Etude statistique et morphologique des Orbitolines du synclinal d'Autrans (Vercors septentrional)

par Annie Arnaud Vanneau

SOMMAIRE. — Au cours de ce travail nous avons étudié statistiquement et morphologiquement cinq populations d'Orbitolines récoltées dans différents niveaux marneux intra et supra urgoniens de la région d'Autrans (Vercors septentrional). Les résultats obtenus à l'aide de méthodes statistiques nous ont incité à étendre nos recherches initiales afin de trouver des relations entre les caractères externes déjà étudiés et les caractères internes dont certains étaient connus par ailleurs.

ABSTRACT. — Statistical and morphological study of five populations of Orbitolines, collected at various levels in marls of urgonian and supra-urgonian ages in Autrans area (Vercors, Northern subalpine French ranges). From results yielded by statistical methods, it was felt advisable to extend the scope of initial researches into a quest for relationsships between the already studied external features and the internal ones, some of which were known from previous studies.

I. — INTRODUCTION

Les Orbitolines sont des Foraminifères marins ayant vécu au Crétacé. Ce sont des Protozoaires coniques à test arénacé et imperforé, constitué par un empilement de loges unisériées de diamètre croissant dont les plus âgées sont aussi les plus larges. La taille des Orbitolines peut varier de quelques millimètres à quelques centimètres.

Elles furent remarquées très tôt grâce à leurs dimensions (H. DE SAUSSURE, 1799). En 1930, on se rendit compte qu'il fallait renoncer à les classer en se basant sur leurs seuls caractères morphologiques et on essaya alors d'introduire des caractères d'anatomie interne. Enfin en 1961 R. DOUGLASS révélait la structure de l'appareil embryonnaire, et c'est actuellement sur cette partie que sont basées les reconnaissances d'Orbitolines.

A) Localisation géographique et statistique.

Ces Orbitolines proviennent de deux coupes étudiées par J.-P. THIEULOY et J.-P. GIROD en 1964 dans le synclinal d'Autrans (Vercors septentrional). Elles ont été prélevées dans les milieux marneux suivants (fig. 1) :

- 2 couches inférieures à Orbitolines pour les lots A et B (coupe Achard III);
- 3 couches supérieures à Orbitolines pour les lots C, D et E (coupe de la Fontaine de Chatellane).

L'âge de ces marnes ne peut être connu sûrement en raison de l'absence de fossiles caractéristiques. Tout au plus quelques indices laisseraient supposer qu'elles seraient barrémo-aptiennes. Enfin, la découverte d'un fossile caractéristique bédoulien supérieur dans les marnes à Orbitolines supraurgoniennes des Barraques-en-Vercors¹ apporte de nouvelles précisions sur cet âge.



Fig. 1. — Schéma stratigraphique des couches à Orbitolines de l'Achard (d'après J. P. THIEULOY).

B) Ecologie.

L'examen détaillé de ces couches à Orbitolines pose le problème de leur écologie. En effet, ces foraminifères très nombreux dans les marnes sont par contre plus rares dans les calcaires où ils atteignent généralement des tailles assez élevées. Nous avons également remarqué que les embryons très nombreux dans les marnes le sont bien moins dans les calcaires.

Par ailleurs, J.-P. THIEULOY a observé que le nombre des Orbitolines décroissait au fur et à

mesure de l'augmentation du pourcentage de carbonate de calcium dans les couches stratigraphiques.

Toutes ces observations sembleraient indiquer que le milieu calcaire ne convenait guère au développement de ces organismes. Nous trouvons cependant, dans les calcaires, quelques Orbitolines de grande taille, et il est vraisemblable d'envisager qu'il s'agit d'animaux calibrés et transportés par des courants sous-marins de leur milieu de vie vers des zones de sédimentation calcaire.

Enfin nous avons souvent constaté que ces couches à Orbitolines reposent sur les calcaires urgoniens par l'intermédiaire d'un hard-ground ou d'un banc remanié à éléments d'Urgonien. Ceci indiquerait une reprise de sédimentation qui débuterait par le dépôt de marnes à Orbitolines. Ce phénomène est visible en de nombreux points, en particulier pour les couches à Orbitolines inférieures des Grands Goulets et la couche supérieure du Rimet (Vercors).

Jusqu'à une date récente, on considérait que les Orbitolines reposaient sur le fond par leur plus grande surface, c'est-à-dire leur surface poreuse. Récemment, J. HOFKER a présenté des arguments convaincants concernant une position de vie inverse. C'est la partie du test non poreux qui resterait en contact avec le sédiment².

La reproduction est soit sexuée, soit asexuée, et se fait par une succession de deux types de générations :

- les schizontes qui correspondraient aux formes microsphériques ;
- les gamontes qui correspondraient aux formes mégalosphériques.

Ce dimorphisme entraîne des différences morphologiques visibles entre les individus. Dans nos populations, les schizontes sont plats, en forme de chapeau chinois, et mesurent jusqu'à 8 mm de diamètre. Ils débutent par une petite spirale d'environ 1/10^e de mm de diamètre qui est peut-être un rappel de leur forme ancestrale. Les gamontes sont coniques ou lenticulaires et leur face poreuse est plus ou moins bombée. L'appareil embryonnaire est situé en haut de l'empilement des loges.

¹ THIEULOY (J. P.) et GIROD (J.-P.), 1965, *Trav. Lab. Géol.*, t. 41.

² Dès lors la partie apicale devient la partie basale, et c'est cette position que nous adopterons dans ce qui va suivre.

II. — ÉTUDE STATISTIQUE

Le groupe des Orbitolinidae n'a pas été souvent étudié statistiquement et certains micropaléontologistes spécialistes de ces organismes ont même pensé que toute étude de ce genre était vouée à l'échec. En effet, pouvait-on espérer obtenir quelques résultats de ces animaux apparemment polymorphes ? De plus, les critères morphologiques ne devaient-ils pas être abandonnés après avoir provoqué une grande confusion dans le passé ?

De fait, les méthodes actuelles nous conduisent aussi à des horizons très restreints, car la détermination valable d'une Orbitoline nécessite une coupe orientée passant par le centre de l'appareil embryonnaire. Ainsi ne faut-il plus espérer reconnaître une Orbitoline dans une roche dont la dureté interdit le dégagement d'un individu.

Les méthodes statistiques actuellement à notre disposition permettent d'obtenir de bons résultats dans certains cas, et il était intéressant de savoir si leur application aux Orbitolines apporterait quelque chose de nouveau. C'est dans cette optique que nous avons entrepris cette étude statistique, en relation étroite avec l'examen des caractères internes et la morphologie externe.

La première étude statistique publiée sur les Orbitolines est, à notre connaissance, celle de O. LIENERT (Thèse, 1965) sur des populations contenues dans les « Schrattenkalk » du Säntis (Suisse). Le matériel dont disposait cet auteur était constitué d'une part d'Orbitolines dégagées, malheureusement recristallisées et usées, dont l'étude s'avéra impossible par les méthodes actuelles et, d'autre part, de calcaires à Orbitolines. En ce qui concerne ces derniers, il semble, d'après nos observations dans le Vercors, que le milieu calcaire ne convenait guère au développement de ces Foraminifères. D'ailleurs le tableau illustrant cet ouvrage montre l'absence d'Orbitolines de petite taille, ce qui indique un transport ou un tri différentiel. Enfin, l'auteur n'a pas séparé les larges formes microsphériques des formes mégalosphériques.

Nous avons eu la chance de bénéficier de très bonnes conditions : d'une part le matériel en notre possession était abondant et bien conservé (sauf dans les deux derniers lots D et E où les individus étaient presque tous recristallisés) et, d'autre part, la présence de Foraminifères à tous les stades de développement montre qu'il s'agissait d'une population complète dans son milieu de vie.

De plus les cinq niveaux marneux étaient identiques et il n'y avait vraisemblablement pas eu de variations écologiques importantes. Cette dernière constatation allait nous permettre de confronter les résultats des cinq niveaux.

L'étude statistique s'est déroulée en deux temps : manipulation des échantillons (lavage, triage et mesure) et application des méthodes statistiques aux résultats obtenus.

Tous ces éléments contribuent donc à fausser les moyennes, aussi faut-il utiliser celles-ci avec prudence, surtout dans le cas d'échantillons en nombre restreint.

A) Techniques utilisées pour les manipulations.

1. Lavage et triage.

Au cours du lavage des marnes, nous avons isolé, à l'aide de tamis, trois lots d'éléments de diamètre compris entre 0,5 et 1,25 mm; 1,25 et 2 mm, et enfin plus de 2 mm, ce qui a facilité le triage des échantillons. Nous avons ensuite recueilli au hasard 500 individus par niveau en écartant toutefois les organismes trop abîmés ou encroûtés.

Les 500 individus se répartissent ainsi :

- 200 d'un diamètre supérieur à 2 mm;
- 200 d'un diamètre compris entre 2 et 1,25 mm;
- 100 d'un diamètre inférieur à 1,25 mm.

2. Mesures.

Les deux dimensions les plus aisément mesurables sont le diamètre D et la hauteur H.

Les diamètres ont été mesurés à l'aide d'un micromètre oculaire monté sur une binoculaire. Deux mesures à angle droit ont été prises sur chaque organisme et seule la plus grande a été conservée. Les hauteurs ont été mesurées à l'aide d'un palmer précis au 1/100^e de millimètre. Afin de manipuler facilement un groupe d'une centaine d'individus, nous avons utilisé une plan chette percée d'une centaine d'encoches. Les hauteurs ont été mesurées en collant des rangées entières d'Orbitolines à l'aide d'un papier adhésif, l'épaisseur du papier étant déduite par la suite. Puis ces bandes étaient fixées sur des feuilles et répertoriées. Ce système nous a permis d'aller assez vite et de retrouver rapidement l'individu correspondant à des mesures particulières. Ces dernières étaient transcrites sur des tableaux doubles dont nous donnons un exemple ici :

1 ^{er} diamètre en unité micro métrique	2° diamètre en unité micro- métrique	Signe donn de l'O	ant la forme rbitoline
Diamètre max. en unité micro- métrique	Hauteur avec erreur en millimètre	Diamètre en millimètre	Hauteur sans erreur en millimètre

Nous avons ensuite reporté ces mesures sur des graphiques de corrélation dont nous expliquerons le principe ultérieurement. Nous avons représenté chaque couple de mesure par un signe donnant une idée de la forme de l'Orbitoline. Ce signe correspond :

- soit à des groupes morphologiquement différents ;
- soit à des individus appartenant à d'autres genres comme les Orbitolinopsis (x) ou les Dictyoconus (Δ).

Postérieurement il s'est révélé que les deux formes que nous avons différenciées étaient dues au dimorphisme : les formes plates étant des formes microsphériques et les formes coniques des formes mégalosphériques.

Nous avons pu établir un petit tableau qui s'inspire de HENSON et qui donne une idée de la variété morphologique des individus de nos cinq populations (fig. 2).

Certaines de ces formes du Vercors ont pu porter un nom lorsque les déterminations étaient basées sur les caractères de la morphologie externe.



Fig. 2. — Variations morphologiques des Orbitolines de l'Achard (d'après le tableau de HENSON).

1, formes recourbées (1 a, conico concave; 1 b, convexoconcave); 2, formes convexo-concaves (a, basse; b, c, hautes); 3, formes biconvexes (a, basse; b, haute); 4 (a et b), formes anormales.

Les signes entre parenthèses correspondent à la représentation de ces formes sur les diagrammes.

Ainsi, en 1852, A. GRAS étudiant les Orbitolines de la couche supérieure des Ravix, du Fâ et du Rimet, distinguait deux espèces :

- l'une haute, convexo-concave : Orbitolina conoïdea ;
- l'autre recourbée, convexo-concave : Orbitolina discoïdea.

En 1904, PREVER décrivit à Clôs d'Agoût l'espèce Orbitolina boehmi qui est l'équivalent des formes basses biconvexes. Signalons enfin que les formes hautes convexo-concaves de ce gisement ont été déterminées par H. DOUVILLE en 1912 sous le nom d'Orbitolina conulus.

B) Méthodes statistiques employées.

Pour étudier ces Foraminifères nous avons sélectionné deux méthodes qui sont parmi les plus démonstratives.

1. Les distributions de fréquence.

Elles permettent d'apprécier les fréquences d'une dimension dans une population donnée. Elles sont représentées graphiquement par des histogrammes. Dans le cas d'une espèce, ces distributions de fréquence se traduisent par une courbe en cloche ou courbe de Gauss. Dans le cas de plusieurs espèces, nous obtenons une courbe de Gauss polymodale, mais ces modes se chevauchent bien souvent. Il s'ensuit que ces courbes ne sont pas toujours très lisibles. Dans notre cas, nous nous sommes efforcés d'éliminer les genres différents, tels que le genre Orbitoli nopsis ou le genre Dictyconus afin d'en faciliter la lecture.

Nous n'avons pas séparé les formes mégalosphériques des formes microsphériques, sauf dans les deux derniers groupes (D et E) où le nombre des formes microsphériques est assez important pour être distingué.

Les trois autres lots (A, B et C) contiennent peu de formes microsphériques. Cela est dû en partie à des raisons d'ordre pratique, car les petites formes microsphériques sont usées et encroûtées. De ce fait, elles se distinguent mal des formes mégalosphériques et leur séparation reste douteuse.

En conclusion, ces histogrammes sont dressés surtout à titre comparatif, car ces courbes peuvent être influencées par d'autres facteurs indépendants (croissance, mortalité...) qui se traduisent par des modes désarmants quant à leur interprétation.

2. Les courbes de croissance ou de corrélation.

Elles permettent d'observer si deux caractères sont liés et évoluent d'une manière concomitante tout au long de la croissance.

Dans notre cas, nous avons étudié les rapports diamètre-hauteur des tests. Pour cela nous avons porté, sur un système d'axes de coordonnées, les hauteurs en abscisses et les diamètres en ordonnées, et ainsi chaque point du graphique correspond à un couple de mesures. Si ces deux variables sont liées entre elles, les différents points se disposent sensiblement suivant une droite ou une courbe.

Dans le cas d'une croissance isométrique, et c'est notre cas³, la hauteur et le diamètre sont liés par une relation linéaire de la forme :

$$\mathbf{D} = a\mathbf{H} + b \tag{1}$$

D : diamètre ; H : hauteur ; a : taux de croissance ; b : constante.

Pour étudier et comparer ces courbes de croissance nous avons employé, sur les conseils du Professeur H. TINTANT, la méthode dite de la « droite de Teissier » ou « axe principal réduit ⁴ ».

Cet axe principal réduit est la droite qui réduit au minimum l'aire des triangles formés en chaque point par les parallèles aux axes de coordonnées et la droite en question.

Cet axe est une droite de la forme y = ax + b. Dans le cas présent, y est égal à D (diamètre) et x est égal à H (hauteur). Nous pouvons alors écrire :

$$D = aH + b \qquad (2)^5$$

a est égal au rapport des écarts types, et l'on peut écrire d'autre part :

$$a = \frac{sD}{sH}$$

sD : écart type des diamètres ; sH : écart type des hauteurs.

Nous pouvons écrire par ailleurs :

$$sD = \sqrt{\frac{SD^2 - \frac{(SD)^2}{N}}{N}}$$

SD : somme des diamètres des échantillons ;

SD² : somme des carrés des diamètres des échantillons ;

(SD)² : carré de la somme des diamètres ; N : nombre des échantillons.

De plus :

$$sH = \sqrt{\frac{\frac{SH^2 - \frac{(SH)^2}{N}}{N}}{N}}$$

SH : somme des hauteurs des échantillons ;

SH² : somme des carrés des hauteurs des échantillons ;

(SH)² : carré de la somme des hauteurs ; N : nombre des échantillons.

³ En effet les Orbitolines se développent dans une seule direction et par adjonction de parties semblables (au sens géo métrique du terme).

⁴ Cette méthode est expliquée en détail par IMBRIE (J.), 1956, Biométrical methods in the study of invertebrate fossils (Bull. Am. Mus. Nat. Hist. New York, vol. 108, art. 2).

⁵ L'équation (2) n'est qu'une équation de travail obtenue par nos mesures et elle n'est qu'une valeur approchée de l'équation réelle.

Enfin, b est lui-même égal à : b = MD - aMH. MD et MH sont les moyennes arithmétiques des diamètres et des hauteurs des échantillons.

Nous avons séparé les formes microsphériques et mégalosphériques, puis nous avons calculé les coefficients de corrélation et les équations des droites de Teissier. Enfin, pour pouvoir comparer

> HISTOGRAMMES DES DIAMETRES N 50 Α Formes micro et megalospheriques o D N mm 50 в 0 С 2 N С 50 0 C mm N 50 D Microsphères Mégalospheres 0 mm D 2 N 50 E ٥ mm D

les pentes de toutes ces droites nous avons fait appel à un autre test : le test Z.

Ce test peut être calculé par la formule :

$$Z = \frac{a1 - a2}{\sqrt{\delta a^2_1 + \delta a^2_2}}$$

HISTOGRAMMES

DES HAUTEURS



Fig. 3. --- Histogrammes.

a1 et a2 sont les pentes des droites de croissance (droites de Teissier);

 δa_1 et δa_2 les erreurs standard sur les pentes.

$$\delta a = a \sqrt{\frac{1-R^2}{N}}$$

avec R coefficient de corrélation, et N : nombre d'échantillons.

Si Z est inférieur à 1,96, il y a de fortes chances pour que les populations soient identiques. Dans le cas contraire, la différence devient significative avec une erreur de 5 %, mais si Z est supérieur à 2,58, cette erreur n'est plus que de 1 %.

C) Application des méthodes et analyse des résultats.

1. Etude des histogrammes (fig. 3 et 4).

Les histogrammes, malgré leurs inconvénients, permettent de faire des comparaisons souvent utiles (fig. 3).

L'étude de nos 5 groupes met en évidence trois faits essentiels :

1° Ces histogrammes présentent tous un mode bien caractéristique correspondant en général aux moyennes calculées des formes mégalosphériques (fig. 4). Ce mode est sensiblement le même dans

Groupe	N	MD	мн	sD	sH	a	δa	R	Droite de Teissier	Groupes Testés	Test Z.
M										M	
Gr. A	384	2,8170	1,1326	0,961	0,405	2,37	0,0948	0,63	y = 2,37 x + 0,13	A et B	0,476 NS
Gr. B	446	2,7209	1,1098	0,955	0,411	2,32	0,0440	0,92	y = 2,32 x + 0,15	B et C	0,327 NS
Gr. C	456	2,6845	1,0741	0,900	0,383	2,34	0,0421	0,92	y = 2,34 + 0,17	C et D	1,358 NS
Gr. D	400	2,2037	0,9087	0,824	0,369	2,23	0,0691	0,79	y = 2,23 x + 0,18	D et E	0,618 NS
Gr. E	417	2,2355	0,9288	0,827	0,360	2,29	0,0687	0,79	y = 2,29 x + 0,11	A et D	1,186 NS
										AetE	0,677 NS
m											
Gr. A	13	3,8192	1,0430	1,007	0,297	3,39	0,3899	0.91	y = 3,39 x + 0,28	m	
Gr. B	15	5,2506	1,2920	1,050	0,274	3,83	0.6320	0.77	y = 3,83 x + 0,30	A et B	0,592 NS
Gr. C	9	5,6977	1,4388	1,437	0,446	3,22	0,7213	0.74	y = 3,22 + 1,06	B et C	0,663 NS
Gr. D	88	4,6422	0,9081	1,024	0,190	5.38	0,4950	0,51	$y = 5,38 \times -0,24$	C et D	2,468 S
Gr. E	63	4,2671	0,8577	1,332	0,226	5,89	0,5065	0,73	$y = 5,89 \times -0,78$	D et E	0,720 NS
				<u> </u>						Aet E	3,912 HS
x		ļ									
Gr. A	29	1.0468	0.9000	0.154	0.136	1.13	0.1571	0.66	v = 1.13 x + 0.03	X	1
Gr. B	12	0,6966	0,6725	0,121	0,192	0,63	0.0958	0.85	$\gamma = 0.63 \times + 0.27$	A et B	2,717 HS
Gr. C	13	0,7369	0,6561	0,098	0,110	0,89	0,2376	0,27	y = 0.89 x + 0.15	B et C	1,016 NS
l				l						1	1

M : Formes mégalosphériques ; HS : Hautement significatif ; m : Formes microsphériques ; S : Significatif ; X : Orbitolinopsis; NS : Non significatif.

Fig. 4. — Tableau de mesures.

les cinq groupes. Mais alors que dans les populations A, B et C les courbes de Gauss décroissent lentement, cette courbe se termine brutalement dans les groupes D et E par suite de la disparition des individus dont le diamètre dépassait 3,6 mm et la hauteur 1,2 mm. 2° Les formes microsphériques se distinguent mal, car elles sont en très petit nombre, sauf dans les groupes D et E où il y en a davantage. Dans ces groupes elles présentent un mode sensiblement identique à celui des formes mégalosphériques sur le diagramme des hauteurs, mais elles s'individualisent sur celui des diamètres. En effet, leurs largeurs sont plus importantes que celles des formes mégalosphériques.

Par ailleurs nous constatons qu'il existe un mode correspondant à des individus de petite taille.

En résumé, il semble que nous ayons affaire à des populations très voisines dans les cinq groupes examinés, étant donné que les moyennes des formes mégalosphériques sont très proches. Par ailleurs, les formes les plus hautes et les plus larges ont disparu dans les groupes D et E. Notons que les formes microsphériques ne se distinguent que grâce à leur diamètre important.

Le mode qui s'observe au niveau des petites tailles ne paraît pas avoir de signification génétique. En effet nous avons comparé les structures internes des petites et des grandes Orbitolines et nous n'avons pu mettre en évidence des différences notables.

2. Etude des courbes de croissance.

L'ensemble des Orbitolinidae en notre possession a pu être aisément scindé en deux groupes grâce à l'étude des différents graphiques : d'une part les Orbitolines *sensu stricto* et d'autre part les petits Orbitolinidae.

La figure 5 nous donne les équations des droites de Teissier, les coefficients de corrélation de chaque groupe et les résultats des tests Z entre les différents lots.

En général les coefficients de corrélation sont assez bons. Ils sont meilleurs pour les formes mégalosphériques qui sont en plus grand nombre que pour les formes microsphériques, à une exception près pour le groupe A. Ce coefficient n'est pas très valable pour les *Orbitolinopsis* du fait de leur petite taille et des difficultés rencontrées dans la mesure de la hauteur.

1. LES PETITS Orbitolinidae.

Ils sont nettement individualisés dans les trois premiers lots A, B et C.

- Les Dictyoconus.

Ils proviennent du groupe A. Ce sont des individus de grande taille dont on ne peut pas distinguer macroscopiquement les formes microsphériques des formes mégalosphériques.

— Les Orbitolinopsis.

Nous distinguerons deux groupes d'Orbitolinopsis, car les courbes de croissance montrent des différences de pentes hautement significatives. D'une part nous considérons ceux contenus dans le groupe A et d'autre part ceux des lots B et C.

-- Le premier groupe (A) possède des Orbitolinopsis dont les dimensions moyennes sont de 1,05 mm pour les diamètres et de 0,90 mm pour les hauteurs.

— Les deux lots suivants (B et C) contiennent des Orbitolinopsis plus petits dont le diamètre moyen est voisin de 0,73 mm (B) et 0,69 mm (C) et la hauteur moyenne 0,65 mm (B) et 0,67 mm (C).

Nous nommerons Orbitolinopsis a les individus du lot A et Orbitolinopsis b ceux des lots B et C.

Leur étude et leur détermination seront entreprises dans un chapitre ultérieur.

2. Les Orbitolines.

a) Les formes mégalosphériques.

Les nuages de points des populations A, B et C se superposent sensiblement ainsi que ceux des populations D et E. Les droites de Teissier de ces cinq groupes ne se distinguent pas significativement les unes des autres, mais nous remarquons que les formes de grande taille ont disparu des niveaux D et E. Cette remarque est vérifiée par l'observation des moyennes : les formes mégalosphériques des trois premiers groupes A, B et C sont légèrement plus hautes que celles des groupes D et E. Le diamètre semble par contre diminuer dans les groupes D et E.

b) Les formes microsphériques.

Les échantillons en sont peu nombreux dans les trois premiers lots A, B et C.

L'examen des moyennes prouve cependant que, là aussi, les formes des groupes A, B et C sont plus hautes que celles des groupes D et E. De plus les formes du groupe A ont une taille inférieure à celle des groupes B et C.

Les différents tests montrent que si les trois premiers groupes ne se distinguent pas, il existe par contre une différence significative entre les



groupes C⁶ et D, B et D, et une différence hautement significative entre les groupes A et D.

Enfin, le coefficient b de la droite de Teissier devient négatif pour les deux derniers groupes D et E.

3. Essai d'explication sur le mode de développement des Orbitolines.

1. Mode de développement des Orbitolines.

Tous les diagrammes établis l'ont été à partir des dimensions des Orbitolines. Le rapport de ces mesures détermine la forme de l'Orbitoline, c'est-à-dire son mode de croissance, et les anomalies observées doivent se traduire par des différences de croissance.

- Mode de croissance des Orbitolines :

Les Orbitolines s'accroissent en fabriquant des loges aux formes diverses dont les bords sont dirigés vers l'apex.

P. RAT a donné les noms suivants aux différentes formes de loges :



⁶ Il vaut mieux ne pas tenir compte de la droite du groupe C qui a été construite seulement avec les mesures de 9 échantillons de grande taille (ce qui explique sa position excentrique). A la limite, les loges sigmoseptales en s'aplatissant vers le centre peuvent donner des loges annulaires de signification gérontique, mais dans ce cas elles sont toujours en nombre restreint. Par contre ces loges peuvent être beaucoup plus nombreuses et nous arrivons au mode de croissance caractéristique des formes plates.

Cependant, chaque Orbitoline n'est pas formée d'un seul type de loges, mais présente des successions de plusieurs types. Des observations en lames minces nous ont permis de tirer diverses conclusions :

— Les premières loges apparues sont sphériseptales, que ce soit pour les formes mégalosphériques ou microsphériques.

— Ces loges sphériseptales cèdent la place à des loges de formes différentes. Celles-ci apparaissent plus ou moins tardivement et nous pouvons noter que chez les individus coniques les loges sphériseptales continuent à se former plus longtemps que chez les individus ayant un angle apical plus important. Aussi nous en avons déduit que ce type de loges ne peut dépasser un certain diamètre et que celui-ci une fois atteint, des loges de formes différentes vont prendre le relais. Evidemment ce diamètre critique est atteint plus tôt pour les formes plates que pour les formes coniques.

A la suite de ces observations nous avons établi des schémas figurant des Orbitolines en coupe selon leur emplacement sur les différents graphiques de corrélation. Seules les formes les plus typiques sont représentées sur ces schémas (cf. fig. 6).



Fig. 6. — Interprétation schématique des diagrammes de corrélation.

2. INTERPRÉTATION SCHÉMATIQUE DES DIAGRAMMES DE CORRÉLATION.

Dans la figure 4 nous avons dessiné, pour chacun de ces diagrammes de corrélation, cinq Orbitolines vues en coupe (à l'exception de la figure 4 — groupes D et E — où il n'y en a que quatre).

- L'Orbitoline la plus petite représente un individu aux premiers stades de développement (a).

— Les trois Orbitolines mégalosphériques de taille plus grande sont des adultes dont l'angle apical plus ou moins ouvert a déterminé des formes très caractéristiques :

une forme conique (b); une forme lenticulaire (c);

une forme plate (d).

— Enfin le dernier dessin représente une forme microsphérique adulte (e).

Nous allons étudier la succession des loges chez les individus mégalosphériques de nos cinq populations, puis nous passerons aux formes microsphériques.

3. MODE DE CROISSANCE DES FORMES MÉGALO-SPHÉRIQUES DE NOS CINQ GROUPES.

— Groupe A :

Nous avons vu que les premières loges sont toujours sphériseptales pour les organismes jeunes. Les formes à petit angle apical (b) possèdent des loges sphériseptales, puis sigmoseptales et parfois quelques loges annulaires.

Les formes dont l'angle apical est plus grand (c et d) présentent la même succession de loges, mais lorsque cet angle croît, le nombre des loges sphériseptales diminue et celui des loges sigmoseptales — dont la partie centrale s'amincit progressivement — augmente. Les adultes se terminent presque toujours par quelques loges annulaires.

Les formes coniques sont évidemment très caractéristiques, car elles peuvent atteindre de bonnes dimensions, et nous pensons que celles-ci ont été décrites par H. DOUVILLE sous le nom d'Orbitolina conulus quand on lui a soumis des échantillons provenant de la couche inférieure à Orbitolines du Clos d'Agoût⁷.

- Groupes B et C :

Nous avons groupé ces deux lots car nous n'avons pas pu constater de différences entre eux. Les individus jeunes débutent par quelques loges sphériseptales puis, très vite, nous assistons à un aplatissement de ces dernières qui deviennent scutiseptales (a). Pour les Orbitolines les plus coniques (b), c'est à ce stade de développement que s'arrête bien souvent la croissance. Elle peut se poursuivre dans certains cas, et il se forme alors des loges sigmoseptales et même quelques loges annulaires. La forme obtenue est celle de l'Orbitolina conoïdea Gras des Ravix et du Rimet⁸.

Les individus à angle apical plus grand (c et d) présentent la même succession dans leur croissance que celle des individus coniques ci-dessus, et conservent l'aspect de leurs homologues du groupe A.

— Groupes D et E :

Nous avons réuni ces deux groupes pour les mêmes raisons que précédemment. Ici, nous observons qu'au stade sphériseptal succède brutalement quelques loges annulaires. De ce fait les Orbitolines obtenues ont un diamètre plus petit et ressemblent à des lentilles. Dans ce cas les formes (c) et (d) ne se distinguent plus et on remarque seulement les formes (b) à cause de leur aspect conique. Elles ont alors exactement l'aspect de l'Orbitolina lenticularis Blumenbach⁹.

Cette vue générale est cependant quelque peu schématique car :

- il existe également dans le groupe A des loges planiseptales et des planchers scutiseptaux;
- on trouve parfois, dans les groupes D et E des planchers sigmoseptaux, mais cela paraît être soit un accident soit un artefact car ils sont très peu nombreux.

En résumé, nous avons pu constater qu'il y avait disparition d'un stade de croissance (stade sigmoseptal) entre les groupes C et D.

4. MODE DE CROISSANCE DES FORMES MICROSPHÉ-RIQUES DE NOS CINQ GROUPES.

Le stade de développement des jeunes est identique à celui des formes mégalosphériques.

⁷ Une telle identification sera justifiée ultérieurement.

⁸ Une telle identification sera justifiée ultérieurement.

⁹ Id.

— Groupe A :

Ici, les formes microsphériques se distinguent mal des formes mégalosphériques. On retrouve la succession des loges sphériseptales - loges sigmoseptales, mais les loges annulaires sont peu nombreuses et semblent être une exagération des loges sigmoseptales.

- Groupes B et C :

La différence entre les formes micro et mégalosphériques est plus marquée. Les loges se succèdent ainsi :

loges scutiseptales

Mais ici les loges annulaires sont bien développées et l'on obtient des formes de grande taille dont l'allure évoque celle d'Orbitolina discoïdea Gras¹⁰.

- Groupes D et E :

La différence entre les formes micro et mégalosphériques est encore plus nette. Il existe des loges sphériseptales auxquelles succèdent de nombreuses loges annulaires.

Bien entendu, les différences entre les groupes ne sont pas aussi tranchées et on peut retrouver quelques loges sigmoseptales chez certains individus du groupe D et E.

En résumé, nous observons pour les formes microsphériques la même disparition du stade de croissance sigmoseptal que pour les formes mégalosphériques. Mais cet accident ne s'accompagne pas d'une diminution de taille visible, car cette diminution normale a été compensée par une augmentation importante du nombre de loges annulaires. Ces loges annulaires, très peu nombreuses dans le groupe A, se multiplient et deviennent un mode de croissance normal pour les derniers groupes.

5. Conclusions sur le mode de développement des Orbitolines.

Après avoir montré les divers déroulements de la croissance des formes mégalo et microsphériques de chaque population, nous pensons être en mesure d'expliquer certaines caractéristiques et anomalies des histogrammes et des courbes de croissance.

1° Les nuages de points sont très serrés au bas de chaque diagramme de corrélation et les formes micro et mégalosphériques ne peuvent être distinguées. Ceci est parfaitement normal, car toutes les Orbitolines ont un premier stade de développement commun, représenté par des loges sphériseptales.

2° La disparition des individus mégalosphériques de grande taille, dans les groupes D et E, se traduit par une chute brutale des courbes de Gauss et une réduction des nuages de points. Cette anomalie est, à notre sens, liée à la disparition du stade de croissance sigmoseptal dans les populations D et E. Effectivement, dès ce moment, des individus de grande taille ne peuvent plus se constituer. Ce stade de croissance disparu, les Orbitolines vont cependant conserver des stades de croissance juvéniles identiques dans les cinq populations. Ainsi les droites de Teissier des formes mégalosphériques ne vont pas varier et on ne peut pas les différencier graphiquement.

En ce qui concerne les formes microsphériques, cette disparition n'est pas visible car elle est compensée par la multiplication des loges annulaires.

3° Quand on remonte la série stratigraphique, les droites de croissance des individus microsphériques se redressent progressivement et tendent à devenir parallèles à l'axe des ordonnées (portant les mesures des diamètres).

Ce phénomène se traduit par une différence significative entre les populations C et D et hautement significative entre les populations A et D. Pour expliquer cette anomalie, rappelons que :

— Dans la population A, la droite de Teissier des formes microsphériques et celle des formes mégalosphériques sont très proches. En effet, les formes microsphériques ressemblent à des formes mégalosphériques très plates car elles ne possèdent pas encore de stade annulaire réel. Elles ne s'en distinguent que par un angle apical plus ouvert et quelques loges annulaires supplémentaires.

— Dans les populations B et C, les droites de Teissier des formes microsphériques s'écartent de plus en plus de celles des formes mégalosphériques. Ici les formes microsphériques ont adopté un mode de croissance annulaire vrai, mais le passage des loges sigmoseptales aux loges annulaires est très progressif et certaines loges annulaires sont en fait des loges sigmoseptales complètement aplaties dans leur partie centrale. Aussi la hauteur va continuer à varier légèrement en fonction du diamètre.

¹⁰ Une telle identification sera justifiée ultérieurement.

— Dans les populations D et E, les droites de Teissier sont extrêmement redressées (formes microsphériques) et leurs coefficients b sont même négatifs.

Dans ces niveaux, les formes microsphériques ont de vraies loges annulaires et il n'existe plus de passage progressif par l'intermédiaire de loges sigmoseptales. Ainsi l'Orbitoline atteindra sa hauteur définitive après le stade sphériseptal. Dès lors les droites de croissance traduisent les variations du diamètre pour une hauteur constante, et ce fait explique que ces droites tendent à devenir parallèles à l'axe portant les diamètres.

En conclusion, les variations des droites de

Teissier traduisent l'acquisition progressive du stade de croissance annulaire par les individus microsphériques.

4. Conclusions.

L'examen statistique et morphologique des cinq populations de l'Achard nous a permis de relever deux modifications architecturales chez celles-ci :

- une modification brutale : disparition d'un stade de croissance adulte entre les populations C et D;
- une modification plus lente : acquisition progressive d'un stade de croissance annulaire.

III. — MORPHOLOGIE INTERNE

A la suite des perspectives ouvertes par l'étude statistique, nous ne pouvions ignorer plus longtemps la structure interne de ces Foraminifères.

Nous avons déjà exposé les premiers résultats de cette confrontation étude statistique - étude des caractères internes. En effet, la forme des loges nous permet d'expliquer certaines anomalies statistiques, et nous avons détaché ce paragraphe du chapitre traitant de la morphologie interne car, à notre avis, allure extérieure et forme des planchers sont deux éléments intimement liés. Pour les auteurs actuels, le terme structure interne est souvent synonyme d'étude de l'appareil embryonnaire. De notre côté nous avons observé non seulement cette partie anatomique, mais également tout ce qui constitue l'organisation du test, grâce à l'utilisation de quelques techniques particulières.

A) Les techniques utilisées.

Nous nous proposions d'obtenir des coupes axiales par le centre de l'appareil embryonnaire. Pour cela nous avons utilisé les méthodes préconisées par J. HOFKER, en utilisant toutefois du baume du Canada pour maintenir l'échantillon en place.

Pour reconstituer l'appareil embryonnaire, nous avons établi des coupes sériées de cet appareil aussi bien transversalement que radialement. Dans ce cas l'usure se fait exclusivement à la main sur une plaque de verre. Ainsi nous sommes arrivés à obtenir des coupes séparées de 5 à 10 microns. Pour dessiner chacun de ces stades, une simple pellicule de baume du Canada cuit recouvrant la préparation permet d'observer tous les détails assez nettement.

Enfin nous avons dissous progressivement quelques individus à l'aide d'acide chlorhydrique dilué afin d'avoir une meilleure idée de l'organisation interne des loges.

B) Structure du test.

Comme nous l'avons signalé, le test des Orbitolines est arénacé. En fait, les parois des loges sont constituées de deux parties :

— Une couche calcitique hyaline, qui est très fine, s'amincit et disparaît à quelque distance du bord. Elle ne ressort que dans les loges composées de matériaux très opaques et demeure invisible extérieurement. Par ailleurs on ne la distingue que dans les loges adultes où elle subit peut-être un épaississement.

— Une partie arénacée opaque. En fait, cloisonnettes et septa sont constitués, sur les bords, de calcite microgranulaire, mais à mesure que l'on gagne le centre de l'individu, la proportion de matériaux détritiques composant les planchers augmente aux dépens de la calcite microgranulaire. Au centre, ces matériaux deviennent si abondants qu'ils masquent totalement la structure interne. Les éléments étrangers sont surtout des grains de quartz détritiques souvent anguleux et de taille variable.

Cependant nous devons noter qu'ils ne dépassent pas 50 microns dans les trois premiers groupes A, alors qu'ils sont plus nombreux et plus grands dans les deux premiers groupes D et E où ils atteignent facilement 100 microns de diamètre.

Cette remarque est peut-être sans signification particulière, mais nous pouvons observer que les populations C, D et E se trouvent dans des milieux identiques (marnes argileuses) et pourtant la composition du test des individus du groupe C est différente de celle des individus des groupes D et E. De plus, dans le niveau A, il existe des *Dictyoconus* qui ont sensiblement le même aspect et la même taille que les Orbitolines et qui, cependant, contiennent très peu de grains de quartz détritiques dans leur test. Il y aurait donc dans cette accumulation de matériel détritique un autre facteur que celui imposé par le milieu. Dans le cas des *Dictoconus*, cette ségrégation de matériel pourrait avoir une origine génétique. Il ne s'agit ici que de suppositions, mais rappelons que R. DOUGLASS a élevé cette supposition au rang de critère.

C) Organisation des loges (fig. 7).

Elles sont subdivisées par des septa qui alternent d'une loge à l'autre. Ces septa, disposés radialement, déterminent des logettes (H. DOUVILLÉ). On distingue traditionnellement trois zones :

- la zone marginale;
- la zone radiale ;
- la zone centrale ou réticulée.



Fig. 7. — Organisation interne des loges.

1. La zone marginale.

C'est une zone d'une largeur de 80 à 120 microns. Dans la zone marginale, les logettes atteignent leur plus grand diamètre et leur section devient rectangulaire en raison de la minceur des septa. Ces logettes sont subdivisées par des cloisonnettes dont la disparition marque la fin de la zone marginale. Ces cloisonnettes sont de deux sortes, les unes verticales et les autres horizontales. Le nombre des cloisonnettes est plus élevé chez les formes microsphériques de grande taille que chez les formes mégalosphériques.

2. La zone radiale.

En sortant de la zone marginale, les septa s'élargissent brusquement, réduisant l'espace des loges. Ces septa prennent une section triangulaire dont la partie la plus large est dirigée vers l'apex. Par ailleurs, bien que leur direction reste toujours radiale, leur allure devient vermiculée. Rapidement la structure ne va plus être visible, les septa se chargeant de matériaux détritiques qui font disparaître leurs contours. Les loges communiquent entre elles par des stolons qui alternent d'une logette à l'autre.

Nos observations en lame mince ne sont pas aussi bonnes que celles de J. HOFKER, mais ces détails ont pu être observés sur des échantillons traités à l'acide chlorhydrique dilué.

3. La zone centrale ou réticulée.

Le passage entre la zone radiale et la zone réticulée est très progressif. Dans cette partie, les septa s'anastomosent en donnant une sorte de réticulum. Nous n'avons pas pu observer cette zone, le matériel détritique masquant totalement la structure.

4. Variations de la hauteur des loges.

Nous avons compté, sur quelques Orbitolines, le nombre de loges qu'il y avait pour 400 microns. Les résultats ont permis d'établir un diagramme



Fig. 8. - Diagramme représentant le nombre des loges pour 400 microns.

comparant ce nombre dans les cinq populations (fig. 8) (les populations D et E sont mal représentées en raison de la recristallisation de leurs individus). Nous avons pu constater les faits suivants :

— Les formes microsphériques possèdent de 4 à 5 loges pour 400 microns, ce qui confirmerait le fait que les formes microsphériques ont des loges plus hautes que les formes mégalosphériques.

— Pour les formes mégalosphériques des trois premiers groupes nous trouvons que dans le groupe A la moyenne est de 8 loges pour 400 microns, et dans les groupes B et C cette moyenne, plus faible, est de l'ordre de 7 loges pour 400 microns. Ainsi les loges des individus du groupe A sont moins hautes que celles des groupes B et C.

D) Structure de l'appareil embryonnaire.

Il existe deux sortes d'appareils embryonnaires dans nos populations :

les appareils embryonnaires microsphériques;
 les appareils embryonnaires mégalosphériques.

Nous ne nous étendrons pas sur les appareils microsphériques, n'ayant pu en examiner qu'un seul échantillon.

1. Les appareils embryonnaires mégalosphériques.

Cet appareil est situé à l'apex (ou à la base) sur lequel repose l'animal. Il est globuleux, assez volumineux (entre 150 et 200 microns) et présente un étranglement au tiers inférieur de sa hauteur.



Fig. 9. — Schéma d'un appareil embryonnaire mégalosphérique.

On y distingue deux parties principales :

1° Le proloculus (1), qui est une sorte de petit sac en pseudo-chitine suspendu par des ligaments dans un petit logement calcaire (2).

2° La deutéroconque (2 a-b) qui comprend deux zones :

— La première s'étend de l'apex jusqu'à l'étranglement. Elle est occupée par un système de petites cloisonnettes ramifiées qui apparaissent plus longues sur les bords qu'au centre. C'est la zone apicale (2 b).

— La deuxième occupe les deux tiers de la deutéroconque et constitue la partie la plus large de l'appareil embryonnaire. En coupe, elle est bilobée à cause d'une petite excroissance calcaire sommitale à laquelle se rattache le proloculus.

C'est la zone péri-proloculaire (2 a).

Cette deutéroconque communique par des pores avec une troisième partie qui est la première loge et que nous nommons loge péri-embryonnaire (3).

2. Comparaison des appareils mégalosphériques (fig. 10).

Bien que nos observations concernant les groupes D et E aient été gênées par d'importantes recristallisations, la structure de leurs appareils embryonnaires semble identique à celle des trois premiers groupes sur lesquels vont porter nos comparaisons.

Dans chacun des groupes nous avons mesuré le diamètre maximum et la hauteur de la Deutéroconque. En comparant ces deux mesures, nous constatons que la moyenne des appareils embryon-



Fig. 10. — Diagramme de corrélation des diamètres et des hauteurs de la deutéroconque dans les cinq populations.

naires du groupe A (D = 165 μ ; H = 167 μ) est légèrement inférieure à celle des groupes B (D = 177 μ ; H = 176 μ) et C (D = 178 μ et H = 174 μ).

En conséquence, le nombre de cloisonnettes visibles en section dans la zone apicale est plus faible dans le groupe A (4 au maximum) que dans les groupes B et C (6 au maximum). Nous n'avons cependant pas trouvé de différences significatives entre ces deux groupes (Z = 0,50) (ce qui se traduit sur les diagrammes de corrélation par un nuage de points où nul groupe ne se distingue des autres).

E) Conclusions.

Etant donné le mauvais état de conservation des deux derniers groupes (D et E), nous ne pouvons pas tirer de conclusions générales concernant la structure interne de nos cinq populations. Les seules observations communes que nous ayons faites concernent la composition du test. Nous avons vu alors que cette composition changeait entre les trois premiers lots d'une part et les deux derniers d'autre part.

Ainsi les deux conclusions suivantes ne s'appliquent qu'aux trois premiers groupes :

— Les loges des Orbitolines du groupe A sont moins hautes que celles des individus des groupes B et C.

— Les appareils embryonnaires du groupe A sont plus petits que ceux des groupes B et C. Les différences que nous notons sont très faibles, et il ne semble pas que nous ayons affaire à deux espèces différentes, mais plutôt à deux stades d'évolution d'une même espèce.

IV. — ÉTUDE PARTICULIÈRE DES PETITS ORBITOLINIDAE ET DATATION DES COUCHES

Après avoir signalé les petits Orbitolinidae dans la partie statistique, nous allons établir rapidement leurs caractéristiques et donner leur détermination.

A) Etude des Dictyoconus.

— Diagnose : Ce sont des individus de grande taille qui possèdent une crosse sommitale excentrée bien visible. Bien que les individus macrosphériques et microsphériques soient mêlés, nous donnerons leurs mesures moyennes pour avoir un ordre de grandeur.

Le diamètre moyen est de 2,75 mm et leur hauteur moyenne de 1,60 mm (rapport D/H = 1,72).

Ces Foraminifères possèdent des loges sphériseptales, puis scutiseptales et enfin sigmoseptales. Leur test est formé essentiellement de calcite et les grains de quartz y sont rares. Les septa principaux sont très épais. En coupe radiale ils ont une forme triangulaire comme ceux des Orbitolines, et il existe au centre un reticulum où l'on ne distingue pratiquement pas de piliers. Par rapport aux Orbitolines, ces *Dictyoconus* possèdent des septa deux fois plus gros. Comme elles, ils ont des cloisonnettes secondaires horizontales et verticales. Ils en diffèrent essentiellement par leur appareil embryonnaire qui est apparemment uniloculaire et ovoïde, et dont le plus grand diamètre est sensiblement parallèle au côté de l'angle apical qui lui est le plus éloigné.

Le diamètre des proloculi mégalosphériques varie de 104 à 136 microns, avec une moyenne de 120 microns. Celui du proloculus microsphérique est d'environ 88 microns.

En raison de la valeur du rapport D/H nous avons assimilé cette espèce au *Dictyoconus barremianus* Moullade du Barrémien inférieur et moyen.

B) Etude des Orbitolinopsis.

1. Les Orbitolinopsis a :

— Diagnose : Ce sont de petits Orbitolinidae coniques ayant un diamètre moyen de 1,08 mm et une hauteur de 0,9 mm. Ils sont dissymétriques et leur section radiale est elliptique. Leur test débute par une spirale qui fait place rapidement à un stade rectiligne constitué de loges planiseptales. formé d'une protoconque et d'une deutéroconque. — En raison des deux derniers détails anatomiques, nous avons rapproché cette espèce de *Orbitolinopsis kiliani* Prever du Barrémien supérieur et peut-être moyen.

2. Les Orbitolinopsis b :

--- Diagnose : Ce sont des formes plus petites que les précédentes et qui possèdent un apex spiralé peu visible. Leur diamètre moyen varie de 0,70 à 0,73 mm et leur hauteur de 0,67 à 0,68 mm. Les planchers sont planiseptaux et ont tendance à se réunir deux à deux dans la partie terminale de la zone marginale. L'appareil embryonnaire n'a pu être observé.

--- Ces Orbitolinopsis sont vraisemblablement des Orbitolinopsis cuvillieri Moullade du Barrémien.

C) Conclusion et essai de datation des couches de l'Achard.

La détermination de ces Orbitolinidae nous permet essentiellement d'avoir une idée de l'âge des marnes qui les contenaient. En combinant leur répartition stratigraphique et le tableau évolutif des appareils embryonnaires de J. HOFKER, nous sommes arrivés au résultat suivant :

	BARREMIEN			APT	IEN		
Datation	inf.	mo	yen	supé	rieur	Bédoulien	Gargasien
faite sur		base	sommet	base	sommet		
Dictyoconus barremianus							
Orbitolinopsis kiliani							
Orbitolinopsis cuvillieri							
Tableau évolutif des Appareils embryonnaires de J. HOFKER Pour A Pour B et C							
Position approximative de nos populations Pour A Pour B et C Pour D et E			• • • • • • • • • • • • • • • • • • •				?

En définitive, les individus du niveau A auraient un âge barrémien moyen à supérieur. Les couches B et C seraient barrémiennes tout à fait supérieures voire même bédouliennes. Quant aux niveaux D et E, en l'absence de tout repère stratigraphique, nous les attribuons au Bédoulien.

V. — SYNTHÈSE DES OBSERVATIONS MORPHOLOGIQUES ET ANATOMIQUES

Toutes les observations ont été résumées dans la figure 11 qui permet de faire ressortir deux constatations :

1° On peut observer qu'il existe des différences entre le groupe A d'une part et les groupes B et C d'autre part. Cependant les variations comme les différences de taille des individus microsphériques, la hauteur des loges et le diamètre de l'appareil mégalosphérique ne sont pas significatives et traduisent plutôt une évolution progressive des caractères, c'est-à-dire une évolution phyllétique.

2° Par contre entre les groupes A, B, C, et les groupes D et E, des variations apparaissent brutalement : disparition d'un stade de croissance et apparition dans le test de grains de quartz nombreux et de grande taille. Ces modifications semblent matérialiser un *changement spécifique*.

	FORMES	FORME DES PLANCHERS	COMPOSITION DU TEST	NOMBRE DE LOGES PAR 400 MICRONS	MESURES DE L'APPAREIL N.	ASPECT OF L'APPAREIL M.
A	•.	sphéri — sigeo — qas.annulaires.	+ Quartz	a - 5	D - 165 <i>u</i>	Land
	$\Box \bigcirc \bigcirc$	sphéri — signo — qqs.annulaires		M - S	н - 16 7 у	
	s	,scuți sphéri — signo — annulaires vraies	0	a - 5	_{لر} 77 - 0	LADDA
Ð	· 🛆 🛆	,scuti sphéri — signo – qqs. annulaires	·• Juartz	N - 7	H - 176 ₁₁	\bigcirc
c	IDEM	IDEM	IDEM	IDEM	D = 178 / H = 174 //	IDEM
D		sphéri — annulaires vraies				
E		sphéri — qqs. annulaires	•• UUBFTZ.			
	n : Formes microsphériques	sphéri : l	loges sphériseptale	:5		

M : Formes mégalosphériques	signo	: Loges sigmoseptales
 Moyennement 	scuti	: Loges scutiseptales
•• : Beaucoup	annulaires	: Loges annulaires

Fig. 11. - Synthèse des observations morphologiques et anatomiques.

VI. — DÉTERMINATION SPÉCIFIQUE (fig. 12)

La présence de petits Orbitolinidae et la convergence de forme des individus d'un niveau avec ceux des niveaux déjà connus nous ont amené à paralléliser nos couches avec d'autres plus célèbres.

Ainsi la présence de *Dictyoconus barremianus* et *Orbitolinopsis kiliani* rapprocherait la couche A de la couche intra-urgonienne de Clos d'Agoût. Mais nous pensons que la couche A est peut-être un peu plus ancienne. Par contre, la présence d'Orbitolinopsis cuvillieri dans les niveaux B et C et la convergence de forme des Orbitolines nous font penser au niveau du Rimet. Cependant ce dernier est peut-être plus récent.

Enfin seule la convergence de forme nous permet d'associer les couches D et E aux couches d'Orbitolines des Ravix.

La figure 12 résume les déterminations spéci-

GROUPES	FORMES	DETERMINATIONS BASEES SUR L'ASPECT EXTERNE	DETERMINATIONS BASEES SUR L'APPAREIL EMBRYON WAIRE
A		ORBITOLINA conulus (Douvillé) boehei (Prever)	PALORBITOLINA lenticularis (Schroeder)
B et C	\bigcirc	ORBITOLINA conoTdea (Gras)	FORM GROUP 1 (Hofker)
D et E	\bigcirc	ORBITOLINA — lenticularis (Blumenbach) — lenticularis (Blumenbach)	

FORMES MEGALOSPHERIQUES.

	1.10.000	included a	
		_	

FORMES MICROSONED LOUES



Fig. 12. - Tableau de détermination des Orbitolines de l'Achard.

fiques que l'on pourrait faire en se rapportant à celles des différents niveaux parallélisés. Nous avons vu que ces Orbitolines appartenaient toutes au genre *Palorbitolina* SCHROEDER et qu'il existait deux espèces, l'une dans les niveaux A, B et C et l'autre dans les niveaux D et E.

En se référant à la règle de priorité, la première doit se nommer Orbitolina conoïdea GRAS forme *conoïdea* pour les individus mégalosphériques, et Orbitolina conoïdea GRAS forme dis coïdea pour les individus microsphériques.

A la deuxième espèce il faudrait réserver le nom de *Palorbitolina lenticularis* BLUMENBACH.

Pour les différencier tant morphologiquement qu'anatomiquement, il suffit d'utiliser le tableau ci-dessous.

Détermination faite	Q. (Palorbitolina) conoidea	0. (Palorbițolina) Ienticularis
Fn examinant la morphologie externe des individus dégagés	<u>Présence de formes con</u> i- <u>ques de haute taille</u> .	Les individus ont un aspect général de "len- tilles" et on ne trouve <u>jamais de forme conique</u> <u>de haute taille</u> .
En examinant les individus sur des lames minces de roches	1. Les planchers des indi- vidus présentent un <u>stade</u> <u>sigmoseptal</u> très caracté- ristique.	 <u>il n'y a pas de stade</u> <u>sigmoseptal</u>. On passe directement du stade sphériseptal au stade annulaire.
	2. Le test est formé de <u>quartz de petite taille</u> (inf. à 50 microns).	2. Le test est formé de beaucoup de grains de quartz de grande taille (jusqu'à 100 microns).

VII. — CONCLUSION

L'observation des Orbitolines infra et supraurgoniennes du gisement de l'Achard nous a conduit, en fait, à étudier cinq stades évolutifs du genre *Palorbitolina* SCHROEDER. Au cours de cette étude, nous avons relevé essentiellement les deux modifications architecturales suivantes :

a) La perte d'un stade de croissance adulte, se traduisant par la diminution de taille des formes mégalosphériques.

b) L'acquisition d'un nouveau stade de croissance, le stade annulaire, faisant apparaître un élargissement progressif des individus microsphériques.

Ces modifications nous ont permis de formuler

deux hypothèses concernant l'évolution et l'accroissement des Orbitolines barrémo-aptiennes.

Nous pensons que :

— D'une part elles ont fait une tentative de développement en hauteur et en largeur en acquérant des loges entières de formes diverses et surtout des loges sigmoseptales ¹¹. Mais cet essai s'est soldé par un échec et par l'abandon de ces formes de loges trop compliquées et surtout limitatives. De ce fait, les Palorbitolines du Bédoulien se sont retrouvées avec des loges juvéniles sphéri-

¹¹ Notons qu'à la même époque on retrouve des loges sigmoseptales dans le Dictyoconus barremianus MOULLADE.

septales et quelques loges annulaires. C'est l'échec de cette tentative qui a certainement entraîné l'extinction rapide du genre *Palorbitolina*.

A l'Aptien, les Orbitolines vont essayer de se développer à nouveau en hauteur : c'est le cas de l'Orbilonina scutum FRITSCH, mais ce développement obtenu par la multiplication des loges sphériseptales est resté sans lendemain.

- D'autre part elles ont tenté de se développer en largeur à l'aide de loges annulaires. Ce mode de croissance, qui s'est affirmé lentement chez les formes microsphériques au cours du Barrémien, s'est révélé comme un succès complet. En effet, ce développement, qui n'est pas limitatif, assure en même temps une plus grande surface de contact avec le substratum. Aussi, après l'Aptien, les Orbitolines vont être constituées essentiellement de loges annulaires succédant à quelques loges sphériseptales.

Ainsi nous pouvons constater que, du Barrémien à l'Aptien, vont s'édifier et se diversifier plusieurs modes de croissance dont un seul sera conservé ultérieurement.

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

- DIENI (I.), MASSARI, MOULLADE (M.) (1963). Sur quelques Orbitolinidae des calcaires à faciès urgonien du Crétacé inférieur des environs d'Orosei (Sardaigne) (Bull. Soc. Paléont. Ital., 2, 2, p. 2-8).
- DOUGLASS (R. C.) (1960). Revision of the family Orbitolinidae (*Micropal.*, vol. 6, 3, p. 249-270).
- GRAS (A.) (1852). Catalogue des corps organisés fossiles qui se rencontrent dans le département de l'Isère. Grenoble.
- HENSON (F. R. S.) (1948). Larger imperforate Foraminifera of south-western Asia. London.
- HOFKER (J. Jr) (1963). The genus Orbitolina (Foraminiferida) (Leidse Geol. Med., 29, p. 181-253).
- (1954). Note sur Orbitolina conulus Douvillé (Rev. Micropal., 7, 1, p. 72-76).
- IMBRIE (F.) (1956). Biometrical methods in the study of invertebrate fossils (Bull. Am. Mus. New York, vol. 108, 2, p. 211-252).
- LIENERT (O.) (1965). Stratigraphic der Drusbergschichten und des Schrattenkalks im Säntisgebirge unter besonderer Berücksichtigung der Orbitoliniden (Dipl. Ing. Géol. E.T.H., Zürich).
- MOULLADE (M.) (1960). Les Orbitolinidae des microfaciès barrémiens de la Drôme (*Rev. Micropal.*, 3, 3, p. 188-198).
 - (1965). Contribution au problème de la classifi cation des Orbitolinidae (C. R. Acad. Sc. Paris, 260, 14, p. 4031-4034).

- MOULLADE (M.) et THIEULOY (J.-P.) (1965). Précisions sur Orbitolina? kiliani espèce type d'Orbitolinopsis silvestri (C. R. Acad. Sc. Paris, 261, p. 4175-4178).
- PREVER (P.-L.) (1909). Foraminifera in : Parona, C. F. La fauna coralligena del Cretaceo dei Monti d'Ocre nell'Abruzzo aguilano (*Carta Geol. Ital. Mem.* desc., 5, 1, p. 1-242).
- PREVER (P.-L.) et SILVESTRI (A.) (1904). Contribuo allo studio delle Orbitolinidae (Boll. Soc Geol. Ital., 23, 3, p. 477-486).
- RAT (P.) (1959). Le milieu et le développement des Orbitolines (Foraminifères) (Bull. Soc. Géol. Fr., 7, 1, p. 651-657).
- (1963 a). L'accroissement de taille et les modifications architecturales corrélatives chez les Orbitolines. In evolutionary trends in Foraminifera. Elsevier Publish, p. 93-109.
- (1963 b). Essai sur la répartition stratigraphique des divers genres architecturaux du genre Orbitolina (Coll. Crétacé inférieur, France, B.R.G.M., mém. 34).
- SCHROEDER (R.) (1963). Palorbitolina, ein neues Subgenus der Gattung Orbitolina (Foraminifera) (N. Jb. Geol. Palaeont. Abh., 117, p. 346-359).
 - (1964). Communication préalable sur l'origine des Orbitolines (C. R. Som. Soc. Géol. Fr., 10, p. 411 412).
- THIEULOY (J.-P.) et GIROD (J.-P.) (1964). L'Aptien et l'Albien fossilifère du synclinal d'Autrans (Vercors septentrional) (*Trav. Lab. Géol. Grenoble*, t. 40, p. 91, III).

Laboratoire de Géologie

de la Faculté des Sciences de Grenoble (Laboratoire de Géologie Alpine associé au C.N.R.S.).

Manuscrit déposé le 1^{er} octobre 1967.