



# THESE

présentée à l'

UNIVERSITÉ D'AIX - MARSEILLE

U.E.R. DES SCIENCES DE LA MER ET DE L'ENVIRONNEMENT

pour obtenir

LE GRADE DE DOCTEUR ES SCIENCES NATURELLES

par

**Claude FROGET**

---

**ESSAI SUR LA GÉOLOGIE DU PRÉCONTINENT  
DE LA PROVENCE OCCIDENTALE.**

---

**PLANCHES**

Soutenue publiquement le **30 AVR.** 1974 devant la commission d'examen

**J.M. PERES**      *Président*  
**J.J. BLANC**  
**L. DANGEARD**  
**G. LUCAS**  
**E. BONIFAY**

PLANCHES 1, 2 ET 3

COUPES SISMIQUES

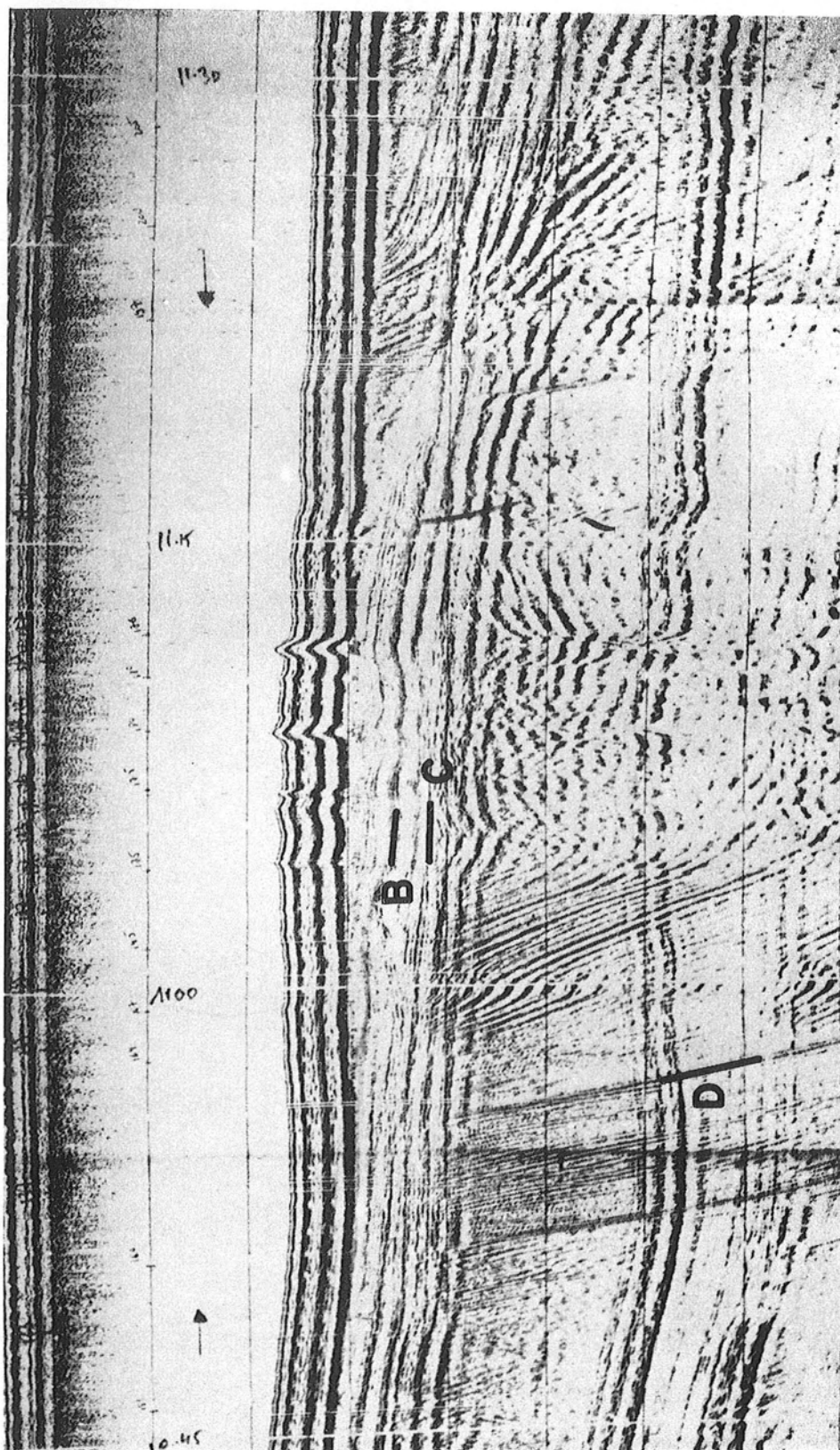
•



## PLANCHE 1

Coupe sismique Y, au Sud de l'île Riou, orientée N-S (position fig.6). D'après Leenhardt et al., 1969.

La figure résume la structure du plateau continental à l'W du canyon de Cassidaigne. Les réflecteurs D représentent la série mésozoïque, plissée et fracturée. Ils sont coupés par le réflecteur C, matérialisant la surface d'arasion oligocène ou pontienne. Les réflecteurs sub-horizontaux ou faiblement inclinés (droite de la figure) correspondent aux sédiments plio-quaternaires, peu épais dans ce secteur. Le réflecteur B serait le toit du Pliocène.



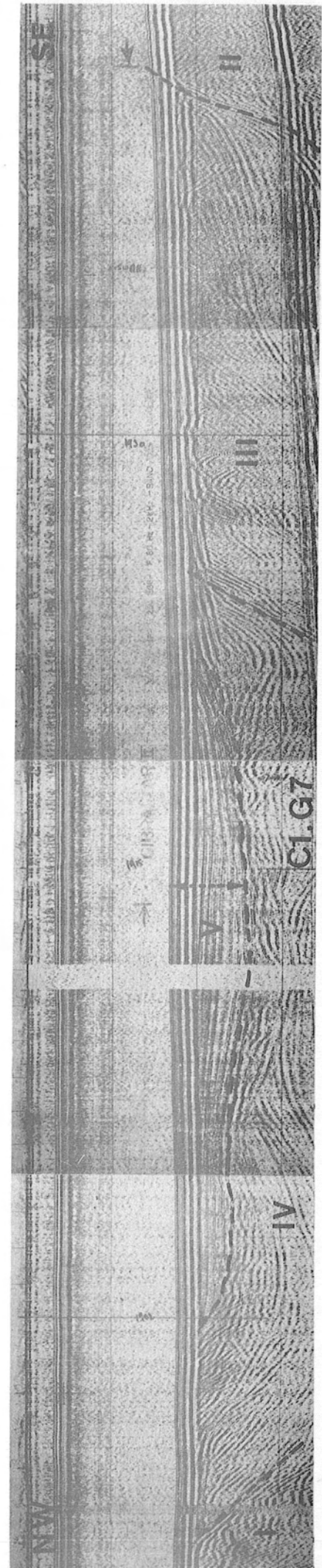
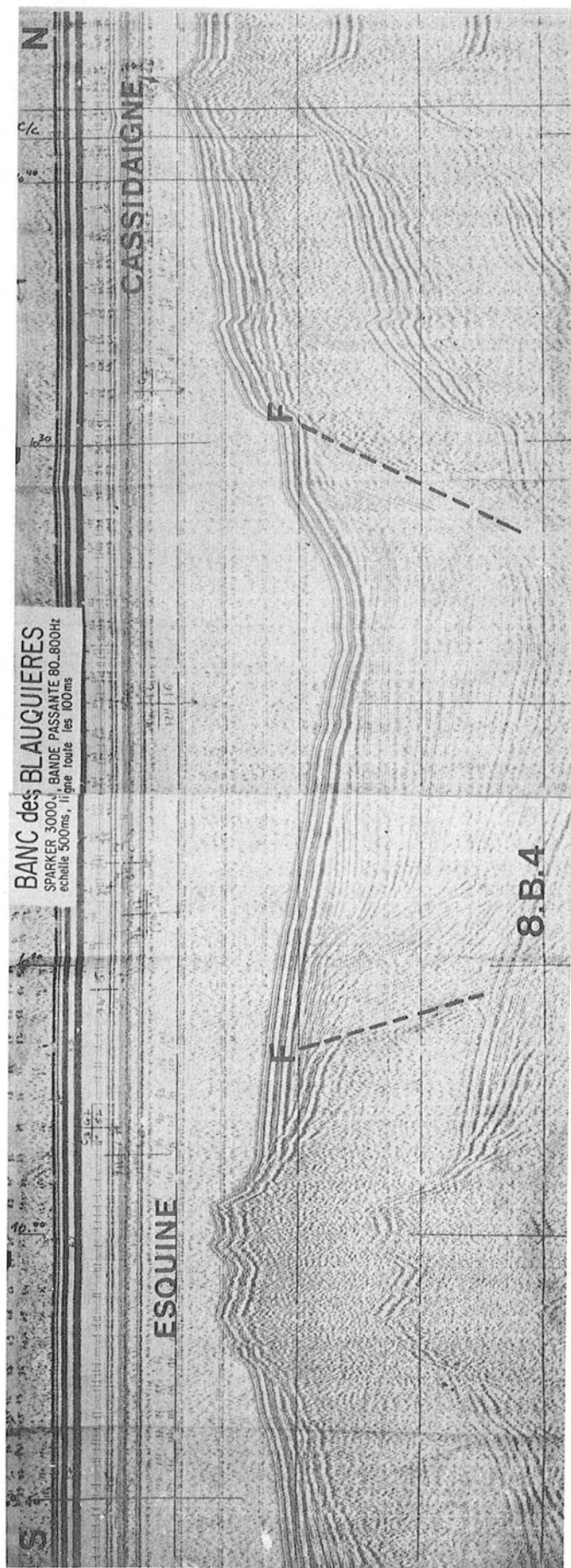
## PLANCHE 2

Figure 1 : Coupe sismique 8B4, orientée S-N, entre l'Esquine et le haut-fond de Cassidaïne (situation fig.6).

Le réflecteur C est le toit du socle métamorphique (Esquine) ou mésozoïque (dolomies de Cassidaïne) ; il affleure sur ces deux reliefs puis s'interrompt brusquement au passage de failles (F). Ces failles délimitent un bassin subsident dont l'épais remplissage plio-pléistocène est marqué par des réflecteurs inclinés sur les bordures, sub-horizontaux au centre. Ce bassin correspond morphologiquement à la tête orientale du canyon de Cassidaïne.

Figure 2 : Coupe sismique C<sup>1</sup>G<sup>7</sup>, entre Cassidaïne et Sicié (situation fig.6).

La coupe part des dolomies de Cassidaïne (I) pour aboutir aux phyllades de Sicié (II). L'ensemble III correspond probablement à la prolongation des affleurements permo-triasiques et jurassiques de la région de Sanary (pointe de la Cride). La zone IV représente le soubassement du bassin subsident de la figure précédente ; elle doit comprendre des terrains secondaires et sans doute tertiaires (Eocène-Oligocène). Le remplissage plio-pléistocène (V) est ici réduit, car la coupe passe sur le bord du bassin.



### PLANCHE 3

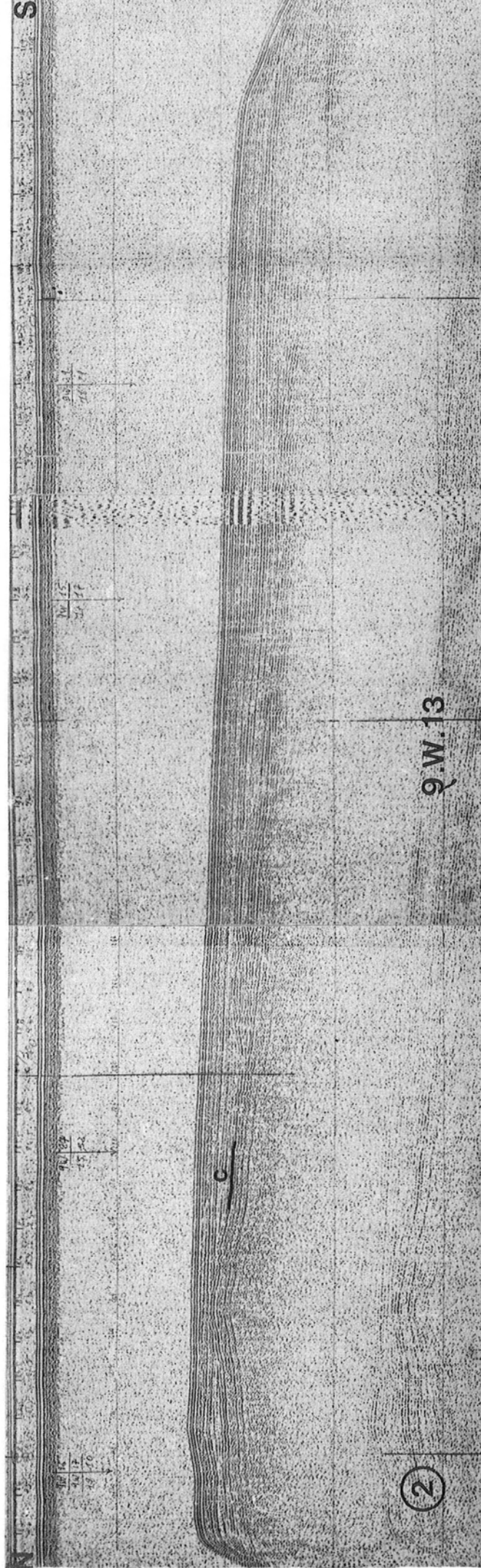
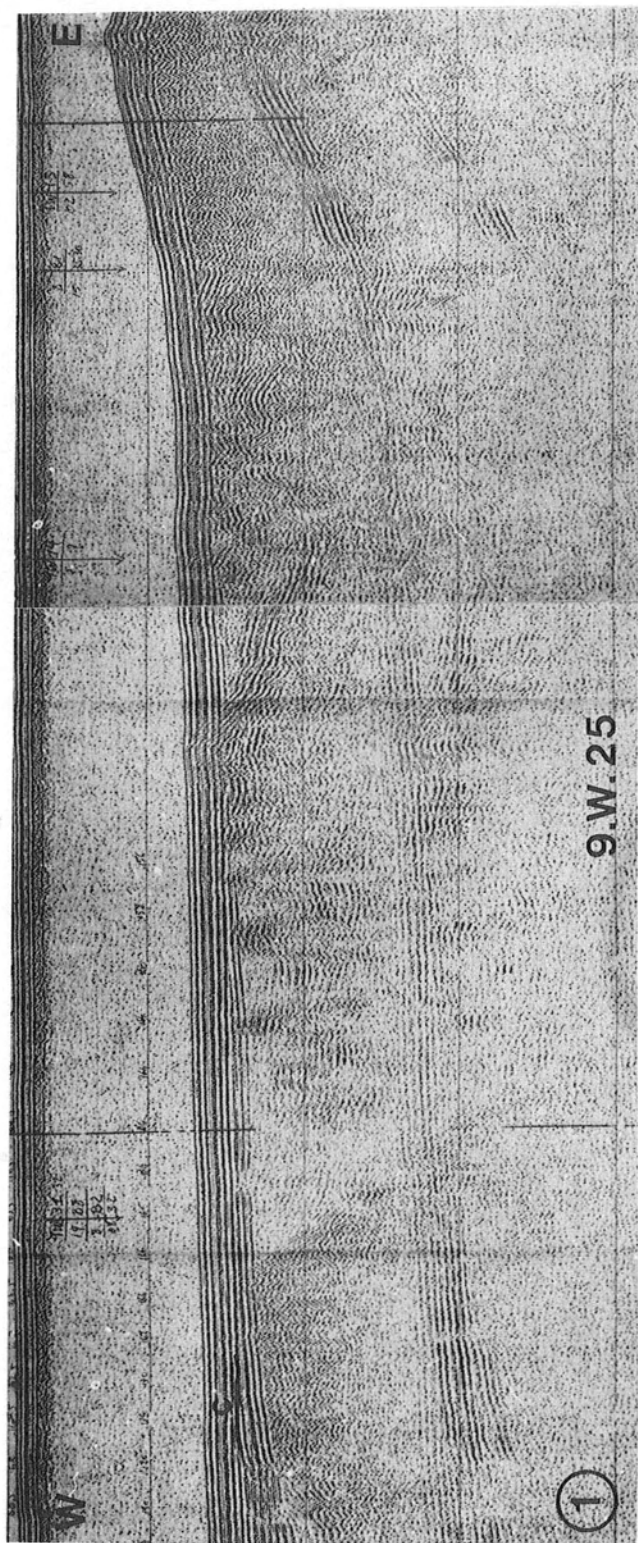
Figure 1 : Coupe sismique 9W25, orientée W-E, à l'Ouest de Bandol (situation fig.6).

Sur ce profil relativement proche de la côte, le réflecteur C, toit du mésozoïque, est pratiquement confondu avec le fond ; la couverture plio-pléistocène est donc d'épaisseur très faible. Sous le réflecteur C, on observe des réflecteurs très irréguliers, correspondant à la série mésozoïque fortement plissée et faillée ; ils sont assimilables aux réflecteurs D de la coupe Y (planche I).

Figure 2 : Coupe sismique 9W13 au SW du banc des Blauquières (situation fig.6).

Le réflecteur C est sub-affleurant à gauche de la figure (prolongation du relief de l'Esquine) ; il correspond au toit du socle métamorphique. Au Sud, C est recouvert et masqué par des réflecteurs fins et réguliers, sub-horizontaux, représentant la couverture plio-pléistocène, à laquelle s'ajoute peut-être le Miocène. Cette coupe passe à proximité de la plongée 465 (voir fig.13).





## ATLAS PÉTROLOGIQUE

Les photographies présentées dans ces pages constituent une illustration des faciès les plus caractéristiques, décrits dans le texte. Dans la mesure du possible, je me suis efforcé de donner des vues d'ensemble, obtenues par projection de lames minces sur plan-film négatif, précisées par des détails photographiés au microscope. Sur les macrophotographies (sections polies) et les microphotographies, les échelles sont en millimètres. Il ne m'a pas été possible de donner une échelle pour les vues prises en soucoupe plongeante.

## PLANCHE 4

### La lithification sous l'influence des eaux vadoses : les éolianites.

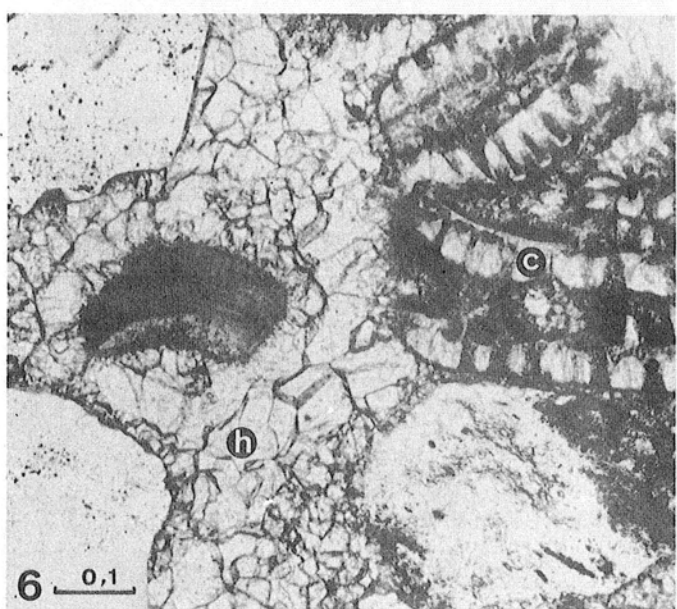
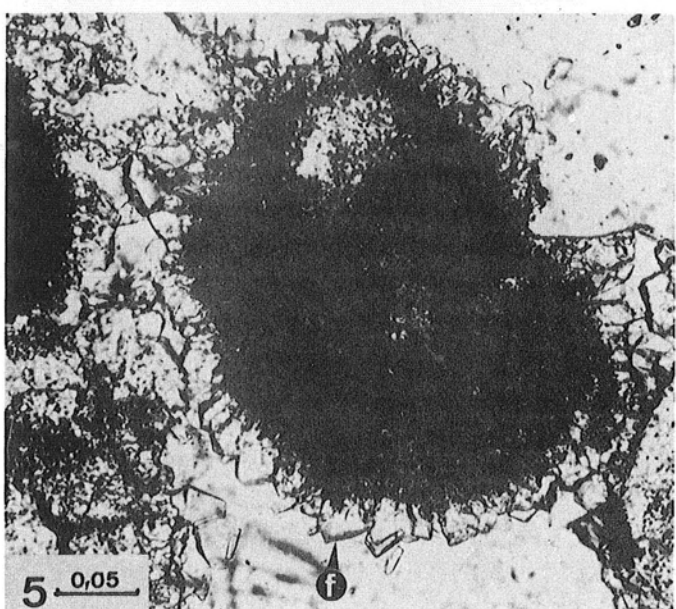
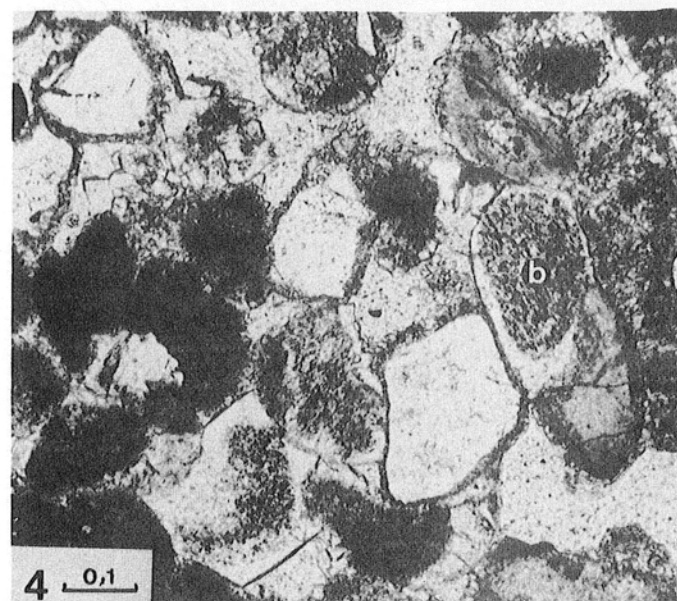
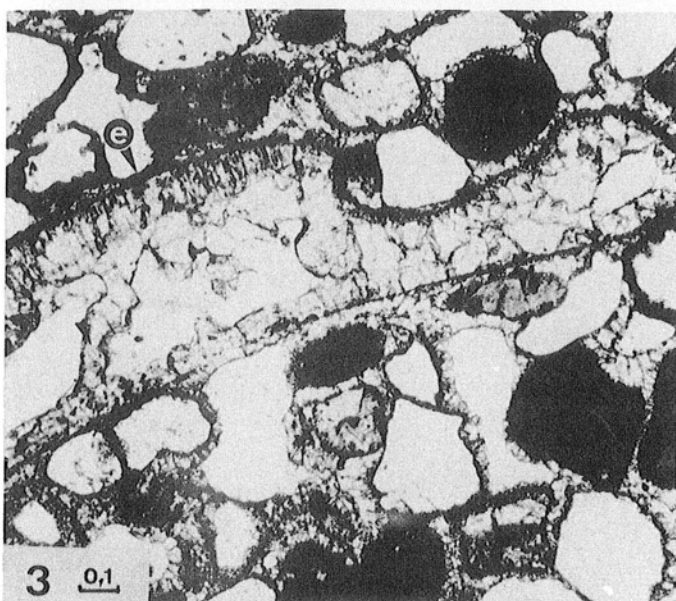
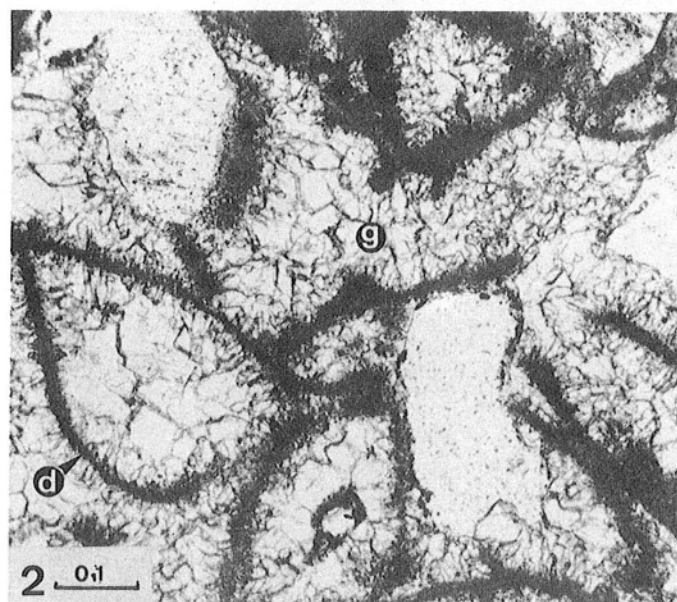
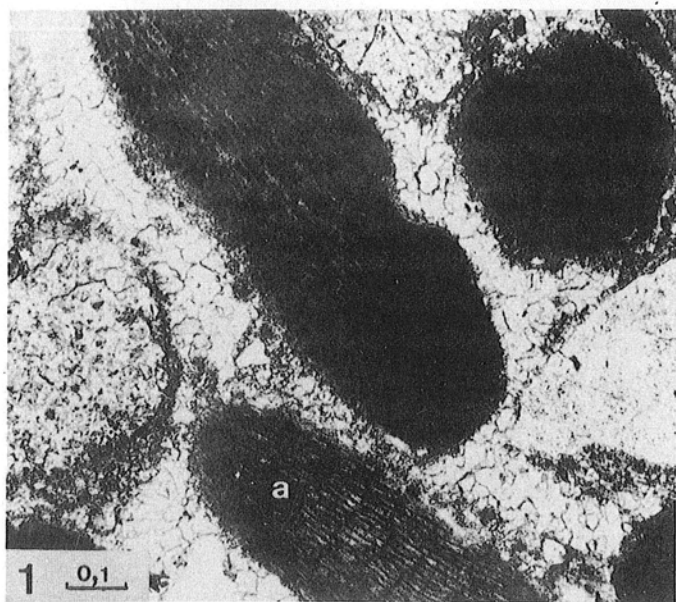
Les principales caractéristiques de la lithification sous l'influence des eaux douces vadoses, sont illustrées sur cette planche.

La structure des débris d'organismes originellement fortement magnésiens n'est pas modifiée, bien qu'il n'y ait plus trace de  $MgCO_3$  dans la calcite : c'est le cas des débris de Corallinacées (a, fig.1) d'Echinodermes (b, fig.4) de Foraminifères (c, fig.6).

Les débris originellement aragonitiques sont dissous ou recristallisés. Dans le premier cas, une enveloppe micritique, parfois brisée, préserve le contour du débris ; le pore créé par la dissolution est rempli par des cristaux de même nature que ceux du ciment (d, fig.2). Dans le deuxième cas, la structure interne du débris est conservée (e, fig.3).

Le ciment est constitué par de la calcite non magnésienne spari-tique ; limité à une couche de prismes trapus dans les roches peu consolidées (f, fig.5), il envahit les pores intraparticulaires (cas des débris aragonitiques dissous) ou extraparticulaires en une mosaïque irrégulière (g, fig.2 ; h, fig.6) ; la dimension des cristaux va croissant à partir des débris vers le centre des pores ; ils ont une extinction franche en LP. Autour des fragments d'Echinodermes, il se développe une plage cristalline limpide, en continuité optique avec le débris (b, fig. 4).





## PLANCHE 5

La lithification sous l'influence des eaux douces, probablement phréatiques : les roches de Maguelonne.

Ces roches se différencient des éolianites par les caractères suivant :

- Les débris de Mollusques sont tous entièrement recristallisés ; ce phénomène conserve de façon parfaite la structure des tests (a, fig.1, détail b fig.3).

- Le ciment est constitué par de très gros cristaux de calcite pure, souvent en continuité optique avec ceux des tests, à extinction franche en LP.

Il n'y a pas accroissement graduel de la dimension des cristaux (c, fig.1 ; d, détail fig.3).

Cette cimentation est localement précédée par un premier stade de cimentation microstalagmitique : des ménisques de calcite pure se sont développés à la partie inférieure de certains débris (e, fig.1 ; f, détail fig.2) ; ce ciment asymétrique serait dû à l'évaporation de fines gouttelettes d'eau retenues par capillarité à la surface inférieure des débris, avant l'invasion par les eaux phréatiques.

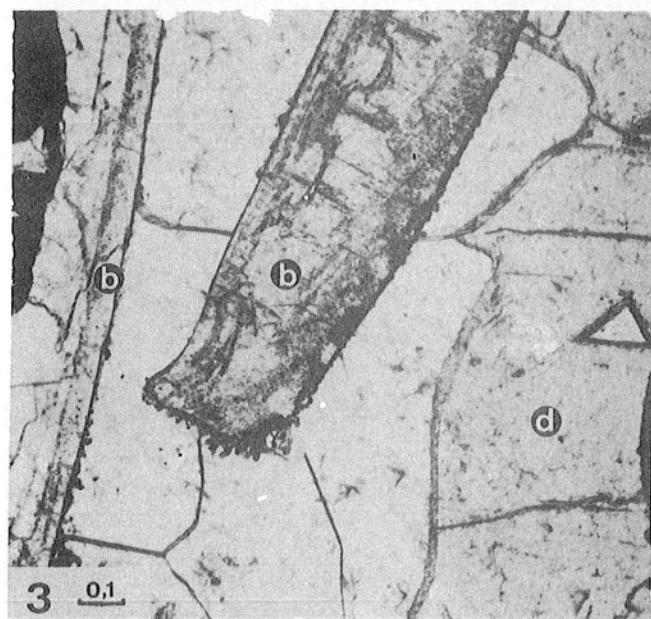
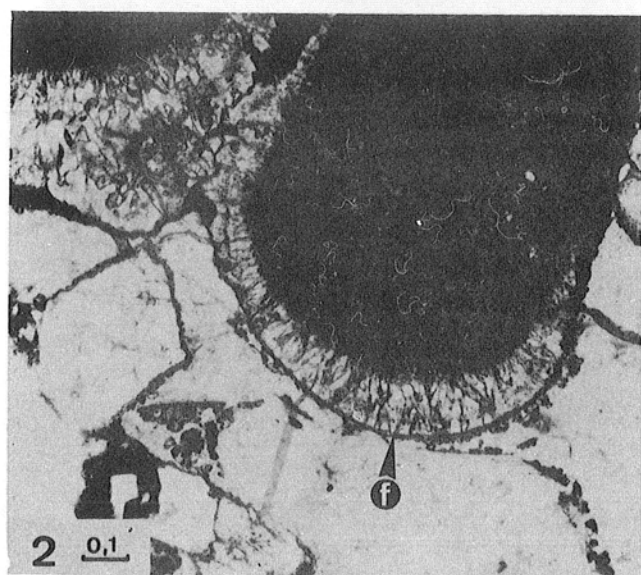
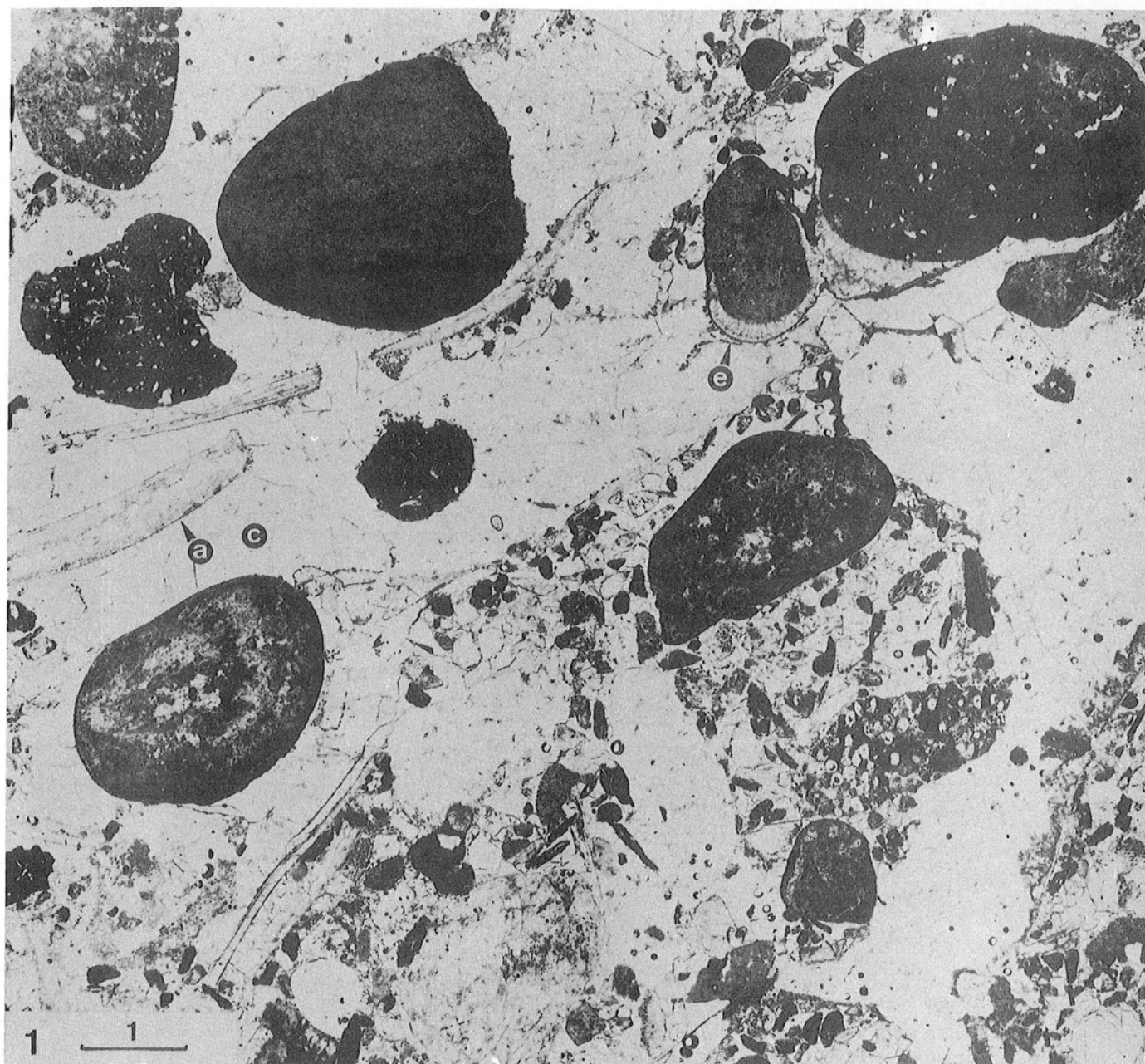


PLANCHE 6 (figures 5 - 6)

PLANCHE 7

PLANCHE 8

Exemples de modifications provoquées par un changement de milieu.

## PLANCHE 6

Figure 1-4 : exemples de lithification sous-marine récente par petits fonds.

Figure 1 : Grès du Plateau des Chèvres.

Ce faciès, interprété comme étant un ancien beach-rock de la transgression versilienne, se trouve actuellement à -10 m. Les éléments (surtout des grains de quartz) sont cimentés par une frange isopaque de calcite magnésienne (a). Des sédiments internes micritiques, en calcite magnésienne, se sont postérieurement mis en place dans les vides (b).

Figures 2-4 : Maërl de la passe de Riou.

Age 1200 ans B.P. (figure 2 : vue d'ensemble, fig.3 détail LN, fig.4 : même détail LP). Profondeur actuelle -18 m. Dans cette roche très récente, les débris organiques, très abondants, n'ont pas subi de modifications : en particulier, les Corallinacées, très abondantes, sont en calcite fortement magnésienne (a). Les espaces interparticulaires sont occupés par des péloïdes aragonitiques (b, fig.2 ; détail c, fig.3 et 4). Les péloïdes sont cimentés par de très fins cristaux de calcite magnésienne, que l'on discerne mieux en LP (fig.4) qu'en LN (fig.3).

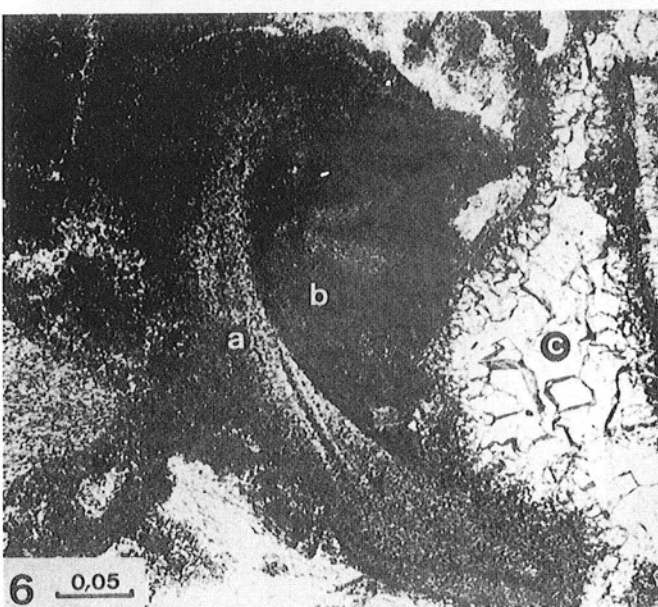
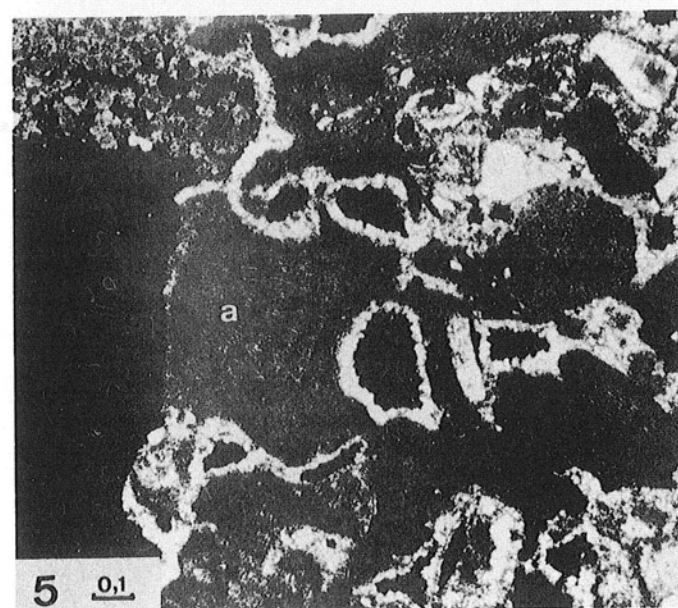
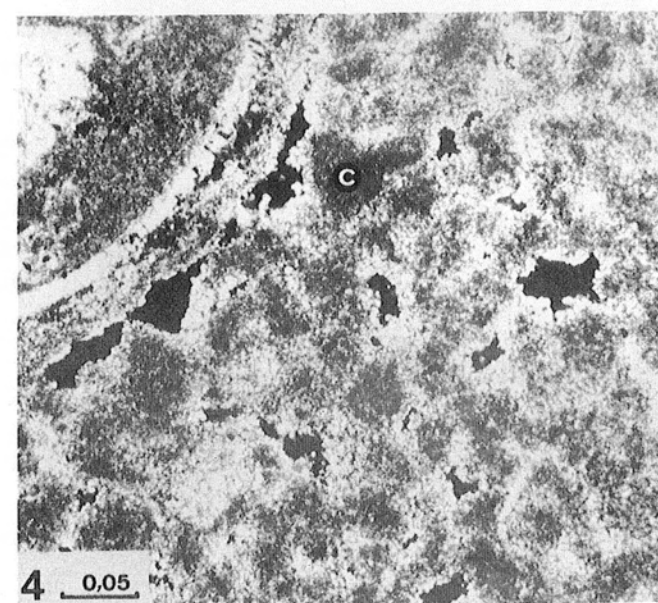
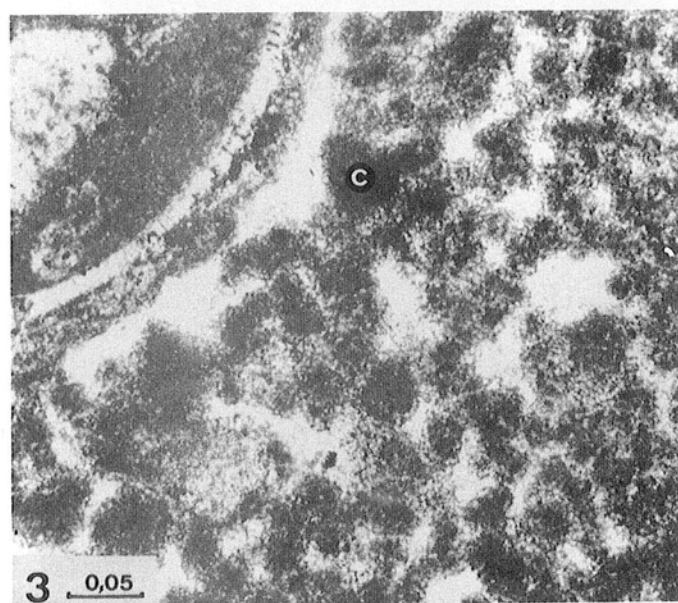
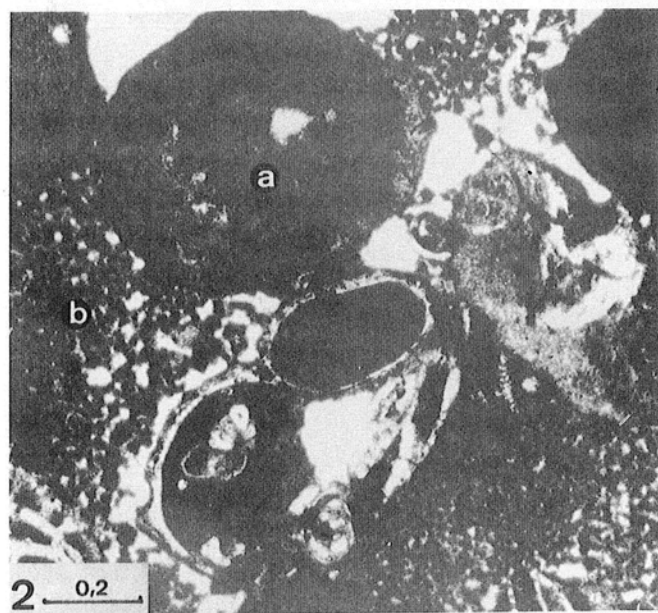
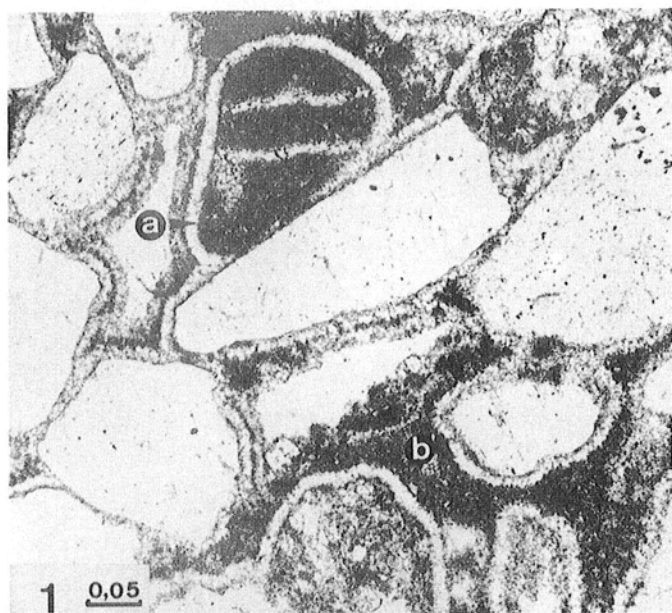
Figures 5-6 : Exemples de modifications provoquées par un changement de milieu : roches sous-marines ayant subi une émergence : cas des remplissages de grottes sous-marines.

Ces roches, échantillonnées dans des grottes sous-marines entre -15 et -25 m, sont recouvertes par des planchers stalagmitiques, attestant l'émergence.

Figure 5 (LP) : Les débris (Corallinacées a) sont cimentés par la calcite magnésienne isopaque, du même type que sur la figure 1 de la même planche. La seule modification consiste en un lessivage partiel du  $MgCO_3$  de la calcite (grotte du Veyron).

Figure 6 : (L.N.). Les débris (a) sont emballés dans une micrite de calcite magnésienne (b). L'émergence se traduit ici par la cristallisation, dans les pores, de calcite pure sparitique, en mosaïque analogue à celle des éolianites (c Comparer avec la figure de la planche 4). Grotte des Trémies.





## PLANCHE 7

### Exemples de modifications provoquées par un changement de milieu (suite)

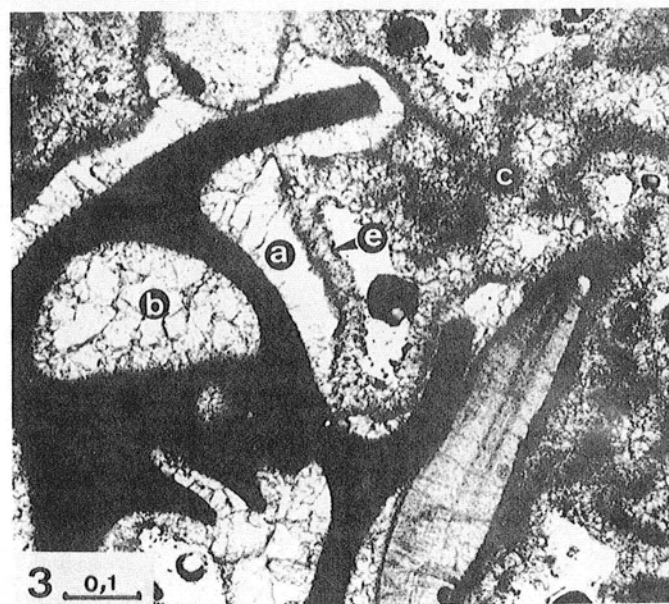
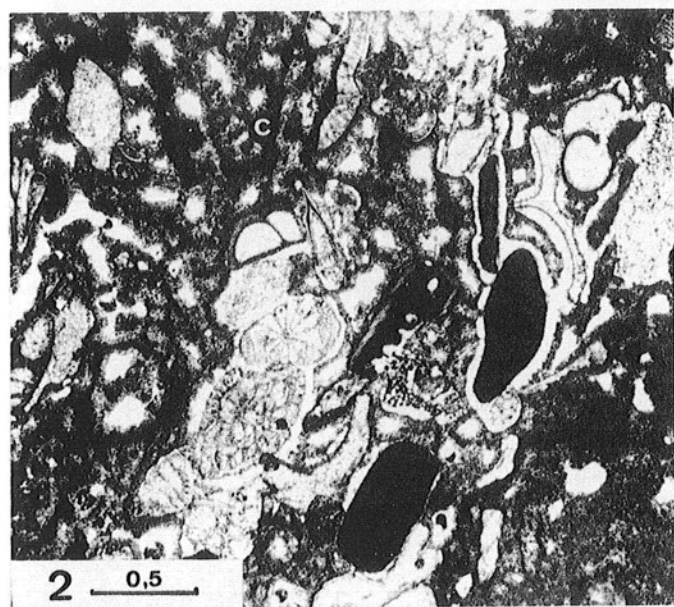
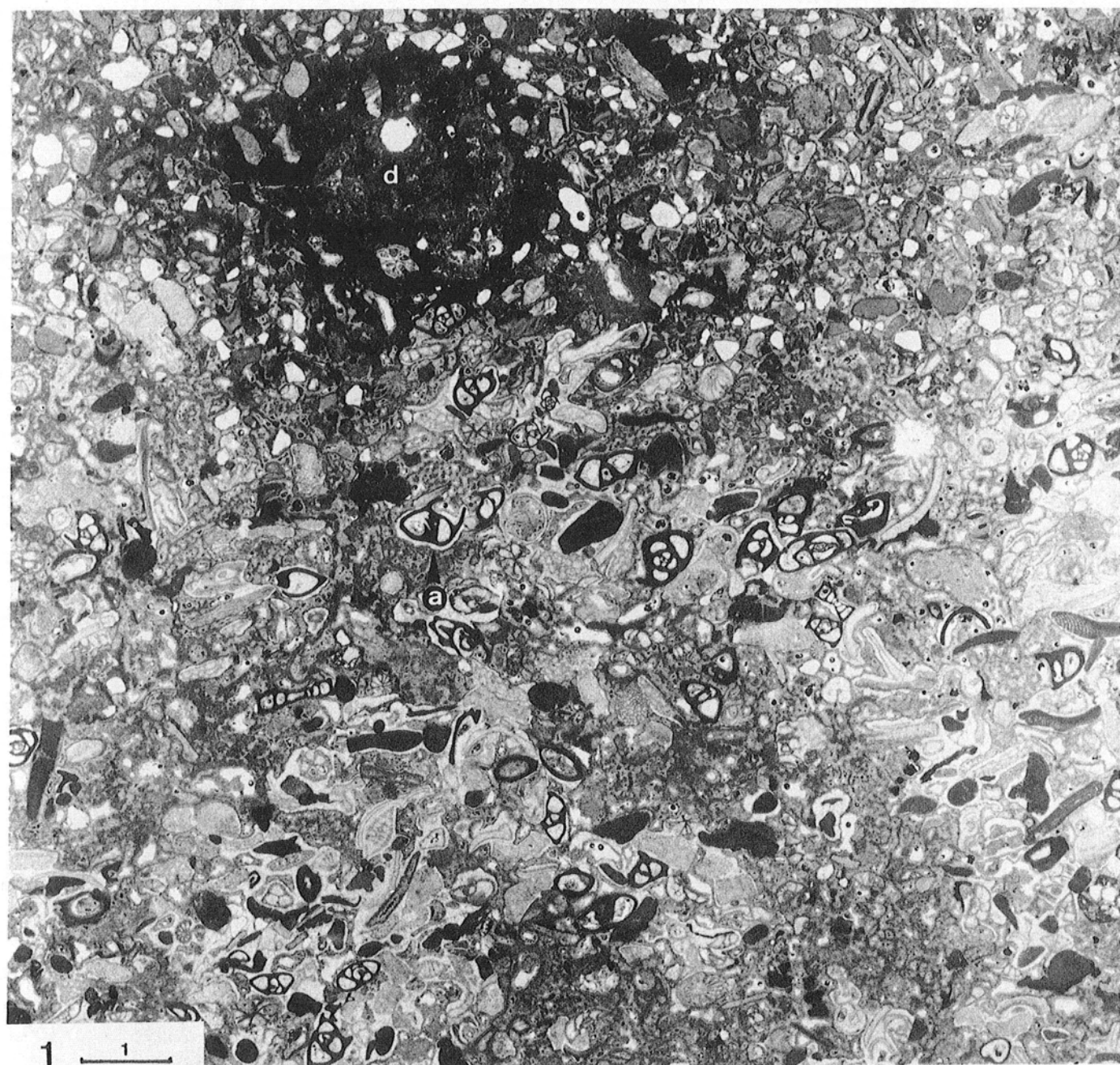
Roches cimentées sous l'influence de l'eau douce puis de l'eau salée : les galets calcaires du gisement néolithique de Riou.

Premier type : figure 1 : vue d'ensemble, figure 2-3 détails (LN). Dans ce faciès, riche en débris marins (Foraminifères, Mollusques Echinodermes, Corallinacées), les organismes originellement magnésiens ont perdu leur  $MgCO_3$  ; les fragments de Mollusques sont largement recristallisés. On distingue 3 stades dans la lithification :

1 - Le ciment primaire est constitué par de la calcite sparitique limpide, non magnésienne. Elle est en général limitée à une seule couche, (a, fig.1 et 3) mais peut former une mosaïque dans les cavités d'organismes (b, fig.3). Accompagnés des modifications minéralogiques affectant les débris, ces caractères définissent une cimentation précoce sous l'action des eaux douces (comparer avec la planche 4).

2 - De la calcite micritique, non magnésienne, envahit les vides sous forme d'un chevelu (c, fig.2 et 3) qui prolifère à partir de zones micritiques circulaires (d, fig.1), traces probables d'anciennes racines. Ce stade paraît correspondre à l'installation d'un sol ; le chevelu micritique serait dû dans ce cas à un réseau de radicelles.

3 - Ces deux premiers stades servent de support à de la calcite magnésienne sparitique (e, fig.3). Les cristaux sont de petite taille, jaunâtres en LN, à extinction ondulante (LP). Ce stade indique que la roche, primitivement cimentée sous l'influence de l'eau douce, s'est trouvée portée en milieu salin.





## PLANCHE 8

### Exemples de modifications provoquées par un changement de milieu (fin).

Les galets calcaires du gisement néolithique de Riou.

Deuxième type : figure 5, détail (LN).

Troisième type : figure 1, vue d'ensemble, figure 2-4, détails (LN)

Comme dans le faciès précédent, l'influence de l'eau douce est décelable dans le premier stade de la cimentation : débris de Mollusques recristallisés (a, fig.1 et 2), ciment de calcite non magnésienne, en mosaïque sparitique (b, fig.2, 3 et 5).

Dans le deuxième type, l'influence de l'eau salée se traduit par la cristallisation de calcite magnésienne sur le pourtour des pores ; cette calcite est fibreuse, brunâtre en LN, chargée d'impuretés noires (c, fig.5).

Dans le troisième type, on observe la mise en place d'une micrite en calcite magnésienne dans les cavités (d, fig.3), suivie par la cristallisation de calcite magnésienne fibreuse, comme dans le deuxième type (e, fig.1 3 et 4). Ici, un retour au milieu non salin est marqué par la cristallisation, à la suite de la calcite fibreuse, de calcite pure sparitique, limpide. Cette deuxième phase obture entièrement les pores (f, fig.3), ou forme une frange limpide à la périphérie de la calcite fibreuse dont elle épouse l'orientation optique (g, fig.4).

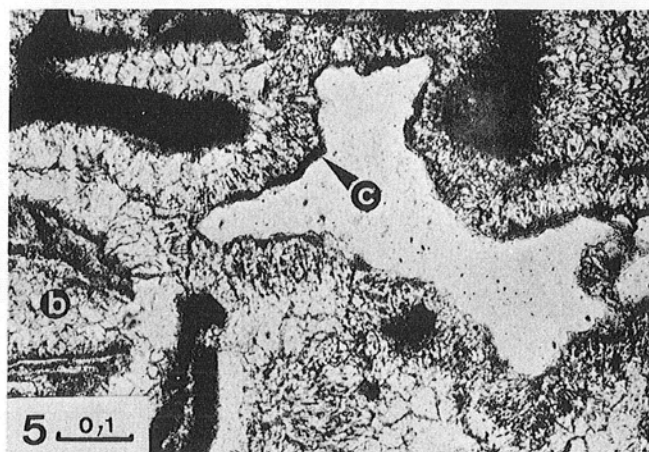
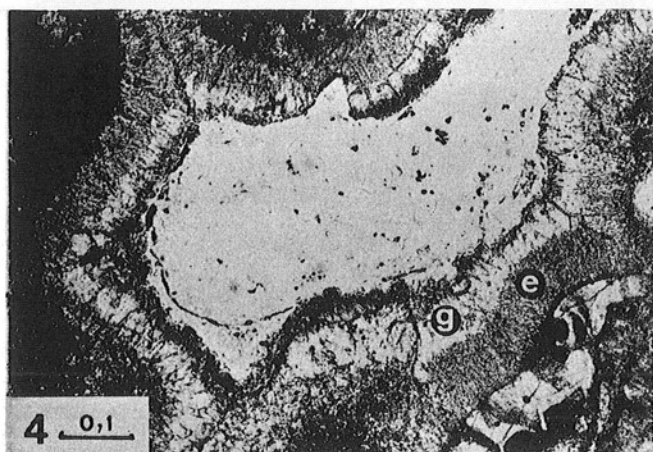
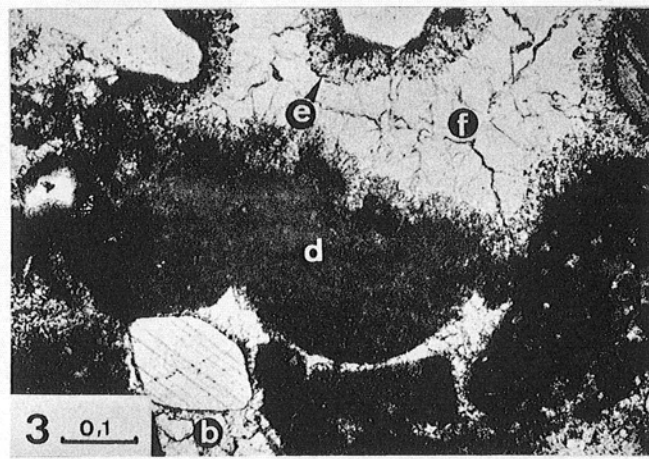
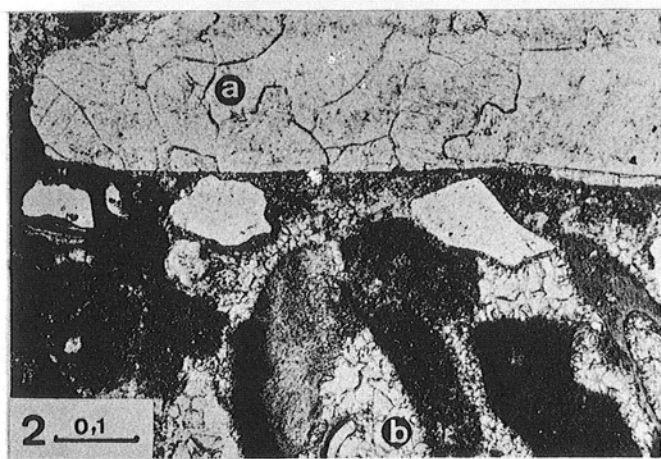
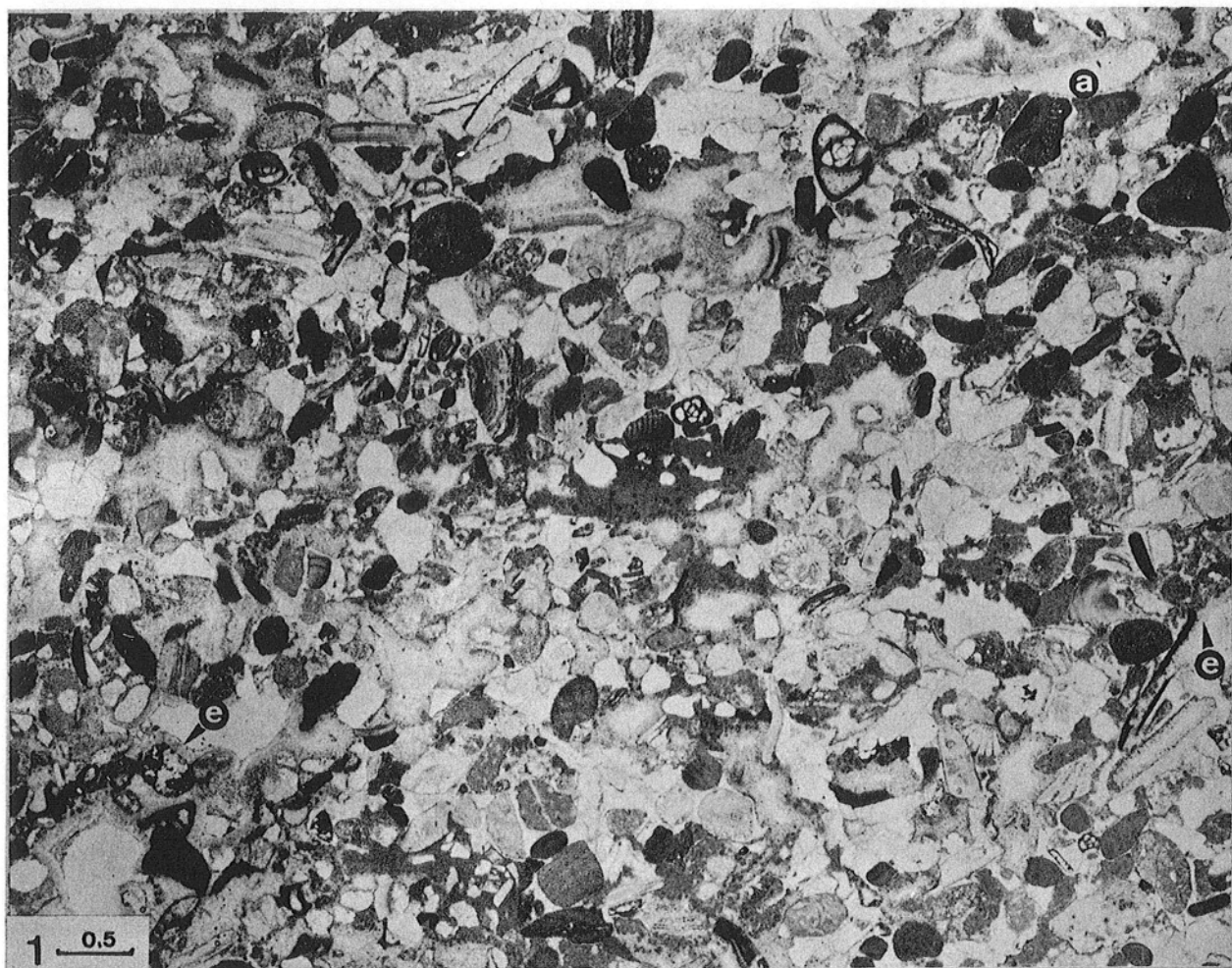


PLANCHE 9 A 30

PÉTROGRAPHIE DES ROCHES DE LA PENTE CONTINENTALE

PLANCHE 9, 10-11-12

FACIÈS PLIOCÈNES

## PLANCHE 9 A 30

### Pétrographie des roches de la pente continentale.

#### PLANCHE 9 :

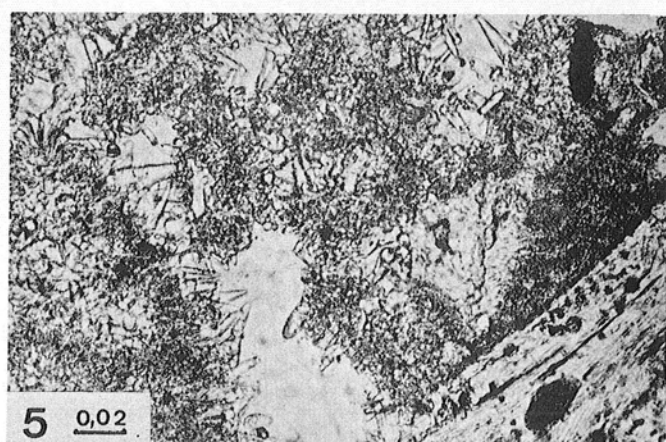
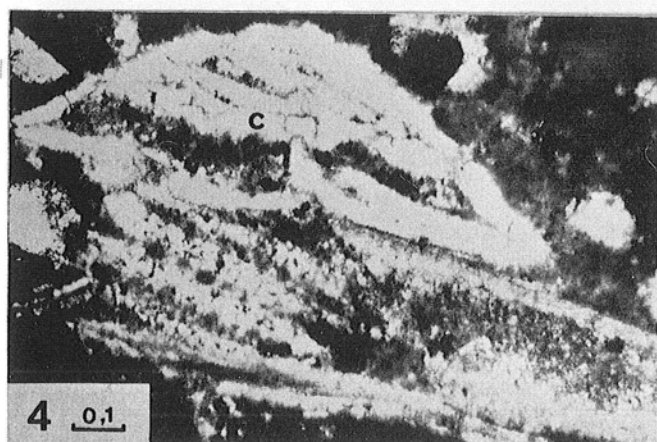
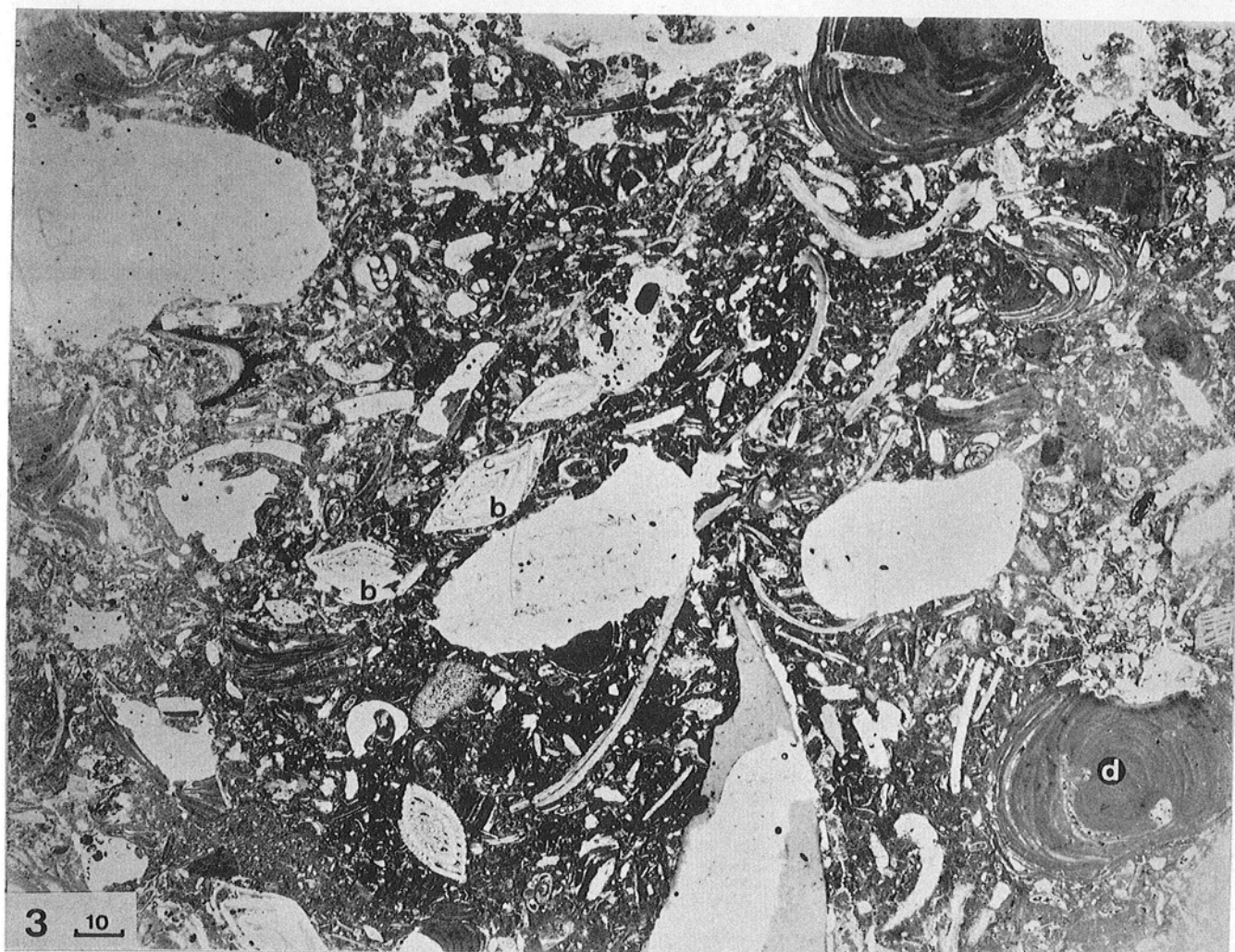
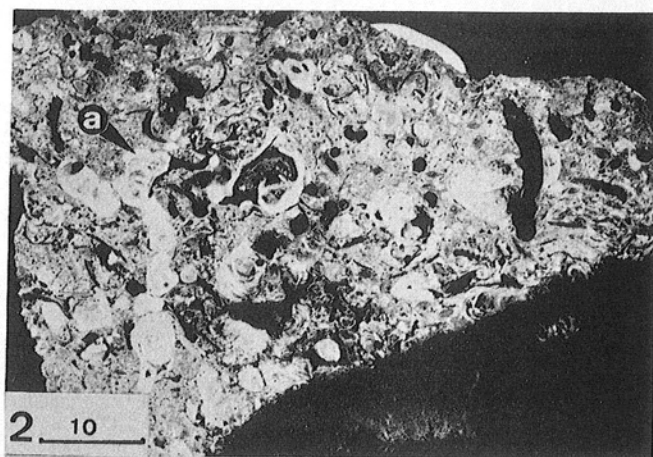
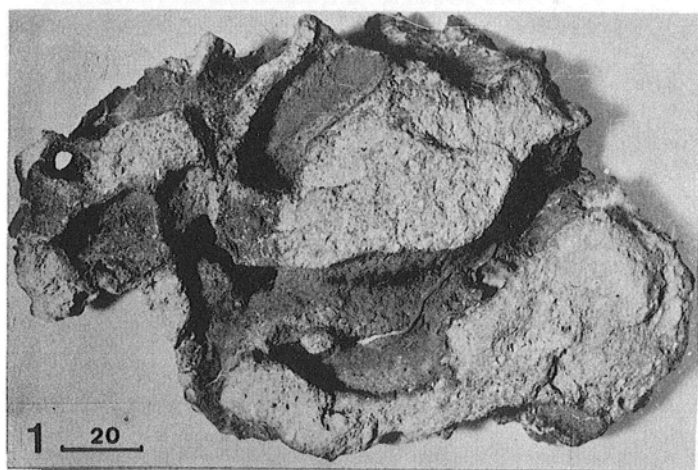
Faciès pliocènes (canyon de Cassidaigne 500 à 150 m).

Figure 1 : Faciès sableux du Pliocène. La roche est taraudée par des galeries sinueuses, indurées par des croûtes ferrugineuses et glauconieuses ; il s'agit probablement d'anciens terriers, creusés alors que le sédiment était encore meuble (terriers de *Callocaris* ?).

Figure 2 : Section polie d'une calcarénite à Corallinacées pliocène. Les Algues calcaires (a) sont blanches et friables. La roche est perforée, et recouverte d'une croûte ferrugineuse et glauconieuse.

Figure 3-5 : Microfaciès des calcarénites à Corallinacées pliocènes. Parmi les débris, on note la présence d'Amphistégines (b, fig.3) et d'Astérigérines (c, fig.4). Les Corallinacées (d, fig.3) sont partiellement dolomitisées ; seuls les remplissages des cellules sont transformés en dolomite, les parois demeurant en calcite magnésienne. Les débris sont emballés dans une matrice micritique de calcite magnésienne (fond noir (fig.3) : celle-ci a localement une structure péloïdale ; elle est alors cimentée par des fins cristaux aciculaires de calcite magnésienne (fig.5).





## PLANCHE 10

Faciès pliocènes ; conglomérats à éléments cristallophylliens.

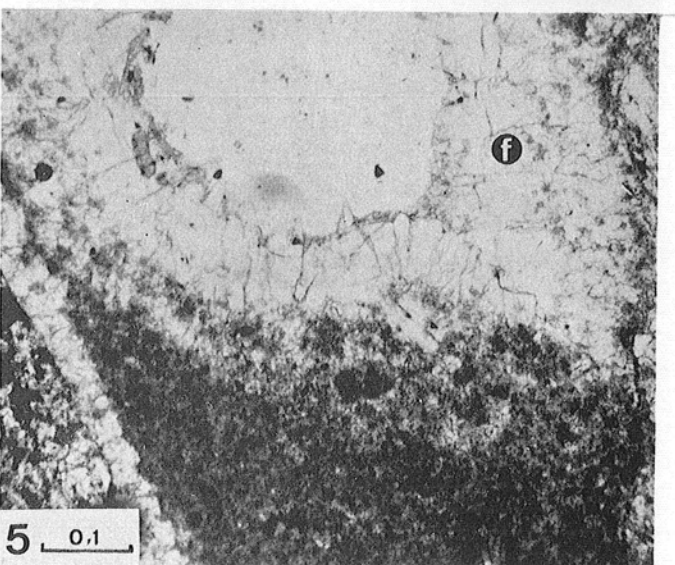
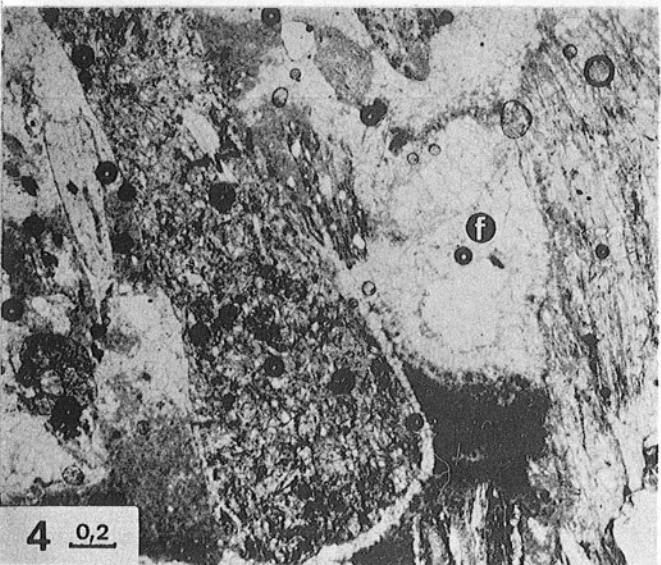
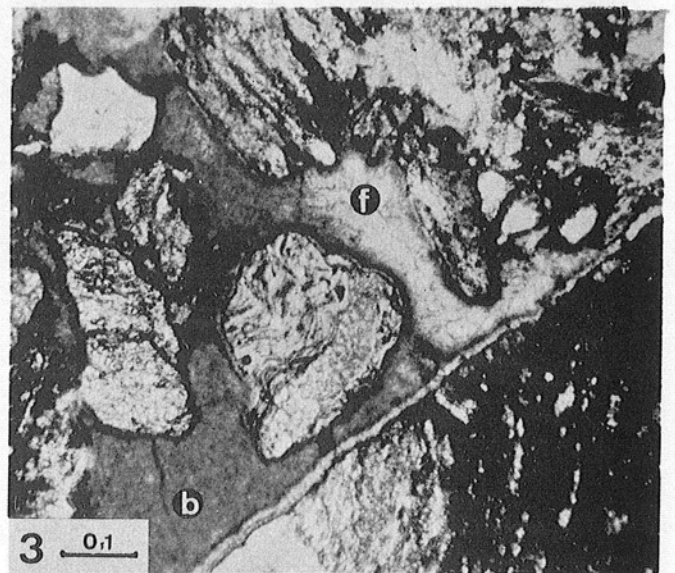
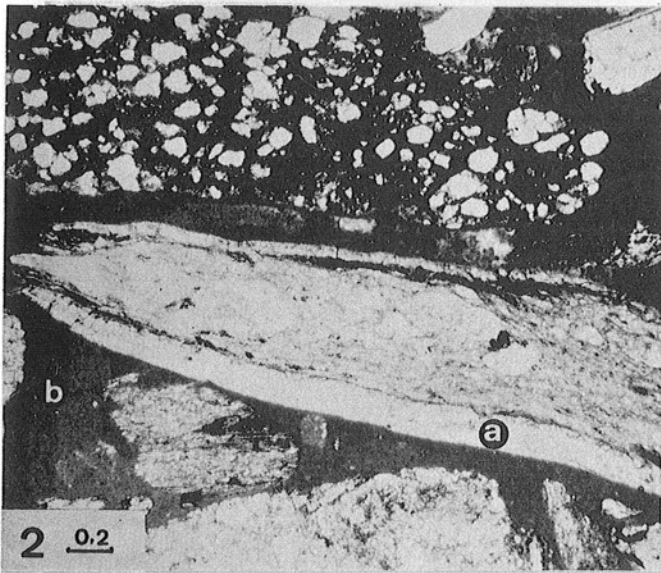
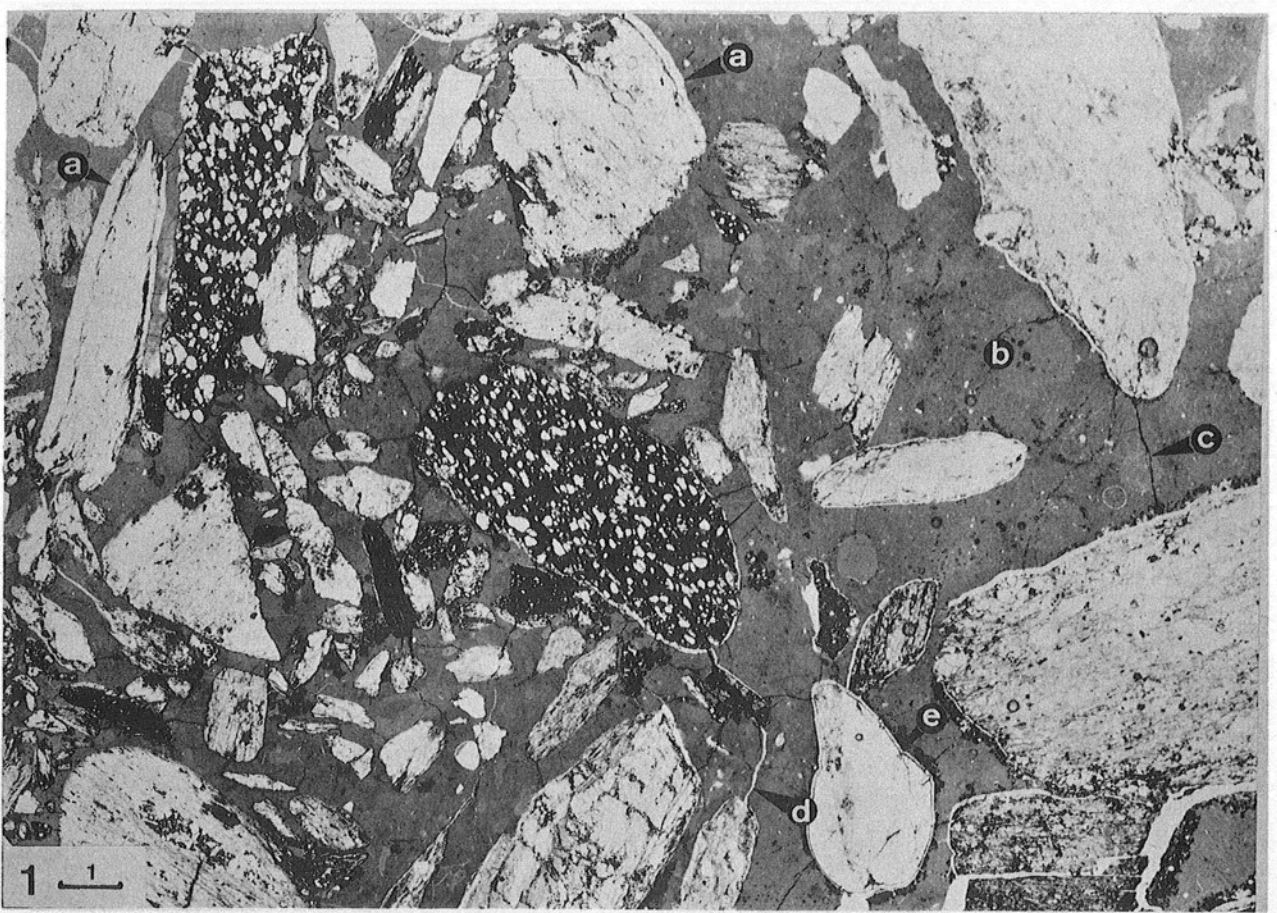
*Profondeur 250 à 350 m, canyon de Cassidaigne.*

Figure 1 : vue d'ensemble.

Figure 2-5 : détails (LN).

Les éléments métamorphiques sont cimentés par de la calcite magnésienne fibreuse (a, fig.1 et 2), puis emballés dans une matrice micritique de calcite magnésienne, contenant de rares débris pélagiques (b, fig.1, 2, 3). La micrite est parcourue par de micro-fissures, ferrugineuses (c, fig.1) ou emplies de calcite (d, fig.1) ; au contact des granules métamorphiques, elle est cariée par des filaments brunâtres de Cyanophycées (e, fig.1). Dans les pores a cristallisé de la calcite magnésienne sparitique (cristaux limpides à extinction ondulante, f, fig.3,4,5).





## PLANCHE 11

### Faciès pliocènes : conglomérats à éléments cristallophylliens

(suite)

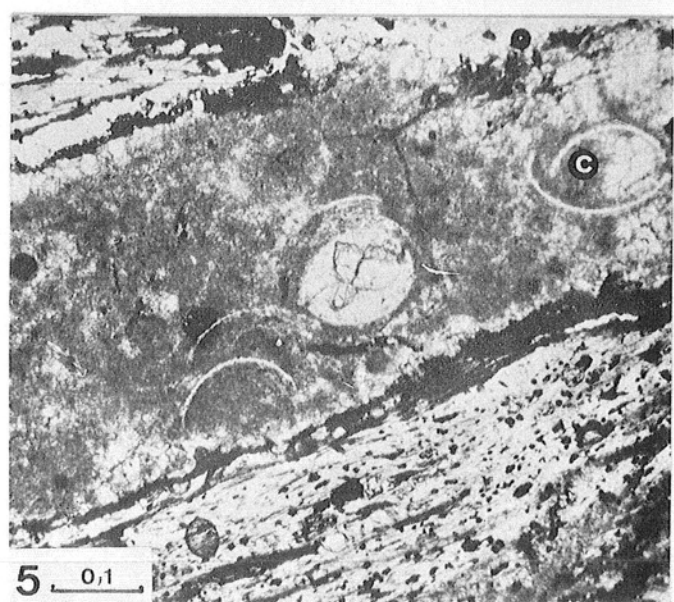
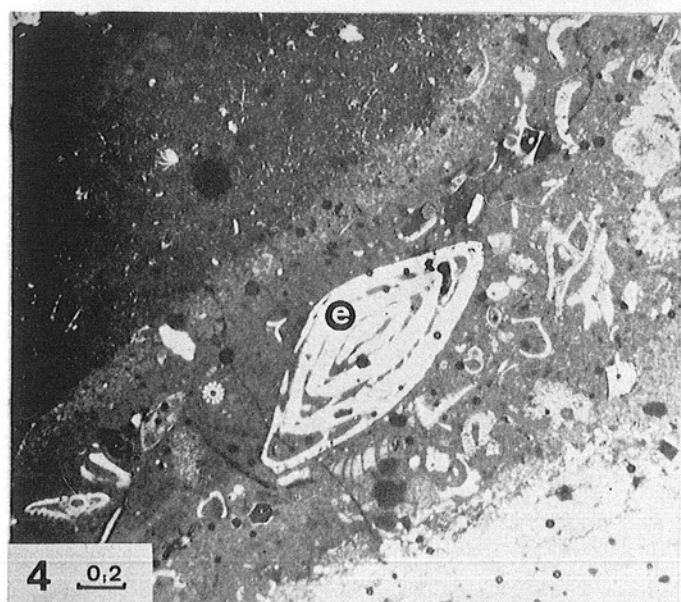
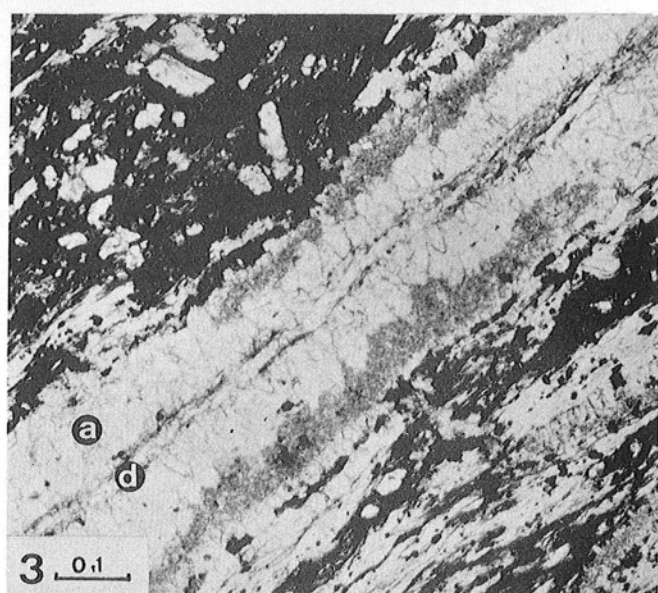
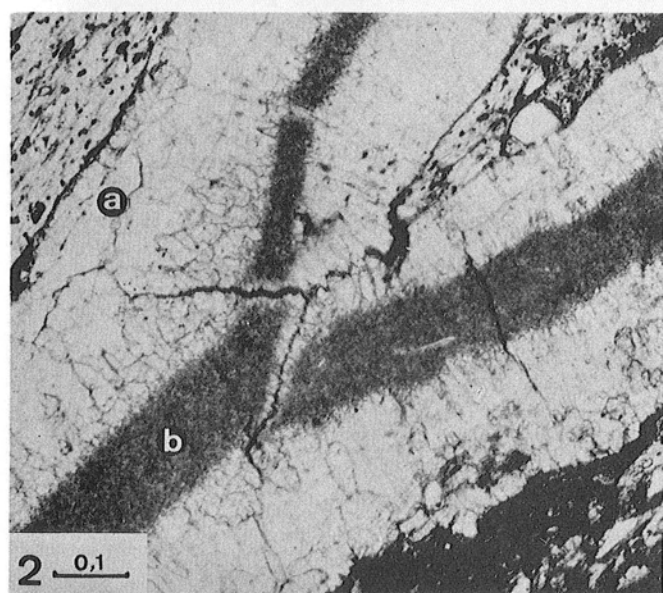
Figure 1 : vue d'ensemble

Figure 2-5 : détails.

La calcite magnésienne fibreuse, de même nature que celle qui entoure les granules (planche 10), a cristallisé entre les feuillets des éléments métamorphiques de plus grande dimension (a, fig.1, détail fig.2, 3, 4).

Elle ménage un canal central, obturé par de la micrite (b, fig.2), contenant des organismes marins (Ostracodes c, fig.6), ou par un dernier stade de calcite sparitique, magnésienne (d, fig.3). Parmi les Foraminifères, les Amphistégines (e, fig.5) indiquent un âge pliocène probable.





## PLANCHE 12

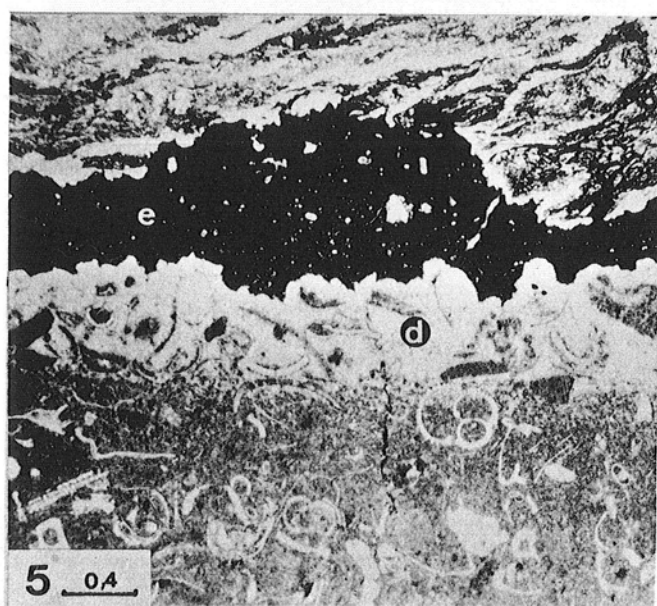
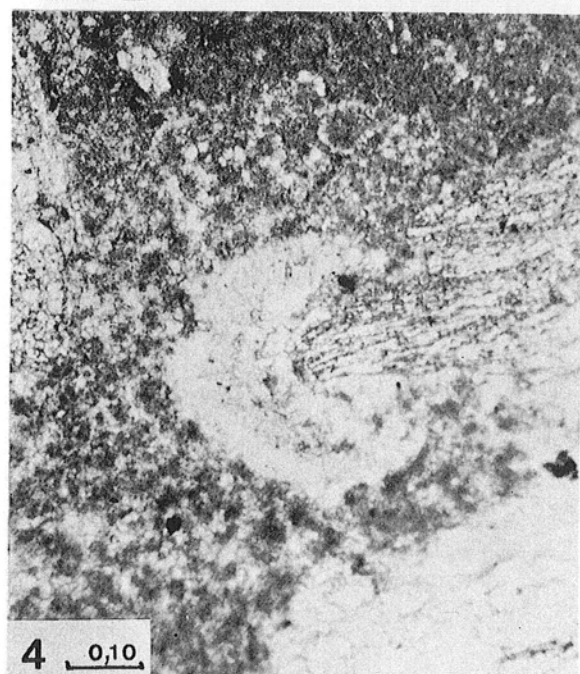
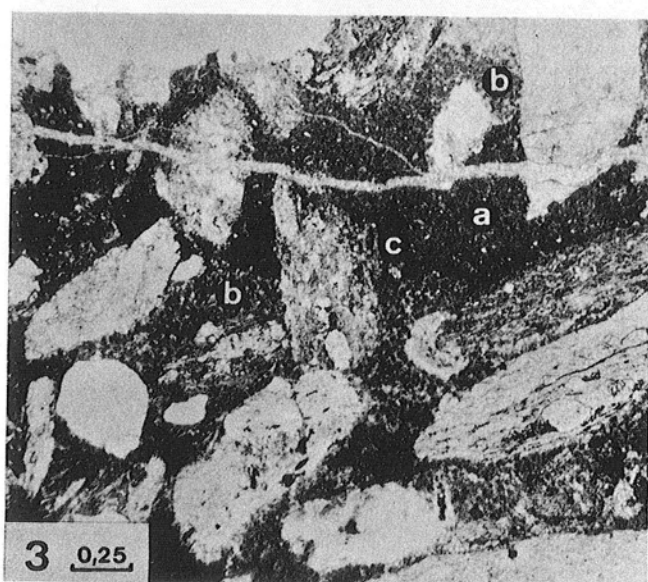
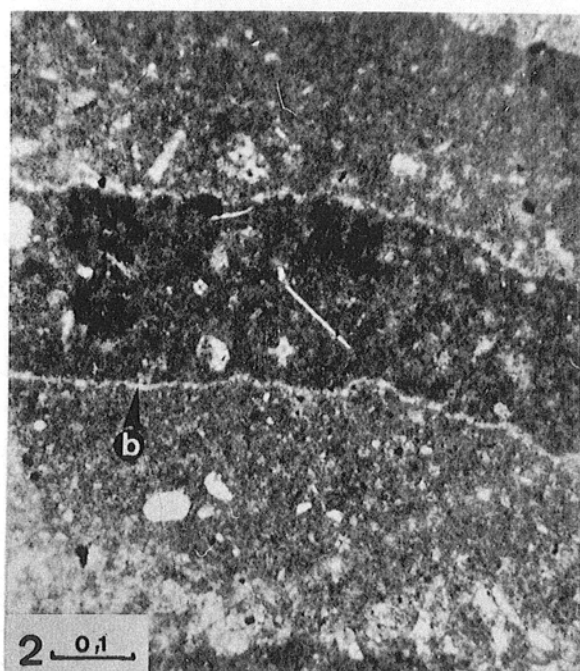
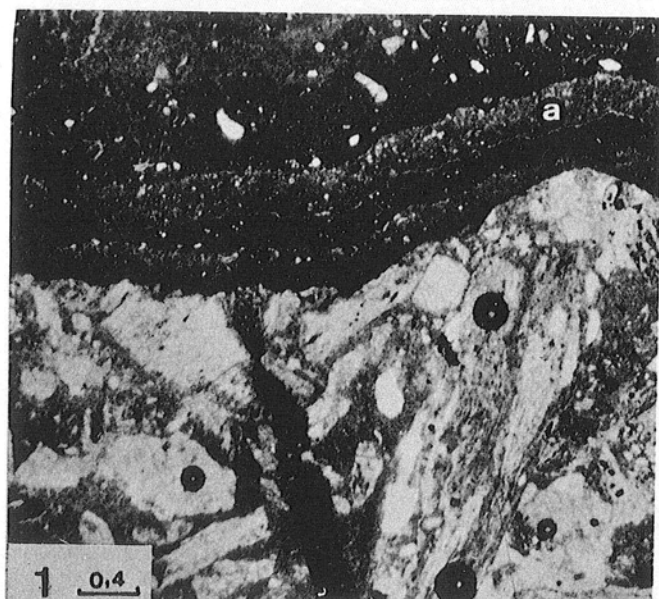
### Faciès pliocènes : conglomérats cristallophylliens (fin).

Figure 1 et 2 (LN). Les passées à éléments métamorphiques relativement grossiers sont encadrées par des micro-couches de calcite magnésienne micritique (telles que a fig.1), chacune d'elles étant limitée par un fin liseré de calcite microsparitique magnésienne (b, fig.2), marquant des arrêts de sédimentation.

Les couches micritiques à fins débris représentent la sédimentation normale à une profondeur assez importante (environ 200 m), troublée par la mise en place du matériel grossier amené par les courants du haut de la pente continentale.

Figure 3 et 4 (LN). Le matériel micritique mis en place entre les débris métamorphiques a une texture compacte à la base (a, fig.3) devenant progressivement péloïdale vers le sommet (b. fig.3), le phénomène se répétant un certain nombre de fois. Cette texture peut être due à la compaction d'un matériel initialement péloïdal. A la partie supérieure des micro couches micritiques, les péloïdes sont cimentés par de fins cristaux de calcite magnésienne (fig.4). Des fractures obturées par de la calcite magnésienne affectent la roche (c, fig.3), traversant aussi bien les débris que le ciment.

Figure 5 et 6 (LN). La partie supérieure d'une couche de micrite contenant des débris pélagiques, est couronnée d'une couche de calcite magnésienne sparitique englobant les derniers débris sédimentés, (d, fig.5 et 6). La mosaïque sparitique, mise en place en milieu sous-marin, se distingue des mosaïques d'origine vadose par l'extinction ondulante des cristaux. Le sédiment interne (e, fig.5) est fortement imprégné de goéthite.





## PLANCHE 13

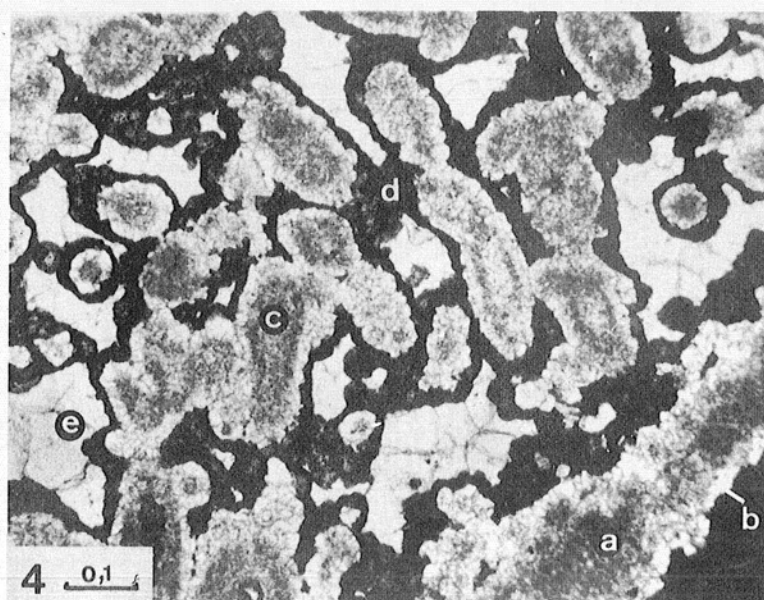
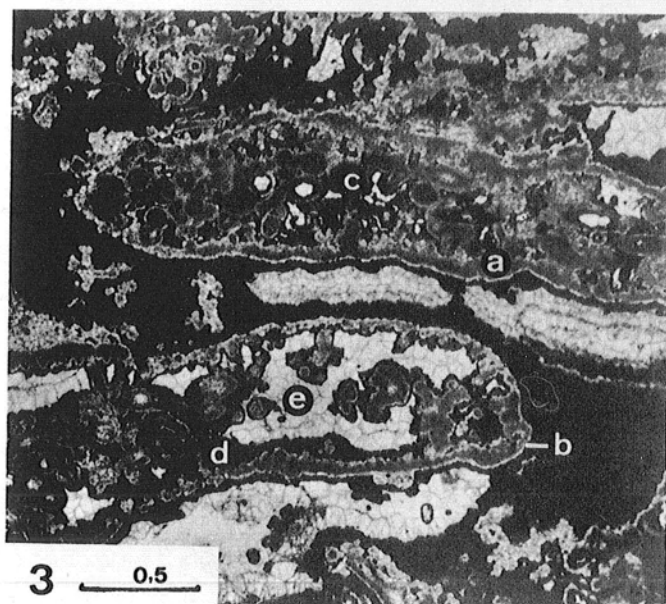
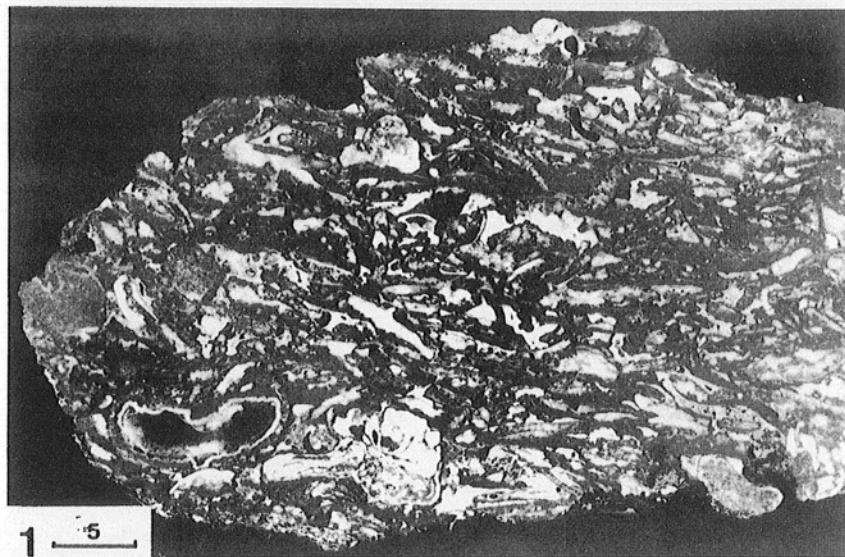
### Calcaire dolomitique à Halimeda.

R 15, pente continentale au Sud du banc des Blauquières, (-270 m).

Figure 1. Section polie. Les éléments figurés et les remplissages des pores se détachent en blanc sur le fond ferrugineux.

Figure 2. Vue d'ensemble (LN). La roche est essentiellement constituée de bioclasts benthiques ; articles d'*Halimeda* dolomitisés (a), Corallinacées dolomitisées (b), Pélécy-podes (c), Echinodermes (d). Les Foraminifères benthiques (e) sont très rares. La goethite (f) remplit partiellement les cavités, qui comportent en outre des cristallisations de carbonates associées à des produits noirs (g). Détails figure 3 et 4, même planche et planche 14).

Figure 3 et 4. Structure des articles d'*Halimeda* (L.N.). L'aragonite constituant originellement la matrice de ces Algues a été dissoute. L'Algue est préservée par son enveloppe micritique (a) renforcée par le ciment primaire (b), tous deux dolomitisés. Les siphons présentent la même structure : remplissage de micrite (c) entouré des fins cristaux limpides de ciment primaire, l'ensemble étant également dolomitisé. Les espaces vides sont remplis par la goethite (d), puis par de la calcite en mosaïque (e) de type sous-marin (extinction ondulante).



## PLANCHE 14

### Calcaire dolomitique à Halimeda (suite).

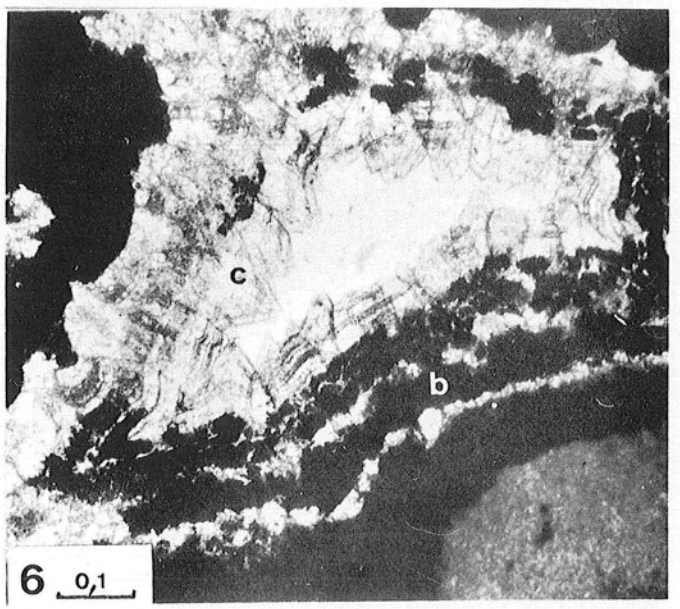
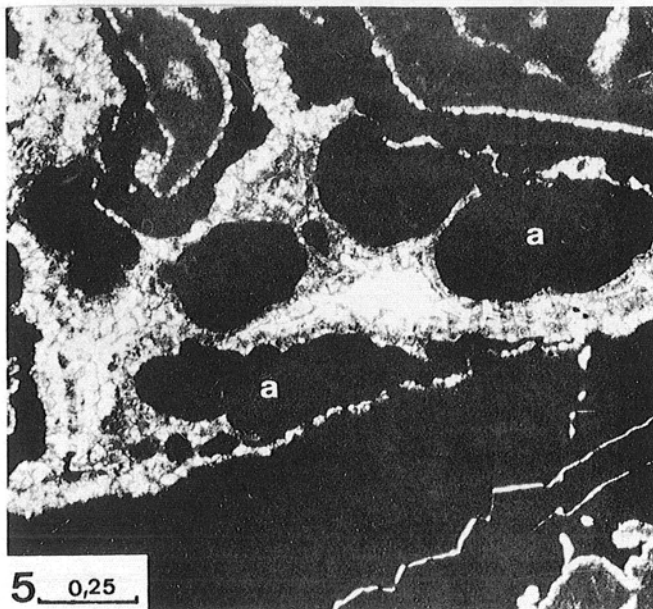
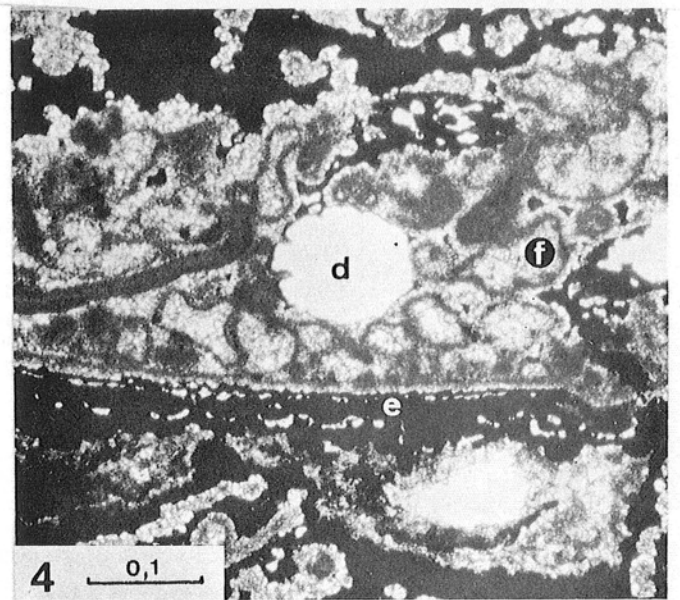
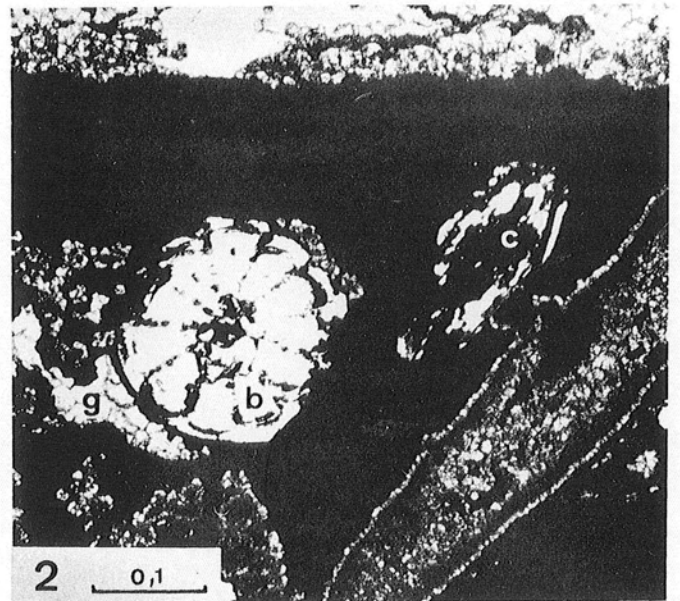
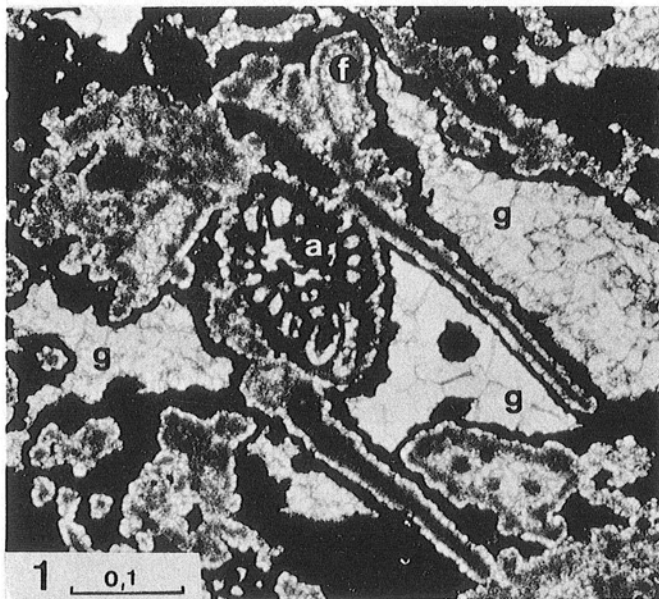
Figure 1-4 : détails de la figure 2, planche 13: 1 = e, 2 = d, 3 = b, 4 = c.

Les Foraminifères sont extrêmement modifiés et difficilement déterminables (a, fig.1, Elphidium probable) ; leur test est presque complètement dissous et remplacé par la goethite ; la périphérie est dolomitisée. Les débris d'Echinodermes présentent plusieurs stades d'altération : ils sont presque intacts (b, fig.2, noter la présence d'un anneau syntaxial) ; partiellement dissous et remplacés par la goethite et la calcite en mosaïque (c, fig.2 et 3), complètement dissous (d, fig.4). Les débris de Pélécypodes sont presque entièrement dissous et remplacés par la goethite (e, fig.4). Les fins débris, probablement aragonitiques à l'origine, sont dissous, les moules préservés par l'enveloppe micritique sont remplis par des cristaux de dolomite en mosaïque (f, fig.1 et 4) ; cet aspect est très comparable à celui que l'on observe dans les éolianites, pour les débris aragonitiques (voir planche 4<sup>13</sup>). Les mosaïques de calcite sparitique (g, fig.1, 2 et 3) sont, comme pour les *Halimeda*, de type sous-marin.

Figure 5-6. Détail des cimentations des pores, tel que g, figure 2, planche 4.

Dans certains pores, des oxydes de fer noirs sont étroitement associés à des carbonates. Ils forment des amas globulaires boursoufflés se développant sans polarité à partir des parois (a, fig.5) ou des films interrompant la croissance des cristaux de calcite (b, fig.6) ; les carbonates associés sont de l'aragonite micritique (particulièrement dans le cas de la figure 5) et de la calcite magnésienne fibreuse, à tendance euhédrale, présentant différents stades de croissance limités par des films micritiques (c, fig.6). Les oxydes de fer noirs, du fait qu'il ne sont pas polarisés, sont à rapporter à l'activité de microorganismes : il en va sans doute de même pour les carbonates associés. La structure de certains de ces pores est comparable aux Stromatactis décrits dans les roches anciennes.





## PLANCHE 15

Calcaire dolomitique à Halimeda (fin). Structures algales endolithes.

Figure 1 : vue d'ensemble.

Figure 3-6 : détails (LN).

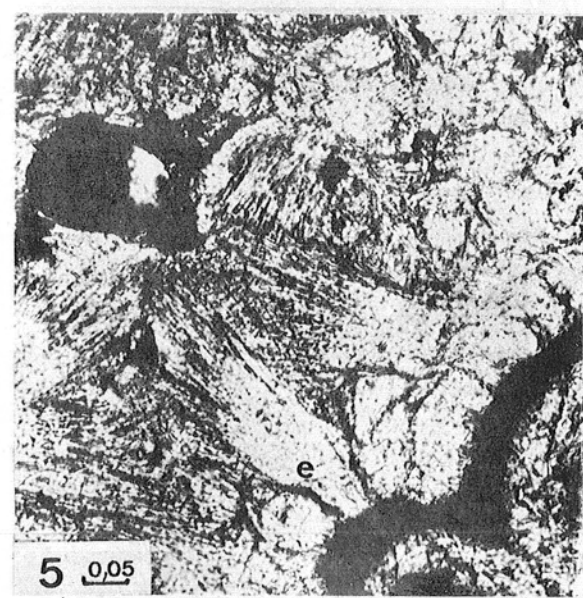
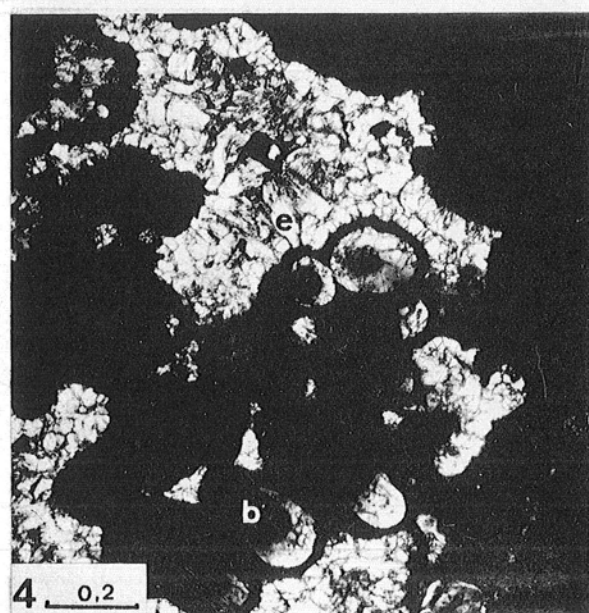
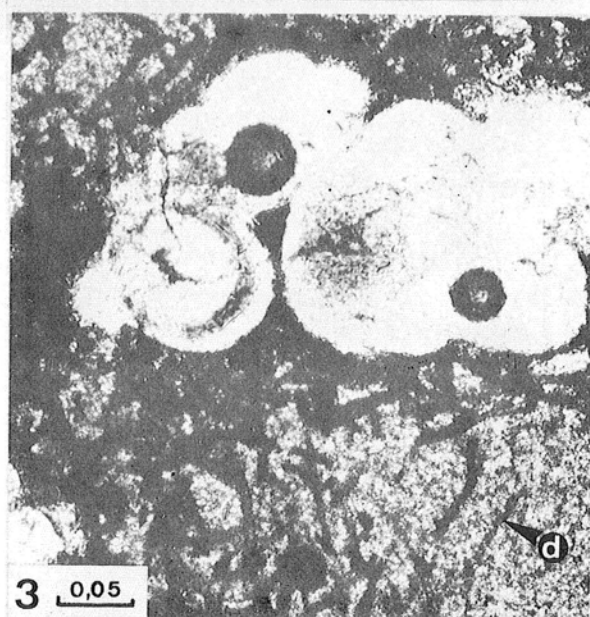
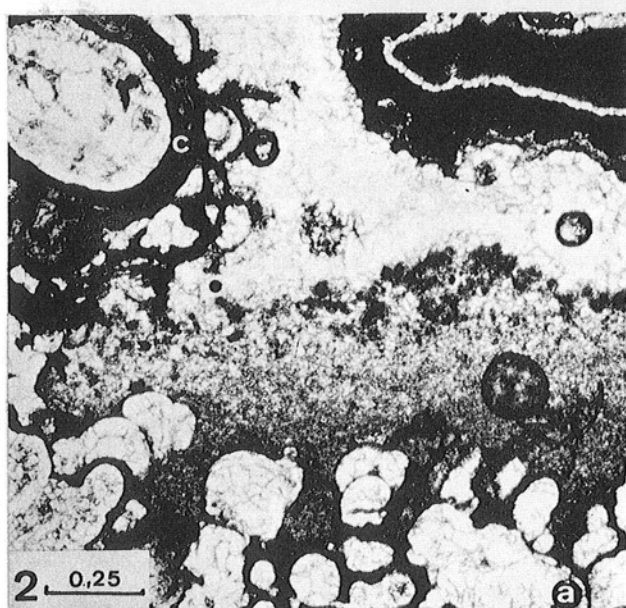
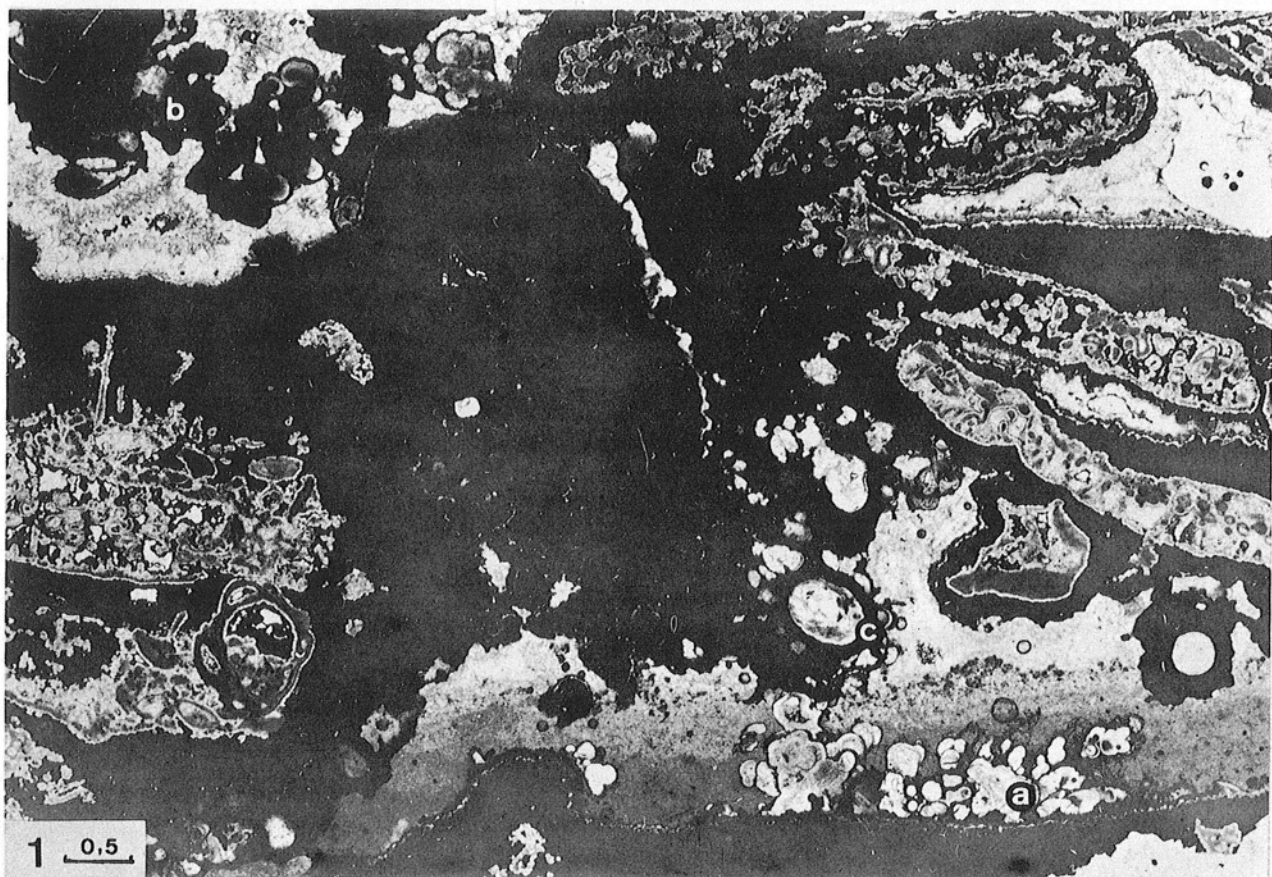
Des structures attribuables à des Algues Cyanophycées endolithes se sont développées dans certains pores, à une stade tardif de la diagenèse. On observe deux formes :

- Globules limités par une paroi brunâtre proliférant à partir des parois des cavités, de bas en haut (a) ou de haut en bas (b). Ces globules sont entièrement (a, fig.1-2) ou partiellement (b, fig. 1 et 4) transformés en calcite magnésienne. Certaines structures à parois épaisses (telles que c) représentent vraisemblablement des formes d'enkystement.

- Filaments brunâtres (d, fig.3) cariant le sédiment interne micritique remplissant partiellement la cavité. Le sédiment interne, dépourvu totalement d'organismes, pourrait être dû à l'activité de la première génération d'Algues.

En l'absence de sédiment interne, les pores voient la cristallisation de calcite magnésienne groupée en paquets de fibres enchevêtrées, paraissant unies aux globules par une sorte de pédoncule (e, fig.5 et 6). Cette forme de calcite pourrait également être due à l'activité des Algues.





## PLANCHE 16

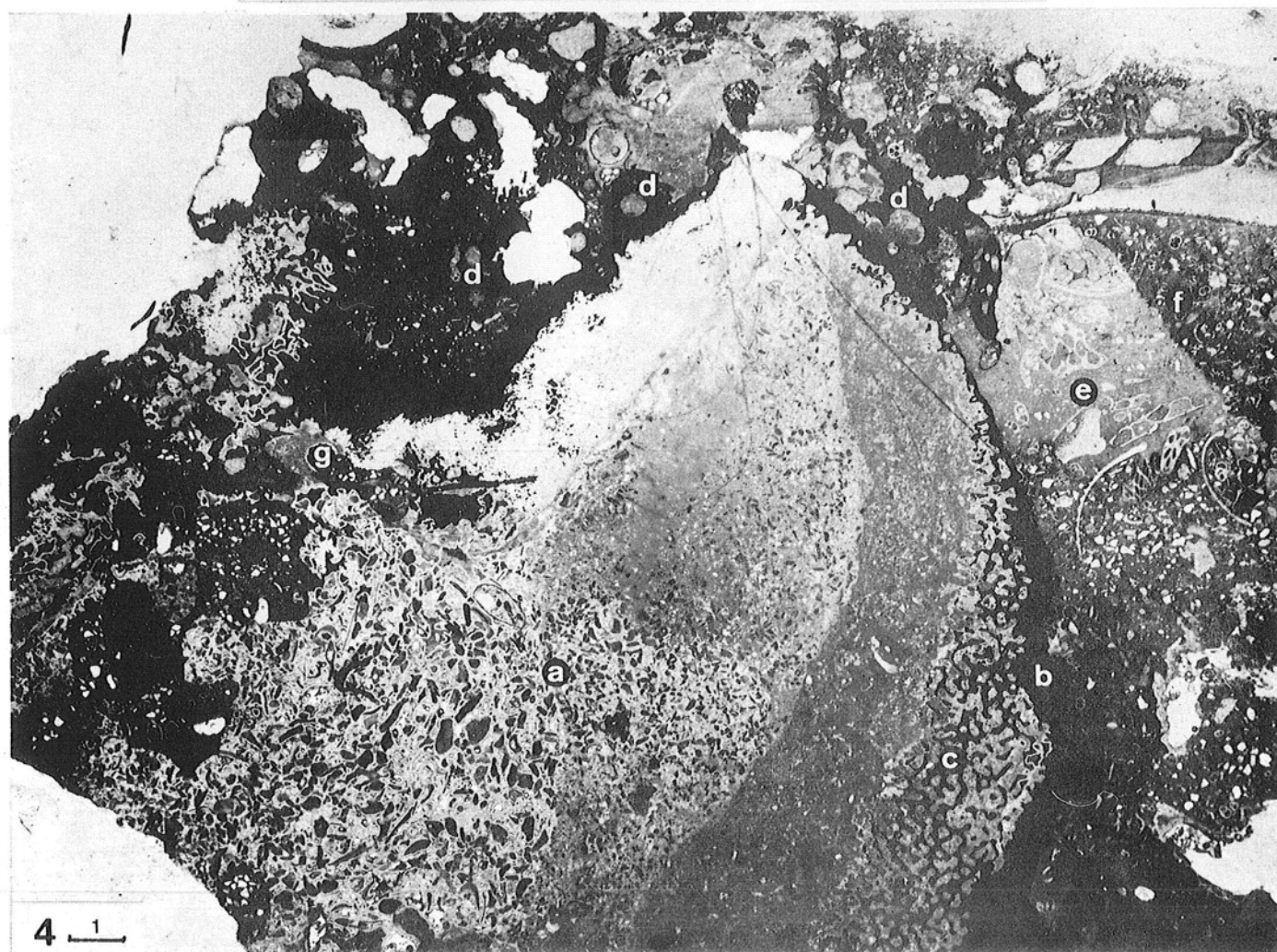
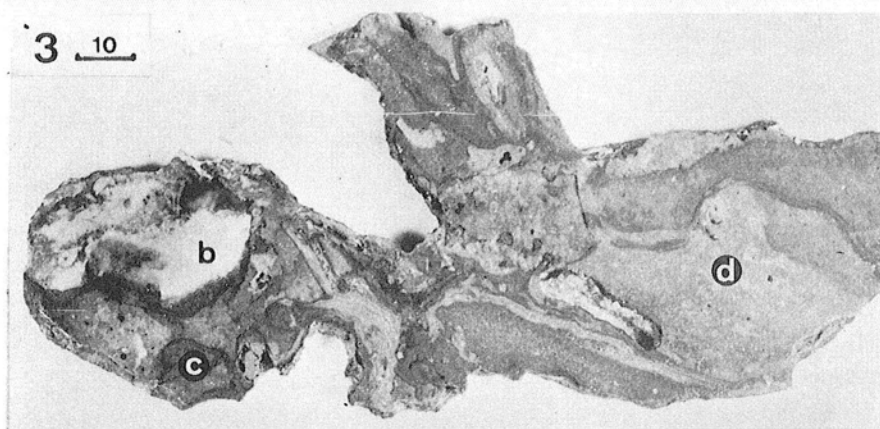
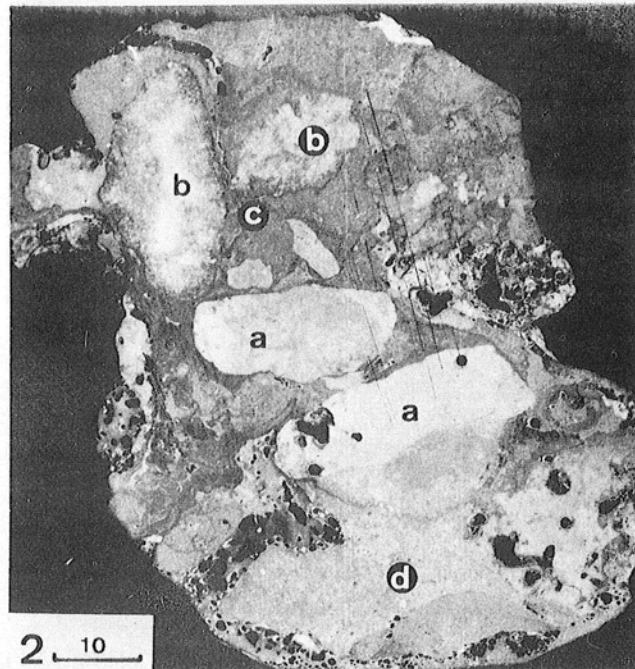
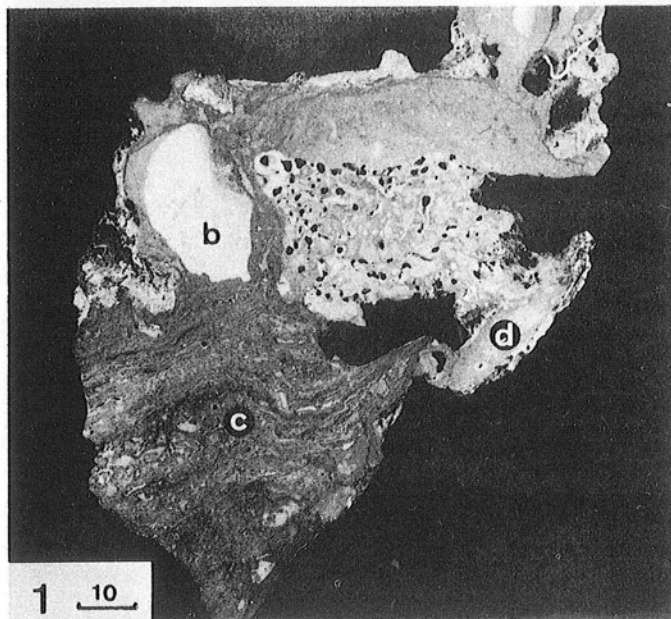
### Roches ferrugineuses et phosphatées, remaniant les calcaires dolomitiques.

R 16 - Sud du banc des Blauquières, profondeur voisine de 250 m.

Figure 1-3. Sections polies sériees, de l'extrémité (1) vers le coeur de l'échantillon (3). Les contours très irréguliers des différentes sections donnent une idée de l'intensité de l'érosion qui l'a affecté. Des galets calcaires (a) et dolomitiques (b), sont remaniés dans des croûtes ferrugineuses atteignant 10 cm d'épaisseur (c), ou dans des sédiments phosphatés plus clairs (d).

Figure 4. La microphotographie couvre l'extrémité gauche de la section fig.3. Le galet dolomitique (a) a la même structure que le calcaire à *Halimeda*. Il est englobé dans une croûte ferrugineuse qui pénètre dans des interstices vermiculés (c), dus probablement à une dissolution différentielle de la périphérie du galet. L'ensemble est encroûté par des tubes de Serpules (d) et des Bryozoaires, puis englobés dans des sédiments à matrice phosphatée plus ou moins imprégnés de goéthite (e et f), qui remplissent également de grandes perforations creusées dans le galet (g). On notera que les stades e et f sont nettement séparés ; leur composition est notablement différente : e est plus riche en débris minéraux, f plus riche en Foraminifères pélagiques. Ces variations soulignent le caractère sporadique de la sédimentation, probablement sous l'influence des courants descendants.





## PLANCHE 17

### Roches ferrugineuses et phosphatées, remaniant les calcaires dolomitiques.

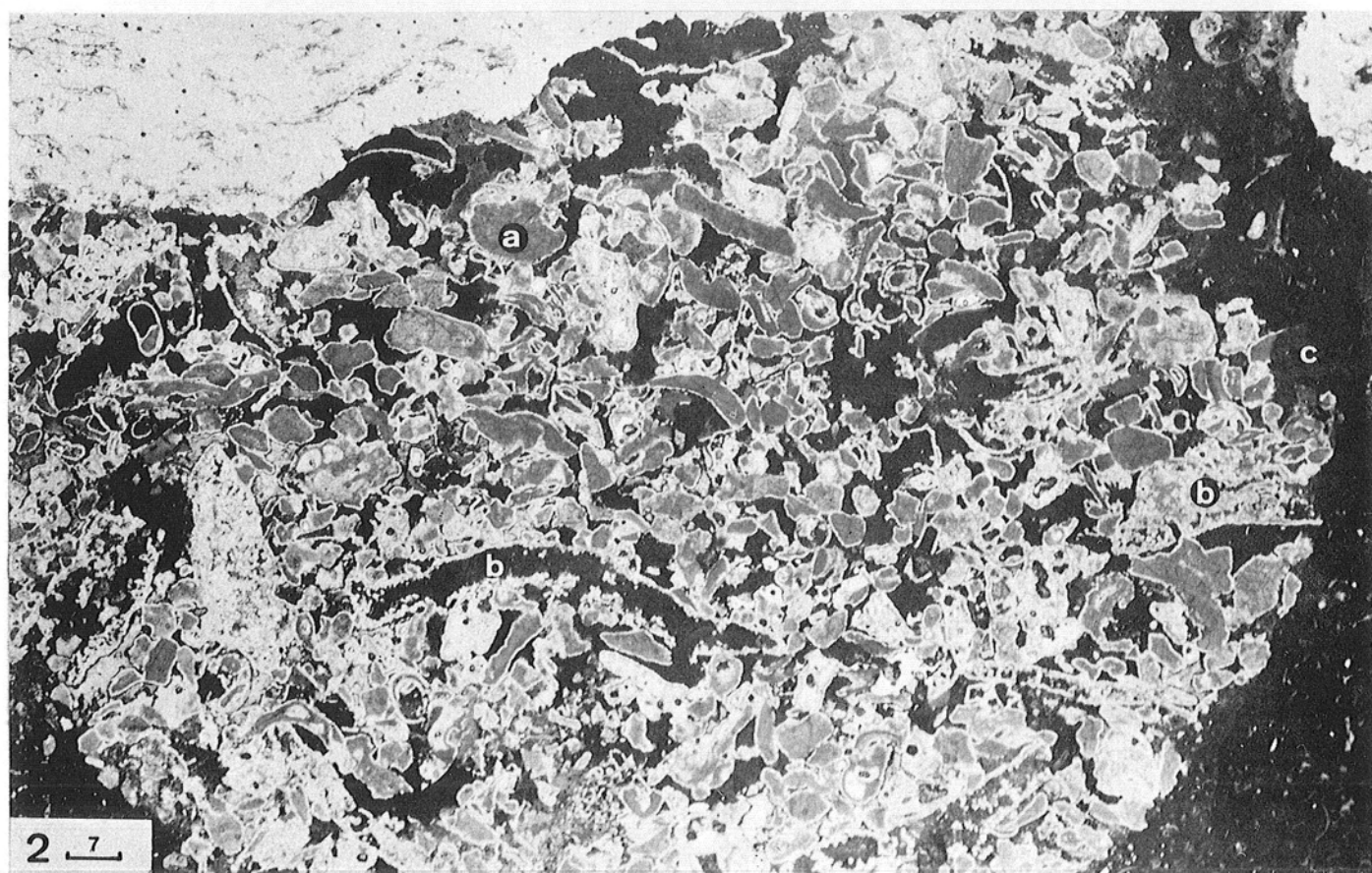
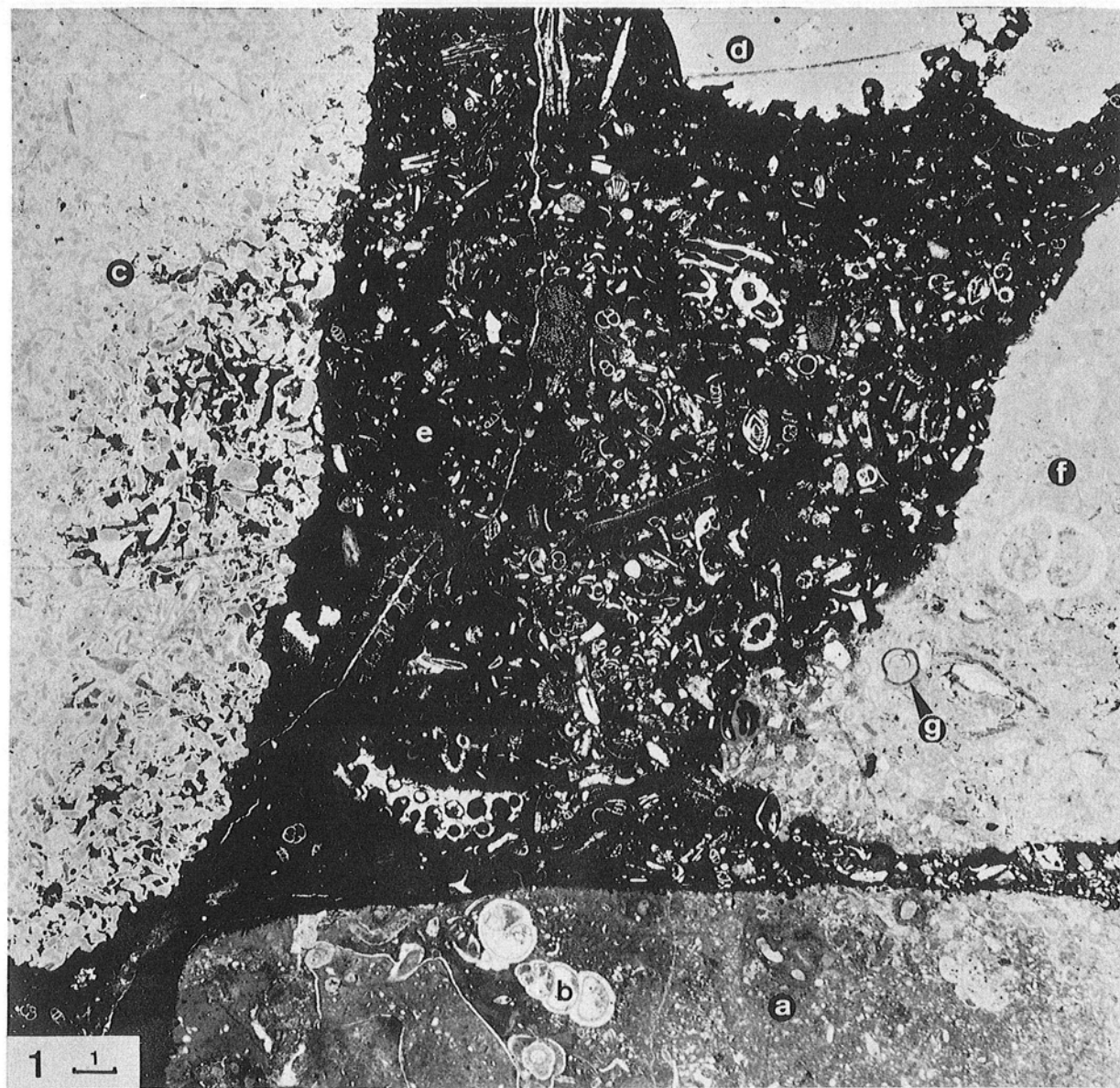
R.16.

Figure 1. La microphotographie correspond à la partie supérieure gauche de la section polie, figure 2, planche 16.

Le galet A, datant probablement de la fin du Tertiaire ou du Pléistocène (microfaune), témoigne d'une émergence prolongée : sa calcite n'est pas magnésienne, les tests de Gastéropodes tels que b sont recristallisés. Le galet c présente la même structure que le calcaire dolomitique à *Halimeda* : débris et ciment primaire sont dolomitisés. L'élément d est composé presque exclusivement de cristaux de dolomite de même nature que ceux du ciment primaire des faciès bioclastiques dolomitiques. Ces éléments sont inclus dans un sédiment très fortement imprégné de goethite (e), renfermant des débris benthiques et assez riche en Foraminifères pélagiques. L'élément clair f n'est pas remanié : il s'agit d'un stade phosphaté faisant suite au stade ferruginisé ; il comporte des Foraminifères de l'étage bathyal (*Pyrgo* g) ; les éléments bioclastiques des stades e et f correspondent à un mélange de formes profondes et pélagiques et de fins débris de plus faible profondeur, probablement amené par les courants.

Figure 2. Détail d'un élément dolomitique tel que c figure 1. Cet élément diffère du faciès type à *Halimeda* par la prédominance des Corallinacées (a) parmi les débris bioclastiques. On note cependant la présence de quelques débris d'*Halimeda* (b). On distingue nettement le fin ciment primaire limpide. Débris et ciment sont dolomitisés. Il manque ici les cimentations de pores décrites dans le faciès à *Halimeda*, les cavités ayant été tôt obturées par les sédiments ferrugineux (c).





## PLANCHE 18

### Roches ferrugineuses et phosphatées remaniant les calcaires dolomitiques.

R 16, suite.

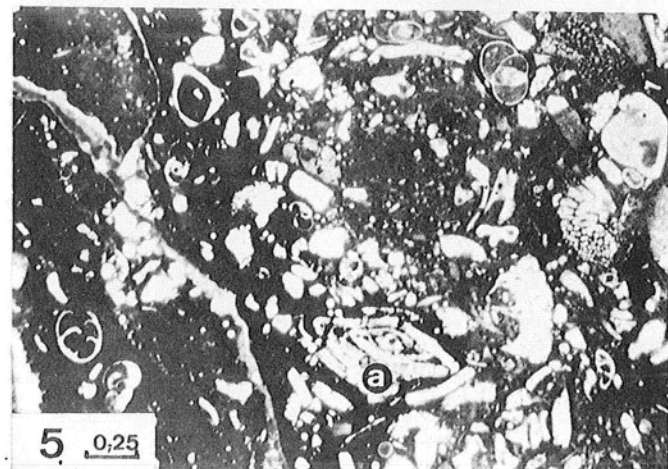
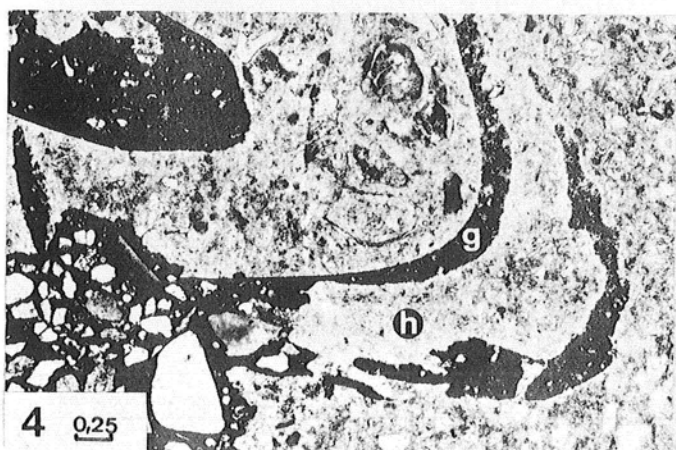
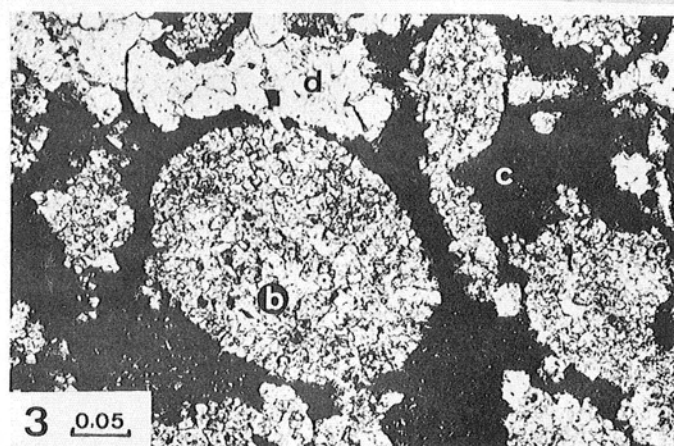
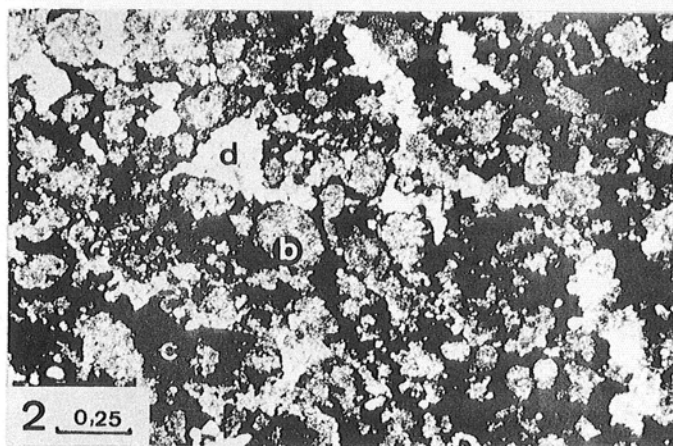
Figure 1. Vue d'ensemble, figure 2-4 détails.

L'élément dolomitique (a figure 1, détails figure 2 et 3) est presque exclusivement composés de péloïdes (b, figure 2 et 3), totalement ou partiellement transformés en dolomite, accompagnés de très rares Foraminifères pélagiques (Globigérines). Ces péloïdes pourraient résulter de l'activité d'Algues. Goethite (c) et calcite spartique (d) en mosaïque occupent les cavités de la roche, originellement très poreuse.

L'élément dolomitique est inclus dans une matrice ferrugineuse à nombreux débris (Bryozoaires, Algues calcaires ...) assez bien classés (e). Les stades suivants sont successivement phosphatés (f) et ferrugineux (g). En f, les débris sont noyés dans une micrite phosphatée. A noter que le Gastéropode (h) empli de sédiment phosphaté, a subi postérieurement une dissolution, puisque le test est rempli par le stade ferrugineux g (détail fig.4).

Figure 5. Contamination du Pliocène phosphaté par la goethite (LN). Parmi des débris de diverse nature on note la présence d'une Amphistépine (a). Le test de ce Foraminifère pliocène est partiellement remplacé par la goethite.





## PLANCHE 19

### Roches ferrugineuses et phosphatées remaniant les calcaires dolomitiques

R 16, fin.

La planche correspond à la partie c de la fig.1, planche 16.

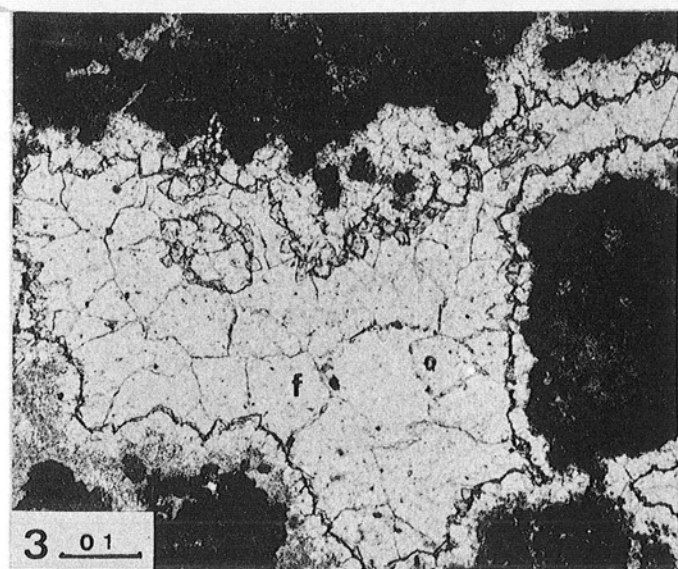
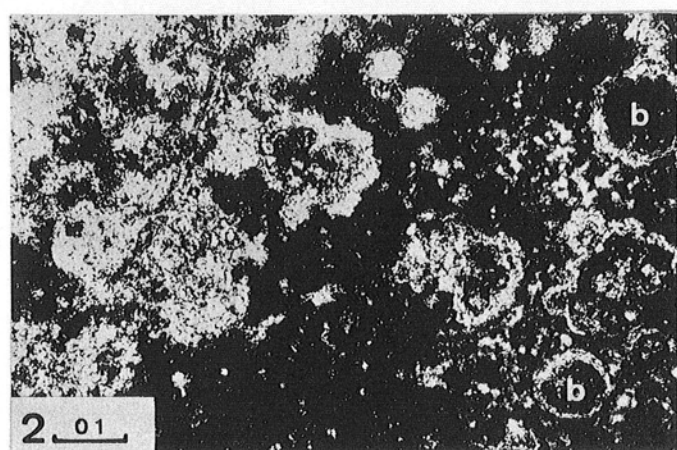
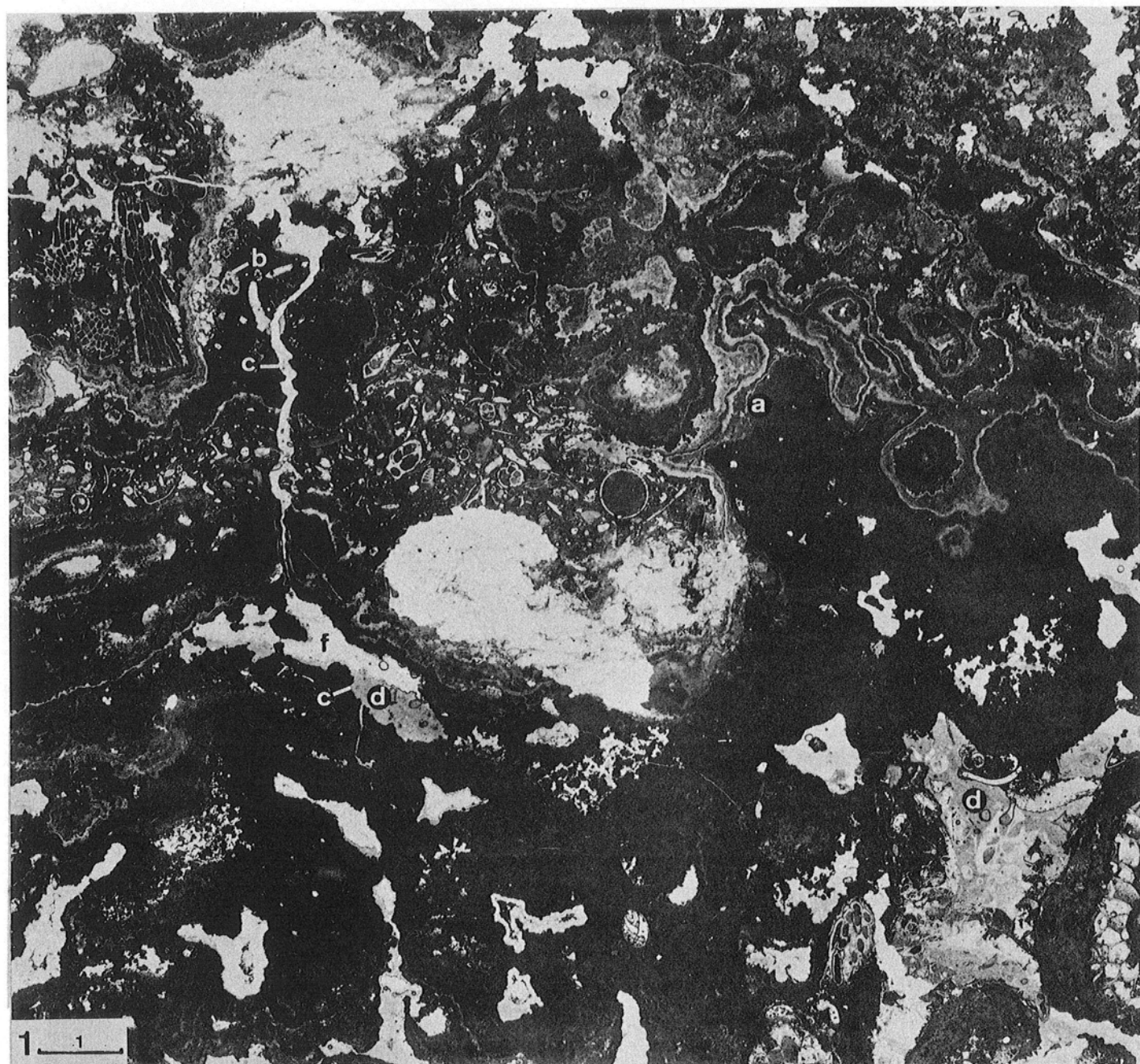
Figure 1 : vue d'ensemble

Figure 2-3 : détails (LN)

La goethite peut former d'épaisses croûtes ne renfermant qu'une faible quantité d'organismes. Ces croûtes sont constituées de micro-couches superposées, à contour extrêmement sinueux qui évoquent l'aspect des stromatolites algaux (a); à fort grossissement, on observe au sein des micro-couches des globules en partie calcitisés, en partie ferruginisés (b, fig.1 et 2) ; ces structures doivent correspondre, comme dans le calcaire à *Halimeda*, à des Algues Cyanophycées. Ces concentrations ferrugineuses ont probablement une origine biochimique. On aurait là un exemple de structure stromatolitique relativement profonde.

Dans l'épaisseur des croûtes sont ménagées des microcavités, réunies en cascades par des filonnets (c). Ces pores sont partiellement emplis de sédiments internes, comportant des débris marins inclus dans une micrite phosphatée (d). De la calcite magnésienne sparitique achève de remplir les vides (f) ; la figure 3 donne le détail des mosaïques calcitiques ; on notera que la taille des cristaux n'augmente pas systématiquement des parois vers le centre de la cavité et que leurs limites ne sont pas planes; en outre, ils sont pourvus de l'extinction ondulante, caractéristique de la calcite sous-marine, et due à sa structure fibreuse. Ces mosaïques sont analogues à celles que l'on observe dans le calcaire à *Halimeda*, après la mise en place de la goethite (comparer par exemple avec la figure 3, planche 13). Elles peuvent être à l'origine des mosaïques fibreuses radiaxiales (radiaxal fibrous mosaics Bathurst 1959) qui, dans les roches anciennes, proviennent du remplacement d'un ciment carbonaté aciculaire (Kendall et Tucker, 1973).





## PLANCHE 20

### Roches ferrugineuses et phosphatées.

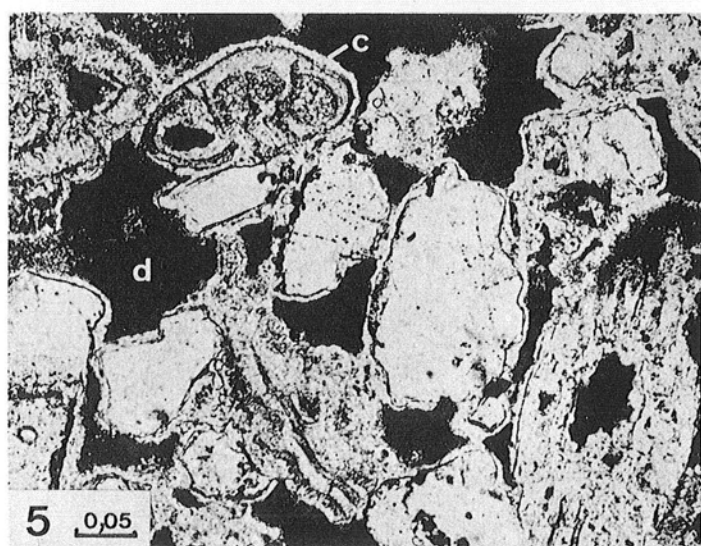
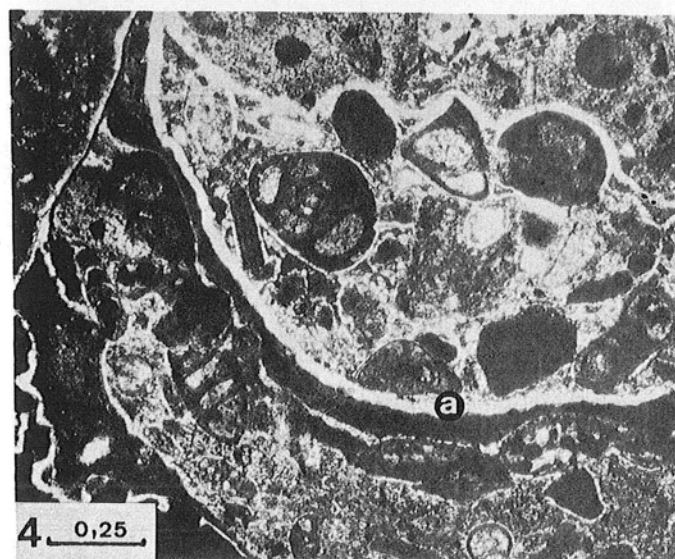
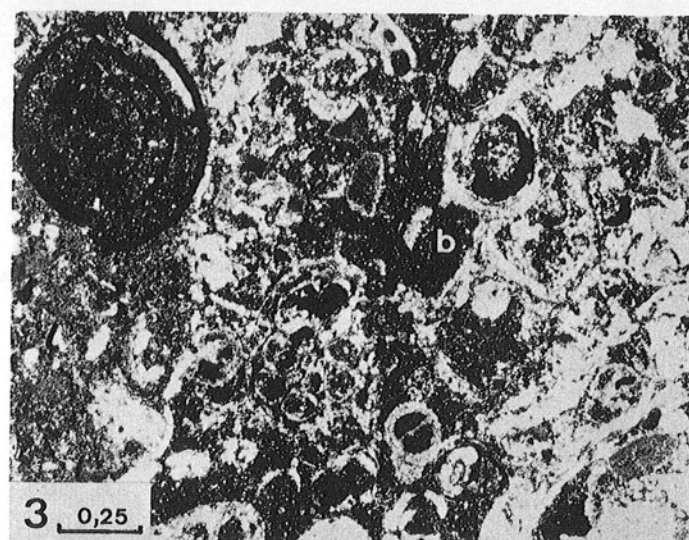
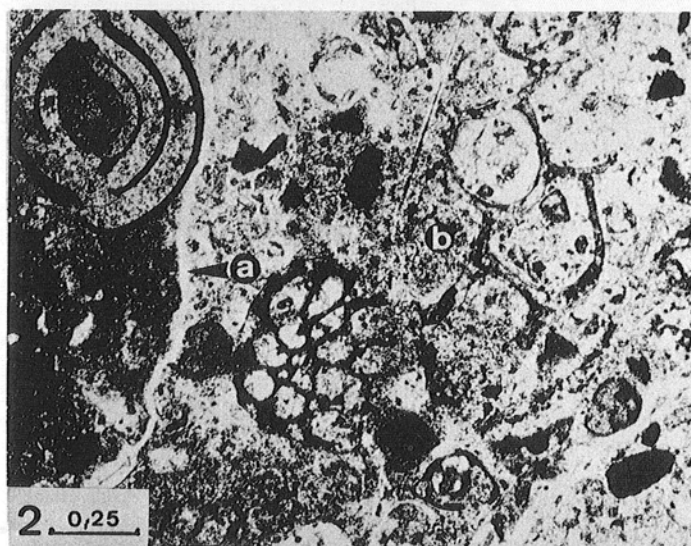
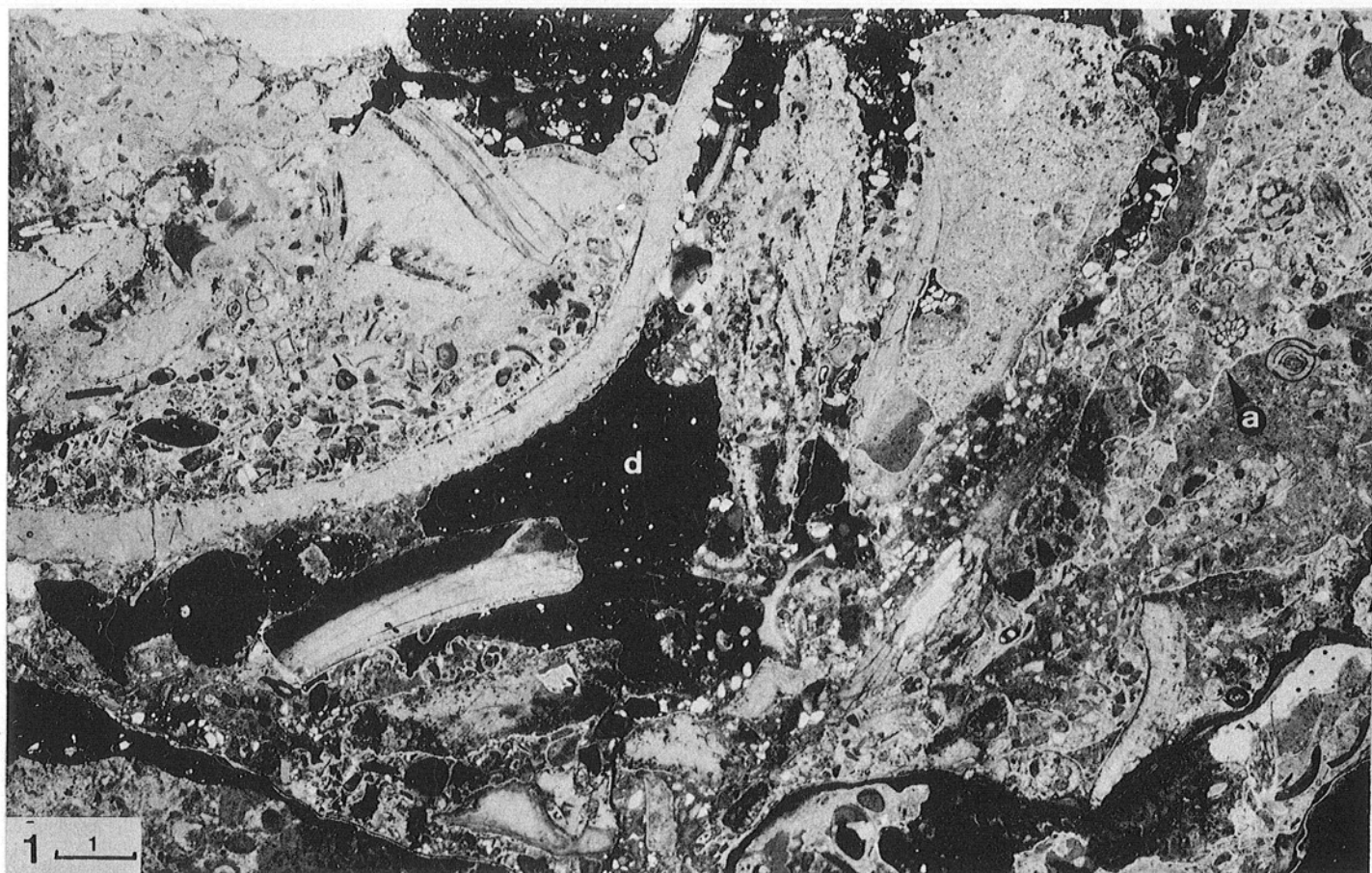
Figure\_1 : vue d'ensemble (LN).

Figure\_2-5 : détails (LN).

Figure\_3-4 : détails(LP).

Les dépôts phosphatés se présentent en une succession de microstades limités par des liserés de phosphate biréfringent (a, fig.1 2,4). Cette disposition résulte d'une sédimentation sporadique, entrecoupée de périodes d'absence de dépôt, probablement sous l'influence des courants. Les débris, qui ne sont ici pas affectés par la phosphatisation, sont inclus dans une micrite phosphatée (b), jaunâtre en LN, à inclusions noires, éteinte en LP (figure 3). Les débris peuvent être également directement cimentés par une frange de phosphate biréfringent (c, fig.5) (R 68, Sud de Giens, entre 350 et 200 m). Dans les exemples présentés sur cette planche, la mise en place de la goethite (d) est postérieure aux dépôts phosphatés ; il n'en est pas toujours ainsi.





## PLANCHE 21

### Roches ferrugineuses et phosphatées (fin) : exemple d'épigenisation.

R 184, SW banc des Blauquières, entre -300 et -250 m).

Figure 1 : vue d'ensemble.

Figure 2-4 : détails (LN).

Les tests de pélécytopes représentent la majorité des constituants bioclastiques (a, fig.1). Certains débris sont superficiellement glauconitisés (b, fig.3), la partie centrale étant transformée en phosphate (c, fig.3) d'autres sont entièrement phosphatisés (d, fig.2) ou transformés en goethite (e, fig.1).

Le ciment primaire, originellement aragonitique, est également transformé en goethite (f, fig.2 et 3) et en phosphate (g, fig.2), particulièrement à l'extérieur des coquilles. L'aragonite située à l'intérieur des coquilles closes est peu affectée (h, fig.1 et 3) ; elle conserve tout ou partie de ses propriétés optiques.

La calcite sparitique qui a cristallisé après l'aragonite et avant la phosphatation a les caractères du minéral précipité sous l'influence de l'eau douce : elle forme des mosaïques de cristaux à extinction franche (i, fig.2 et 3). Ces cristaux sont corrodés par le phosphate (j, fig.3), la goethite, ou la glauconie (k, fig.2). Certains débris ou parties de débris sont recristallisés en calcite de même nature (l, fig.1 et 4).

La calcite cristallisée après la phosphatation et la ferruginisation, a les caractères marins : les cristaux sont fibreux, leur extinction est ondulante (m, fig.1 et 5). Elle remplit les cavités tapissées de phosphate très bien cristallisé (n, fig.5) et de goethite (o, fig.5). La section des prismes de phosphates est hexagonale (p, fig. 5) (forme de l'apatite).



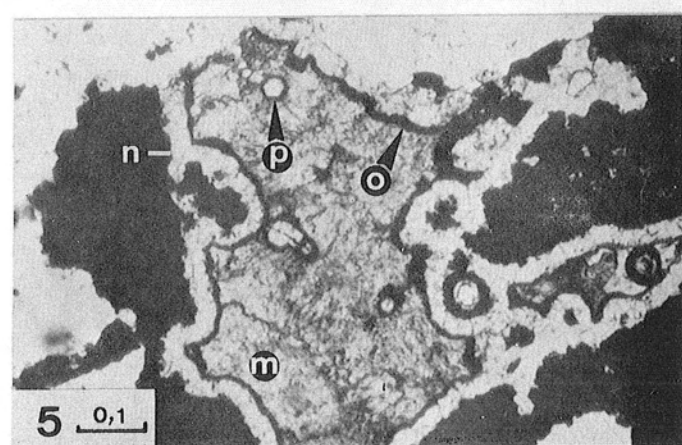
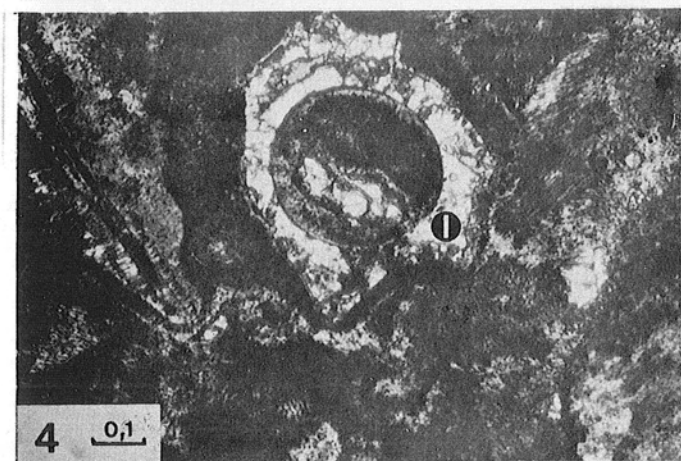
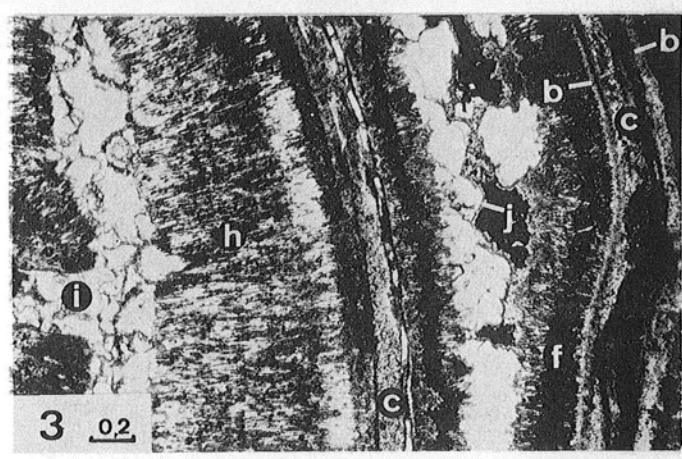
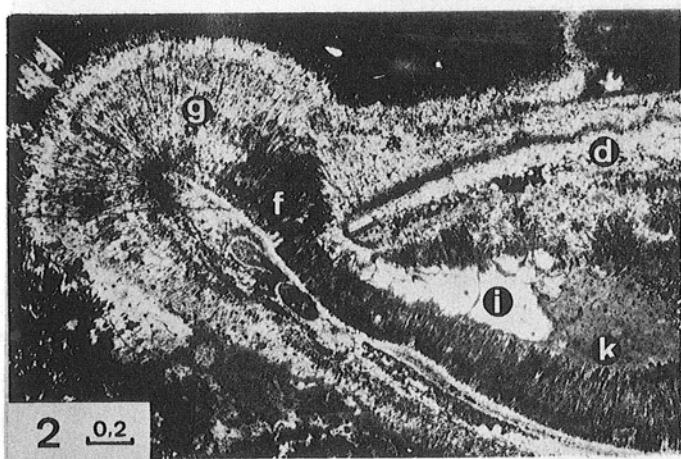


PLANCHE 22-23-24

LES ROCHES FERRUGINEUSES

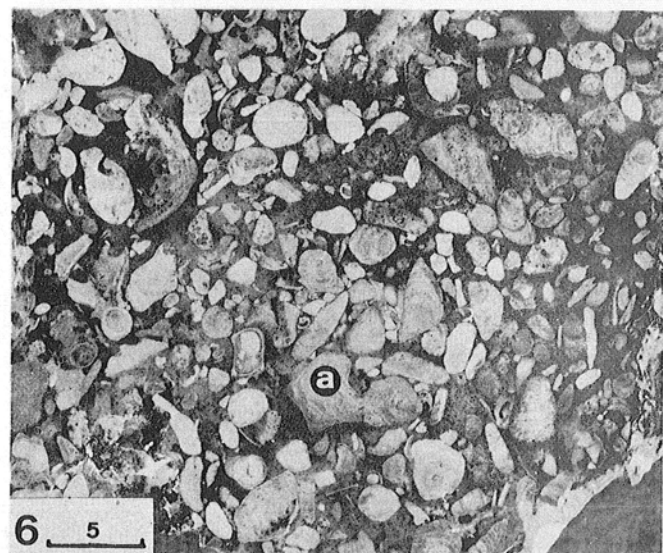
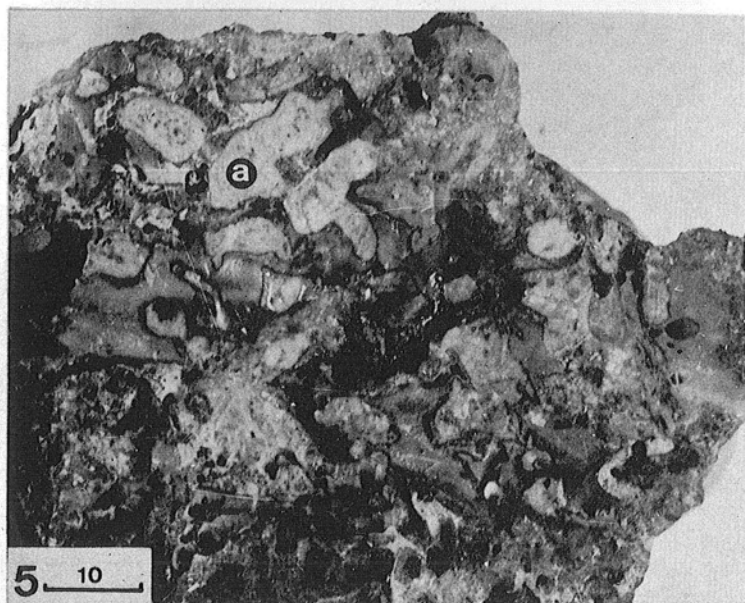
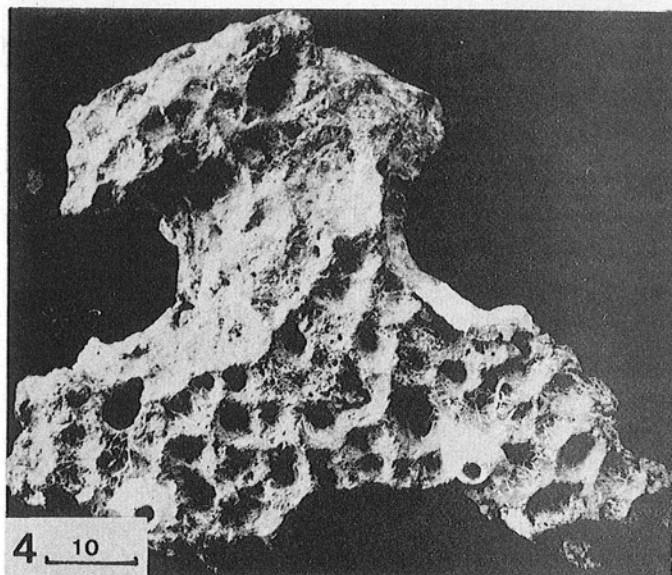
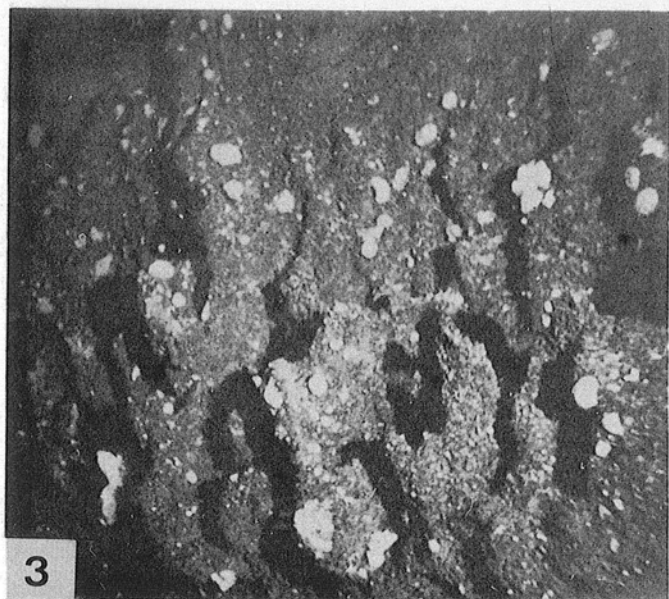
## PLANCHE 22

### Les roches ferrugineuses.

Figure 1. Aspects des dalles de calcarénites ferrugineuses. Les vues ont été prises à bord de la soucoupe plongeante, entre 200 et 300 m (SP 466). La figure 1 montre la succession de deux couches, en marches d'escalier ; la partie supérieure de la dalle inférieure est recouverte d'une faible épaisseur de sédiments vaseux dans lequel sont dispersés des débris d'organismes (Coraux, Bryozoaires). Les ombres portées permettent de se rendre compte que la surface des pans verticaux est très irrégulière ; en particulier, la figure 3 évoque un modelé de dissolution.

Figure 4. La surface de certains échantillons de calcaires ferrugineux à Corallinacées porte des cupules, probablement dues à une dissolution.

Figure 5-6. Sections polies des calcaires ferrugineux à Corallinacées. Les Algues calcaires (a) sont ferruginisées, contrairement aux faciès homologues du Pliocène (voir fig.2, planche 9).



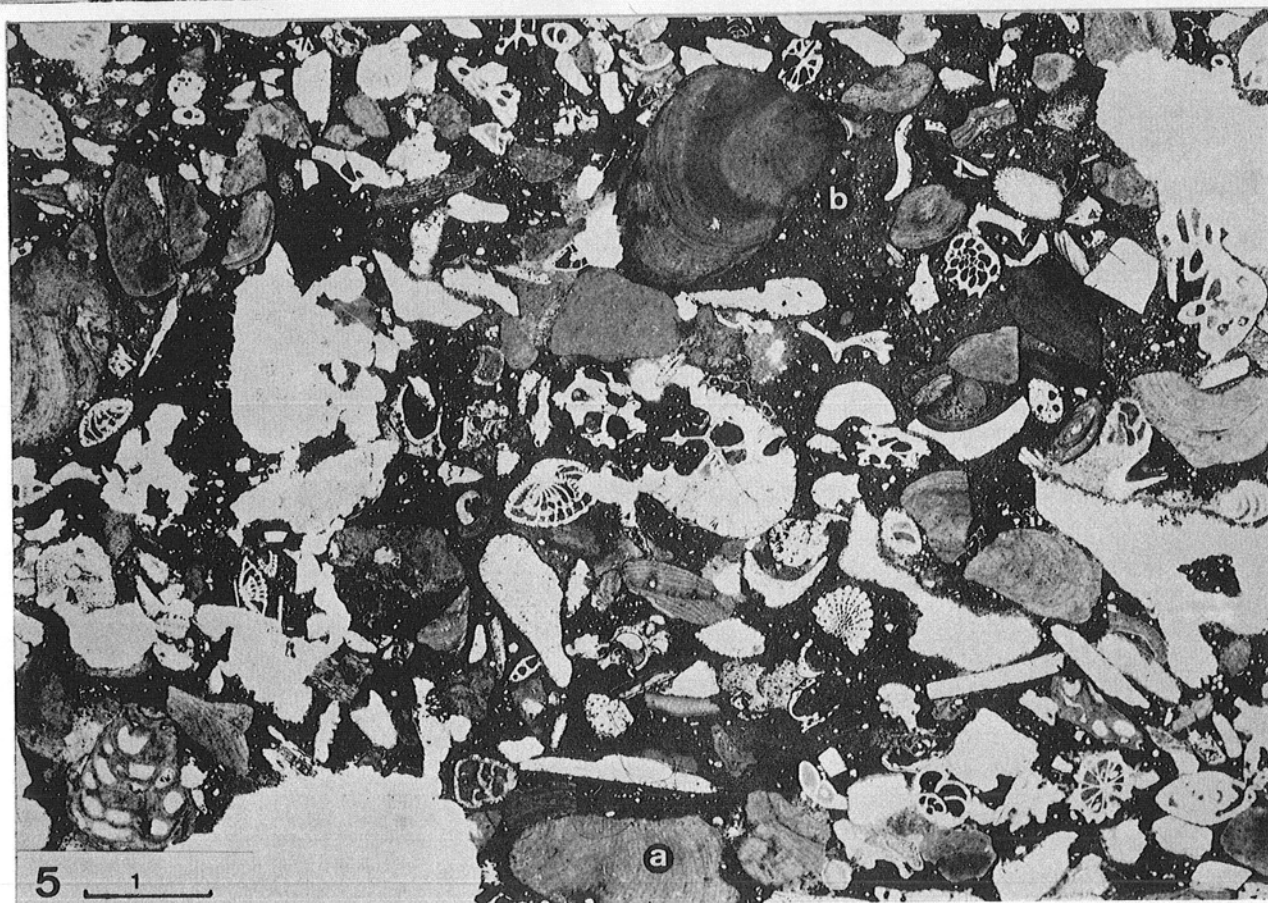
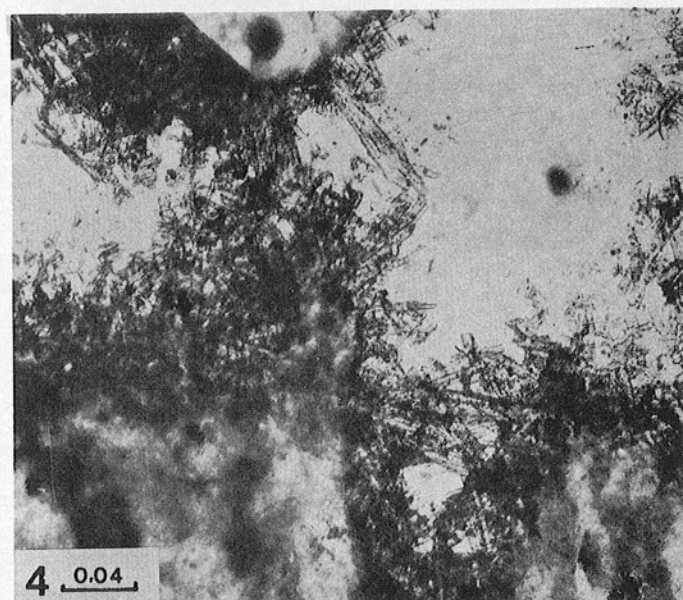
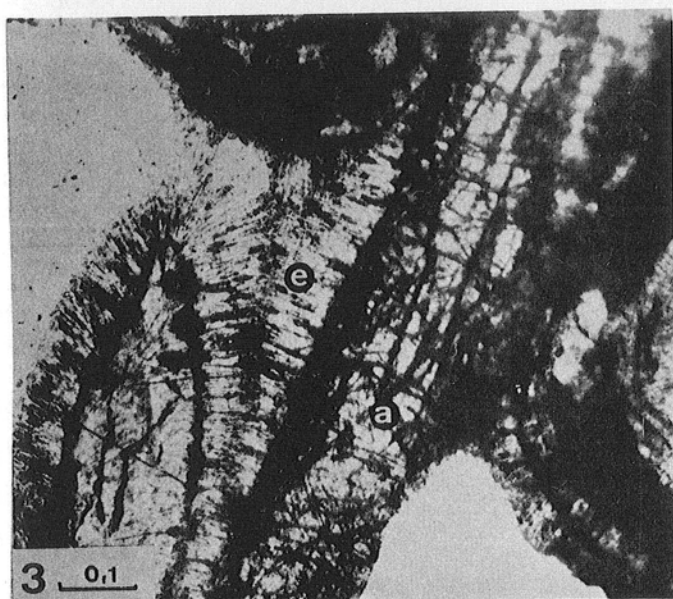
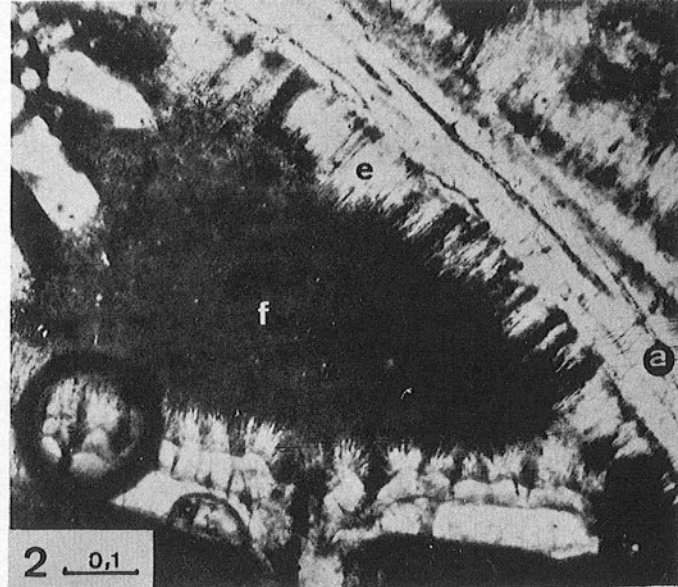
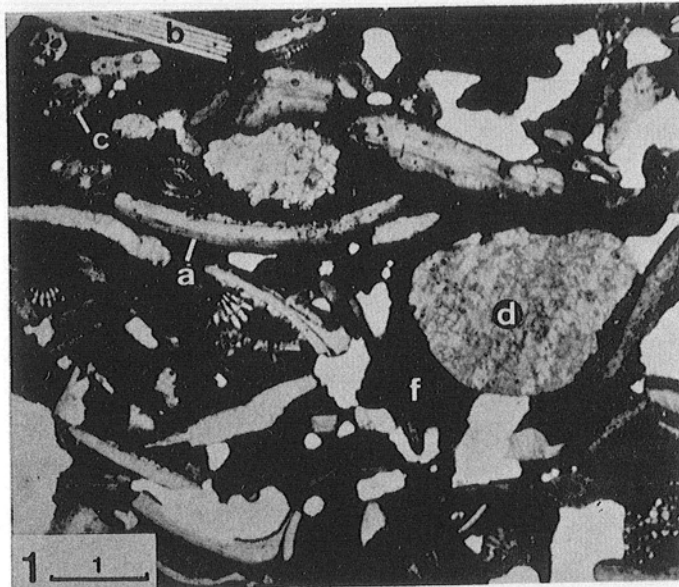


## PLANCHE 23

### Les calcaires ferrugineux (suite).

Figure 1-4. Microfaciès d'un calcaire ferrugineux à cimentation aragonitique (R 165, canyon de Planier -275 m). Les principaux constituants sont : des débris de mollusques très cariés (a), d'Echinodermes (b), des Foraminifères benthiques (c, Elphidium), des graviers gréseux (d). Le ciment primaire est en aragonite (e, fig.2 et 3), détail fig.4), noyée dans une micrite ferrugineuse (f).

Figure 5. Microfaciès d'une calcarénite pléistocène à Corallinacées (R 18). Les Corallinacées (a) et les autres débris (Bryozoaires, Echinodermes, Foraminifères) sont unis par une micrite ferrugineuse à fins débris (quartz, spicules d'Ascidies, Foraminifères pélagiques) (b). La texture est du type packstone.



## PLANCHE 24

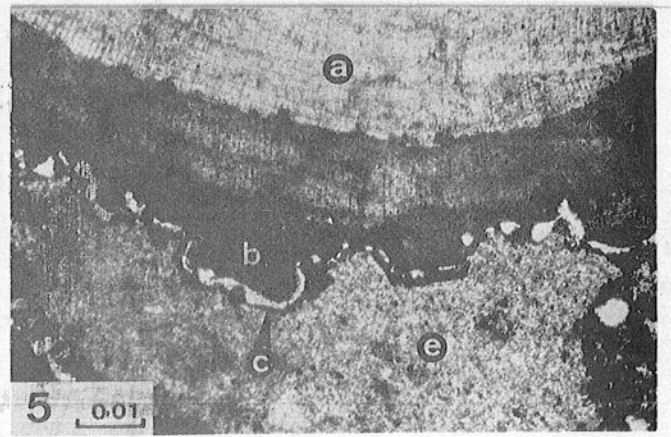
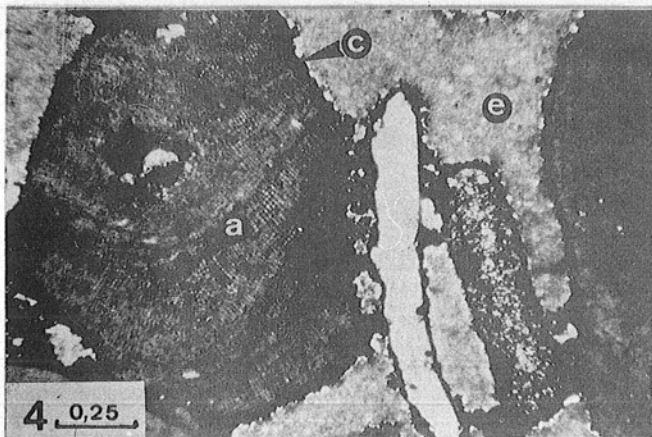
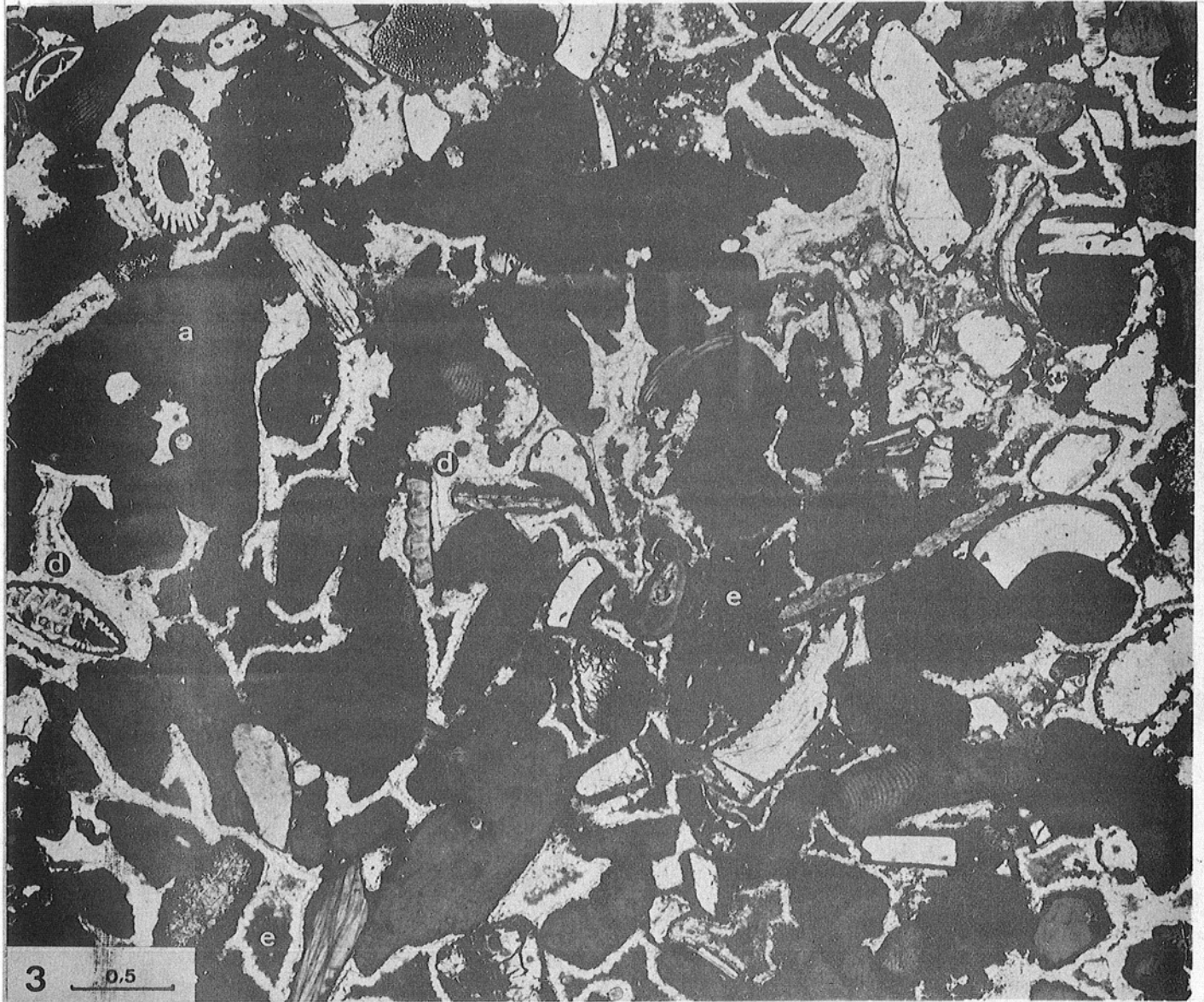
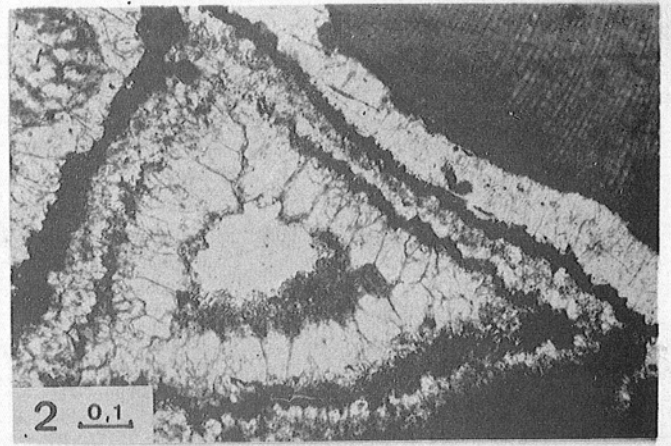
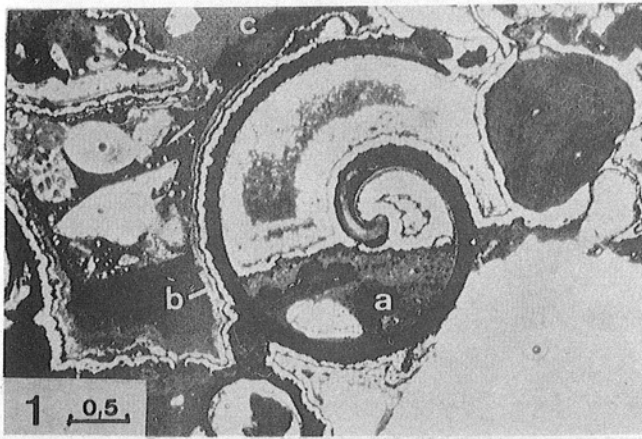
### Les calcaires ferrugineux (fin).

Autres modèles de lithification des calcaires ferrugineux.

Figure 1-2 (R 47) LN. Les débris organiques sont cimentés par une micrite qui a rempli également les tests de Gastropodes. Des couches de calcite magnésienne sparitique séparées par des liserés de goethite ont précipité aux murs des cavités (b). Les vides de grandes dimensions sont remplis d'une micrite ferrugineuse (c) contenant des fragments organiques. Les petits espaces interparticulaires (fig.2) sont presque entièrement obturés par les couches de calcite magnésienne fibreuse et de goethite.

Figure 3-5 (LN). Certains faciès sont dépourvus de micrite syngénétique. Leur texture est alors du type grainstone. Les débris (en majorité des Corallinacées a) à la périphérie desquels s'est déposée une couche de goethite (b, fig.5) (peut être de précipitation biochimique) sont cimentés par de la calcite magnésienne fibreuse. Celle-ci est limitée à un fin liseré (c, fig.4, détail fig.5) ou s'est développée en plusieurs couches séparées par des films de goethite (d, fig.3), comme dans le faciès précédent. Des sédiments internes de micrite magnésienne, renfermant de très rares organismes pélagiques, comblent les vides (e).







## PLANCHE 25

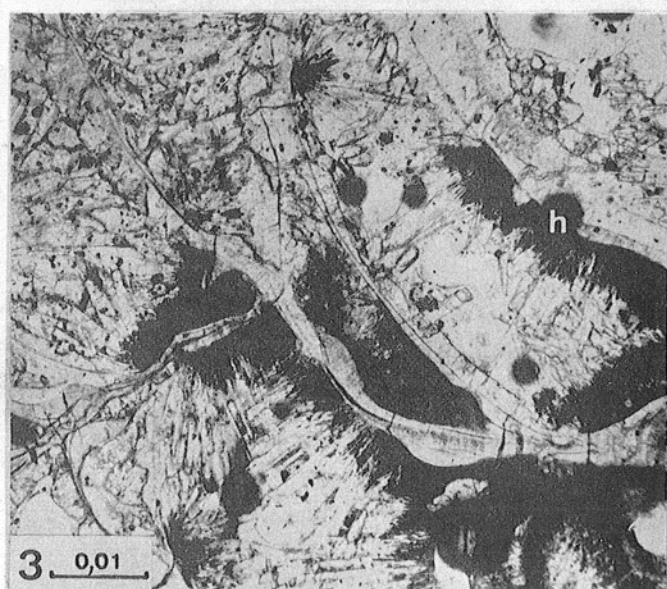
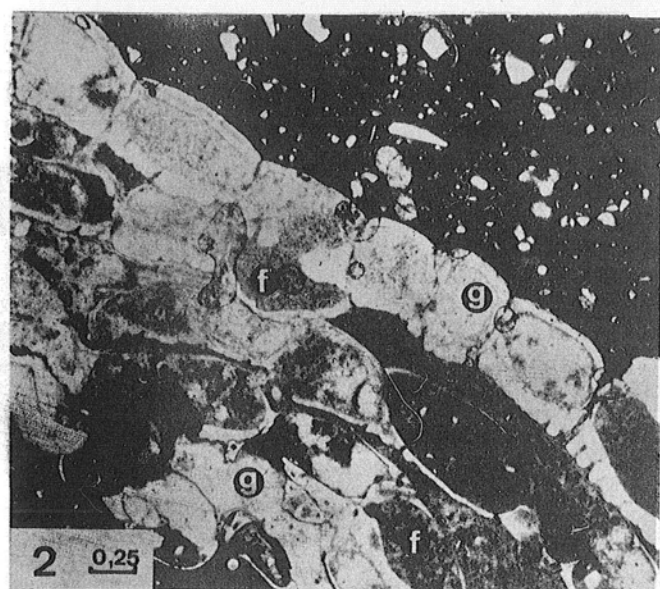
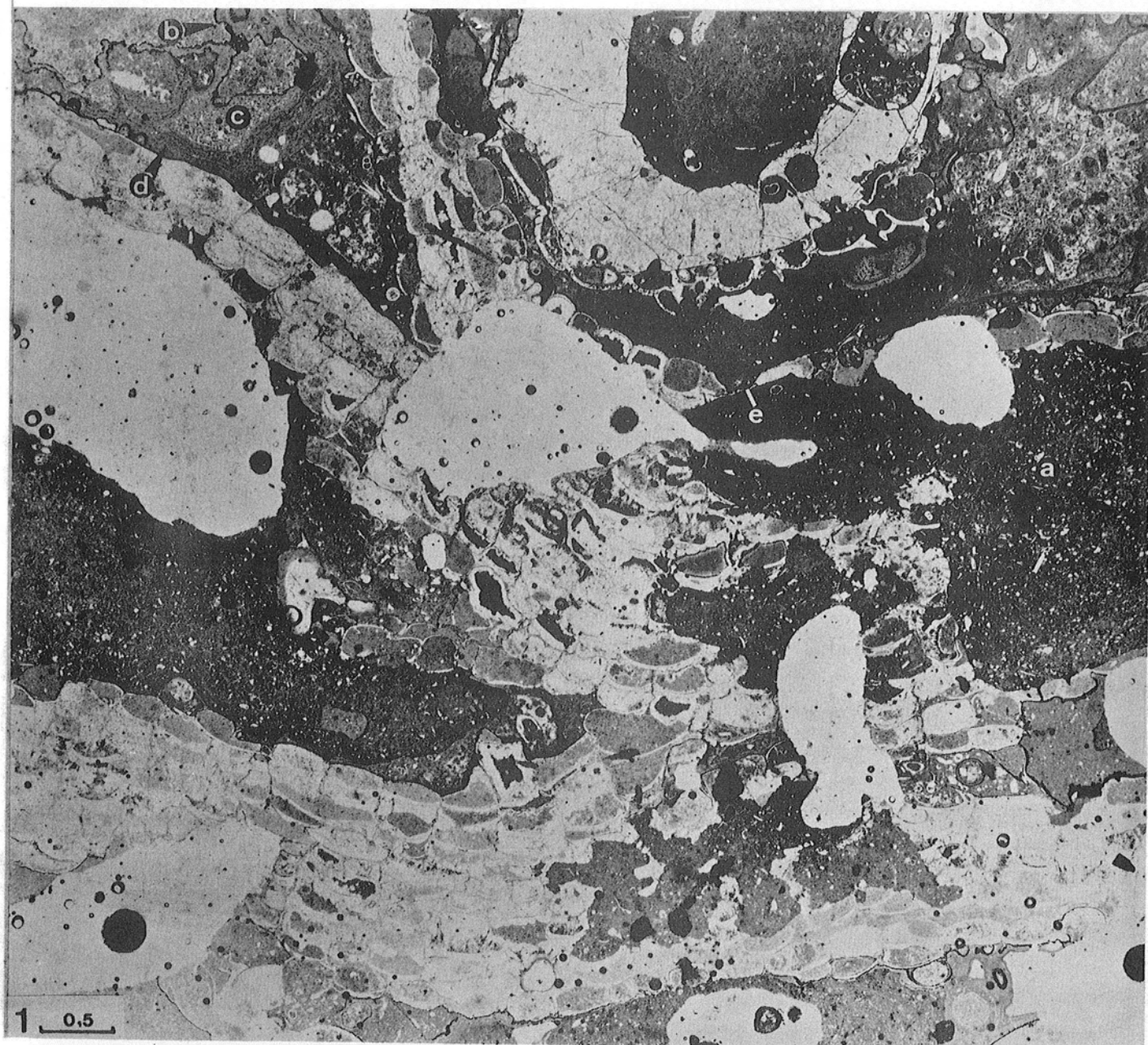
Roches postérieures à la phase majeure de ferruginisation. Faciès profond à Bryozoaires (150 m, canyon de Cassidaigne, W Esquive).

Figure 1 : vue d'ensemble.

Figure 1-2 : détails (LN).

Ce faciès est constitué essentiellement de micrite en calcite magnésienne, à fins débris minéraux et pélagiques (a), périodiquement encroûtée par des colonies de Bryozoaires. Les multiples stades de micrite, souvent limités par des films d'oxyde de fer (b), ont des textures très variables ; la micrite peut être massive (a), péloïdale (c), organisée en fines laminites sinueuses (d) d'origine vraisemblablement biochimique (films d'Algues ou de Bactéries).

Les colonies de Bryozoaires sont également recouvertes d'un film d'oxyde de fer ; elles sont souvent perforées. Les perforations anciennes sont emplies de micrite (e). Les remplissages des loges sont d'une grande diversité : micrites magnésiennes de différentes textures (f), calcite magnésienne sparitique (g), aragonite. Les cristaux d'aragonite sont toujours associés à des oxydes de fer noirs (h, fig.3), ce qui n'est pas le cas de la calcite magnésienne sparitique. Ces oxydes de fer, qui servent de "germes" aux bouquets d'aragonite, sont vraisemblablement le résultat de la décomposition de matière organique par des Bactéries ; l'aragonite serait donc d'origine biochimique (comparer avec les cristallisations de pores du faciès dolomitique à *Halimeda*, planche 14, fig.5-6).



## PLANCHE 26 ET 27

Roches postérieures à la phase majeure de ferruginisation.  
Faciès mixte (R 52).

Figure 1 et 4 : vues d'ensemble.

Figure 2-3-5-6 : détails (LN).

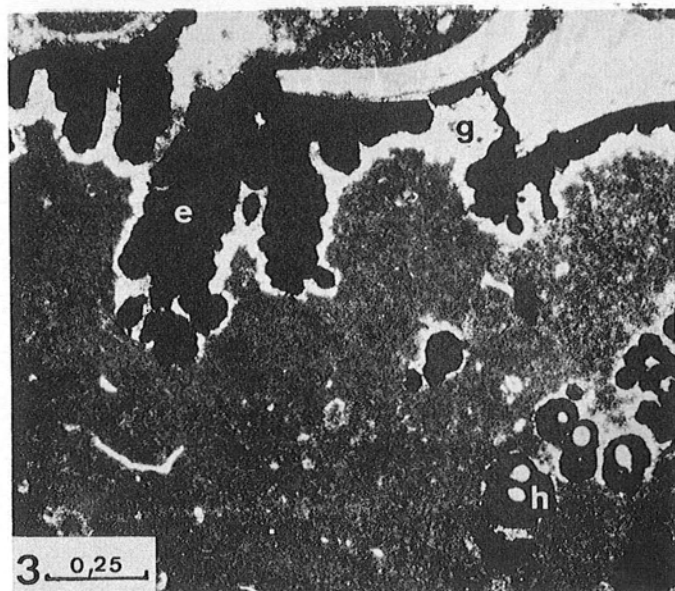
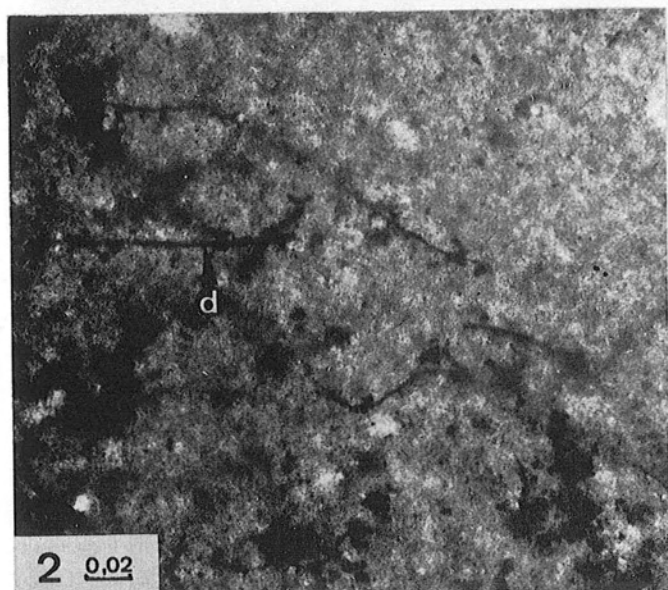
Ce faciès correspond à la mise en place de matériel d'origine peu profonde au sein d'une sédimentation fine, à caractère profond, probablement provoquée par une variation du niveau de la mer.

A la base, on distingue un certain nombre de microcouches micritiques, de texture variable (massive a, péloïdale b), renfermant de fins débris (en particulier ostracodes). Ces microcouches sont limitées par des enduits d'oxydes de fer (c), dont le contour extrêmement irrégulier évoque une corrosion ; celle-ci est probablement d'origine biochimique, ainsi que la formation des enduits ferrugineux : au voisinage des micro-joints, des filaments se développent (d, fig.2) en cariant la micrite sous-jacente.

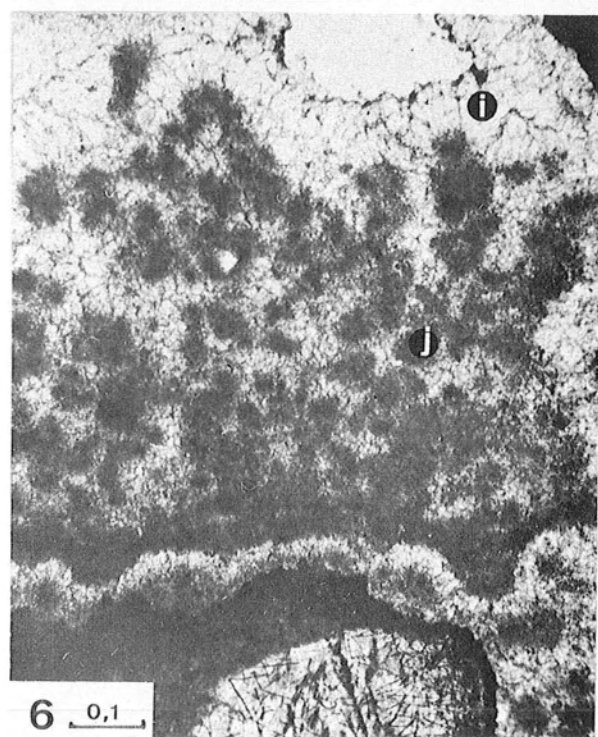
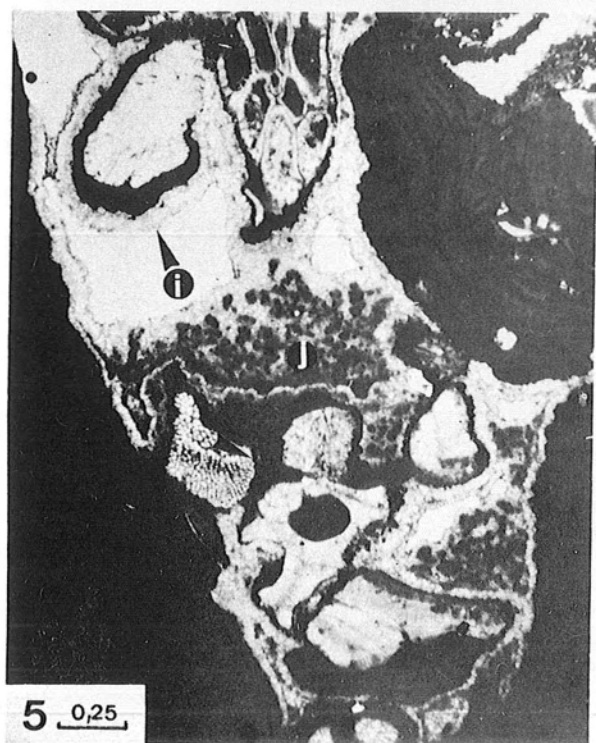
A la partie supérieure, des éléments bioclastiques viennent troubler la sédimentation de type pélagique. Les débris divers (Coralli-nacées, Mollusques, Bryozoaires, Echinodermes) sont eux-mêmes encroûtés d'oxydes de fers noirs (e, détail, fig.3), ces derniers forment des dépôts d'allure généralement stalactitique à la partie inférieure des débris ; cependant, dans certains cas, la polarité est inverse (f, fig.4). Ces produits noirs sont entourés d'un liseré de calcite magnésienne sparitique (g, fig.3). Il est probable qu'ils représentent des vestiges d'anciennes colonies algales ou bactériennes, ferruginisées ou partiellement calcitisées (h, fig.3) (comparer avec les dispositions analogues du faciès dolomitique à *Halimeda*, planche 14, fig.5-6).

Les pores délimités par éléments bioclastiques voient se développer de la calcite magnésienne fibreuse cimentant des péloïdes micritiques (j) (sédiment interne).









## PLANCHE 28

### Roches postérieures à la phase majeure de ferruginisation.

Figure 1 à 3 : faciès peu profond (Sud île Riou, entre -160 -110 m). R 2.

Figure 1 : aspect macroscopique.

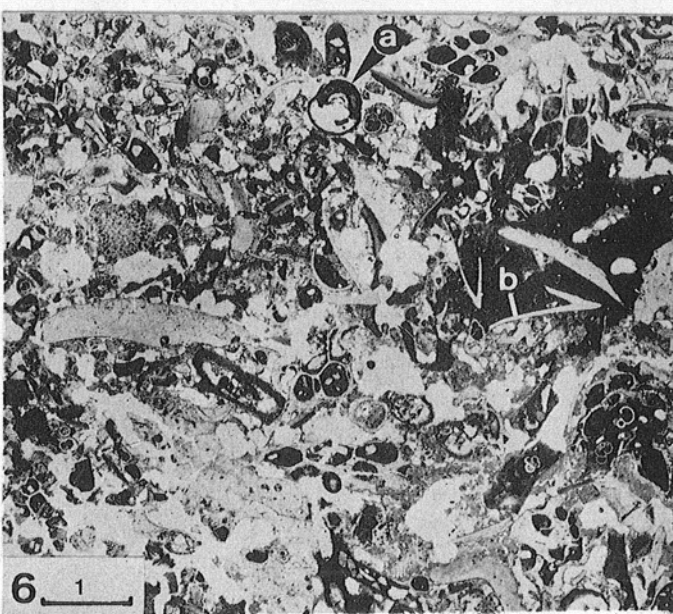
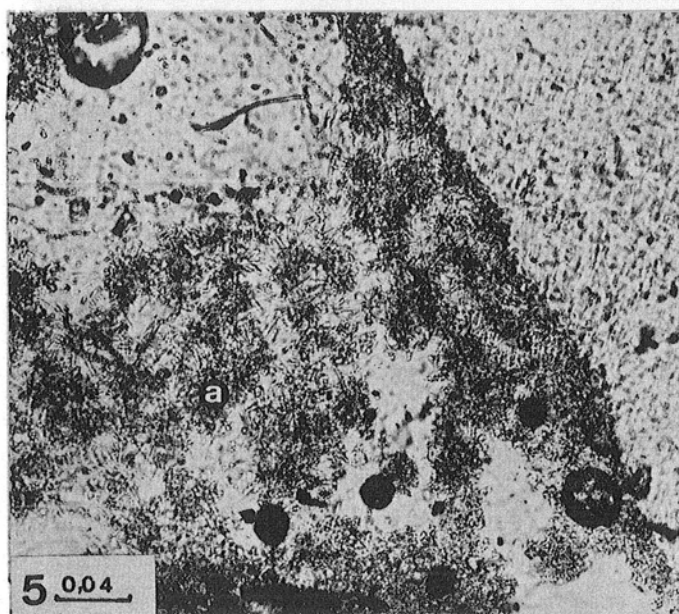
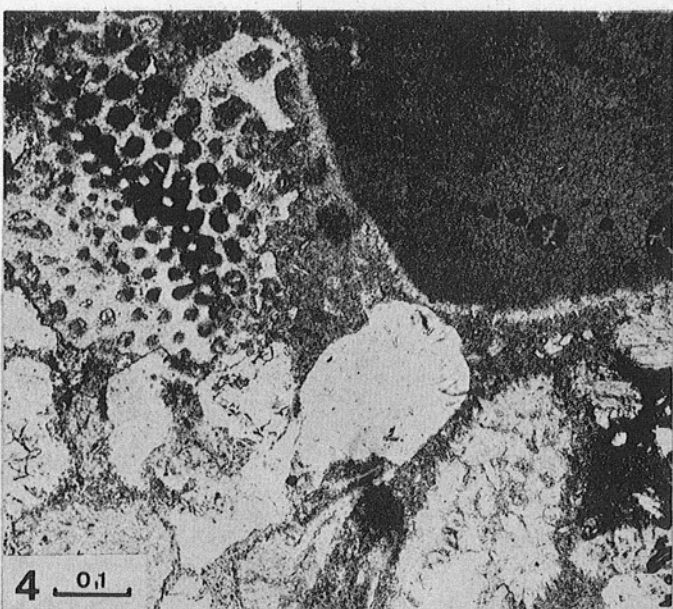
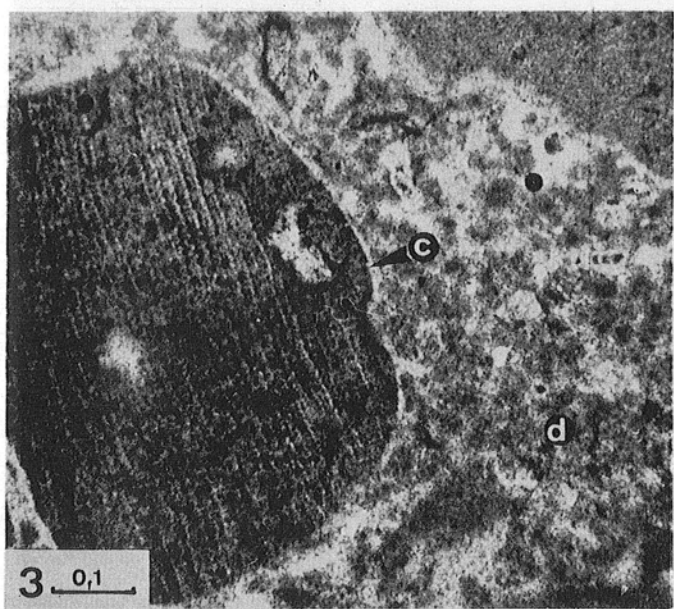
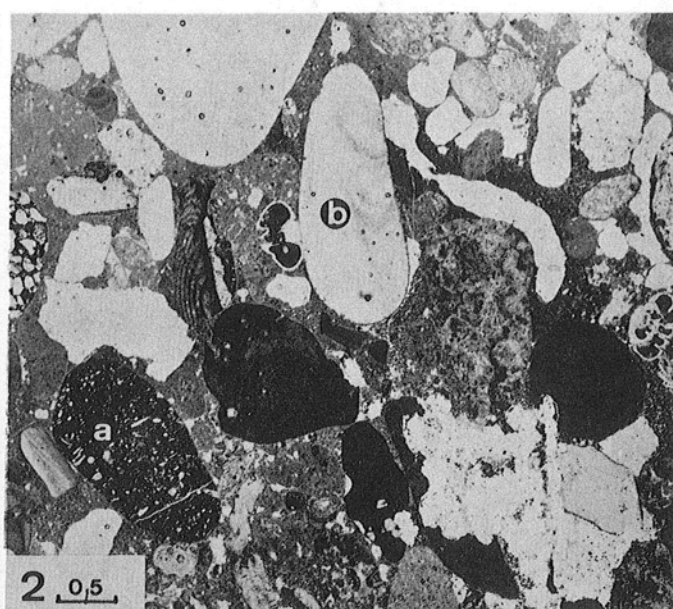
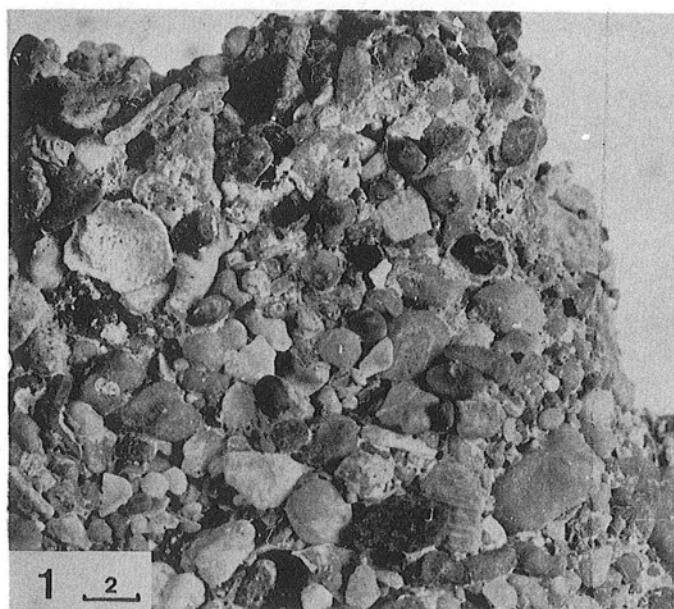
Figure 2-3 : microfaciès (LN).

La roche est composée de granules calcaires et siliceux très usés (A), et de débris organiques également très usés (par exemple débris de Mollusques b). Les éléments sont cimentés par une fine frange de calcite magnésienne (c, fig.3) les espaces interparticulaires étant occupés par un sédiment interne, en micrite péloïdale magnésienne (d, fig.3). L'allure des débris et la cimentation indiquent une lithification sous une faible tranche d'eau.

Figure 4-5 : faciès peu profond (R 31, SE banc des Blauquières entre 180 et 155 m). Ce faciès est voisin du précédent de par sa composition et sa cimentation primaire. Ici, la micrite interstitielle est cimentée par de fines aiguilles d'aragonite (a, fig.5).

Figure 6 : Microfaciès de l'échantillon R 30 (SE banc des Blauquières, environ -250 m, âge  $^{14}\text{C}$  :  $12.200 \pm 300$  BP). La présence de Foraminifères de type bathyal (*Pyrgo* a), de Foraminifères pélagiques, de Ptéropodes (*euclio pyramidata* b), indiquent un dépôt assez profond (au moins 150 m).

Les éléments bioclastiques circalittoraux (Mollusques, Echinodermes, Bryozoaires) ont probablement été entraînés jusqu'à cette profondeur par les courants. La cimentation très précaire est assurée par des péloïdes de calcite magnésienne.



## PLANCHE 29

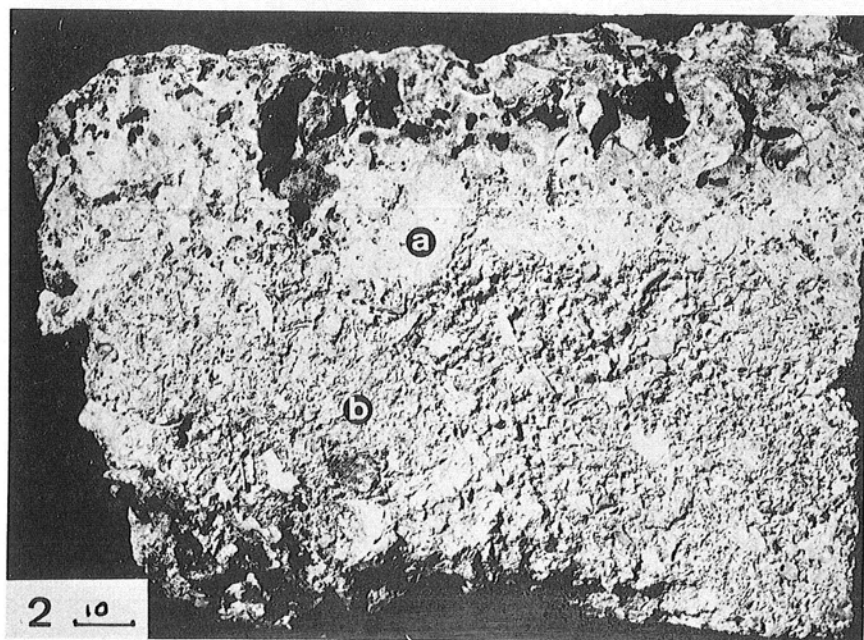
### Roches postérieures à la phase majeure de ferruginisation.

Figure 1 : Microfaciès de l'échantillon R 178 (tête orientale Cassidaigne, entre -450 et -300 m, âge  $^{14}\text{C}$  :  $27.900 \pm 1100$  B.P.).

Les débris organiques de type circalittoral, (Corallinacées a, Bryozoaires b, Mollusques c...), mal classés, parfois brisés, sont inclus dans une matrice micritique de calcite magnésienne. La présence de quelques Foraminifères profonds indique que la fraction sédimentaire circalittoral s'est mise en place à la profondeur où se trouve actuellement la roche, par glissement le long de la pente continentale, le niveau de la mer étant voisin de la rupture de pente.

Figure 2 : Aspect macroscopique en section de l'échantillon R 140 (voir microfaciès planche 30). La partie supérieure du bloc (a) est nettement plus indurée que sa partie inférieure (b), et activement perforée. La roche représente un fond durci (hard-ground) relativement récent.





## PLANCHE 30

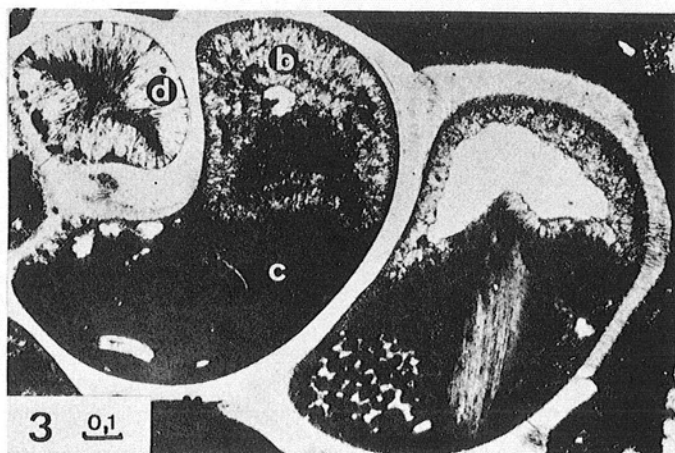
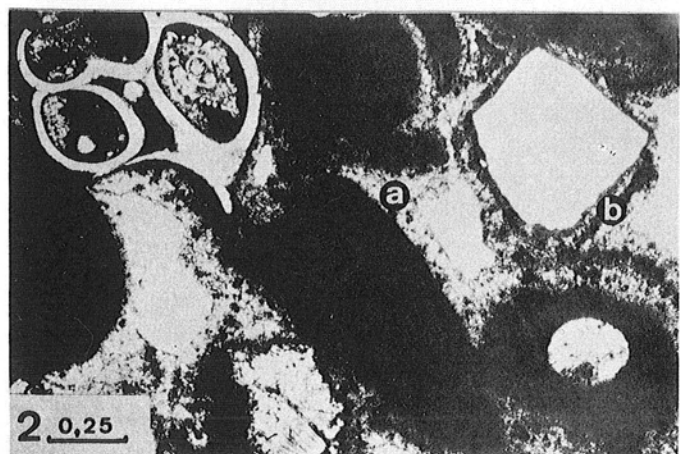
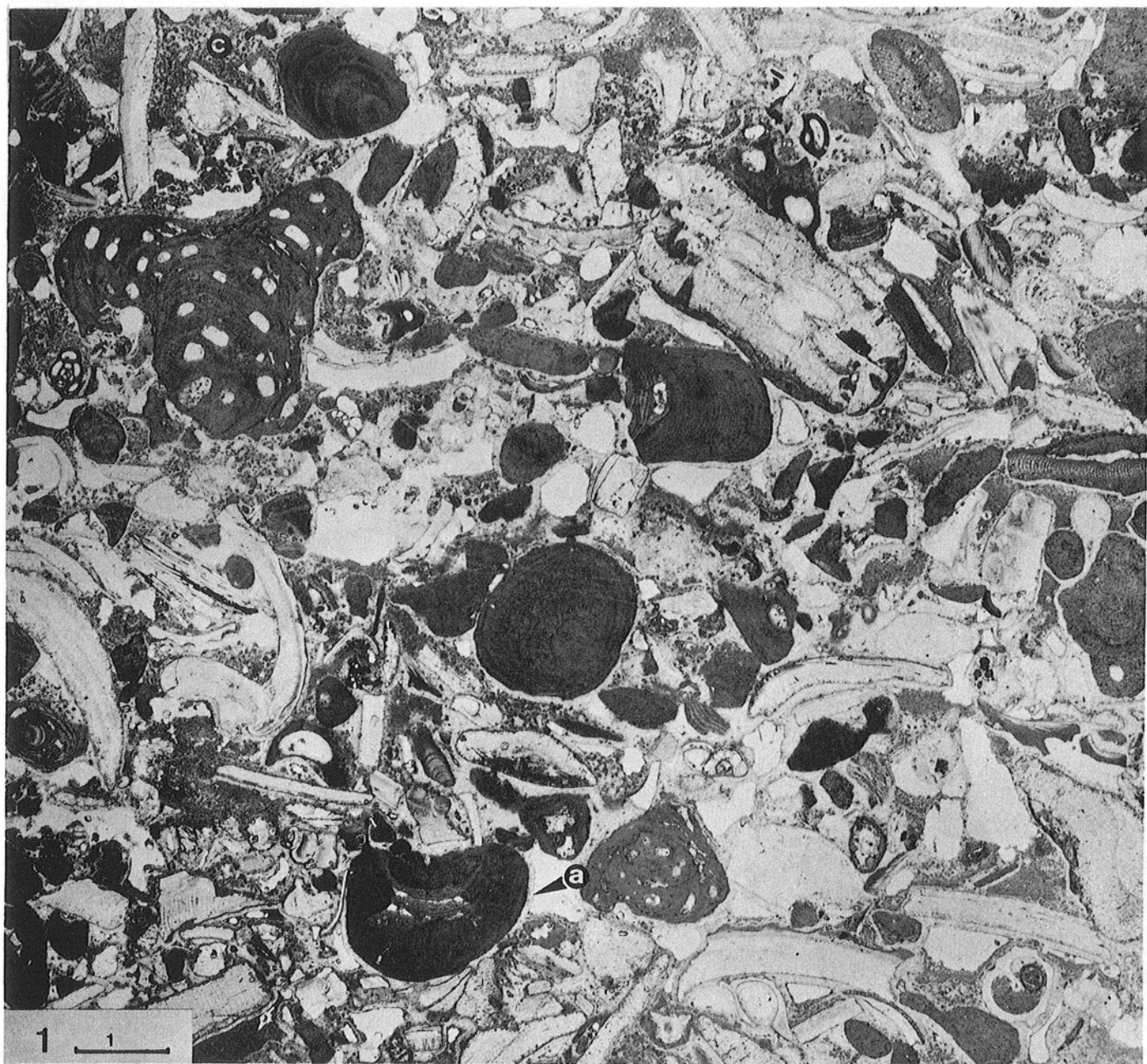
### Roches postérieures à la phase majeure de ferruginisation.

Microfaciès de l'échantillon R 140 (canyon des Stoechades, entre -340 et -220 m, âge  $^{14}\text{C}$  :  $24.400 \pm 300$  B.P.).

Figure 1 : vue d'ensemble.

Figure 2-3 : détails (LN) (voir aspect macroscopique planche 29, figure 2).

Les débris bioclastiques de type circalittoral sont cimentés par des franges isopaques de calcite magnésienne fibreuse (a), plus ou moins entremêlées de micrites (b). Des sédiments internes (micrites péloïdales cimentées par de la calcite magnésienne (c) emplissent les espaces interparticulaires. Certaines chambres d'organismes voient la cristallisation d'aragonite associée à des produits ferrugineux noirs (d), comme dans les loges de Bryozoaires du faciès de la planche 25 ; cette aragonite a probablement une origine biochimique. On peut faire les mêmes observations sur la mise en place de ce matériel que pour l'échantillon R 178. (planche 29). Ces deux faciès sont assez comparables aux calcarénites ferruginisées (voir respectivement planche 23, fig.5 et planche 24, fig.3). Dans les deux cas, l'accumulation de sédiments bioclastiques circalittoraux à profondeur relativement importante résulte du fait que le niveau de la mer était proche de la rupture de pente.



## PLANCHE 31

### Figure 1-3 : Les dépôts d'origine durancienne.

Figure 1 : Niveau consolidé de la sablière de Riou. Les graviers sombres sont des roches vertes d'origine alpine.

Figure 2 : Petits galets de roches vertes d'origine durancienne (variolite, serpentines, etc...) de la sablière de Riou.

Figure 3 : Petits galets de roches vertes d'origine durancienne en position sous-marine (à proximité de la balise de Cassidaine).

Les figures 2 et 3 sont à la même échelle ; la taille des galets des sablières est plus importante que celle de leurs homologues sous-marins situés plus à l'Est ; ces derniers montrent une usure du type émoussé - luisant, témoignant probablement d'une reprise marine d'un matériel originellement éolisé (aspect des galets des sablières).

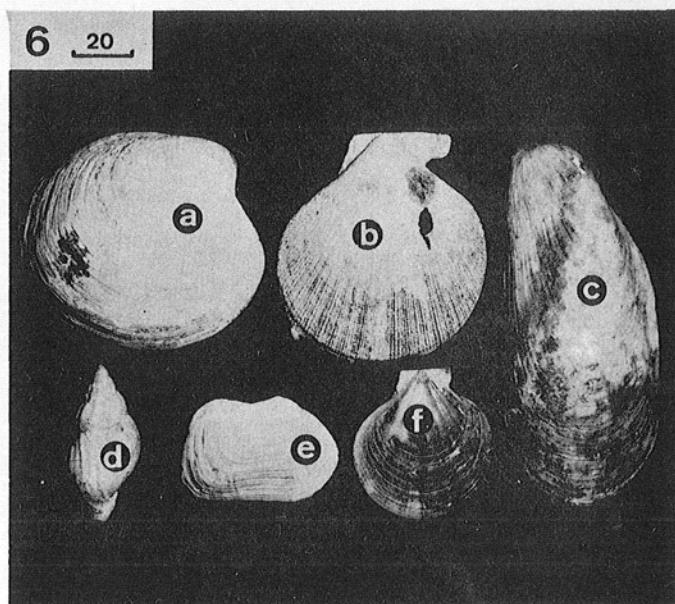
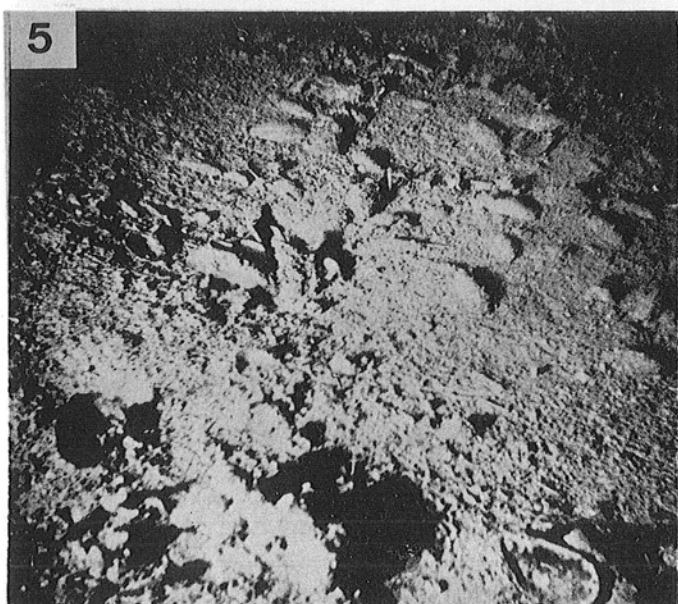
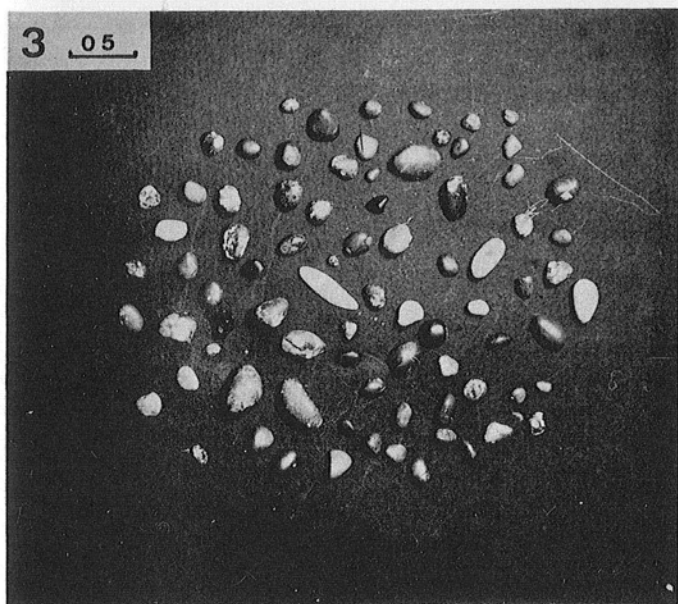
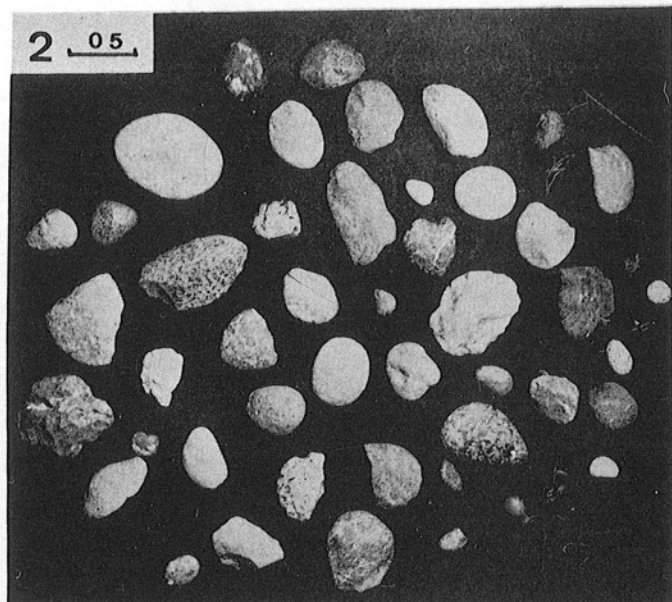
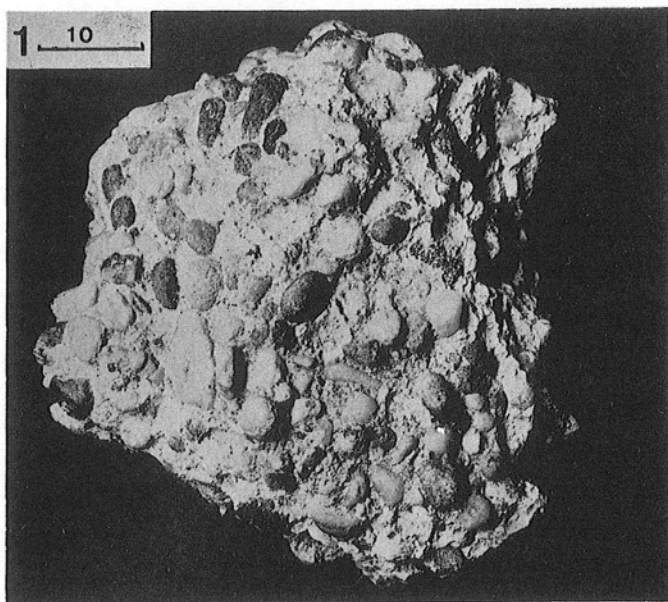
### Figures 4-6 : Les faunes nord-atlantiques de la fin du Würm.

Figure 4 : Coquilles de *Venus casina* (photographiées en soucoupe plongeante à -185 m au Sud de Riou). L'accumulation à proximité du bloc rocheux, sur la droite de la figure, est le fait d'un Poulpe.

Figure 5 : Coquilles de *Modiolus modiolus* et *Cyprina islandica*, photographiées en soucoupe plongeante à -350 m au Sud de Riou. L'âge  $^{14}\text{C}$  de ces coquilles est en moyenne de 12.000 ans BP. La fine pellicule de sédiment qui les recouvre atteste de la lenteur de la sédimentation.

Figure 6 : Les principales espèces nord-atlantiques de la fin du Würm : *Cyprina islandica* (a), *Chlamys islandicus* (b), *Modiolus modiolus* (c), *Buccinum undatum* (d), *Panopaea norvegica* (e), *Chlamys septemradiata* (f). On notera l'état de fraîcheur des coquilles, et notamment la présence de vestige de périostracum sur *Cyprina islandica*.





PLANCHES 32, 33 ET 34

Les Ptéropodes dans les sédiments meubles du Würm et du  
Post-glaciaire (photos L. Pastouret).

L'échelle figurant sur les photographies représente 1 mm.

PLANCHE 32

- Figure 1 : *Spiratella inflata*  
Figure 2 : *Spiratella retroversa*, adultes.  
Figure 3 : *Spiratella retroversa*, juvéniles.  
Figure 4 : *Spiratella trochiformis*  
Figure 5 : *Spiratella bulimoides*  
Figure 6 : *Hyalocylix striata*

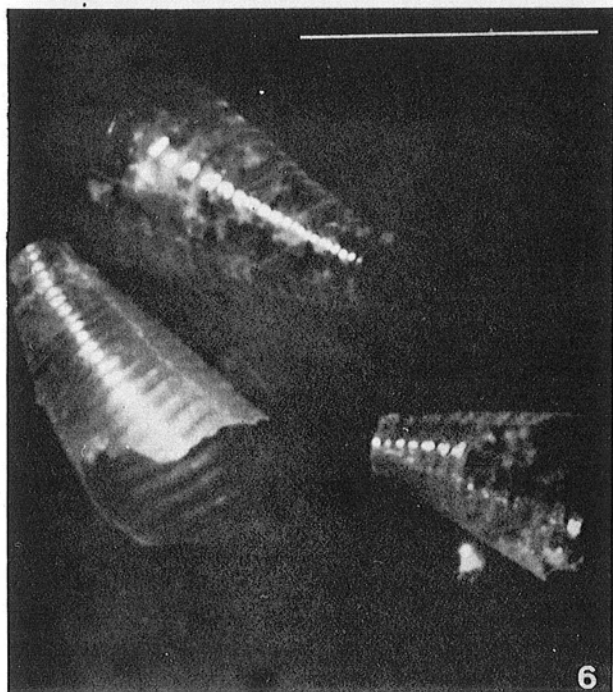
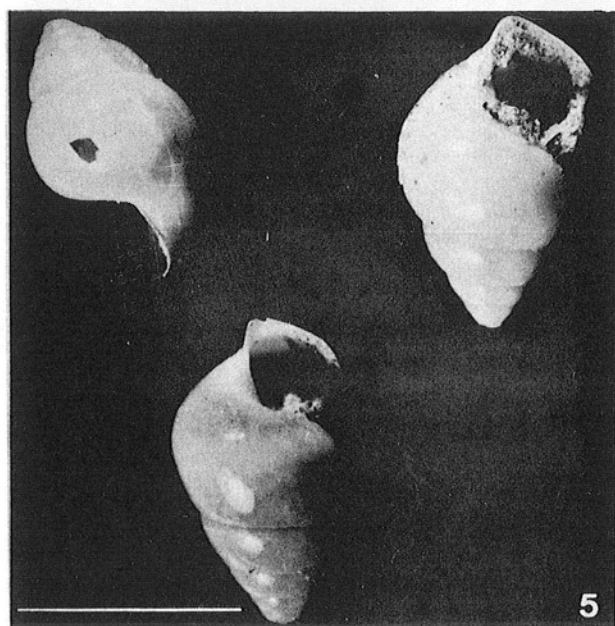
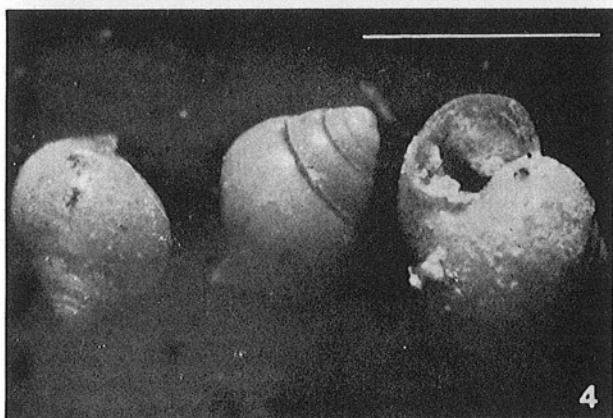
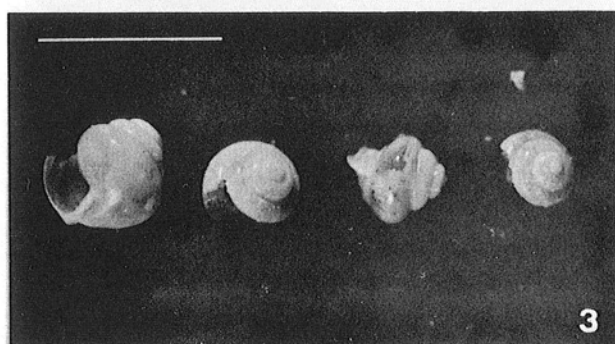
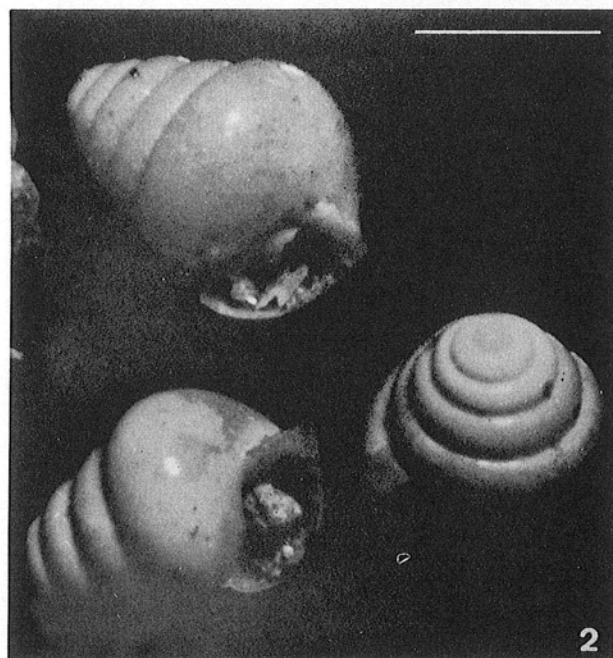
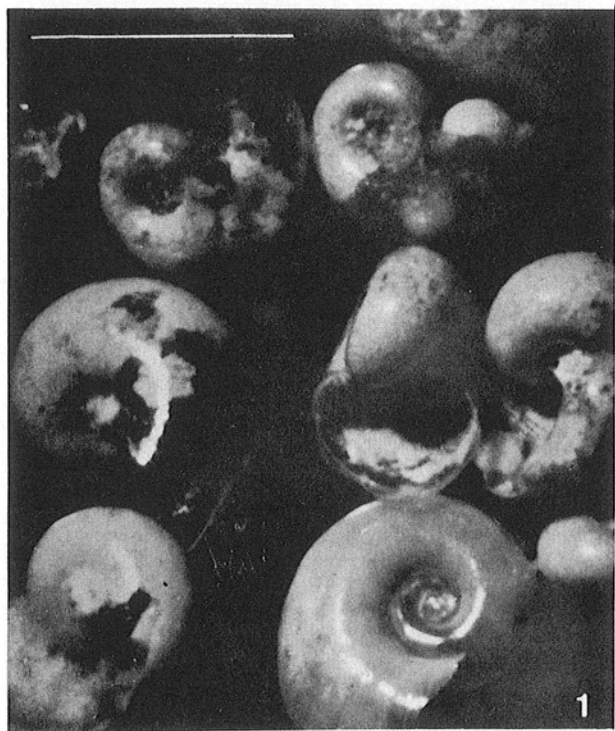




PLANCHE 33

Figure 1 : *Euclio pyramidata*

Figure 2 : *Diacria trispinosa*, protoconque brisée.

Figure 3 : *Cavolinia inflexa*

Figure 4 : *Styliola subula*

Figure 5 : *Euclio cuspidata*

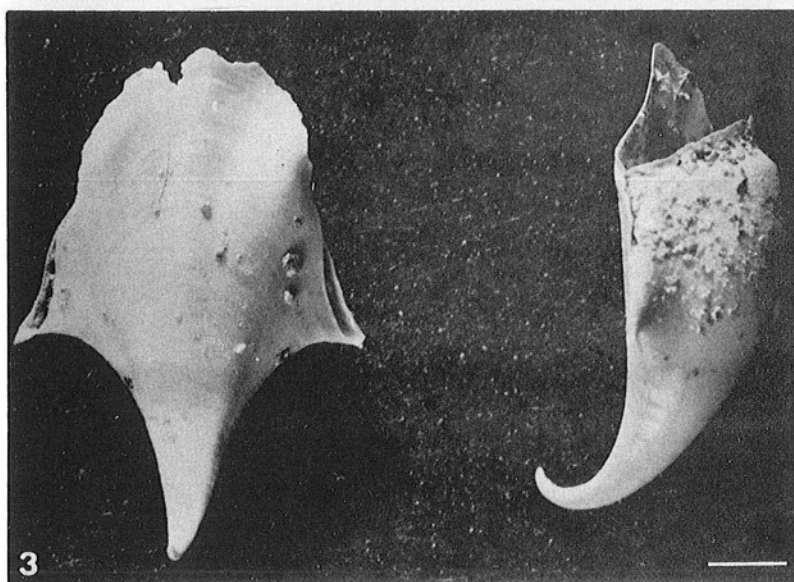
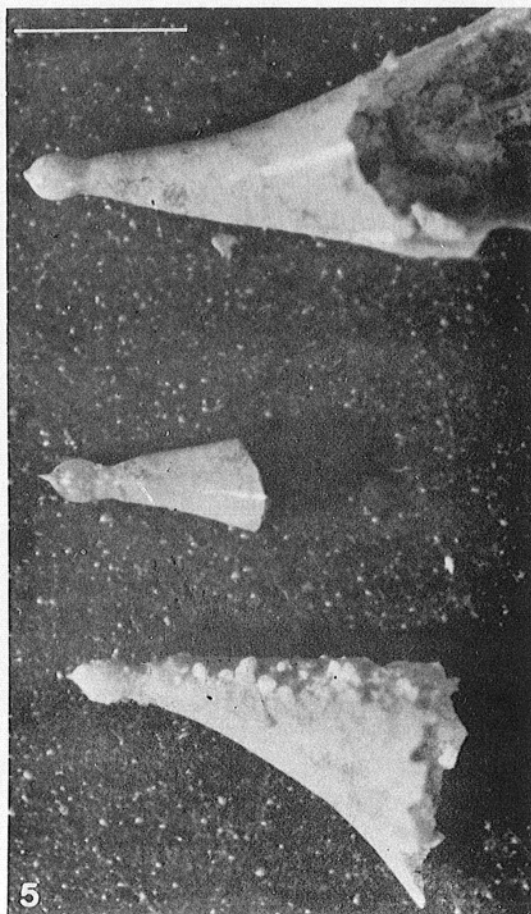
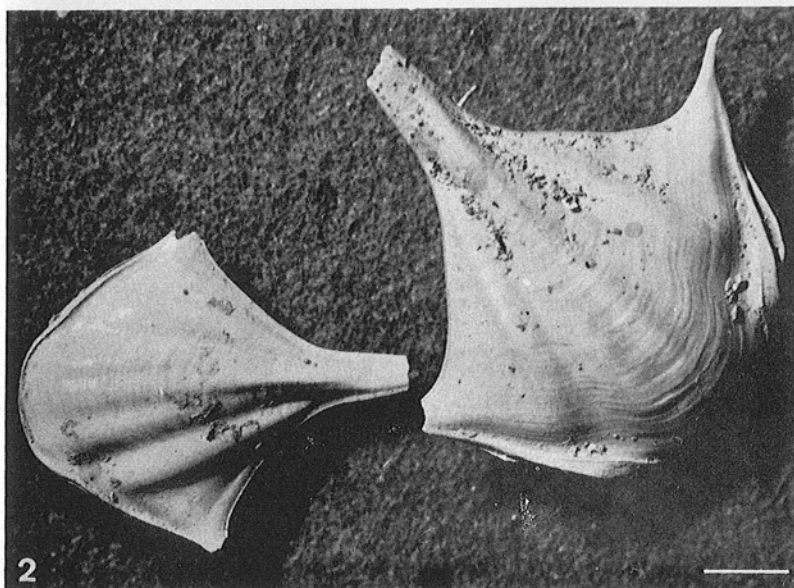
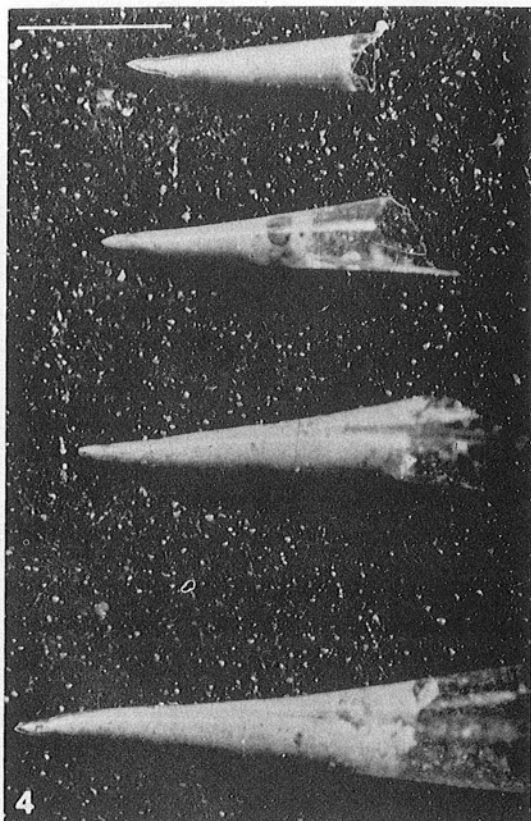
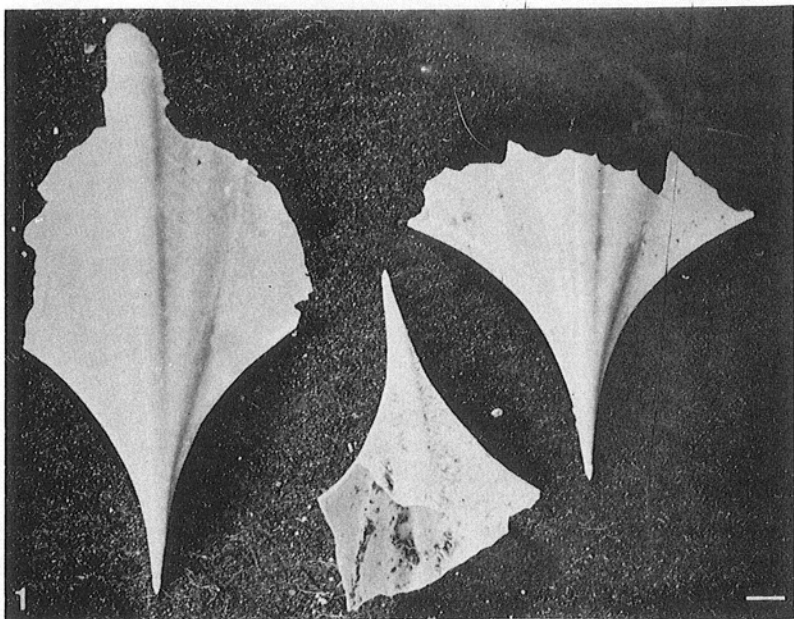


PLANCHE 34

- Figure 1 : Protoconques de *Cavolinia inflexa*  
Figure 2 : *Creseis virgula conica*  
Figure 3 : *Creseis acicula*  
Figure 4 : Protoconques d'*Euclio pyramidata*  
Figure 5 : Protoconques de *Diacra trispinosa*

