

STRUCTURES BIOGENIQUES ET PHYSIQUES
DANS LES SABLES DE PAVIGLIANA
REGGIO CALABRIA
(ITALIE)

P. BARRIER* & A. D'ALESSANDRO**

Key-words: Trace fossils, Thixotropy, Lower Pliocene, Messina Strait, Italy.

Riassunto. In questo lavoro sono state analizzate le strutture sedimentarie biogeniche più caratteristiche, presenti nelle sabbie plioceniche che costituiscono la base della successione plio-pleistocenica appartenente all'unità tectono-sedimentaria di Pavigliana (Reggio Calabria). Le strutture di bioturbazione sono attribuite a *domichnia* / *fodinichnia* di Crostacei Decapodi; le strutture di bioerosione sono rappresentate in gran parte da *domichnia* di numerosi organismi perforanti. L'intera associazione costituisce una litofocenosi ad alta diversità indicativa del piano infralitorale. I caratteri litologici, i corpi fossili e le tracce fossili permettono di riconoscere una successione di popolamenti probabilmente legati a variazioni nei fattori edafici. Strutture enigmatiche a invaginazione, presenti nella parte alta del livello esaminato, sono qui tentativamente interpretate come figure di tissotropia, indicatrici di paleoseismicità.

Abstract. The most representative biogenic sedimentary structures in the basal sand of the Plio-Pleistocene sequence belonging to the Pavigliana (Reggio Calabria) tectono-sedimentary unit, have been analyzed. The bioturbation structures are attributed to *domichnia* / *fodinichnia* of decapod crustaceans; the bioerosion structures are mostly represented by *domichnia* of numerous boring organisms. The entire assemblage forms an high diversity ichnocoenosis indicative of the infralittoral zone. The lithologic features, the body fossils, and the trace fossils allow to recognize a succession of paleocommunities likely related to changes in edaphic factors. The enigmatic invaginated structures found in the upper part of the examined beds, can be possibly interpreted as thixotropic figures indicating palaeoseismicity.

Introduction.

Les sables pliocènes inférieurs constituant la base de la série plio-pleistocène de l'entité tectono-sédimentaire de Reggio Calabria sont riches en traces fossiles. La présente étude s'intéresse aux niveaux basaux de la section de Pavigliana (Reggio Calabria) analysée dans une optique écobiostratigraphique par Barrier et al. (1985). Seules les associations de traces fossiles, bioturbations et

* Institut Géologique A. de Lapparent 21, Rue d'Assas - 75270 Paris.

** Dipartimento di Geologia e Geofisica, Campus Universitario - 70125 Bari.

— Travail réalisé avec les contributions du Ministero della Pubblica Istruzione, 40%.

bioérosions seront décrites ici en relation avec les sédiments et les organismes qui les supportent. Une hypothèse d'interprétation tectono-sédimentaire sera proposée pour les structures énigmatiques à invaginations qui affectent les niveaux étudiés.

Cadre géologique régional.

La région du Déroit de Messine constitue l'un des bassins néogènes supérieurs et quaternaires de l'Arc Calabro-Péloritain. Trait d'union entre les vastes ensembles ioniens et tyrrhéniens, elle a acquis le caractère de déroit dès le Pliocène inférieur et l'a affirmé tout au long du Pleistocène. Affectés par une tectonique synsédimentaire active, mise en évidence par Bousquet et al. (1980), puis par Keraudren & Sauret (1982) et Barrier (1984), les terrains plio-pleistocènes du Déroit de Messine sont répartis en entités tectono-sédimentaires qui traduisent une évolution compartimentée inscrite dans un *continuum* de déformation (Barrier, 1984). Les dépôts plio-pleistocènes de l'aire de Pavigliana sont contenus dans l'entité tectono-sédimentaire de Reggio Calabria (Fig. 1). Ce bloc affaissé est limité par deux accidents régionaux, la faille de Armo-Oliveto et la faille de Terreti, respectivement de direction NO 45 et N 140.

La section de Pavigliana.

La section de Pavigliana (in Barrier et al., 1985, fig. 5) est située sur le flanc calabrais du Déroit de Messine, à 5 km à l'Est de Reggio Calabria, sur le versant septentrional de la Fiumara di Pietrangelo entre les villages de Pavigliana et Mossorofa (Carte Cataforio, F° 254, II NO, section C de la Carte d'Italie au 1/10.000 de l'I.G.M.). Synthétisée, cette coupe continue présente du bas vers le haut:

- substrat conglomératique d'âge Tortonien, sur lequel reposent en discordance des sables fins, localement bioturbés, riches en macrofaune dont les parties squelettiques sont bioérodées. Ces sables passent vers le haut à un calcaire qui présente des invaginations basales. Il s'agit de dépôts littoraux d'âge Pliocène inférieur sommital (zone à *Globorotalia puncticulata*);
- des sables calcaires indurés à strates obliques et entrecroisés, riches en macrofaunes et microfaunes planctoniques. Ils correspondent à un empilement de dunes hydrauliques soumise à de violents courants de fonds, de milieu circalittoral à la base puis bathyal au sommet. Les édifices dunaires présentent fréquemment des troncutures sur lesquelles reposent des sables grossiers gravitaires et des sables fins argileux. Les dunes sont intensément bioturbées. Les principales structures biogènes rencontrées sont: *Ophiomorpha nodosa* et *Scolicia* ichnosp. Le passage au Pliocène supérieur s'effectue à quelques dizaines de mètres de la base du niveau; la partie sommitale est Pleistocène inférieur;
- une alternance de marnes finement bioturbées (*Planolites*) et de sables grossiers bioclastiques, interprétés comme des arrivages turbides de matériel clastique en milieu de décanation bathyal;
- des marnes grises à biocoenoses bathyales, d'âge Pleistocène inférieur; elles reposent sur une surface de troncuture sous-marine.

Description des niveaux étudiés.

Les niveaux de base de la section de Pavigliana constituent un ensemble caractéristique qui peut être reconnu latéralement sur plusieurs kilomètres avec des variations latérales intéressant les sédiments en contact avec le substrat. Trois cas de faciès basal différents seront ici analysés (Fig. 2). Le premier (Fig. 2A) sur la section de Pavigliana, les deux autres (Fig. 2 B, C) au Nord de la Fiumara de Calopinace à l'aval du village de Terreti.

La coupe de Pavigliana (Fig. 2A, 3).

Les sables fins silteux jaunâtres, discordant sur les conglomérats tortoniens, contiennent à la base une lumachelle à Ostréidés (*Ostreola forskälii* (Chemnitz),

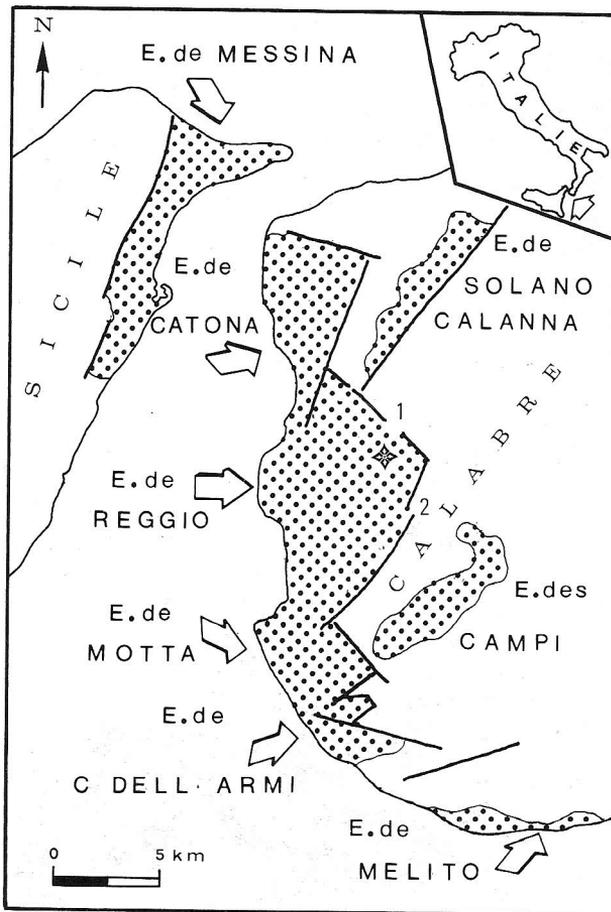


Fig. 1 — Carte de répartition des entités tectono-sédimentaires du Déroit de Messine. 1) Faille de Terreti; 2) faille d'Armo-Oliveto; l'asterix indique la zone étudiée.

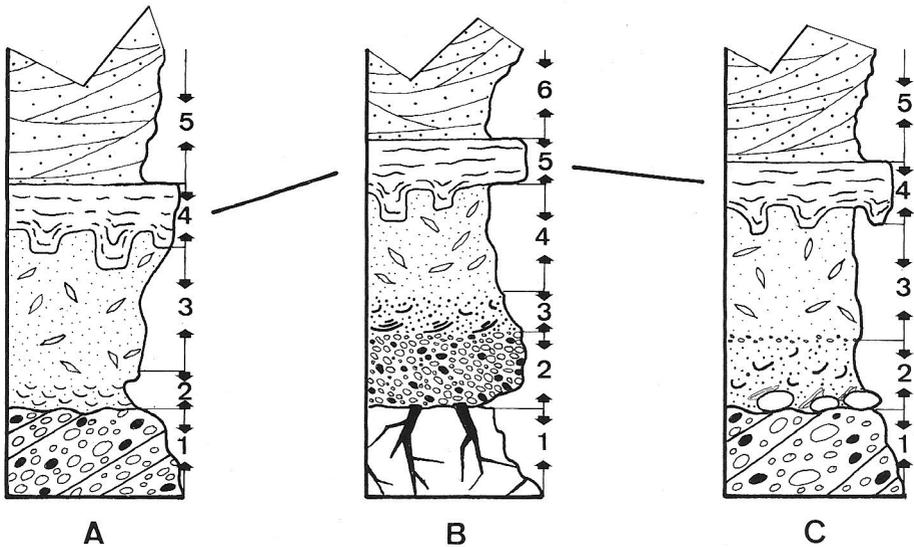


Fig. 2 — Coupe de la partie basale de la série plio—pleistocène de l'entité tectono—sédimentaire de Reggio Calabria.

- A) Coupe de Pavigliana: 1) Tortonien; 2) sable fin à Ostréidés; 3) sable fin à *Hinnites* et *Isognomon*; 4) banc calcaire à *Isognomon*; 5) sable calcaire bioclastique à dunes hydrauliques.
- B) Coupe de St. Nicolò I: 1) schiste à filons de calcite secondaire; 2) poudingue; 3) grès riches en Mollusques; 4) sable fin à *Hinnites* et *Isognomon*; 5) banc calcaire à *Isognomon*; 6) sable calcaire bioclastique à dunes hydrauliques.
- C) Coupe de St. Nicolò II: 1) Tortonien; 2) sable grossier contenant *Ophiomorpha*, macrofaune et blocs encroûtés par *Spondylus crassicosta*; 3) micro—conglomérat et sables à *Hinnites* et *Isognomon*; 4), 5) *idem* à 4), 5) in A.

in Barrier et al., 1985). Les Ostréidés se présentent soit en position de vie soudés les uns aux autres en groupes ou fixés à une valve d'*Isognomon*, soit épars dans le sédiment (Fig. 4). Les autres fossiles rencontrés sont des valves de *Flabelliptecten flabelliformis* (Brocchi), *Hinnites crispus* (Brocchi) et de rares fragments de Balanes et Echinides.

Les valves des Bivalves sessiles (*Hinnites* et Ostréidés) sont encroûtées par des Bryozoaires, dont *Tubicellepora tubigera* (Busk) est la forme la plus abondante, et sont altérées par des perforations nommées *Entobia* et *Caulostrepsis*. Au dessus, les sables fins montrent une concentration d'*Isognomon soldanii* (Deshayes) et d'*Hinnites crispus* (Brocchi) (80% du matériel organogène), généralement à valves unies, avec une dispersion de 10 exemplaires au mètre linéaire. *Hinnites* est en position de vie (Fig. 5); les différents exemplaires, adultes et juvéniles, sont soudés les uns aux autres et englobent parfois les valves d'*Isognomon*. *Isognomon* est orienté dans le sédiment avec la charnière vers le bas, l'allongement de sa coquille formant un angle faible avec l'horizon-

tale des couches (Fig. 6). Ces deux dernières formes sont perforées par des structures d'*Entobia*. Les perforations se situent presque exclusivement sur la surface extérieure de la coquille, excepté sur les aires de fixation (*Hinnites*) ou sur la zone cardinale qui était probablement enfouie dans le sédiment (*Isognomon*).

Ces sables sont surmontés d'un calcaire contenant une accumulation monospécifique à *Isognomon*. Le calcaire présente des invaginations à fond plat, non érosives sur les sables sous-jacents. Le contact est net, caractérisé par une variation lithologique progressive de sables de plus en plus fins vers le calcaire. Les invaginations se répètent à intervalles réguliers. L'orientation des exem-



plaires d'*Isognomon* conservés sous forme de moules internes montrant toujours deux valves jointives, indiquent un remplissage passif par tassement ou gravité, sans transport (Fig. 7).

La coupe de St. Nicolò I (Fig. 2B).

Le substrat est un schiste cristallin à filons de calcite secondaire qui présente une superficie de transgression bioérodée. Les structures de bioérosion (*Entobia*) sont limitées à la partie filonienne calcaire du schiste. Au dessus se développe un poudingue à éléments de socle cristallin qui passe progressivement vers le haut à des grès à galets caractérisés par un riche assemblage faunique à *Ostrea lamellosa* Brocchi, *Hinnites crispus* (Brocchi), *Chlamys latissima* (Brocchi), *Pecten bipartitus* (Foresti) et *Flabellipecten flabelliformis* (Brocchi).

Les sables à *Hinnites* et *Isognomon* et le calcaire à invaginations font suite aux deux niveaux précédents, avec un faciès identique à celui décrit pour la coupe de Pavigliana.

La coupe de St. Nicolò II (Fig. 2C).

Cette coupe est située à quelques centaines de mètres au NO de la précé-



Fig. 4 — Les sables à Ostréidés. Les Ostréidés constituant cette lumachelle sont fixés les uns sur les autres ou utilisent comme support les valves d'*Hinnites*.

dente. Sur des conglomérats tortoniens reposent, en discordance, des sables grossiers grisâtres qui englobent à la base des blocs de cristallin remaniés. Ces blocs sont colonisés par de nombreux exemplaires de *Spondylus crassicosta* Lamarck. Les sables grossiers contiennent *Chlamys latissima* (Brocchi), *Balanus* cf. *concauus* Bronn, *Ostrea lamellosa* Brocchi, associées à des systèmes de bioturbations (burrow-systems) généralement verticaux (*Ophiomorpha*). Au dessus, après un banc de micro-conglomérat se développent les sables fins à *Hinnites* et *Isognomon*, dans lesquels apparaissent, localement et concurremment à un appauvrissement de la macrofaune, des systèmes de *Thalassinoides*.

Cette coupe permet d'une part, de clarifier la géométrie des structures à invaginations du calcaire à *Isognomon* et d'autre part de confirmer l'existence d'une activité tectonique synsédimentaire dès la base de la série.

Les affleurements permettent ici une observation tridimensionnelle des structures, ce qui nous amène à exclure l'hypothèse de «chenal» proposée sans conviction par Barrier et al. (1985) car il s'agit de dépressions circulaires à fond plat, à diamètre et profondeur de l'ordre du mètre (Fig. 8). Des failles affectant les sables de base, déforment sans dislocation le banc calcaire à *Isognomon* lui conférant un aspect ondulé. Ces failles sont cachetées par les premiers niveaux de sables calcaires à dunes sous-marines.



Fig. 5 — *Hinnites crispus* (Brocchi) en position de vie, bioérodée sur la surface externe de sa valve droite (*Entobia*)

Systématique des traces fossiles.

Les structures biogènes rencontrées dans les corps sédimentaires précédemment décrits seront ici analysées brièvement. Deux types de structures apparaissent:

- des traces de bioturbation, exclusivement endogènes, sont conservées en relief plein. Elles résultent du foussement d'organismes dans un sédiment non encore consolidé;
- des structures de bioérosion concernent l'activité des organismes sur les petits substrats calcaires formés par les coquilles de Bivalves.

Les systèmes de perforation, énumérés dans le Tab. 1 ont été déterminés, à partir de moulages en résine selon la méthode pratiquée par Bromley & D'Alessandro (1983). La terminologie adoptée est celle utilisée par Bromley & D'Alessandro (1983, 1984) et Ekdale, Bromley & Pemberton (1984).

Les organismes bioérodés appartiennent tous à l'épifaune sessile et sédentaire. Les résultats les plus significatifs ont été obtenus sur les tests d'*Hinnites*, les autres organismes (*Ostréidés*, *Ch. latissima*, *Balanus*, *Isognomon*), pour des raisons de fragilité, de recristallisation ou de cimentation du sédiment remplissant les perforations donnent des résines inutilisables car privées de caractères



Fig. 6 – *Isognomon soldanii* (Deshayes) orientée dans le sédiment avec la charnière vers le bas, en position de vie probable.

taxonomiques à l'échelle de l'ichnospecies. Pour cette raison les *ichnotaxa* reconnus donnent probablement une représentation partielle de la population originaire des endobiontes.

Ophiomorpha ichnosp. Système complexe de galeries cylindriques (3–4 cm de diamètre) avec parois distinctes. La nature du remplissage est identique à la partie sableuse du sédiment environnant, les parois par contre sont renforcées par des graviers provenant de la fraction grossière. Le développement vertical des galeries est dominant. *Ophiomorpha* est généralement interprété comme une structure d'habitation de Crustacés Décapodes, notamment celle produit par quelques espèces de Thalassinides.

Thalassinoides ichnosp. Complexe de galeries à diamètre variable, privées de paroi et à remplissage passif. Les galeries se ramifient fréquemment en forme de Y ou de T et présentent des gonflements au niveau de la bifurcation. Les parties fortement inclinées de la structure tendent à dominer localement. Dans le niveau étudié les systèmes de *Thalassinoides* sont de faible dimension et rares. Ces structures sont interprétées comme des traces d'habitation et/ou de nutrition de Crustacés Décapodes.

Caulostrepsis contorta Bromley & D'Alessandro, 1983. Perforations avec une seule ouverture, produites par une galerie pliée en petits lobes sinueux en forme d'oreille dont les bords internes sont reliés par un voile (*vane*). Dans le matériel étudié ce type de structure est rare et peu développé. *C. contorta* peut être assimilée aux perforations de l'espèce actuelle *Polydora concharum* (in Bromley & D'Alessandro, 1983).

Caulostrepsis cretacea (Voigt, 1971). *Caulostrepsis* long et peu sinueux avec les parois internes de la galerie en U pratiquement jointives. La morphologie de ces perforations correspond exactement à celle de l'actuelle *Dodecaceria*.

Caulostrepsis taeniola Clarke, 1908. (Pl. 20, fig. 3). *Caulostrepsis* en forme de langue ayant les bords internes des bras (*limbs*) reliés par un voile évident. Actuellement *Polydora ciliata* (Johnston) produit des structures morphologiquement équivalentes.

Entobia Bronn, 1837. Système de perforation constitué d'une loge simple, d'un réseau (*network*) ou d'une charpente (*boxwork*) de galeries reliées à l'extérieur par de nombreuses ouvertures. Pour certaines formes on enregistre un système de loges interconnectées, formées par des renflements plus ou moins irréguliers. La surface des perforations est caractérisée par une microsculpture à

cuspidés qui tend à disparaître dans les systèmes des organismes gérontiques. Pour les exemplaires étudiés, la majeure partie des structures, principalement celles de grande dimension, construites à l'intérieur des valves les plus fines, subissent un certain degré de sténomorphisme. Les exemples de xénomorphisme induit par des perforations préexistantes ou par la structure des coquilles sont également représentés. *Entobia* est une trace fossile attribuée à l'activité d'Eponges perforantes, l'identification au niveau spécifique n'est cependant pas possible avec la seule morphologie de la perforation.

Entobia cateniformis Bromley & D'Alessandro, 1984. (Pl. 21, fig. 3). *Entobia* constituée de loges sub-cylindriques typiquement disposées en longues chaînes qui, par dicotomie et anasthomose, créent un réseau ouvert étendu sur un plan unique. Ces caractères sont prédominants pour les perforations de l'actuelle *Cliona vermifera* Hancock.

Entobia geometrica Bromley & D'Alessandro, 1984. *Entobia* à loges sub-carées ou polygonales, amples, reliées entre elles par de nombreux canaux (*intercameral canals*) qui traversent les parois. Ces dernières sont organisées en mailles sub-rectangulaires et développées sur un seul plan. Cette ichnospecies est confrontable à des systèmes produits par la forme actuelle *Cliona celata* Grant.

Entobia laquea Bromley & D'Alessandro, 1984. (Pl. 20, fig. 2). *Entobia* à loges de faible dimension et de forme irrégulière, reliées en réseaux à mailles irrégulières disposés sur plusieurs plans parallèles dans la coquille qui les abrite. Les nombreux fils explorateurs (*exploratory threads*), ramifiés et anastomosés, forment de larges mailles. Quelques perforations de l'actuelle *Cliona viridis* (O. Schmidt) Gray sont comparables à *E. laquea*.

Entobia ovula Bromley & D'Alessandro, 1984. (Pl. 21, fig. 2). *Entobia* comprenant de petites loges globuleuses jointives disposées en charpente. *Cliona vastifica* Hancock est une des espèces actuelles qui présente la plus grande ressemblance avec la morphologie de ces perforations.

Entobia paradoxa (Fischer, 1868). (Pl. 20, fig. 4). *Entobia* à grandes loges aplaties de forme irrégulière, amiboïdes, reliées les unes aux autres sur un seul plan en raison de l'espace limité (sténomorphisme). Pour un exemplaire d'individu vieux les loges sont partiellement soudées.

Entobia volzi Bromley & D'Alessandro, 1984. (Pl. 20, fig. 1; Pl. 21, fig. 4). *Entobia* développée en charpente irrégulière, étroitement resserrée, composée de nombreuses petites loges reliées par de larges canaux intercameraux ou partiellement soudées. Le système est traversé dans toutes les directions de très

larges canaux qui communiquent avec l'extérieur. Les perforations de *Cliothisa hancocki* (Topsent) sont pratiquement identiques à *E. volzi*.

Entobia ichnosp. (Pl. 21, fig. 1). *Entobia* constituée d'une grande loge de forme a peu près d'étoile, semblable à *E. paradoxa*, mais ornée de tubercules hémisphériques supportant une longue apophyse comme *E. mammillata* Bromley & D'Alessandro. L'unique exemplaire trouvé provient d'une valve d'*Hinnites*.

Gastrochaenolites dijugus Kelly & Bromley, 1984. Perforation en forme de cruche, semblable à celle de *Gastrochaena dubia* (Pennant). Cette forme, rare sur les exemplaires d'*Hinnites*, est fréquente sur les valves de *Ostrea lamellosa* Brocchi.

Gnathichnus pentax Bromley, 1975. Trace superficielle de bioérosion constituée de rayures disposées en étoile. Bromley (1985) démontre que les Oursins réguliers produisent ce type de structure en mordant les surfaces calcaires avec leur appareil masticateur. Le seul exemplaire trouvé est localisé près de l'empreinte musculaire d'une valve gauche d'*Hinnites*.

Perforations d'*Immergentia* Silen. (Pl. 22, fig. 1; Pl. 23, fig. 2). Perforations constituées de loges fusiformes (zoécies) disposées perpendiculairement au substrat et reliées par de fines galeries (stolon de Pohowski, 1978) qui prennent naissance au niveau de l'ouverture. La forme de l'ouverture n'est pas visible. Ces traces sont produites par des Bryozoaires Cténostomes perforants. La nomenclature de ces perforations est encore discutée en ce qui concerne leur attribution à des traces fossiles (Boekschoten, 1970; Bromley, 1970; Voigt & Soule, 1973; Pohowski, 1974, 1978; Robba & Ostinelli, 1976). Dans notre travail ces perforations sont assimilées à des traces fossiles car elles témoignent de l'activité organique. Le fait que ces bioérosions présentent les détails anatomiques du producteur n'est pas en contradiction avec le concept de trace fossile.

Iramena ichnosp. (Pl. 23, fig. 1, 3). Perforations constituées de longs canaux capillaires formant un réseau à mailles irrégulières et bords sub-rectilignes. Les loges fusiformes perpendiculaires à la surface externe du substrat sont reliées aux canaux principaux par de courts conduits. La trace fossile *Iramena* Boekschoten a été considérée comme synonyme de *Penetrantia* Silen par Pohowski (1978, p. 78) qui l'a assimilée à un vrai corps fossile. Pohowski (1978) discutait l'attribution de *Penetrantia* aux Bryozoaires Cheilostomes (Soule & Soule, 1969) et le classait dans les Cténostomes.

Maeandropolydora sulcans Voigt, 1965. Longues galeries cylindriques formant des convolutes irrégulières repliées en crochet.

Talpina ramosa Hagenow, 1840. Système de galeries (0,2–0,3 mm de diamètre) faiblement incurvées, ramifiées à angle aigu et communiquant avec l'extérieur par l'intermédiaire de nombreuses ouvertures distribuées à intervalles réguliers. *T. ramosa* a une morphologie comparable aux perforations dues aux pseudocolonies de Phoronidiens comme *Phoronis ovalis* Wright.

Terebripora ichnosp. (Pl. 22, fig. 3; Pl. 23, fig. 4). Fines galeries à parcours rectiligne produisant un réticule à mailles triangulaires ou quadrangulaires. Les loges en forme de sac allongé dessinent un angle avec le substrat; elles sont tangentes aux galeries et espacées irrégulièrement; à mi-distance des extrémités de ces loges divergent des galeries latérales.

Perforations de Thallophytes. Fines cavités tubulaires contournées formant un réseau étroit en plaques construit par des ramifications anastomosées. Le long d'une même cavité tubulaire le diamètre est assez uniforme. Ces structures sont apparentées à celles décrites par Robba & Ostinelli (1976, p. 519 *tipo 8*) et interprétées par ces auteurs à l'action d'Algues vertes.

Ichnofaciès.

Les structures biogènes présentes dans les sédiments examinés nous ont permis d'améliorer les connaissances sur les paléocommunités originelles (basées exclusivement sur les corps fossiles) en révélant la présence d'organismes au corps peu ou non fossilisable, par exemple, les Crustacés Décapodes, les Eponges, les Phoronidiens, les Polichètes, les Algues. Les traces fossiles peuvent être regroupées en deux associations générales: l'ichnofaciès à *Entobia*–*Thalassinoides* et celui à *Ophiomorpha*–*Entobia*. Les éléments les constituant sont attribuables à des organismes appartenant à deux groupes édaphiques, l'un en rapport avec les substrats sableux, l'autre avec les substrats carbonatés.

Ichnofaciès à *Entobia*–*Thalassinoides*.

Le groupe édaphique se rapportant aux sables fins est représenté par des *Thalassinoides*, c'est-à-dire des systèmes de galeries interprétés en tant que *domichnia/fodinichnia* de Crustacés Décapodes qui, vivant des sédiments compacts, ne sont pas obligés de renforcer les parois de leurs terriers. Là où le nombre des restes squelettiques des Bivalves augmente, les structures de bioturbations disparaissent, si bien que l'ichnofaciès s'avère uniquement constitué par des bioérosions. Ce dernier groupe de traces fossiles, caractérisé par une très grande diversité, est dépendant des substrats calcaires que fournissent les nombreuses coquilles de Bivalves. Cette association est formée de dix ichnogènes: *Caulostrepis*, *Entobia*, *Gastrochaenolites*, *Gnathichnus*, *Iramena*, *Maeandropo-*

lydora, *Talpina*, *Terebripora* et perforations d'*Immergentia* et Algues endolithes. Dans l'ensemble, les bioérosions (Tab. 1) représentent une ichnocoenose composée principalement de terriers d'habitation pour des endobiontes suspensivores et des Algues endolithes, en sous-ordre par des *pascichnia* d'Oursins réguliers. Bien que la distribution bathymétrique des bioérosions s'échelonne de l'étage supralittoral à l'étage abyssal (*sensu* Pérès & Picard, 1964), les valeurs élevées d'abondance et de diversité, rencontrées dans cet ichnofaciès, sont propres à l'étage médiolittoral et infralittoral car dans le domaine circalittoral ces valeurs seraient plus basses. Dans le cas qui nous intéresse, la grande quantité de perforations d'Algues classe toute l'ichnocoenose dans la partie supérieure de la zone photique; du fait de leur morphologie, leur appartenance à l'étage intertidal est à exclure.

Ichnotaxa	Abondance	Classification éthologique	Groupe trophique	Producteur probable
<i>Caulostrepis contorta</i>	R	domichnia	<i>suspensivores</i>	spionide polychètes
<i>Caulostrepis cretacea</i>	O	domichnia	<i>suspensivores</i>	spionide polychètes
<i>Caulostrepis taeniola</i>	F	domichnia	<i>suspensivores</i>	spionide polychètes
<i>Maeandropolydora sulcans</i>	F	domichnia	<i>suspensivores</i>	spionide polychètes
<i>Entobia cateniformis</i>	C	domichnia	<i>suspensivores</i>	éponges
<i>Entobia geometrica</i>	O	domichnia	<i>suspensivores</i>	éponges
<i>Entobia laquea</i>	C	domichnia	<i>suspensivores</i>	éponges
<i>Entobia ovula</i>	C	domichnia	<i>suspensivores</i>	éponges
<i>Entobia paradoxa</i>	O	domichnia	<i>suspensivores</i>	éponges
<i>Entobia volzi</i>	C	domichnia	<i>suspensivores</i>	éponges
<i>Entobia</i> ichnosp.	R	domichnia	<i>suspensivores</i>	éponges
<i>Gastrochaenolites dijugus</i>	O	domichnia	<i>suspensivores</i>	bivalves
<i>Gnathichnus pentax</i>	R	pascichnia	<i>herbivores</i>	échinides réguliers
Perforations d' <i>Immergentia</i>	R	domichnia	<i>suspensivores</i>	bryozoaires
<i>Iramena</i> ichnosp.	F	domichnia	<i>suspensivores</i>	bryozoaires
<i>Terebripora</i> ichnosp.	R	domichnia	<i>suspensivores</i>	bryozoaires
<i>Talpina ramosa</i>	O	domichnia	<i>suspensivores</i>	phoronidiens
Perforations de thallophytes	F	—	—	algues endolithes
<i>Ophiomorpha</i> ichnosp.	O	domichnia	<i>suspensivores</i>	crustacés décapodes
<i>Thalassinoides</i> ichnosp.	O	domichnia/fodinichnia	<i>depositivores</i>	crustacés décapodes

Tab. 1 — Classifications éthologiques et trophiques des traces fossiles; indices d'abondance et organismes producteurs probables: R) rare; O) occasionel; F) fréquent; C) commun.

Des données sur l'énergie de dépôt apparaissent si l'on considère que des courants trop violents et/ou des mouvements de turbulence de eaux peuvent s'avérer être des facteurs limitatifs pour les organismes endolithes colonisant de petits substrats, potentiellement mobiles. On a en effet remarqué que les perforations sont plus intenses dans les environnements protégés (Golubic et al., 1975) où les organismes perforants sont aussi plus différenciés (Warme, 1975). Le taux de sédimentation peut constituer un autre facteur limitatif; les Eponges perforantes notamment (représentées par les systèmes d'*Entobia*) semblent dépendre directement d'une non-sédimentation prolongée (Ekdale et al., 1984).

Ichnofaciès à *Ophiomorpha* – *Entobia*.

Cet ichnofaciès a été observé dans le niveau de base de la Coupe de St. Nicolò II (Fig. 2C) et est caractérisé par *Ophiomorpha*, une trace fossile attribuée à des Crustacés Thalassinoides. La capacité de se mouvoir rapidement dans les sédiments meubles, de construire des structures stables et de se nourrir de différentes façons, font en sorte que ces organismes sont capables de s'adapter à des milieux difficiles tel des substrats incohérents mobiles soumis à une énergie élevée.

Le développement prédominant des terriers à tronçons verticaux aux parois particulièrement renforcées, suggère que les conditions ambiantes où s'accumulèrent les dépôts de la coupe de St. Nicolò II devaient être semblables. *Entobia* et *Gastrochaenolites* présents dans les valves massives de l'*Ostrea lamellosa* Brocchi, indiquent en outre que les eaux n'étaient pas troubles et qu'il y avait un taux de sédimentation bas ou modéré.

Synthèse des paléoenvironnements.

Les éléments sédimentologiques et biologiques permettant de reconstituer l'environnement seront présentés séparément pour les faciès de base des trois coupes considérées. Les sables à *Hinnites* et *Isognomon* et le calcaire à invaginations, identiques sur les trois profils, seront étudiés dans leur ensemble.

Coupe de Pavigliana (Fig. 2A, niv. 2).

La paléocommunauté résiduelle des sables fins de ce niveau (de même nature que ceux du niveau 3) est caractérisée par une concentration d'Ostréidés de petite dimension, «colonisées» presque exclusivement par des Eponges perforantes et par des Bryozoaires encroûtants et correspond à un peuplement de suspensivores de l'épifaune sessile. Ces organismes, ayant besoin d'un substrat pour se développer, ne peuvent que se fixer les uns sur les autres dans ce type de sédiment. Ceci exclu un fort taux de sédimentation et implique une énergie assez faible empêchant les organismes de rouler sur le fond. L'énergie devait

cependant être suffisante pour empêcher tant l'ensablement que le développement d'une chaîne trophique plus complexe. Les valeurs d'énergie basses et modérées peuvent aussi expliquer la formation d'une accumulation de valves en position de vie. En nous basant sur les données concernant les études de la faune (cf. niveau 2b dans Barrier et al., 1985) et de l'ichnofaune (l'ichnofaciès à *Entobia*-*Thalassinoides*, représenté ici par les seules bioérosions) associées à la nature du sédiment, nous essayons la confrontation entre l'environnement de ce dépôt et celui de la biocoenose des sables relativement protégés du déferlement des vagues (SRPV) de Pérès & Picard (1964).

Coupe de St. Nicolò I (Fig. 2B, niv. 2, 3).

La surface de transgression supporte des traces de perforations d'Éponges (*Entobia geometrica*). Le poudingue qui surmonte cette surface, ne présente pas de faunes marines. Il indiquerait d'un point de vue sédimentologique un arrivage massif de matériel grossier en milieu littoral. Vers le haut, ce dernier passe progressivement à des grès grossiers riches en *Ostrea lamellosa* Brocchi, *Balanus* cf. *concaus* Bronn, *Chlamys latissima* (Brocchi) perforés par plusieurs



Fig. 7 — Invagination à fond plat du calcaire à *Isognomon*; 1) calcaire à invaginations; 2) sable à *Hinnites* et *Isognomon*. Cette photo montre le dépôt gravitaire des moules internes d'*Isognomon*, horizontaux à la périphérie de la dépression et verticaux au centre. Cette organisation s'atténue au sommet du banc.

espèces d'Eponges et de petits Bivalves (*Gastrochaena*). Dans l'ensemble, la faune représente une paléocommunauté à très faible diversité, dominée par des organismes appartenant à un seul groupe trophique (c'est-à-dire suspensivores); c'est donc une paléocommunauté comparable à des communautés pionnières contrôlées par un facteur physique, dans ce cas l'énergie élevée des eaux. L'environnement du niveau (3) peut être rattaché à celui de la biocoenose des sables grossiers et fins graviers brassés par les vagues (SGBV) de Pérès & Picard (1964).

Coupe de St. Nicolò II (Fig. 2C, niv. 2).

Les conditions ambiantes déduites des traces fossiles (*Ophiomorpha-Entobia* ichnospecies) sont confirmées par l'association fossile contenue dans les sables grossiers. La paléocommunauté est équivalente à celle reconnue dans les dépôts de la coupe voisine de St. Nicolò I (Fig. 2B, niv. 2, 3). La présence sur la surface de transgression de blocs encroûtés par *Spondylus crassicosta* Lamarck, d'organismes à valves très robustes et lourdes (*Chlamys latissima* et *Ostrea lamellosa*), de grands Cirripèdes et de l'ichnocoenose elle-même, suggèrent une localisation de la paléocommunauté dans la partie supérieure de l'étage infralittoral. L'environnement déduit de ces caractères peut être assimilé à celui de la biocoenose à Algues photophiles (AP) qui passe vers le haut à la biocoenose SGBV de Pérès & Picard (1964).

Les sables à Hinnites et Isognomon.

Ce faciès homogène sur l'ensemble de la zone étudiée (plusieurs kilomètres carrés) est constitué de sable fin silteux contenant deux espèces largement dominantes et généralement en position de vie: *Hinnites crispus* (Brocchi) et *Isognomon soldanii* (Deshayes). Les valves de ces deux espèces et occasionnellement celles des Ostréidés représentaient les seuls substrats propices à la colonisation des organismes endolithes qui étaient en compétition avec les Bryozoaires encroûtants pour l'occupation du substrat. Les localisations préférentielles des endobiontes et épibiontes sur les coquilles et la réponse physiologique (sécrétion de nouvelles couches de carbonates) aux perforations montrent que la colonisation est survenue surtout durant la vie des Mollusques. Cette donnée exclut un dépôt par accumulation de restes d'organismes et implique un simple ensablement des formes éparses en position de vie soumises à un taux de sédimentation assez élevé en milieu à basse énergie.

Des indications de basse énergie pour le milieu nous sont également fournies par la nature même du sédiment et la prolifération localisée des *Thalassinoides*. La complexité de la chaîne témoigne que les conditions ambiantes n'étaient pas trop sévères; bien que les suspensivores représentent toujours le groupe dominant, on leur associe des détritivores fouisseurs (Crustacés Déca-

podes), herbivores (traces de *Gnathichnus*) et carnivores (*Cidaris* surtout prédateur d'Eponges) (cf. Barrier et al., 1985).

Les données ici recueillies s'accordent bien avec les conclusions proposées par Barrier et al. (1985) sur l'environnement de dépôt de ce niveau, cependant celles-ci vont en faveur de la première hypothèse de ces auteurs: un milieu à hydrodynamisme modéré, peuplé par une biocoenose comparable à celle des sables vaseux superficiels en mode calme (SVMC) de Pérès & Picard (1964). Ce choix est principalement dicté par la lithologie, la présence supposée de plantes marines (proches des prairies à Cymodocées) ou d'Algues sur lesquelles certains types de Bryozoaires et Foraminifères rencontrés se trouvaient probablement fixés; et par l'existence de Crustacés fouisseurs.



Fig. 8 — Les dépressions du calcaire à invaginations. La géométrie des invaginations du calcaire à *Isognomon* apparaît clairement sur cette photo. Il s'agit du moule d'un trou. 1) Calcaire à invaginations; 2) sable à *Hinnites* et *Isognomon*.

Le calcaire à invaginations (ou à *Isognomon*).

Le paléo—milieu de ce calcaire à *Isognomon*, véritable accumulation passive *in situ*, reste énigmatique. Il est en effet difficile de reconstituer l'environnement d'une lumachelle monospécifique dont l'espèce est éteinte. Deux éléments restent cependant significatifs: la forte réduction de la diversité spécifique, la macrofaune étant représentée par une seule espèce de *Isognomon* et l'augmentation brutale de l'énergie de dépôt ayant permis la formation d'une accumulation de coquilles.

En ce qui concerne la profondeur du dépôt le peuplement à *Isognomon* demeure en milieu infralittoral. Ceci serait confirmé par les observations faites par l'un de nous (A.D.) pour la formation plio—pleistocène des Calcarénites de Gravina (Pouille). Des bancs calcaires à *Isognomon* identiques peuvent être observés en milieu de barre littoral.

Les structures à invaginations du calcaire à *Isognomon* correspondent morphologiquement à des dépressions circulaires d'ordre métrique dans lesquelles le matériel semble orienté suivant des lignes de tassements accentuées vers le fond du trou (Fig. 9). Ce faciès se développe sur plusieurs kilomètres. Pour de telles structures sédimentaires, l'origine biogène peut être exclue.



Les facteurs physiques susceptibles de les générer à une telle échelle ont certainement un impact régional. Etant donné la morphologie circulaire, un réseau chenalisant est exclu; la seule hypothèse susceptible d'expliquer la formation de ces dépressions sur une telle étendue demeure un phénomène tectonique. Des preuves en faveur d'une tectonique active dès la base de la série Plio—Pleistocène dans l'entité tectono—sédimentaire de Reggio Calabria sont nombreuses et liées au jeu des deux accidents N 045 et N 140 qui la limitent (Barrier, 1984). En particulier pour la zone étudiée, les niveaux de base situés sous le banc calcaire à *Isognomon* sont affectés par des failles. Elles le déforment plastiquement mais sont cachettées par les premiers niveaux de sables grossiers bioclastiques à dunes hydrauliques. Un proxime séismique est par conséquent à placer aussitôt après la réalisation du banc calcaire, ce qui serait confirmé par le brusque changement du milieu de dépôt et des peuplements et par le saut bathymétrique mis en évidence par Barrier et al. (1985).

Les figures de paléoséismicités qui se rapprochent le plus des dépressions de Pavigliana sont les figures d'expulsion d'eau et les structures tixotropiques. Une hypothèse d'expulsion de fluide ne peut cependant pas être prise en considération car si la base du calcaire est contournée, la partie supérieure est plate et ne présente pas du conduit d'échappement.

Interpréter les invaginations du calcaire à *Isognomon* comme le résultat de mouvements tixotropiques, issues d'un ébranlement d'origine séismique du sédiment sous—jacent gorgé d'eau, paraît satisfaisant. Surtout si l'on considère l'hétérogénéité des deux faciès (accumulation de test d'organismes—sables fins silteux), le poids du premier exercé sur le second ne pouvant que accentuer le phénomène.

Remerciements.

Nous remercions Madame C. Rossi Ronchetti, Université de Milano, et Monsieur I. Di Geronimo, Université de Catania, pour la lecture critique du manuscrit, et particulièrement Monsieur Jan Aagaard, Université de København, pour les photographies des bioérosions.

BIBLIOGRAPHIE

- Barrier P. (1984) - Evolution tectono—sédimentaire pliocène et pleistocène du Détroit de Messine (Italie). *Thèse Univ. Marseille—Luminy*, 270 pp., 3 pl., 118 fig., 2 cartes, Marseille.
- Barrier P., Casale V., Costa B., Di Geronimo I., Oliveri O. & Rosso A. (1985) - La sezione plio—pleistocenica di Pavigliana (Reggio Calabria). *Boll. Soc. Paleont. It.* (sous presse), Modena.
- Boekschoten G. jr. (1970) - On bryozoan boring from the Danian at Faske, Denmark. In Crimes & Harper (Eds.) - Trace fossils. *Geol. Jour.*, sp. iss. n. 3, pp. 43—49, 1 fig., Seel House Press, Liverpool.

- Bousquet J.C., Carveni P., Lanzafame G., Philip H. & Tortorici L. (1980) - La distension pleistocène sur le bord oriental du détroit de Messine. Analogies entre les résultats microtectoniques et le mécanisme ou foyer du séisme de 1908. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, s. 7, v. 22, n. 3, pp. 327–336, 5 fig., Paris.
- Bromley R. G. (1970) - Burrows and boring in hardgrounds. *Medd. Dansk. Geol. Forening*, v. 18, pp. 247–250, 2 fig., København.
- Bromley R. G. (1975) - Comparative analysis of fossil and recent echinoid bioerosion. *Palaeontology*, v. 18, pp. 725–739, London.
- Bromley R. G. & D'Alessandro A. (1983) - Bioerosion in the Pleistocene of Southern Italy: ichnogenera *Caulostrepsis* and *Maeandropolydora*. *Riv. It. Paleont. Strat.*, v. 89, n. 2, pp. 283–309, 5 pl., 8 fig., Milano.
- Bromley R. G. & D'Alessandro A. (1984) - The ichnogenus *Entobia* from the Miocene, Pliocene and Pleistocene of Southern Italy. *Riv. It. Paleont. Strat.*, v. 90, n. 2, pp. 227–296, 13 pl., 13 fig., 10 tab., Milano.
- Ekdale A. A., Bromley R. G. & Pemberton S. G. (1984) - Ichnology. The Use of Trace Fossils in Sedimentology and Stratigraphy. *Soc. Econom. Paleont. Mineral.*, short course n. 15, 317 pp., Tulsa, Oklahoma.
- Golubic S., Perkins R. D. & Lukas K. J. (1975) - Boring microorganism and microborings in carbonate substrates. In Frey (Ed.) - The study of trace fossils, pp. 229–259, 10 fig., Springer-Verlag, New York.
- Kelly R. A. S. & Bromley R. G. (1984) - Ichnological nomenclature of clavate borings. *Palaeontology*, v. 27, pp. 793–807, 11 fig., London.
- Keraudren B. & Sauret B. (1982) - Tectonique synsédimentaire dans le Pleistocène inférieur marin du détroit de Messine (Italie) et critique des étages Calabrien et Sicilien. *C.R. Ac. Sc. Paris.*, t. 294, s. 2, pp. 339–342, 1 fig., Paris.
- Pérès J. M. & Picard J. (1964) - Nouveau manuel de bionomie benthique de la Mer Méditerranée. *Rec. Trav. Stat. Mar. Endoume*, Bull. 31, n. 47, 137 pp., 9 fig., Marseille.
- Pohowski R. A. (1974) - Notes on the study and nomenclature of boring Bryozoa. *Jour. Paleont.*, v. 48, n. 3, pp. 556–564, 1 pl., Tulsa, Oklahoma.
- Pohowski R. A. (1978) - The boring Ctenostomata Bryozoa: Taxonomy and Paleobiology based on cavities in calcareous substrata. *Bull. Am. Paleont.*, v. 73, n. 301, 192 pp., 24 pl., 6 fig., Ithaca, New York.
- Robba E. & Ostinelli F. (1976) - Studi paleontologici sul Pliocene ligure. II. Le tracce degli organismi epibionti sui molluschi pliocenici di Albenga. *Riv. It. Paleont. Strat.*, v. 82, n. 3, pp. 501–578, 11 pl., Milano.
- Soule J. D. & Soule D. F. (1969) - Systematics and Biogeography of burrowing Briozoans. *Am. Zoologist*, v. 9, n. 3, pp. 791–802, 6 fig., Chicago.
- Voigt E. & Soule J. D. (1973) - Cretaceous burrowing Bryozoans. *Jour. Paleont.*, v. 47, n. 1, pp. 21–33, 4 pl., 7 fig., Tulsa, Oklahoma.
- Warme J. E. (1975) - Boring as trace fossils, and processes of marine bioerosion. In Frey (Ed.) - The study of trace fossils, pp. 181–227, 28 fig., Springer-Verlag, New York.

PLANCHE 20

- Fig. 1 — *Entobia volzi* Bromley & D'Alessandro. Echelle 2mm.
- Fig. 2 — *Entobia laquea* Bromley & D'Alessandro. Echelle 2mm.
- Fig. 3 — *Caulostrepsis taeniola* Clarke. Echelle 5mm.
- Fig. 4 — *Entobia paradoxa* (Fischer). Echelle 2mm.

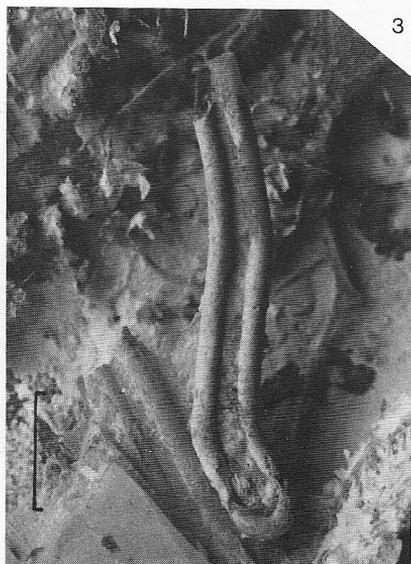
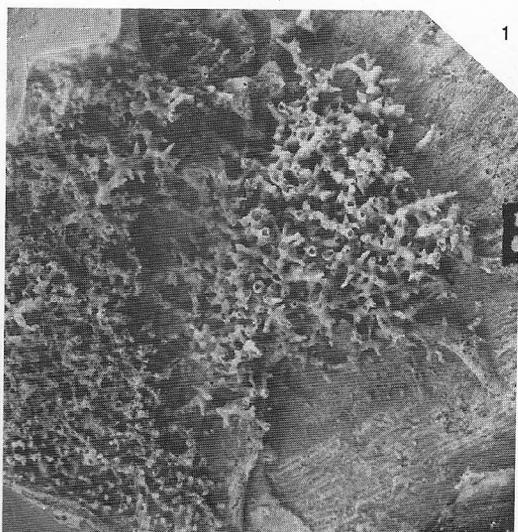


PLANCHE 21

Fig. 1 — *Entobia* ichnosp. Echelle 2mm.

Fig. 2 — *Entobia ovula* Bromley & D'Alessandro, à faible sténomorphisme.

Fig. 3 — *Entobia cateniformis* Bromley & D'Alessandro.

Fig. 4 — *Entobia volzi* Bromley & D'Alessandro. Détail de la fig. 1, Pl. 20. Un des larges canaux communiquant avec l'extérieur est visible. Echelle 1mm.

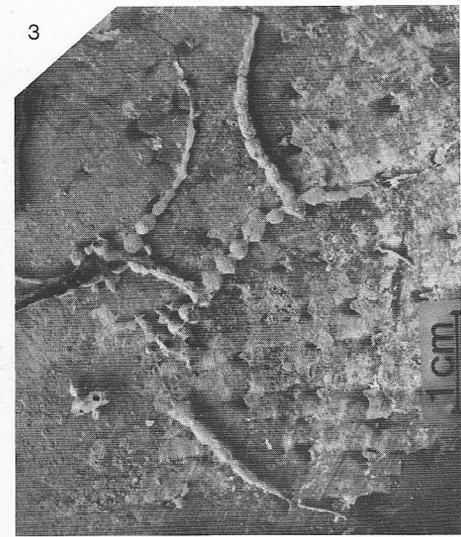
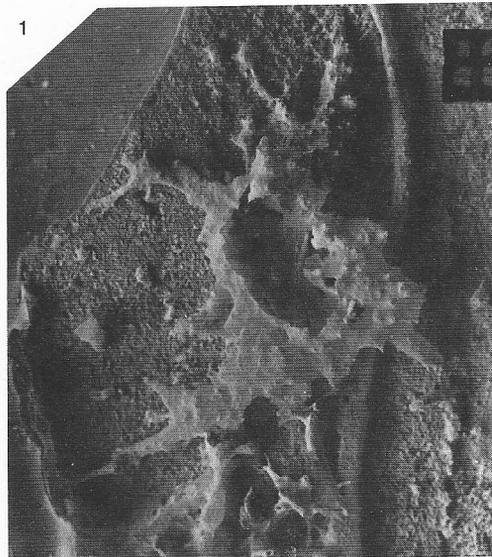
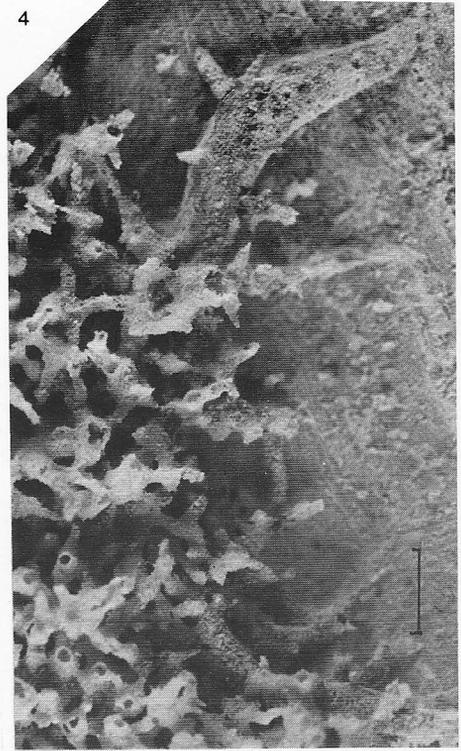
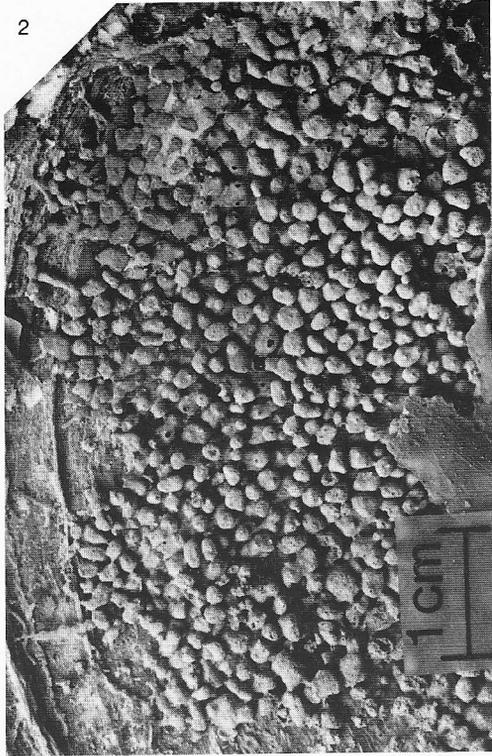


PLANCHE 22

- Fig. 1 — Perforation de *Immergentia* Silen. Détail de la fig. 2, Pl. 23 montrant des loges fusiformes perpendiculaires au substrat.
- Fig. 2, 4 — Perforations de Thallophytes. Fig. 2, détail de la fig. 4.
- Fig. 3 — *Terebripora* ichnosp.

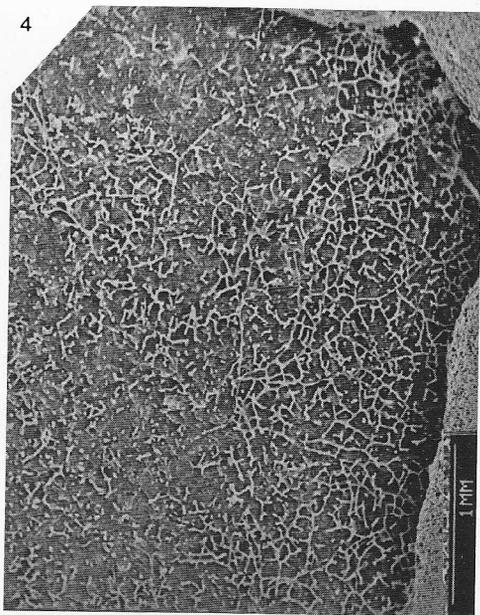
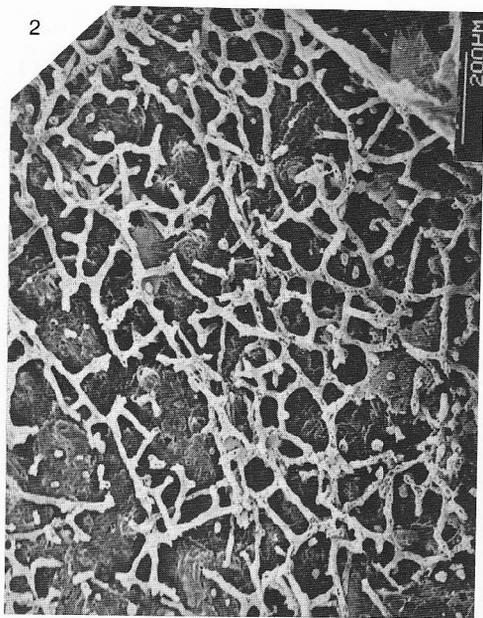


PLANCHE 23

Fig. 1, 3 — *Iramena* ichnosp. Fig. 1, détail de la fig. 3.

Fig. 2 — Perforation de *Immergentia* Silen.

Fig. 4 — *Terebripora* ichnosp.

