Bull. Soc. géol. France, 1991, t. 162, n° 4, pp. 675-685

1e Congrès national de Paléontologie

L'environnement bathyal au large de la Nouvelle-Calédonie : résultats préliminaires de la campagne CALSUB et conséquences paléoécologiques

par MICHEL ROUX*, PHILIPPE BOUCHET**, JEAN-PAUL BOURSEAU***, CHRISTIAN GAILLARD***, RENÉ GRANDPERRIN****, ALAIN GUILLE*****, BERNARD LAURIN******, CLAUDE MONNIOT**, BERTRAND RICHER DE FORGES****, MICHEL RIO***, MICHEL SEGONZAC*******, JEAN VACELET******** et HELMUT ZIBROWIUS********

Mots clés. – Océan, Benthos bathyal, Nouvelle-Calédonie, SW Pacifique, Paléoécologie, Environnement carbonaté, Zonation bathymétrique.

Résumé. – Lors de la campagne CALSUB, les fonds bathyaux situés en contre-bas des plates-formes coralliennes ont été explorés au large de la Nouvelle-Calédonie. Les algues vertes sont présentes jusqu'à 110 m, les algues rouges jusqu'à 145 m. Les matériaux algaires alimentent la sédimentation jusqu'à plus de 400 m et se mélangent avec des fossiles et des bioclastes autochtones issus des biocénoses bathyales.

La zone épibathyale est riche en formes évoquant la faune de la Téthys mésogéenne jurassique et crétacée (nautiles, pleurotomaires, spongiaires, brachiopodes, crinoïdes...). La richesse et l'abondance du benthos sont les plus élevées dans les zones balayées par des courants entre 300 m et 700 m (parfois 10 à 20 térébratules par m^2 ou couverture totale par les échinodermes). Ces courants induisent des érosions et des accumulations bioclastiques. La biocorrosion semble jouer un rôle considérable dans l'érosion et le démantèlement des surfaces durcies. Les terriers et les traces indiquent l'importance de la bioturbation des pentes sédimentaires.

Certains phénomènes taphonomiques observés illustrent des cas bien connus dans les séries géologiques mais trop exclusivement attribués aux faibles profondeurs.

Bathyal environment off New Caledonia : preliminary results of the CALSUB cruise and palaeoecological consequences

Key words. – Ocean, Deep-sea benthos, New Caledonia, Southwestern Pacific, Paleoecology, Carbonate environment, Zoobathymetry.

Abstract. – During the CALSUB cruise, bathyal environments were explored off the New Caledonia corallian platforms (southwestern Pacific). Green algae were observed down to a depth of 110 m, and red algae down to 145 m. Algal blocks, pebbles and sands contribute to sedimentation to a depth of 400 m and beyond, and are mixed with autochthonous fossils and bioclasts produced by bathyal benthos.

Epibathyal fauna suggests similarities with Jurassic and Cretaceous fauna of Tethyan margins (*Nautilus*, pleurotomarian gastropods, sponges, brachiopods and crinoids...). Richness and abundance of the benthos are the highest in areas where currents are frequent between 300 m and 700 m (sometimes 10 to 20 terebratulid brachiopods per m^2 or dense populations of echinoderms entirely covering the substrate). Such currents induce erosion of substrate or bioclastic accumulations. Biocorrosion seems to be very active in erosion processes, especially on hard grounds. Burrows and traces show the importance of sediment bioturbation on slopes.

The occurrence on bathyal slope of some taphonomic processes previously known from geological series and generally considered as closely related to shallow-water environments should be emphasized.

L'exploration de la faune profonde de Nouvelle-Calédonie a débuté par des campagnes d'essai menées par l'ORSTOM et le Muséum national d'Histoire naturelle de 1977 à 1979 sur des fonds de 200 m à 1000 m au large de la Grande Terre, de l'île des Pins et des îles Loyauté [Intès, 1978]. A partir de 1985, elle s'est élargie et intensifiée [Richer de Forges, 1990]. Le programme ENVIMARGES [Roux, 1991] a permis une collaboration entre biologistes, paléontologistes et géologues au cours des campagnes BIOCAL et BIOGEOCAL qui ont mis en œuvre des moyens d'exploration à partir de la surface (cartographie sea-beam, dragages, carottages, etc...) pour préparer la campagne CALSUB d'observation directe des fonds à l'aide de la soucoupe plongeante Cyana. Les principaux objectifs du programme étaient de mieux connaître la transition du domaine circalittoral au domaine bathyal, de tester jusqu'à quelle

* Lab. Sciences de la Terre, Univ. Reims, BP 347, 51062 Reims cedex, et URA 157 du CNRS.
** Lab. Biologie des Invertébrés marins, Muséum national d'Histoire naturelle, 55 rue Buffon, 75005 Paris.
*** Centre des Sciences de la Terre, Université Lyon I, 69622 Villeurbanne cedex, et URA 11 du CNRS.
**** Centre ORSTOM, BP A5, Nouméa.
***** Lab. Arago, Univ. Paris VI, 66650 Banyuls-sur-Mer.
****** Institut des Sciences de la Terre, Université de Bourgogne, 6 Bd Gabriel, 21100 Dijon et URA 157 du CNRS.
******* C.E.N.T.O.B., Centre IFREMER de Brest, B.P. 70, 29263 Plouzané.
******** Station marine d'Endoume, Université Aix-Marseille, 2, rue de la Batterie des Lions, 13007 Marseille.
Manuscrit déposé le 19 juillet 1990; accepté le 3 janvier 1991.

Fonds Documentaire IRD
010025896

Fonds Documentaire IRD
Cote : B*25896 Ex : unique

profondeur des faciès organogènes de «cachet néritique» peuvent se sédimenter, et de préciser les critères biologiques d'appréciation de la bathymétrie. Ceci semblait d'autant plus intéressant que la faune bathyale comprend une proportion élevée de taxons archaïques («fossiles vivants») issus principalement de la Téthys mésogéenne. Nous donnons ici les résultats les plus marquants des 22 plongées effectuées au cours de la campagne CALSUB (du 18 février au 14 mars 1989) dans la perspective d'applications paléoécologiques.

I. – Contexte géodynamique et océanographique

La Nouvelle-Calédonie se situe dans le contexte des marges actives du SW Pacifique [Rigolot, 1989]. Le bassin des Loyauté sépare le segment nord de la ride de Norfolk, dont la Grande Terre constitue la partie émergée, de la ride des îles Loyauté dont le soulèvement lié au bombement lithosphérique qui précède la fosse des Nouvelles-Hébrides, porte d'anciens atolls jusqu'à 138 m d'altitude [Carrière, 1987]. L'ensemble est orienté NW-SE.

Bien que depuis 125 000 ans, la région paraisse relativement stable du point de vue tectonique [Launay, 1985], le bilan eustatique de la période récente est négatif puisque le niveau marin relatif a baissé d'environ 1,3 m depuis 5 500 ans [Cabioch, 1988]. La cause en revient aux réajustements isostatiques liés à une réaction du manteau supérieur à la surcharge pondérale des eaux issues de la fonte des glaces [Nakiboglu *et al.*, 1983]. Ces phénomènes induisent l'érosion active des pentes bathyales observées lors de la campagne CALSUB [Vanney, 1991; Rio *et al.*, 1991].

La Grande Terre est entourée d'une barrière récifale plus ou moins continue délimitant un vaste lagon. La pente récifale externe, très abrupte, domine le talus bathyal. Au S et au SW de l'île des Pins, la plate-forme récifale n'est pas limitée par un récif barrière, mais débouche directement sur la pente épibathyale. Autour des îles Loyauté, une plate-forme, généralement étroite, comportant un récif frangeant et des pinacles coralliens d'importance variable, borde un talus qui plonge rapidement vers des profondeurs supérieures à 1 000 m. La campagne CALSUB a exploré ces trois types de relation plate-forme/pentes bathyales (1) au large de Thio, (2) sur la bordure occidentale de l'île des Pins, (3) au N et à l'W de Lifou (fig. 1). Les plongées se sont étagées entre 60 m et 2 800 m de profondeur (fig. 2). Seul le haut du talus au niveau de Thio n'a pu être observé.

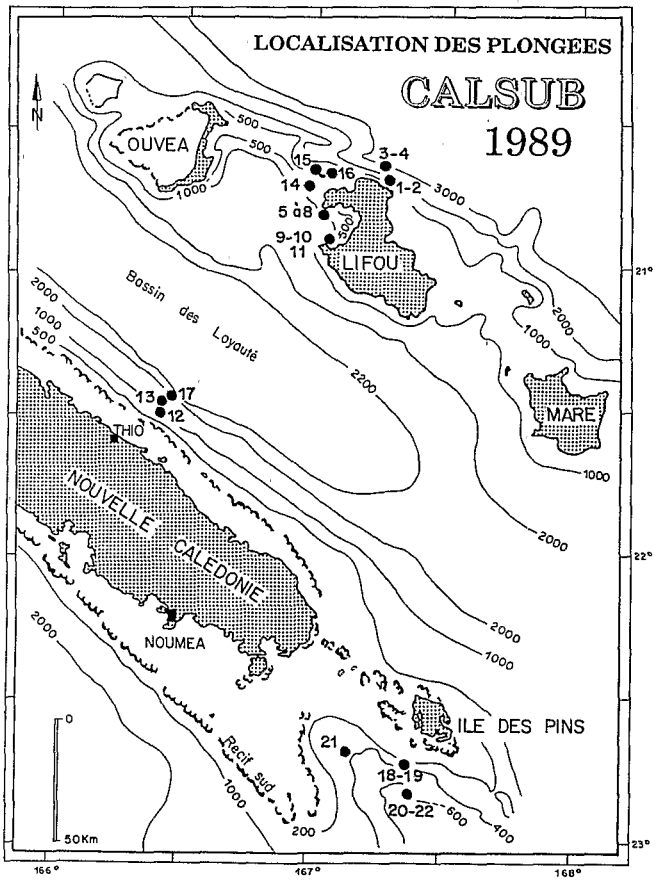


FIG. 1. – Carte des zones explorées par la campagne CALSUB.

FIG. 1. – *Location of submersible dives during CALSUB cruise.*

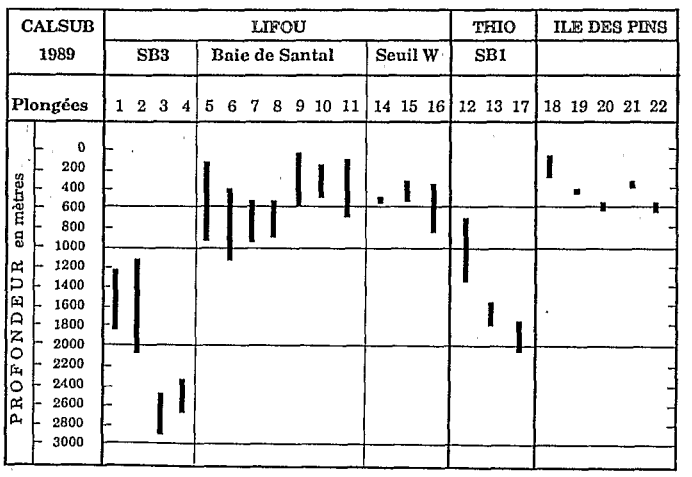


FIG. 2. – Répartition bathymétrique des plongées CALSUB.

FIG. 2. – *Bathymetric distribution of CALSUB dives.*

L'hydrologie du bassin des Loyauté (fig. 3) montre une structure thermohaline [Guevel, 1983] avec un maximum de salinité entre 150 et 170 m séparant une veine d'eau subtropicale sud, d'une part, et d'autre part, la couche d'eau superficielle qui subit au N une influence équatoriale. La limite supérieure de l'eau antarctique intermédiaire se situe généralement vers 700-800 m, mais peut remonter jusqu'à 600 m [Rougerie, 1986] ou moins, comme le suggèrent les profils thermiques relevés au cours des plongées CALSUB. Le passage fréquent de dépressions tropicales, voire de cyclones, près de la Nouvelle-Calédonie est susceptible de provoquer des perturbations hydrologiques en milieu profond et des remontées temporaires et locales de la veine d'eau antarctique intermédiaire.

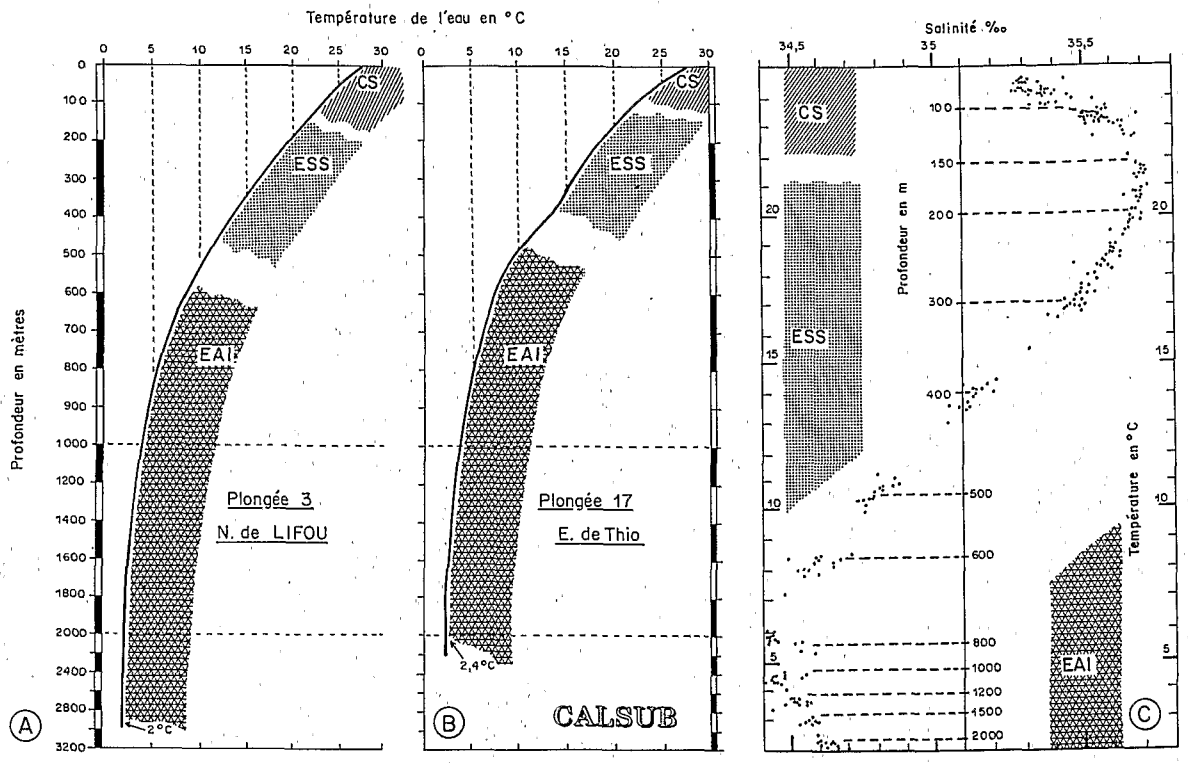


FIG. 3. – Structure thermique et thermohaline verticale à l'E de la ride des Loyauté (A) et dans le bassin (B et C).
A et B : données enregistrées par la soucoupe Cyana; C : modifié d'après Guevel [1983]; CS : couche superficielle; ESS : eau subtropicale sud; EAI : eau antarctique intermédiaire.

FIG. 3. – *Vertical hydrologic profiles near the E edge of Loyalty ridge* (A) *and in the basin* (B *and* C).
A *and* B : *data recorded by the diving saucer Cyana;* C : *modified from Guevel [1983];* CS : *shallow-water layer;* ESS : *southern subtropical water;* EAI : *intermediate deep antarctic water.*

Le contexte océanographique néocalédonien est donc à la fois relativement hétérogène et instable dans l'espace et dans le temps, ce qui confère à l'écosystème profond un intérêt particulier.

II. – DE LA PLATE-FORME EXTERNE A LA PARTIE HAUTE DU TALUS

A) Pénétration de la lumière et conséquences

C'est le domaine où l'on passe de la zone euphotique à une pénétration de la lumière faible ou nulle. On sait que des diatomées photoautotrophes se développent entre 200 et 350 m, et que la pénétration optimale des radiations bleues et vertes atteint 480 à 560 m [Pérès, 1976]. Bien que les eaux aient toujours été relativement chargées en particules, lors de la campagne CALSUB une faible luminosité était encore sensible à l'œil vers 400 m à mi-journée. Toutefois, c'est entre 100 m et 150 m que la baisse de luminosité (devenue inférieure à 1 % de la luminosité de surface) est la plus sensible. La rupture de pente limitant la plate-forme externe se situe souvent aussi à cette profondeur. Les deux facteurs se conjuguant, localisent un net changement de densité et de composition des faunes. En baie de Santal (Lifou), des algues vertes encroûtantes, de type *Palmophyllum,* sont associées aux rhodolithes jusque vers 110 m, tandis que les mélobésiées descendent jusqu'à 145 m [Roux *et al.*, 1991].

En effet, lors de l'exploration en submersible du tombant récifal de l'atoll Eniwetok (N des îles Marshall), des mesures de pénétration de la lumière ont montré qu'environ 1 % de l'illumination de surface pénètre à 100 m de profondeur et seulement 0,1 % à 150 m [Colin *et al.*, 1986]. Jusqu'à 140 m, les *Halimeda* se développent et les rochers sont recouverts de petites algues et de films algaires. Les *Halimeda* restent diversifiées et abondantes, dominant nettement les coraux hermatypiques vers 90 m, et représentent encore 10 à 25 % de la couverture à 110 m, tandis que les coraux hermatypiques disparaissent vers 90 m [Hillis-Colinvaux, 1986].

Aux Bahamas [Littler *et al.*, 1985], des constats similaires ont été faits par les plongées en soucoupe. Les *Caulerpa* atteignent 88 m, les *Halimeda*, 130 m, l'algue verte perforante *Ostreobium,* 210 m. Une corallinacée encroûtante détient le record actuel de profondeur pour un macrophyte avec 268 m; 0,0005 % de l'illumination de surface lui suffit.

Ces observations remettent en cause certains des concepts classiquement utilisés par les sédimentologues

pour la reconstitution des paléoenvironnements, concepts qui s'appuient sur le postulat d'une limitation du développement des algues vertes calcaires à de très faibles profondeurs ou, au mieux, d'une distribution des *Halimeda* très similaire à celles des coraux hermatypiques [James et Ginsburg, 1979].

B) A l'W de l'île des Pins

Ici, la plate-forme externe présente une pente modérée (plongée 18). Vers 60 m, au milieu de plaines sédimentaires périrécifales où vit *Prionocidaris australis* apparaissent des dômes caverneux construits par des algues calcaires [Rio *et al.*, 1991]. Ils couvrent chacun une dizaine de m^2 et présentent une couverture biologique presque totale avec une épifaune sessile composée de grandes éponges, de gorgones en éventail et d'anthipathaires.

Vers 100 m, une dalle continue supporte une faune riche et diversifiée. Les gorgones, antipathaires et pennatules ont souvent une hauteur dépassant le mètre et portent de grandes ophiures (euryales), des bivalves Aviculidae, des gastéropodes Ovulidae notamment. Les petits scléractiniaires, les stylastérides, les hydraires, les alcyonaires et des éponges Lithistides que l'on retrouvera à une plus grande profondeur apparaissent.

A partir de 130 m, la pente devient sensible (environ 15°) et la dalle se disloque au sein d'une coulée boueuse parsemée de blocs où l'épifaune de suspensivores est plus dispersée. Entre 200 m et 270 m, la pente sédimentaire montre surtout une épifaune vagile éparse (holothuries, astérides Astropectinidae, comatules, gastéropodes dont *Xenophora*, etc...). Le sédiment est couvert d'épaves de grandes algues et de végétaux terrestres qui fournissent une ressource trophique importante pour les détritivores. Vers 300 m, une dalle indurée, localement caverneuse, constitue un fond assez plat couvert d'une riche épifaune de taille moyenne (nombreux scléractiniaires solitaires et colonies érigées de bryozoaires) et une mégafaune éparse (diverses éponges dont des Lithistides, des zoanthaires branchus, des gorgones filiformes).

C) A l'W de Lifou

Au S de la baie de Santal (Lifou), au pied du récif Shelter (plongées 9 et 11), la pente reste toujours forte : 40° vers 80 m, souvent 60° à partir de 200 m. Sur un substratum de sables blancs périrécifaux, entre 70 m et 130 m, un «trottoir» algaire (pl. : fig. 1) se développe avec sa couverture de suspensivores où dominent les grandes gorgones et antipathaires. Il devient discontinu avec la profondeur, puis se disloque en un substrat sableux à caillouteux où se rencontrent des holothuries de grande taille. Entre 120 et 140 m, des boulets algaires centimétriques à décimétriques parsèment souvent le fond avec des densités variables (pl. : fig. 2). Ces boulets algaires peuvent constituer des avalanches qui les transportent souvent jusqu'à 300 à 400 m de profondeur, parfois même jusqu'à plus de 800 m.

Les pentes rocheuses fortes voire subverticales entre 150 m et 400 m sont couvertes d'éponges siliceuses diverses. Certaines d'entre elles (éponges à fistules, clionides) pourraient être responsables de la corrosion en cupules du substrat [Gaillard, 1991]. On y rencontre des pleurotomaires [Bouchet et Métivier, 1982] qui pourrait être spongivores comme cela a été observé au large des Bahamas [Harasewych *et al.*, 1988]. L'abondance et la diversité de la faune sont très variables d'un point à un autre. Les zones caverneuses semblent favorables aux concentrations de formes vagiles et sessiles (crustacés, comatules, alcyonaires, bryozoaires et scléractiniaires notamment).

Vers 240 m, sur un substrat dur et caverneux, des sphinctozoaires, représentants actuels de formes qui participaient aux constructions récifales durant le Trias [Vacelet, 1983 et 1985], ont été récoltés dans un sable bioclastique s'écoulant d'une grotte. Autour de la Nouvelle-Calédonie, les dragages ont montré qu'entre 170 m et 300 m ces animaux sont capables de construire des massifs au moins décimétriques.

PLANCHE/PLATE

FIG. 1. – Trottoir algaire. Sud de la baie de Santal à l'W de Lifou. Profondeur : 80 m. Plongée 11; observateur : J.P. Bourseau.

FIG. 1. – *Calcareous algal step. Southern part of Santal Bay, W of Lifou. Depth : 80 m. Dive 11; diver : J.P. Bourseau.*

FIG. 2. – Grande holothurie (environ 80 cm) sur une pente à boulets algaires et sable bioclastique. Baie de Santal à l'W de Lifou. Profondeur : 140 m. Plongée 11; observateur : J.P. Bourseau.

FIG. 2. – *Large holothurian (about 80 cm) on a slope covered by calcareous algal balls and bioclastic sand. Santal Bay, W of Lifou. Depth : 130 m. Dive 11; diver : J.P. Bourseau.*

FIG. 3. – Groupe de *Nautilus macromphalus* attirés par un appât. SW de l'île des Pins. Profondeur : 413 m. Plongée 19; observateur : M. Segonzac.

FIG. 3. – *Group of* Nautilus macromphalus *attracted by a bait. SW of Ile des Pins. Depth : 413 m. Dive : 19; diver : M. Segonzac.*

FIG. 4. – Blocs écroulés et graviers provenant d'un trottoir algaire mélangés à une concentration de coquilles de nautiles autochtones (flèches). Versant septentrional du seuil Ouvéa-Lifou. Profondeur : 360 m. Plongée 16; observateur : M. Roux.

FIG. 4. – *Fallen rocks from a calcareous algal step which were mixed with a dense group of autochthonous dead* Nautilus *shells (arrows). North slope of Ouvea-Lifou rise. Depth 360 m. Dive 16; diver : M. Roux.*

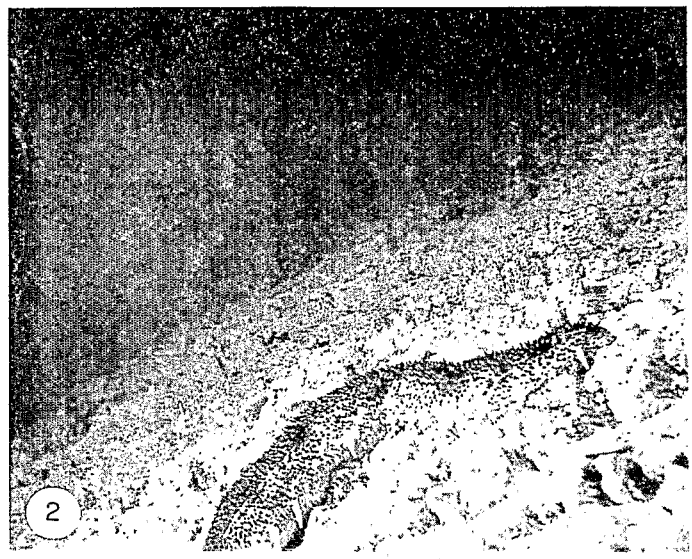
FIG. 5. – Agrégat d'échinodermes au sommet d'un escarpement de faille. Sud de l'île des Pins. Profondeur : 597 m. Plongée 22; observateur : M. Roux.

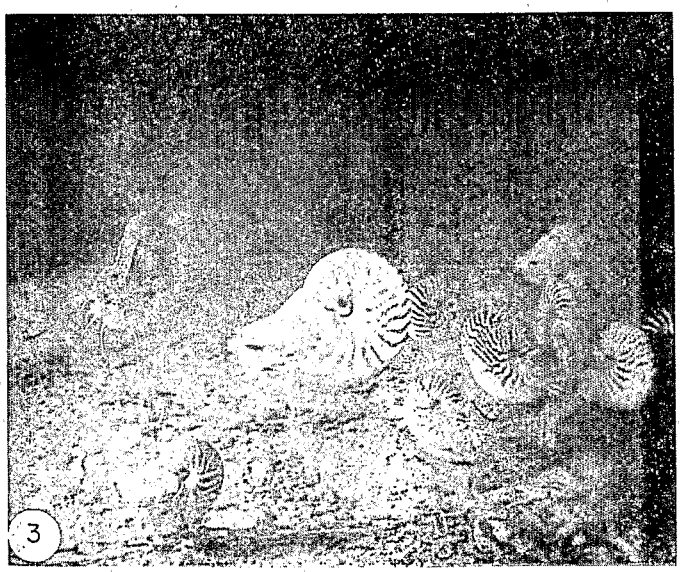
FIG. 5. – *Dense population of echinoderms at the top of a fault escarpment. South of Ile des Pins. Depth : 597 m. Dive 22; diver : M. Roux.*

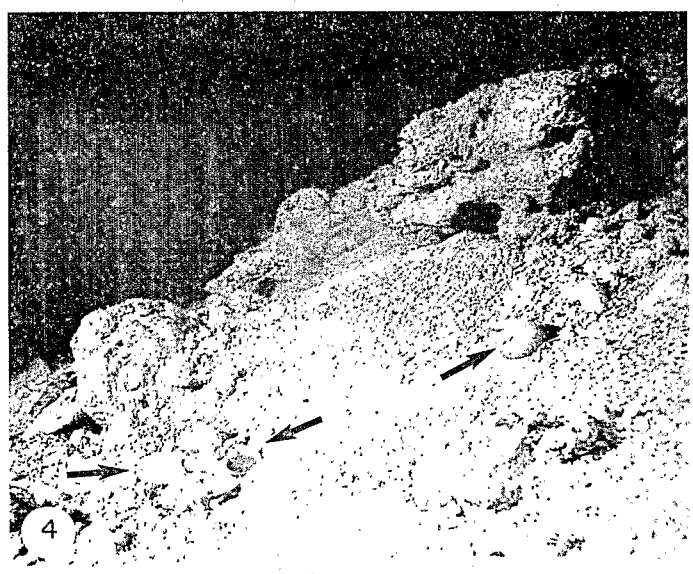
FIG. 6. – Surface sédimentaire entièrement bioturbée par des holothuries (largeur des pistes environ 10 cm). Pente nord de Lifou. Profondeur : 2459 m. Plongée 03; observateur : M. Rio.

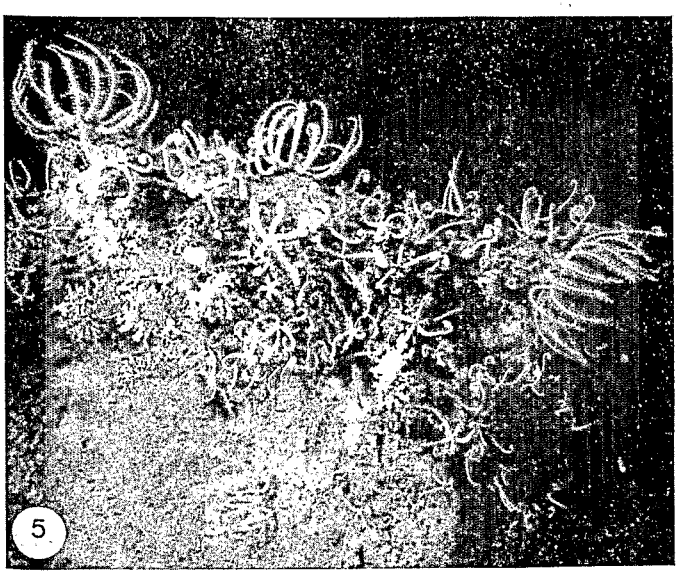
FIG. 6. – *Sedimentary surface strongly burrowed by holothurians (width of traces of about 10 cm). North slope of Lifou. Depth : 2459 m. Dive 03; diver : M. Rio.*

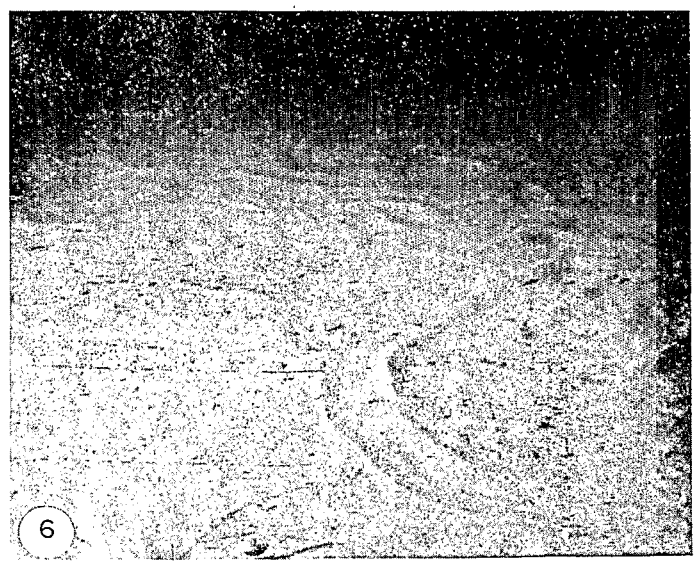
1


2


3


4


5


6

III. – LES PENTES ENTRE 300 M ET 700 M

A) Associations sur les dalles rocheuses

Les surfaces rocheuses régulières qui sont souvent des hard-grounds très similaires à ceux que l'on connaît dans les séries géologiques, portent une mégafaune suspensivore dont les groupements les plus typiques ont été observés lors de la plongée 15 au N du seuil Ouvéa-Lifou, notamment entre 300 m et 500 m.

Il s'agit de champs de gorgones assez régulièrement distribuées composés d'une forme en bouquet de 10 à 20 cm de haut (densité 0,5 à 1 individu par m^2) et d'une forme en double peigne (*Calyptrophora*), plus grande, pouvant dépasser 1 m de haut (0,1 à 0,05 individus par m^2) et portant des crustacés, des comatules et des ophiures (dont de grandes Euryales). Si la pente s'accentue (20°), la couverture de gorgones peut disparaître, laissant des espaces où s'installent des populations plus monospécifiques soit d'oursins cidaridés, soit du crinoïde pédonculé *Gymnocrinus richeri*, représentant actuel de la famille mésozoïque des Hemicrinidae [Bourseau *et al.*, 1987]. Dans ces derniers biotopes, les échinodermes (ophiures, crinoïdes, cidaridés) ont toujours une place importante.

Vers 300 m, la dalle est souvent encore partiellement recouverte de débris coralliens et algaires provenant de plus faible profondeur. Ce substrat plus grossier paraît favorable au développement des coraux stylastéridés et des gastéropodes.

Vers 500 m, la pente devient souvent forte à subverticale avec des cavernes où s'abritent des poissons (mérous, vivaneaux). Certains blocs constituent des abris pour une riche macrofaune sessile. Les parois sont localement colonisées par des balanes, des petites gorgones, des gorgones isididées, des stylastéridés et des antipathaires en fouet. A leur pied, un sable organogène grossier est constitué pour partie des débris issus de l'épifaune sus-jacente auxquels s'ajoutent des éléments planctoniques (ptéropodes, foraminifères).

B) Les fonds balayés par les courants

La dépression située entre l'île des Pins et le grand récif sud (fig. 1) possède un fond assez régulièrement incliné du NW vers le SE balayé par des courants capables, périodiquement, de former des dunes hydrauliques de sable bioclastique [Rio *et al.*, 1991]. Cet environnement a été observé par les plongées 19 à 22 entre 300 m et 650 m de profondeur [Roux *et al.*, 1991].

Entre 320 m et 410 m (plongées 19 et 21), le fond presque plat mais rugueux est constitué d'une croûte ferrugineuse démantelée plus ou moins recouverte localement d'une pellicule de sédiments bioclastiques. L'épifaune montre une dispersion assez régulière et homogène. La macrofaune est abondante surtout pour les tailles petites à moyennes. On notera particulièrement les térébratules (brachiopodes) dont la densité se situe toujours entre 10 et 20 individus par m^2, et ceci sur de larges surfaces. Les individus sont isolés et ne constituent jamais d'agrégats. Les gastéropodes sont fréquents et diversifiés (*Conus, Fusinus, Charonia, Cypraea,* pleurotomaires), ainsi que les coraux stylastéridés. Les individus de la mégafaune (tous groupes confondus) sont plus dispersés (0,1 à 0,05 par m^2). Les groupes représentés sont notamment les éponges dont les lithistides en coupe (*Corallistes*), des échinides réguliers (*Asthenosoma,* cidaridés), quelques gorgones et des crinoïdes pédonculés (pentacrines, *Caledonicrinus*). Les pentacrines (*Saracrinus* et *Metacrinus*) sont les seuls suspensivores qui colonisent les quelques dunes hydrauliques de ce secteur (plongée 21) sur la crête desquelles elles sont parfois installées.

Vers 600 m, les courants canalisés par un relief de faille [Vanney, 1991; Rio *et al.*, 1991] façonnent un environnement remarquable (fig. 4). Ici l'instabilité du champ de dunes hydrauliques ne permet la présence que d'une rare faune vagile. Cependant, un spatangue (*Taimanawa*) semble fréquent : de nombreux tests (souvent cassés) de spécimens morts reposent sur la surface du sédiment, mais un seul individu vivant a été observé. La falaise, issue de l'érosion de la lèvre de faille par les courants, est constituée de sédiments hémipélagiques très friables, juste compactés pour acquérir une certaine cohésion, armés au sommet par une surface durcie ferrugineuse. Au pied de la falaise, les blocs

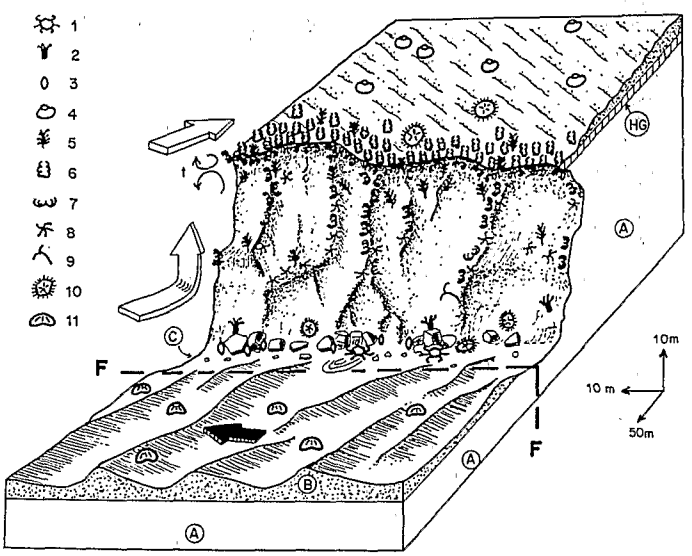


FIG. 4. – L'escarpement de faille au S de l'île des Pins (plongées 20 et 22, profondeur 580-600 m).
A : craie hémipélagique d'âge pliocène; B : sable bioclastique; C : surcreusement en pied d'escarpement; F : faille; HG : surface durcie ferrugineuse; 1 : crabe (*Geryon*); 2 : actinie; 3 : grand bivalve limidé (*Acesta*); 4 : éponge siliceuse globuleuse; 5 : zoanthaire; 6 : ophiure aux bras dressés (Ophiacanthidae); 7 : astérie suspensivore (Brissingidae); 8 : ophiure aux bras plaqués sur le substrat (Ophiacanthidae); 9 : crinoïde pédonculé (*Porphyrocrinus*); 10 : échinide régulier (*Phormosoma*); 11 : échinide irrégulier (*Taimanawa*).
Les flèches indiquent le sens des courants.

FIG. 4. – *Fault escarpment, S of île des Pins (dives 20 and 22, depth 580-600 m).*
A : *hemipelagic chalk of Pliocene age;* B : *bioclastic sand;* C : *erosion along the escarpment base;* F : *fault;* HG : *ferrous hard ground;* 1 : *large crab* (Geryon); 2 : *sea anemone;* 3 : *large bivalve* (Acesta); 4 : *spherical siliceous sponge;* 5 : *zoantharian;* 6 : *brittle star with uplifted arms (Ophiacanthidae);* 7 : *suspension feeder sea-star (Brissingidae);* 8 : *brittle star with arms crawling on the substrate (Ophiacanthidae);* 9 : *stalked crinoid* (Porphyrocrinus); 10 : *regular sea-urchin* (Phormosoma); 11 : *spatangid sea-urchin* (Taimanawa).
Arrows indicate water current direction.

en éboulis abritent de grands crustacés (*Geryon*) et de grands bivalves limidés (*Acesta*). Les oursins «mous» (*Phormosoma*) y sont fréquents. La paroi est colonisée principalement par des ophiures ophiacanthidées et par des astérides brissingidées. Au sommet de la corniche, ces échinodermes constituent un peuplement d'une étonnante densité (pl. : fig. 5). Lorsque le sommet de la corniche est en surplomb, la surface inférieure est couverte par des zoanthaires. L'eau de fond y est très riche en particules en suspension et en petits crustacés nectoniques. Il est clair que le relief de faille crée des conditions hydrodynamiques favorables à la concentration et à la capture des particules nutritives par la mégafaune suspensivore et principalement les échinodermes.

La pente située au-dessus du relief de faille est constituée d'un placage de sédiment balayé par les courants sur un substrat dur ou caillouteux. On y observe une association particulière bien diversifiée aux individus régulièrement dispersés, caractérisée par la présence d'une éponge siliceuse globuleuse, de langoustes (*Puerulus*), de crevettes penaeidées, de plumulaires, d'actinies, d'oursins cidaridés, d'astérides brissingidées, de stylastéridés et de boules de sédiment agglutinées par des rhizopodes géants (xénophiophores).

La richesse et les particularités de ces environnements montrent que des formations bioclastiques à stratifications entrecroisées, façonnées par des courants et générant des dunes hydrauliques ne sont en rien caractéristiques des plates-formes mais peuvent correspondre à un environnement épibathyal relativement profond. La richesse en échinodermes évoque la formation de calcaires à entroques [Améziane-Cominardi *et al.*, 1991], celle en térébratules rappelle les couches à brachiopodes qui leur sont parfois associées dans certaines séquences sédimentaires fossiles.

Les «lithohermes» décrits dans l'Atlantique tropical occidental [Newton *et al.*, 1987; Messing *et al.*, 1990] sont une autre illustration spectaculaire des potentialités de production carbonatée benthique (coraux, crinoïdes) dans les zones parcourues par des courants entre 500 et 700 m de profondeur. Ces potentialités sont largement sous-estimées dans l'analyse des paléoenvironnements.

C) Les nautiles

Nautilus macromphalus est une espèce endémique autour de la Nouvelle-Calédonie et des îles Loyauté [Saunders et Landman, 1987]. Comme l'ont montré les captures par casiers [Intès, 1978], leur maximum de fréquence se situe vers 400 m ± 100 m et ils disparaissent vers 600 m. Les individus isolés observés à l'W de Lifou et au SW de l'île des Pins, ainsi que les appâts posés 10 à 12 heures avant les plongées 19 et 22, ont confirmé cette répartition. Aucun individu vivant n'a été observé au-delà de 545 m durant la campagne CALSUB.

Autour de l'appât posé par 411 m de fond (pl. : fig. 3), une vingtaine d'individus étaient agglutinés ainsi que de nombreuses crevettes rouges (*Heterocarpus*). Les individus isolés sont très actifs et nagent efficacement par réaction à une vitesse pouvant atteindre environ 30 cm/s [Roux, 1990]. Aucun juvénile n'a été rencontré.

Des coquilles gisant sur le fond ont été observées ou draguées entre 335 m et 2334 m. Elles sont plus rares au-delà de 675 m. On sait par ailleurs qu'après la mort de l'animal, elles peuvent flotter et s'échouer sur le littoral. En milieu bathyal, une épifaune se fixe sur les coquilles; elle se compose notamment de serpules, de bryozoaires, de balanes, de scyphozoaires, de bivalves et de foraminifères (Marchand et Laurin, en préparation). Les plus fortes accumulations de coquilles ont été observées vers 400 m au milieu de blocs et de débris provenant d'un trottoir algaire installé en bordure de plate-forme (pl. : fig. 4). Ce mélange illustre les risques d'erreur d'interprétation paléoécologique de tels gisements fossiles et leurs conséquences méthodologiques (rejet de l'actualisme) ou théoriques («migration» et «refuge» en domaine profond d'animaux qui dans le passé auraient vécu uniquement en domaine de plate-forme).

IV. – La transition 700-1 000 m

A partir d'environ 700 m, avec l'entrée dans l'eau antarctique intermédiaire, la faune se modifie aussi bien sur les substrats rocheux que sur les substrats sédimentaires avec apparition de formes qui domineront en milieu abyssal. La tranche bathymétrique de 700 m à 1 000 m comporte néanmoins des associations benthiques particulières dont le cachet est souvent donné par les éponges.

A) Les fonds rocheux

Entre 700 m et 900 m, la mégafaune qui colonise les fonds durs comporte notamment de grands alcyonaires (*Bathyalcyon*), des gorgones isididées dont les colonies en forme de «plume d'autruche» atteignent plusieurs mètres, des gorgones en colonies spiralées (*Iridogorgia*). Les éponges hexactinellides massives (en forme de quart de sphère ou cylindriques) de plusieurs décimètres de haut et reposant sur un épais tapis de spicules (fig. 5) sont particulièrement fréquentes dans cette tranche bathymétrique. Les crinoïdes pédonculés hyocrinidés apparaissent.

L'abondance et la diversité de la macrofaune sont plus élevées quand la surface est irrégulière, sur les blocs éboulés ou sur les reliefs de faille. C'est notamment le cas lorsqu'un surplomb protège des arrivées sédimentaires une niche enfoncée dans une paroi. Une telle niche par 836 m (plongée 16) comportait de nombreux scléractiniaires solitaires (*Desmophyllum, Javania,* etc...) ou coloniaux (*Enallopsammia*), des brachiopodes (*Dallithyris*), des échinodermes (hyocrinidés, cidaridés) et des petites gorgones et éponges.

Au-delà de 900 m, la même épifaune devient plus éparse. Mais cela correspond aussi, dans les zones explorées, à une fréquence plus grande des fonds sédimentaires.

B) Les fonds sédimentaires

Les champs de *Monorhaphis* constituent le faciès le plus original entre 800 m et 1 000 m. Ces éponges hexactinellides se caractérisent par un axe de soutien, ancré dans le sédiment, qui n'est constitué que d'un seul spicule siliceux d'un mètre de long ou plus et d'une flexibilité remarquable. La densité peut atteindre 1 à 2 individus par m^2. Du vivant

de l'éponge, de nombreux épizoaires (hydrozoaires, zoanthaires, etc.) se fixent sur la partie inférieure du spicule. A sa mort, le spicule semble rester assez longtemps érigé et il se couvre entièrement d'épizoaires. Il peut servir de perche à des comatules, à des ophiures ou à des actinies. Certains champs sont constitués pour plus de la moitié d'individus morts.

Des éponges massives cylindriques ou en coupes, parfois groupées par deux ont leur assise basale de spicules généralement enfoncée dans le sédiment. Parfois, les courants la dégagent et montrent ainsi son volume étonnant qui peut être plus du double de celui du corps de l'éponge (fig. 5). Quelques individus de *Hyalonema* et d'euplectelles apparaissent vers 700 à 800 m.

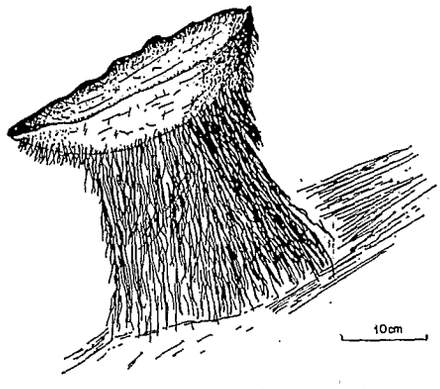


FIG. 5. – Eponge hexactinellide en coupelle supportée par un épais coussin de spicules. Hauteur : 30 à 40 cm. Versant septentrional du seuil Ouvéa-Lifou, 820 m.

FIG. 5. – *Cup-shaped hexactinellid sponge on its thick root of spicules. Height : 30 to 40 cm. North slope of Ouvéa-Lifou rise, 820 m.*

Les petites boules de sédiment agglutiné par les xénophiophores deviennent abondantes comme elles le sont souvent à plus grande profondeur.

V. – LES PROFONDEURS SUPÉRIEURES À 1000 M

Au-delà de 1 000 m de profondeur, la faune devient nettement plus clairsemée bien que restant assez diversifiée. Les grands suspensivores les plus typiques sont fréquemment d'une hauteur supérieure à 50 cm. Le plus grand observé à 1905 m (plongée 2) est un *Monorhaphis* de 2,5 à 3 m de long. En revanche, la surface des dalles rocheuses est recouverte d'un feutrage dense composé principalement d'hydrozoaires. Les arrêts de sédimentation sont soulignés par des surfaces intensément taraudées et/ou bioturbées qui s'imprègnent de dépôts ferromanganésifères. Néanmoins, le sédiment n'est pas induré (bien que la surface ait les caractères d'un hard-ground), et reste très friable.

La tranche bathymétrique entre 1 000 m et 1 600 m se caractérise par la présence simultanée sur des fonds durs, parfois très pentus comme au N de Lifou, de trois formes : deux crinoïdes pédonculés homéomorphes (*Proisocrinus* et *Guillecrinus*) et une gorgone en forme d'ombrelle (*Metallogorgia*). Jusqu'à 2 000 m, les éponges pédonculées sont les plus diversifiées. Au-delà de cette profondeur, les pentes sont moins fortes et sur les dalles rocheuses apparaissent de grandes euplectelles atteignant des tailles de 1 à 2 m. On y rencontre aussi un crinoïde hyocrinidé typiquement abyssal (*Hyocrinus*). Sur les zones sédimentaires, les grandes holothuries abyssales, dont une forme nageuse, deviennent relativement plus fréquentes et sont capables de labourer intensément certaines surfaces (pl. : fig. 6).

Dans tout le domaine méso- et infrabathyal, sur les plages de sédiments, les *Hyalonema* sont fréquentes. Tous les individus possèdent, accroché au sommet de leur pédoncule, un commensal qui est une comatule ou une astéride brissingidée. Pour *Metallogorgia*, c'est une euryale qui s'installe au centre de l'ombrelle. Dans d'autres cas, l'association n'est pas systématique. L'actinie *Actinoscyphia* se perche sur des supports variés. Les suspensivores vagiles (ophiures, astéries, comatules, crustacés) s'accrochent à tous les objets vivants ou morts qui leur permettent de s'élever au-dessus du fond. Ce sont les ophiures (ophiacanthidées et euryales) qui s'accumulent le plus spectaculairement sur des perches.

VI. – IMPORTANCE DE LA BIOCORROSION ET DE LA BIOTURBATION

La biocorrosion joue un rôle important dans le démantèlement et l'érosion des substrats durs carbonatés, ceci à toutes les échelles.

A l'échelle microscopique, bactéries et champignons attaquent les bioclastes jusqu'aux plus grandes profondeurs, provoquant leur micritisation. La biocorrosion permet l'exploitation des composants organiques des squelettes et coquilles et, de ce point de vue, plus la nourriture se fait rare avec la profondeur, plus son importance relative est grande dans l'écosystème. L'exemple des ossicules d'échinodermes [Améziane-Cominardi et Roux, 1987] montre que l'aspect «usé» des bioclastes est plus souvent la conséquence de la biocorrosion que celle d'une action mécanique. Bien entendu, au moindre transport, le squelette fragilisé s'érode ou se disloque, même en milieu relativement calme; sa micritisation alimente les boues carbonatées bathyales.

A l'échelle macroscopique, c'est le même phénomène qui provoque la dislocation et l'effritement des trottoirs et des boulets algaires sur le haut du talus [Rio *et al.*, 1991]. En plus, des macro-organismes perforants interviennent. En domaine circalittoral et épibathyal, il ne faut pas oublier l'action des algues vertes perforantes et *a fortiori* des cyanophycées compte-tenu de leur survie à des profondeurs inattendues (voir plus haut). L'action des éponges sur les substrats lithifiés entre 200 et 500 m paraît considérable. Elles semblent responsables de la grande densité de cavités centimétriques à décimétriques observées au large de Lifou, bien qu'il soit difficile d'en déterminer précisément l'auteur [Gaillard, 1991].

Dans des sédiments plus meubles des pentes fortes entre 200 et 600 m, les crustacés et les poissons fouissent sous les dalles lithifiées et contribuent ainsi à l'érosion différentielle et au développement de l'habitat cryptique [Vanney, 1991]. Ceci avait déjà été remarqué dans d'autres régions [Able *et al.*, 1987].

La bioturbation participe aussi au recyclage pour une meilleure exploitation des ressources trophiques et son importance relative croît avec la profondeur. Elle joue un rôle important dans les remaniements et dans la destruction des structures sédimentaires initiales [Gaillard, 1988, 1991; Gaillard *et al.*, 1989]. Au-delà de 1 600 m, des ichnofaciès particuliers ont été observés : grande densité de terriers disposés en fer à cheval entre 1600 et 2000 m, faciès à *Zoophycos* vers 1 700-1 800 m, faciès à *Urohelminthoida* et *Pleodictyon* surtout à partir de 3 000 m. Ces derniers étaient inconnus (*U*) ou presque (*P*) dans la nature actuelle, mais abondants dans certaines séries géologiques dès le début du Paléozoïque (*P.*). Les conditions taphonomiques nécessaires à leur conservation (enfouissement rapide par des turbidites très distales) ont pu être cernées [Gaillard, 1991].

VII. – Discussion et conclusions

A) Grands traits zoobathymétriques

Les modifications de composition des communautés benthiques en rapport avec la profondeur sont particulièrement sensibles à deux niveaux qui correspondent aux zones de contact entre les masses d'eaux océaniques. La transition à 100-150 m correspond à la fois à la rupture de pente en bordure externe de la plate-forme, à la forte réduction de la pénétration de la lumière solaire et à la limite inférieure de la couche d'eau superficielle. La limite 700 m ± 100 m est celle entre la veine d'eau subtropicale sud et l'eau antarctique intermédiaire. Cette dernière masse d'eau baigne la faune relativement homogène à caractère abyssal dominant marquée principalement par la diversité des grandes éponges hexactinellides.

Le domaine épibathyal montre dans l'ensemble une forte hétérogénéité liée à la diversité des fonds et à l'influence des courants. C'est la zone la plus façonnée par les courants (à l'W et au SW de l'île des Pins) qui abrite les plus fortes densités de benthos. Il faut souligner l'importance des substrats caverneux qui abritent une faune sessile cryptique ainsi qu'une partie de la faune vagile et du necton pendant la journée.

Une analyse plus précise montre toujours que la répartition verticale des organismes n'est pas simplement liée aux caractères physico-chimiques de l'environnement mais aussi à des facteurs biotiques et historiques complexes [Bourseau *et al.*, 1988; Vacelet, 1988; Zibrowius, 1988]. Celle-ci est en cours.

B) Aspects biogéographiques et historiques

Dans l'état actuel des connaissances, la faune bathyale néocalédonienne peut être subdivisée en trois groupes du point de vue des affinités biogéographiques : un premier groupe lié à la faune intertropicale du Pacifique occidental et central, un second lié à la faune néo-zélandaise, et un troisième plus ou moins endémique des environs de la Nouvelle-Calédonie. Bien entendu, certains taxons sont plus cosmopolites et se retrouvent dans l'océan Indien et même dans l'Atlantique. Ceci apparaît bien chez les éponges [voir notamment Lévi et Lévi, 1982 à 1988], mais aussi dans d'autres groupes.

La principale originalité de cette faune est l'importance des taxons anciens (formes panchroniques) représentants actuels de familles, voire de sous-classes, qui furent florissantes dans la Téthys mésogéenne [Améziane-Cominardi *et al.*, 1987]. Les cas les plus spectaculaires se trouvent chez les mollusques (nautiles, pleurotomaires), chez les éponges (lithistides, hexactinellides, sphinctozoaires) et les crinoïdes pédonculés (hémicrinides, eudésicrinides, milléricrinides notamment). Certains ont même des affinités paléozoïques comme le crinoïde *Guillecrinus*. La plupart de ces «fossiles vivants» vivent sur les fonds épibathyaux et mésobathyaux. Certaines formes sont probablement des rescapées de la fermeture de la Téthys mésogéenne au Cénozoïque, d'autres se sont probablement maintenues sur les marges de la Téthys permanente dans un contexte écologique localement peu modifié au cours du temps [Améziane-Cominardi *et al.*, 1990].

C) Intérêt géologique

Par sa richesse et par ses affinités mésogéennes, la faune bathyale néocalédonienne est un exemple utile pour l'interprétation des environnements anciens. Du point de vue biosédimentaire, on notera :

1) l'importance des constructions algaires surtout entre 80 et 120 m et des éboulis qui en sont issus et qui se mélangent avec des squelettes de la faune autochtone épibathyale; on aboutit à des gisements fossilifères potentiels qui évoquent un environnement beaucoup moins profond que n'est en réalité le milieu de dépôt, ou le milieu de vie de certains organismes;

2) la production organogène carbonatée autochtone reste important jusque vers 600-700 m; les principaux producteurs paraissent les coraux stylastérides et les échinodermes; ceci est évident pour les hautes densités d'échinodermes observées lors des plongées 20 et 22, mais des populations plus clairsemées et à croissance relativement rapide peuvent produire des sables bioclastiques (sables à *Stylaster* fréquemment dragués, par exemple). Le volume des bioclastes cumulé au cours du temps ou/et concentré par les courants peut contribuer à la formation d'assises carbonatées comme les calcaires crinoïdiques [Améziane-Cominardi *et al.*, 1991];

3) les éponges, notamment les hexactinellides de la zone épibathyales, fixent une quantité considérable de silice. La dissolution des spicules en surface des sédiments paraît assez lente compte-tenu de la quantité d'axes de *Monorhaphis* observés sur les fonds et que l'on retrouve sur les pentes jusqu'à 1 500 m de profondeur et parfois plus. Avec un taux de sédimentation suffisamment élevé, ce matériel, rapidement enfoui, peut participer au nourrissage du sédiment hémipélagique en silice;

4) les cyclones et fortes tempêtes apportent à toute profondeur des éléments végétaux continentaux parfois de grande taille qui peuvent favoriser localement le développement des détritivores et des xylophages. Ils ne peuvent servir d'argument en faveur de faibles profondeurs ou de proximité immédiate du littoral dans les séries géologiques.

La connaissance de l'étagement des associations biologiques et de leur relation avec différents types de substrats rocheux ou sédimentaires devrait permettre une meilleure

appréciation des environnements fossiles et des profondeurs de dépôt des sédiments entre plate-forme externe et bassin dans une zone oligotrophe. D'ores et déjà, des critères classiques d'assimilation de certains faciès «néritiques» à un milieu de dépôt peu profond sont à réviser. De nombreuses plates-formes externes des reconstitutions paléoenvironnementales pourraient correspondre à des profondeurs déjà épibathyales.

Remerciements. – Ce travail a été réalisé dans le cadre du GDR Ecoprophyce (INSU-CNRS). La campagne CALSUB a bénéficié du dévouement et de la compétence du commandement et de l'équipage du N/O Le Suroît et de l'équipe Cyana. C. Lévi, M.J. d'Hondt, B. David, D. Marchand nous ont fourni des compléments d'information taxonomique sur les organismes cités ici. Les dessins sont dus à A. Beaudon.

Références

ABLE K.W., TWICHELL D.C., GRIMES C.B. & JONES R.S. (1987). – Tilefishes of the genus *Caulolatilus* construct burrows in the sea floor. – *Bull. mar. Sci.*, **40**, (1), 1-10.

AMEZIANE-COMINARDI N., BOURSEAU J.P. & ROUX M. (1987). – Les crinoïdes pédonculés de Nouvelle-Calédonie (SW Pacifique) : une faune bathyale ancestrale issue de la Mésogée mésozoïque. – *C.R. Acad. Sci.*, Paris, III, **304**, 15-18.

AMEZIANE-COMINARDI N. & ROUX M. (1987). – Biocorrosion et micritisation des ossicules d'Echinodermes en milieu bathyal au large de la Nouvelle-Calédonie. – *C.R. Acad. Sci.*, Paris, II, **305**, 701-705.

AMEZIANE-COMINARDI N., BOURSEAU J.P., AVOCAT R. & ROUX M. (1990). – Les crinoïdes pédonculés de Nouvelle-Calédonie : inventaire et réflexions sur les taxons archaïques. *In* : DE RIDDER C. *et al.*, Eds., Echinoderm Research. – Balkema, Rotterdam, 117-124.

AMEZIANE-COMINARDI N., BOURSEAU J.P. & ROUX M. (1991).– Les crinoïdes pédonculés de l'W Pacifique : un modèle zoobathymétrique pour l'analyse des calcaires à entroques et du tectono-eustatisme au Jurassique. – *Mém. IGAL* (sous presse).

BOUCHET P. & METIVIER B. (1982). – Living Pleurotomariidae (Mollusca : Gastropoda) from the South Pacific. – *New Zealand J. Zool.*, **9**, 309-318.

BOURSEAU J.P., AMEZIANE-COMINARDI N. & ROUX M. (1987). – Un crinoïde pédonculé nouveau (Echinodermes), représentant actuel de la famille jurassique des Hemicrinidae : *Gymnocrinus richeri* nov. sp. des fonds bathyaux de Nouvelle-Calédonie (SW Pacifique). – *C.R. Acad. Sci.*, Paris, III, **305**, 595-599.

BOURSEAU J.P., COMINARDI N. & ROUX M. (1988). – La zonation bathymétrique des Crinoïdes pédonculés actuels : un modèle de référence pour les reconstitutions paléobathymétriques. – *Géol. méditerr.*, **15**, (1), 83-89.

CABIOCH G. (1988). – Récifs frangeants de Nouvelle-Calédonie (Pacifique Sud-Ouest). Structure interne et influences de l'eustatisme et de la néotectonique. – Publ. Univ. Provence, Aix-en-Provence, 291 p.

CARRIÈRE D. (1987). – Enregistrement sédimentaire, diagénétique et morphologique d'un bombement lithosphérique sur l'atoll soulevé de Maré, archipel des Loyautés, Nouvelle-Calédonie. – *C.R. Acad. Sci.*, Paris, II, **305**, 975-980.

COLIN P.L., DEVANEY D.M., HILLIS-COLINVAUX L., SUCHANEK T.H. & HARRISON J.T. (1986). – Geology and biological zonation of the reef slope 50-360 m depth at Enewetak atoll, Marshall Islands. – *Bull. mar. Sci.*, **38**, (1), 11-128.

GAILLARD C. (1988). – Bioturbation récente au large de la Nouvelle Calédonie. Premiers résultats de la campagne Biocal. – *Oceanol. Acta*, **11**, 4, 389-399.

GAILLARD C. (1991). – La bioturbation et la biocorrosion. *In* : LAMBERT B. & ROUX M., Eds., L'environnement carbonaté bathyal en Nouvelle-Calédonie (programme Envimarges). – *Mém. IGAL* (sous presse).

GAILLARD C., COTILLON P. & EVIN J. (1989). – Un cas de mise en place de turbidites récentes dans des boues hémipélagiques. Résultats obtenus par datation au radiocarbone de sédiments superficiels dans le bassin des Loyauté (Nouvelle-Calédonie). – *Bull. Soc. géol. Fr.*, (8), **V**, 4, 875-879.

GUEVEL D. (1983). – Etude hydrologique du canal des îles Loyauté. – *Ann. Hydrogr.*, 5, **758**, 33-39.

HARASEWYCH M.G., POMPONI S.A. & ASKEW T.M. (1988). – Spongivory in Pleurotomarid Gastropods. – *The Nautilus*, **102**, (3), 92-98.

HILLIS-COLINVAUX L. (1986). – Deep water populations of Halimeda in the economy of an atoll. – *Bull. mar. Sci.*, **38**, (1), 155-169.

INTÈS A. (1978). – Pêche profonde aux casiers en Nouvelle-Calédonie et îles adjacentes. Essais préliminaires. – Rap. sci. tech. ORSTOM, Nouméa, 2, 10.p.

JAMES N.P. & GINSBURG R.N. (1979). – The seaward margin of Belize barrier and atoll reefs. – *Spec. Publ.* **3**, *Internat. Assoc. Sedimentol.* – Blackwell Sci. Publ., Oxford, 191 p.

LAUNAY J. (1985). – Paléoniveaux marins et néotectonique à l'île des Pins (Nouvelle-Calédonie). – *Bull. BRGM*, Géologie de la France, **1**, 77-81.

LÉVI C. & LÉVI P. (1982). – Spongiaires Hexactinellides du Pacifique Sud-Ouest (Nouvelle-Calédonie). – *Bull. Mus. natn. Hist. nat.*, 4, **4A**, (3-4), 283-317.

LÉVI C. & LÉVI P. (1983a). – Eponges Tétractinellides et Lithistides bathyales de Nouvelle-Calédonie. – *Bull. Mus. natn. Hist. nat.*, 4, **5A**, (1), 101-168.

LÉVI C. & LÉVI P. (1983b). – Démosponges bathyales récoltées par le N/O «Vauban» au sud de la Nouvelle-Calédonie. – *Bull. Mus. natn. Hist. nat.*, 4, **5A**, (4), 931-997.

LÉVI C. & LÉVI P. (1988). – Nouveaux spongiaires Lithistides bathyaux à affinités crétacées de la Nouvelle-Calédonie. – *Bull. Mus. natn. Hist. nat.*, 4, **10A**, (2), 241-263.

LITTLER M.M., LITTLER D.S., BLAIR S.M. & NORRIS J.N. (1985). – Deepest known plant life discovered on an uncharted seamount. – *Science*, **227**, 57-59.

MESSING C.G., NEUMANN A.C. & LANG J.C. (1990). – Biozonation of deep-water lithoherms and associated hardgrounds in the northeastern straits of Florida. – *Palaios*, **5**, 15-33.

NAKIBOGLU S.M., LAMBECK K. & AHORN P. (1983). – Post-glacial sea-levels in the Pacific : implications with respect to deglaciation regime and local tectonics. – *Tectonophysics*, **91**, 335-358.

NEWTON C.R., MULLINS H.T., GARDULSKI A.F., HINE A.C. & DIX G.R. (1987). – Coral mounds on the West Florida slope : unanswered questions regarding the development of deep-water banks. – *Palaios*, **2**, 359-367.

PÉRÈS J.M. (1976). – Précis d'océanographie biologique. – Presses Universitaires de France, 246 p.

RICHER DE FORGES B. (1990). – Les campagnes d'exploration de la faune bathyale dans la zone économique de la Nouvelle-Calédonie. *In* : Rés. Camp. MUSORSTOM, 6. – *Mém. Mus. natn. Hist. nat.*, (A), **145**, 9-54.

RIGOLOT P. (1989). – Evolution morphologique et structurale de la marge occidentale de la ride de Nouvelle-Calédonie (SW Pacifique). – *Bull. Cent. Rech. Explor.-Prod. Elf Aquitaine*, **13**, (2), 319-344.

RIO M., ROUX M., GUÉRIN H. & l'équipe CALSUB (1991). – Le substrat géologique et les processus sédimentaires sur les pentes bathyales. *In* : LAMBERT B. & ROUX M., Eds., L'environnement carbonaté bathyal en Nouvelle-Calédonie (programme Envimarges). – *Mém. IGAL* (sous presse).

ROUGERIE F. (1986). – Le lagon sud-ouest de la Nouvelle-Calédonie : spécificité hydrologique, dynamique et productivité.– Etudes et thèses, ORSTOM, Paris, 234 p.

ROUX M. (1990). – Underwater observations of *Nautilus macromphalus* off New Caledonia. – *Chambered Nautilus Newsletter*, **60**, 1.

ROUX M. (1991). – La Nouvelle-Calédonie et ses alentours. Cadre géologique et océanographique du programme ENVIMARGES et de la campagne CALSUB. – *Mém. IGAL* (sous presse).

ROUX M., BOUCHET P., BOURSEAU J.P., GAILLARD C., GRANDPERRIN R., GUILLE A., LAURIN B., MONNIOT C., RICHER DE FORGES B., RIO M., SEGONZAC M., VACELET J. & ZIBROWIUS H. (1991). – L'étagement du macrobenthos bathyal. *In* : LAMBERT B. & ROUX M., Eds., L'environnement carbonaté bathyal en Nouvelle-Calédonie (programme Envimarges). – *Mém. IGAL* (sous presse).

SAUNDERS W.B. & LANDMAN N.H., Eds. (1987). – *Nautilus*. The biology and paleobiology of a living fossil. – *Topics in Geobiology*, **6**, 632 p.

VACELET J. (1983). – Les éponges hypercalcifiées, reliques des organismes constructeurs de récifs du Paléozoïque et du Mésozoïque. – *Bull. Soc. zool. Fr.*, **108**, 547-557.

VACELET J. (1985). – Coralline sponges and the evolution of Porifera. *In* : CONWAY MORRIS S. *et al.* Eds., The origins and relationships of lower invertebrates. – Clarendon Press, Oxford, Spec. Publ., **28**, 1-13.

VACELET J. (1988). – Indications de profondeur données par les Spongiaires dans les milieux benthiques actuels. – *Géol. Méditerr.*, **15**, (1), 13-26.

VANNEY J.R. (1991). – Le modelé des pentes sous-marines observées par submersible. *In* : LAMBERT B. & ROUX M., Eds., L'environnement carbonaté bathyal en Nouvelle-Calédonie (programme Envimarges). – *Mém. IGAL* (sous presse).

ZIBROWIUS H. (1988). – Mise au point sur les Scléractiniaires comme indicateurs de profondeur (Cnidaria : Anthozoa). – *Géol. Méditerr.*, **15**, (1), 27-47.