

Le Permien de l'île d'Hydra (Grèce), micropaléontologie, sédimentologie et paléoenvironnements

Catherine JENNY¹, Alain IZART², Aymon BAUD³, Jacques JENNY⁴

Résumé

Ce travail présente des analyses micropaléontologique et sédimentologique de quatre coupes stratigraphiques du Permien de l'île d'Hydra (Grèce). L'étude micropaléontologique est constituée par un inventaire des foraminifères et des algues calcaires dont la richesse a permis de bien dater les sédiments permien. L'étude sédimentologique a porté sur la définition de faciès représentatifs des dépôts permien.

La synthèse de ces résultats a permis de préciser la succession des paléoenvironnements et de proposer une reconstitution des séquences de dépôt pour le Permien de cette région.

Mots-clés

Grèce, Permien, micropaléontologie, foraminifères, sédimentologie, paléoenvironnements, stratigraphie.

Abstract

The Permian deposits of Hydra Island (Greece), micropaleontology, sedimentology and paleoenvironments.- This study presents several analyses in micropaleontology and sedimentology of four sections of permian deposits in the Hydra Island (Greece). The micropaleontological study is an inventory of foraminifers and algae, which allow accurate datations to precise age assignments. Representative facies have been defined for the Permian deposits. Summary of these data permitted to characterize successive paleoenvironments and to propose a reconstruction of Permian sequences in this area.

Key words

Greece, Permian, micropaleontology, foraminifers, sedimentology, paleoenvironments, stratigraphy.

INTRODUCTION

Cadre de recherche

L'île d'Hydra est située au large de la côte sud-est de l'Argolide (Péloponnèse). Elle est orientée SW-NE et mesure environ 20 km de long sur 5 km de large.

L'île d'Hydra a depuis longtemps retenu l'attention des géologues, en partie à cause des magnifiques dépôts permien qui affleurent sur environ 12 km, le long de la côte sud et sur le flanc SE de l'île. On atteint ces affleurements en bateau ou à pied. L'île d'Hydra n'a pas de réseau routier.

Faisant suite à de nombreuses publications, notre travail présente une étude détaillée, micropaléontologique et sédimentologique de quatre coupes stratigraphiques. Ces recherches ont été effectuées dans le cadre du projet FNRS 20-5195.86.

Cette étude complète la synthèse stratigraphique publiée par GRANT *et al.* (1991). Nous utiliserons ici les unités lithologiques définies dans ce travail.

La chronostratigraphie fait référence aux directives de la Commission Internationale de Stratigraphie (WARDLAW *et al.*, 2000). Nous donnons néanmoins également en parallèle, les noms des subdivisions du Permien téthysien (SKOURTSOS *et al.*, 2002) (Tabl. 1).

Quatre coupes stratigraphiques (Fig. 1) ont été échantillonnées systématiquement, sans maille d'échantillonnage préalablement définie, en fonction des variations de faciès et/ou du contenu faunistique résumé. Deux cent dix échantillons ont ainsi été récoltés, pour 1148 m de coupe au total.

Une ou plusieurs lames minces ont ensuite été taillées dans chaque échantillon.

Un inventaire du contenu faunistique, foraminifères et algues, a été effectué sur ce matériel, qui a permis

¹ 14, rampe du Pont Rouge, CH-1213 Petit-Lancy, Suisse ; e-mail : cjenny@worldcom.ch

² Université Henri Poincaré UMR 7566 G2R, BP 239, F-54506 Vandoeuvre-les-Nancy, France

³ Musée cantonal de géologie BFSH2- UNIL, CH - 1015 Lausanne, Suisse

⁴ 60, av. de Genève CH- 1237 Avully, Suisse

Tableau 1 : Correspondance des noms d'étages du Permien.

	Séries	Etages GSSP	Etages téthysiens
Permien	Lopingien	Changhsingien	Dorashamien
		Wuchiapingien	Djulmien
	Guadalupien	Capitanien	Midien
		Wordien	Murgabien
		Roadien	Kubergandien
	Cisuralien	Kungurien	Bolorien
		Artinskien	Artinskien
		Sakmarien	Sakmarien
		Assélien	Assélien

d'établir, pour chacune des quatre coupes, un tableau de répartition des genres et espèces (Tabl. II, III, IV, V, VI, VII). Un deuxième tableau, de comptage, renseigne, également pour les quatre coupes, sur la présence de différents bioclastes: échinodermes, bryozoaires, spicules de spongiaires (Tabl. VIII, IX, X, XI).

L'inventaire de la microfaune est complété par une étude des faciès. Dix-huit faciès ont été définis, du plus profond au moins profond. Ces derniers ont permis d'établir des séquences, montrant l'évolution des paléoenvironnements (Fig. 7 et 8).

Introduction stratigraphique

Les unités calcaires du Permien sont particulièrement bien développées et contiennent, pour certains niveaux, d'abondants microfossiles: des algues, des fusulines et autres foraminifères, des ostracodes, des conodontes et des radiolaires calcifiés (RENZ & REICHEL 1946; STOW, 1975; NESTELL & WARDLAW, 1987; JENNY-DESHUSSES & BAUD, 1989; BAUD *et al.*, 1991; GRAND *et al.*, 1991; VACHARD *et al.* 1995; CRASQUIN-SOLEAU & BAUD, 1998). Les macrofossiles des calcaires du Permien supérieur sont principalement des brachiopodes qui ont fait l'objet

d'études détaillées (NESTELL & GRANT, 1987; GRANT, 1995).

Une monographie de la géologie d'Hydra a été présentée par ROMMERMANN (1968, 1969) qui a publié plus tard une carte géologique détaillée (ROMMERMANN *et al.*, 1981). Plus récemment, deux nouvelles cartes ont été publiées, celle de GRANT *et al.* (1991) et celle de BOLONI *et al.* (1992) qui se concentre sur les unités triasiques.

Les unités sédimentaires permienues d'Hydra font partie intégrante des plates-formes carbonatées géantes décrites par BAUD *et al.* (1993) et illustrent les séquences les plus richement microfossilifères de la Téthys occidentale. Elles affleurent dans deux écaillies tectoniques superposées (GRANT *et al.*, 1991). L'épaisseur totale de ces unités permienues avoisine les 500 m et leur âge est compris entre l'Assélien et le Changhsingien. Elles ont été subdivisées par BAUD *et al.* (1991) en trois Groupes et dix Formations. Dans l'ordre stratigraphique nous avons: le Groupe Thikia (5 formations), le Groupe Klimaki (3 formations) et le Groupe Barmari (2 formations). Le Groupe Thikia comprend les Formations de Nitsitsa, Ormos, Lehusis, Marmantos et Cap Rigas d'âge assélien à artinskien. La Formation de Lehusis, d'une épaisseur de 50 à 100 m, est principalement constituée de bioconstructions de type dôme-pinnacle à *Tubiphytes-*

Fig. 1: Carte de situation de l'île d'Hydra, à l'est au large du Péloponnèse (Grèce). Localisation des quatre coupes stratigraphiques présentées dans ce travail : a) Cap Bisti, b) Episcopi, c) Lehusis, d) Cap Rigas.

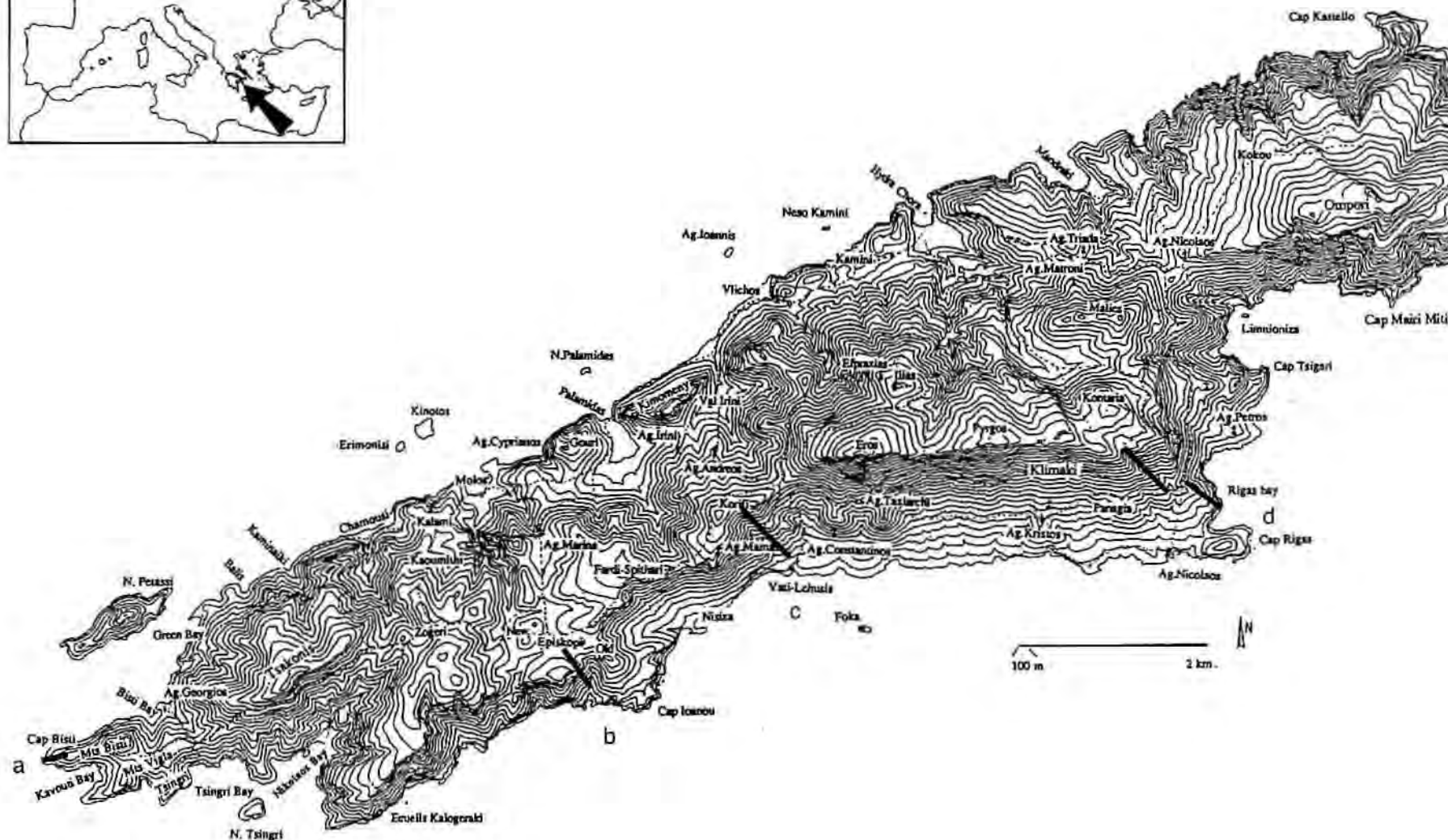


Tableau 2: Répartition stratigraphique des foraminifères et algues dans la coupe de Cap Bisti.

	Gymnocodium sp.	Dasycladées ind.	Pernoeulculus sp.	Agathammina sp.	Hemigordius sp.	Nankinella sp.	Geinitzia sp.	Necandothyra sp.	Globivalvulina sp.	Fronina permica	Nodosaria longissima	Schubertella sp.	Robuloides sp.	Paleotextularioides ind.	Pachyphloia ovata	Dagmaria chamakchensis	Ecuberitina retifingerae	Langella sp.	Ictyolaria latifimbata	Reichelina sp.	Climacamina sphaerica	Tubiphytes obscurus	Paraglobivalvulina mira	Staffella sp.	Climacamina sp.	Pachyphloia pedicula	Mizza sp.	Globivalvulina kanthurensis	Urdogdella uralica	Gymnocodium bellerophonis	Pseudotrifarax sp.	Deckerella sp.	Paradoxiella sp.	Rectostipulina quadrata				
235																																						
236																																						
237																																						
238																																						
239																																						
240																																						
241																																						
242																																						
243																																						
244																																						
245																																						
246																																						
247																																						
248																																						
249																																						
250																																						
251																																						
252																																						

algues et éponges (BAUD *et al.*, 1991; GRANT *et al.*, 1991).

Le Groupe Klimaki comprend les Formations de Riga, Cap Bisti et Marmari. Cette dernière consiste en deux grands cycles calcaréo-dolomitiques, d'épaisseur respective de 50 et 100 m, datés dans la partie supérieure du Capitanien.

Le Groupe de Barmari, d'âge lopingien, comprend la Formation d'Episcopi surmontée par celle de Miras. Ce groupe est d'épaisseur tectoniquement réduite (10 m) vers l'est à Agios Nikolaos pour atteindre 100 m à Lehusis et 120 m dans la coupe d'Episcopi, à l'ouest. La partie basale de la Formation d'Episcopi consiste en des lentilles conglomératiques à galets dolomitiques provenant de l'érosion de l'unité sous-jacente de Marmari. Les 90 m inférieurs sont formés principalement de calcaires sombres bioclastiques de type packstone à grainstone en

bancs épais, riches en algues calcaires, petits foraminifères et fragments de brachiopodes, bryozoaires et coraux qui indiquent un milieu de plate-forme externe soumis à un fort brassage. Au-dessus viennent 55 mètres de calcaires à silex noirs, aplatis ou arrondis, de type packstone finement bioclastiques à spicules d'éponges, crinoïdes, algues calcaires, ostracodes et foraminifères. Ces calcaires à silex sont surmontés de 10 mètres de calcaires noduleux (wackestones) et de 30 mètres de calcaires noirs bien stratifiés de type wackstone-packstone à spicules d'éponges, ostracodes, foraminifères, bryozoaires et d'interlits marneux. C'est de cette unité que proviennent les fameux niveaux à brachiopodes décrits par GRANT (1995). La plate-forme carbonatée d'Episcopi est couronnée brutalement par un niveau de calcaire à algues. L'unité suivante de Miras, d'une épaisseur variable de 30 à 100 mètres, est composée de shales brun sombre à rouge

Tableau 3: Répartition stratigraphique des foraminifères et algues de la bioconstruction d'Episcopi.

	Tubiphytes obscurus	Eotuberitina reitlingerae	Schubertella sp.	Gymnocodium sp.	Climacammina sp.	Lastodiscus sp.	Tuberitina collosa	Fusulinidés ind.	Globivalvulina kamtharensis	Boultonia sp.	Endothyra sp.	Paleotextularia sp.	Schubertella sp.	Globivalvulina sp.	Hemigordius sp.	Schwagerina sp.	Deckerella sp.	Langella sp.	Paleonubecularia sp.	Spiroplectammina sp.
590a																				
589a																				
589																				
588																				
587																				
586																				
585'																				
585																				
584																				
582																				
581'																				
581																				
580																				
579																				
578																				

foncé avec de nombreuses lentilles et blocs calcaires à brachiopodes parfois riches en petits foraminifères.

FACIÈS ET PALÉOENVIRONNEMENTS

Des colonnes lithostratigraphiques ont été dessinées pour les quatre coupes (Figs 3, 4, 5, 6). La description des faciès se fera du milieu marin le moins profond vers le plus profond. Un graphe de variation des faciès est dessiné pour chaque coupe à droite de la colonne lithostratigraphique. Les photos des faciès sont reproduits sur cinq planches photos. Des tableaux de comptage des bioclastes ont été réalisés pour chaque coupe. La classification de DUNHAM (1962) a été utilisée pour décrire les carbonates.

F1: Calcaire rouge. L'échantillon G166 (Pl. 1, fig. 1), situé dans la Formation de Marmari de la coupe

d'Episcopi, montre un wackestone à lithoclastes calcaires micritiques et anguleux.

Interprétation: Ce faciès est comparable au sol rouge fersiallitique actuel (DUCHAUFOR, 1995) et résulte de l'altération du calcaire sous-jacent pendant une émergence au niveau d'un paléosol. Il est situé en sommet de séquence.

F2: Surface d'érosion sous-aquatique avec ou sans dépôt de calcirudite à lithoclastes calcaires divers et fusulines. L'échantillon G144 (Pl. 1, fig. 2), situé dans la Formation de Riga de la coupe de Cap Rigas, montre des intraclastes calcaires micritiques et des fusulines remaniées sans mélange de biozones. La calcirudite est connue à Cap Rigas, Episcopi et Cap Bisti.

Interprétation: Ce faciès peut être situé à diverses bathymétries. Il a été mis sur le graphe de variation des faciès à droite du faciès marin le moins profond sur lequel il repose. La calcirudite résulte de l'érosion et du

Tableau 4: Répartition stratigraphique des foraminifères et algues de la coupe d'Episcopi (Formation de Marmari).

	Tubiphytes obscurus	Eotuberitina reitlingeræ	Schubertella sp.	Gymnocodium sp.	Climacammina sp.	Lasiodiscus sp.	Tuberitina collosa	Fusulinidés ind.	Globivalvulina kantharensis	Boultonia sp.	Endothyra sp.	Paleotextularia sp.	Schubertella sp.	Globivalvulina sp.	Hemigordius sp.	Schwagerina sp.	Deckerella sp.	Langella sp.	Paleonubecularia sp.	Spiroplectammina sp.
590a																				
589a																				
589																				
588																				
587																				
586																				
585'																				
585																				
584																				
582																				
581'																				
581																				
580																				
579																				
578																				

remaniement des calcaires sous-jacents après un bas niveau marin et lors de la reprise de la transgression. Il est donc toujours situé en base de séquence.

F3: Calcaire de type mudstone à birdseyes, et matrice de micrite ou dolomicrite. L'échantillon G212 (Pl. I, fig. 3), situé dans la Formation de Marmari de la coupe de Lehusis, est caractéristique de ce faciès. Ce faciès est aussi connu dans la Formation de Marmari de la coupe d'Episcopi sous le faciès 1.

Interprétation: Ce faciès est caractéristique de la zone supratidale du domaine marin (ELF-AQUITAINE, 1975 et 1977). Les fenestrate ou birdseyes se forment lors de l'émersion de la boue micritique à marée basse sur la plage. Il est situé en sommet de séquence.

F4: Calcaire gréseux lité et grès à quartz anguleux et fusulines. L'échantillon G573 (Pl. I, fig. 4), situé dans la Formation de Miras de la coupe d'Episcopi, montre un calcaire gréseux à quartz anguleux, fusulines et petits foraminifères, dans une matrice de micrite.

Interprétation: Ce faciès est caractéristique d'une

plate-forme marine peu profonde avec un apport de quartz continental important. Il n'est connu que dans la Formation de Miras à la fin du remblaiement de la plate-forme.

F5: Calcaire lité de type grainstone à oolites. L'échantillon G236 (Pl. II, fig. 1), situé dans la Formation Miras de la coupe de Cap Bisti, est un bon exemple de ce faciès.

Interprétation: Ce faciès est caractéristique de la zone intertidale (ELF-AQUITAINE, 1975 et 1977). Il se forme en bordure de côte sur la plage ou au niveau de dune sous-aquatique de taille métrique.

F6: Shale à petits bancs de calcaire ou de dolomie. Ce faciès n'est pas illustré.

Interprétation: Ce faciès est caractéristique des zones supratidale à subtidale en plate-forme interne peu profonde avec un apport continental de minéraux argileux. Ce faciès est trouvé soit en début de transgression (Formation de Cap Bisti) soit plus souvent en régression (Formation de Cap Rigas), ou lors du remblaiement de la

Tableau 6 : Répartition stratigraphique des foraminifères et algues dans la coupe de Lechusis.

Stratigraphic Unit	189	190	191	194	195	196	192	193	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223		
Tubiphytes obscurus																																					
Pseudovermiporella nipponica																																					
Eotuberitina reitlingerai																																					
Neoendothyra sp.																																					
Globivalvulina sp.																																					
Pseudofusulina tchernyschewi																																					
Minojapanella sp.																																					
Schubertella sp.																																					
Geinitzina ex. gr. postcarbonica																																					
Koivaella sp.																																					
Genitzina sp.																																					
Hemigordius sp.																																					
Lasiodicus sp.																																					
Calcitornella sp.																																					
Pseudoschwagerina sp.																																					
Tetrataxis sp.																																					
Nodosaria sp.																																					
Staffella sp.																																					
Gymnocodium sp.																																					
Pachyphloia sp.																																					
Dascycaldacées ind.																																					
Neoschwagerina sp.																																					
Egoliolina sp.																																					
Reichelina sp.																																					
Staffella zisongzhengensis																																					
Multidiscus padangensis																																					
Baisalina sp.																																					
Langella sp.																																					
Agalhammina sp.																																					
Paleofusulina sp.																																					
Robuloides sp.																																					
Climacammina sp.																																					
Pachyphloia ovata																																					
Froncina sp.																																					
Ichtyolaria latilimbata																																					
Dagmarita chanakchiensis																																					
Rectostipulina quadrata																																					
Robuloides lens																																					
Paraglobivalvulina sp.																																					
Colaniella ex. gr. minima																																					
Paradoxiella sp.																																					

Tableau 8: Estimation (%) des différents bioclastes observés dans la coupe de Cap Bisti.

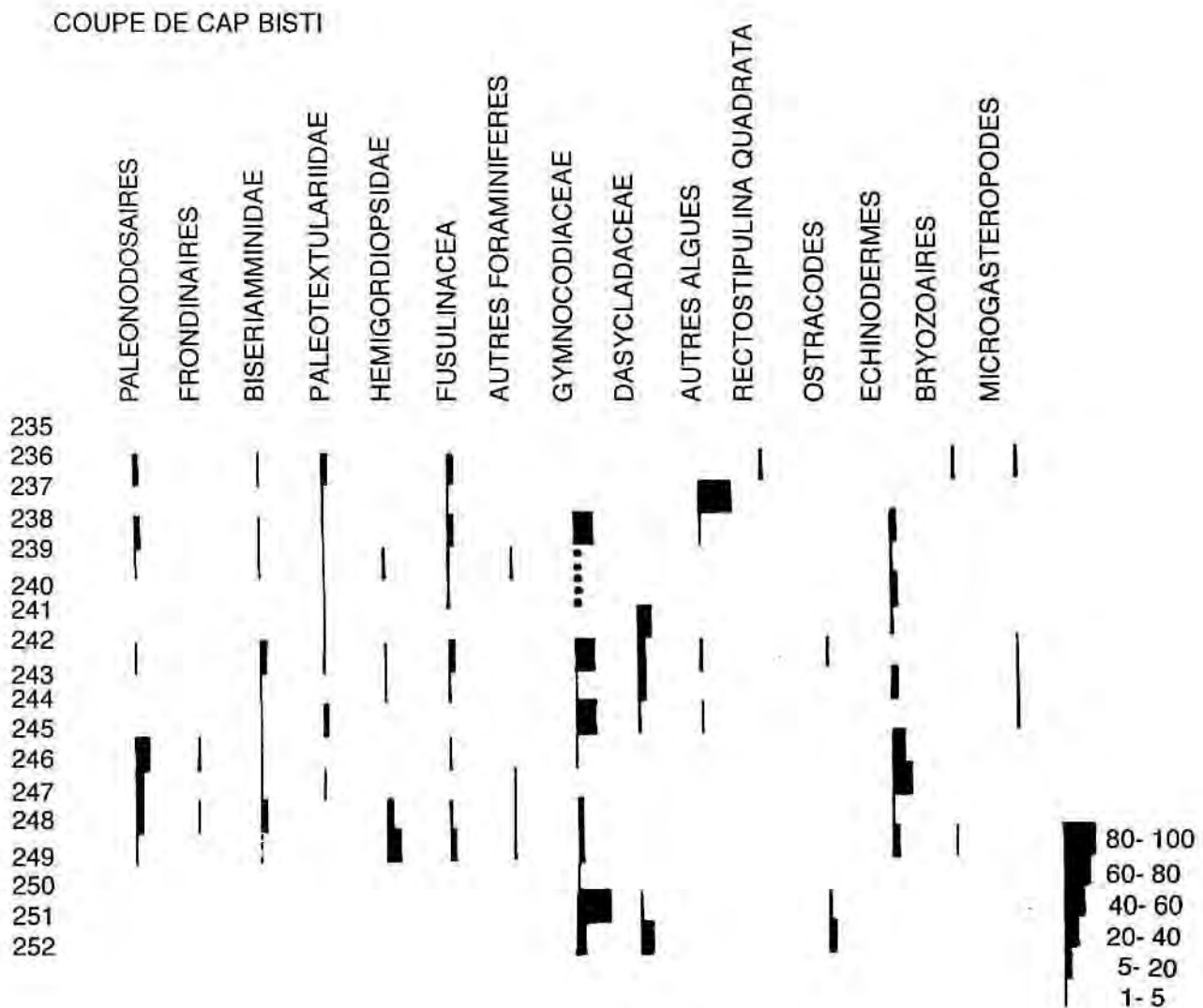


plate-forme (Formation de Miras). L'apport argileux peut être dû à une période climatique plus humide.

F7: Calcaire lité de type grainstone/packstone à algues (Gymnocodiacees), fusulines et petits foraminifères. L'échantillon G130 (Pl. II, fig. 2), situé dans la Formation d'Episcopi de la coupe de Cap Rigas, est représentatif de ce faciès, visible également dans la Formation d'Episcopi de la coupe de Cap Bisti.

Interprétation: Ce faciès est caractéristique de la zone intertidale dans la zone de remaniement par les vagues en sommet de bioconstruction alguaire.

F8: Calcaire lité de type rudstone à débris d'algues. L'échantillon G531 (Pl. II, fig. 3), situé dans la Formation d'Episcopi de la coupe d'Episcopi, montre des fragments d'algues (Gymnocodiacees) de grande taille et des petits foraminifères (Hemigordiopsidés) dans une matrice

de micrite. Ce faciès existe aussi dans la Formation d'Episcopi de la coupe de Cap Bisti.

Interprétation: Ce sont des débris intercalés dans la bioconstruction alguaire ou sur ses flancs et résultant du remaniement de la construction lors de tempête.

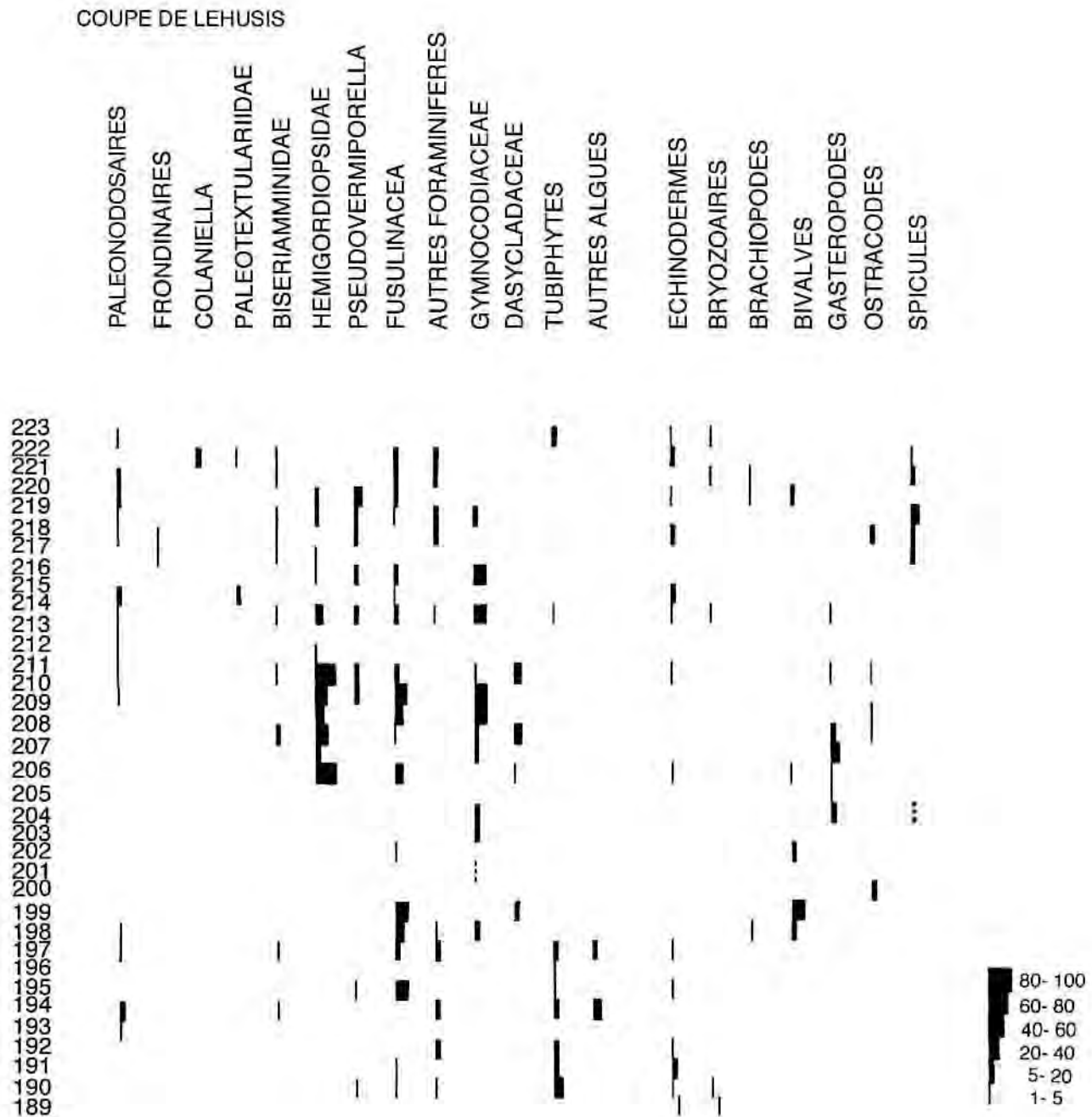
F9: Calcaire construit de type boundstone à algues (Gymnocodiacees), petits foraminifères (*Hemigordius* et *Pseudovermiporella*) et fusulines. L'échantillon G238 (Pl. II, fig. 4), situé dans la Formation d'Episcopi de la coupe de Cap Bisti, les échantillons G529 et G535 (Pl. III, figs 1, 2), situés dans la Formation d'Episcopi de la coupe d'Episcopi, montrent des algues (Gymnocodiacees) en position de vie en section transversale et des petits foraminifères (*Hemigordius* et *Colaniella*) dans une matrice de micrite (G535) ou un ciment de sparite (G238). Des coraux sont associés aux algues dans la

Tableau 9: Estimation (%) des différents bioclastes observés dans la coupe d'Episcopi.

COUPE D'EPISCOPI



Tableau 10: Estimation (%) des différents bioclastes observés dans la coupe de Lehusis.



Formation d'Episcopi dans la coupe de Cap Bisti. Ce faciès existe dans la Formation d'Episcopi des coupes de Lehusis, Episcopi et Cap Bisti.

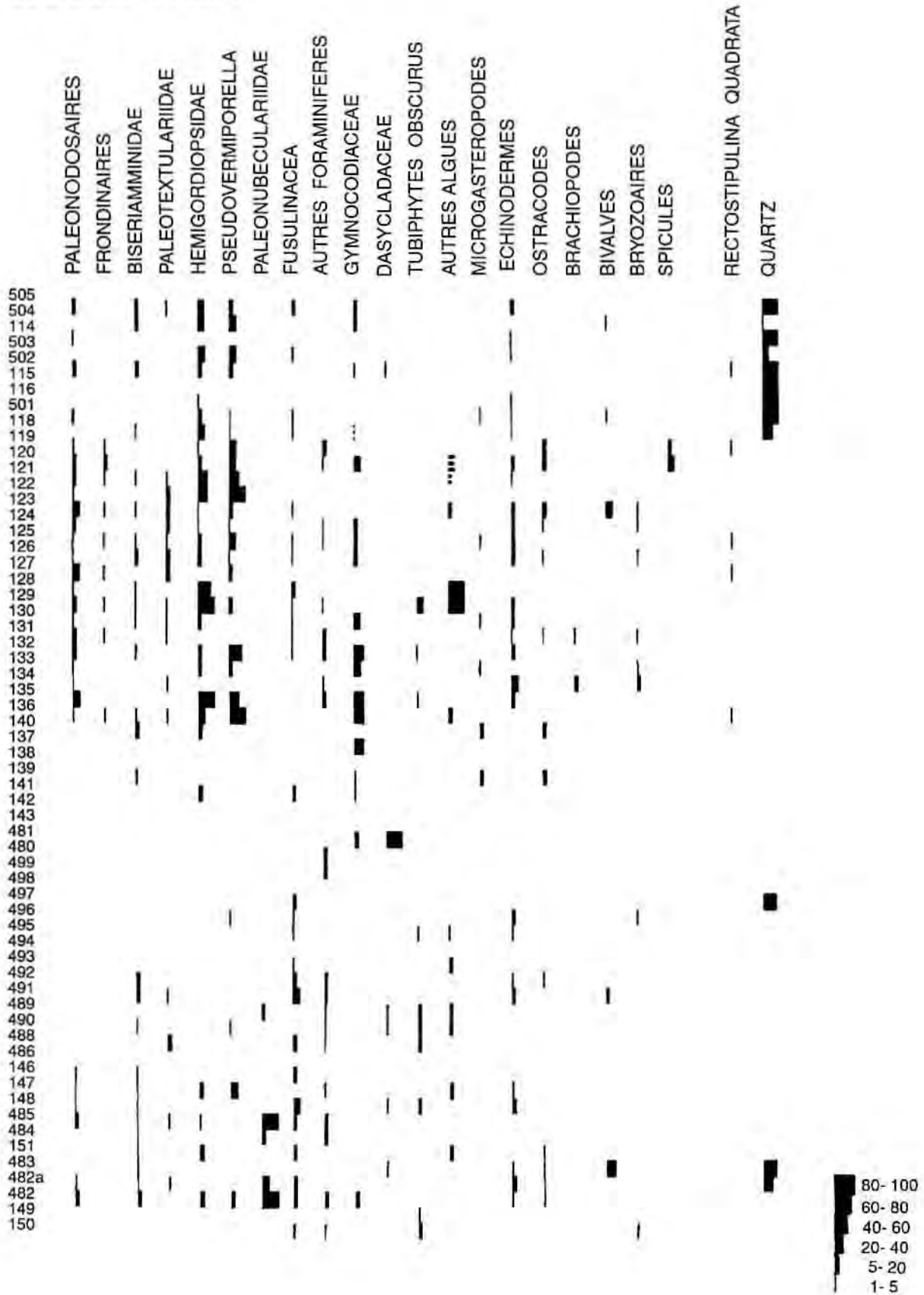
Interprétation: C'est une bioconstruction algale tabulaire de taille hectométrique dans la coupe d'Episcopi ou de taille décimétrique dans les coupes de Lehusis et Cap Bisti, développée sous faible bathymétrie en plate-forme interne (FLUGEL, 1979).

F10: Calcaire lité de type packstone à algues (Dasycladacées et Gymnocodiaccées) et petits

foraminifères (Hemigordiopsidés). L'échantillon G132, situé dans la Formation d'Episcopi de la coupe de Cap Rigas, et l'échantillon G510 (Pl. III, figs 3, 4), situé dans la Formation de Marmari de la coupe d'Episcopi, présentent des fragments d'algues (Gymnocodiaccées), de lamellibranches et de petits foraminifères (*Hemigordius* et *Pseudovermiporella*) granoclassés qui passent vers le haut à un wackestone à Gymnocodiaccées (Faciès F11). Des Dasycladacées sont associées aux Gymnocodiaccées dans la Formation d'Episcopi de la coupe de Cap Bisti.

Tableau II : Estimation (%) des différents bioclastes observés dans la coupe de Cap Rigas.

COUPE DE CAP RIGAS



80-100
60-80
40-60
20-40
5-20
1-5

Fig. 2: Bioconstruction de Cap Rigas (en blanc sur le cliché).



Ce faciès existe dans la Formation de Marmari de la coupe d'Episcopi et dans la Formation d'Episcopi des coupes de Cap Rigas, Episcopi et Cap Bisti.

Interprétation: Ce faciès, souvent granoclassé, correspond à une tempestite proximale et résulte du remaniement de la bioconstruction alguaire sur le flanc de celle-ci en plate-forme moyenne.

F11: Calcaire lité de type wackestone à petits foraminifères (*Hemigordius*) et algues (*Gymnocodiacees*). Les échantillons G132 (Pl. III, fig. 3) et G510 (Pl. III, fig. 4) montrent à leur partie supérieure des wackestones à fragments d'algues (*Gymnocodiacees*) et *Hemigordius*. Ce faciès est associé au faciès F10.

Interprétation: Ce faciès correspond à une tempestite distale à algues et petits foraminifères en plate-forme moyenne et serait lié au faciès précédent.

F12: Calcaire lité de type packstone à *Staffellidés*, *Hemigordius* et algues (*Dasycladacees* et *Gymnocodiacees*). L'échantillon G512 (Pl. IV, fig. 1), situé dans la Formation de Marmari de la coupe d'Episcopi, montre des *Staffellidés* et l'échantillon G211 (Pl. IV, fig. 2), situé dans la Formation de Marmari de la coupe de Lehusis, des algues (*Dasycladacees* et *Gymnocodiacees*) et petits foraminifères (*Hemigordius*). Ce faciès est connu dans la Formation de Marmari des coupes de Lehusis et Episcopi.

Interprétation: Ce faciès correspond à un dépôt autochtone d'une boue micritique à *Staffellidés* et petits foraminifères en plate-forme moyenne.

F13: Calcaire lité de type wackestone/packstone à fusulines. L'échantillon G485 (Pl. IV, fig. 3), situé dans la Formation de Cap Rigas de la coupe de Cap Rigas, présente des fusulines, des petits foraminifères (*Hemigordius*) et des algues (*Gymnocodiacees*). Des cyanobactéries (*Girvanella*) ont été signalées dans cette formation (GRANT *et al.*, 1991). Ce faciès est connu dans les Formations de Mamantos et de Cap Rigas de la coupe de Cap Rigas.

Interprétation: Ce faciès correspondrait à un dépôt autochtone d'une boue micritique à Fusulines en plate-forme moyenne.

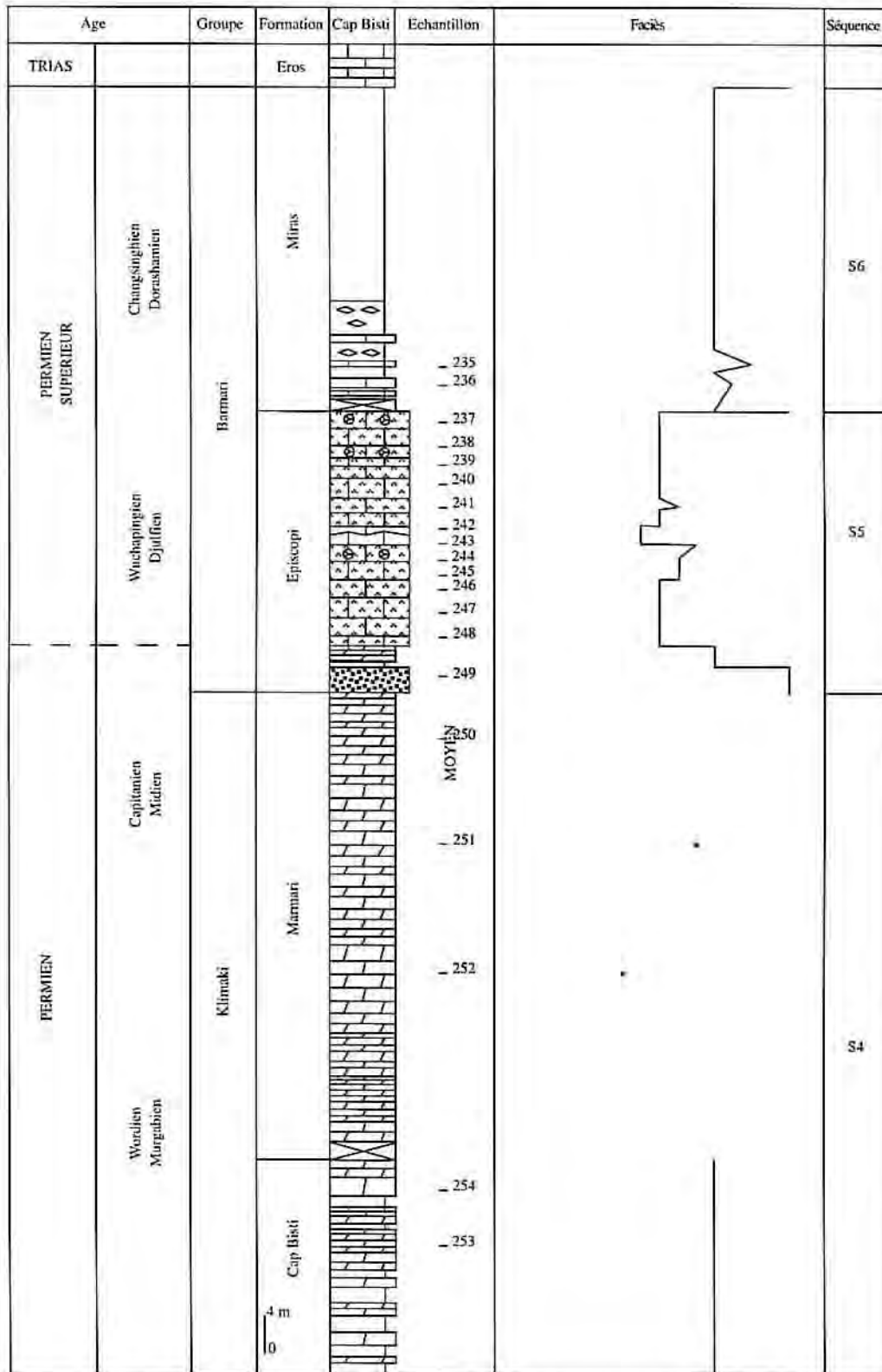
F14: Calcaire lité de type calcirudite à fusulines. L'échantillon G196 (Pl. IV, fig. 4), situé dans la Formation de Cap Rigas de la coupe de Lehusis, est une calcirudite à fusulines et *Tubiphytes*. Ce faciès est connu dans la Formation de Cap Rigas des coupes de Cap Rigas et Lehusis.

Interprétation: Ce faciès grossier est un dépôt très proximal de tempête en plate-forme moyenne.

F15: Calcaire lité de type packstone à *Hemigordius*, *Pseudovermiporella* et fusulines, granoclassé à la base et à mamelons (*Hummocky cross-stratification*, HCS)

Fig. 3: Colonne stratigraphique de la coupe de Cap Bisti.

CVB: Limite d'action des vagues de temps calme et TVB: Limite d'action des vagues de tempête.



18 | 7 16 15 14 13 12 11 10,9 8 7 6 5 4 3 2 1
TVB CVB

Légende Calcinadite Calcaire Calcaire à algues Calcaire à Tubiphytes
 Tempestite Dolomie Shale Coraux Nodules calcaires Silex

Fig 4: Colonne stratigraphique de la coupe d'Episcopi.
 CVB: Limite d'action des vagues de temps calme et TVB: Limite d'action des vagues de tempête.

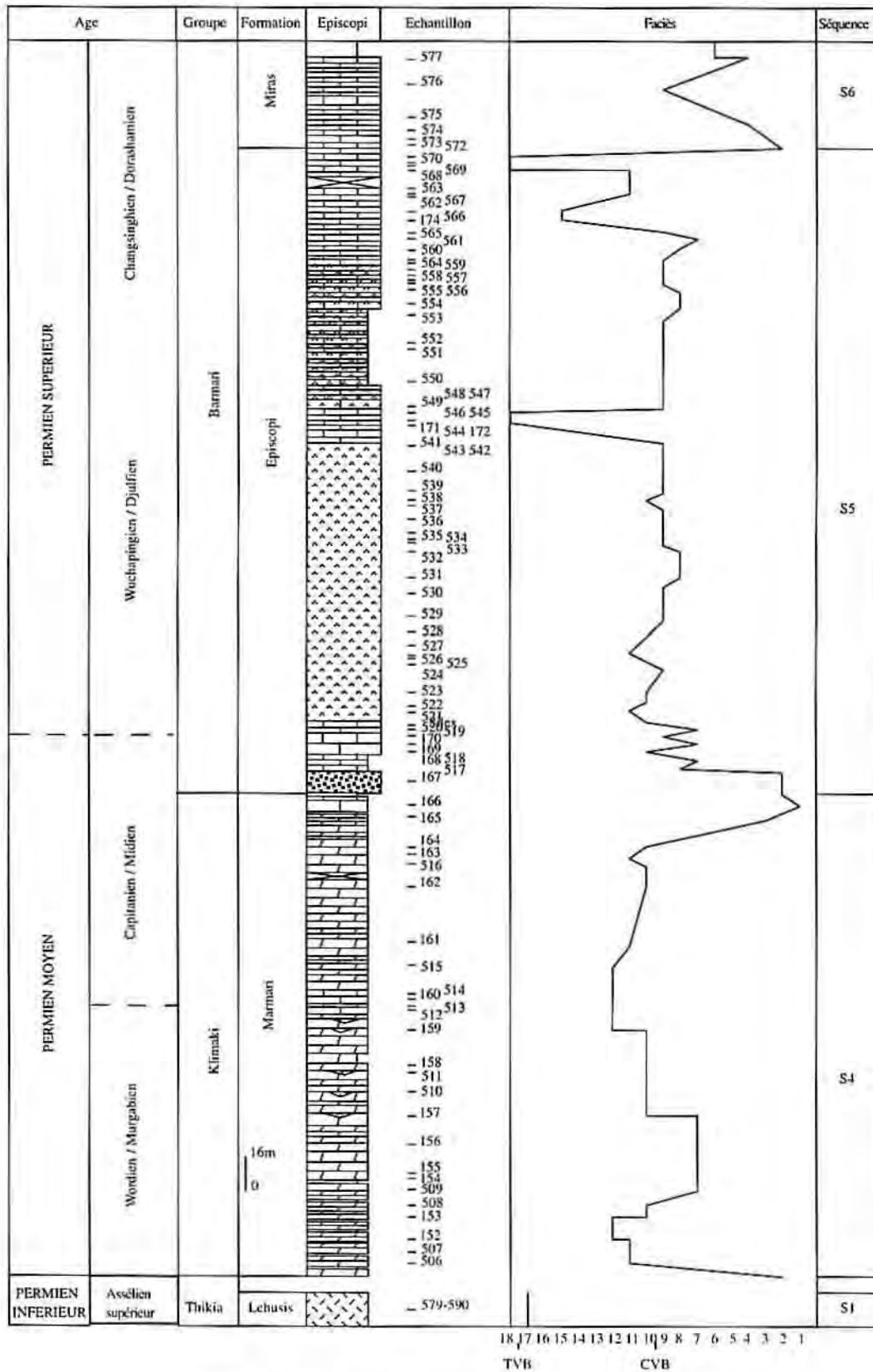


Fig. 5: Colonne stratigraphique de la coupe Lehusis.

CVB: Limite d'action des cages de temps calme et TVB: Limite d'action des vagues de tempête.

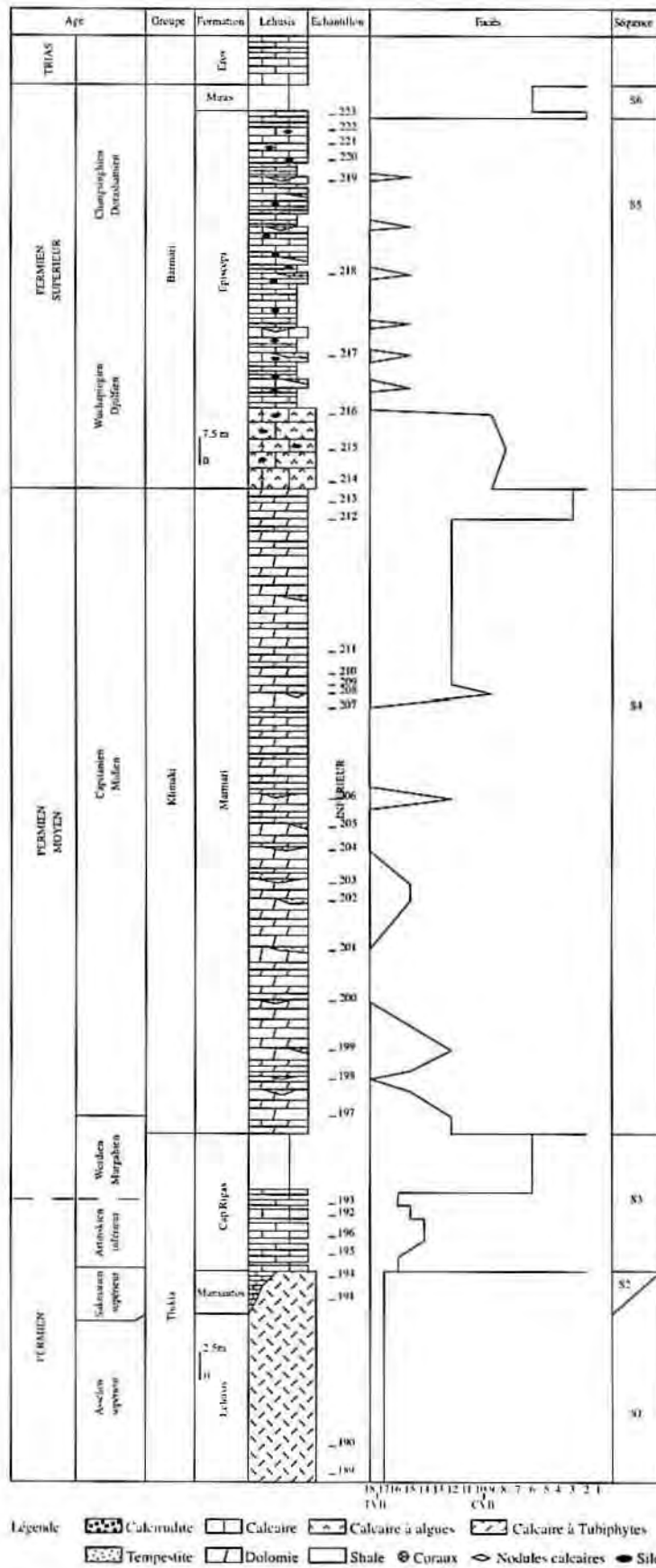
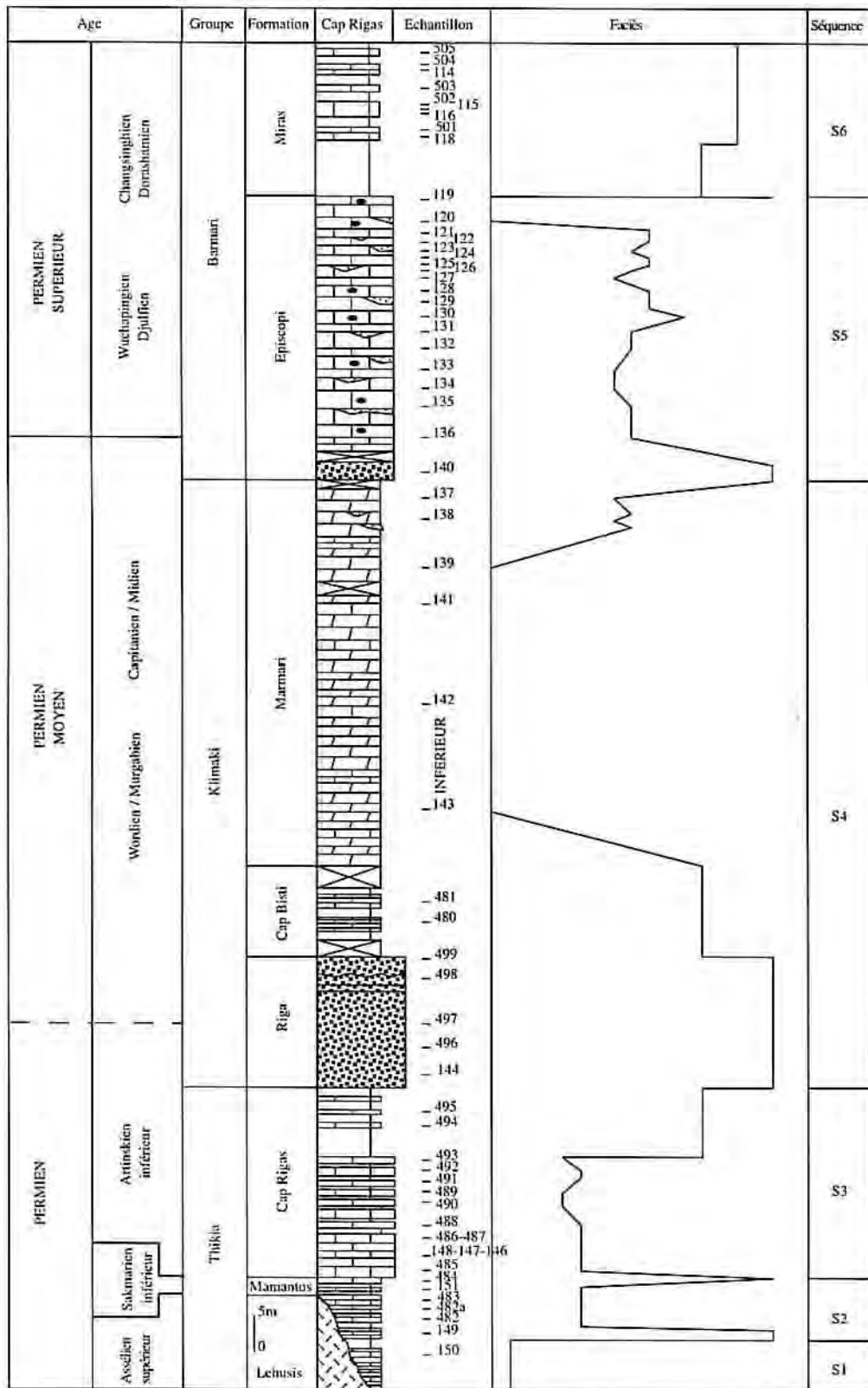


Fig. 6: Colonne stratigraphique de la coupe de Cap Rigas.

CVB: Limite d'action des vagues de temps calme et TVB: Limite d'action des vagues de tempête.

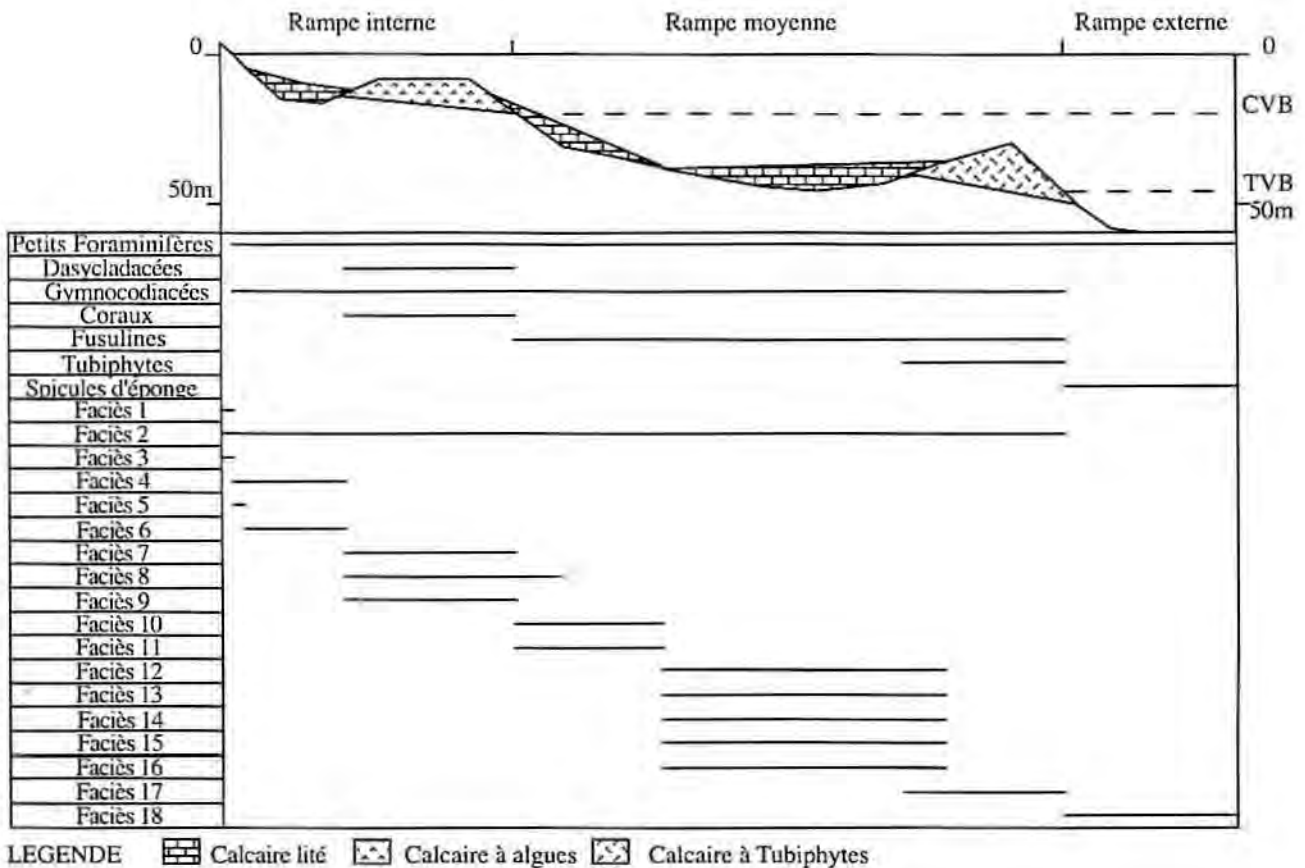


18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1
TVB CVB

- Legende
- Calcairudite
 - Calcaire
 - Calcaire à algues
 - Calcaire à Tubiphytes
 - Tempestine
 - Dolomie
 - Shale
 - Coraux
 - Nodules calcaires
 - Silex

Fig. 7: Coupe bathymétrique des environnements de dépôt du Permien de l'île d'Hydra.

CVB: Limite d'action des vagues de temps calme et TVB: Limite d'action des vagues de tempête.



au sommet. L'échantillon G192 (Pl. V, fig. 1), situé dans la Formation de Cap Rigas de la coupe de Lehusis, présente un packstone à fusulines qui passe vers le haut à un wackestone (faciès F16) à algues (Gymnocodiacées) et fragments de trilobites. Ce faciès est connu dans les Formations de Cap Rigas, Marmari et Episcopi de la coupe de Lehusis.

Interprétation: Ce faciès présentant des granoclassesments et des HCS est un dépôt proximal de tempête, moins grossier que le précédent, déposé plus en aval que le précédent en plate-forme moyenne (TUCKER & WRIGHT, 1990).

F16: Calcaire lité de type wackestone à fusulines, petits foraminifères (*Hemigordius*, *Globivalvulina*) et *Tubiphytes obscurus* MASLOV. L'échantillon G193 (Pl. V, fig. 2), situé dans la Formation de Cap Rigas de la coupe de Lehusis, est un wackestone à algues (Gymnocodiacées) et *Tubiphytes*.

Interprétation: Ce faciès est un dépôt distal de tempête en plate-forme moyenne.

F17: Calcaire construit, de type boundstone à *Tubiphytes*, petits foraminifères et fusulines. L'échantillon G189 (Pl. V, fig. 3), situé dans la Formation de Lehusis de la

coupe de Lehusis, montre des *Tubiphytes* et des algues (Gymnocodiacées) dans un ciment de microsparite et sparite. Ce faciès est connu dans la Formation de Lehusis des coupes de Cap Rigas, Lehusis et Episcopi.

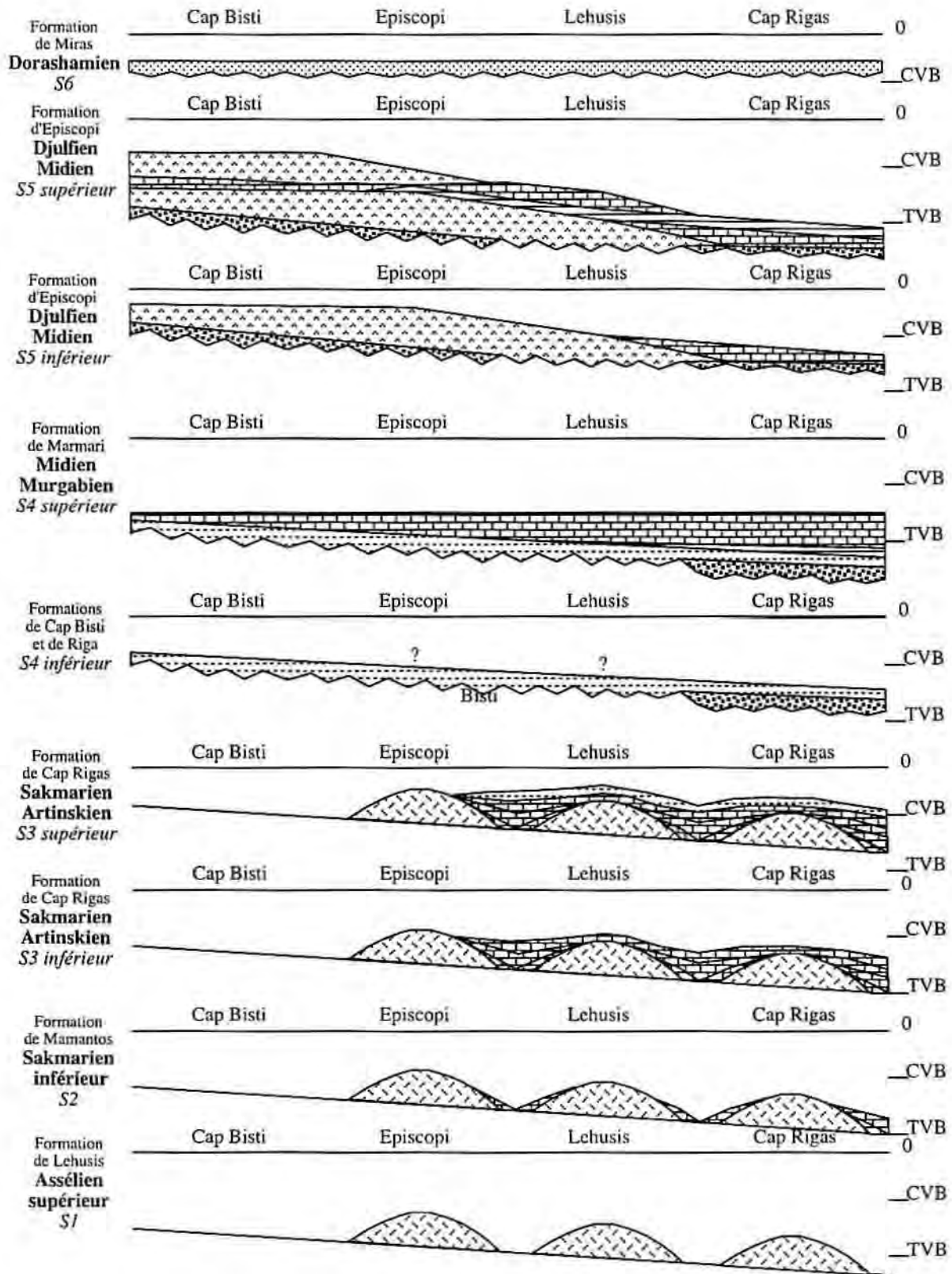
Interprétation: Ce faciès est une bioconstruction en dôme de taille décamétrique construite par les *Tubiphytes* en plate-forme moyenne profonde (MORIN *et al.*, 1994). Les bioconstructions à *Tubiphytes* sont situées à une profondeur plus importante que les bioconstructions à Gymnocodiacées.

F18: Calcaire lité de type wackestone et packstone à spicules, petits foraminifères, fusulines et lamellibranches pélagiques à fines coquilles. L'échantillon G220 (Pl. V, fig. 4), situé dans la Formation d'Episcopi de la coupe de Lehusis, montre des spicules, des lamellibranches pélagiques et de la matière organique dans une boue micritique. Ce faciès est connu dans les Formations de Marmari et Episcopi des coupes de Cap Rigas, Lehusis et Episcopi.

Interprétation: Ce faciès est un dépôt profond autochtone de plate-forme externe (BEAUCHAMP, 1994) qui marque le maximum de la transgression sur la plate-forme.

Fig. 8: Reconstitution stratigraphique des dépôts du Permien de l'île d'Hydra.

CVB: Limite d'action des vagues de temps calme et TVB: Limite d'action des vagues de tempête.



LEGENDE

- | | | | |
|---------------------|---------------|-------------------|-----------------------|
| Calcaire à spicules | Calcaire lité | Calcaire à algues | Calcaire à Tubiphytes |
| Grès | Shale | Grès-Shale | Calcirudite |

MICROPALÉONTOLOGIE

L'inventaire micropaléontologique présenté dans ce travail a été fait d'après l'étude de près de 300 lames minces, taillées sans orientation particulière dans nos échantillons. Les foraminifères et algues répertoriés l'ont donc été sur des sections de hasard. Ils n'ont été nommés spécifiquement ou génériquement que dans les cas où les sections étaient suffisamment bien orientées pour permettre de reconnaître avec certitude les critères distinctifs. Ces sections bien orientées sont rares dans notre matériel, et c'est particulièrement vrai pour le groupe des fusulines. C'est pourquoi, la dénomination est le plus souvent faite au niveau du genre pour ce groupe. Le log synthétique regroupant l'ensemble des foraminifères et algues présenté dans un travail antérieur (GRANT *et al.*, 1991), montre que les fusulines en particulier, même déterminées au niveau du genre, permettent une bonne stratigraphie du Permien de l'île d'Hydra.

Nous donnons ci-dessous une brève description, non systématique, des différents taxons rencontrés dans notre matériel.

Les taxons principaux sont illustrés dans les planches photographiques, soit individuellement, soit dans les planches photographiques des faciès où ils peuvent être facilement reconnus.

A l'examen des tableaux de répartition de la microfaune du Permien de l'île d'Hydra, on remarque que la coupe d'Episcopi, toutes formations lithologiques confondues, a livré le contenu faunistique le plus riche, tant du point de vue de la diversité spécifique que du nombre d'individus.

Fusulinina WEDEKIND, 1937

Endothyracea BRADY, 1884

Biseriamminidae CHERNYCHEVA, 1941

Le genre *Globivalvulina* est représenté par l'espèce *Globivalvulina kantharensis* REICHEL, 1945 dans la Formation de Cap Rigas (Pl. VI, fig. 10) de la coupe du même nom et dans la bioconstruction du Permien inférieur dans la région d'Episcopi.

Mise à part la coupe de Cap Rigas où les sections observées ne sont pas assez caractéristiques, le genre *Paraglobivalvulina* est représenté par l'espèce *P. mira* REITLINGER, 1965 dans les trois autres coupes.

Les sections du taxon *Dagmarita chanakchiensis* REITLINGER, 1965 (Pl. VIII, fig. 14) correspondent bien à la définition de l'espèce et sont présentes dans les quatre coupes stratigraphiques. Le genre *Paradagmarita* LYS & MARCOUX, 1978 (Pl. VIII, fig. 10) est signalé avec réserve au sommet de la coupe de Cap Rigas. Il s'agit d'un individu dont l'enroulement n'est pas vraiment en crosse, donc pas très enveloppant.

Par ailleurs, les genres *Globivalvulina* et *Paraglobivalvulina* ont livré quelques sections d'individus à

paroi fine ou à morphologie aberrante. Ces variations morphologiques restent néanmoins peu fréquentes dans notre matériel, sans comparaison avec ce qui est observé dans d'autres régions de la Téthys permienne (JENNY & GUEX, en révision). Les individus à paroi fine, attribués au genre *Paraglobivalvulina*, sont ici nommés de l'espèce-type *P. mira* REITLINGER var. *gracilis* (Pl. VIII, fig. 4), considérant que la finesse de la paroi correspond à une variation morphologique due à des contraintes environnementales.

Les représentants de cette famille sont observés dans toute la série stratigraphique des sédiments permien des quatre coupes stratigraphiques, facilitant ainsi l'établissement de la succession chronostratigraphique des événements de cette période et leur corrélation.

Paleotextulariidae CUMMINGS, 1956

Hormis une section provenant d'un niveau supérieur de la coupe d'Episcopi, l'espèce *Tuberitina collosa* REITLINGER, 1950, petite forme fixée, n'a été trouvée que dans les faciès bioconstruits du Permien inférieur des coupes d'Episcopi et de Cap Rigas.

En revanche, *Eotuberitina reitlingerae* MIKLUKO-MACLAY, 1958, autre forme fixée, se présente parfois en agglutinat de plusieurs individus. On rencontre cette espèce dans toute la série stratigraphique du Permien à Hydra, et dans les quatre coupes.

Pour le genre *Climacammina*, les espèces *Cl. sphaerica* POTIEVSKAIA, 1962, *Cl. elegans* MOELLER, 1879), *Cl. valvulinoides* LANGE, 1925 (Pl. VIII, fig. 1) et *Cl. moelleri* REITLINGER, 1950 ont pu être définies dans la Formation d'Episcopi des quatre coupes. Elles ne coexistent que dans la coupe de Cap Rigas.

La forme de l'ouverture des sections rencontrées n'a pas toujours pu être observée précisément. De ce fait, nous n'avons pu attribuer que deux sections au genre *Deckerella*, une au genre *Cribrogenerina*, et une au genre *Paleotextularia*. D'autre part, de nombreuses sections obliques ou tangentielles, ne présentant que le caractère unisériel ou bisériel, ont rendu leur détermination générique ou spécifique impossible. Nous avons donc choisi de regrouper ces sections trop douteuses sous l'appellation *Paleotextulariides* ind. dans les tableaux de répartition biostratigraphique de la microfaune.

Tetrataxidae GALLOWAY, 1933

Les genres *Tetrataxis* et *Abadahella* sont peu représentés dans notre matériel. Nous n'avons trouvé que peu de sections, orientées de telle façon qu'elles n'ont permis le plus souvent qu'une distinction d'ordre générique. Néanmoins, une section située dans la Formation d'Episcopi de la coupe du même nom a été attribuée à l'espèce *Tetrataxis conica* EHRENBERG, 1898 (Pl.

VI, fig. 4); une autre section dans les sédiments de la Formation de Cap Rigas dans la coupe du même nom a pu être nommée *Tetrataxis planulata* MOROZOVA, 1949 (Pl. I, fig. 5).

Endothyridae BRADY, 1884

Des sections du genre *Neoendothyra* ont été observées dans les Formations de Lehusis, Cap Rigas et Marmari de la coupe de Lehusis, sans qu'il ait été possible de leur attribuer un nom d'espèce.

Par contre, les espèces *Neoendothyra parva* (LANGE), 1925 (Pl. VIII, fig. 19) et *Neoendothyra reicheli* REITLINGER, 1965 ont pu être inventoriées dans des niveaux supérieurs de la Formation d'Episcopi dans la coupe éponyme.

Lasiodiscidae REITLINGER, 1956

Quelques sections du genre *Lasiodiscus* (Pl. VI, fig. 11) ont été observées dans les coupes d'Episcopi (Formation de Lehusis et d'Episcopi) et de Cap Rigas (Formation d'Episcopi).

«Paleonodosaire»

Sous cette appellation sont regroupés les taxons à paroi microgranulaire fibroradiée.

Le genre *Langella* est le seul représenté dans la Formation de Cap Rigas, dans les sédiments qui surmontent les calcaires bioconstruits du Permien inférieur, à l'aplomb du village d'Episcopi, sur le flanc sud de l'île.

Les genres *Geinitzina* et *Pachyphloia* ont été observés dans les Formations de Marmari et d'Episcopi des quatre coupes stratigraphiques. Le genre *Geinitzina* est particulièrement bien diversifié.

Pour le genre *Colaniella*, taxon important, marqueur pour la biostratigraphie du Permien supérieur téthysien, nous avons utilisé la nomenclature proposée par JENNY-DESHUSSES & BAUD (1989). Ce genre est observé et bien représenté dans les couches sommitales de la Formation d'Episcopi des coupes de Lehusis et Episcopi. Dans la coupe de Lehusis, le taxon *Colaniella ex gr. minima*

WANG, 1966 a été reconnu dans la partie sommitale de la F. d'Episcopi. A Episcopi, le taxon *Colaniella ex gr. parva* (COLANI, 1924) emend. LIKHAREV, 1939 (Pl. VIII, fig. 12), taxon plus évolué que *Colaniella ex gr. minima* WANG, 1966 a une extension plus importante dans les sédiments de la F. d'Episcopi où il est accompagné du taxon *Colaniella ex gr. lepida* WANG, 1966 (Pl. VIII, fig. 13).

Le genre planispiralé, *Robuloides*, est également présent dans la partie supérieure de la Formation d'Episcopi des quatre coupes stratigraphiques. L'espèce *Robuloides lens* REICHEL, 1945 a été reconnue dans les coupes d'Episcopi et de Cap Rigas. Dans cette dernière, l'espèce *Robuloides gibbus* REICHEL, 1945 (Pl. VIII, fig. 15) a également été observée.

Fusulinacea MOELLER, 1878

Nous ne voulons pas aborder ici les problèmes liés à la nomenclature de ce groupe. En effet, tant qu'une révision approfondie de la taxonomie de ce groupe, tenant compte de la variabilité des individus, des contraintes écologiques et des données paléogéographiques n'aura pas été faite, il nous paraît difficile d'attribuer des noms de genres et d'espèces qui garantisse une bonne et suffisante compréhension d'une littérature trop abondante et très chaotique.

Nous ne nommerons que des taxons ayant un sens pour la biostratigraphie des coupes étudiées dans l'île d'Hydra. Les fusulines ont été observées dans les quatre coupes stratigraphiques.

Les remarques micropaléontologiques que nous souhaitons faire sont indissociables de la stratigraphie des sédiments permien de l'île d'Hydra, nous ne donnerons donc ici qu'une liste des taxons.

Par ordre d'apparition, nous avons reconnu :

Schubertella sp.

Triticites stuckenbergi RAUSER TCHERNOUSOVA, 1949 (Pl. VI, fig. 15)

Schwagerina sp. (Pl. VI, fig. 1)

Pseudoschwagerina sp.

Planche I

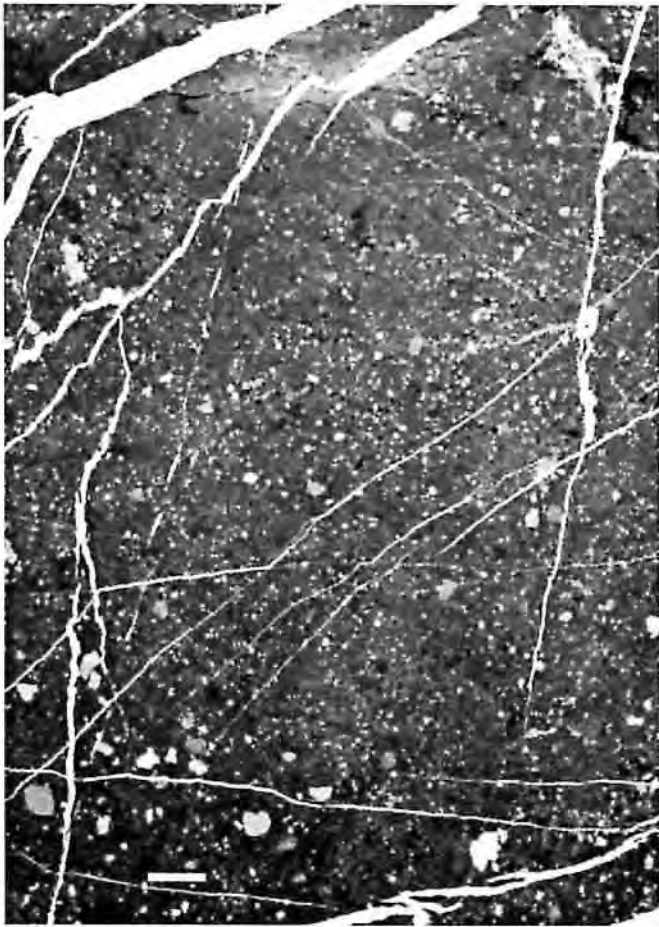
Fig. 1: F1, paléosol, G 166, Formation de Marmari, coupe d'Episcopi.

Fig. 2: F2, calcirudite, G 144, Formation de Riga, coupe de Cap Riga (a) *Pseudofusulina*.

Fig. 3: F3, mudstone à birdseyes, G 212, Formation de Marmari, coupe de Lehusis.

Fig. 4: F4, calcaire gréseux, G 573, Formation de Miras, coupe d'Episcopi.

Barre d'échelle: 1 mm.



1



2



3



4

Rugosofusulina directa BENSCH, 1962 (Pl. VI, fig. 13)
Pseudofusulina tschernyschewi (SCHELLWIEN), 1908
 (Pl. VI, fig. 2)
Pseudofusulina sp.
Quasifusulina sp. (Pl. VI, fig. 2)
Minojapanella sp. (Pl. VII, fig. 4)
Staffella sp.
Rauserella sp.
Pseudoreichelina sp. (Pl. VI, fig. 8)
Reichelina sp. (Pl. VIII, fig. 8)
Staffella sphaerica (ABICH), 1859 (Pl. VII, fig. 3)
Staffella zisongzhengensis (SHENG), 1963 (Pl. VII, fig. 5)
Neoschwagerina margaritae DEPRAT, 1913 (Pl. VII,
 fig. 1)
Codonofusiella schubertelloides SHENG, 1963 (Pl. VIII,
 fig. 7)
Nanlingella sp. (Pl. VIII, fig. 6)
Reichelina media MIKLUKHO-MACLAY, 1954 (Pl. VIII,
 fig. 8)
Paleofusulina sinensis SHENG & CHANG, 1958 (Pl. 8,
 fig. 2)
Paradoxiella sp. (Pl. VIII, fig. 18)

Miliolina DELAGE & HEROUARD, 1896

Miliolacea EHRENBERG, 1839

Hemigordiopsidae NIKITINA, 1969

Dans ce groupe, le taxon le mieux représenté est le genre *Hemigordius*. Les individus montrent une grande variation dans l'enroulement du tube foculaire, variations trop nombreuses qui auraient conduit à la description d'innombrables espèces, nouvelles ou non. Le genre *Hemigordius* ne nous est pas apparu comme marqueur pour la biostratigraphie des sédiments permien d'Hydra, sauf qu'il nous a permis de définir le faciès F12. Dans ce sens, le genre *Hemigordius*, par des accumulations, visibles à l'affleurement, de ses représentants en association avec des Staffellidés, caractérise la Formation de Marmari dans les coupes stratigraphiques étudiées dans ce travail. Ces individus ont été regroupés sous l'appellation *Hemigordius* ssp. (Pl. VII, fig. 6). Comme distinction d'ordre spécifique, nous n'avons de ce fait retenu que *Hemigordius ovatus* GROZDILOVA, 1956

(Pl. VIII, fig. 11), *Hemigordius permicus* GROZDILOVA, 1956 et *Multidiscus padangensis* LANGE, 1925 (Pl. VIII, fig. 16).

Hemigordiopsis renzi REICHEL, 1945 et *Baisalina* sp. n'ont été observés que dans la coupe de Cap Rigas.

On notera ici la présence parfois abondante (voir Tabl. VIII, IX, X, XI), souvent en association avec *Hemigordius* ssp. de *Pseudovermiporella nipponica* (ENDO, 1954) émend. HENBEST, 1960. L'appartenance taxonomique de ce dernier taxon, à paroi porcelanée, mais à allure d'algue, n'est toujours pas clairement définie.

Incertae sedis

La section carrée ou losangique, typique de l'espèce *Rectostipulina quadrata* JENNY-DESHUSSES, 1983 (Pl. VIII, fig. 9) a été fréquemment reconnue dans les sédiments de la Formation d'Episcopi des quatre coupes stratigraphiques.

STRATIGRAPHIE

Groupe de Thikia

Formation de Nisitsa

Cette formation est composée de shales, siltites et grauwack. Elle est de faible épaisseur (environ 10 mètres) et n'a livré aucun fossile.

Formation d'Ormos

Dans leur travail de diplôme présenté à l'Université de Lausanne (1992), ERNST, GILBERT, PHILIPPOSIAN & RICHARDS, n'ont plus reconnu la Formation d'Ormos proposée par GRANT *et al.* (1991). Comme eux, nous pensons que des études complémentaires sont nécessaires pour donner une meilleure définition de cette formation qui, à cause des complications tectoniques qui l'affectent et son contenu faunistique, pourrait être placée en équivalence avec la Formation de Mamantos.

De ce fait, les coupes stratigraphiques présentées dans ce travail commencent avec la Formation de Lehusis.

Planche II

Fig. 1: F5, grainstone à oolithes, G 236, Formation de Miras, coupe de Cap Bisti.

Fig. 2: F7, grainstone/packstone à algues, (a) Gymnocodioacées, G 130, Formation d'Episcopi, coupe de Cap Rigas (b) microgastéropode.

Fig. 3: F8, rudstone à débris d'algues, (a) Gymnocodioacées, G 531, Formation d'Episcopi, coupe d'Episcopi.

Fig. 4: F9, bounstone à algues Gymnocodioacées (a), G 238, Formation d'Episcopi, coupe de Cap Bisti.

Barre d'échelle: 1 mm.



1



2



Formation de Lehusis

Cette formation est constituée par des calcaires gris clairs qui forment des bioconstructions en monticules, bien visibles dans le paysage entre Nisisa et Akra Rigas. Leur épaisseur varie de 30 à 100 m.

La bioconstruction la plus spectaculaire affleure au bord de la mer, à Cap Rigas où elle se termine par un hard ground (Fig. 2). Dans tous ces calcaires bioconstruits, l'élément constructeur principal est *Tubiphytes obscurus* MASLOV (Pl. VI, fig. 14, microproblematicum, cyanobactérie ou association foraminifère-algue) (IZART *et al.*, 1999). Il nous a permis de définir le faciès F17.

A Cap Rigas, la bioconstruction peut être datée de l'Assélien supérieur par *Triticites stuckenbergi* RAUSER TCHERNOUSOVA (Pl. IV, fig. 3; Pl. VI, fig. 15). A Lehusis et Episcopi, la présence de *Minojapanella* sp. (Pl. VII, fig. 4) et de *Boultonia* sp. indiquerait localement, un âge plus jeune pour les calcaires de cette formation.

Les échantillons contenant des fusulines ont tous été prélevés à la surface des bioconstructions. Ceci explique également les variations d'âge pour chaque bioconstruction.

Ces bioconstructions méritent d'être étudiées plus en détail, tant du point de vue sédimentologiques que pour préciser davantage leur assignation biochronologique.

La Formation de Mamantos

Constituée par des calcaires noirs en petits bancs ondulés à fusulines, la Formation de Mamantos, recouvre progressivement les calcaires bioconstruits de la Formation de Lehusis dans les coupes de Cap Rigas et de Lehusis. Son épaisseur est de 5 à 10 m.

A l'ouest de Lehusis, des calcaires noirs affleurent, en remplissage entre les bioconstructions de la Formation de Lehusis, mais aucune coupe stratigraphique n'a pu y être levée en raison des complications tectoniques qui affectent les calcaires.

Le faciès F13 a pu être défini pour les sédiments de la Formation de Mamantos, datés du Sakmarien inférieur par la présence de *Rugosofusulina directa* BENSH (Pl. VI, fig. 13) et *Pseudoschwagerina* sp.

La Formation de Cap Rigas

Cette unité est formée par des calcaires gris clair et gris foncé en bancs de taille variable, décimétriques à métriques, plus argileux au sommet de la série. Cette formation est observée dans les coupes de Lehusis et Cap Rigas.

A Cap Rigas, les faciès sont, dans la partie inférieure, des calcaires lités à fusulines F13 et des calcirudites à fusulines et *Tubiphytes* F14. La partie supérieure est constituée de shales rouges F6 avec des intercalations de calcaire dolomitique. A Lehusis, les faciès sont des tempestites proximale à distale, à fusulines, F14, F15 et F16. La coupe se termine par des shales rouges F6.

La Formation de Cap Rigas est datée de l'Artinskien (voire Artinskien/Kungurien, D. VACHARD, comm. pers.) par la présence des fusulines: *Pseudofusulina* sp., *Parafusulina* sp., *Quasifusulina* sp. (Pl. VI, fig. 12).

Groupe de Klimaki

Formation de Riga

Cette formation n'est observée qu'au Cap Rigas où elle est constituée par une calcirudite F2. A Lehusis, elle est réduite à une surface d'érosion, située entre les Formations de Cap Rigas et de Marmari.

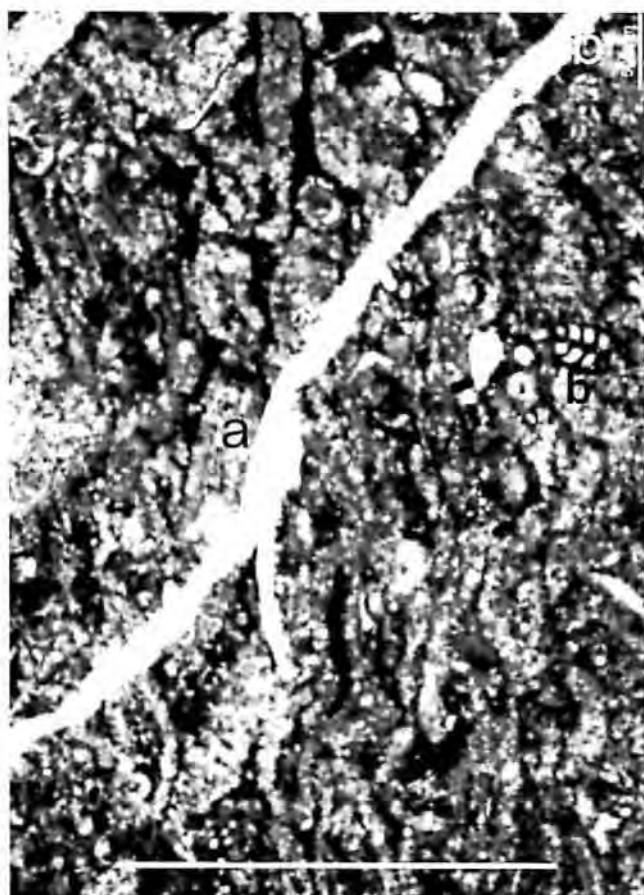
La calcirudite présente des intraclastes de calcaires provenant des formations du Permien inférieur contenant des fusulines. L'âge de ces faunes remaniées est au moins Artinskien, voire plus jeune.

Formation de Cap Bisti

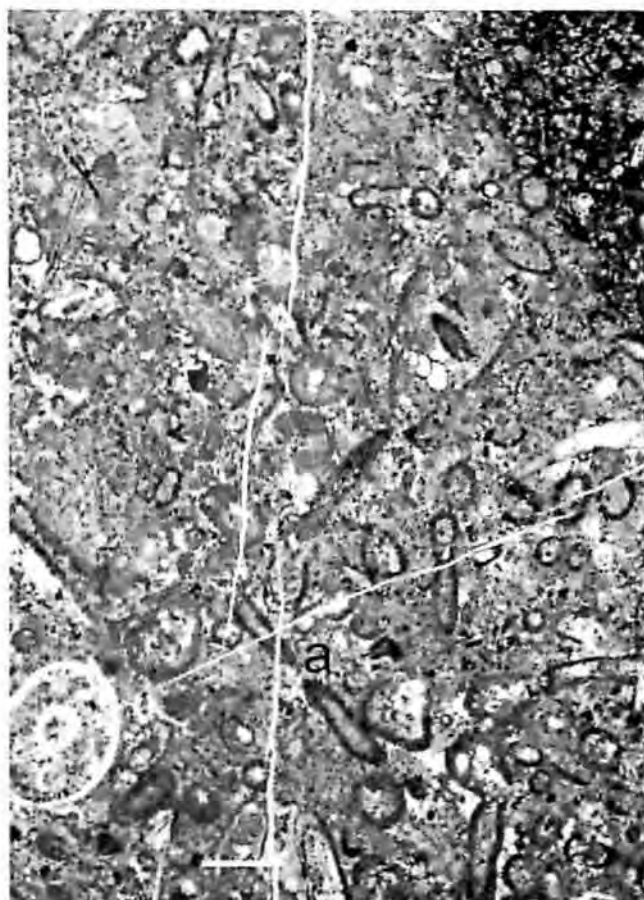
Cette unité est formée de shales rouges F6 et de calcaires dolomitiques jaunes, azoïques. Elle est le mieux représentée dans la coupe de Cap Bisti, mais on peut l'observer dans la coupe de Cap Rigas. Une surface d'érosion suggère sa présence ancienne dans la coupe de Lehusis. Les déformations tectoniques rendent la mesure de son épaisseur aléatoire. L'absence de fossiles fait que l'âge de cette formation ne peut être donné, d'une manière imprécise, que par sa position stratigraphique relative aux formations sous et sus-jacentes, dans la série des dépôts permien de l'île d'Hydra.

Planche III

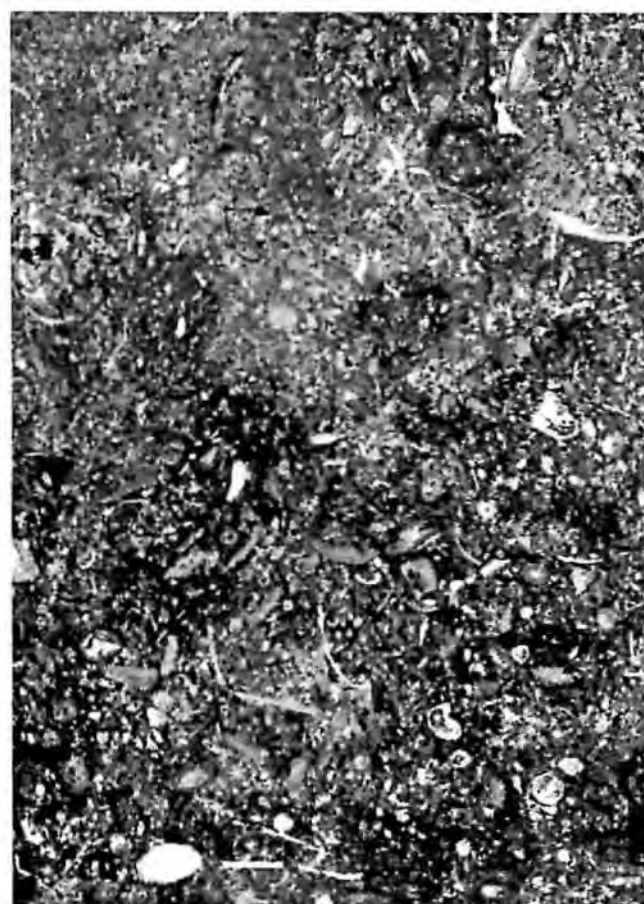
- Fig. 1: F9, bounstone à algues Gymnocodiaceés (a), G 529, Formation d'Episcopi, coupe d'Episcopi, (b) *Deckerella* sp.
 Fig. 2: F9, bounstone à algues Gymnocodiaceés (a), G535, Formation d'Episcopi, Formation d'Episcopi.
 Fig. 3: F10-F11, packstone à algues Gymnocodiaceés, Dasycladaceés et petits foraminifères G 132, Formation d'Episcopi, coupe de Cap Rigas.
 Fig. 4: F10-F11, packstone/wackestone à algues Gymnocodiaceés et petits foraminifères G 510, Formation d'Episcopi, coupe d'Episcopi (c) lamellibranches.
 Barre d'échelle: 1 mm.



1



2



3



4

La Formation de Marmari

Cette formation, constituée de calcaires gris clairs, lités en bancs décimétriques à métriques, souvent ondulés, plus ou moins recristallisés et dolomités, est présente dans les quatre coupes.

A Cap Rigas, la formation débute par un faciès calcaire lité à spicules F18; elle se poursuit par des calcaires lités granoclassés, tempestites à fusulines (Staffellidés surtout) et algues (Gymnocodiaccées) F10-F11 (Pl. VII, fig. 5).

A Lehusis, la partie inférieure présente des faciès calcaires lités à spicules F18; viennent ensuite des tempestites à fusulines (Staffellidés) F15 et des calcaires à fusulines (Staffellidés) et petits foraminifères (Hemigordiopsidés) F12. Elle se termine par des calcaires de type mudstone à birdseyes F3.

A Episcopi, la partie inférieure montre des calcaires lités à algues (Gymnocodiaccées) F10-F11. Au sommet de cette coupe, on observe un calcaire micritique à birdseyes F3 surmonté par un calcaire rouge à intraclastes calcaires correspondant à un paléosol F1.

A Cap Bisti, la formation montre des calcaires à spicules F18 et des calcaires dolomitiques à algues (Gymnocodiaccées) F7. Dans cette coupe, l'échantillonnage est relativement pauvre en raison d'une forte recristallisation, bien visible à l'affleurement.

La Formation de Marmari peut être datée du Wordien supérieur-Capitanien/Murgabien moyen à supérieur-Midien, par la présence de *Neoschwagerina margaritae* DEPRAT (Pl. VII, fig. 1), *Staffella sphaerica* ABICH (Pl. VII, fig. 3), *Staffella zisonghengensis* (SHENG) (Pl. VII, fig. 5).

Groupe de Barbari

La Formation d'Episcopi

Cette formation, constituée de calcaires lités d'épaisseur variable, est également présente dans les quatre coupes.

A Cap Rigas, la partie inférieure montre une calcirudite F2, puis des calcaires lités à algues F10-F11 et des calcaires construits de type boundstone à algues F9.

Pour ces trois derniers faciès, les algues sont des Gymnocodiaccées. La formation se termine avec des calcaires lités à spicules, F18.

A Lehusis, la partie inférieure présente des calcaires massifs, construits de type boundstone à algues (Gymnocodiaccées) F9. La partie supérieure contient des calcaires lités à spicules F18 et des tempestites à fusulines (*Reichelina* sp., *Paleofusulina* sp., *Paradoxiella* sp.), F15.

A Episcopi, la partie inférieure montre une calcirudite F2, dont les éléments proviennent des calcaires dolomitiques de la Formation sous-jacente de Marmari. Cette calcirudite est surmontée par un ensemble massif, d'environ 100 m d'épaisseur qui forme une barre compacte facilement repérable dans le paysage. Cette barre est constituée de calcaires lités, rudstone à algues (Gymnocodiaccées) F8, de packstone-grainstone à algues F10, de packstone à fusulines (Staffellidés) F12 et de calcaires construits de type boundstone à algues (Gymnocodiaccées) F9. Cette série est interrompue par un épisode de calcaires à spicules F18, qui marque la fin de la barre rocheuse. Avec des calcaires moins massifs, en bancs métriques, les faciès F8, F9, F10 et F12 reprennent ensuite jusqu'à un nouvel épisode de calcaires à spicules F18.

A Cap Bisti, la base de la coupe montre une calcirudite F2; elle se poursuit avec des calcaires construits de type boundstone à algues (Gymnocodiaccées) F9, des calcaires lités de type rudstone et grainstone à algues (Gymnocodiaccées) F8. Au milieu de la coupe, on observe des calcaires lités à petits foraminifères et algues (Dasycladacées) F10. Le sommet de la coupe est constitué de calcaires construits à algues (Gymnocodiaccées) et coraux F9.

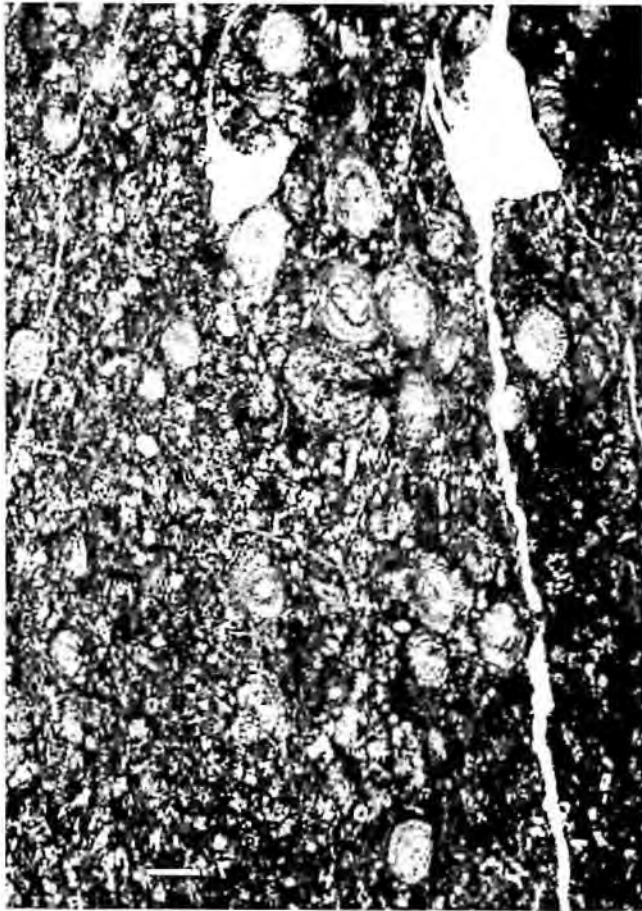
Les sédiments de la Formation d'Episcopi ont livré une riche association de foraminifères.

Cette formation représente tout le Permien supérieur puisque'elle débute au Djulfien/Wuchapingien/Djulfien et se déroule jusqu'au Changsinghien/Dorashmien.

Les tableaux de répartition de la microfaune révèlent précisément le contenu faunistique. L'âge de cette formation a été donnée par la présence des taxons suivants: *Rectostipulina quadrata* JENNY-DESHUSSES (Pl. VIII,

Planche IV

- Fig. 1: F 12, packstone lité à fusulines, algues et petits foraminifères, G 512, Formation de Marmari, coupe d'Episcopi, (a) *Staffella* sp.
 Fig. 2: F12, packstone lité à fusulines, algues et petits foraminifères, G 211, Formation de Marmari, coupe de Lehusis, (a) *Gyroporella* sp., (b) *Gymnocodium* sp., (c) *Hemigordius* sp.
 Fig. 3: F13, wackestone/packstone à fusulines, G 485, Formation de Cap Rigas, coupe de Cap Rigas, (a) *Triticites stuckenbergi* RAUSER-TCHERNOUSOVA.
 Fig. 4: F14, calcirudite à fusulines, G 196, Formation de Cap Rigas, coupe de Lehusis, (a) *Pseudofusulina* sp., (b) *Tubiphytes obscurus* MASLOV.
 Barre d'échelle: 1 mm.



1



2



3



4

fig. 9), *Paraglobivalvulina mira* REITLINGER (Pl. VIII, fig. 5), *Colaniella ex gr. minima* WANG, *Colaniella ex gr. lepida* WANG (Pl. VIII, fig. 13), *Colaniella ex gr. parva* (COLANI) emend. LIKHAREV (Pl. VIII, fig. 12), *Robuloides lens* REICHEL, *Robuloides gibbus* REICHEL (Pl. VIII, fig. 15), *Paleofusulina sinensis* SHENG (Pl. VIII, fig. 2 et *Paradoxiella* sp. (Pl. VIII, fig. 18).

La Formation de Miras

Cette formation, constituée de shales F6, de calcaires gréseux F4 et de calcaires oolithiques F5. Elle est observée dans les quatre coupes.

A Cap Rigas, elle montre des shales F6 et des calcaires gréseux F4.

A Lehusis on observe des shale F6.

A Episcopi, cette formation est représentée par des calcaires gréseux F4.

A Cap Bisti, des shales F6 et des calcaires gréseux F4 constituent la formation.

Les shales et les calcaires oolithiques n'ont livré aucune faune. L'association faunistique répertoriée dans les calcaires gréseux: *Paraglobivalvulina mira* REITLINGER, *Rectostipulina quadrata* JENNY-DESHUSSES, *Reichelina* sp., *Hemigordius* sp. ne permet pas d'attribuer un âge plus jeune que celui de la Formation d'Episcopi. Par contre, sa position stratigraphique, sans contact tectonique, lui confère un âge au moins équivalent, si ce n'est plus jeune, que les sédiments sous-jacents de la Formation d'Episcopi.

MODÈLE DE DÉPÔT

Cadre

Ces faciès nous permettent de proposer une subdivision de la plate-forme marine en:

- une rampe interne au-dessus de la limite d'action des vagues de temps calme,
- une rampe moyenne entre la limite précédente et la limite d'action des vagues de tempête,
- une rampe externe sous la limite précédente.

Ce modèle de rampe est similaire à celui proposé par

BURCHETTE & WRIGHT (1992) et par IZART *et al.* (1999) pour le Permien de l'Oural.

La rampe interne présente les faciès lités F2 à F9 et le faciès construit F9 de faible profondeur. L'association faunistique benthique correspond à l'association Chlorofoam des mers tropicales chaudes de BEAUCHAMP (1994).

La rampe moyenne montre les faciès lités de type tempête ou de type boues carbonatées autochtones à fusulines et le faciès construit F17 à *Tubiphytes*, de profondeur moyenne. L'association faunistique benthique correspond toujours à l'association Chlorofoam des mers tropicales chaudes de Beauchamp (1994).

La rampe externe présente le faciès lité F18 à spicules qui correspond à l'association benthique Hyalosponge de BEAUCHAMP (1994) déposée soit en profondeur plus importante, soit en eau plus froide.

Les séquences

La distribution de ces faciès et paléoenvironnements va nous permettre de définir sur chaque coupe des séquences de dépôt composées de périodes de bas niveau, transgressive et régressive, puis de comparer les coupes entre elles pour déterminer la paléogéographie de chaque formation. La période de bas niveau marin sera située au niveau des faciès F1 et F2; la période transgressive au niveau des faciès F10 à F17; le maximum de la transgression au niveau du faciès le plus profond F18; la période régressive ou de haut niveau dans les faciès F3 à F9.

Les Formations de Lehusis, Mamantos et Cap Rigas pourraient correspondre, d'après leur âge, aux trois séquences du second ordre du Permien inférieur, que nous appellerons à Hydra S1, S2 et S3. Ces séquences, probablement d'âge Assélien, Sakmarien et certainement Artinskien, sont connues dans l'Oural où la séquence de l'Artinskien est très transgressive (IZART *et al.*, 1999) et en Chine où la séquence de l'Artinskien a une faible transgressivité (CHEN *et al.*, 1998; CHEN & SHI, 1999). La bioconstruction à *Tubiphytes* de la Formation de Lehusis se forme sur la rampe moyenne

Planche V

Fig. 1: F15, packstone/wackestone lité à *Pseudovermiporella*, *Hemigordius* et fusulines; G 192, Formation de Cap Rigas, coupe de Lehusis, (a) *Pseudoschwagerina* sp., (b) trilobite.

Fig. 2: F16, wackestone à petits foraminifères, fusulines et *Tubiphytes*, G 193, Formation de Cap Rigas, coupe de Lehusis.

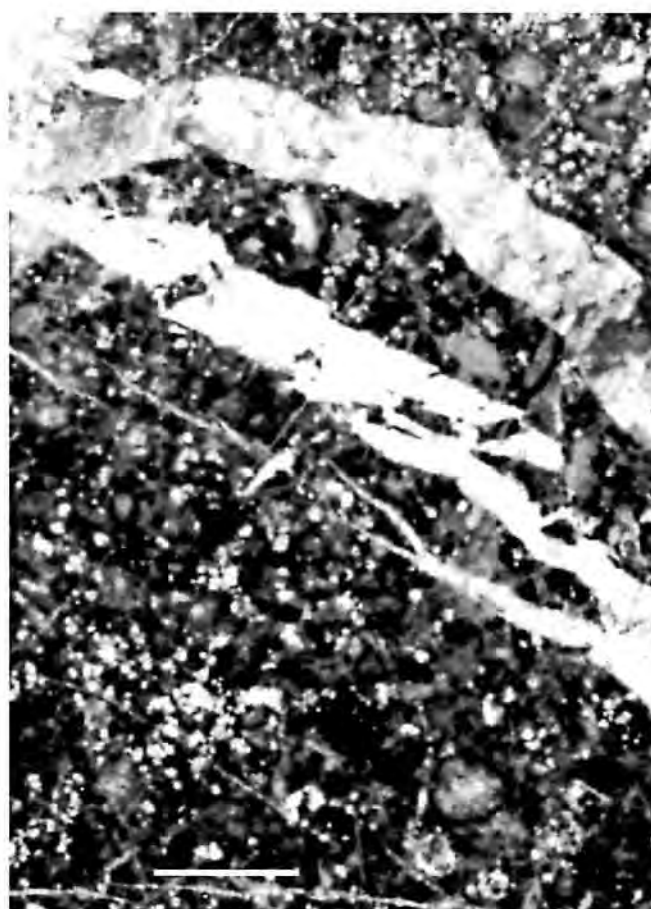
Fig. 3: F17, bounstone à *Tubiphytes*, G 189, Formation de Lehusis, coupe de Lehusis, (a) *Tubiphytes obscurus* MASLOV.

Fig. 4: F18, wackestone/ packstone à spicules (a), G 220, Formation d'Episcopi, coupe de Lehusis. (b) trilobite.

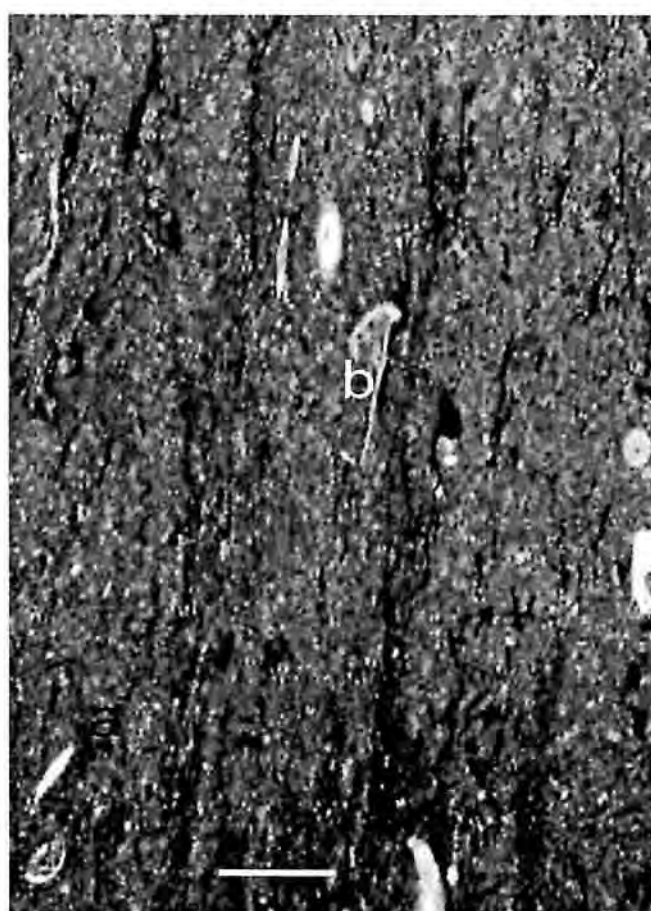
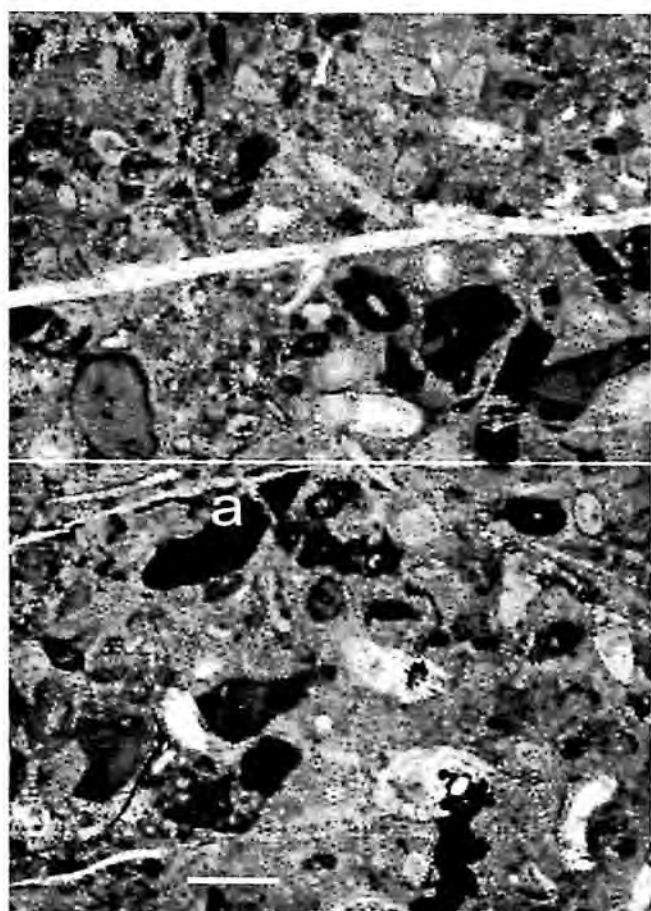
Barre d'échelle: 1 mm.

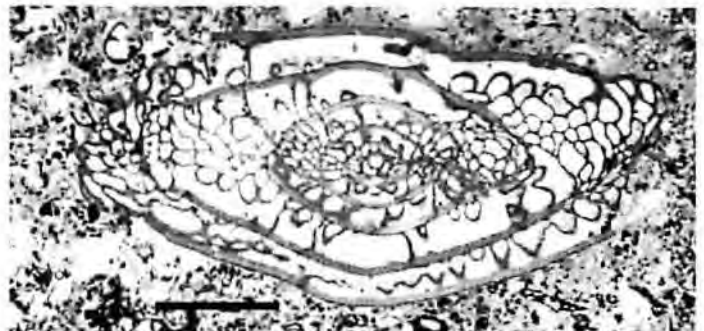
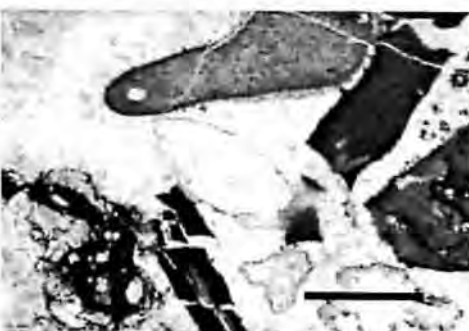
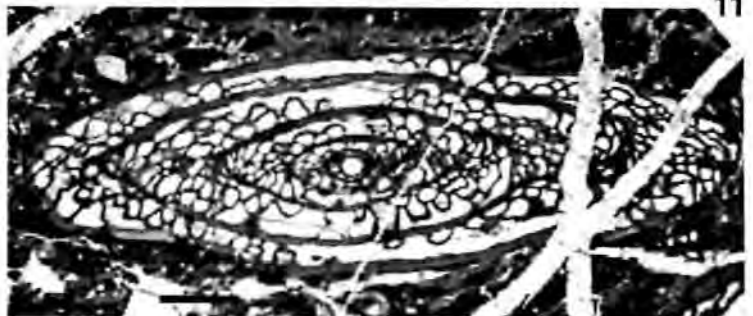
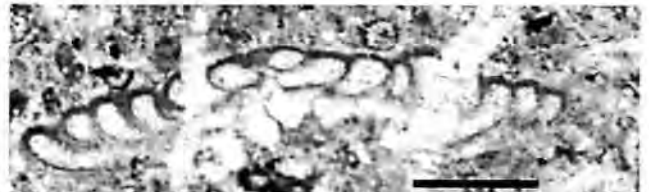
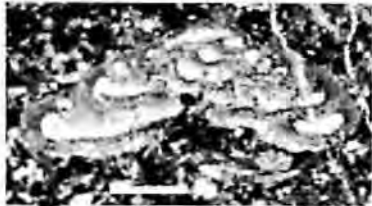
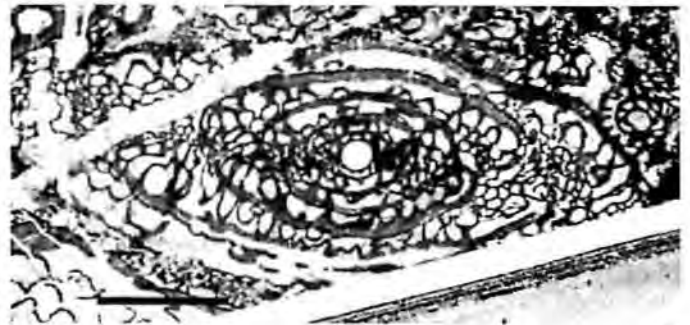


1



2





surmontées par des dépôts de tempête qui se terminent par une régression illustrée par des shale rouges. Cet épisode régressif est également prouvé par des surfaces d'érosion.

L'enregistrement sédimentaire reprend après un hiatus qui correspond à un intervalle de temps qui débute à l'Artinskien inférieur, voire au Sakmarien supérieur et qui se poursuit jusqu'à la fin du Wordien/Murgabien où se déposent les calcaires et dolomies de la Formation de Marmari.

Le Permien supérieur débute par un niveau de brèche, surmonté par des calcaires bioconstruits à algues (Gymnocodiacees). La sédimentation de ces calcaires est interrompu par un abaissement de la plate-forme qui permet le dépôt de calcaires à spicules. Les calcaires bioconstruits réapparaissent à la fin du Permien.

Un basculement (?) de la plate-forme engendrera ensuite une érosion qui favorisera le dépôt de calcaires gréseux (Formation de Miras) et termine la série des dépôts permien de l'île d'Hydra.

Les sédiments permien de l'île d'Hydra sont très fossilifères et leur excellente exposition permet de très bonnes observations et facilite un échantillonnage précis. Nous utiliserons les résultats présentés dans ce travail pour des corrélations avec des levés effectués dans d'autres régions de Grèce.

Si la succession des faciès des sédiments permien ainsi que leur âge sont maintenant bien fixés, il reste néanmoins beaucoup d'imprécisions dues aux complications tectoniques. C'est donc dans cette direction qu'il faudra orienter les recherches.

REMERCIEMENTS

Nous remercions tout d'abord le Fonds National Suisse de la Recherche Scientifique qui a soutenu le projet FNRS n. 20- 5195.86.

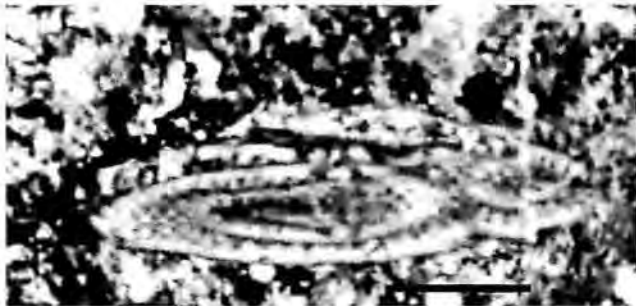
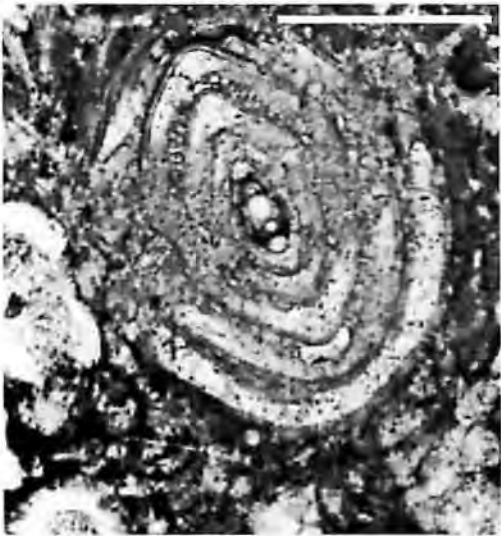
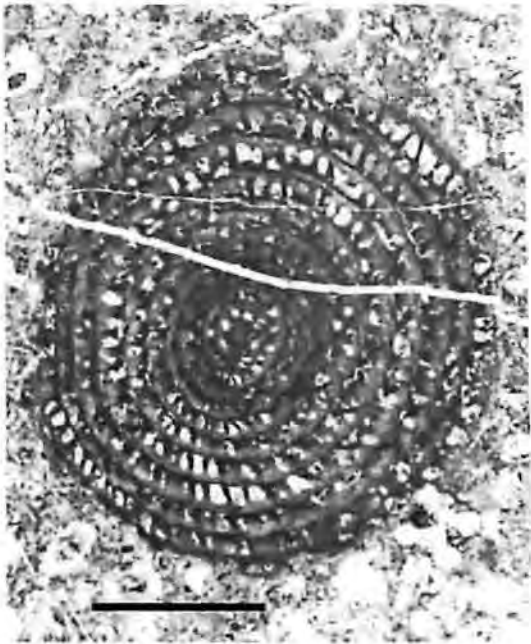
Catherine JENNY remercie également la Fondation Lucie et Ernst SCHMIDHEINY pour son soutien financier, Sylvain RICHOSZ pour son assistance en informatique ainsi que Daniel VACHARD pour sa relecture amicale.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALSHARAN, A.S. & A.E.M. NAIRN (1997) - Sedimentary basins and petroleum geology of the middle East. *Elsevier, Amsterdam*.
- BOLINI, L., L. DRAGONETTI, G. MUTTONI & A. NICORA (1992) - Triassic stratigraphy in the island of Hydra (Greece). *Riv. it. Paleont. Strat.*, 98: 137-180.
- BAUD, A., C. JENNY, D. PAPANIKOLAOU, C. SIDERIS & G. STAMPFLI (1991) - New observations on Permian stratigraphy in Greece and geodynamic interpretation. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 25: 187-206.
- BAUD, A., J. MARCOUX, R. GUIRAUD, L.E. RICOU & M. GAETANI (1993) - Late Murgabian (266-264 Ma). In: DER COURT, J., L.E. RICOU & B. VRIELYNCK (Eds). Atlas Tethys, Paleoenvironmental maps, explanatory notes; Paris, Gauthier-Villars: 9-21.
- BEAUCHAMP, B. (1994) - Permian cooling in the Canadian Arctic. In: KLEIN, G.D. (Ed.). Pangea: Paleoclimate, tectonics and sedimentation during accretion, zenith and breakup of a supercontinent. *Geol. Soc. America, Spec. Paper* 288: 229-246.
- BURCHETTE, T.P. & V.P. WRIGHT (1992) - Carbonate ramp depositional systems. *Sedimentary Geology*, 79: 3-57.
- CHEN, Z.Q. & G.R. SHIH (1999) - Latest Devonian to Early Permian sequence stratigraphy of the northern areas of the western Kunlun Mountains, Northwest China. In: RATANASTHIEN, B. & S.L. RIEB (Ed.). *Shallow Tethys 5*. Proceedings of the international symposium on shallow Tethys 5, Chiang Mai, Thailand: 73-85.
- CHEN, Z.Q., J. YUGAN & G.R. SHI (1998) - Permian transgression-regression sequences and sea-level changes of South-China. *Proceedings of the royal Society of Victoria*, 110: 345-367.
- CRASQUIN-SOLEAU, S. & A. BAUD (1998) - New Permian ostracods from Greece (Hydra Island). *Journal of Micropaleontology*, 17: 131-152.
- DUCHAUFOUR, Ph. (1995) - Pédologie, sol, végétation, environnement. Masson: 324 p.
- DUNHAM, R.J. (1962) - Classification of carbonate rocks according to depositional texture - Classification of carbonate rocks, a symposium. *American Association of Petroleum Geologists. Memoir* 1: 108-121.
- ELF-AQUITAINE (1975) - Essai de caractérisation sédimentologique des dépôts carbonatés, 1- Eléments d'analyse. *Publication Elf-Aquitaine*, Pau: 137 p.
- ELF-AQUITAINE (1977) - Essai de caractérisation sédimentologique des dépôts carbonatés, 2- Eléments d'interprétation. *Publication Elf-Aquitaine*, Pau: 231 p.

Planche VII

- Fig. 1: *Neoschwagerina margaritae* DEPRAT, G 513', Coupe d'Episcopi, Formation de Marmari.
- Fig. 2: *Neoschwagerine* sp., G 206, Coupe de Lehusis, Formation de Marmari.
- Fig. 3: *Staffella sphaerica* (ABICH), G 513, Coupe d'Episcopi, Formation de Marmari.
- Fig. 4: *Minojapanella* sp., G 192, Coupe de Lehusis, Formation de Cap Rigas.
- Fig. 5: *Staffella zisonghzengensis* (SHENG), G 210, Coupe de Lehusis, Formation de Marmari.
- Fig. 6: *Hemigordius* ssp., G 209, Coupe de Lehusis, Formation de Marmari.
- Barre d'échelle: 500 u.



- FLUGEL, E. (1979) - Paleoecology and microfacies of Permian, Triassic and Jurassic algal communities of platform and reef carbonates from the Alps. *Bulletin Elf-Aquitaine* 3: 569-587.
- GRANT, R.E. (1995) - Upper Permian brachiopods of the superfamily Orthotoidea from Hydra Island, Greece. *Journal of Paleontology*, 69: 655-670.
- GRANT, R.E., M.K. NESTELL, A. BAUD & C. JENNY (1991) - Permian stratigraphy of Hydra Island, Greece. *Palaios*, 6: 479-497.
- IZART, A., O. KOSSOVAYA, D. VACHARD & D. VASLET (1999) - Stratigraphy, sedimentology and sequence stratigraphy of the early Permian along the Kosva River (Gubakha area, Central Urals, Russia). *Bulletin de la Société géologique de France* 170 (6): 799-820.
- JENNY-DESHUSSES, C. & A. BAUD (1989) - *Colaniella*, foraminifère index du Permien tardif téthysien: propositions pour une taxonomie simplifiée, répartition géographique et environnements. *Eclogae Geologicae Helveticae*, 82: 869-901.
- JENNY, C. & J. GUÉX (en révision) - Morphological variations in response to environmental stress in foraminifers below the Permo-Triassic Boundary.
- LOPEZ-GAMUNDI, O.R. (1997) - Glacial-postglacial transition in the late Paleozoic basins of southern South America. In: Martini, I.P. (Ed.). Late glacial and postglacial environmental changes. Oxford University Press: 147-168 p.
- MORIN, J., A. DESROCHER & B. BEAUCHAMP (1994) - Facies analysis of Lower Permian, Sverdrup Basin, Canadian Arctic Archipelago. *Facies* 31: 105-130.
- NESTELL, M.K. & R.E. GRANT (1987) - Permian fusuline succession on Hydra, Greece. *International Carboniferous Congress, Beijing, China*.
- NESTELL, M.K. & W.B. WARDLAW (1987) - Upper Permian conodonts from Hydra, Greece. *Journal of Paleontology*, 61: 758-772.
- REITLINGER, E. A. (1950) - Foraminifères du Carbonifère moyen de la partie centrale de la plate-forme russe, à l'exclusion de la Famille des Fusulinidae. *Akad. Nauk. SSSR, Trudy Inst. Geol. Nauk.* 126(série Géol. 4): 127 (trad. BRGM, 145).
- REITLINGER, E. A. (1965) - Développement des foraminifères aux époques permienne supérieure et triasique inférieure sur le territoire transcaucasien. *Questions de Micropaléontologie, Moscou*, 9: 45-70. (en russe).
- RENZ, C. & M. REICHEL (1946) - Beitrage zur Stratigraphie und Palaeontologie des ostmediterranen Jungpalaeozoikums und dessen Einordnung im griechischen Gebirgssystem. *Eclogae Geologicae Helveticae*, 38: 211-313.
- ROEMERMANN, H. (1968) - Geologie von Hydra (Griechenland). *Geologica et Palaeontologica* 2: 163-171.
- ROEMERMANN, H. (1969) - Geologie von Hydra (Griechenland). Inaugural-Dissertation, Phillips-Universität, Marburg: 62 p.
- ROEMERMANN, H., W. GRAEF, P. HUCKRIEDE, V. JACOBSEN, F. KAHLER, H. WALLISER, H. ZAPPE & J. BORNOVAS (1981) - Hydra. Geologic Map, 1:50000, *Geol. Surv. Greece, Athens*.
- SKOURTOS, E., D. VACHARD, A. ZAMBETAKIS-LEKKAS, R. MARTINI & L. ZANINETTI (2002) - Late Wuchiapingian (Late Dzhulfian, early Late Permian) limestone olistolites within the Tertiary flysch of Glypia Unit (Mount Parnon, central-eastern Peloponnesus, Greece). *C. R. Geoscience* 334: 925-931.
- STOW, D.A.V. (1975) - New fusulinid evidence for the Permian

Planche VIII

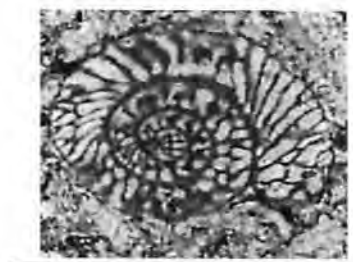
- Fig. 1: *Climacammina valvulinoides* LANGE, G 123, Coupe de Cap Rigas, Formation d'Episcopi.
- Fig. 2: *Paleofusulina sinensis* SHENG, G 550, Coupe d'Episcopi, Formation d'Episcopi.
- Fig. 3: *Paleofusulina* sp., G214, Coupe de Lehusis, Formation d'Episcopi.
- Fig. 4: *Paraglobivalvulina mira* var. *gracilis* ZANINETTI & ALTNER, G 118, Coupe de Cap Rigas, Formation de Miras.
- Fig. 5: *Paraglobivalvulina mira* REITLINGER, G 170, Coupe d'Episcopi, Formation d'Episcopi.
- Fig. 6: *Nanlingella* sp., G 521, Coupe d'Episcopi, Formation d'Episcopi.
- Fig. 7: *Codonofusiella schubertelloides* SHENG, G 520, Coupe d'Episcopi, Formation d'Episcopi.
- Fig. 8: *Reichelina* sp., G 521, Coupe d'Episcopi, Formation d'Episcopi.
- Fig. 9: *Rectostipulina quadrata* JENNY-DESHUSSES, G 537, Coupe d'Episcopi, Formation d'Episcopi.
- Fig. 10: *Paradagmarita* sp. (?), G 503b, Coupe d'Episcopi, Formation d'Episcopi.
- Fig. 11: *Hemigordius ovatus* GROZDILOVA, G 530, Coupe d'Episcopi, Formation d'Episcopi.
- Fig. 12: *Colaniella* ex gr. *parva* (COLANI), G 563, Coupe d'Episcopi, Formation d'Episcopi.
- Fig. 13: *Colaniella* ex gr. *lepada* (WANG), G 555, Coupe d'Episcopi, Formation d'Episcopi.
- Fig. 14: *Dagmarita chanakchiensis* REITLINGER, G 243, Coupe de Cap Bisti, Formation d'Episcopi.
- Fig. 15: *Robuloides gibbus* REICHEL, G 530, Coupe d'Episcopi, Formation d'Episcopi.
- Fig. 16: *Hemigordius padangensis* (LANGE), G 551, Coupe d'Episcopi, Episcopi Formation.
- Fig. 17: *Fronkina permica* S. de CIVRIEUX & DESSAUVAGIE, G 560, Coupe d'Episcopi, Formation d'Episcopi.
- Fig. 18: *Paradoxiella* sp., G 222, Coupe de Lehusis, Formation d'Episcopi.
- Fig. 19: *Fronkina permica* S. de CIVRIEUX & DESSAUVAGIE, G 560, Coupe d'Episcopi, Formation d'Episcopi.
- Fig. 20: *Epimastopora* sp., G520, Coupe d'Episcopi, Formation d'Episcopi.
- Fig. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 13, 18, 20: barre d'échelle = 500 μ
- Fig. 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 19: barre d'échelle = 100 μ .



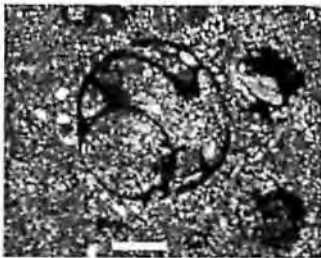
1



2



3



4



5



6



7



8



9



10



13



11



12



14



15



16



17



18



19



20

- age of the Palaeozoic rocks of Hydra, Greece. *Geological Magazine*, 112: 71-76.
- TUCKER, M.E. & V.P. WRIGHT (1990) - Carbonate sedimentology. *Blackwell Scientific Publications, London*: 482 p.
- VACHARD, D., R. MARTINI & L. ZANINETTI (1995) - Le Murgabien à fusilinoïdes des îles d'Hydra, Crète et Mytilène (Permien supérieur de Grèce). *Geobios*, 28: 395-406.
- VAN WAGONER, J.C., H.W. POSAMENTIER, R.M. MITCHUM, P.R. VAIL, J.F. SARG, T.S. LOUTIT & J. HARDENBOL (1988) - An overview of the fundamentals of sequence stratigraphy and key definitions. In: WILGUS, C.K. (Ed.). Sea-level changes – an integrated approach. *SEPM Spec. Publ.* 42: 39-45.
- WARDLAW, B. R., E. YA LEVEN, C.B. FOSTER & Ch. HENDERSON (2000) - Annual Report Subcommittee on Permian Stratigraphy. *Permophiles Issue* 37: 2.

Accepté juin 2004