

Biostratigraphie de concrétions polymétalliques de l'archipel des Touamotou, fondée sur les Nannofossiles calcaires

par MARIE-CHRISTINE JANIN *

Mots clés. — Nannofossiles calcaires, Concrétions manganésifères, Croissance, Éocène, Néogène, NIXO-01. Pacifique central, Touamotou.

Résumé. — Deux croûtes et deux nodules de manganèse dragués vers 1 000 m de fond sur le flanc sud de l'archipel des Touamotou, ont livré cinq associations de Nannofossiles calcaires, inclus ou moulés dans leur cortex et leur noyau. La répartition et l'âge de ces associations ont permis de reconstituer l'histoire des échantillons. Les encroûtements ont connu deux périodes principales de croissance : la première entre l'Éocène moyen et l'Oligocène basal, la seconde entre le Pliocène supérieur et l'Actuel.

Biostratigraphy of polymetallic concretions of the Tuamotu Archipelago, based on the Calcareous Nannofossils

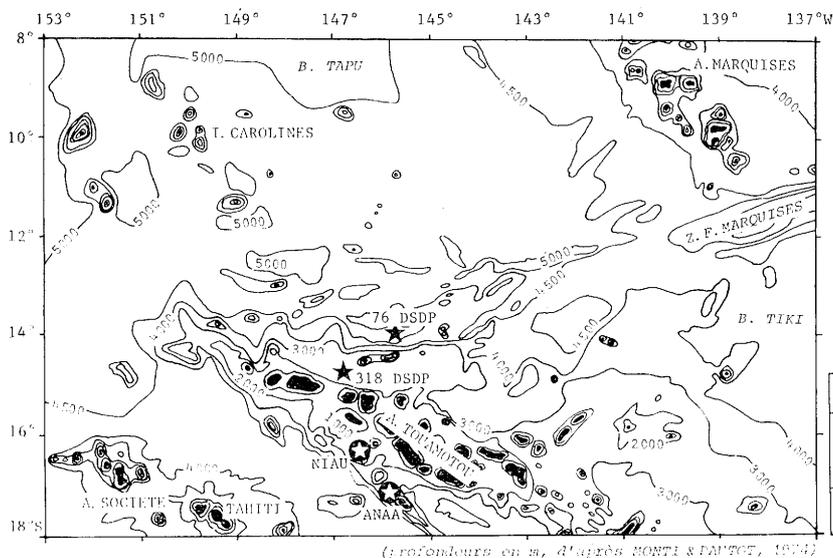
Abstract. — Some manganese samples (two crusts and two nodules) dredged around 1 000 m depth on the southern slope of the Tuamotu Archipelago have shown five associations of Calcareous Nannofossils, which are either included in or printed into the cortex and the nucleus. The location and the age of these associations let us reconstitute the full story of the samples. The growth of the incrustations occurred mainly during two periods : the first one between the middle Eocene and the basal Oligocene, the second one between the upper Pliocene and the Recent.

INTRODUCTION.

Lors de la campagne océanographique NIXO-01 organisée en 1970 par le CNEXO, des champs de nodules polymétalliques ont été découverts par 1 000 m de fond sur le flanc sud de l'archipel des Touamotou, à proximité des îles de Niau et Anaa. Deux nodules (A et B) et deux croûtes (15D et 48D) dragués dans la zone de Niau (fig. 1) ont été

étudiés. Le cortex manganésifère de ces concrétions a inclus au cours de sa croissance un petit nombre de coccolithes, conservés soit sous forme d'individus calcaires (dans les interstices entre les colonnes minéralisées ou dans le réseau de fractures internes), soit sous forme d'empreintes en creux (dans l'épaisseur des lamelles d'oxydes).

Grâce au M.E.B., ces Nannofossiles calcaires et leurs empreintes ont été recherchés sur des fragments prélevés



ECHANTILLON	DIMENSIONS (cm)	EPAISSEUR DU CORTEX (mm)
NIXO-01 015D	16° 26'S 146° 34'E - 1050m	
nodule A	5,0 x 4,0 x 3,5	15
nodule B	2,8 x 2,4 x 2,3	11
croûte 15D	fragment de 5,0 x 3,0 x 3,0	23
NIXO-01 048D	16° 28'S 146° 34'E - 980m	
croûte 48D	fragment de 6,5 x 4,0 x 4,0	1 à 10

FIG. 1. — Localisation et caractéristiques des échantillons étudiés.

(Le nodule B, d'abord attribué à un champ des îles Marquises [Janin, 1981 b], a été reconnu par Pautot, Morel et Voisset du Centre océanologique de Bretagne, comme appartenant à l'aire des Touamotou (dragage NIXO 01-015D ?)).

FIG. 1. — Location and characteristics of the samples.

(The nodule B, initially attributed to the Marquesas Islands area [Janin, 1981 b] was expertised by Pautot, Morel and Voisset from the Centre océanologique de Bretagne, as coming from the Tuamotu Archipelago (dredging NIXO 01-015D ?)).

* Lab. de stratigraphie comparée, L.A. 319, Dépt. de géologie sédimentaire, Univ. de Paris VI, 4, place Jussieu (tour 15, 4^e étage), 75230 Paris Cedex 05.

Note présentée et déposée à la séance du 5 au 7 décembre 1983 ; manuscrit définitif reçu le 8 juin 1984.

à divers niveaux dans les échantillons. Les positions relatives des espèces incluses ont été comparées à leur répartition verticale connue dans les séries sédimentaires, et en particulier aux sites 76 et 318 du D.S.D.P. (fig. 1), situés dans la même région [Bukry, 1972 ; Gartner, 1972 ; Martini, 1976].

I. — DESCRIPTION DES ÉCHANTILLONS.

Les concrétions étudiées présentent un cortex dense de ferromanganèse de 1 à 25 mm d'épaisseur, noir brillant, très minéralisé et d'apparence homogène bien que souvent fracturé. Leur surface externe porte des botryoïdes réguliers de quelques millimètres de diamètre, qui confèrent aux nodules un aspect muriforme caractéristique [Lalou *et al.*, 1973 a, b ; Janin, 1981 b, p. 6].

La forme et la taille des échantillons dépendent de la nature de leur support :

— Le cœur du nodule A est un débris de calcaire pélagique (micrite à Foraminifères planctoniques et Nannofossiles calcaires) de quelques millimètres, phosphatisé et ferruginisé. Des couches de microcristaux de phosphate tapissent les premières lamelles d'oxydes développées autour du noyau.

— Le noyau du nodule B, ferruginisé, n'a pu être identifié avec certitude. Il peut s'agir d'un débris de polypier.

— La croûte 15D a été prélevée sans son substrat. Comme elle montre à sa base quelques Foraminifères ferruginisés (Discocyclinidés), il semble qu'elle se soit formée sur un sable calcaire bioclastique.

— La croûte 48D, plus mince, est portée par un important bloc calcaire phosphatisé, constitué de lits successifs de sable à Discocyclinidés ferruginisés. Les tests sont cimentés par des dépôts d'oxydes de manganèse amorphes, qui forment entre certains lits des couches continues de 1 à 3 mm d'épaisseur. Ces couches, d'origine diagénétique probable, diffèrent du cortex par leur absence de structures stromatolithiques (texture en « bouffées de pipe » et microfossiles cupulo-annulaires [Janin et Bignot, 1983]) et par leur composition chimique (elles apparaissent dépourvues d'oxydes de fer à la microsonde E.D.S.). Elles n'ont livré aucun fossile et ne seront pas étudiées ici.

La surface des quatre échantillons porte des traces de boue blanche à Nannofossiles calcaires et Foraminifères planctoniques. Des plages de boue à coccolithes tapissent aussi les interstices entre certains tests de Foraminifères à la base des croûtes 15D et 48D.

II. — MÉTHODE D'ÉTUDE.

Des fragments de quelques millimètres cubes, repérés avec précision à la loupe binoculaire, ont été extraits des différentes parties des échantillons par cassure progressive. Toutes les traces de coccolithes (individus calcaires et empreintes en creux) ont été recherchées au M.E.B. sur

les surfaces de fracture fraîches, et leur position approximative a été notée. Les plages ainsi étudiées proviennent :

- de la surface des quatre échantillons,
- du noyau, des premières et des dernières lamelles du nodule A,
- d'une coupe transversale allant du noyau à la périphérie du nodule B,
- d'une coupe transversale complète du cortex des croûtes 15D et 48D, ainsi que de fragments de leur support.

III. — NATURE ET AGE DES ASSOCIATIONS DE NANNOFOSSILES CALCAIRES RENCONTRÉES.

Bien que souvent dissimulés au fond des anfractuosités et en partie dissous, les Nannofossiles conservés à l'état d'individus calcaires sont pour la plupart identifiables et 64 espèces ont été reconnues. Les possibilités et les limites de détermination des Nannofossiles en empreintes sont présentées par ailleurs [Janin, sous presse] : une attribution au moins générique est possible, sauf pour les placolithes, dont seule la face distale laisse des empreintes caractéristiques. Les moules de 42 formes ont été rencontrés : 26 dans les couches d'oxydes et 20 dans le noyau calcaire du nodule A.

Cinq associations ont été distinguées (tabl. I, p. 82) d'après leur contenu spécifique et leur localisation dans les encroûtements (fig. 2).

— Une association I à *Discoaster éocènes* (pl. I, fig. 2, 3), *Braarudosphaeraceae* (types *Pemma* et *Micrantholithus* surtout) et placolithes de grande taille (*R. dictyoda*, *R. umbilica*, ? *Markalius* sp.). La présence simultanée de *D. barbadensis* et *R. umbilica* indique un âge éocène moyen ou supérieur [Martini, 1971] ; l'existence de *D. elegans* limite cet intervalle à l'Éocène moyen [Bouché, 1962] et la présence de formes comparables au ? *Markalius* sp. décrit par Wise [1976] dans l'Éocène moyen de la Jamaïque, confirme cette datation. L'association I a été caractérisée dans le noyau du nodule A (individus calcaires et moules en creux dans la micrite phosphatisée). Lui sont aussi attribuables les quelques spécimens de ? *Markalius* sp. observés à la base de la croûte 15D.

— Une association II oligospécifique à *Braarudosphaeraceae* (pl. I, fig. 6), formes caractéristiques des sédiments hémipélagiques [Bybell et Gartner, 1972]. Elle s'observe, toujours sous forme d'empreintes, à la partie inférieure de la croûte 15D et du nodule B. Dans les niveaux les plus profonds, elle est représentée par des lentilles de pentolithes jointifs (*B. bigelowii*, *B. rosa* et rares *Micrantholithus*) mêlés à des coccosphères de *B. bigelowii*. Dans les couches suivantes, les *Braarudosphaeraceae* sont accompagnés d'espèces plus océaniques (*C. gr. pelagicus*, *C. gr. floridanus* et *Reticulofenestra*), dont la fréquence augmente vers le haut : les dernières populations à *Braarudosphaeraceae*, situées à la partie moyenne de la croûte 15D et du nodule B, sont riches en placolithes, mais n'ont livré que de rares empreintes isolées de *B. bigelowii*. Les placolithes indiquent un âge éocène ou oligocène, voire miocène inférieur (*R. dictyoda*, *C. gr. floridanus*) ; mais l'abondance des *Braarudo-*

ESPECES DE NANNOFOSSILES CALCAIRES	ASSOCIATIONS			
<i>Anoplosolenia brasiliensis</i> (Lohmann) Deflandre in Grassé, 1952				V
<i>Anthosphaera quatricornu</i> (Schiller) Lecal-Schlauder, 1951				V
<i>Braarudosphaera bigelowii</i> (Gran & Braarud) Deflandre, 1947	I	II		
" " <i>rosa</i> Levin & Joerger, 1967		II		
sp.		II		
<i>Calcidiscus leptoporus</i> (Murray & Bl.) Loeblich & Tappan, 1978			III	IV
" " <i>macintyreii</i> (Bukry & Br.) Loeblich & Tappan, 1978			III	
<i>Catinaster coalitus</i> Martini & Bramlette, 1963			III	
<i>Ceratolithus cristatus</i> Kamptner, 1954			III	
" " <i>tricorniculatus</i> Gartner, 1967			III	
<i>Coccolithus</i> gr. <i>pelagicus</i> (Wallich) Schiller, 1930	I	II	III	
<i>Coronocyclus</i> sp.			III	
<i>Crenalithus</i> sp.			III	V
<i>Cyclargolithus</i> gr. <i>floridanus</i> (Roth & Hay in H. & al.) Bukry, 1971		II	III	
<i>Cyclococcolithus lunulus</i> Roth, 1970	I			
<i>Cyclolithella annula</i> (Cohen) MacIntyre & Bé, 1967			III	V
<i>Cyclolithus</i> sp.	I			
<i>Discoaster barbadiensis</i> Tan Sin Hok, 1927	I			
" " <i>brouweri</i> Tan Sin Hok, 1927			III	
" " <i>calcaris</i> Gartner, 1967			III	
" " <i>challengeri</i> Bramlette & Riedel, 1954			III	
" " <i>gr.deflandrei</i> Bramlette & Riedel, 1954			III	
" " <i>cf. distinctus</i> Martini, 1958	I			
" " <i>druggii</i> Bramlette & Wilcoxon, 1967			III	
" " <i>elegans</i> Bramlette & Sullivan, 1961	I			
" " <i>exilis</i> Martini & Bramlette, 1963			III	
" " <i>perclarus</i> Hay in Hay & al., 1967			III	
" " <i>quinqueramus</i> Gartner, 1969			III	
" " <i>surculus</i> Martini & Bramlette, 1963			III	
" " <i>variabilis</i> Martini & Bramlette, 1963			III	
sp.	I		III	
<i>Discolithina</i> sp.			III	V
<i>Discosphaera tubifer</i> (Murray & Blackman) Ostenfeld, 1900				IV
<i>Emiliania huxleyi</i> (Lohmann) Hay & Mohler in Hay & al., 1967			?	V
<i>Ericsonia formosa</i> (Kamptner) Haq, 1971	I	?		
<i>Gephyrocapsa caribbeanica</i> Boudreaux & Hay in Hay & al., 1967			III	
" " <i>ericsonii</i> MacIntyre & Bé, 1967			?	V
" " <i>oceanica</i> Kamptner, 1943			III	V
" " sp. p.			III	V
<i>Helicosphaera carteri</i> (Wallich) Kamptner, 1954			III	V
sp.	I		III	
<i>Holodiscolithus macroporus</i> (Deflandre) Roth, 1970			III	
? <i>Markalius</i> sp. (forme de Wise, 1976)	I			
<i>Micrantholithus attenuatus</i> Bramlette & Sullivan, 1961		II		
" " <i>entaster</i> Bramlette & Sullivan, 1961		II		
sp.	I			
<i>Oolithotus antillarum</i> (Cohen) Cohen & Reinhardt, 1968			III	IV
" " <i>perplexus</i> (Bramlette & Ried.) Conley & Burns in Con, 1979			III	V
<i>Pemma rotundum</i> Klumpp, 1953	I			
<i>Pontosphaera distincta</i> (Bramlette & Sullivan) Burns, 1973		II		
" " <i>messinae</i> Bartolini, 1970				IV
" " <i>syracusana</i> Lohmann, 1902				V
sp. + <i>Scyphosphaera</i> sp.	I		III	IV
<i>Pseudoemiliania lacunosa</i> (Kamptner) Gartner, 1969			III	IV
<i>Reticulofenestra dictyoda</i> (Deflandre & Fert) Hay & al., 1966	I	II		
" " <i>umbilica</i> (Levin) Martini & Ritzkowski, 1968	I			
" " sp. (formes de taille supérieure à 6 µm)	I	II	?	
" " sp. (" " inférieure à 6 µm)			III	IV
<i>Rhabdosphaera claviger</i> Murray & Blackman, 1898			III	V
sp.	I		III	
<i>Scapholithus fossilis</i> Deflandre in Deflandre & Fert, 1954				V
<i>Scyphosphaera apsteinii</i> Lohmann, 1902				V
" " <i>pulcherrima</i> Deflandre, 1942			III	IV
<i>Sphenolithus abies</i> Deflandre in Deflandre & Fert, 1954			III	
" " <i>dissimilis</i> Bukry & Percival, 1971			III	
" " <i>moriformis</i> (Brönniman & Str.) Bramlette & Wilcox, 1967			III	
" " <i>neabies</i> Bukry & Bramlette, 1969			III	
" " <i>tribulosus</i> Roth, 1970			III	
sp.	I			
<i>Syracosphaera clathrata</i> Roth & Hay in Hay & al., 1967			III	
" " <i>corrugis</i> Okada & MacIntyre, 1977				V
" " <i>lamina</i> Lecal-Schlauder, 1951			III	V
" " <i>cf. mediterranea</i> Lohmann, 1902				V
" " <i>molischii</i> Schiller, 1925				V
" " <i>cf. nodosa</i> Kamptner, 1941				V
" " <i>prolongata</i> Gran ex Lohmann, 1913			III	IV
" " <i>pulchra</i> Lohmann, 1902				V
" " <i>variabilis</i> (Halldal & Mark.) Okada & MacInt., 1977				V
sp.			III	V
<i>Thoracosphaera heimii</i> (Lohmann) Kamptner, 1941				V
sp.			III	?
<i>Umbellosphaera irregularis</i> Paasche, 1955				V
" " <i>tenuis</i> (Kamptner) Paasche, 1955				V
<i>Umbilicosphaera sibogae</i> (Weber van Bosse), Gaarder, 1970			III	IV
<i>Holococcolithes</i> divers.				V

Tabl. I. — Associations de Nannofossiles calcaires observées dans les concrétions polymétalliques de l'Archipel des Touamotou.

TABLE I. — *Calcareous Nannofossils assemblages observed in the polymetallic concretions of the Tuamotu Archipelago.*

sphaéracées, formes d'eaux peu profondes, caractérisées dans l'aire des Touamotou l'Éocène moyen et supérieur, période de début de subsidence de l'archipel : au site 318 du D.S.D.P., les derniers pentolithes disparaissent au début de l'Oligocène inférieur (NP 21) [Martini, 1976].

— Une « association » III à *Discoaster néogènes* (accompagnés de *Sphenolithus* dans la croûte 48D). Elle est représentée par les individus calcaires posés dans les anfractuosités du nodule B et des deux croûtes (pl. I, fig. 5), ainsi que par quelques spécimens calcaires enchâssés dans les lamelles périphériques du nodule A et par les empreintes de *Discoaster* et *Sphenolithus* du nodule B et de la croûte 48D. Moins homogène que les associations précédentes, cet ensemble contient une grande variété d'espèces mio-pliocènes (tabl. I) et peut réunir des populations d'âges différents. Sa composition varie selon les endroits : les rares formes observées dans les derniers niveaux du nodule A contiennent *D. quinqueringus* et ne peuvent donc s'être déposées qu'à partir du Miocène supérieur (NN 11) [Martini, 1971] ; dans le nodule B (niveau b), l'empreinte de *S. dissimilis*, forme de transition entre *S. moriformis* et *S. abies*, pourrait dater de l'Oligocène supérieur ou du Miocène [Bukry et Percival, 1971 ; Roth, Franz et Wise, 1971], tandis que l'empreinte de *C. leptoporus* du niveau c ne peut être antérieure au Miocène moyen (NN 5). Dans les croûtes 15D et 48D, la présence de *P. lacunosa* confère aux spécimens calcaires de l'ensemble III un âge pliocène supérieur au moins (les deux *E. huxleyi* rencontrés dans la croûte 15D (plages c et f) sont trop douteux pour être pris en considération). Les empreintes, dont une de *S. neobies*, des premières couches minéralisées de 48D (plage a) pourraient être plus anciennes (Miocène supérieur à Pliocène inférieur).

— Une association IV à *C. leptoporus*, *D. tubifer*, *P. lacunosa* et *Umbil. sibogae*. Dépourvue de *Discoaster* et d'*E. huxleyi*, elle indique un âge pléistocène inférieur (NN 19). Elle est représentée par les empreintes de la partie supérieure des croûtes 15D et 48D (pl. I, fig. 7).

— Une association V à *Umbellosphaera* (pl. I, fig. 1), dominée par *U. tenuis*, *U. irregularis*, *Umbil. sibogae* et *E. huxleyi*. Elle reflète bien la richesse de la nannoflore vivante du Pacifique central [Roth et Berger, 1975 ; Okada et MacIntyre, 1977] et peut être considérée comme actuelle. Elle s'observe à la surface des quatre échantillons (croûte 15D et nodule B surtout).

IV. — ORDRE D'INCLUSION DES DIVERSES ASSOCIATIONS DE NANNOFOSSILES CALCAIRES.

Indépendamment de toute considération d'âge, l'ordre d'inclusion des associations précédentes peut être reconstitué d'après la répartition des coccolithes dans la croûte 15D, où les cinq types de population sont bien définis (fig. 2) :

— L'association I, qui est représentée par quelques individus de ? *Markalius* sp. enchâssés à la base de l'encroûtement, s'était déjà déposée lorsque les premières couches d'oxydes se sont formées.

— Les empreintes de l'association II, situées dans la partie inférieure du cortex, sont antérieures aux moules des couches manganésifères périphériques, qui appartiennent à l'association IV. La limite entre les deux populations n'est marquée par aucune modification de texture des oxydes.

— L'ensemble III correspond à des individus calcaires posés sur des surfaces de fracture anciennes, tapissées d'un dépôt d'oxydes de fer caractérisé à la microsonde EDS (pl. I, fig. 4). Il est donc postérieur à l'association incluse dans les couches fracturées (II). L'absence de fissures dans la partie externe du cortex prouve que l'ouverture et le remplissage des fractures ont précédé le dépôt des niveaux d'oxydes supérieurs : l'ensemble III est ainsi antérieur à l'association des couches périphériques (IV).

— L'association de surface V s'est sédimentée après la formation des dernières lamelles minéralisées.

PLANCHE I.

- FIG. 1. — Six formes caractéristiques de l'association V ; de gauche à droite et de haut en bas : *U. sibogae*, un holococcolithe, *U. irregularis*, *S. cf. lamina*, *G. oceanica* et (coin inférieur droit) un fragment d'*E. huxleyi*. (Surface de la croûte 15D). (Échelle = 1 μ m).
- FIG. 2, 3. — Deux *Discoaster* de l'association I : *D. barbadiensis* (fig. 2) et *D. elegans* (fig. 3), moulés dans le noyau du nodule A. (Échelle = 2 μ m).
- FIG. 4. — Ancienne surface de fracture des couches d'oxydes de manganèse, recouverte d'un dépôt d'oxydes de fer. Un *P. lacunosa* (flèche) a glissé dans la fissure. (Échelle = 10 μ m).
- FIG. 5. — Fragment de coccosphère de *C. gr. floridanus* conservée dans une fissure de la croûte 15D (plage b). (Échelle = 2 μ m).
- FIG. 6. — Groupe d'empreintes de Braarudosphaeraceae entre deux couches d'oxydes de ferromanganèse du nodule B. Une coccosphère de *B. bigelowii* est visible en haut. (Échelle = 5 μ m).
- FIG. 7. — Empreinte, dans une couche d'oxydes, de la face distale d'un *C. leptoporus* (croûte 48D, plage c). (Échelle = 1 μ m).
- FIG. 1. — Six characteristic species of the association V ; from left to right and top to bottom : *U. sibogae*, an holococcolith, *U. irregularis*, *S. cf. lamina*, *G. oceanica* and (right bottom corner) a fragment of *E. huxleyi*. (Surface of the crust 15D). (Scale bar = 1 μ m).
- FIG. 2, 3. — Two *Discoaster* of the association I : *D. barbadiensis* (fig. 2) and *D. elegans* (fig. 3), printed into the nucleus of the nodule A. (Scale = 2 μ m).
- FIG. 4. — Former fractural surface of the manganese oxide layers covered by an iron oxide deposit. One *P. lacunosa* (arrow) slipped in the fissure. (Scale = 10 μ m).
- FIG. 5. — Fragment of a coccosphere of *C. gr. floridanus* preserved inside a fissure of the crust 15D (level b). (Scale = 2 μ m).
- FIG. 6. — Set of Braarudosphaeraceae prints between two ferromanganese layers of the nodule B. A coccosphere of *B. bigelowii* is shown at the top. (Scale = 5 μ m).
- FIG. 7. — A *C. leptoporus* print (distal face) into an oxide layer of the crust 48D (level c). (Scale = 1 μ m).

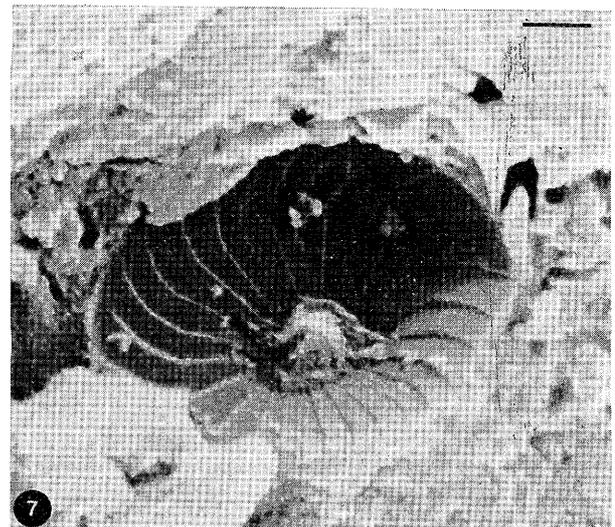
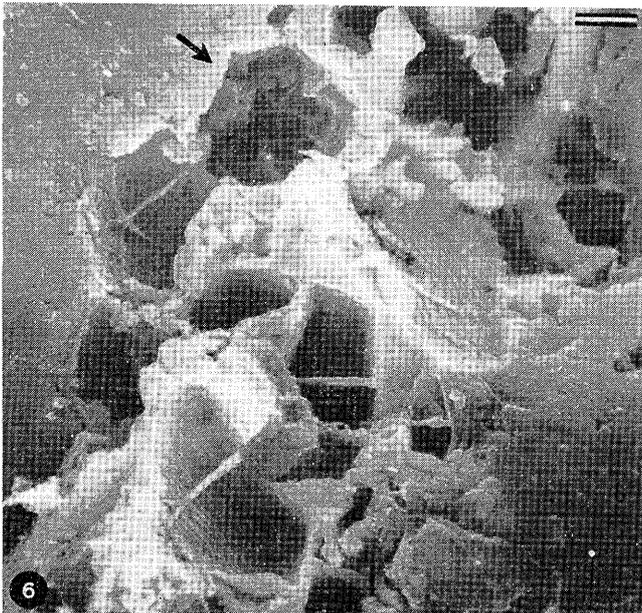
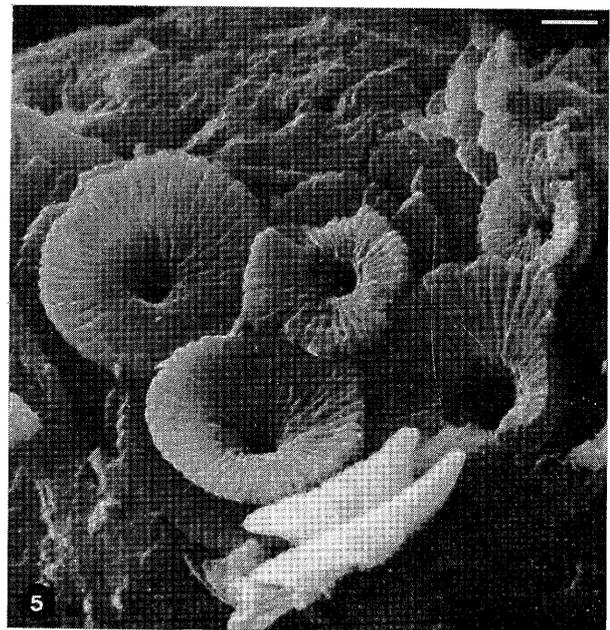
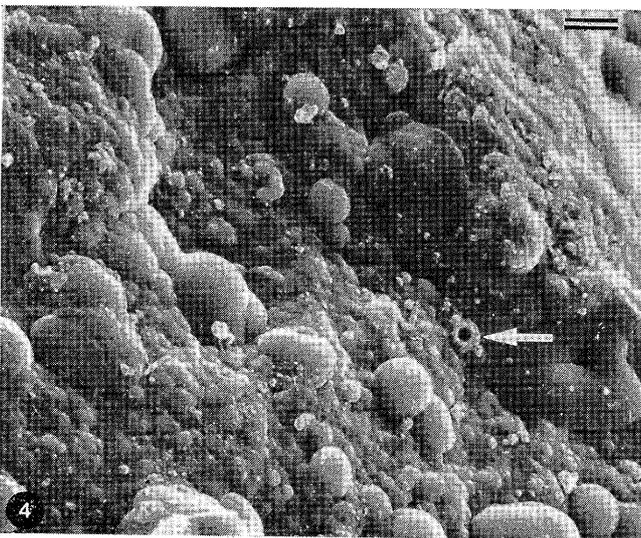
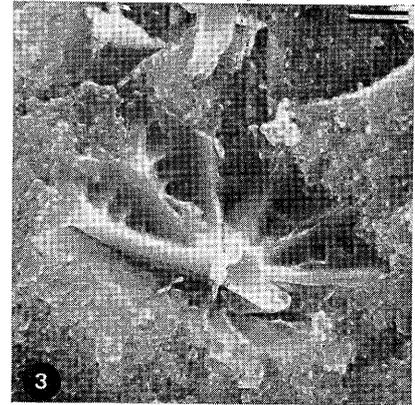
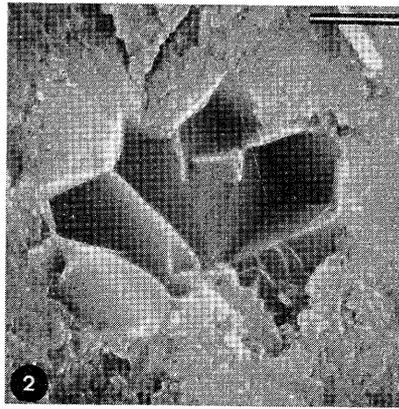
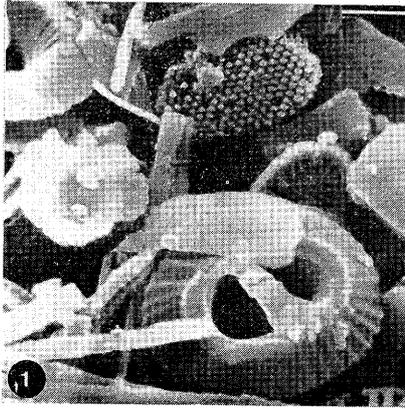
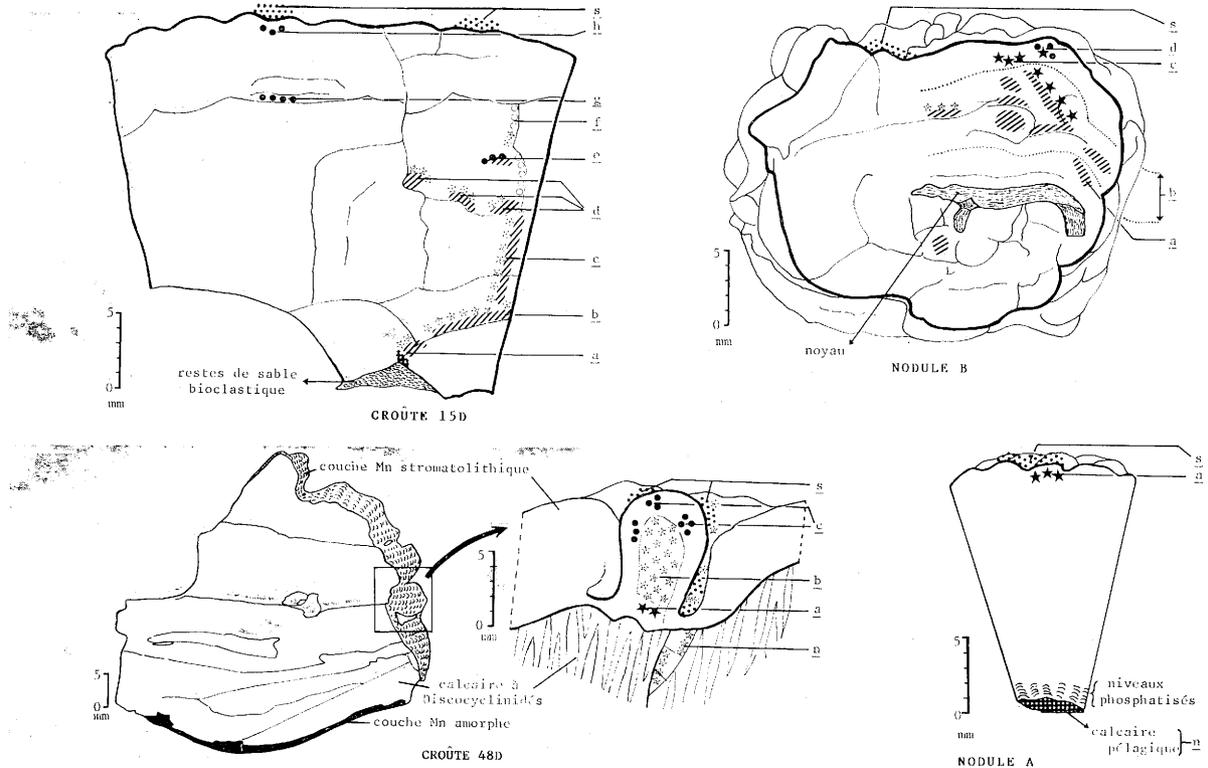


PLANCHE I. — (Légende ci-contre).



ESPECES	ASSOCIATIONS					NOD. A		CROÛTE 15D										CROÛTE 48D					NODULE B				
	I	II	III	IV	V	n	a	s	a	b	c	d	e	f	g	h	s	n	a	b	c	s	a	b	c	d	s
<i>U. tenuis + irregularis</i>								*									*	*	*	*	*	*					*
<i>R. claviger</i>																	*	*	*	*	*	*					*
<i>Syr. pulchra</i>																	*	*	*	*	*	*					*
<i>Syracosphaera</i> sp.p.									*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*					*
<i>C. annula</i>																	*	*	*	*	*	*					*
<i>D. tubifer</i>								*						*			*	*	*	*	*	*					*
<i>O. antillarum</i>														*			*	*	*	*	*	*					*
<i>U. sibogae</i>								*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*					*
<i>E. huxleyi</i>								*						(*)			*	*	*	*	*	*					*
<i>Cephyrocapsa</i> sp.p.									*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*					*
<i>Thoracosphaera</i> sp.									*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*					*
<i>Syr. prolongata</i>														*	*	*	*	*	*	*	*	*					*
<i>P. lacunosa</i>									*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*					*
<i>C. cristatus</i>									*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*					*
<i>C. leptopus</i>								*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*					*
<i>C. macintyreii</i>								*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*					*
<i>H. carteri</i>									*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*					*
<i>C. tricorniculatus</i>									*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*					*
<i>Cat. coalitus</i>									*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*					*
<i>Discoaster néogènes</i>								*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*					*
<i>P. messinae</i>								*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*					*
<i>S. apsteinii</i>									*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*					*
<i>S. pulcherrima</i>									*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*					*
<i>Scyphosphaera</i> sp.p.									*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*					*
<i>Sph. abies</i>									*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*					*
<i>Sph. dissimilis</i>									*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*					*
<i>Sph. moriformis</i>									*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*					*
<i>Sph. neobies</i>									*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*					*
<i>Sph. tribulosus</i>									*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*					*
<i>Syr. clathrata</i>									*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*					*
<i>Reticulofenestra (< 6 μ)</i>								*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*					*
<i>Reticulofenestra (> 6 μ)</i>								o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o					o
<i>C. gr. floridanus</i>								o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o					o
<i>C. gr. pelagicus</i>								o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o					o
<i>P. distincta</i>								o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o					o
<i>Braarudosphaera</i> sp.p.								o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o					o
<i>Micrantholithus + Femina</i> sp.								o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o					o
<i>Discoaster éocènes</i>								o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o					o
<i>?Markalius</i> sp.								o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o					o
<i>R. umbilica</i>								o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o					o

(* : spécimens calcaires - o : empreintes dans les couches d'oxydes Mn - o : individus inclus dans une matrice calc.)

ASSOCIATIONS

- V [individus calcaires] Actuel
- IV [individus calcaires empreintes] Pleistocène inf.
- III [individus calcaires empreintes] Mio-Pliocène
- II [empreintes] Eocène moyen-sup.
- I [empreintes] Eocène moyen

FIG. 2. — Répartition des Nannofossiles calcaires et de leurs empreintes dans les concrétions de l'archipel des Tuamotou.

FIG. 2. — Location of the Calcareous Nannofossils and their prints in the concretions of the Tuamotu Archipelago.

Par conséquent, l'ordre de dépôt des associations de la croûte 15D est I, II, III, IV, puis V : il est identique à l'ordre chronologique.

Les autres échantillons fournissent des renseignements moins complets mais comparables :

— Le nodule B a inclus successivement au cours de sa croissance les associations II (moules de la partie centrale), III (empreintes et individus calcaires des niveaux moyens), puis IV (moules de la partie externe) ; il est recouvert par l'association V.

— Le nodule A s'est développé autour d'un noyau contenant l'association I ; le cortex a inclus l'association III au moins (l'absence apparente de l'association II peut provenir de la phosphatisation des premiers niveaux manganésifères, où aucun fossile n'était visible) ; l'association V s'est déposée en surface.

— La croûte 48D ne renferme que les trois dernières populations. Son substrat contient des plages de coccolithes de l'ensemble III, tapissant des interstices sans communication avec l'extérieur. Ces inclusions et l'existence d'un *Discoaster* et d'un *Sphenolithus* moulés dans les premières couches du cortex prouvent que le début de croissance des oxydes est contemporain de la sédimentation de l'ensemble III. L'association IV, présente en périphérie, est postérieure. Le flanc du botryoïde étudié porte des éléments attribuables aux groupes III et V, répartis en plages distinctes et non mêlés comme dans le cas d'une unique population contenant des individus remaniés. Les formes III peuvent représenter soit des contaminations, soit des inclusions initialement isolées de l'extérieur par des ponts d'oxydes détruits lors du découpage de l'échantillon.

V. — INTERPRÉTATION STRATIGRAPHIQUE.

Les Nannofossiles calcaires moulés dans les couches minéralisées y ont été nécessairement inclus à l'époque où se formaient les oxydes. Mais rien ne prouve *a priori* qu'il ne s'agissait pas d'individus anciens remaniés. Or, la nette séparation dans l'espace des diverses associations (et en particulier l'absence de formes anciennes en surface), la concordance entre ordre chronologique et ordre d'inclusion, et la similitude des observations faites sur les quatre encroûtements, dragués en deux points distants de près de 4 km, rendent improbable l'hypothèse d'un apport des espèces fossiles par des courants de turbidités balayant les champs de nodules en croissance. L'intervalle de temps qui sépare la vie des associations et leur sédimentation sur les encroûtements peut être important (pour l'ensemble III surtout), mais il reste toujours dans les limites d'âge établies au paragraphe III pour chaque association.

Dans ces conditions, on peut attribuer aux différentes parties des concrétions l'âge approximatif des associations de Nannofossiles calcaires qu'elles contiennent, et en déduire l'histoire de leur développement (fig. 3).

— La croûte 15D, la plus complète, montre deux périodes principales de dépôt d'oxydes :

1) la croissance débute à l'Éocène moyen ou supérieur, en milieu marin peu profond où les Braarudosphaeraceae

représentent l'élément majeur du nannoplancton calcaire (association II). La raréfaction des pentalithes dans la moitié inférieure du cortex et leur disparition définitive au niveau *e* refléteraient l'enfoncement progressif de l'archipel des Touamotou, daté de l'Éocène supérieur [Burckle et Saito, 1966 ; Pautot et Hoffert, 1974] ;

2) puis l'encroûtement se fissure et une pellicule d'oxydes de fer se dépose sur les parois des fentes. Cette période se situe entre l'Éocène supérieur ou l'Oligocène basal (âge des derniers individus inclus dans les couches fissurées) et le Pliocène supérieur (âge de l'ensemble III remplissant les fentes). La croissance des oxydes se poursuit au Pléistocène, avec inclusion de l'association IV. L'absence d'empreintes caractéristiques du Pléistocène supérieur ou de l'Actuel ne permet pas de fixer l'âge de la dernière lamelle minéralisée, mais l'existence en surface d'une abondante population actuelle, dépourvue de formes remaniées, suggère que la croûte a cessé de croître tout récemment.

— Le nodule B montre une histoire comparable, avec une phase de croissance à l'Éocène moyen-supérieur et une phase néogène, dont le début est difficile à situer étant donné la rareté des moules : la périphérie (plages *c*, *d*) est postérieure au Miocène moyen (NN 5), mais certaines plages *b* pourraient être plus anciennes (Oligocène supérieur-Miocène inférieur) à moins que leurs empreintes ne proviennent de formes remaniées.

— La croûte 48D ne s'est développée que depuis le Pliocène supérieur au plus, représenté dès son noyau. L'empreinte de *S. neobabies* de la plage *a* correspond donc à un spécimen remanié, comme tous les sphénolithes calcaires de l'échantillon. La périphérie (plage *c*) date du Pléistocène. Cette concrétion équivaut à la partie supérieure des deux précédentes, ce qui expliquerait sa plus faible épaisseur. La phosphatisation, qui ne concerne que le noyau, est antérieure à la croissance du cortex. Elle peut être contemporaine du dépôt d'oxydes de fer observé dans la croûte 15D.

— Dans le nodule A, seul un épisode de croissance au Néogène est visible. La comparaison avec les autres échantillons suggère que les couches d'oxydes internes, couvertes d'un dépôt secondaire de cristaux de phosphates, datent de l'Éocène moyen ou supérieur.

CONCLUSION.

L'intérêt chronologique des Nannofossiles calcaires inclus dans les concrétions polymétalliques a été rarement signalé [Bignot et Dangeard, 1976 ; Harada et Nishida, 1976, 1979 ; Bignot et Dangeard, 1980 ; Janin, 1981 *a*, *b*]. Cette étude détaillée, au M.E.B., de nodules et encroûtements de l'archipel des Touamotou permet d'établir la biostratigraphie des couches minéralisées de l'Éocène à l'Actuel. Nous avons reconnu deux périodes d'accumulation d'oxydes (la première, en domaine peu profond, entre l'Éocène moyen et l'Oligocène basal, la seconde, en domaine océanique franc, entre le Pliocène supérieur et l'Actuel), séparées par un hiatus résultant d'une période d'érosion ou de non dépôt.

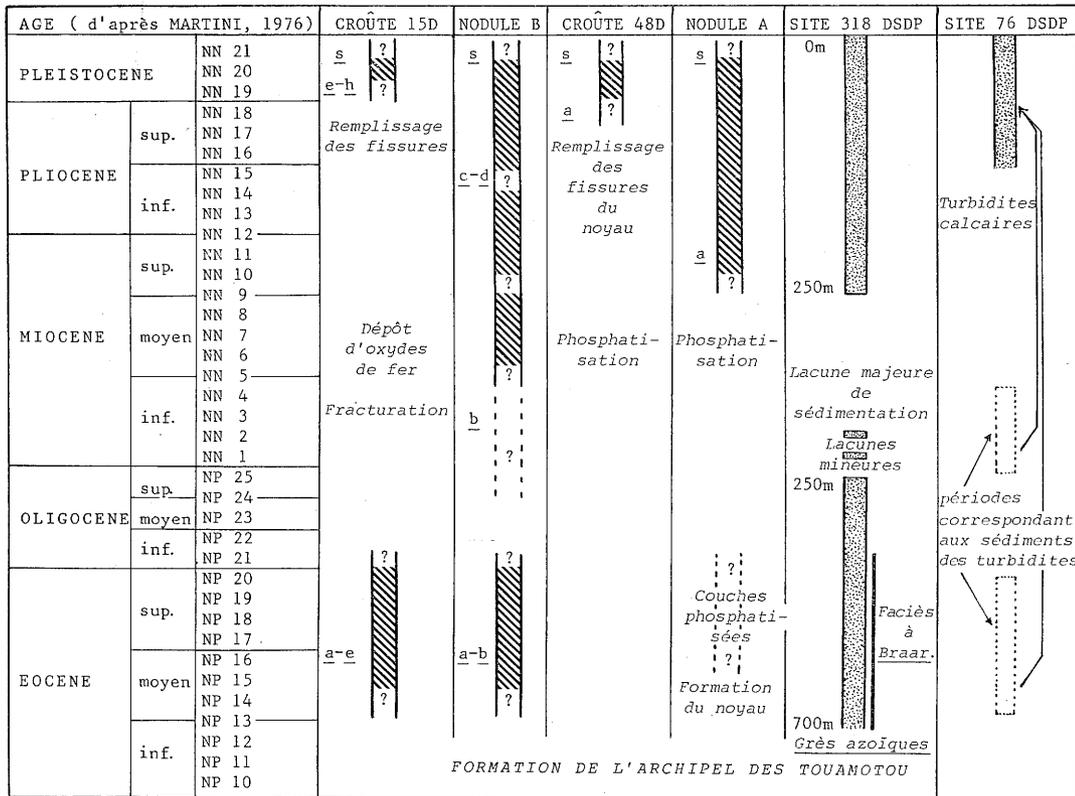


FIG. 3. — Comparaison entre les phases de croissance des concrétions polymétalliques des Touamotou et les périodes de sédimentation aux sites 76 et 318 du D.S.D.P.

FIG. 3. — Comparison between the growth phasis of the polymetallic concretions of the Tuamotu area and the sedimentation periods at the sites 76 and 318 of the D.S.D.P.

L'histoire sédimentaire de l'archipel est connue grâce au forage 318 du D.S.D.P. (le site 76, situé à plus grande profondeur, n'a pas livré de boues calcaires en place) (fig. 3). Elle est marquée par deux périodes de sédimentation calcaire (la première, en domaine peu profond, de l'Éocène moyen à l'Oligocène inférieur, la seconde, en domaine océanique franc, du Miocène supérieur à l'Actuel), séparées par une lacune due à une phase d'érosion ou de non dépôt.

Ce travail met donc en évidence un net parallélisme entre la croissance des concrétions et la sédimentation des boues calcaires. Dans l'état actuel de l'étude, on ne peut préciser si les deux phénomènes sont simultanés, ou si, comme on l'admet en général, les oxydes se déposent lors d'arrêts de sédimentation, ces hiatus, non signalés au site 318,

étant de courte durée. En bref, l'histoire des Touamotou, observée en 700 m de sédiments au site 318 du D.S.D.P., est inscrite en moins de 2,5 cm dans les couches de manganèse de l'aire de Niau.

Remerciements. Je tiens à remercier MM. Pautot, Morel et Voisset, du Centre océanologique de Bretagne, qui m'ont donné accès à la lithothèque du B.R.G.M. et m'ont confié le matériel étudié ; MM. Bignot et Dercourt, qui m'ont aidée dans l'élaboration du texte ; M. Blanc qui m'a conseillée lors des études au M.E.B. et à la microsonde EDS, et M^{lle} Codet qui a assuré le tirage des photographies. Ce travail a été mené à bien grâce à la Convention CNEXO n° 83/2887.

Références

- BIGNOT G. et DANGEARD L. (1976). — Contribution à l'étude de la fraction biogène des nodules polymétalliques des fonds océaniques actuels. *C. R. somm. Soc. géol. France*, fasc. 3, p. 96-99.
- BIGNOT G. et DANGEARD L. (1980). — A neglected method : the micro-paleontological datation of polymetallic concretions of the recent deep-sea floors. 26^e Congr. géol. Internation. Paris, rés., vol. III, p. 908.
- BOUCHÉ P. M. (1962). — Nannofossiles calcaires du Lutétien du Bassin de Paris. *Rev. Micropal.*, vol. 5/2, p. 75-103.
- BUKRY D. (1972). — Coccolith stratigraphy leg 9 D.S.D.P. In : HAYS J. D., COOK H. E. et al. Init. Rep. D.S.D.P., vol. IX, p. 817-832.
- BUKRY D. (1973). — Coccolith stratigraphy, eastern equatorial Pacific, leg 16 D.S.D.P. In : VAN ANDEL T. H., HEATH G. R. et al. Init. Rep. D.S.D.P., vol. XVI, p. 653-711.
- BUKRY D. et PERCIVAL S. F. (1971). — New Tertiary calcareous nannofossils. *Tulane Stud. Geol. Paleontol.*, vol. 8, p. 123-146.
- BURCKLE L. H. et SAITO T. (1966). — An Eocene dredge haul from the Tuamotu ridge. *Deep-Sea Res.*, vol. 13, n° 6, Part. I, p. 1207-1208.
- BYBELL L. et GARTNER S. (1972). — Provincialism among Mid-Eocene calcareous nannofossils. *Micropaleontol.*, vol. 18/3, p. 319-336.
- CONLEY S. M. (1979). — Recent Coccolithophores from the Great Barrier Reef-Coral Sea region. *Micropaleontol.*, vol. 25/1, p. 20-43.
- GARTNER S. (1972). — Coccolith age determinations, leg 9 D.S.D.P. In : HAYS J. D., COOK H. E. et al. Init. Rep. D.S.D.P., vol. IX, p. 833-839.
- HARADA K. et NISHIDA S. (1976). — Biostratigraphy of some marine manganese nodules. *Nature*, vol. 260, n° 5554, p. 770-771.
- HARADA K. et NISHIDA S. (1979). — Biochronology of some Pacific manganese nodules and their growth mechanism. Coll. Internation. C.N.R.S., n° 289 « La genèse des nodules de manganèse » (Gif/Yvette, 25-30 sept. 1978), p. 211-216.
- HOFFERT M. (1980). — Les « argiles rouges des grands fonds » dans le Pacifique Centre-Est ; authigenèse, transport, diagenèse. Thèse Doct. État Univ. Louis Pasteur de Strasbourg, *Mém. U.L.P.* n° 61, 255 p.
- JANIN M. C. (1981 a). — Essai de datation de concrétions polymétalliques et évolution quaternaire du coccolithe *Cyclococcolithus leptoporus-macintyreii*. *Bull. Soc. géol. France*, (7), t. XXIII, n° 3, p. 287-296.
- JANIN M. C. (1981 b). — Étude micropaléontologique de quelques concrétions polymétalliques. Thèse 3^e cycle Univ. Paris VI, *Mém. Sc. Terre Univ. Curie*, Paris, n° 81-22, 150 p.
- JANIN M. C. (1985). — Les empreintes de Nannofossiles calcaires des concrétions polymétalliques de l'archipel des Touamotou : possibilités et limites de détermination. *Rev. Micropal.* (sous presse).
- JANIN M. C. et BIGNOT G. (1983). — Microfossiles thallophytiques des concrétions polymétalliques laminées. *Rev. Micropal.*, vol. 25/4, p. 251-264.
- LALOU C., BRICHET E. et LE GRESSUS C. (1973 a). — Étude d'un nodule de manganèse au microscope électronique à balayage et par micro-analyse X. Implication dans le mode de formation des nodules. *Ann. Inst. Océanogr.*, n^{11e} sér., t. 49, (1), p. 5-17.
- LALOU C., DELIBRIAS G., BRICHET E. et LABEYRIE J. (1973 b). — Existence de Carbone 14 au centre de deux nodules de manganèse du Pacifique : âges Carbone 14 et Thorium 230 de ces nodules. *C. R. Ac. Sc.*, Paris, (D), t. 276, p. 3013-3015.
- LOEBLICH A. R. et TAPPAN H. (1966 et suiv.). — Annotated index and bibliography of the calcareous nannoplankton. 1966 : *Phycologia*, 5, p. 81-216 ; 1968 : *J. Paleontol.*, 42, p. 584-598 ; 1969 : (*ibidem*), 43, p. 568-588 ; 1970 a : (*ibidem*), 44, p. 558-574 ; 1970 b : *Phycologia*, 9, p. 157-174 ; 1972 : (*ibidem*), 10, p. 309-339 ; 1973 : *J. Paleontol.*, 47, p. 715-759.
- MARTINI E. (1971). — Standard tertiary and quaternary calcareous nannoplankton zonation. In : FARINACCI A., édité. Proc. 2nd Planktonic Conf., Rome, 1970, vol. 2, p. 735-785.
- MARTINI E. (1976). — Cretaceous to recent calcareous nannoplankton from the Central Pacific Ocean (D.S.D.P. leg 33). In : SCHLANGER S. O., JACKSON E. D. et al. Init. Rep. D.S.D.P., vol. XXXIII, p. 383-437.
- MONTI S. et PAUTOT G. (1974). — Cinq cartes bathymétriques au 1/1 000 000 : Tahiti, Raroca, Marquises, Hao, Mururoa. Éditées par le C.N.E.X.O.
- OKADA H. et MACINTYRE A. (1977). — Modern Coccolithophores of the Pacific and North Atlantic Oceans. *Micropaleontol.*, vol. 23/1, p. 1-55.
- PAUTOT G. et HOFFERT M. (1974). — Pacifique Sud-Est : cadre structural, morphologique et sédimentaire. Relations avec les nodules polymétalliques. II^e Coll. Internation. exploitation des Océans. Bordeaux 4 Bx 202, 8 p.
- ROTH P. H. (1970). — Oligocene calcareous Nannoplankton biostratigraphy. *Eclog. Geol. Helvet.*, 63, p. 799-881.
- ROTH P. H., FRANZ H. E. et WISE S. W. (1971). — Morphological study of selected members of the genus *Sphenolithus* DEFLANDRE (*incertae sedis*, Tertiary). In : FARINACCI A., édité. Proc. 2nd Planktonic Conf., Rome, 1970, vol. 2, p. 1069-1097.
- ROTH P. H. et BERGER W. H. (1975). — Distribution and dissolution of coccoliths in the South and Central Pacific. In : SLITER W. V., BÉ A. W. H. et BERGER W. H., « Dissolution of deep-sea carbonates ». *Cushman Found. Foram. Res.*, spec. publ. n° 13, p. 87-113.
- SITE 318, SHIPBOARD SCIENTIFIC PARTY. — In : Schlinger S. O., Jackson E. D. et al. Init. Rep. D.S.D.P., vol. XXXIII, p. 301-357.
- WISE S. W. (1976). — Mid Eocene planktonic correlations : Northern Italy-Jamaica, W. I. *Trans. Gulf coast Assoc. Geol. Soc.*, vol. XXVI, p. 144-155.