

La structure des Siderolitinae, foraminifères du Crétacé supérieur

Autor(en): **Wannier, Mario**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Eclogae Geologicae Helvetiae**

Band (Jahr): **73 (1980)**

Heft 3

PDF erstellt am: **17.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-164999>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Eclogae geol. Helv.	Vol. 73/3	Pages 1009–1029	4 figures dans le texte et 4 planches	Bâle, novembre 1980
---------------------	-----------	-----------------	--	---------------------

La structure des Siderolitinae, foraminifères du Crétacé supérieur

Par MARIO WANNIER¹⁾

RÉSUMÉ

Des foramina multiples ainsi qu'un système canalifère à canaux équatoriaux sont les structures caractéristiques des Siderolitinae, foraminifères planispiralés et involutes du Crétacé supérieur. La géométrie du système canalifère ainsi que l'absence ou la présence de logettes latérales permettent de reconnaître quatre groupes de formes, auxquelles il est proposé une valeur générique. La géométrie du système canalifère des Siderolitinae permet une connection directe entre les loges du centre de la spire et la surface du test; il semble donc que ce système ait rempli les mêmes fonctions que les canaux chez les *Operculina* récentes.

ABSTRACT

The Siderolitinae, a group of involute, planispiral, large Foraminifera of the Upper Cretaceous, are characterized by multiple foramina and a canal system with equatorial canals. Four morphological groups can be recognized, based on the geometry of the canal system and the presence or absence of lateral chamberlets; these groups are proposed as taxa on a generic level. The geometry of the canal system of the Siderolitinae allows a direct communication between the innermost chambers and the surface of the test; it is concluded that the system fulfilled the same functions as the canal system in present day *Operculina*.

Introduction

Les foraminifères du Crétacé supérieur rapportés aux genres *Siderolites*, *Pseudo-siderolites* et *Arnaudiella* possèdent une structure interne spécialisée qui est encore mal connue. Grâce à des répliques des cavités du test en baume du Canada, HOFKER (1926) étudia le sarcode de *Siderolites calcitrapoides*. Des artéfacts, liés à cette méthode de préparation, lui firent découvrir un «Ringkanal», canal en cercle fermé dans l'ombilic; le nombre et la position des foramina, probablement obstrués par les cristaux d'un ciment primaire, ne furent pas décrits. ARNI (1932) présenta une excellente analyse des éléments de la structure de *Pseudosiderolites vidali*, mais, dans la reconstitution qu'il en donna, leur arrangement géométrique reste confus. En particulier, le système des foramina multiples (HOFKER 1963) n'a pas été reconnu. DOUVILLÉ (1906) décrivit le genre *Arnaudiella*, proche de *Siderolites* et caractérisé par la présence de logettes latérales des deux côtés de la spire des loges. Ce genre, monospécifique, a fait dernièrement l'objet d'une révision (VAN GORSEL 1974); les éléments de sa structure interne ont été décrits, mais la géométrie du système canalifère restait à préciser.

¹⁾ Geologisches Institut, Bernoullistrasse 32, CH-4056 Basel.

La connaissance détaillée de la morphologie du test permet la formulation d'hypothèses sur la fonction de ses éléments; le rôle du système canalifère ne peut se comprendre que lorsque sa géométrie est bien connue. Ce travail, qui présente les principaux résultats de ma thèse de doctorat, offre une analyse approfondie des éléments du test et en particulier de la géométrie du système canalifère des genres *Siderolites*, *Pseudosiderolites* et *Arnaudiella*. La description systématique des espèces rapportées à ces genres et leur répartition stratigraphique fera l'objet d'une publication séparée (Rev. españ. Micropaleont., sous presse).

Le genre *Siderolites* et les formes affines du Crétacé supérieur, *Pseudosiderolites* et *Arnaudiella*, sont regroupés ici dans la sous-famille Siderolitinae FINLAY 1939 (REISS 1963). Les exemplaires figurés dans ce travail sont déposés au Musée d'Histoire naturelle de Bâle.

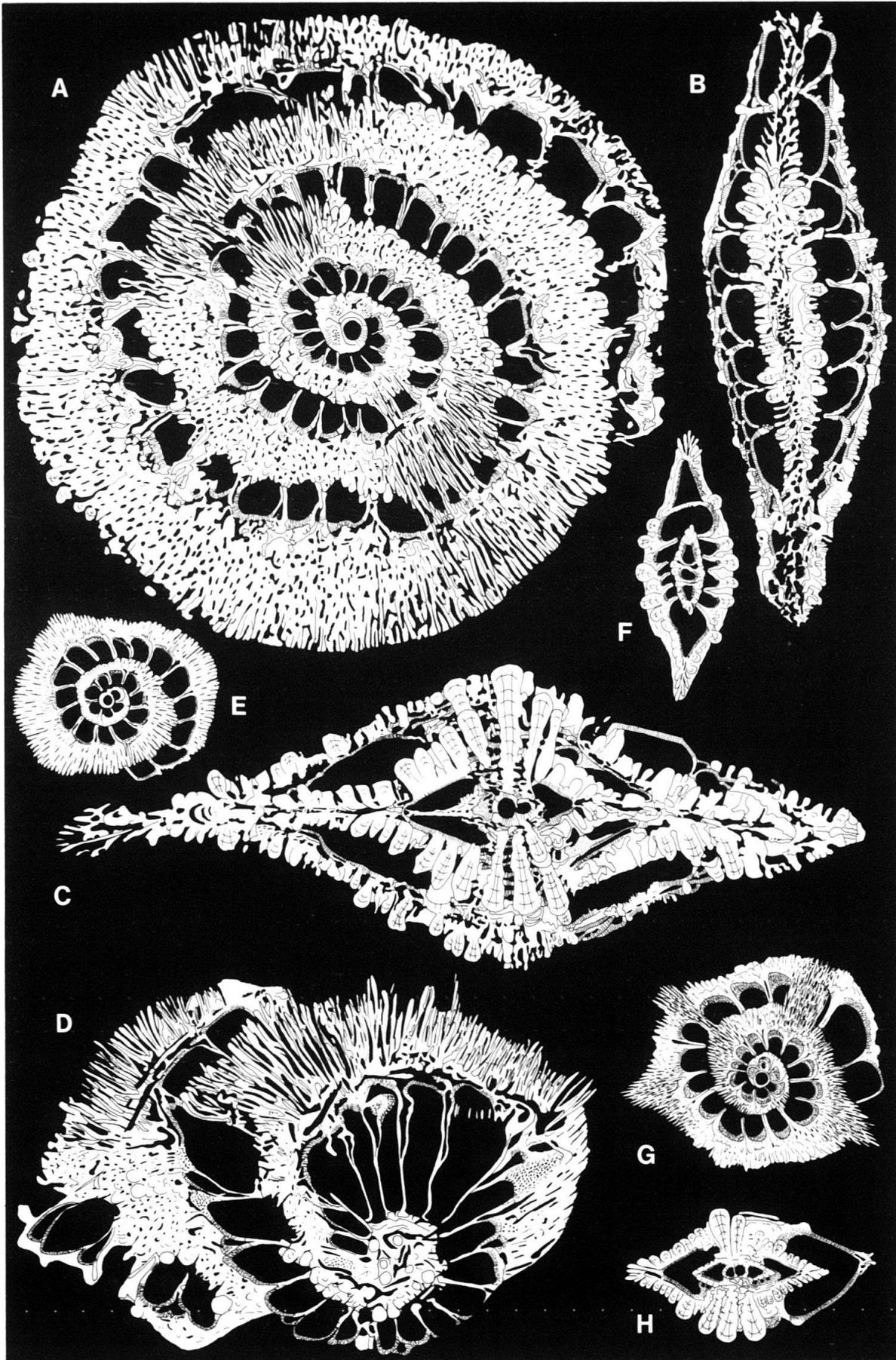
Ce travail fait partie d'un projet de recherches sur l'écologie et la morphologie fonctionnelle d'organismes participant à la formation des sédiments marins, sous la direction de L. Hottinger et subventionné par le Fond National Suisse sous les numéros 392572 et 301976.

Le bâti du test

Les Siderolitinae sont des foraminifères perforés dont les loges involutes sont arrangées en une spirale plane; les septa, doublés, renferment des canaux. Extérieurement, ils se reconnaissent à leur forme lenticulaire, leur ornementation de pustules arrangées parallèlement aux cloisons ainsi qu'à leur périphérie percée de canaux et parfois pourvue d'épines.

Fig. 1. Siderolitinae; coupes minces dessinées par projection. Agrandissement: $\times 25$.

A = *Pseudosiderolites vidali* (DOUVILLÉ); Campanien (Zone à Orbitoides tissoti); Santa Magdalena (Pobla de Segur, Catalogne); coupe subéquatoriale d'un spécimen mégasphérique. Noter les logettes latérales présentes dès le deuxième tour de spire; les canaux équatoriaux radiaires relient sans interruption différents tours de spire et communiquent parfois à travers le septum. B = Autre exemplaire de la même espèce, provenant du même endroit; coupe tangentielle. Noter la présence de logettes latérales; la surface extérieure du test a été abrasée et les canaux des mailles latérales ne sont plus visibles. C = Autre exemplaire de la même espèce, provenant de la même localité. Coupe axiale d'une forme mégasphérique montrant des foramina dès le premier tour de spire et les connections des canaux équatoriaux radiaires d'un tour de spire à l'autre. Noter la présence de logettes latérales. D = Autre exemplaire de la même espèce, provenant de la même localité. Coupe oblique montrant les canaux marginaux et leurs communications avec les canaux intraseptaux latéraux et avec les canaux équatoriaux radiaires. Noter les segments du canal spiral dans l'ombilic et la présence de logettes latérales. E = Nov. gen., nov. sp.; Campanien (Zone à Orbitoides media); Champ de foire, Aubeterre (Charente); coupe équatoriale d'un individu mégasphérique; noter le bord périphérique arrondi et le développement régulier des canaux équatoriaux radiaires. F = Autre exemplaire de ce nouveau genre; Campanien (Zone à Orbitoides tissoti); Falaises du Cailleau (Charente Maritime); coupe tangentielle montrant les débouchés du système canalifère le long de la périphérie. G = Autre exemplaire de ce nouveau genre; Campanien (Zone à Orbitoides media); Conche des Nonnes, Royan (Charente Maritime); coupe équatoriale d'un individu mégasphérique possédant une périphérie denticulée. Noter les communications des canaux équatoriaux radiaires d'un tour de spire à l'autre. H = Autre exemplaire mégasphérique provenant de la même localité; noter les foramina multiples et les connections entre les canaux équatoriaux radiaires de différents tours de spire.



Forme extérieure du test et ornementation

On observe une augmentation de la taille des Siderolitinae depuis le Santonien jusqu'au Maastrichtien. La forme et les proportions du test sont sujettes à d'importantes variations. Dans une même population et pour un diamètre équatorial donné, les spécimens peuvent varier du simple au triple dans leur épaisseur. La forme lenticulaire reste en général symétrique par rapport au plan équatorial mais le bord périphérique est parfois ondulé ou une des faces latérales est plane.

Les extrémités des piliers forment les pustules de la surface du test. Ordonnées en rangées qui rayonnent du centre vers la périphérie, les pustules sont disposées en lignes droites, tantôt en lignes recourbées; elles diminuent de taille du centre vers les bords. Les flancs des pustules possèdent un relief particulier, formé de lames verticales allongées (pl. 1, fig. 5) se terminant parfois par un petit crochet; l'extrémité arrondie de la pustule est lisse. Cette ornementation des pustules est identique à celle observée chez les espèces récentes du genre *Calcarina* (HOTTINGER & LEUTENEGGER 1980). Les bourrelets et les chevrons imperforés, qui forment le relief primaire des dernières loges (pl. 4, fig. 6), constituent un deuxième cas de convergence entre l'ornementation des Siderolitinae et celle du genre *Calcarina* (HOTTINGER & LEUTENEGGER 1980); cette ornementation préfigure la géométrie des espaces intraseptaux.

Le bord périphérique

Le développement de la périphérie, en particulier la présence d'épines, a été utilisé comme élément taxonomique principal lors de la description des genres et espèces de Siderolitinae (LAMARCK 1801, DOUVILLÉ 1906, SMOUT 1955).

La périphérie est percée par les débouchés des canaux; chez les formes ne possédant pas d'épines, elle est normalement élargie et arrondie. Cependant, à deux reprises, des Siderolitinae possèdent un bord équatorial découpé. Dans le Campanien de l'Aquitaine et de la Catalogne, la périphérie des Siderolitinae montre une tendance à la formation de denticulations (VAN GORSEL 1974). Des populations d'individus à la périphérie arrondie comprennent, dans une faible proportion (environ 5%), des spécimens dont le bord équatorial est découpé (pl. 2, fig. 1). Ce caractère n'est pas lié à une forme particulière du test ni à une ornementation spéciale. Les coupes minces de ces spécimens montrent que les denticulations correspondent à certains secteurs de la périphérie, où les canaux équatoriaux sont rallongés (fig. 4c). Dans le Maastrichtien supérieur, *Siderolites denticulatus* possède une périphérie tantôt circulaire (pl. 4, fig. 1), tantôt angulaire ou pourvue de protubérances pétaloïdes (pl. 4, fig. 2). Dans ce cas également, tous les intermédiaires existent entre les formes à pourtour circulaire et celles denticulées; ces variations sont engendrées par un rallongement radial des canaux équatoriaux, restreint à des secteurs de la périphérie.

Les denticulations de la périphérie sont donc un caractère de nature graduelle; il est dangereux de l'utiliser comme critère taxonomique principal dans les distinctions génériques.

Les formes à épines

Dès la base du Maastrichtien apparaît *Siderolites calcitrapoides*, qui possède des épines bien développées, en nombre variable. Ces épines sont des pointes cylindri-

ques, individualisées du reste de la périphérie et rayonnant généralement dans le plan équatorial du test (pl. 4, fig. 3). Elles se forment dès le premier tour de spire par un plissement des lamelles secondaires au-dessus de la paroi équatoriale des loges. Des épines secondaires peuvent naître dans les tours de spire postérieurs (HOFKER 1949); toutes se prolongent au-delà de la spirale des loges. Elles renferment des faisceaux de canaux, interconnectés entre eux et qui traversent le test sans interruption. Les épines possèdent une ornementation formée par des bourrelets allongés au contour irrégulier (pl. 4, fig. 4, 5).

L'appareil embryonnaire et les loges

L'appareil embryonnaire est constitué par une protoconque subsphérique et une deutéroconque réniforme, entourées par une épaisse lamellation. Chez les Siderolitinae santonniens et campaniens, le dimorphisme consiste en une importante réduction du volume de l'appareil embryonnaire; les formes microsphériques construisent un tour de spire supplémentaire pour compenser cette diminution volumétrique initiale. Pendant le Maastrichtien, les Siderolitinae ne montrent pas un dimorphisme bien tranché (COSIJN 1942).

Les loges, involutes, sont composées de deux parois latérales, d'un «septal face» et d'un «septal flap»; aucun élément imperforé de type «tooth plate» n'existe à leur base. Les loges reposent directement sur la surface ornémentée du tour de spire inférieur. Les parois latérales des loges sont perforées; les pores «débouchent» soit

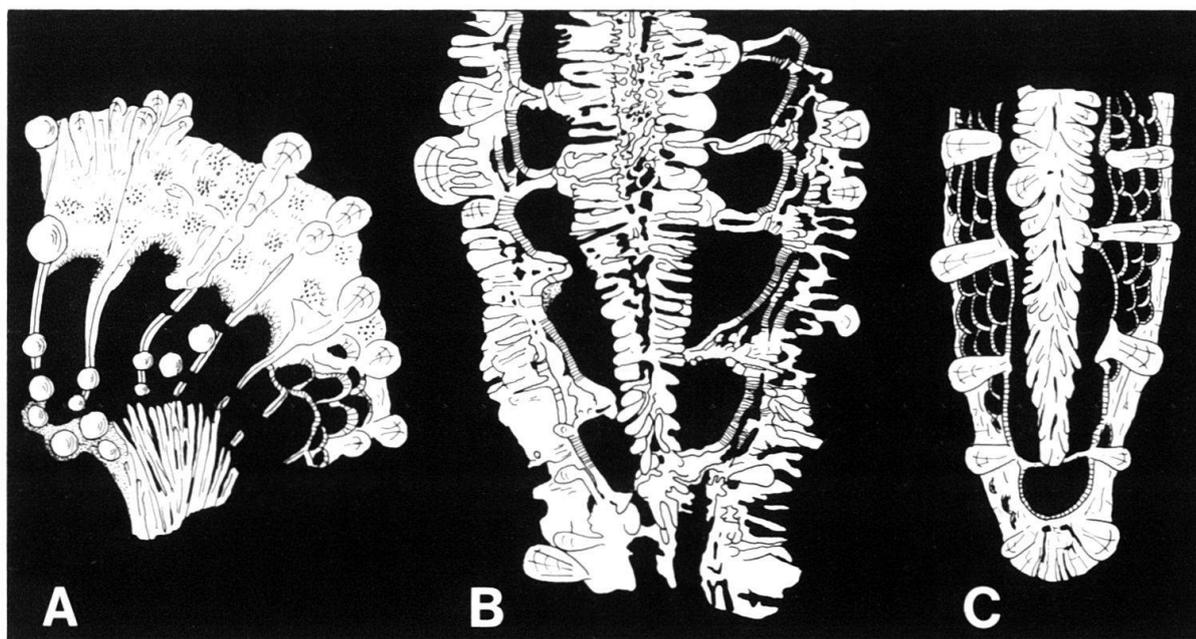


Fig. 2. Siderolitinae; détails de coupes minces dessinées par projection. Agrandissement $\times 40$.

A = *Arnaudiella grossouvrei* DOUVILLÉ; Campanien (Zone à Orbitoides tissoti); Falaises du Cailleau (Charente Maritime); coupe oblique montrant les foramina. B = *Pseudosiderolites vidali* (DOUVILLÉ); Campanien (Zone à Orbitoides tissoti); Santa Magdalena (Pobla de Segur, Catalogne); coupe tangentielle montrant la forme comprimée et allongée des logettes latérales. C = *Arnaudiella grossouvrei* DOUVILLÉ; Campanien (Zone à Orbitoides tissoti); Torallola (Tremp, Catalogne); coupe tangentielle; noter la forme régulière des logettes latérales et l'absence de canaux sur les parois latérales des loges.

dans le système canalifère, soit à la surface du test. Le diamètre des pores augmente, du premier au dernier tour d'un même individu. Chez *Pseudosiderolites vidali*, les pores atteignent un diamètre de 4,5 μm ; chez les autres Siderolitinae, ce diamètre est au maximum de 2 μm . Le nombre de pores par unité de surface est un caractère variable chez un même individu; la densité y est toujours plus élevée dans les premières loges que dans les dernières.

Les logettes latérales

Pseudosiderolites vidali possède des logettes latérales étroites et allongées, qui apparaissent dans les derniers tours de spire. Des lamelles perforées couvrent d'abord les espaces interseptaux, puis se développent par étages successifs, les unes au-dessus des autres, sans ordre apparent (fig. 2B). Chez *Arnaudiella grossouvrei* des logettes latérales sont formées dès le premier tour de spire et, par étages superposés, recouvrent les parois latérales des loges jusqu'au bord périphérique (VAN GORSEL 1974). Il s'agit d'une mosaïque régulière de petites logettes latérales, de forme plus ou moins hémisphérique (fig. 2c), semblables à celles observées chez *Helicorbitoides* (MAC GILLAVRY 1963) et chez *Lepidorbitoides* (VAN GORSEL 1976).

Foramina et ouverture principale

Au centre de la spire, la protoconque communique avec la deutéroconque par un seul foramen, situé généralement dans le plan équatorial. La deutéroconque communique avec la loge suivante par un foramen arrondi, à la base du septum en position équatoriale. Dès lors, toutes les loges communiquent entre elles par des foramina multiples, alignés en une seule rangée à la base du septum (pl. 1, fig. 4, 7). On compte de 3 à 7 foramina dans les loges du premier tour; chez *Pseudosiderolites vidali*, ils dépassent la trentaine dans les dernières loges. Ce système de foramina multiples apparaît ainsi pour la première fois (Santonien) chez les foraminifères perforés; il existe chez tous les Siderolitinae (HOFKER 1963) et représente de ce fait un caractère taxonomique important à un niveau supragénérique.

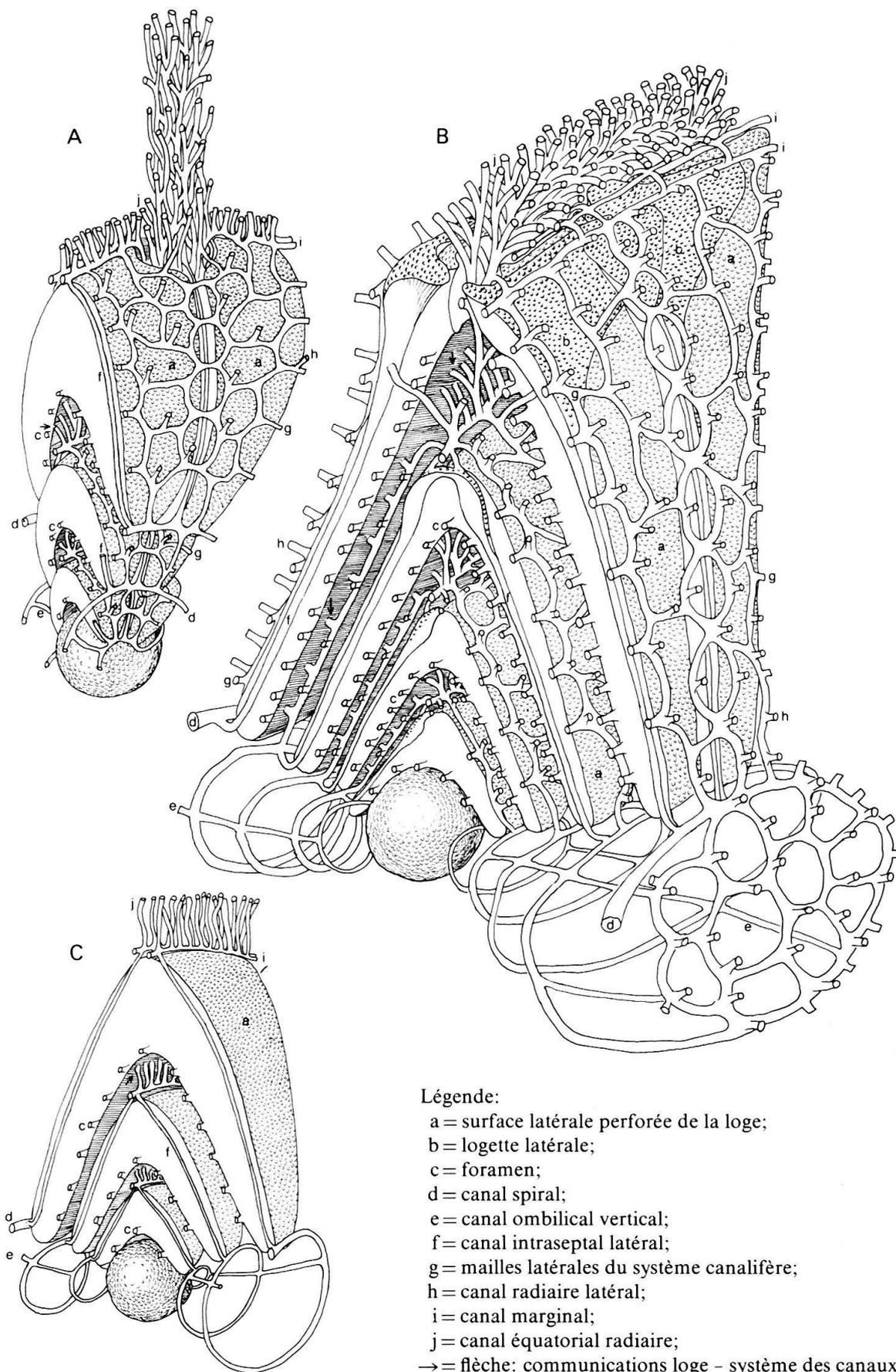
Les spécimens dont la dernière loge est préservée montrent une face aperturale close, sans ouverture principale (pl. 2, fig. 3).

Les éléments du système canalifère

Dans chaque ombilic se trouve un canal spiral; chez *Pseudosiderolites vidali*, ce canal possède un tracé grossièrement polygonal. Des canaux ombilicaux verticaux,

Fig. 3. Le sarcode des Siderolitinae. (Modèles montrant la géométrie et les communications des loges et du système canalifère; agrandissement environ $\times 50$.)

A = Nov. gen.; Siderolitinae dont le système canalifère est constitué par deux canaux spiraux, qui communiquent par les canaux intraseptaux latéraux avec les canaux marginaux et les canaux équatoriaux radiaires. Lorsque les parois latérales des loges sont surmontées par des logettes, la structure du genre *Arnaudiella* se trouve réalisée. B = *Pseudosiderolites vidali* (DOUVILLÉ) possède l'arrangement des canaux décrit ci-dessus (nov. gen.), avec en plus, des mailles latérales et des canaux radiaires latéraux. La présence de logettes latérales le distingue de C = *Siderolites calcitrapoides* LAMARCK, caractérisé par des canaux équatoriaux développés en faisceaux dans les épines.



Légende:
 a = surface latérale perforée de la loge;
 b = logette latérale;
 c = foramen;
 d = canal spiral;
 e = canal ombilical vertical;
 f = canal intraseptal latéral;
 g = mailles latérales du système canalifère;
 h = canal radiaire latéral;
 i = canal marginal;
 j = canal équatorial radiaire;
 → = flèche: communications loge - système des canaux.

s'agençant le long des piliers, permettent une liaison entre les différents tours du canal spiral. Le canal spiral «recueille» les canaux intraseptaux latéraux (pl. 1, fig. 3); ces derniers communiquent d'une part avec des espaces intraseptaux irréguliers et d'autre part avec les canaux marginaux et équatoriaux de la périphérie.

Chez *Pseudosiderolites vidali* et *Siderolites calcitrapoides*, il existe, par dessus le canal intraseptal latéral, un ensemble de canaux anastomosés, reliant le canal spiral avec les canaux marginaux et équatoriaux. Ces mailles latérales supportent elles-mêmes des canaux radiaires latéraux, qui sont des voies de communication entre le système canalifère et le lumen des loges ou le milieu extérieur (pl. 3, fig. 4; pl. 4, fig. 7). Les coupes minces de *Pseudosiderolites vidali* montrent que les canaux équatoriaux, appartenant à des tours de spire successifs, sont parfois connectés entre eux (pl. 1, fig. 8). Il en résulte un cloisonnement équatorial imparfait des loges, sans qu'il y ait addition d'une seconde spirale, comme c'est le cas chez *Biplanispira* (UMBROVE 1936, 1938). Cette connection particulière est due à la présence d'un bord périphérique rallongé, qui sert de support au toit des loges nouvellement formées. Les canaux équatoriaux radiaires se prolongent parfois à travers le septum des loges d'un tour de spire supérieur.

Le long de leur extension vers l'extérieur, les canaux équatoriaux se divisent en canaux équatoriaux secondaires; à leur base, ils sont reliés par un ou plusieurs canaux marginaux (fig. 1D; pl. 1, fig. 2). Ces derniers méandrent, ce qui les rend difficilement détectables dans les coupes minces orientées. Ils ne constituent pas une véritable corde marginale comme chez les Nummulitidae, où les canaux marginaux, en plus grand nombre, sont développés en faisceaux (HOTTINGER & DREHER 1974).

Chez *Siderolites calcitrapoides* et *Siderolites denticulatus*, les canaux intraseptaux latéraux des loges du premier tour de spire communiquent, par une extension latérale, avec les canaux des épines (pl. 1, fig. 9). Ces derniers sont anastomosés; ils se développent en faisceaux qui relient directement les loges du centre de la spire avec l'extérieur du test. Chez *Siderolites denticulatus*, des canaux équatoriaux radiaires, restreints à des secteurs équatoriaux, traversent le test sans interruption, depuis le premier tour jusqu'au bord périphérique (PFENDER 1934).

La circonférence des canaux augmente du premier au dernier tour; à un même stade de croissance, les différents types de canaux possèdent des diamètres comparables. Les canaux ont un diamètre de 2 à 3 fois supérieur à celui des pores; chez *Pseudosiderolites vidali*, le diamètre des canaux peut atteindre 12 μm , tandis qu'il varie de 5 à 10 μm chez les autres Siderolitinae.

Modifications du système canalifère

Deux types de géométrie du système canalifère ont été reconnus; couplés avec l'absence ou la présence de logettes latérales, ils permettent la distinction de quatre groupes naturels. Chacun de ces groupes, qui se succèdent dans le temps, correspond à un stade évolutif particulier; ils indiquent les tendances de l'histoire phylogénétique des Siderolitinae.

Un premier type simple de géométrie, sans logettes latérales, caractérise les Siderolitinae du Santonien; il existe jusqu'au Campanien. Le système canalifère comporte un canal spiral dans chaque ombilic, communiquant par les canaux

intraseptaux latéraux avec les canaux marginaux et équatoriaux (fig. 3A). Dans ce cas, les parois latérales des loges sont libres de canaux et les pores débouchent à la surface du test (pl. 2, fig. 2). Ce type est aisément reconnaissable; il mérite d'être élevé au rang générique. Une description des espèces possédant cette structure canalifère est en voie de publication. *Arnaudiella grossouvrei* (Campanien) possède ce type simple de système canalifère ainsi que des logettes latérales des deux côtés de la spire.

Une modification du système canalifère simple consiste dans l'adjonction de mailles latérales (fig. 3B). Dans ce cas, on trouve, au-dessus des parois latérales des loges, un ensemble de canaux au tracé sinueux; interconnectés entre eux, ils relient le canal spiral avec les canaux avec les canaux marginaux et équatoriaux. De ces mailles latérales naissent les canaux radiaires latéraux, qui sont autant de voies de communication avec le lumen des loges superposées ou la surface extérieure du test. Ainsi donc, la surface du test, criblée de pores dans les deux cas précédents, est ici perforée par les débouchés des canaux (pl. 3, fig. 4; pl. 4, fig. 7). Ce type de système canalifère, dont la genèse a été étudiée chez les Calcarinidae récents, a été nommé «envelopping canal system» par HOTTINGER & LEUTENEGGER (1980).

Toutes les espèces du genre *Siderolites* (Maastrichtien) possèdent un système canalifère à mailles latérales. L'espèce *Siderolites calcitrapoides* est caractérisée par la présence d'épines renfermant des faisceaux de canaux équatoriaux (fig. 3c). *Pseudosiderolites vidali* (Campanien) possède le système canalifère à mailles latérales ainsi que des logettes latérales (fig. 1B, C; 2B). Pendant l'Eocène, le même type de système canalifère se retrouve chez *Pellatispira* (UMBROVE 1928).

Ces types de systèmes canalifères, possédant tous des canaux équatoriaux radiaires, sont propres aux Calcarinidae. Ils ne comprennent pas la corde marginale, avec le canal du sulcus, caractéristiques des foraminifères operculiniformes (HOTTINGER 1977). La présence de canaux équatoriaux et marginaux les distinguent des *Elphidium* s. str.; ces derniers possèdent un canal intraseptal latéral qui communique vers l'extérieur grâce à des rangées de débouchés radiaires dans chaque suture (HOFKER 1968, HANSEN & LYKKE-ANDERSON 1976).

Conséquences pour la taxonomie

La sous-famille des Siderolitinae, telle qu'elle est comprise ici, regroupe les foraminifères possédant un enroulement planispiral, des foramina multiples à la base des septa ainsi que des canaux équatoriaux radiaires débouchant le long de la périphérie. Son extension stratigraphique est ainsi restreinte au Crétacé supérieur (Santonien-Maastrichtien). Deux types géométriques du système canalifère, couplés avec l'absence ou la présence de logettes latérales, permettent de reconnaître quatre groupes de formes, auxquelles il est proposé un rang générique (nov. gen., *Arnaudiella*, *Pseudosiderolites*, *Siderolites*).

Les formes paléogènes, *Miscellanea*, *Pellatispira* et *Biplanispira* sont planispirales et possèdent des canaux équatoriaux. Elles se distinguent des Siderolitinae par leur liaison interloculaire unique, gros foramen basal et équatorial (PFENDER 1934, UMBROVE 1928, 1936, 1938). Le genre *Calcarina*, néogène et récent, est trochospiralé; il ne possède donc qu'un seul canal spiral; les liaisons interloculaires sont des

foramina multiples, disposés en rangées superposées (HOTTINGER & LEUTENEGGER 1980).

Conclusions sur la fonction du système des canaux

La géométrie du système canalifère des Siderolitinae ménage un accès direct au protoplasme, depuis le centre du test jusqu'à l'extérieur, sans devoir passer par toutes les loges de la spire. Chez les formes santoniennes et campaniennes (nov. gen. et *Arnaudiella*), le système canalifère débouche vers l'extérieur le long du bord équatorial. Une communication directe entre le centre du test et la périphérie est possible grâce aux canaux équatoriaux, parfois connectés d'un tour de spire à l'autre. Des combinaisons utilisant différents canaux (p.ex. canaux ombilicaux verticaux → canaux intraseptaux latéraux → canaux équatoriaux radiaires) permettent des liaisons raccourcies avec l'extérieur. Chez *Pseudosiderolites* et *Siderolites*, la présence de mailles latérales permet au système canalifère de déboucher sur toute la surface du test. Des connections directes entre les premières loges et le bord périphérique sont permises par les canaux des épines (*Siderolites calcitrapoides*) ou par des canaux équatoriaux radiaires, traversant plusieurs tours de spire successifs (*Pseudosiderolites vidali* et *Siderolites denticulatus*). L'exemplaire du *Pseudosiderolites vidali* (fig. 1A) compte environ 70 loges; au niveau des dernières loges, la distance parcourue par la spire est plus de huit fois supérieure à la connection directe possible à travers les canaux ombilicaux équatoriaux radiaires. En direction axiale, les canaux ombilicaux verticaux établissent des accès directs entre le centre du test et l'extérieur.

Ces arrangements géométriques des canaux permettent au protoplasme un meilleur accès vers l'extérieur que chez les foraminifères operculiniformes récents; chez ces derniers, un nombre restreint de canaux débouchent le long de la périphérie ainsi que dans les sutures des loges (HOTTINGER 1977). La fonction principale des canaux, que l'on suppose chez ces foraminifères récents, a pu être remplie par le système canalifère des Siderolitinae; en position rétractée au centre de son test, l'animal peut se servir de ses pseudopodes et se déplacer dans toutes les directions, grâce aux débouchés des canaux (HOTTINGER 1977).

Au cours de leur évolution, les Siderolitinae ont perfectionné cette disposition des canaux leur permettant un accès direct vers l'extérieur, depuis le centre du test. Chez les formes santoniennes (fig. 4A), les débouchés des canaux vers l'extérieur sont restreints à la périphérie; il n'y a pas de communication directe entre les canaux équatoriaux de plusieurs tours de spire successifs. Ces connections s'établissent

1 = Coupe équatoriale d'un spécimen mégalosphérique. Santonien (Zone à Orbitoides hottingeri); Font de las Bagasses (Sierra de Montsech, Tremp, Catalogne). Les communications entre le système canalifère et la surface extérieure du test sont restreintes aux débouchés des canaux équatoriaux radiaires du dernier tour de spire. 2 = Coupe axiale d'un spécimen mégalosphérique de la même localité. Noter l'absence de connections entre les canaux équatoriaux radiaires des différents tours de spire. 3 = Coupe équatoriale d'un spécimen mégalosphérique; Campanien (Zone à Orbitoides megaliformis); Château d'Aubeterre (Charente). Des canaux équatoriaux radiaires de l'avant-dernier tour de spire débouchent à la surface extérieure du test. 4 = Coupe axiale d'un autre spécimen mégalosphérique de la même localité.

Noter la connection entre les canaux équatoriaux radiaires des derniers tours de spire.

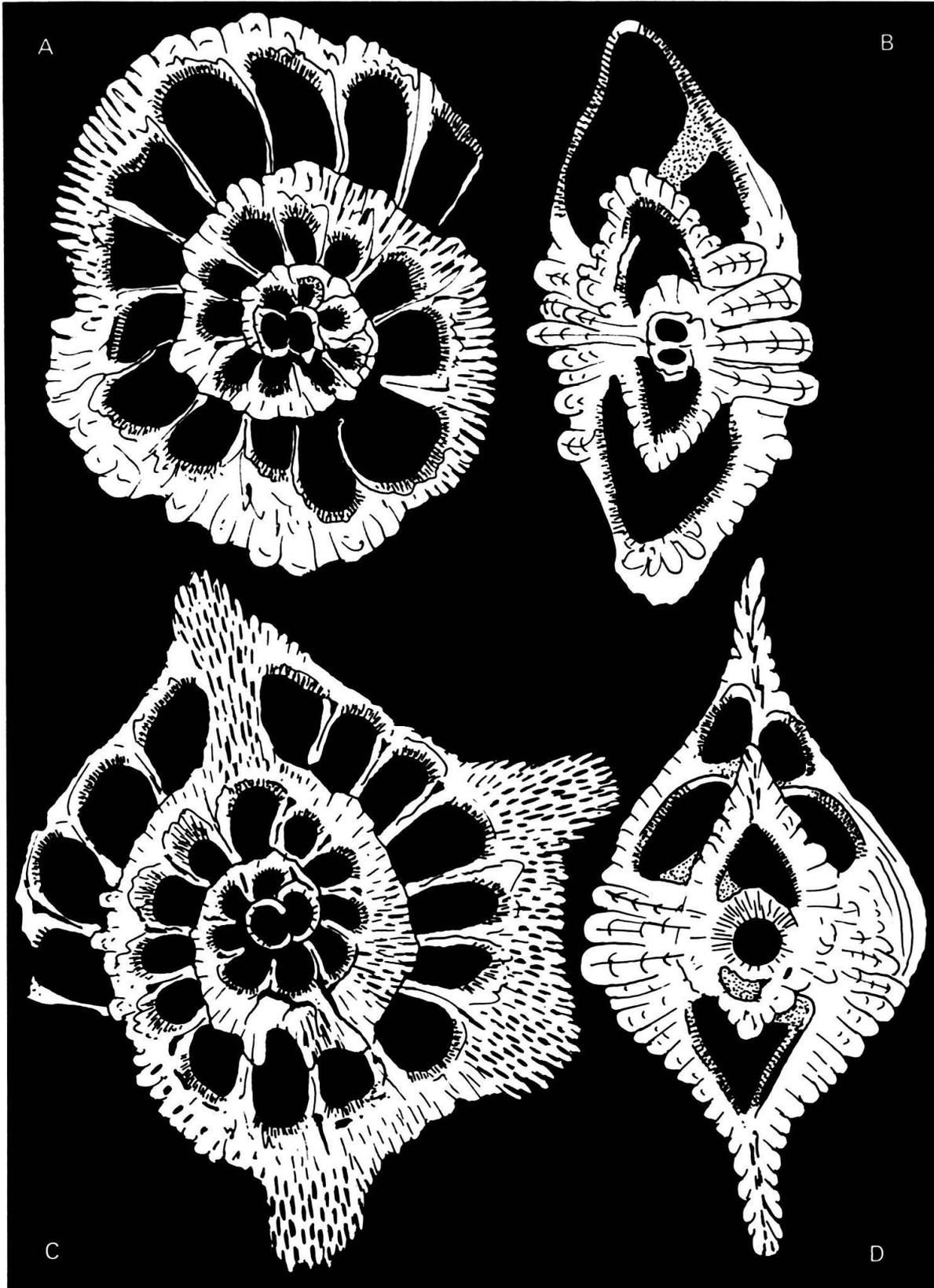


Fig. 4. Nov. gen., nov. sp.; coupes minces dessinées par projection. Agrandissement $\times 80$.

pendant le Campanien chez nov.gen. (fig. 4c) et *Arnaudiella*, mais l'accès du système canalifère vers l'extérieur est encore limité au bord périphérique. Avec l'apparition de mailles latérales chez *Pseudosiderolites* (Campanien), le système canalifère peut déboucher sur toute la surface du test; les liaisons directes entre les canaux équatoriaux radiaires de tours de spire successifs existent, mais de manière irrégulière. Les canaux ombilicaux verticaux sont des voies de passage directes entre le centre du test et l'extérieur; les débouchés radiaires des mailles latérales couvrent les surfaces latérales du test. Dès la base du Maastrichtien, le genre *Siderolites* possède des canaux dont les débouchés couvrent toute la surface du test. Les communications directes entre le centre du test et la périphérie sont assumées par les canaux des épines (*Siderolites calcitrapoides*) ou par des canaux équatoriaux radiaires, dont les connections d'un tour de spire à l'autre sont régulières (*Siderolites denticulatus*). Les canaux ombilicaux verticaux permettent des sorties dans les pôles ombilicaux, tandis que les canaux radiaires latéraux permettent un débouché sur toute la surface restante du test.

Remerciements

M. le professeur L. Hottinger (Institut de Géologie-Paléontologie, Bâle) m'a guidé dans ce travail; ses observations sur le système canalifère des Calcarinidés récents ainsi que ses critiques m'ont été très profitables. Les discussions avec M^{me} E. Müller-Merz (Musée d'Histoire naturelle, Bâle) m'ont beaucoup aidé lors de l'interprétation des coupes minces. E. Caus (Département de Paléontologie, Université Autonome, Barcelone), M. Séronie-Vivien (Bordeaux), ainsi que J.P. Collin (Compagnie Esso, Bordeaux) et J.M. Villain (Compagnie Total, Bordeaux) m'ont fait parvenir des échantillons de roches et des faunes dégagées. Les photographies au microscope électronique ont été réalisées au laboratoire de R. Guggenheim (Institut de Géologie-Paléontologie, Bâle), avec l'aide de M. et H. P. Giuliani.

BIBLIOGRAPHIE

- ARNI, P. (1932); *Eine neue Siderolites Spezies (S. heracleae) aus dem Senon von Ereğli an der kleinasiatischen Schwarzmeerküste und Versuch einer Bereinigung der Gattung.* - *Eclogae geol. Helv.* 25, 199-122.
- COSIJN, A.J. (1942): *On the phylogeny of the embryonic apparatus of some foraminifera.* - *Leidse geol. Meded.* 13, 140-171.
- DOUVILLÉ, H. (1906): *Evolution et enchaînement des foraminifères.* - *Bull. Soc. géol. France* 4/6, 588-602.
- GORSEL, J.T. VAN (1974): *Some complex upper Cretaceous rotaliid foraminifera from the northern border of the Aquitaine basin.* - *Proc. (k.) nederl. Akad. Wetensch. (B)* 77/4, 319-339.
- (1976): *Evolutionary trends and stratigraphic significance of the late Cretaceous Helicorbitoides-Lepidorbitoides lineage.* - *Utrecht micropaleont. Bull.* 12, 1-99.
- HANSEN, H.J., & LYKKE-ANDERSON, A.L. (1976): *Wall structure and classification of fossil and recent elphidiid and nonionid foraminifera.* - *Foss. and Strata* 10, 1-37.
- HOFKER, J. (1926): *Die Foraminiferen aus dem Senon Limburgens. I. Calcarina calcitrapoides (Lamarck).* - *Natuurhist. Maandbl.* 15/2, 14-17.
- (1949): *On foraminifera from the upper Senonian of south Limburg (Maastrichtian).* - *Mém. Inst. r. Sci. nat. Belg.* 112, 1-68.
- (1963): *The taxonomic position of Siderolites calcitrapoides Lamarck.* - *Natuurhist. Maandbl.* 52, 109-114.
- (1968): *Studies of foraminifera; Part I, general problems.* - *Natuurhist. Genoot. Limburg* 18, 1-70.
- HOTTINGER, L. (1977): *Foraminifères operculiniformes.* - *Mém. Mus. natl. Hist. nat. (Paris) [n.s.] (C)* 40, 1-159.
- HOTTINGER, L., & DREHER, D. (1974): *Differentiation of protoplasm in Nummulitidae (Foraminifera) from Eilat, Red Sea.* - *Marine Biol.* 25, 41-61.

- HOTTINGER, L., & LEUTENEGGER, S. (1980): *The structure of calcarinid foraminifera*. - Mém. Soc. paléont. suisse 101 (sous presse).
- LAMARCK, J.B. (1801): *Système des animaux sans vertèbres, ou tableau général des classes, des ordres et des genres de ces animaux*. - Paris.
- MAC GILLAVRY, M.J. (1963): *Phylomorphogenesis and evolutionary trends of cretaceous orbitoidal foraminifera*. In: VON KÖNIGSWALD et al. (Ed.): *Evolutionary trends in foraminifera* (p. 139-197). - Elsevier, Amsterdam.
- PFENDER, J. (1934): *A propos de Siderolites vidali et quelques autres*. - Bull. Soc. géol. France 5/4, 225-236.
- REISS, Z. (1963): *Reclassification of perforate foraminifera*. - Bull. geol. Surv. Israel 35, 1-111.
- SMOUT, A.H. (1955): *Reclassification of the Rotaliidae (Foraminifera) and two new cretaceous forms resembling Elphidium*. - J. Washington Acad. Sci. 45, 201-210.
- UMBROVE, J.H.F. (1928): *Het genus Pellatispira in het indo-pacifische gebied*. - Wetensch. Meded. dienst Mijnb. nederl. Indie 10, 43-71.
- (1936): *Heterospira, a new foraminiferal genus from the Tertiary of Borneo*. - Leidse geol. Meded. 8/1, 155-159.
- (1938): *A second species of Biplanispira from the Eocene of Borneo*. - Leidse geol. Meded. 10/1, 82-89.

Planche 1

La structure des Siderolitinae; photographies au microscope optique.

Fig. 1-4

Nov. gen., nov. sp.

1: Coupe oblique montrant les communications entre les canaux équatoriaux radiaires et les canaux intraseptaux latéraux; Campanien (Zone à Orbitoides tissoti); Aubeterre (Charente); $\times 75$. 2: Coupe oblique d'un spécimen limonitisé montrant le canal marginal; Campanien (Zone à Orbitoides tissoti); Le Recoux (Siorac, Dordogne); $\times 37$. 3: Coupe oblique d'un autre spécimen provenant du Recoux; noter les connections entre le canal spiral et les canaux intraseptaux latéraux; $\times 37$. 4: Coupe axiale centrée montrant l'emplacement des foramina à la base des septa (flèches); Campanien (Zone à Orbitoides media); Aubeterre (Charente); $\times 75$.

Fig. 5-8

Pseudosiderolites vidali (DOUVILLÉ)

5: Coupe d'une pustule; noter les lames verticales qui la composent et lui donnent son relief extérieur; Campanien (Zone à Orbitoides tissoti); Santa Magdalena (Pobla de Segur, Catalogne); $\times 300$. 6: Coupe tangentielle d'un spécimen de la même localité montrant les mailles latérales du système canalifère; la pustule au centre de la photographie est entourée par un de ces canaux; $\times 75$. 7: Coupe axiale montrant la rangée des foramina à la base d'un septum (flèches); même provenance; $\times 75$. 8: Détail d'une coupe équatoriale montrant trois loges successives. Noter l'extension des canaux équatoriaux radiaires, qui masquent le lumen des loges et communiquent avec les canaux marginaux (flèche) et équatoriaux radiaires du tour de spire postérieur; même provenance; $\times 75$.

Fig. 9

Siderolites denticulatus DOUVILLÉ

Coupe équatoriale centrée montrant les connections entre les canaux marginaux et les canaux des épines (flèches); Maastrichtien (Zone à Orbitoides apiculata); Gensac (St-Marcet, Haute Garonne); $\times 75$.

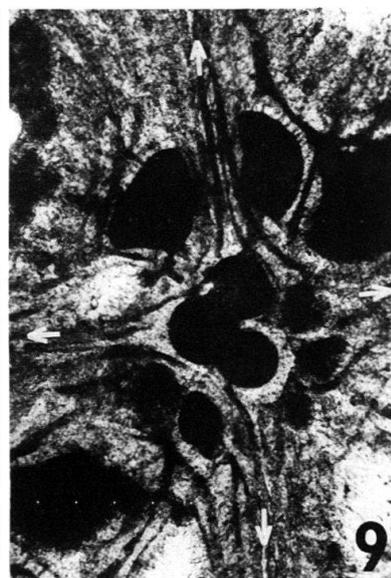
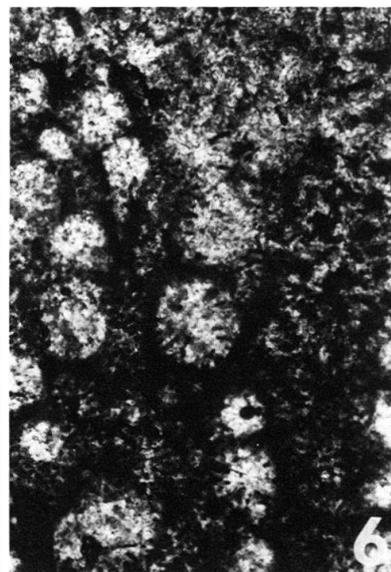
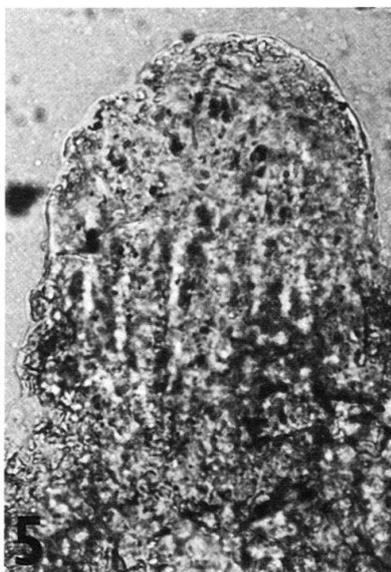
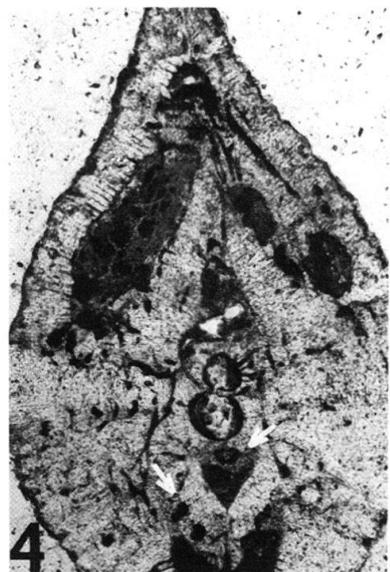
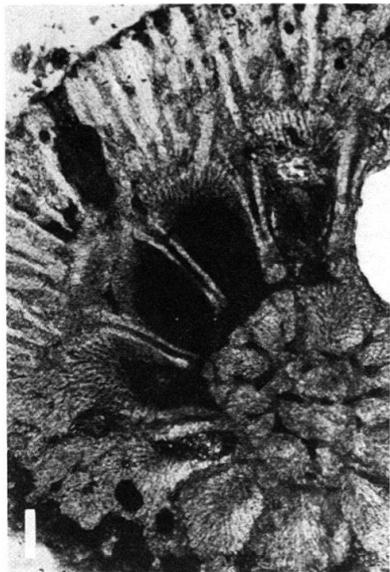


Planche 2

Fig. 1-6

Nov. gen., nov. sp.; photographies au microscope électronique à balayage.

1: Spécimen dont la périphérie est denticulée; Campanien (Zone à Orbitoides media); Conche des Nonnes (Royan, Charente Maritime); $\times 40$. 2: Exemple dont le bord équatorial est circulaire; Campanien (Zone à Orbitoides tissoti); Falaises du Pilou (Charente Maritime), $\times 100$. Noter les sutures des loges rehaussées par des pustules, les pores à la surface latérale des loges et les débouchés des canaux le long de la périphérie. 3: Détail d'un spécimen montrant la face orale de la dernière loge. Noter l'ornementation en chevrons ainsi que l'absence d'ouverture principale. Campanien (Zone à Orbitoides tissoti); Torallola (Trempe, Catalogne); $\times 165$. 4: Réplique des cavités du test en Araldite; coupe tangentielle oblique; Campanien (Zone à Orbitoides media); Conche des Nonnes (Royan, Charente Maritime); $\times 50$. 5: Détail de la figure 4. Noter la rangée de foramina à la base des loges, les canaux intraseptaux latéraux contre lesquels se terminent les pores. Une partie du canal spiral est visible dans le coin inférieur droit de la photographie; $\times 135$. 6: Détail de la figure 4. Noter le canal spiral et ses ramifications avec les canaux intraseptaux latéraux. Les foramina sont visibles dans le dernier tour de spire; $\times 160$.

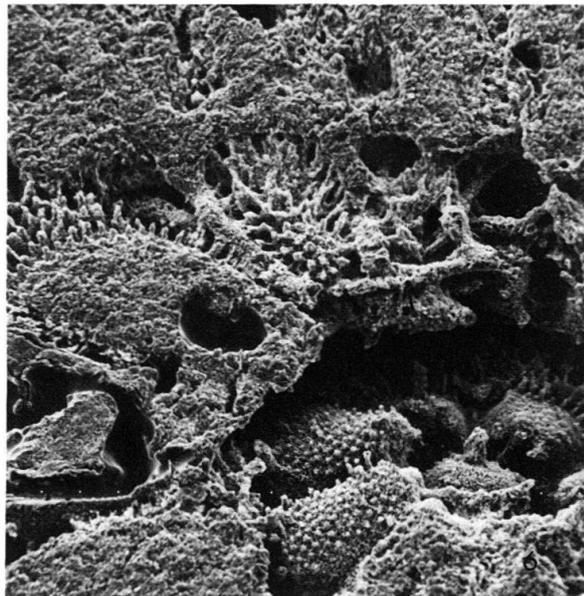
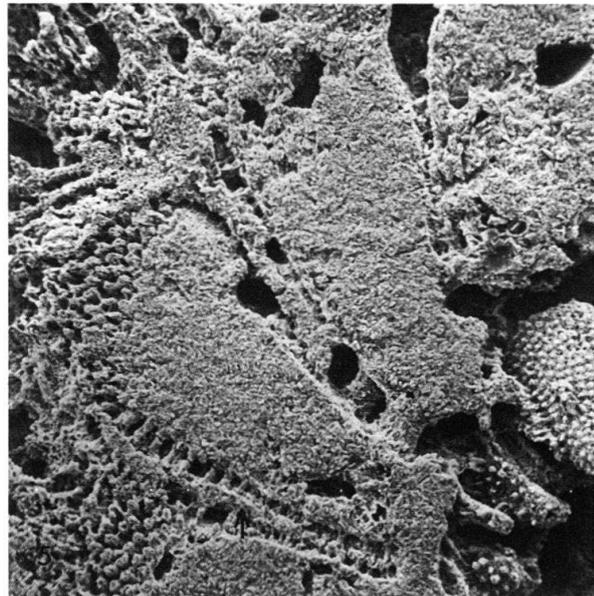
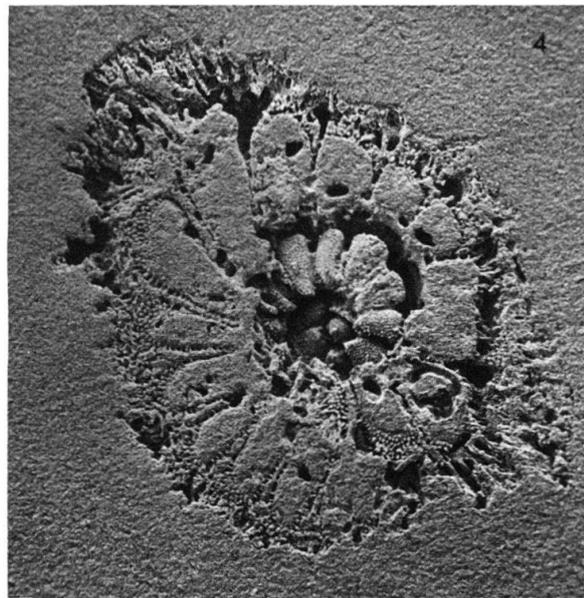
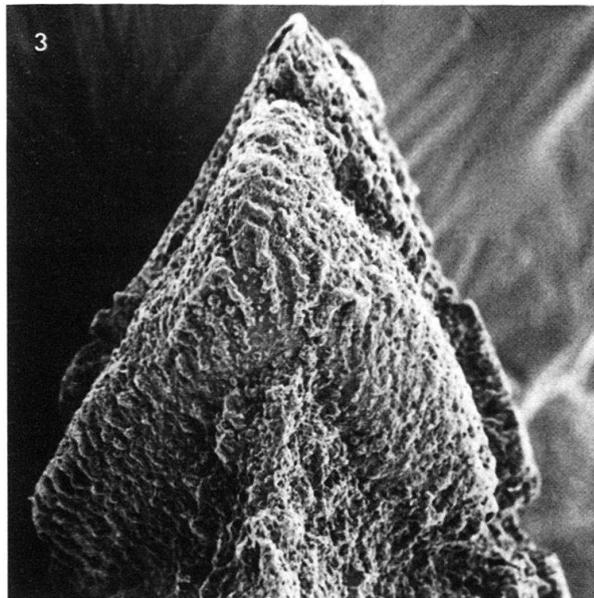
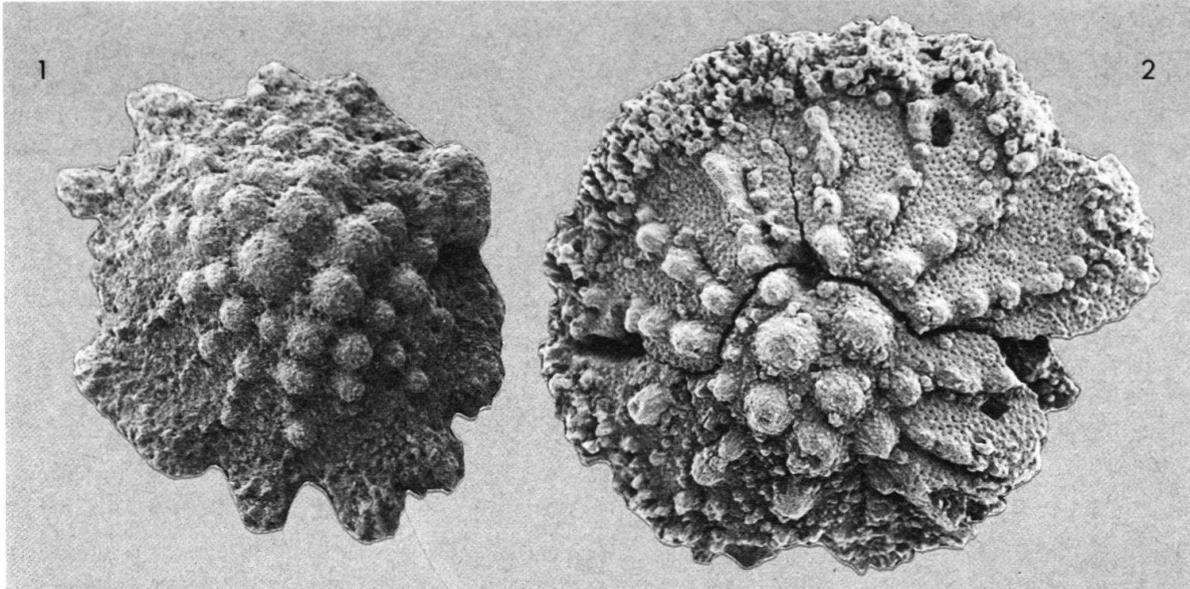


Planche 3

Arnaudiella grossouvrei DOUVILLÉ et *Pseudosiderolites vidali* (DOUVILLÉ); photographies au microscope électronique à balayage.

Fig. 1, 3, 5

Arnaudiella grossouvrei DOUVILLÉ 1:

Vue latérale d'un individu ayant ses dernières loges conservées; Campanien (Zone à *Orbitoides tissoti*); Falaises du Cailleau (Charente Maritime); $\times 27$. 3: Détail de la figure 1 montrant une partie du bord périphérique ainsi que les pores à la surface latérale des loges; $\times 160$. 5: Détail de la figure 1 montrant les débouchés des canaux le long de la périphérie. Noter le relief sur les flancs des pustules; $\times 160$.

Fig. 2, 4, 6

Pseudosiderolites vidali (DOUVILLÉ) 2:

Vue latérale d'un spécimen provenant de la localité type; Campanien (Zone à *Orbitoides tissoti*); Santa Magdalena (Pobla de Segur; Catalogne); $\times 16$. 4: Détail de la figure 2 montrant les débouchés des canaux sur la surface latérale du test; $\times 80$. 6: Détail de la figure 2; noter le bord équatorial avec les orifices des canaux équatoriaux radiaires; $\times 80$.

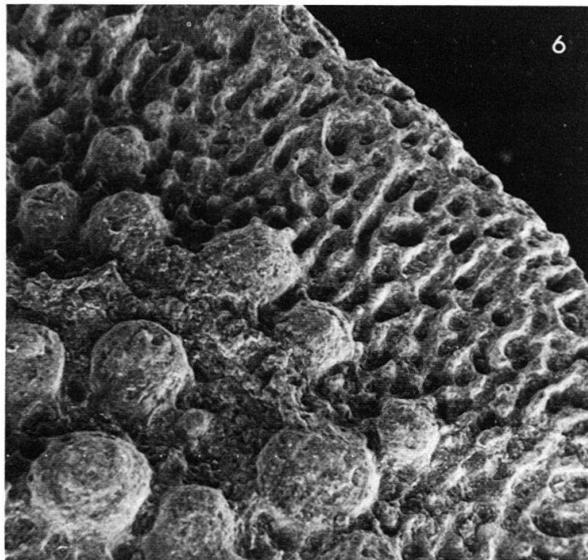
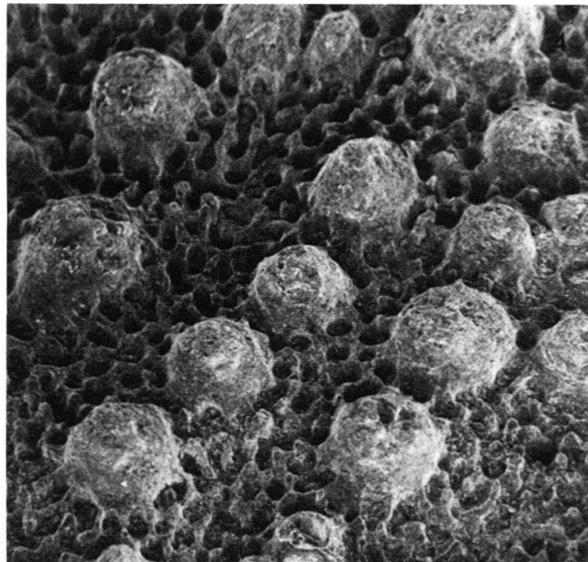
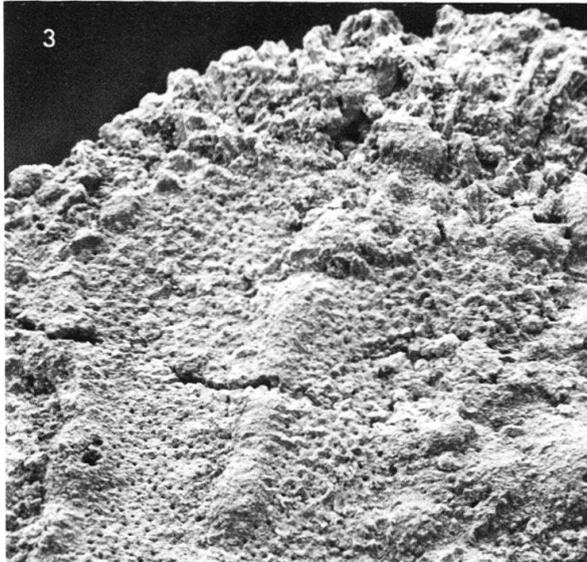
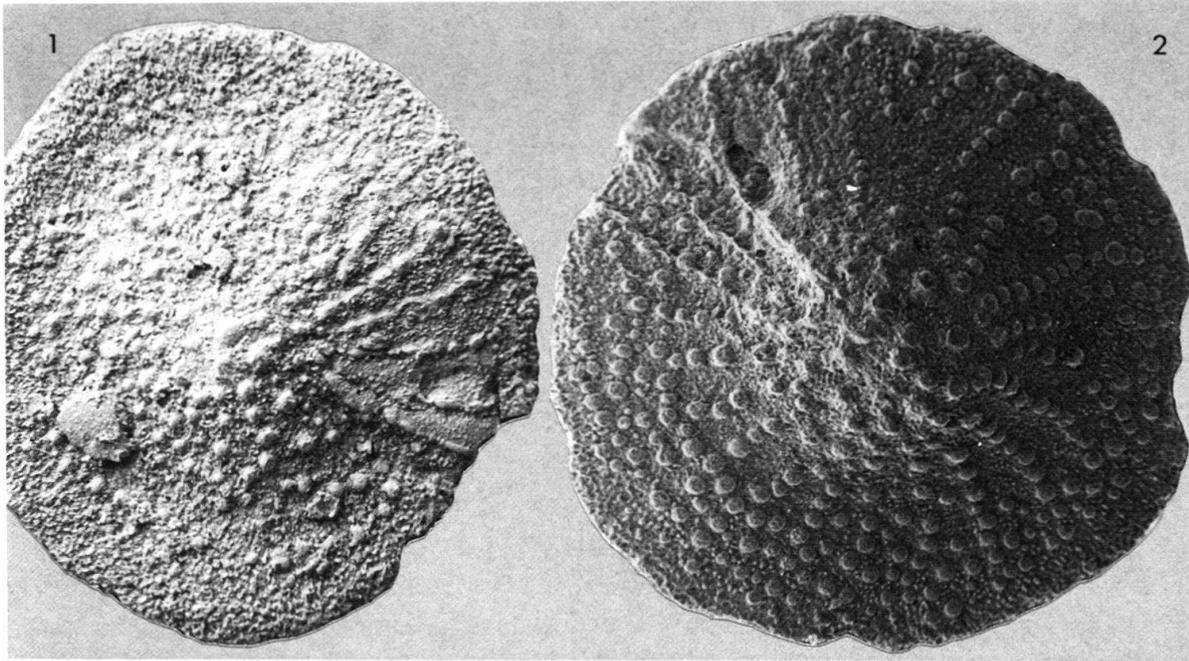


Planche 4

Siderolites denticulatus DOUVILLÉ et *Siderolites calcitrapoides* LAMARCK; photographies au microscope électronique à balayage.

Fig. 1-2

Siderolites denticulatus DOUVILLÉ 1:

Vue latérale d'un spécimen à périphérie subcirculaire provenant de la localité type; Maastrichtien (Zone à *Orbitoides apiculata*); Gensac (St-Marcet, Haute Garonne); $\times 16$. 2: Autre spécimen de la même espèce prélevé dans la même population que l'exemplaire de la figure 1; noter les protubérances comprimées et irrégulières de la périphérie; $\times 40$.

Fig. 3-7

Siderolites calcitrapoides LAMARCK 3:

Vue latérale d'un spécimen provenant de la localité type; Maastrichtien (Zone à *Orbitoides apiculata*); niveau Md de la carrière ENCI, Maastricht; $\times 16$. 4: Détail de la figure 3 montrant les débouchés des canaux dans les épines ainsi que sur la surface latérale du test; noter la rareté des débouchés des canaux au niveau des dernières loges, où peu de lamelles extérieures secondaires ont été déposées; $\times 40$. 5: Détail du spécimen de la figure 3; extrémité d'une épine montrant les débouchés des canaux et l'ornementation de bourrelets allongés; $\times 120$. 6: Détail de la figure 3 montrant les dernières loges formées avec leur ornementation de bourrelets et chevrons; $\times 50$. 7: Détail de la figure 3 montrant la surface latérale du test percée par les débouchés des canaux; noter le relief sur les flancs des pustules; $\times 80$.

