

Conditions de dépôt et matière organique en milieu lagunaire d'âge kimméridgien du Jura méridional français (résultats préliminaires)

Autor(en): **Tribovillard, Nicolas-Pierre / Gorin, Georges / Hopfgartner, Gerard**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Eclogae Geologicae Helvetiae**

Band (Jahr): **84 (1991)**

Heft 2

PDF erstellt am: **26.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-166784>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Conditions de dépôt et matière organique en milieu lagunaire d'âge kimméridgien du Jura méridional français (résultats préliminaires)

Par NICOLAS-PIERRE TRIBOVILLARD^{1, 5)}, GEORGES GORIN¹⁾, GERARD HOPFGARTNER²⁾, HELENE MANIVIT³⁾ et PAUL BERNIER⁴⁾

Key-words: Kimmeridgian, Jura Mountain, France, lagoon, organic geochemistry, palynofacies, paleoenvironments.

RÉSUMÉ

Au Kimméridgien supérieur, le site d'Orbagnoux (Jura méridional français) était une dépression topographique incluse dans un vaste domaine protégé par une barrière récifale. Dans cette cuvette se sont déposés des laminites bitumineuses et des calcaires laminés dans lesquels la matière organique est parfois très abondante et très bien conservée (le COT peut atteindre 12%). La géochimie organique et les palynofaciès des sédiments sont présentés ici. L'accumulation de la matière organique s'est produite alors que le milieu était suffisamment oxygéné (au moins épisodiquement) pour permettre la vie benthique. Dans certains cas, la conservation des constituants organiques semble avoir été rendue possible par le développement de tapis microbiens à la surface du sédiment. Ces voiles organiques ont constitué une zone de transition dans laquelle l'oxygène dissous était consommé, permettant l'apparition de conditions anoxiques dans les sédiments.

ABSTRACT

During latest Kimmeridgian times, the Orbagnoux area (French southern Jura) was part of a vast domain shielded behind fringing reefs. It formed a small depression where bituminous laminites and laminated limestones were deposited. In these sediments, organic matter is abundant (TOC values may reach 12%) and well preserved. In this paper, we present the organic geochemistry and the palynofacies data of the Orbagnoux sediments. During organic matter deposition, environmental conditions were oxygenated enough to allow benthic life. The excellent preservation of organic constituents seems to be associated with the development of microbial mats at the sediment surface. These organic mats formed a transition zone in which all available dissolved oxygen was consumed, leading to the formation of anoxic conditions within the sediments.

¹⁾ Université de Genève – Département de Géologie et Paléontologie – 13, rue des Maraîchers, CH-1211 Genève 4.

²⁾ Université de Genève – Laboratoire de spectrométrie de masse – bd d'Yvoy 16, CH-1211 Genève 4.

³⁾ BRGM – Laboratoire de Géologie – BP 6009, F-45060 Orléans cédex.

⁴⁾ Université Claude Bernard-Lyon I – Centre des Sciences de la Terre et URA 11 CNRS – bd du 11 Novembre 1918, F-69622 Villeurbanne cédex.

⁵⁾ Adresse actuelle: Université Paris Sud-Centre d'Orsay – Laboratoire de géochimie des roches sédimentaires et URA 723 CNRS – Bât. 504, F-91405 Orsay cédex.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Ober-Kimmeridgian Sedimente von Orbagnoux bildeten sich in einer kleinen Lagune innerhalb eines weiträumigen, von einer Riffbarriere geschützten, Gebietes. In dieser Lagune wurden bituminöse Laminite und laminierte Kalke mit einem zum Teil hohen Gehalt an gut erhaltenem organischem Material, abgelagert (TOC > 12%). Organische Geochemie und Palynofazies dieser Sedimente werden hier vorgestellt. Die Akkumulation des organischen Materials fand in einem Milieu statt, welches genügend Sauerstoff enthielt, um benthisches Leben zu ermöglichen. Die hervorragende Erhaltung der organischen Substanz lässt sich durch die Ausbildung eines Cyanobakterien-Teppichs an der Sediment-Oberfläche erklären. Diese organischen Teppiche bildeten eine Übergangs-Zone, in welcher der gelöste Sauerstoff verbraucht wurde und somit die Bildung anoxischer Bedingungen im Sediment hervorriefen.

A. Introduction

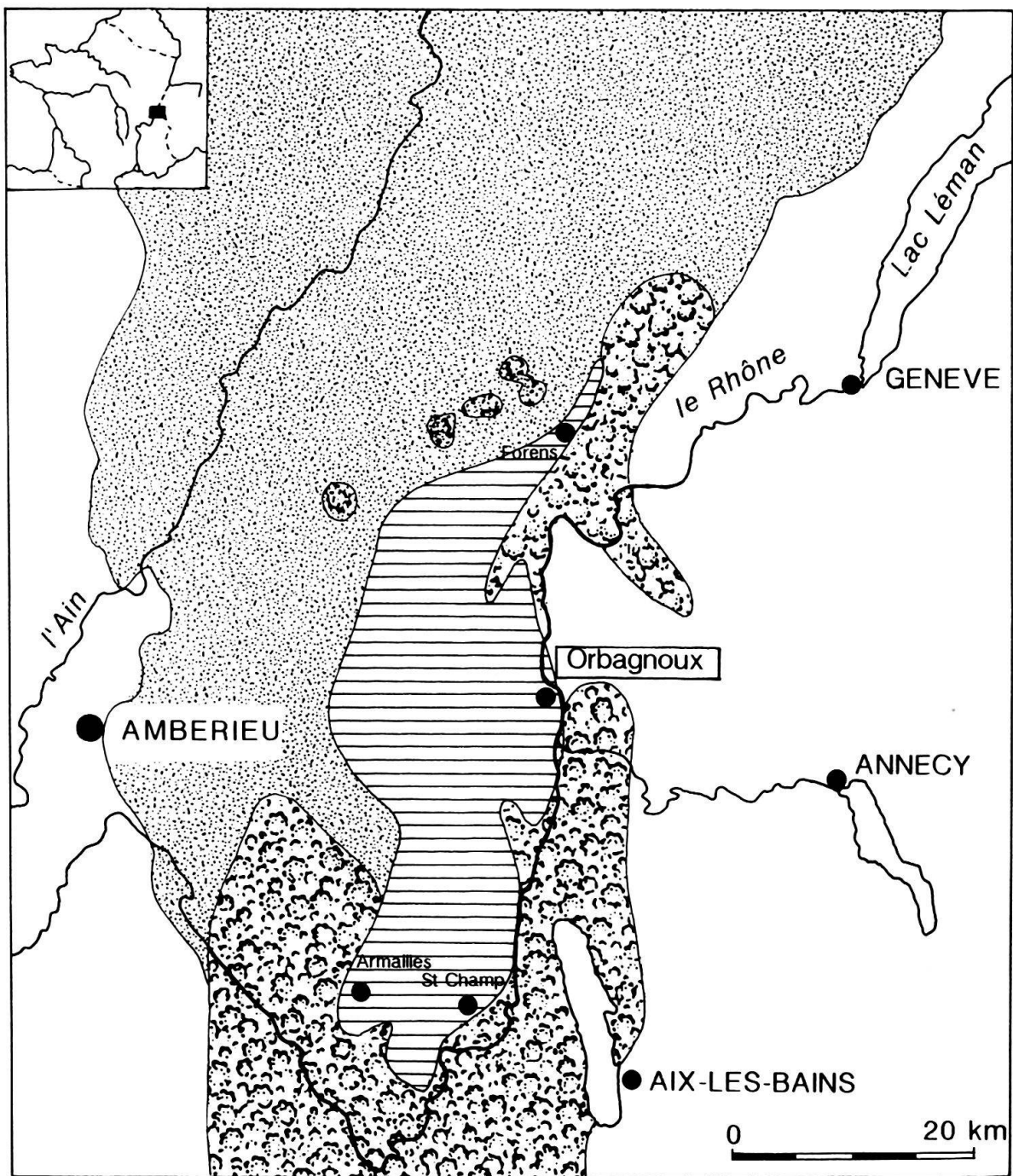
Le domaine représentant aujourd'hui le Jura méridional était au Kimméridgien supérieur une plate-forme carbonatée, sur laquelle se déposaient les sédiments de la formation des Calcaires en plaquettes (RICHE 1904). La reconstitution paléogéographique de ce domaine a fait l'objet d'une étude approfondie par BERNIER (1984). Sur la plate-forme isolée et protégée par la croissance d'un récif-barrière s'est développé un lagon étendu, à sédimentation carbonatée (fig. 1). A l'intérieur du lagon, plusieurs cuvettes ont été individualisées, qui ont été le siège d'une importante accumulation de matière organique, sous forme de laminites carbonatées et de calcaires laminés (l'ensemble ayant été appelé Laminites bitumineuses) qui représentent alors la partie inférieure des Calcaires en plaquettes (BERNIER 1984). Cette étude se consacre à l'une de ces cuvettes, celle d'Orbagnoux, où la richesse en bitume des laminites a permis une exploitation minière. Les laminites d'Orbagnoux ont fait l'objet de nombreux travaux (CAYEUX 1935; DEFLANDRE 1941; GUBLER & LOUIS 1956; ENAY 1965; BERNIER et al. 1972; BERNIER & COURTINAT 1979; BARALE 1981; BERNIER 1984; COURTINAT 1989). Nous proposons ici une description des sédiments du lagon d'Orbagnoux et de l'enchaînement de leurs différents faciès, ainsi qu'un essai de reconstitution des conditions de dépôt, reposant sur l'étude de la sédimentologie, du contenu biologique (micro- et nanfossiles, palynofaciès) et de la géochimie organique. Le gisement d'Orbagnoux se trouve non loin de Seyssel, dans le département français de l'Ain, dans le ravin de la rivière Dorche (carte IGN, feuille de Seyssel, 1/50 000^e, coord. 866.91/2118.65).

B. Description lithologique et contenu organique global

Au sein des laminites bitumineuses, plusieurs faciès alternent, passant les uns aux autres avec ou sans transition (fig. 2 et planche 1).

1) *Les laminites parallèles* et bitumineuses sont faites d'alternances de feuillets inframillimétriques, plus ou moins sombres. Ces feuillets parallèles et continus sont groupés en lames centimétriques, de couleur claire ou sombre, selon la couleur dominante des feuillets contenus. La lamination est parfois perturbée par plusieurs types de phénomènes:

- occasionnellement, des lames tronquées ou entrecroisées peuvent se rencontrer, avec, chaque fois, des angles très faibles (pl. 1A et B);
- certaines lames claires montrent des épaississements locaux, parfois silicifiés, en forme de nodules lenticulaires, de taille centimétrique à décimétrique; les autres



KIMMERIDGIEN SUPERIEUR

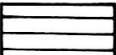
-  calcaires oolithiques & bioclastiques
-  laminites bitumineuses
-  récifs

Fig.1. Plan de localisation illustrant le cadre paléogéographique du Jura méridional et répartition des faciès au Kimméridgien supérieur (d'après BERNIER 1984).

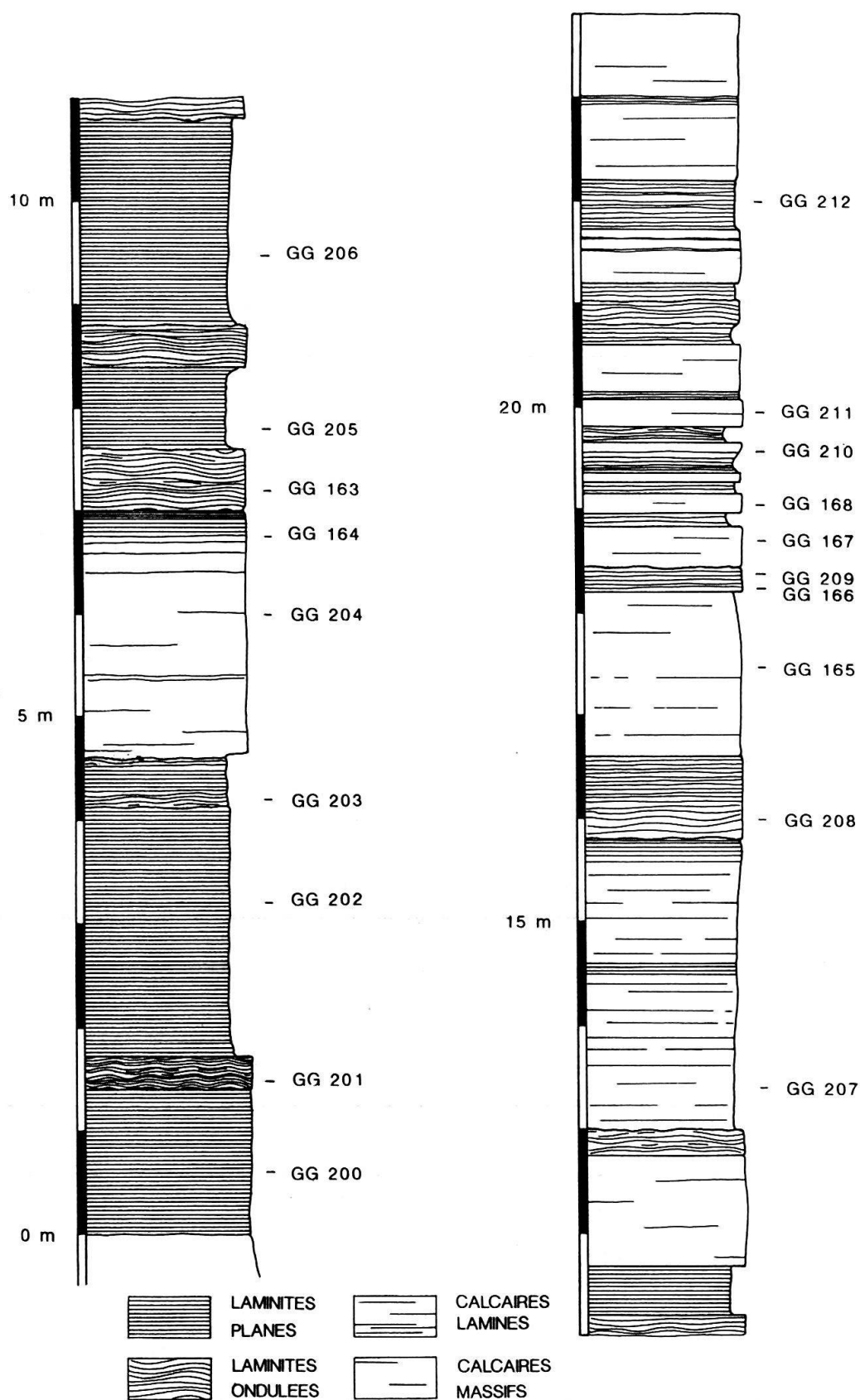


Fig. 2. Colonne lithologique des Laminites bitumineuses du site d'Orbagnoux (carte IGN, feuille de Seyssel, 1/50 000^e, coord. 866.91/2118.65).

laminas viennent se mouler de part et d'autre autour de ces nodules, qui sont vraisemblablement apparus précocement dans le sédiment encore non compacté (pl. 1C; BERNIER 1984);

– des niveaux décimétriques de convolutes se rencontrent également (pl. 1C). Ces horizons où les laminas sont contournées sans être interrompues, sont limités au sommet et à la base par des laminas non perturbées (pl. 1D);

– enfin, quelques rares structures de taille décimétrique, interprétées comme des brèches de dissolution, se rencontrent à la base des laminites parallèles (pl. 1C).

Au microscope optique (lumière transmise), les feuillets sombres se présentent avec des teintes variables, jaune-miel, marron-rouge ou presque noires. Ils alternent avec des laminas riches en micrite grise qui montrent parfois de minuscules silicifications étoilées. En outre, des micro-organismes sont présents dans ces faciès, dans les laminas claires comme dans les laminas sombres. Il s'agit de miliolidés (*Paleomiliolina* sp.), de spirillinidés (*Spirillina* sp.), d'ataxophragmidés et d'ostracodes (pl. 1B et C).

Au microscope électronique à balayage (MEB), les laminas claires paraissent quasi-exclusivement formées de coccosphères plus ou moins complètes et de coccolithes (pl. 2A et B). Ces assemblages évoquent des floraisons (ou blooms) à coccolithophoridés, constitués à 90% par des représentants de l'espèce *Cyclagelosphaera margerelii* NOEL (1965), les 10% restants étant représentés par les spécimens de l'espèce *Biscutum dubium* (NOEL 1965), GRÜN dans GRÜN et al. 1974, (BOWN 1987). Les laminas sombres contiennent elles-aussi beaucoup de coccosphères et de coccolithes,

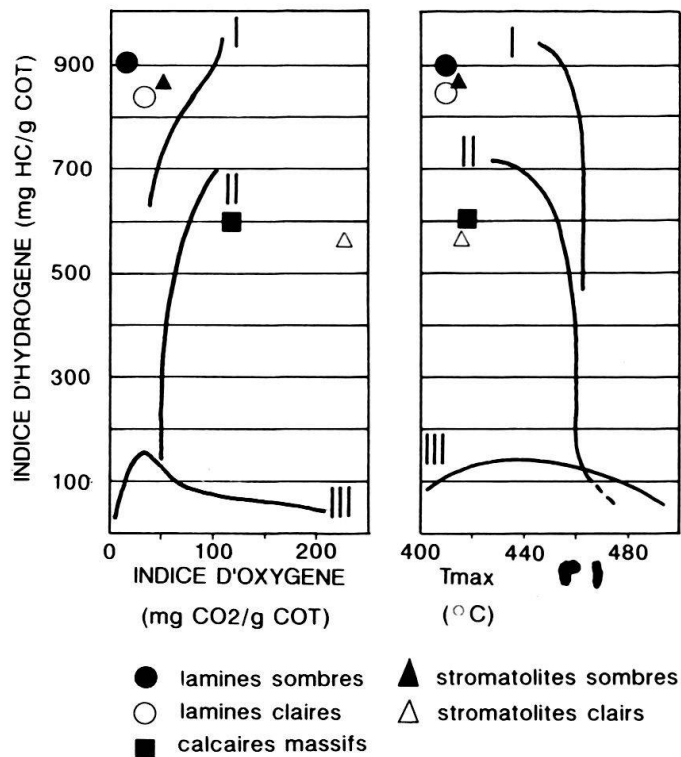


Fig. 3. Schéma de caractérisation de la matière organique des différents lithofaciès des Laminites bitumineuses d'Orbagnoux, basé sur les paramètres de pyrolyse Rock Eval®. Les valeurs du paramètre Tmax soulignent le caractère immature des produits organiques.

noyés dans une matrice de matière organique. Seule, l'espèce *C. margerelii* semble présente.

Les laminites parallèles contiennent une matière organique abondante de type I (déterminée d'après analyses Rock Eval®; fig. 3), c'est-à-dire riche en hydrogène et pauvre en oxygène (TISSOT & WELTE 1984). Ce type de matière organique est souvent d'origine algale et se rencontre d'habitude dans les environnements laguno-lacustres (ESPITALIE et al. 1985). Les palynofaciès des laminites parallèles sont constitués de matière organique amorphe en flocon épais, de couleur brun foncé (fig. 4). Dans les lamines claires, à la matière organique amorphe s'ajoutent des particules d'inertinite et de vitrinite. Les teneurs en carbone organique total (COT) des lamines sombres sont remarquables (entre 8 et 12%), celles des lamines claires oscillent autour de 5% (Tableau 1).

2) *Les lamines ondulées*. Elles présentent un faciès également laminé dans lequel les feuillets sont irrégulièrement ondulés, soit parallèles à la stratification, soit en forme de dômes décimétriques (pl. 1E, F et G). Ces structures ressemblent en tout point aux stromatolites interprétés comme se formant en domaine intertidal ou subtidal supérieur, dans les environnements calmes (MONTY & MAS 1981; ANADON & ZAMERRENO 1981; GORIN et al. 1982), voire sursalé (KRUMBEIN 1983, dans GALL 1990) ou en-dessous de la limite d'action des vagues, dans les environnements plus agités (O'BRIEN 1990). BERNIER (1984) a reconnu des cristaux de gypse à Orbagnoux, dans le sommet de la formation, ainsi que dans d'autres affleurements du Jura méridional.

L'observation au microscope optique montre l'existence de tapis microbiens ou algaires parfois déchirés ou soulevés, phénomène parfois également visible à l'échelle de l'affleurement (GALL 1990; BERNIER et al., sous presse). En outre, de grandes plages de calcite recristallisée séparent parfois les feuillets. Enfin, les zones les plus

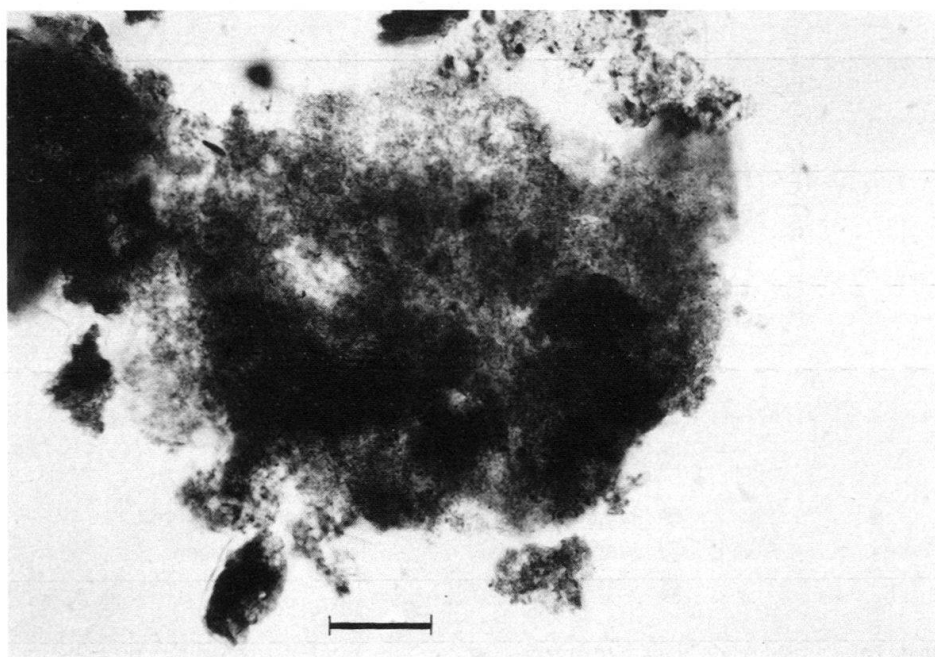


Fig. 4. Palynofaciès (ou faciès organique) des laminites parallèles. L'échelle graphique représente 100 micromètres.

sombres contiennent de grandes quantités de pellets; cette grande richesse en pelotes fécales a déjà été notée dans des stromatolites jurassiques de la bordure ardéchoise (DROMART 1989). Au MEB, il est possible de distinguer des filaments endolithiques (pl. 2C), formant un réseau dans le sédiment. Des petites sphères de quelques micromètres de diamètre sont également visibles; peut-être, peuvent-elles s'interpréter comme les vertiges de colonies bactériennes (GALL et al. 1985; GERDES & KRUMBEIN 1987; GALL 1990). En outre, aucun nannofossile n'est visible dans les lamines ondulées.

Dans ces faciès, les microfossiles sont très rares (ostracodes et spécimens du genre *Paleomiliolina*) et la matière organique est peu abondante (moins de 1%). D'après les analyses Rock Eval®, dans les lamines ondulées sombres, la matière organique est de nouveau de type I alors qu'elle est de type II dans les lamines ondulées claires (fig. 3). Il convient toutefois de noter que les faibles teneurs en COT de ce dernier faciès rendent incertaines les valeurs des paramètres de pyrolyse (ESPITALIE et al. 1985). La lignée de type II est représentée par des produits riches en hydrogène et enrichis en oxygène par rapport aux produits de la lignée de type I (TISSOT & WELTE 1984; ESPITALIE et al. 1985). La matière organique de type II est caractéristique du milieu marin (ESPITALIE et al. 1985). Les lamines ondulées sombres ont des faciès organiques dominés par une matière organique amorphe identique à celle des lamines parallèles; des fragments d'inertinite et de vitrinite extrêmement dégradés se rencontrent également. Au contraire les palynofaciès des lamines ondulées claires sont très variés: matière organique amorphe en particules floconneuses de couleur miel, particules d'inertinite en baguettes, de vitrinite (parfois très dégradées) aux contours estompés (dégradation bactérienne), spores, pollens monosaccates et bisaccates, algues marines et kystes de dinoflagellés (fig. 5).

3) *Des calcaires massifs* alternent avec les laminites. Ces bancs carbonatés sont constitués d'une micrite très pure, dépourvue de minéraux argileux et contenant moins

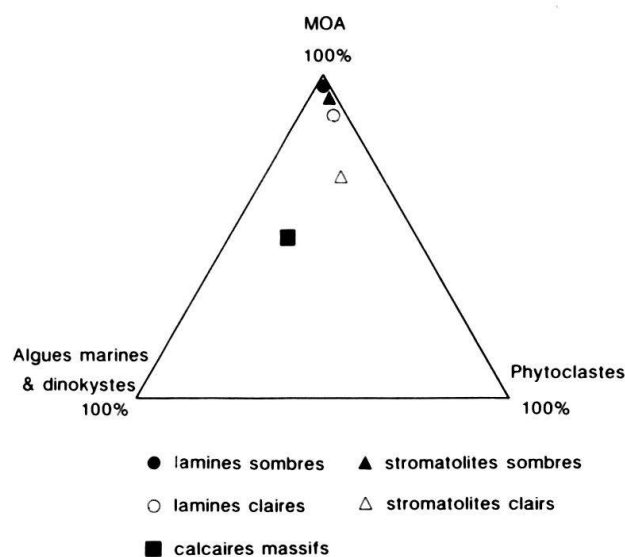


Fig. 5. Caractérisation des palynofaciès (ou faciès organiques) des différentes lithologies rencontrées au sein des Laminites bitumineuses d'Orbagnoux. MOA: matière organique amorphe, phytoclastes (spores, pollens, particules d'inertinite, de vitrinite et de cutinite).

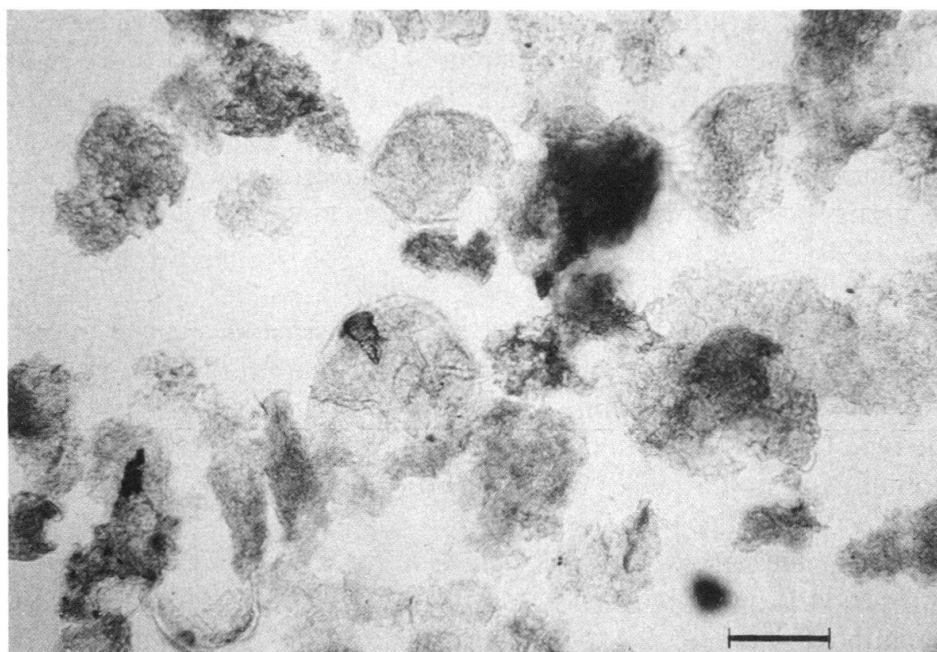


Fig. 6. Palynofaciès (ou faciès organique) des calcaires massifs. L'échelle graphique représente 100 micromètres.

de 1% de carbone organique. D'une couleur très claire, ces calcaires ont parfois un aspect légèrement marbré par des teintes beige clair.

Au microscope, ces calcaires consistent en une pelmicrite bioclastique à texture wackestone. Organismes et bioclastes sont très nombreux: radioles d'oursins, sclérites d'holothuries du genre *Theelia*, grains phosphatés pouvant provenir de dents ou d'os, ostracodes, algues (*Thaumatoporella parvovesiculifera* RAINERI 1922) et foraminifères benthiques (*Cyclogyra* sp., *Paleomiliolina* sp., *Textularia* sp., *Siphovalvulina* sp.). L'observation au MEB révèle la présence de nombreux coccolithes et coccosphères de l'espèce *C. margerelii*.

Le faciès organique des calcaires massifs est dominé par une matière organique amorphe jaune pâle, qui paraît dériver de cutinite très dégradée, et par de très nombreux kystes de dinoflagellés (8 espèces ont été reconnues dans nos préparations, DEFLANDRE [1941] en a distingué une dizaine). Sont également présents des algues marines, des spores et pollens, des particules d'inertinite (en grains et en baguettes) et de vitrinite (figs. 5 et 6). Les paramètres de pyrolyse Rock Eval® situent cette matière organique dans le domaine du type II (fig. 5; même remarque sur la restriction à apporter à la fiabilité des paramètres de pyrolyse du fait des faibles teneurs en COT).

Les laminites parallèles et, plus encore, les calcaires massifs sont extrêmement riches en fossiles de frondes de bennettitales (*Zamites*). D'autres végétaux sont également présents: ginkgoales, cycadales, ptéridospermales et filicales (BARALE 1981). Les deux auteurs BARALE (1981) et BERNIER (1984) montrent que le cortège de débris végétaux rencontrés à Orbagnoux traduit un certain transport par flottation, à partir des terres émergées, situées vraisemblablement plus au nord dans le domaine étudié.

Enfin, des fentes de synérèse sont observables dans les laminites situées dans le ravin de la Dorche, à l'aplomb de la galerie de mine d'Orbagnoux (BERNIER 1984).

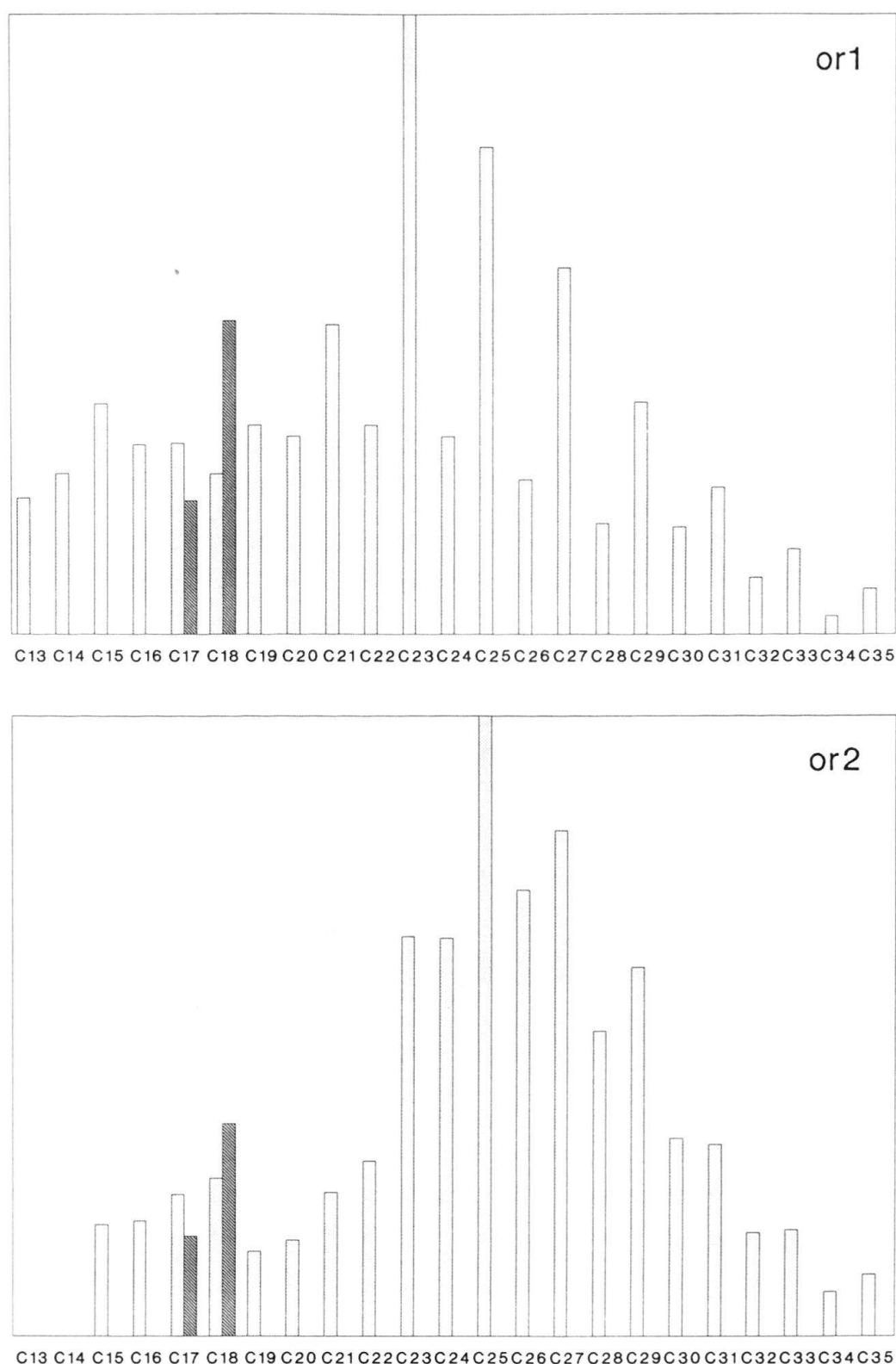


Fig. 7. Distribution des alcanes (pristane et phytane en grisé) dans le contenu organique des lamines parallèles sombres (échantillon OR-1) et dans les lamines parallèles claires (échantillon OR-2). La prédominance des chaînes carbonées impaires souligne le caractère immature de la matière organique, également mis en évidence par la pyrolyse Rock Eval®. Cette prédominance est plus marquée dans OR-1, ce qui peut indiquer une différence dans la nature de la matière organique entre OR-1 et OR-2.

C. Géochimie organique

L'étude de la géochimie organique est actuellement en cours et fait notamment l'objet d'une thèse portant sur les biomarqueurs (HOPFGARTNER). Les analyses des sédiments d'Orbagnoux sont donc encore peu nombreuses. Nous ne ferons ici que présenter très succinctement les premiers résultats qui concernent essentiellement les biomarqueurs; les sédiments d'Orbagnoux font et feront l'objet d'autres travaux (géo-chimie élémentaire, isotopie, microscopie électronique, ...) menés conjointement par les universités de Genève et de Paris Sud, l'IFP (Paris) et l'ETH (Zürich).

Les techniques employées pour l'étude des biomarqueurs sont la chromatographie en phase gazeuse, la spectrométrie de masse et l'extraction au CO₂ supercritique (voir le détail de la préparation des échantillons et de la procédure analytique dans GORIN et al. 1989; HOPFGARTNER et al. 1990).

Les lamines claires et les lamines sombres des laminites parallèles ont la même signature géochimique, par conséquent, elles contiennent les mêmes constituants. Parmi ceux-ci, les alcanes sont très peu abondants, alors que les composés soufrés sont présents dans des proportions exceptionnelles (hopanoides soufrés, thiophènes, méthylthiophènes). Ce phénomène a déjà été observé dans les carbonates déposés en milieu anoxique et supposés avoir produit des huiles soufrées (TISSOT & WELTE 1984; SINNINGHE DAMSTE et al. 1989; ORR & WHITE 1990).

Les échantillons étudiés montrent une prédominance du phytane sur le pristane, ce qui peut indiquer que le milieu de sédimentation était sursaté (TEN HAVEN et al. 1987, 1988). Cette hypothèse est confirmée par l'abondance des séries étendues de hopanes et hopènes (SINNINGHE DAMSTE et al. 1989a, b). La prédominance parmi les alcanes des molécules à nombre impair d'atomes de carbone (fig. 7) est plus accentuée pour les lamines parallèles sombres que pour les lamines parallèles claires. Ceci peut traduire des différences dans les apports organiques au sein même du faciès «laminites parallèles». La distribution des alcanes indique que plusieurs types d'apports de débris

Lithologie	COT	IH	IO	Tmax
lamines parallèles sombres (3)	12,2	908	12	409
lamines parallèles claires (3)	05,4	854	33	410
lamines ondulées sombres (3)	00,6	868	47	412 *
lamines ondulées claires (2)	00,1	566	211	416 *
calcaires massifs (2)	00,4	602	120	418 *

Tableau 1: Valeurs moyennes des paramètres Rock Eval® des différents lithofaciès des Laminites bitumineuses du site d'Orbagnoux. Entre parenthèses, est indiqué le nombre de pyrolyses réalisées pour chaque lithofaciès. Le symbole * indique les échantillons pour lesquels, du fait des faibles teneurs en COT, les autres paramètres de pyrolyse ne peuvent être qu'indicatifs. Pour la définition et l'interprétation des paramètres de la pyrolyse Rock Eval®, voir ESPITALIE et al. (1985).

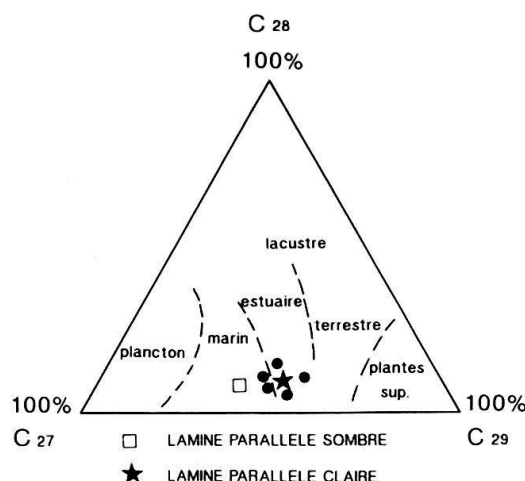


Fig. 8. Caractérisation des environnements de dépôt de la matière organique des laminites parallèles d'Orbagnoux (étoile et carré) ainsi que des échantillons de même faciès issus des affleurements d'Armailles, de Forens et de St. Champ (ronds noirs, données issues de GORIN et al. 1989), basée sur les quantités relatives de C27-C28 et C29-stéranes (HUANG & MEINSCHEN 1979). La localisation d'Armailles, de Forens et de St. Champ est portée sur la figure 1.

végétaux ont pu coexister dans la lagune. Par ailleurs, la quasi-absence des diastéranes confirme le caractère purement carbonaté (non acide: absence d'argiles et de pyrite à Orbagnoux) originel du sédiment (SEIFERT & MOLDOVAN 1978). Enfin, les proportions relatives en C27-, C28- et C29-stéranes expriment un milieu de sédimentation proche des sources d'apports organiques continentaux (fig. 8; HUANG & MEINSCHEN 1979; MCKENZIE et al. 1987). En résumé, les résultats obtenus indiquent des conditions de dépôt appauvries en oxygène dissous, se développant dans un environnement carbonaté proximal, vraisemblablement sursalé. Plusieurs types d'apports organiques semblent avoir coexisté.

Les résultats des analyses Rock Eval® sont présentés dans le Tableau 1 ainsi que sur la figure 3. Il convient d'insister sur l'excellent état de conservation de la matière organique dans les sédiments d'Orbagnoux, particulièrement dans les laminites parallèles. Comme indiqué par les valeurs très basses du Tmax, les sédiments d'Orbagnoux sont thermiquement très immatures. Ce dernier point est confirmé par l'isomérisation des hopanes et des stéranes (MCKENZIE et al. 1987).

D. Interprétation des milieux de dépôt

La présence des structures laminées parallèles et l'excellent état de conservation de certaines coccosphères reflètent un milieu de sédimentation extrêmement calme, dans lequel le mode prépondérant de mise en place des sédiments a été la décantation. Par ailleurs, les minéraux argileux sont réduits à l'état de traces et le quartz est absent des sédiments; les influences terrigènes ne se traduisent que par la présence de débris végétaux continentaux (frondes de *Zamites*, particules d'inertinite, de vitrinite, spores et pollens). Ces résidus organiques continentaux sont d'ailleurs peu abondants au sein des préparations palynologiques.

1) *Interprétation des différents lithofaciès.* Les lamines ondulées ou en dômes ne contiennent aucune nannoforme et seule une faune benthique peu abondante et peu diversifiée s'y rencontre. La morphologie de ces lamines donne à penser qu'il s'agit de stromatolites plans ou en dômes pouvant se développer sous de faibles profondeurs d'eau (voir plus haut). Enfin, à la surface de certaines lamines, des fentes de synérèse peuvent s'observer. Ces différentes observations suggèrent des conditions de dépôt confinées (très) peu profondes.

Les lamines parallèles contiennent une faune benthique plus abondante et relativement plus diversifiée, ainsi qu'une nannoflore abondante mais peu diversifiée (deux espèces reconnues seulement). Enfin, la présence prédominante, sinon exclusive, de matière organique amorphe de type I indique une forte production algale dans les eaux de surface. Ces observations traduisent des conditions de milieu légèrement plus ouvertes que celles du faciès précédent. Toutefois, la faible diversité de la nannoflore, la présence de brèches de dissolution (trahissant l'existence antérieure de minéraux évaporitiques), ainsi que la bonne conservation de la matière organique indiquent que les eaux ont pu être sursalées et/ou pauvres en oxygène dissous, au moins dans les tranches les plus profondes.

Dans les calcaires massifs, enfin, le benthos est abondant et diversifié mais la nannoflore est encore quasi-monospécifique. En outre, dinokystes et algues marines abondent. Ces observations évoquent une forte production biologique dans un environnement moins restreint que celui des laminites mais n'atteignant pas totalement les conditions du milieu marin ouvert.

L'enchaînement de ces divers faciès évoque ainsi les fluctuations discrètes du degré de confinement du lagon d'Orbagnoux; ces variations ont vraisemblablement affecté la salinité des eaux et la teneur en oxygène dissous. Comme le domaine considéré était bordé par un cordon récifal, peut-être les variations de milieu étaient-elles contrôlées par le rôle de barrière plus ou moins efficace du récif, qui déterminait, au moins partiellement, le renouvellement des eaux dans le lagon (BERNIER 1984). Le franchissement du cordon récifal par les eaux du milieu marin ouvert peut s'expliquer par une élévation du niveau marin, éventuellement, par des périodes de dislocation de l'appareil récifal, voire, enfin, par la structure même du cordon (barrière continue ou récifs isolés – patch reefs – plus ou moins alignés). Une étude portant sur ce point précis est actuellement entreprise (GORIN & DAVAUD, travail en cours). Ces travaux visent également à corréliser la succession des événements sédimentaires à travers des coupes localisées en différents points du domaine d'arrière-récif.

Enfin, l'enchaînement de ces différents faciès peut également être lié à des variations minimales du taux de sédimentation: les laminites ondulées pourraient disparaître au profit des laminites parallèles ou des calcaires massifs lors d'élévations du taux d'accumulation (DROMART 1989).

2) *A l'échelle de la lamine.* Selon BERNIER (1984), les Laminites bitumineuses se sont déposées dans un bassin où les eaux étaient stratifiées en deux corps superposés, l'un, superficiel, oxygéné, l'autre, sous-jacent, anoxique. Dans ce schéma, les lamines noires et les lamines claires seraient le résultat d'alternances saisonnières de développement planctonique et nectonique qui tombe au fond et n'est pas détruit. Il est possible de compléter cette interprétation. Dans les faciès laminés (laminites parallèles et laminites ondulées), d'une part, il existe une différence, du point de vue géochimique,

entre la matière organique des lamines claires et celle des lamines sombres et, d'autre part, les lamines claires contiennent plus de phytoclastes continentaux (frondes de *Zamites*, particules d'inertinite, de vitrinite, spores et pollens) que les lamines sombres. Cette richesse relative pourrait traduire des apports terrigènes périodiquement plus abondants. Dans un contexte géographiquement restreint comme celui du lagon d'Orbagnoux, ces apports terrestres périodiquement plus abondants pourraient refléter un ruissellement plus intense, ayant affecté les terres émergées qui alimentaient le lagon en débris organiques, ce qui est confirmé par l'analyse des stéranes (fig. 8): les produits organiques des lamines claires ont un cachet plus estuarien, c'est-à-dire plus influencé par les apports continentaux proximaux. Ainsi, l'alternance des lamines claires et des lamines sombres pourrait avoir été liée, au moins partiellement, à des variations climatiques traduites par des précipitations atmosphériques et un ruissellement périodiquement plus abondants. Ces variations climatiques pourraient être d'ordre saisonnier.

E. L'origine de l'anoxie

L'excellent état de conservation de la matière organique (dédit de l'observation optique des faciès organiques et des valeurs des paramètres de pyrolyse) et l'absence de bioturbation militent en faveur de l'existence de conditions anoxiques sur le fond lors du dépôt des différents types de faciès laminés rencontrés à Orbagnoux. Néanmoins, la présence, en quantité non négligeable, d'une faune benthique non remaniée indique que la vie était possible sur le fond, même lors du dépôt des sédiments les plus riches en matière organique. Peut-être la présence de faune benthique traduit-elle de courtes périodes d'amélioration des conditions d'oxygénation, dans un contexte globalement défavorable à la vie. Toutefois, les lamines ondulées sont interprétées comme étant le résultat d'une activité microbienne (donnant une morphologie stromatolitique plane ou en dômes). Ainsi, la surface du sédiment était-elle régulièrement le siège d'installations de tapis mucilagineux, formant écran entre le sédiment proprement dit et l'eau sus-jacente. La synérèse que l'on voit affecter certains niveaux d'Orbagnoux est caractéristique de cette texture colloïdale. En revanche, les lamines parallèles ne montrent aucune structure rappelant des stromatolites. Il est possible d'imaginer que ces lamines aient pu résulter d'un dépôt par décantation et non plus de la présence de tapis organiques à la surface du sédiment. Toutefois, JORGENSEN & REVSBECH (1985) ont montré que, dans plusieurs types de sédiments actuels riches en matière organique, les conditions d'oxygénation peuvent passer de l'aérobiose à l'anaérobiose en l'espace d'une microzone de transition qui s'étend de 0,5 mm au dessus de l'interface eau-sédiment à 2 mm au dessous *et ce, même au pied de colonnes d'eau bien oxygénées*. Ce gradient résulterait de la rapide consommation bactérienne de l'oxygène disponible dans un horizon pelliculaire, épais d'environ 0,5 mm et situé à la surface des sédiments. La présence de cette «barrière» est liée à la vitesse des mouvements des eaux sur les fonds et à la présence de «voiles» microbiens, ne se traduisant pas dans le sédiment par une morphologie stromatolitique (JORGENSEN & COHEN 1977; THOMPSON & FERRIS 1988).

En outre, des travaux, toujours plus nombreux, sur des sédiments anciens (par exemple, les «Posidonien-schiefer» jurassiques ou la formation Toolebuc, en Australie) mettent en évidence la présence discrète de ces «voiles» organiques (HUTTON et al. 1980 dans SAGEMAN 1989; GLIKSON & TAYLOR 1985; LOH et al. 1986; RIEGEL et al.

1985). KAUFFMAN (1981) utilise ce schéma pour expliquer que la frontière redox puisse se trouver à l'interface eau-sédiment et pour expliquer la présence d'une faune benthique diversifiée et abondante dans les black shales bien laminés des «Posidonien-schiefer» jurassiques, interprétés jusqu'alors comme s'étant déposés sous des conditions anoxiques.

Ainsi, il semble que dans les laminites parallèles comme dans les laminites ondulées, des tapis organiques, d'origine microbienne, aient constitué une barrière entre des conditions confinées permettant toutefois la vie benthique, à la base de la colonne d'eau et des conditions anoxiques dans le sédiment. La disparition des «stromatolites» s.l. (laminas ondulées) au profit de «voiles» mucilagineux plus discrets (laminas parallèles) a pu se faire à l'occasion de variations du chimisme des eaux (salinité) ou des conditions physiques (augmentation de la profondeur, diminution de la quantité de lumière atteignant le fond de l'eau, ...). Ces «voiles» mucilagineux semblent avoir été plus favorables que les stromatolites à l'installation de conditions anoxiques dans le sédiment (différences des valeurs des indices d'oxygène et d'hydrogène – IO & IH – des deux faciès laminés), alternativement, la qualité et la quantité de la matière organique sédimentable pourraient avoir été différentes, lors du dépôt des laminites parallèles, de ce qu'elles étaient, lors du dépôt des laminas ondulées. Ces «voiles» organiques ont pu entraîner la formation d'un micro-milieu chimique hostile à l'installation d'une endofaune (SEILACHER et al. 1985 dans GALL 1990). Parallèlement, l'absence de bioturbation peut également être due à la nature ou à la texture du sédiment (SAGEMAN 1989).

Remarque: la décomposition de l'abondante matière organique a dû produire du H_2S en quantités importantes; toutefois, la pyrite est absente des sédiments d'Orbagnoux, ce qui peut s'expliquer par l'absence de fer disponible dans les laminites, résultant de la rareté des éléments détritiques ferri-fères. Non piégé sous forme de FeS_2 , le soufre a pu participer à la formation des très abondants composés soufrés, mis en évidence par l'analyse géochimique.

F. Conclusions

Les différentes cuvettes qui se sont individualisées à l'abri de la barrière récifale possèdent chacune leurs caractères propres. Ainsi, à Orbagnoux, il semble que la sédimentation se soit effectuée sous une tranche d'eau d'épaisseur modérée, dans des conditions d'oxygénation restreintes, peut-être légèrement plus oxygénées en surface qu'en profondeur. Dans la cuvette d'Armaille (fig. 1; BERNIER 1984), il apparaît qu'une stratification des eaux s'était installée avec un corps supérieur normalement oxygéné (nannoflore abondante et diversifiée) et un corps inférieur impropre à la vie benthique et favorable à l'accumulation de la matière organique (BERNIER et al. 1972; BERNIER 1984).

Le contenu organique des laminas claires et des laminas sombres des faciès laminés à Orbagnoux indiquent des différences d'apports continentaux, peut-être en relation avec des variations climatiques de fréquence indéterminée. La succession des divers lithofaciès reflète peut-être des fluctuations de la facilité pour les eaux du milieu marin ouvert, à franchir la barrière récifale. Ces fluctuations peuvent être liées à des variations du niveau marin ou à la structure du cordon récifal.

L'exemple traité ici tente d'illustrer comment, dans certains environnements, l'accumulation et la préservation de la matière organique (pouvant aboutir à la formation de roches mères potentielles comme celles d'Orbagnoux) peuvent se produire sous des colonnes d'eau faiblement à quasi-normalement oxygénées (laminites et calcaires massifs), grâce au rôle efficace de tapis microbiens ou de «voiles» mucilagineux. Dans les deux cas se crée une zone barrière entre colonne d'eau et sédiment, dans laquelle l'oxygène disponible dans le milieu est épuisé et est absent des sédiments sous-jacents.

Remerciements

Nous tenons à remercier R. Wernli pour la détermination de la microfaune ainsi que E. Davaud, J.A. McKenzie et D. Steffen pour les discussions fructueuses que nous avons eues. Nous remercions en outre E. Brosse et D. Contini pour leur critique constructive du manuscrit. Les analyses Rock Eval® ont été effectuées à l'Institut Français du Pétrole, grâce à l'obligeance de J.-P. Herbin. Merci également à R. Martini pour les photos prises au MEB, à D. Maystre pour le développement des clichés et à S. Feist-Burkhardt pour sa traduction du résumé en Allemand. Ce travail a été soutenu par le Fonds national suisse de la Recherche Scientifique (projets n° 20-26301.89 et 20-5646-88).

BIBLIOGRAPHIE

- ANADON, P. & ZAMERRENO, I. 1981: Paleogene non marine algal deposits of the Ebro Basin, northeastern Spain. In: *Phanerozoic stromatolites* (Ed. by MONTY, C.L.). Springer-Verlag, Berlin, 140-154.
- BARALE, G. 1981: La paléoflore jurassique du Jura français: étude systématique, aspects stratigraphiques et écologiques. *Docum. Labo. Géol. Fac. Sci. Lyon* 81, 1-336.
- BERNIER, P. 1984: Les formations carbonatées du Kimméridgien et du Portlandien dans le Jura méridional. *Stratigraphie, micropaléontologie et sédimentologie. Docum. Labo. Géol. Fac. Sci. Lyon* 92, 1-803.
- BERNIER, P., BUSSON, G., ENAY, R. & NOEL, D. 1972: Les calcaires bitumineux d'Armaille, formation laminée du Kimméridgien de la région de Belley (Ain, France) et leurs conditions de dépôt. *C.R. Acad. Sci. Paris* 274 (D), 2925-2928.
- BERNIER, P. & COURTINAT, B. 1979: La matière organique des calcaires d'arrière-récifs du Kimméridgien supérieur dans le Jura méridional. *Systématique, conditions de genèse et d'environnement. Docum. Labo. Géol. Fac. Sci. Lyon* 75, 95-117.
- BERNIER, P., GAILLARD, C., BARALE, G., BOURSEAU, J.-P., BUFFETAUD, E. & WENZ, S. 1991: Morphogenetic impact of microbiological mats on surface structures of Kimmeridgian micritic limestone (Cerin, France). *Sedimentology*, sous presse.
- BOWN, P.R. 1987: Taxonomy, evolution and biostratigraphy of late Triassic-early Jurassic calcareous nannofossils. *Spec. Pap. Paleont.* 38.
- CAYEUX, L. 1935: Les roches sédimentaires de France. Roches carbonatées. Masson, Paris.
- COURTINAT, B. 1989: Les organoclastes des formations lithologiques du Malm dans le Jura méridional. *Systématique, biostratigraphie et éléments d'interprétation paléoécologique. Docum. Labo. Géol. Fac. Sci. Lyon* 105, 1-361.
- DEFLANDRE, G. 1941: Le microplancton kimméridgien d'Orbagnoux. *Mém. Acad. Sci. Inst. France* 65, 1-32.
- DROMART, G. 1989: Deposition of upper Jurassic fine-grained limestones in the Western Subalpine Basin, France. *Palaeogeogr. Palaeoclim. Palaeoecol.* 69, 23-44.
- ENAY, R. 1965: Les formations coralliennes de St. Germain de Joux (Ain). *Bull. Soc. géol. France* (7), 7, 23-31.
- ESPITALIE, J., DEROO, G. & MARQUIS, F. 1985: La Pyrolyse Rock-Eval et ses applications. *Rev. Inst. franç. Pétr.* 40, 563-579.

- GALL, J.-C. 1990: Le rôle biosédimentaire des voiles microbiens. Critères de reconnaissance. *Bull. Soc. géol. France*, Paris (8), 6, 75–82.
- GALL, J.-C., BERNIER, P., GAILLARD, C., BARALE, G., BOURSEAU, J.-P., BUFFETAUT, E. & WENZ, S. 1985: Influences du développement d'un voile algaire sur la sédimentation et la taphonomie des calcaires lithographiques. Exemple du gisement de Cerin (Kimméridgien supérieur, Jura méridional français). *C.R. Acad. Sci. Paris* 301 (II), 547–552.
- GERDES, G. & KRUMBEIN, W.E. 1987: *Biolaminated facies. Lecture Notes in Earth Sciences* 9, Springer-Verlag, Berlin.
- GLIKSON, H. & TAYLOR, G.H. 1985: Cyanobacterial mats: major contributors to the organic matter in Toolebuc Formation oil shales. *Geol. Soc. Aust. Spec. Publ.* 12, 273–286.
- GORIN, G., RACZ, L.G. & WALTER, M.R. 1982: Late Precambrian-Cambrian sediments of Huqf Group, Sultanate of Oman. *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull.* 66, 2609–2627.
- GORIN, G., GÜLAÇAR, F. & CORNIOLEY, Y. 1989: Organic geochemistry, maturity, palynofacies and paleoenvironment of Upper Kimmeridgian and Lower Tertiary organic-rich samples in the southern Jura (Ain, France) and Subalpine massifs (Haute-Savoie, France). *Eclogae geol. Helv.* 82, 491–515.
- GUBLER, Y. & LOUIS, M. 1956: Etude d'un certain milieu du Kimméridgien bitumineux de l'est de la France. *Rev. Inst. franç. Pétr.* 11, 1536–1543.
- HOPFGARTNER, G., VEUTHEY, J.L., GÜLAÇAR, F.O. & BUCHS, A. 1991: Extraction of biomarkers from sediments with supercritical carbon dioxide: a comparative study with solvent extraction and thermodesorption methods. *Org. Geochem.* 15, 397–402.
- HUANG, W.Y. & MEINSCHEN, W.G. 1979: Sterols as ecological indicators. *Geochim. Cosmochim. Acta* 43, 739–745.
- HUTTON, A.C., KANTSLE, J.J., COOK, A.C. & MCKIRDY, D.M. 1980: Organic matter in oil shales. *APEA J.* 20, 44–67.
- JORGENSEN, B.B. & COHEN, Y. 1977: Solar Lake (Sinai) 5. The sulfur cycle of the benthic cyanobacterial mats. *Limnol. Oceanogr.* 22, 657–666.
- JORGENSEN, B.B. & REVSBECH, N.P. 1985: Diffusive boundary layers and the oxygen uptake of sediments and detritus. *Limnol. Oceanogr.* 30, 111–122.
- KAUFFMAN, E.G. 1981: Ecological reappraisal of the German Posidonienschiefer (Toarcian) and the stagnant basin model. In: *Communities of the Past* (Ed. by GRAY, J., BOUCOT, A.J. & BERRY, W.B.N.). Hutchinson and Ross, Stroudsburg, 311–381.
- KRUMBEIN, W.E. 1983: Stromatolites. The challenge in a term in space and time. *Precambrian Research* 20, 493–531.
- LOH, H., MAUL, B., PRAUSS, M. & RIEGEL, W. 1986: Primary production, maceral formation and carbonate species in the Posidonia Shale of NW-Germany. In: *Biochemistry of black shales* (Ed. by DEGENS, E.T., MEYERS, P.A. & BRASSEL, S.C.). *Mitt. Geol.-Palaeontol. Inst. Univ. Hamburg* 60, 307–421.
- MCKENZIE, A.S., LI, R.W., MAXWELL, J.R. & MOLDOVAN, J.M. 1983: Molecular measurement of thermal alteration of Cretaceous shales from the Overthrust Belt, Wyoming, USA. In: *Advance in organic geochemistry* (Ed. by BJØRØY, M.). Wiley & Sons, Chichester, 496–503.
- MONTY, C.L. & MAS, J.R. 1981: Lower Cretaceous (Wealdien) blue green algal deposits of the Province of Valencia. In: *Phanerozoic stromatolites* (Ed. by MONTY, C.L.). Springer-Verlag, Berlin, 85–120.
- NOEL, D. 1965: Sur les coccolithes du Jurassique européen et d'Afrique du Nord. *Essai de classification des coccolithes fossiles*. Editions du CNRS, Paris.
- O'BRIEN, N.R. 1990: Significance of Toarcian (Lower Jurassic) shales from Yorkshire, Great Britain. *Sedim. Geol.* 67, 25–34.
- ORR, W.L. & WHITE, C.M. 1990: Geochemistry of sulfurs in fossil fuels, A.C.S. symposium series 429.
- RICHE, A. 1904: Feuille de Lyon au 320 000^{ème}. *Bull. Carte géol. France* 13, 1–7.
- RIEGEL, W., LOH, H., MAUL, B. & PRAUSS, M. 1985: Effects and causes in black shale events – The Toarcian Posidonia Shale of NW Germany. In: *Global Bioevents* (Ed. by WALLISER, O.). *Lecture notes in Earth History*, Springer-Verlag, Berlin, 267–276.
- SAGEMAN, B.B. 1989: The benthic boundary biofacies model: Hartland Shale Member, Greenhorn Formation (Cenomanian), Western Interior, North America. *Palaeogeogr. Palaeoclim. Palaeoecol.* 74, 87–110.
- SEIFERT, W.K. & MOLDOVAN, J.M. 1978: Application of steranes, terpanes and monoaromatic to the maturation, migration and source of crude oils. *Geochim. Cosmochim. Acta* 42, 77–95.
- SEILACHER, A., REIF, W.E. & WESTPHAL, F. 1985: Sedimentological, ecological and temporal patterns of fossil Lagerstätten. *Phil. Trans. R. Soc. London B* 311, 5–23.

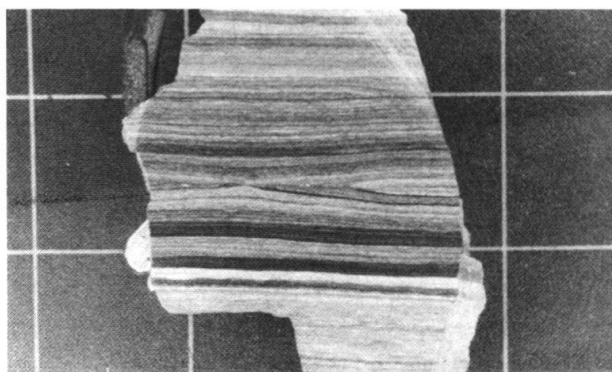
- SINNINGHE DAMSTE, J.S., RIJPSMA, W.I.C., DE LEEUW, J.W. & SCHENCK, P.A. 1989: The occurrence and identification of series of organic sulfur compounds in oils and sediment extracts: II. their presence from hypersaline and non-hypersaline paleoenvironments and possible application as source, paleoenvironmental and maturity indicators. *Geochim. Cosmochim. Acta* 53, 1323–1342.
- SINNINGHE DAMSTE, J.S., RIJPSMA, W.I.C., KOCK-VAN DALEN, A.C., DE LEEUW, J.W. & SCHENCK, P.A. 1989: Quenching of labile functionalisable lipids by inorganic sulfur species: evidence for the formation of sedimentary organic sulfur compounds at the early stages of diagenesis. *Geochim. Cosmochim. Acta* 53, 1343–1356.
- TEN HAVEN, H.L., DE LEEUW, J.W., RULLKÖTER, J. & SINNINGHE DAMSTE, J.S. 1987: Restricted utility of the pristane/phytane ratio as a palaeoenvironmental indicator. *Nature* 330, 641–643.
- TEN HAVEN, H.L., DE LEEUW, J.W., SINNINGHE DAMSTE, J.S., SCHENCK, P.A., PALMER, S.E. & ZUMBERGE, J.E. 1988: Application of biological markers in the recognition of palaeohypersaline environments. In: *Lacustrine petroleum source rocks* (Ed. by FLEET, A.J., KELTS, K. & TALBOT, M.R.). *Geol. Soc. Spec. Publ.* 40, 123–130.
- TISSOT, B.P. & WELTE, D.H. 1984: *Petroleum formation and occurrences*. Springer-Verlag, Berlin.
- THOMPSON, J.B. & FERRIS, F.G. 1988: Microbial ultrastructure of thrombotic microbialite and bacterial mat from the chemocline in Fayetteville Gretna Lake. *Geol. Soc. Am. Abstr. Centennial Meeting*, Denver A, 226.

Manuscrit reçu le 12 octobre 1990

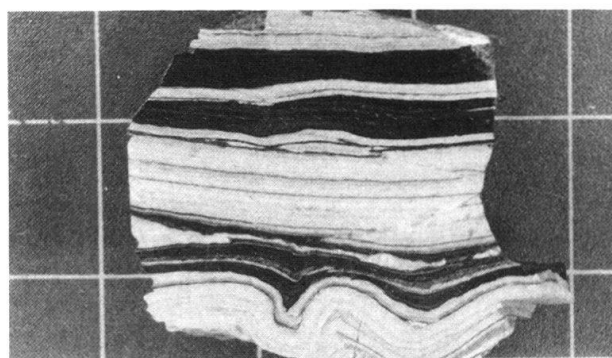
Révision acceptée le 28 janvier 1991

Planche 1

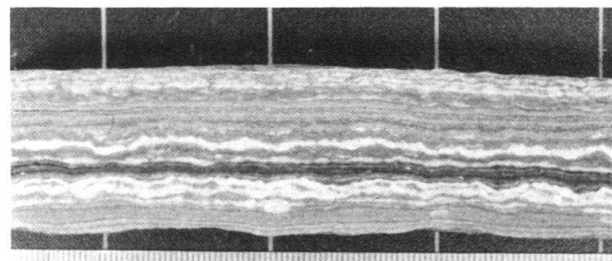
Les différents lithofaciès rencontrés dans les Laminites bitumineuses du site d'Orbagnoux. A = Laminites parallèles, montrant quelques lamines tronquées. B = Microfaciès correspondant à la photographie A. Les éléments clairs représentent des miliolidés (*Paleomiliolina* sp.), des spirillinidés (*Spirillina* sp.), des ataxophragmidés. C = Laminites parallèles déformées, avec, à la base de l'échantillon, une structure interprétée comme une brèche de dissolution. D = Microfaciès du cliché C, montrant les lamines sombres, où les teneurs en COT peuvent atteindre 12%. E = Laminites ondulées, évoquant des stromatolites plans. F = Stromatolites en dômes. G = Microfaciès des lamines ondulées. Pour chaque microfaciès, la barre d'échelle mesure 25 micromètres.



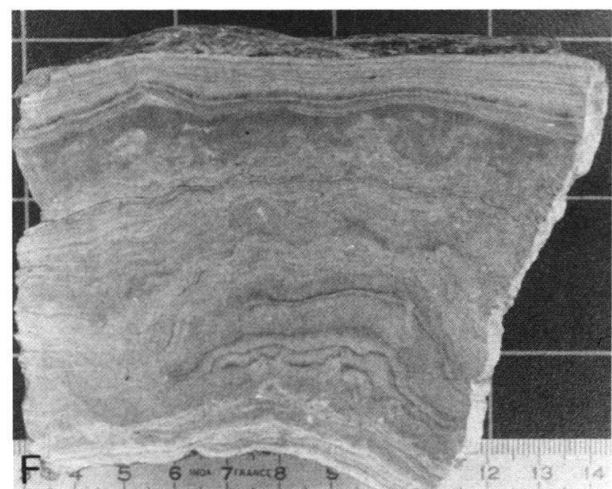
A 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13



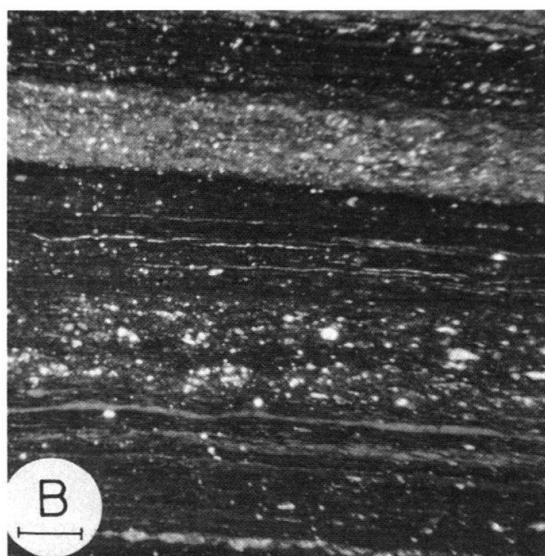
C 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12



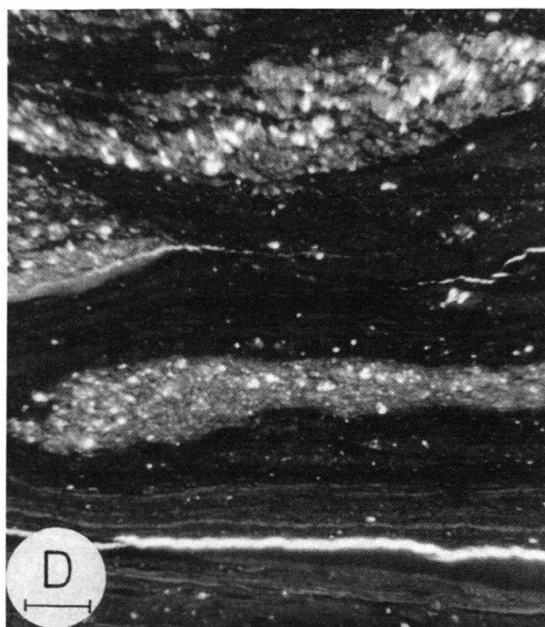
E 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13



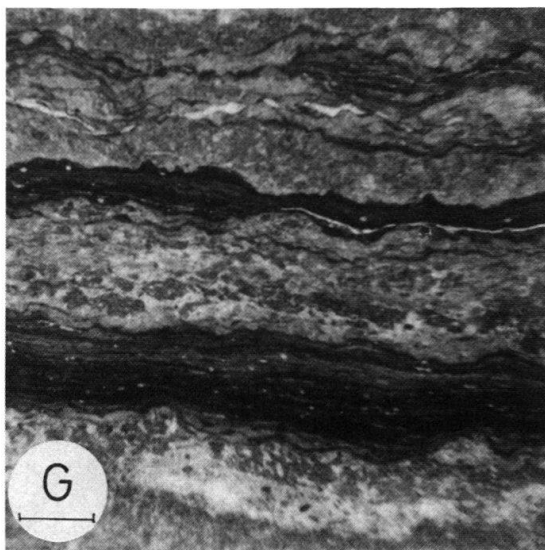
F 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14



B



D

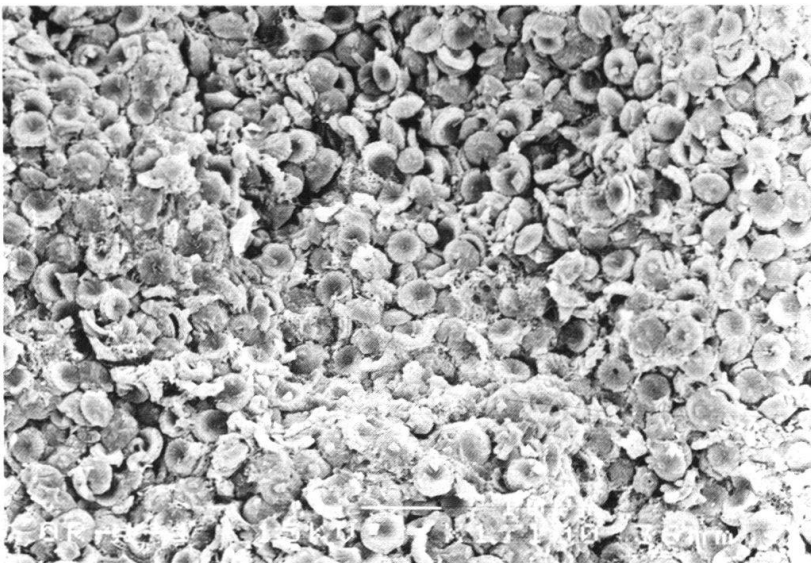


G

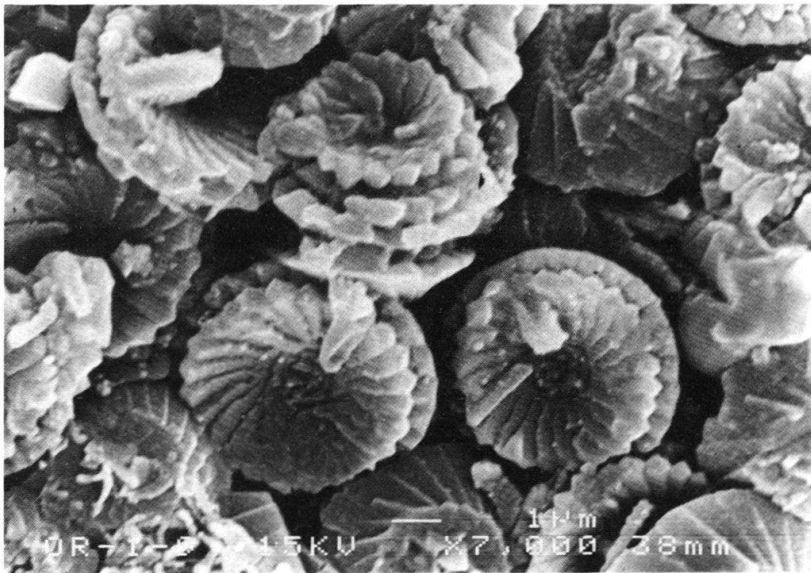
Planche 2

A = Contenu, vu au MEB, d'une lamine parallèle claire, pratiquement exclusivement faite de coccolithes. B = Idem, vue plus rapprochée, montrant des représentants de l'espèce *Cyclagelosphaera margerelii*. C = Filaments endolithiques, d'origine microbienne, visibles dans les lamines ondulées.

A
10 μm



B
1 μm



C
1 μm

