

Société
Géologique du
Nord

ANNALES

Tome 6 (2^{me} série), Fascicule 1
parution 1998

SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD
59655 VILLENEUVE D'ASCQ CEDEX

ISSN 0767-7367

SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD

Extraits des Statuts

Article 2.

- Cette Société a pour objet de concourir à l'avancement de la géologie en général, et particulièrement de la géologie de la région du Nord de la France.
- La Société se réunit de droit une fois par mois, sauf pendant la période des vacances. Elle peut tenir des séances extraordinaires décidées par le Conseil d'Administration.
- La Société publie des Annales et des Mémoires. Ces publications sont mises en vente selon un tarif établi par le Conseil. Les Sociétaires bénéficient d'un tarif préférentiel (1).

Article 5.

Le nombre des membres de la Société est illimité. Pour faire partie de la Société, il faut s'être fait présenter dans l'une des séances par deux membres de la Société qui auront signé la présentation, et avoir été proclamé membre au cours de la séance suivante.

Extraits du Règlement Intérieur

§ 7. - Les Annales et leur supplément constituent le compte rendu des séances.

§ 13. - Seuls les membres ayant acquitté leurs cotisation et abonnement de l'année peuvent publier dans les Annales. L'ensemble des notes présentées au cours d'une même année, par un auteur, ne peut dépasser le total de 8 pages, 1 planche simili étant comptée pour 2 p. 1/2 de texte.

Le Conseil peut, par décision spéciale, autoriser la publication de notes plus longues.

§ 17. - Les notes et mémoires originaux (texte et illustration) communiqués à la Société et destinés aux Annales doivent être remis au Secrétariat le jour même de leur présentation. A défaut de remise dans ce délai, ces communications prennent rang dans une publication postérieure.

§ 18. - Les Mémoires sont publiés par fascicule après décision du Conseil.

Avertissement

La Société Géologique du Nord ne peut en aucun cas être tenue pour responsable des actes ou des opinions de ses membres.

Tirages à part

Conformément au paragraphe 14 du Règlement Intérieur (Tome LXXXI, p. 12), les tirages à part sont à la charge des auteurs qui doivent en faire par écrit la déclaration expresse du bon à tirer.

Cotisations et Abonnements (à la date du 1^{er}-1-1998)

	QUALITÉ	COTISATION	ABONNEMENT aux Annales	TOTAL
FRANCE et C.E.E.	Personnes physiques (2) (3)	50,00 F	170,00 F T.T.C.	220,00 F
AUTRES PAYS	Personnes physiques	50,00 F	190,00 F T.T.C.	240,00 F

Abonnement des non-membres : FRANCE et C.E.E. : 385,00 F H.T. — ÉTRANGER : 420,00 F

ANNALES DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD

La vente des Annales s'effectue par tomes entières aux prix suivants. Exceptionnellement, et jusqu'à épuisement du stock, certains fascicules sont en vente séparément.

Tomes I à LXXIX (manquent I, II, V à IX, XVI, XXII, XXXIV à XXXVI, XXXIX à XLIII, XLV, XLVII à LVIII).....	200,00 F H.T.
Tomes LXXX à XCV (manque XCI).....	270,00 F H.T.
Tomes XCVI à CV.....	330,00 F H.T.
Tome CVI.....	385,00 F H.T.

TABLES GÉNÉRALES DES ANNALES

Table 1 (Tomes I à XX) - Table 2 (Tomes XX à XXX) - Table 3 (Tomes XXXI à XL) - Table 4 (Tomes XLI à LXXIX)	50,00 F H.T.
Table 5 (Tomes LXXX à CIX).....	par table

Esquisse géologique du Nord de la France, par J. GOSSÉLET, Fascicule IV (Terrains quaternaires).....	29,00 F H.T.
Ecorché géologique infra mésozoïque (extrait de « Contribution à la connaissance des bassins paléozoïques du Nord de la France », présentée par C.F.P. (M), COPESEP et S.N.P.A.).....	50,00 F H.T.

FASCICULES SPÉCIAUX

« Géologie du Nord de la France » (T. LXXXIX, fasc. 1).....	85,00 F H.T.
« Rupture des roches et massifs rocheux » (T. XCV, fasc. 3).....	70,00 F H.T.
« Données nouvelles sur le Paléozoïque de l'Europe occidentale » (T. XCVI, fasc. 4 et T. XCVII, fasc. 1).....	200,00 F H.T.
« Apports récents à la Géologie du Gondwana » (T. XCVII, fasc. 4).....	150,00 F H.T.
« Géologie de l'Europe, du Précambrien aux bassins sédimentaires post-hercyniens » (T. XCIX, fasc. 1).....	150,00 F H.T.
« Géologie appliquée aux problèmes d'énergie et de matières premières » (T. CII, fasc. 2).....	150,00 F H.T.
« Tectonique cassante en distension et coulissement » (T. CIII, fasc. 2-3).....	250,00 F H.T.
« Aspect de la Géologie de l'Ardenne, hommage au Professeur Beugnies » (T. CV, fasc. 2).....	125,00 F H.T.
« Paléozoïque supérieur continental » (T. CVI, fasc. 2).....	300,00 F H.T.
« Actualisation de quelques thèmes géologiques » (T. CVI, fasc. 4).....	125,00 F H.T.
« Géologie et aménagement régional » (T. CIX, fasc. 2).....	250,00 F T.T.C.
« Le Nord et son environnement géologique. » (T. 2, 2 ^{me} série, fasc. 1).....	175,00 F H.T.

(1) Modification adoptée lors de l'Assemblée Générale du 10 janvier 1974.

(2) Les étudiants qui en font la demande annuelle peuvent, par décision du Conseil, bénéficier d'un tarif préférentiel sur l'abonnement (80,00 F), soit un total de 130,00 F.

(3) Les membres du C.F.P. (M) peuvent bénéficier d'un tarif préférentiel sur l'abonnement (120,00 F), soit un total de 170,00 F.

Société
Géologique du
Nord

ANNALES

Tome 6 (2^{ème} série), Fascicule 1
parution 1998

SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD
59655 VILLENEUVE D'ASCQ CEDEX

ISSN 0767-7367

CONSEIL D'ADMINISTRATION

— 1998 —

<i>Président</i>	M. F. ROBASZYNSKI
<i>Premier Vice-Président</i>	M. J-P. LEPRÊTRE
<i>Seconds Vice-Présidents</i>	M. D. VACHARD
	M. J.F. DECONINCK
<i>Conseillers</i>	M. N. CRAMPON
	M. A. BLIECK
	M ^{lle} D. BRICE
	M. J-L. MANSY
	M. B. MISTIAEN
	M. J. SOMMÉ
<i>Secrétaire</i>	M. O. AVERBUCH
<i>Secrétaire Adjoint</i>	M. B. LEDESERT
<i>Trésorier</i>	M. J.M. DÉGARDIN
<i>Déléguée aux Publications</i>	M ^{me} Paule CORSIN
<i>Bibliothécaire</i>	M. A. TRENTESAUX

CONSEIL SCIENTIFIQUE

— 1998 —

MM. W. CHRISTENSEN (Copenhague), A. DELMER (Bruxelles), W. KUNHT (Kiel),
B. PEYBERNES (Toulouse), M. PRICE (Reading) et H. ZIJLSTRA (Utrecht).

CONSEIL ÉDITORIAL

— 1998 —

MM. A. BLIECK, J.F. DECONINCK, J. FERRIÈRE, B. MISTIAEN et J. SOMMÉ
M^{me} Ch. VINCHON.

Nous tenons à remercier ici MM. N. CRAMPON, J.F. DECONINCK, J. MANIA, S. REGNAULT et
F. TOURNEUR qui ont bien voulu contribuer à l'examen des articles de ce fascicule.

A N N A L E S
D E L A
SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD

Société fondée en 1870 et autorisée par arrêtés en date des 3 Juillet 1871 et 28 Juin 1873

Secrétariat : **Société Géologique du Nord**
Sciences de la terre, 59655 Villeneuve d'Ascq Cedex
Tél. 20 43 43 43 (postes 4104 et 4132) - C.C.P. Lille 52-47 Y

Le fascicule qui paraît aujourd'hui est le premier de l'année 1998, année qui a débuté le 11 Février 1998 par l'élection de nouveaux membres du bureau.

Ont été élus :

M. F. ROBASZYNSKI (40 voix) Président
M. J-P. LEPRÊTRE (41 voix)..... Premier Vice-Président
M. D. VACHARD (41 voix)..... Second Vice-Président
M. J.F. DECONINCK (40 voix) Second Vice-Président
M. A. BLIECK (41 voix)..... Conseiller
M^{lle} D. BRICE (41 voix)..... Conseiller
M. J-L. MANSY (39 voix)..... Conseiller
M. O. AVERBUCH (41 voix) Secrétaire

Avant de passer à la présentation des communications, M^{lle} D. Brice se réjouit que la Société ait manifesté une belle vitalité en 1997 puisqu'elle a publié quatre fascicules des Annales, dont deux très importants, consacrés aux actes du colloque Craie organisé par son prédécesseur M. N. Crampon, ainsi que les Publications 24 (B. Louche) et 25 (J.B. Bréheret).

En outre, au cours du dernier trimestre, la Société a initié et joué un rôle majeur dans la tenue de premières Journées Régionales du Patrimoine Géologique organisées conjointement par la Société Géologique du Nord, le Musée d'Histoire Naturelle de Lille et le Conservatoire des Sites naturels du Nord et du Pas de Calais.

Ces journées, les premières de ce type en France, ont connu un réel succès. La journée du 20 novembre, qui s'est tenue à Lille, a été consacrée à des communications, des débats et à la présentation de posters. Elle a été suivie par une assistance nombreuse et diverse où des scientifiques et enseignants côtoyaient des amateurs, des professionnels et le grand public. Les trois autres journées, qui avaient pour objectifs la découverte du patrimoine géologique régional, comprenaient des visites guidées sur le terrain, en ville, dans des centres et des musées où le patrimoine géologique est mis en valeur. Les participants, venus en grand nombre, ont apprécié ces visites et souhaité qu'elles aient un prolongement.

Les actes de ces journées font l'objet d'une Publication (n°28 vraisemblablement en Avril prochain) qui illustre bien la richesse de ces journées. Les participants à ces manifestations ont souhaité accueillir les prochaines Journées Nationales du Patrimoine géologique. Puisse ce désir se réaliser dans un proche avenir ! C'est un des vœux que je forme pour la Société.

Puis M. B. Hoyez a présenté une communication intitulée "Plage, dune et vasière de l'estuaire nord de la Seine" (note B. Hoyez et A. Cuvilliez), suivie d'une présentation orale au cours de laquelle M. B. Milhau a communiqué les résultats d'une étude collective sur "Les faunes du Famennien terminal (Strunien) d'Etroeungt (Avesnois, N de la France) et d'Etaoucun (Guangxi, Chine du sud). Incidences paléogéographiques", (note B.Mistiaen, B.Milhau, D.Brice, J-M Degardin, C. Derycke, A. Khatir, H-F. Hou, J-C. Rohart, D. Vachard et X-T. Wu.).

PLEURODICTYIDAE DE L'EMSIEN SUPÉRIEUR DES MONTS D'OUGARTA (ALGÉRIE)

Pleurodictyidae of the Upper Emsian of Ougarta (Algeria)

par Yves PLUSQUELLEC (*)

(Planches I et II)

Résumé. — Des récoltes banc par banc dans les coupes classiques du Dévonien des Monts d'Ougarta permettent de réviser, compléter et réactualiser la faune de *Pleurodictyum* sensu lato décrite par le Maître (1952, 1959). Deux espèces de cet auteur *P. saourense* et *P. rosaceum* sont étudiées en détail et figurées pour la première fois (morphologie, structure et microstructure). Le cas de *P. styloporum* sensu Le Maître 1952 est discuté, son attribution à l'espèce américaine est réfutée, il peut s'agir d'un nouveau genre. Des représentants d'une espèce armoricaine *P. crassum* sont décrits et signalés en Ougarta. Un nouveau genre de Pleurodictyidae : *Pterodictyum* est créé pour une nouvelle espèce de l'Emsien de l'Ougarta *P. lobatum* n. gen., n. sp. La faune est complétée par la présence de rares représentants des genres *Kerforneidictyum* et *Petridictyum*. La faune est maghrébo-européenne.

Abstract. — A precise collection in the well known sections of the Devonian of the Ougarta area (Algeria) allows to give new data about the fauna of *Pleurodictyum* sensu lato previously described by Le Maître (1952, 1959). Two species, *P. saourense* Le Maître and *P. rosaceum* Le Maître, are carefully studied and figured for the first time. Morphological, structural and microstructural data are given. The case of *P. styloporum* sensu Le Maître 1952 is investigated : the algerian material does not belong to the american species and may be a new genus. Specimens related to the armorican species *P. crassum* are identified in Ougarta. A new genus belonging to the Pleurodictyidae and a new species are described : *Pterodictyum lobatum* n. gen., n. sp. Representatives of the genus *Kerforneidictyum* and *Petridictyum* are scarce but the diversity of the Pleurodictyidae during the Upper Emsian in Ougarta is important. The fauna, within the Old World Realm, belongs to the maghrebo-european area.

Lors d'une mission dans les Monts d'Ougarta effectuée en 1985 dans le cadre de la thèse de Doctorat de K. Boumendjel, chef du service de Paléontologie de la SONATRACH, nous avons récolté dans l'Emsien supérieur une intéressante faune de Pleurodictyidae. Des données préliminaires sur ce groupe avaient déjà été présentées par Le Maître en 1952 dans sa grande monographie sur les faunes de la Saoura et dans une note plus générale - quant à l'origine géographique du matériel - à l'Académie des Sciences en 1959 où l'auteur décrit (sans figuration) plusieurs espèces nouvelles. L'une d'elles, *Pleurodictyum mauretanicum* a fait l'objet d'une réattribution au genre *Ligulodictyum* sensu lato (Lafuste, Plusquellec et Soto, 1993).

L'étude des *Pleurodictyum* de l'Ougarta nécessitant une révision approfondie des espèces proposées par Le Maître, il y avait là une occasion de redéfinir ces taxons et de les valider 45 ans après en précisant leurs caractères et en figurant la morphologie, la structure et la microstructure. Ce travail a été possible grâce à la coopération de D. Brice qui nous a prêté le matériel original de Le Maître conservé dans les collections du Laboratoire de Géologie de la Faculté Libre des Sciences de Lille (spécimens GFCL). Les spécimens des récoltes 1985 et des moulages des originaux

de Le Maître sont inventoriés dans les collections du laboratoire de paléontologie de Brest (sigle LPB).

I. — LES COUPES DE L'OUGARTA : DONNÉES STRATIGRAPHIQUES.

Dans les Monts d'Ougarta (Sud Oranais), au Sud de Beni Abbès, affleurent les terrains dévoniens dans la dépression bordée par le Grand Erg et l'Oued Saoura au Nord, par les hauteurs des grès de l'Ordovicien au Sud. Trois unités sont reconnues par Bastien (1967). Du Nord au Sud :

- l'unité monoclinale de Chefar el Ahmar ;
- l'unité de Gare Yhoud ;
- l'unité synclinale de l'Erg Djemel.

C'est dans ce dernier synclinal que les coupes de l'Erg Djemel (flanc nord-est) et de El Kseib (flanc sud-ouest) ont livré les faunes étudiées. Curieusement les espèces identifiées ne sont pas présentes dans les niveaux équivalents de l'unité septentrionale dans laquelle se trouve la célèbre coupe du km 30 (Le Maître, 1952) ou coupe de Marhouma.

(*) Laboratoire de Paléontologie et Stratigraphie du Paléozoïque - UFR Sciences - 6 avenue Le Gorgeu - BP 809- 29285 BREST Cedex.

Sous-classe TABULATA Milne-Edwards & Haime 1850
Ordre FAVOSITIDA Wedekind 1937

Famille *PLEURODICTYIDAE* Sardeson 1896

Genre *PLEURODICTYUM* Goldfuss 1829

Pleurodictyum saourense Le Maître 1959

(fig. 2 à 5 ; Pl. I, fig. 4 à 9).

v. 1959 *Pleurodictyum saourense* sp. nov. ; Le Maître p. 2376-2377.

? 1965 *Pleurodictyum rosaceum* Le Maître 1959 ; Plusquellec p. 29-31, fig. 7-9, Pl. IV fig. 20 (non Pl. IV fig. 16-19, forme nouvelle).

Lectotype : Le matériel identifié comme *P. saourense* par Le Maître comporte une colonie complète, bien dégagée à squelette conservé et une lame mince transversale sans chute de taille et sans moulage préalable. Nous désignons comme lectotype la colonie ci-dessus mentionnée : GFCL 458 (= moulage LPB 9890). Par comparaison avec des coupes taillées dans du matériel topotypique la détermination originale de la lame mince B₃ 2230 (= GFCL 459) est confirmée.

Locus typicus : Erg Djemel c'est-à-dire coupe du flanc nord-est du synclinal de l'Erg Djemel, Mt d'Ougarta (Algérie).

Stratum typicum : Les nouvelles récoltes permettent de préciser la position lithostratigraphique et chronostratigraphique de l'espèce ; base de la Formation de Chefar el Ahmar, niveau coralligène, banc ED 29, Emsien supérieur terminal (niveau considéré comme Eifélien par Le Maître).

Matériel : Matériel type (GFCL 458, GFCL 459), un spécimen coll. Le Maître déterminé comme *P. rosaceum* (GFCL 457) même localité et niveau, 9 spécimens coll. Y.P. n° LPB 14310-LPB 14318 ayant valeur de topotypes.

Diagnose spécifique.

Pleurodictyum à corallum de diamètre "moyen" de 13 à 15 mm et de 5 à 6 mm de hauteur, à face proximale divisée en secteurs par des sillons profonds, à face distale comprenant généralement de 9 à 13 eucorallites et 4 à 6 corallites intercalaires entourant un protocorallite central à subcentral de diamètre 5,0 à 6,5 mm. Eucorallite de 4 à 6 mm de diamètre, à rides septales fortes, granuleuses, ride cardinale souvent trifide raccordée au fond calicinal convexe également granuleux. Corallites intercalaires petits 2,5 à 3,0 mm de diamètre. Absence de planchers; lame basale et murailles parfois pluricentriques et sclérenchyme lamellaire. *Hicetes* toujours présent avec ouvertures au contact du protocorallite.

Description de l'espèce.

L'espèce présentant peu de variation et le lectotype obligé étant très représentatif de l'espèce, sinon par sa taille du moins par sa morphologie il n'y a pas lieu dans la description de distinguer type et topotypes.

— Face proximale. Elle est plane et faiblement concave et montre dans sa région centrale l'empreinte d'un bioclaste - Brachiopode ou Pélécy-pode - ou la coquille elle-même. Dans le premier cas, la légère usure qui affecte les spécimens laisse voir la galerie du "Ver" *Hicetes*. Autour du support la face proximale montre une "épithèque" à stries et bourrelets de croissance concentriques divisée en secteurs assez nettement convexes par des sillons radiaux généralement bien marqués ; ces secteurs correspondent aux limites des corallites. Sur un spécimen (LPB 14310) une linéation radiale discrète se superpose aux stries concentriques.

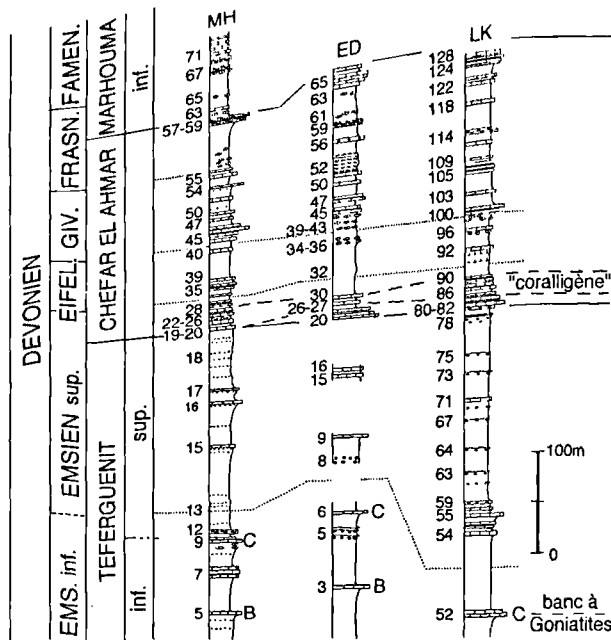


Fig. 1. — Corrélations lithostratigraphique et chronostratigraphique des coupes de l'Ougarta (d'après Boumendjel et al., 1997).

Fig. 1. — Lithostratigraphic and chronostratigraphic correlations in the Ougarta sections (after Boumendjel et al., 1997).

Les niveaux à "*Pleurodictyum*" de l'Emsien supérieur terminal se situent à la base de la Formation de Chefar el Ahmar soit dans le "niveau coralligène" soit légèrement au dessus (fig. 1). Pour la discussion concernant la litho et la chronostratigraphie voir Boumendjel, Morzadec, Paris et Plusquellec (1985), Boumendjel (1987), Göddertz (1987), Boumendjel et al., (1997, p. 79-88) et Paris et al., (1997, p. 117-121).

II. — INVENTAIRE PALÉONTOLOGIQUE.

Un rappel de la nomenclature utilisée dans la description des pleurodictyiformes nous a semblé utile pour la bonne compréhension du chapitre paléontologique.

— Le corallite fondateur de la colonie est le protocorallite.

— Tous les corallites issus (en dernière analyse) du protocorallite sont des métacorallites.

— Les corallites dont le fond calicinal ou une demi-muraille constitue la lame basale - ou pour les formes plus ou moins coniques ceux dont au moins un côté apparaît sur la face proximale - sont les eucorallites (Fuchs et Plusquellec 1982) ; le protocorallite en fait partie.

— Les corallites intercalaires ne sont visibles que sur la face distale, ils sont souvent coniques et polygonaux ; ils n'atteignent pas la périphérie des colonies discoïdes.

— Le terme "épithèque" est utilisé dans son sens morphologique traditionnel et ne correspond pas à un tissu squelettique propre chez les Tabulés.

- Face distale. Elle est convexe et son contour subcirculaire présente une légère lobation correspondant à la marge des corallites périphériques.

La colonie possède des corallites de deux types. Corallites de grande taille centraux et périphériques atteignant la lame basale : les eucorallites ; corallites à petits calices triangulaires, quadrangulaires ou pentagonaux : les corallites intercalaires.

Parmi les eucorallites, on peut identifier le protocorallite, il est central ou subcentral flanqué par les deux ouvertures circulaires du tube du ver commensal. Celles-ci n'ont pas une position rigoureusement latérale et sont toujours décalées du côté de l'angle initial du protocorallite (fig. 2) et permettent de ce fait d'orienter la colonie. Le protocorallite est entouré par une couronne incomplète de corallites intercalaires.

Exception faite du protocorallite, le nombre d'eucorallites n'atteignant pas la périphérie de la colonie est toujours faible, 3 sur le lectotype mais souvent 1 seul voire aucun. Les eucorallites périphériques possèdent typiquement un fond calicinal convexe orné de granules de taille moyenne (0,15-0,25 mm) et bien séparés les uns des autres. Le protocorallite a souvent un fond calicinal plus réduit, plan ou inexistant et linéaire. Les murailles portent des rides septales fortes sur lesquelles les granules sont souvent répartis sur 2 files et disposés face à face ou en faible quinconce. La ride septale externe ou "cardinale" est particulière et constitue un des traits caractéristique de l'espèce. A sa base elle se raccorde de

façon continue au bombement du fond calicinal, c'est-à-dire que le sillon périphérique qui entoure celui-ci au pied de la muraille est interrompu au niveau de la ride cardinale par une sorte de petit pont. A son extrémité distale, elle est souvent trifide (B, fig. 3) mais les courts sillons qui déterminent cette disposition sont beaucoup moins marqués que les profonds sillons latéraux. Ce dispositif n'est pas identifiable sur le protocorallite (C, fig. 3) et peut être altéré sur certains eucorallites périphériques (A, fig. 3).

Ces caractéristiques apparaissent de façon différente mais toute aussi diagnostique sur les reconstitutions en latex de "moulage naturel" : deux reliefs étroits et longs, bien marqués séparés par un large espace faiblement concave portant sur sa marge deux reliefs courts (Pl. I, fig. 8²).

Les pores muraux sont principalement localisés dans la partie distale des murailles, leur position ne paraît pas bien définie par rapport aux rides septales : sur ou entre les rides.

Les corallites intercalaires triangulaires à pentagonaux, perchés au sommet de la colonie sont principalement localisés autour du protocorallite, ils sont généralement coniques, leur morphologie est comparable à celle des eucorallites bien que les rides septales soient plus discrètes.

Croissance de la colonie.

L'absence de moulage naturel ne permet pas d'identifier un probable pore basal présent chez beaucoup de

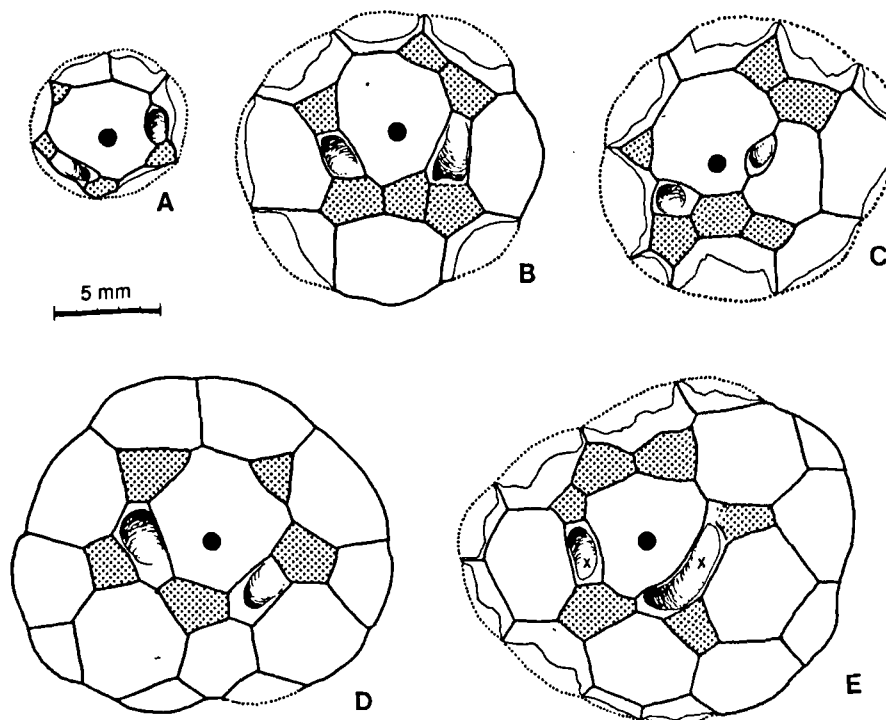


Fig. 2. — *Pleurodictyum saourense*. Face distale, dessin semi-schématique montrant la disposition des eucorallites et des corallites intercalaires (pointillé), pastille noire au centre du fond calicinal du protocorallite, en X la galerie de *Hicetes*.
A : LPB 14312 - B : LPB 14313 - C : LPB 14315 - D : LPB 14310 - E : GFCL 458 (Lectotype).

Fig. 2. — *Pleurodictyum saourense*. Diagrammatic sketch of the upper side of the corallum showing the lay-out of the eucorallites and intercalary corallites (dotted), black spot in the "center" of the calicinal bottom of the protocorallite. X for Hicetes tube.

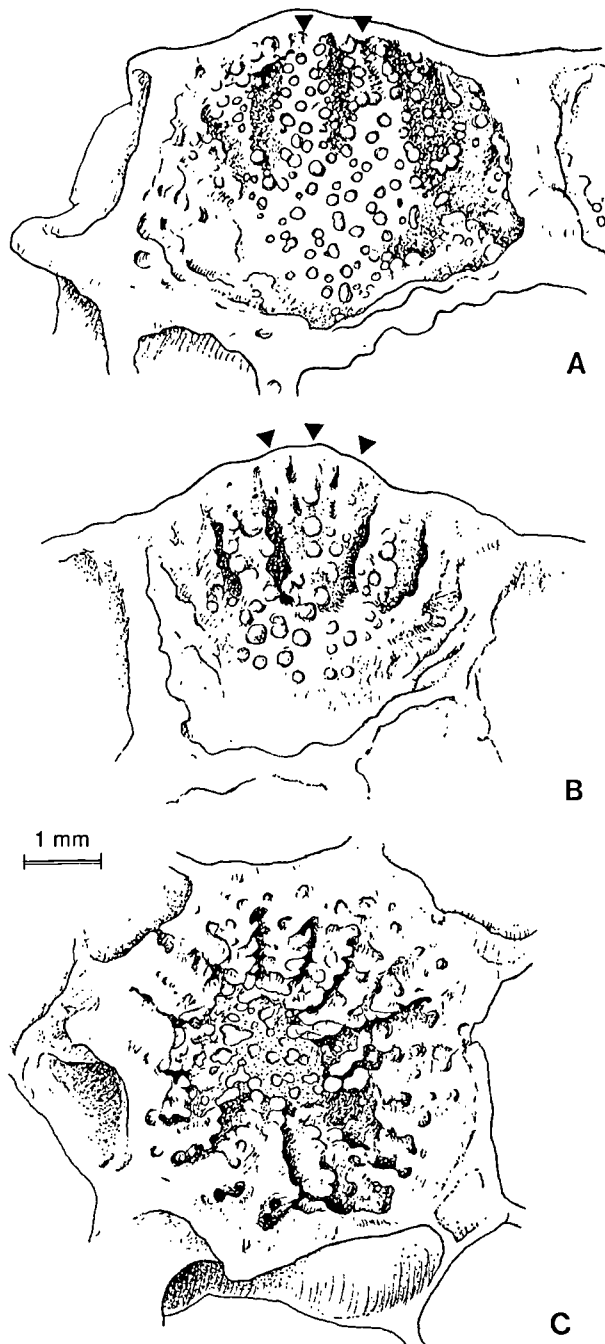


Fig. 3. — *Pleurodictyum saourense*. Aspect et ornementation des rides septales des eucorallites.
 A : LPB 14315, altération du système trifide du secteur cardinal.
 B : LPB 14310, ride "cardinale" trifide.
 C : LPB 14316, protocorallite, dispositif trifide non identifiable.

Fig. 3. — *Pleurodictyum saourense*. Morphology and ornamentation of the septal ridges in eucorallites.
 A : LPB 14315, modified feature of the cardinal area with two main septal ridges.
 B : LPB 14310, standard cardinal area.
 C : LPB 14316, protocorallite, cardinal area not obvious.

Pleurodictyformes. Par contre une colonie de très petite taille expose un stade de croissance intéressant. L'édification du corallum ne se fait pas autour d'une triade centrale comme chez *Cleistodictyum porosum* (Plusquellec

in Le Menn *et al.*, 1976) ou *Pleurodictyum problematicum* (Fuchs et Plusquellec 1982) mais autour du protocorallite qui est précocement entouré par une couronne complète d'eucorallites de 2 à 3 pans de muraille et par des corallites intercalaires (A, fig. 2).

Il n'y a ainsi qu'une faible différence du nombre total de corallites entre une très jeune colonie et une colonie de diamètre double (diamètre 7,7 mm - 11 corallites, diamètre 15,0 mm - 15 corallites).

Association Hicetes - Pleurodictyum.

Elle est constante et l'augmentation du diamètre du commensal suit celui du corallum (fig. 4). Contrairement à ce que l'on observe chez plusieurs espèces la galerie de *Hicetes* ne dérive pas au cours de la croissance et les deux ouvertures du tube en U sont toujours adjacentes au protocorallite. Curieusement et presque systématiquement la section du tube au niveau de l'ouverture est plus ou moins semi-circulaire, ou en croissant, la face plane en position externe.

Mensurations.

Elles sont présentées sous forme de tableau (Tabl. 1) et de diagrammes (fig. 4) et montrent les dimensions extrêmes du lectotype pour ce qui concerne diamètre et nombre de corallites.

Structure et microstructure.

Des lames minces nouvelles, transversale et axiale, d'épaisseur pétrographique et ultraminces "LFP", permettent de confirmer et préciser les observations de Le Maître.

La lame mince transversale GFCL 459 taillée dans une colonie dont il ne reste pas de trace et les lames complémentaires ou empreintes à l'acétate prélevées dans le matériel topotypique montrent une lame basale compacte entamée par la galerie du commensal *Hicetes*, des calices dépourvus de planchers et une muraille percée de pores muraux (B et C, fig. 5).

La microstructure est typiquement celle du genre *Pleurodictyum* : lame basale et murailles montrent des trabécules emballées dans un sclérenchyme lamellaire.

La lame médiane des murailles n'est pas identifiable sur les lames "pétrographiques" et il semble bien qu'elle manque réellement par endroit. Toutefois sur la lame "LFP" (LPB 14311) son existence est manifeste et elle se présente sous forme d'un alignement étroit de biocristaux isodiamétriques d'environ 5 à 10 µm de diamètre.

Les trabécules de la lame basale sont nombreuses, environ 10-15 par mm², et de taille inégale, les plus petites ont un diamètre de 0,05 mm, les plus grandes jusqu'à 0.15-0,20 mm. A propos de leur morphologie, Le Maître (1959, p. 2377) notait "elles semblent bifurquées et disposées en petites touffes". En effet, plusieurs sections transversales montrent des centres de calcification doubles ou triples (C, fig. 5), mais on n'en possède pas d'images axiales, de plus ce dispositif n'a pas été retrouvé sur les nouvelles sections. Dans la muraille, les trabécules dont la longueur peut atteindre 0,5 mm sont implantées avec une légère obliquité distale ; il n'y a pas de bifurcations visibles...

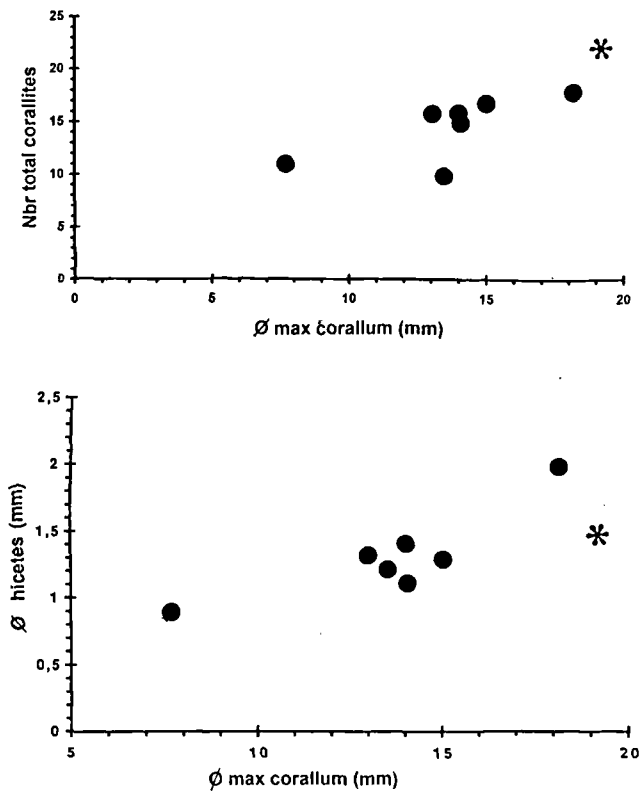


Fig. 4. — *Pleurodictyum saourense*. Représentation graphique des quelques paramètres biométriques (étoile pour le lectotype).

Fig. 4. — *Pleurodictyum saourense*. Scattergrams (star for lectotype).

Elles sont subcylindriques à légèrement renflées dans leur partie médiane.

En lame "LFP" l'extinction balayante des trabécules en coupe longitudinale axiale indique une disposition des fibres en jet d'eau (water-jet trabeculae). Les lamelles du sclérenchyme sont légèrement onduleuses parfois organisées en paquets plus ou moins discordants, la cupulation est peu marquée ; leur longueur (ou diamètre) peut atteindre 90 µm et leur épaisseur maximum est de 4-5 µm (E, fig. 5).

Paleobiogéographie.

Les spécimens du Massif armoricain attribués *in illo tempore* à *P. rosaceum* (Plusquellec, 1965) paraissent devoir être rapprochés de *P. saourense* du moins pour les colonies non décalcifiées de la coupe de Prioldy, Rade de Brest (Formation de Beg an Arreun, Emsien supérieur, zone à *laticostatus*) et pour le matériel inédit provenant de la Formation du Fret, Emsien supérieur, zone à *serrotinus* (pour la zonation des Conodontes voir Morzadec et Weyant, 1982). Malgré la petitesse des colonies les caractères morphologiques sont très semblables y compris ceux des rides septales. Quant aux spécimens décalcifiés également rapportés à *P. rosaceum* dans la publication pré-citée, ils possèdent des caractères particuliers et un réexamen du matériel s'impose.

	Ø corallum	hauteur corallum	nbr total corallites	nbr eucoral	nbr intercal	Ø protocoral /nbr pans mur	Ø eurocoral /nbr pans mur	Ø intercal /nbr pans mur	Ø Hicetes
GFCL 458 lectotype	19.2x17.0	6.0	22	18	5	6.8/9	5.8-5.0-5.5 5.3-6.0-5.2 /5-7	3.2-3.3 3.9-3.0 2.2 /4	1.5
LPB 14310	18.2-15.8	7.1	18	13	5	6.5/8-9	5.6-4.7-6.0 5.6-5.9-6.0 5.6-4.0 /4-6	3.0-3.6 2.6-3.3 3.4 /3-4	2.0
LPB 14311	15.0x14.0	-	17	12	5(?)	5.5/10	5.1-4.2-4.0 4.4-4.2-4.2 4.5-5.0-4.1 3.8 /4-7	2.3-2.7 2.5-2.6 /3-4	1.3
LPB 14312	± 7.7x7.3	2.9	11	7	4	5.5/9	3.2-2.8-4.2 3.5 /3-4	1.1-1.7 1.4-1.7 /3	0.9
LPB 14313	14.1x13.5	6.3	15	9	6	6.0/9	5.2-5.0-5.4 5.0 /4-5	2.5-2.7 2.8-2.8 3.1-2.6 /3-5	1.4
LPB 14315	13.0x13.0	6.7	16	10	6	6.5/9	5.1-6.0-5.2 5.0-4.9-5.2 4.3 /4-6	2.8-2.5 2.7-2.8 2.6-2.0 /3-5	1.3
LPB 14316	± 14.0x13.5	4.8	≥ 16	13	3	5.7/9	3.5-4.8-4.0 /4-7	2.0-2.2 1.4 /3-4	1.1
LPB 14317	± 13.5x12.0	≥ 4.0	10(?)	9	1	5.0/6	-	2.2 /4	1.2
Moyennes	14.3x13.3	5.4	(15.6) 15-16	(11.4) 11-12	(4.4) 4-5	5.9	4.8	2.6	1.3

Tabl. I. — *Pleurodictyum saourense*, mensurations en mm.

Table. I. — *Pleurodictyum saourense*, measurements in mm.

En conclusion, malgré les avatars des déterminations spécifiques, *P. saourense* apparaît comme une forme nord-gondwanienne ou plus précisément ibarmaghienne présente à la fois en Afrique du Nord (région nord saharienne sensu Racheboeuf, 1990) et dans le Massif armoricain.

Pleurodictyum crassum Plusquellec 1965

(fig. 6 ; Pl. I, fig. 1 à 3).

v. 1965 *Pleurodictyum crassum* nov. sp. ; Plusquellec p. 23-25, fig. 5-6, pl. IV fig. 1-10.

Matériel : 2 colonies. Une colonie incomplète (LPB 14322) provenant de la coupe de l'Erg Djemel, niveau ED 29, "Coralligène" ou base de la Formation de Chefar el Ahmar, Emsien supérieur terminal. Une colonie complète indéterminée (coll. Le Maître, GFCL 460) portant la mention "Erg Djemel" présentant exactement la même qualité de fossilisation et la même couleur que le spécimen récolté par nous et provenant vraisemblablement du même niveau.

Description de l'espèce.

- La face proximale est légèrement convexe (GFCL 460) ou faiblement concave (LPB 14322) et divisée en secteurs individuellement convexes séparés par des sillons étroits. L'ensemble de la face proximale porte des stries et bourrelets de croissance. Un bioclaste - support occupe la zone centrale.

- Le contour est subcirculaire et faiblement lobé.

- La face distale fortement et irrégulièrement convexe (la partie centrale est quelque peu proéminente) montre des calices arrondis, petits et nombreux. La colonie complète comporte, pour un diamètre de 14,3 mm et une hauteur de 7,7 mm, 42 corallites dont 24 périphériques parmi lesquels 11 sont à peine ébauchés. On peut estimer à 4-5 le nombre de corallites intercalaires, principalement localisés dans la partie centrale du polypier. Le protocorallite n'est pas identifiable. La muraille est étroite en périphérie mais plus large et légèrement concave dans la zone centrale en particulier au-dessus de la galerie du commensal. Il peut se

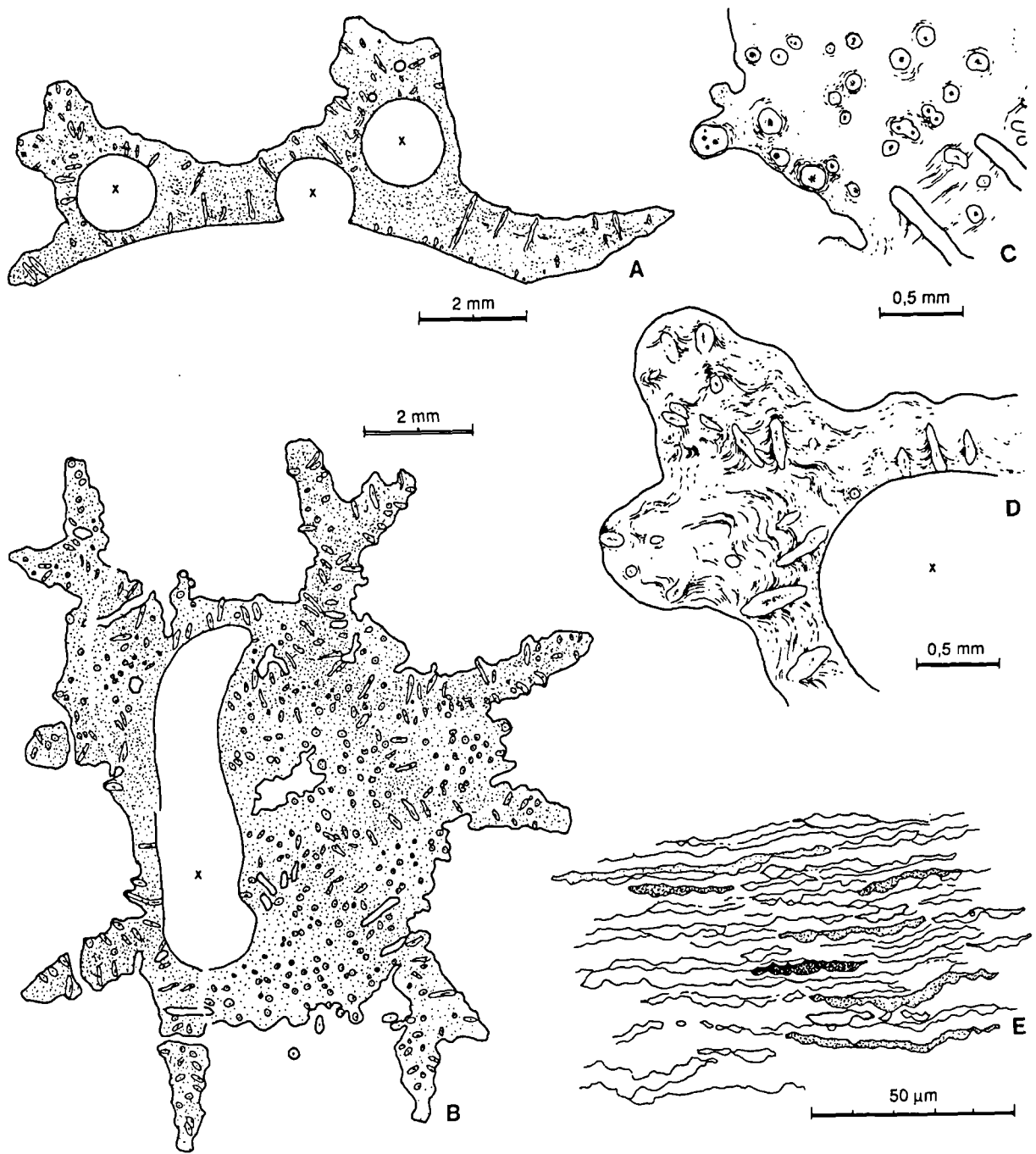


Fig. 5. — *Pleurodictyum saourense*. Structure et microstructure.

- A : LPB 14313, coupe axiale (sections longitudinales dans les trabécules).
- B : GFCL 459, coupe transverse au niveau de la lame basale (sections transverses dans les trabécules). La limite des corallites est marquée par une zone sombre dans le sclérenchyme.
- C : GFCL 459, coupe transversale dans les trabécules enveloppées de sclérenchyme lamellaire. Remarquer les centres de calcification multiples.
- D : LPB 14313, trabécules et sclérenchyme lamellaire en coupe axiale.
- E : LPB 14311, lame LFP montrant la morphologie des lamelles du sclérenchyme, sens d'accrétion du squelette de bas en haut de la figure.

Fig. 5. — *Pleurodictyum saourense*. Structure and microstructure.

- A : LPB 14313, axial section (longitudinal sections in the trabeculae).
- B : GFCL 459, transverse section in the basal plate (transverse sections in the trabeculae). The boundary of the corallites appears as a dark area in the stereoplasm.
- C : GFCL 459, transverse sections in the trabeculae embedded in a lamellar stereoplasm. Notice some trabeculae with two or three axis.
- D : LPB 14313, axial sections in trabeculae and stereoplasm.
- E : LPB 14311, polished ultra thin section (= "LFP") showing the outlines of the lamellae ; skeletal accretion from bottom to top of the figure.

développer une véritable plate-forme intercalicinale légèrement concave atteignant jusqu'à 2 mm de largeur.

Les calices sont relativement profonds, subcylindriques et malgré l'usure on peut distinguer de fines rides septales ; la partie centrale des fonds calicinaux est bombée et granuleuse. Le diamètre des calices est de 3,0-3,3 mm pour les plus grands, 1,5-2 mm pour les plus petits. Les pores muraux irrégulièrement répartis sont de petite taille, environ 0,15 mm.

Le commensal *Hicetes* est présent sur les 2 spécimens, son diamètre est de 1,8 mm.

Structure interne et microstructure.

Une lame mince subaxiale complétée par une coupe parallèle à celle-ci montre un squelette massif constitué de trabécules très nombreuses, localement plus ou moins jointives, emballées dans un sclérenchyme lamellaire (fig. 6). L'existence de trabécules bifides n'est pas exclue.

Pas de ligne médiane identifiable ni de planchers. Le diamètre des trabécules est compris entre 0,04 mm et 0,09 mm (les trabécules de fort diamètre étant les plus fréquentes) leur longueur atteint 0,6 mm.

Rapport et différences.

Par leur morphologie générale, les spécimens de la Saoura sont extrêmement semblables à ceux du Massif armoricain. GFCL 460 en particulier montre le même type d'irrégularité du profil de la face distale que le lectotype (LPB 181), les calices sont de même diamètre mais moins nombreux (26) compte tenu du nombre très faible de corallites périphériques, les espaces intercalicinaux ne montrent pas de granulation à cause du sablage éolien mais leur présence est potentielle dans la mesure où des trabécules sont arasées.

L'absence de planchers dans le seul spécimen coupé ne permet pas de préjuger de la généralité du caractère et ne constitue pas un obstacle à l'attribution spécifique car certaines colonies armoricaines - rares il est vrai - n'en possèdent apparemment pas et dans d'autres ils sont extrêmement limités.

La taille des trabécules est de même ordre de grandeur (0,04 à 0,13 mm pour les spécimens de la Rade de Brest) et l'on retrouve peut-être dans la Saoura des trabécules ramifiées comme dans les formes armoricaines, du moins certaines apparaissent-elles ainsi sur les lames d'épaisseur pétrographique.

Répartition stratigraphique.

Dans le Massif armoricain (Rade de Brest), *Pleurodictyum crassum* est localisé dans les Calcaires de Beg an Arreun (Emsien supérieur, zone à *laticostatus*) et dans les Schistes et calcaires du Fret (Emsien supérieur, zone à *serotinus*). Par ailleurs, *Paracleistopora smythi*, espèce associée à *P. crassum* dans le Coralligène de la coupe de l'Erg Djemel (niv. ED 29), est attesté en Rade de Brest dans les Schistes de Kerdreolet (Emsien supérieur, zone à *patulus*).

Dans les Monts d'Ougarta, Göddertz (1987) attribue - dans la coupe de Marhouma - l'extrême base du Coralligène à

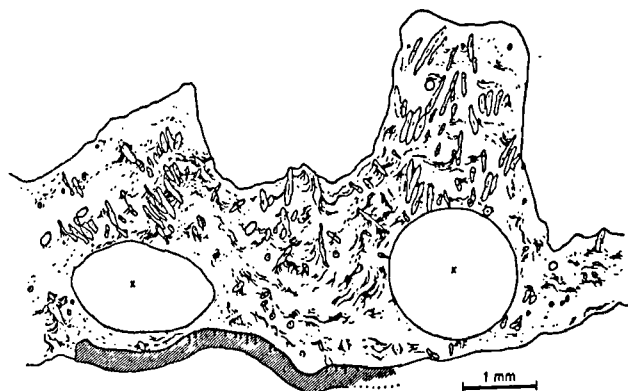


Fig 6. — *Pleurodictyum crassum*. LPB 14322, coupe axiale, colonie fixée sur un fragment de Trilobite, sclérenchyme lamellaire et trabécules nombreuses.

Fig. 6. — *Pleurodictyum crassum*. LPB 14322, axial section, a portion of Trilobite is used as attachment substrate, lamellar stereoplasm with numerous trabeculae.

la zone à ? *laticostatus*, la zone à ? *partitus* dont la base n'est pas reconnue est identifiée à 10 m environ au dessus du toit de ce niveau à coraux. De plus la partie terminale du Coralligène est caractérisée par l'apparition d'*Anarcestes lateseptatus*.

En se basant sur les données du Massif armoricain, la coexistence de *P. crassum* et de *P. smythi* au sommet du Coralligène conduit à placer avec quelque vraisemblance la partie terminale de ce niveau dans la zone à *serotinus* ou dans la zone à *patulus*. Ceci est tout à fait compatible avec la répartition discontinue des Conodontes et des Goniatites en Ougarta.

Signalons aussi dans la partie moyenne du membre supérieur de Teferguenit (Emsien supérieur) dans la coupe de El Kseib (niv. LK 59) de petites colonies silicifiées qui semblent proches de *P. crassum*. Ce niveau pourrait être l'équivalent des Calcaires de Beg an Arreun (zone à *laticostatus*).

Pleurodictyum styloporum (Eaton 1832)
sensu Le Maître 1952

(fig. 7 ; Pl. II, fig. 7).

v. 1952 *Pleurodictyum styloporum* (Eaton) Hall ; Le Maître p. 90-91, Pl. II fig. 21-22.

Matériel : Deux spécimens dont un seul a été retrouvé (GFCL 131 + moulage LPB 9888) sont décrits par Le Maître sous cette attribution spécifique ; ils proviennent de l'"Erg Demel (bord N.E.), Emsien supérieur". Associés à *Taouzia magna* (Le Maître 1952, p. 14), ils ont selon toute vraisemblance été récoltés dans le niveau ED 15. Formation de Teferguenit, membre supérieur. Emsien supérieur. Pas de matériel complémentaire.

Description du spécimen figuré GFCL 131.

La face proximale plane à légèrement concave est proche de celle de *P. saourense*, toutefois les sillons radiaires en limite de secteurs sont moins marqués et la linéation radiaire sur les secteurs eux-mêmes (image des rides septales) plus accentuée (Pl. II, fig. 7). La face distale, convexe, mal dégagée ou usée comporte pour un diamètre de 25,0 x 20,6 mm, 28 corallites dont 6 intercalaires. Le

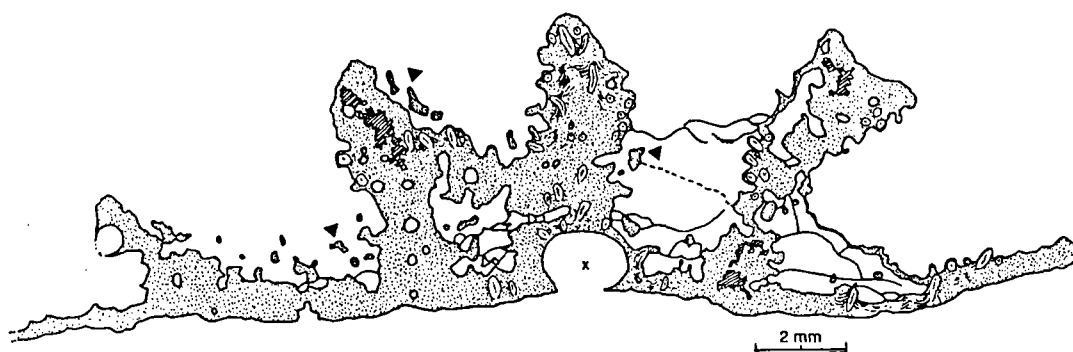


Fig. 7. — *Pleurodictyum styloporum* sensu Le Maître 1952. GFCL 131, coupe sub-axiale montrant les éléments squelettiques détachés de la muraille. Les planchers parfois épaissis, les trabécules et le sclérenchyme lamellaire.

Fig. 7. — *Pleurodictyum styloporum* sensu Le Maître 1952. GFCL 131, axial section showing the trend of the wall to be spongy, some thickened tabulae, trabeculae and lamellar stereoplasm.

diamètre des eucorallites est d'environ 5,5 à 6,5 mm et celui des intercalaires 2-3 mm. Les 2 ouvertures du *Hicetes* sont très difficiles à identifier mais sa présence est attestée par l'observation de la face proximale.

Compte tenu des répercussions paléobiogéographiques de la détermination de Le Maître, la connaissance de la structure de la colonie s'avérait indispensable et l'unique spécimen disponible a été coupé et 2 empreintes à l'acétate ont été prélevées. La coupe - subaxiale - montre la présence d'une muraille dont l'aspect quelque peu caverneux est la principale caractéristique (fig. 7). De plus des éléments squelettiques se détachent de cette muraille et constituent une ébauche de structure spongieuse à l'intérieur des calices. Dans le fond des calices, des planchers minces, incomplets, vésiculeux prennent partiellement appui sur ces structures. Il existe en outre des planchers épaissis, irréguliers, plus complets que les précédents qui limitent les fonds calicinaux ou doublent la muraille.

La microstructure est suffisamment lisible sur les empreintes pour mettre en évidence des trabécules nombreuses de diamètre voisin de 0,15 mm noyées dans un sclérenchyme lamellaire qui se rebrousse à leur contact. Dans la muraille située au dessus de la galerie du commensal (fig. 7) les trabécules constituent un dispositif divergeant et il n'y a pas de lame médiane identifiable ; toutefois son absence ne pourrait être confirmée que par une lame mince.

L'attribution du spécimen GFCL 131 à l'espèce américaine : *Pleurodictyum americanum* Roemer 1876 (le nom de *stylapora - styloporum* étant considéré comme non valide, voir Ross 1953, p. 77) n'est pas soutenable et cela présente une certaine importance paléobiogéographique.

D'un simple point de vue morphologique, la forme américaine est très différente. Chez cette dernière la face proximale est parfois faiblement convexe - ce qui paraît peu commun malgré les figurations de Roemer (1876, pl. 23 fig. 2b) et de Hall (1877, pl. XVIII fig. 1) - mais dans la grande majorité des cas observés ou figurés (Brett et Cottrell, 1982; Pandolfi et Burke, 1989a et 1989b), la convexité est accentuée ou bien la face proximale est franchement conique. De plus, sur certains spécimens en cône très évasé, la partie marginale de l'épithèque devient subverticale.

La face distale de l'espèce américaine est plus nettement convexe, voire très souvent hémisphérique ou à tendance

columnaire. Elle possède des corallites dont le diamètre est voisin de celui de la forme de l'Ougarta, mais les intercalaires sont beaucoup plus nombreux.

La structure et la microstructure de l'espèce américaine sont bien différentes. Chez celle-ci les murailles sont minces, régulières, sans apophyses, les planchers sont souvent complets, régulièrement espacés, parfois nombreux. Du point de vue microstructural, la muraille est axée par une lame médiane très nette et continue, la stéréozone formée de lamelles divergeantes très régulièrement organisées et les épines petites (environ 0,06 mm de diamètre) constituent une part peu importante de la muraille. A l'évidence la forme de la Saoura n'appartient pas à l'espèce *americanum* qui par ailleurs se distingue de *Pleurodictyum* s.s. par la morphologie de sa face proximale. De plus il n'est pas possible - malgré la morphologie globale de la colonie, son type de microstructure et la présence d'*Hicetes* - d'attribuer le spécimen GFCL 131 au genre *Pleurodictyum*. Les caractères originaux du squelette qui peuvent évoquer de façon superficielle ceux de *Cleistopora*, s'y opposent.

Dans l'attente hypothétique de matériel nouveau ce spécimen restera indéterminé : il pourrait appartenir à un nouveau genre.

Remarque paléobiogéographique.

Du point de vue paléobiogéographique et concernant les seuls tabulés, il apparaît que les genres communs à l'Amérique du Nord et à l'Afrique du Nord sont peu nombreux ou inexistant à l'Emsien supérieur.

En effet parmi les formes citées par Le Maître (1950), le spécimen de "*P. styloporum*" de la Saoura n'appartient pas à l'espèce américaine. *Michelinia dividua* Hall 1877 sensu Le Maître 1952 est un *Kerforneidictyum* très typique, sans doute une nouvelle espèce. *Michelinia convexa* d'Orbigny 1847 sensu Le Maître 1952 est probablement une forme différente ; l'espèce américaine appartient au genre *Michelinia* tandis que les spécimens de la Saoura sont attribués au genre *Praemichelinia* (Lafuste et Plusquellec, 1985). L'attribution systématique de *Ceratopora flabellata* Greene 1902 sensu Le Maître 1952 du niveau coralligène de la coupe du km 30 (Emsien supérieur terminal) ne pourra être fixée qu'après révision détaillée (structure et microstructure) des formes américaines. Quant à *Procteria* (*Granulidictyum*)

le genre est attesté précocement en Celtibérie (Espagne) dès l'Emsien inférieur, en Afrique du Nord dans l'Emsien supérieur (zone basale du membre supérieur de Teferguenit) et - à notre connaissance - il n'apparaît que plus tardivement dans le Givetien de l'Ohio (USA).

Genre *PTERODICTYUM* n. gen.

Espèce-type : *P. lobatum* n. sp.

Derivatio nominis : de Pteron avec un P comme *Pleurodictyum* !

Diagnose générique : Pleurodictyidae à face proximale convexe à conique, divisée en secteurs radiaires convexes correspondant aux corallites, avec stries et/ou bourrelets de croissance concentriques et surface de fixation apicale de taille variable. Corallum à contour nettement lobé, plus ou moins circulaire ou ovaloïde. Face distale convexe avec eucorallites et corallites intercalaires en nombre relativement réduit disposés autour d'un protocorallite central. Rides septales et pores muraux présents, fonds calicinaux globalement plans ou convexes, souvent épineux ou granuleux et à morphologie déterminée par les caractéristiques de la structure interne. Planchers vésiculeux généralement nombreux et épineux. Présence constante de *Hicetes*. Muraille et planchers à microstructure lamellaire - lamelles globalement parallèles à une lame médiane parfois mal individualisée - et épines trabéculaires.

Discussion : Le nouveau genre se distingue de *Pleurodictyum* Goldfuss 1829 par son contour nettement lobé et surtout par sa face proximale convexe divisée en secteurs également convexes et séparés par des sillons étroits bien marqués. Il s'en distinguerait également par l'abondance des planchers vésiculeux dont la permanence devra toutefois être attestée par la description de nouvelles espèces différentes de *lobatum* et *rosaceum*. Dans la plupart des cas les planchers sont absents ou peu développés chez *Pleurodictyum* ou bien n'apparaissent que sur les colonies ayant acquis un certain développement (Fuchs et Plusquellec, 1982, p. 11).

Le caractère "convexité de la face proximale" doit être interprété de façon globale. On peut trouver en effet chez certaines espèces de *Pleurodictyum* (en particulier chez les petites formes de l'Emsien) un ou deux spécimens qui montrent une face proximale légèrement convexe mais le contour de la colonie n'est pas lobé et la face proximale pas aussi clairement divisée en secteurs.

Le nouveau genre se distingue principalement de *Petridictyum* Schindewolf 1958 par la présence de corallites intercalaires, de planchers, de rides septales peu marquées et par une organisation beaucoup plus irrégulière autour du protocorallite. Cette organisation est partiellement liée à un nombre d'eucorallites plus important.

C'est avec *Kerforneidictyum* Lafuste & Plusquellec 1976 que le nouveau genre présente le plus d'affinités. Chez les deux genres la microstructure est de même type : lamelles globalement parallèles à la lame médiane de la muraille, épines trabéculaires. Les planchers - quand ils existent chez *Kerforneidictyum* - sont vésiculeux, la morphologie des fonds calicinaux est variable, *Hicetes* est toujours présent. Chez *Kerforneidictyum* les corallites intercalaires sont peu nombreux, uniquement présents sur les colonies à "grand" nombre de corallites et ils se distinguent plutôt par leur petit diamètre que par leur contour et ils n'apparaissent pas

perchés au-dessus des eucorallites ; de plus le protocorallite n'est pas immédiatement repérable chez *Kerforneidictyum* à l'exception d'une espèce non décrite de Bohême. Cela tient au fait que le bourgeonnement est très actif dès la base de la colonie et il est difficile de déterminer lequel des trois ou quatre corallites apicaux est le protocorallite. Il semble aussi que quelle que soit l'option choisie, le protocorallite garde une position marginale avec toutefois un pan de muraille libre parfois très réduit. La différence essentielle réside dans la forme aplatie - flabellée - de *Kerforneidictyum* chez qui en vue calicinale (ou apicale ce qui revient au même) le contour de la colonie s'inscrit dans un ovale très étiré, ovale parfois légèrement arqué, l'un des contours étant plus convexe que l'autre. Par ailleurs en vue perpendiculaire à l'aplatissement, l'angle apical de la face proximale est plus aigu que chez *Pterodictyum*.

Il peut exister des formes présentant des caractères quelque peu intermédiaires (voir *P. cf. lobatum*) sans toutefois présenter l'aplatissement caractéristique de *Kerforneidictyum* et qui ne sauraient mettre en cause la réalité du genre *Pterodictyum*.

Pterodictyum lobatum n. sp.

(fig. 8-11 ; Pl. II, fig. 1-5).

1997 - "*Pleurodictyum*" *lobatum* nom. nud. Plusquellec in Boumendjel *et al.*, p. 95-96

Holotype : Spécimen LPB 14288.

Derivatio nominis : Latinisation de l'adjectif lobé.

Locus typicus : El Kseib, coupe du flanc S.W. du synclinal de l'Erg Djemel, Mt d'Ougarta (Algérie).

Stratum typicum : Formation de Chefar el Ahmar, niveau LK 91-92, immédiatement au-dessus du Coralligène, Emsien tout à fait terminal ou limite Emsien-Eifelien.

Matériel : 19 spécimens dégagés à squelette conservé, numérotés LPB 14288 à LPB 14306 dans lesquels ont été taillées 5 lames minces (récoltes Y.P. 1985).

Diagnose spécifique.

Espèce de *Pterodictyum* à corallum de diamètre maximum généralement compris entre 12 et 19 mm pour une hauteur de 6 à 10 mm et pour 9 à 18 corallites à face proximale à éléments très nettement individualisés avec fortes rides et stries de croissance et surface de fixation punctiforme ou étendue. Contour généralement ovalaire, profil asymétrique suivant le petit diamètre. Face distale à protocorallite typiquement central entouré de 2 à 4 corallites intercalaires et en moyenne de 8 à 9 eucorallites tous marginaux, les plus externes à bordure semi-circulaire, les plus internes polygonaux, tous à fond calicinal bosselé et finement épineux mais globalement plans. 2 à 4 corallites intercalaires triangulaires à pentagonaux. Protocorallite de diamètre compris entre 5,5 et 6,0 mm, eucorallites externes entre 4,0 et 6,0 mm, eucorallites internes entre 3,3 et 4,0 mm, corallites intercalaires entre 2,4 et 4,0 mm. Planchers très nombreux, vésiculeux, épineux remplissant les calices sur 5 à 6 mm de hauteur. *Hicetes* toujours présent avec ouvertures de la galerie jouxtant le protocorallite.

Description de l'espèce.

• Contour et profil de la colonie. Le corallum présente un contour lobé et globalement ovalaire, le grand axe étant perpendiculaire au plan qui semble passer par l'angle initial

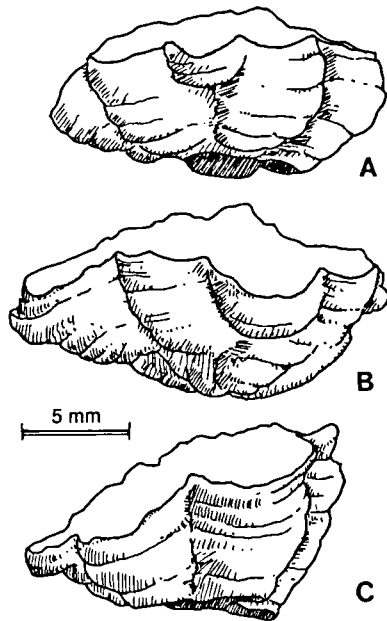


Fig. 8. — *Pterodictyum lobatum*. Profil de trois colonies suivant le petit diamètre.
A : LPB 14296. ; B : LPB 14289. ; C : LPB 14288 (Holotype).

Fig. 8. — *Pterodictyum lobatum*. Outline of the corallum, small diameter in the plane of the figure.
A : LPB 14296. ; B : LPB 14289. ; C : LPB 14288 (Holotype).

du protocorallite. De plus, dans ce plan, le profil de la colonie est asymétrique (fig. 8), la muraille étant beaucoup plus verticalisée sur le côté considéré comme opposé à l'angle initial du protocorallite.

- Face proximale. Elle est convexe à conique ou tronconique lorsque la surface de fixation présente une certaine étendue (cette dernière apparaît souvent percée par la galerie du commensal). On note parfois des portions d'épithèque subverticale en périphérie. La face proximale est divisée en secteurs radiaires très convexes limités par de profonds sillons ; cette morphologie est responsable du contour fortement lobé de la colonie, contour par ailleurs globalement circulaire. Stries et bourrelets de croissance sont très développés et interfèrent avec une discrète linéation radiaire liée aux rides septales.

- Face distale. La convexité de la face distale reste faible et à une exception près, elle est toujours inférieure à celle de la face proximale. La structure de base de la colonie s'établit comme suit : 1 corallite central entouré des corallites intercalaires et des eucorallites périphériques ; les deux ouvertures de la galerie de *Hicetes* adjacentes au corallite central. Le corallite central toujours bien repérable correspond au protocorallite ; il est polygonal avec 6 à 10 mais généralement 8-9 pans de muraille, c'est-à-dire qu'il est en contact réel ou potentiel (galerie de *Hicetes*) avec un même nombre d'eucorallites ou de corallites intercalaires. Le fond calicinal du protocorallite est souvent légèrement surélevé par rapport à celui des eucorallites. Les eucorallites

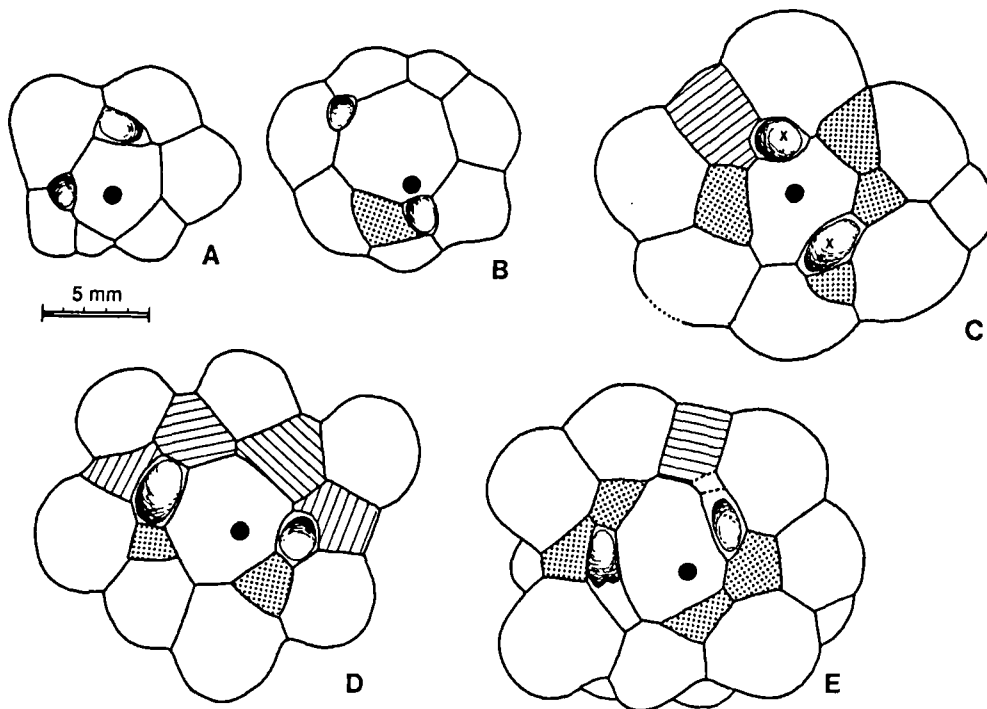


Fig. 9. — *Pterodictyum lobatum*. Face distale, dessin semi-schématique montrant l'organisation de la colonie autour du protocorallite (pastille noire dans la région de l'apex), eucorallites externes (sans figuré), eucorallites internes (hachures) et corallites intercalaires (pointillé).
A : LPB 14301. ; B : LPB 14304. ; C : LPB 14296. ; D : LPB 14288 (Holotype). ; E : LPB 14291.

Fig. 9. — *Pterodictyum lobatum*. Diagrammatic sketch of the upper side of the corallum showing the lay-out of the "metacorallites" around the protocorallite (black spot above the apex), external eucorallites (without symbol), internal eucorallites (hatched), intercalary corallites (dotted).
A : LPB 14301. ; B : LPB 14304. ; C : LPB 14296. ; D : LPB 14288 (Holotype). ; E : LPB 14291.

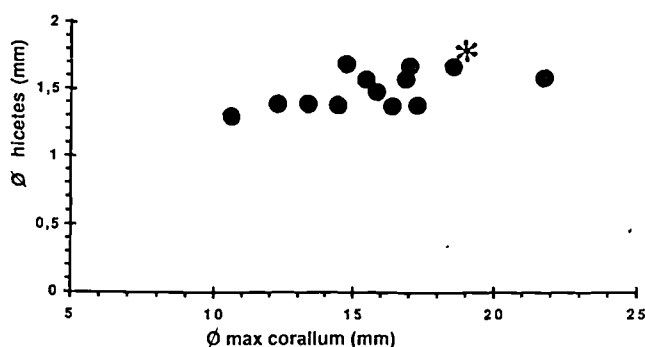
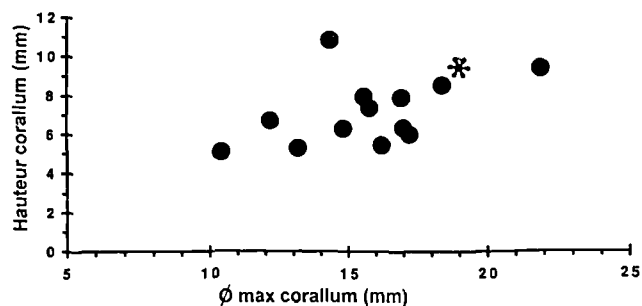
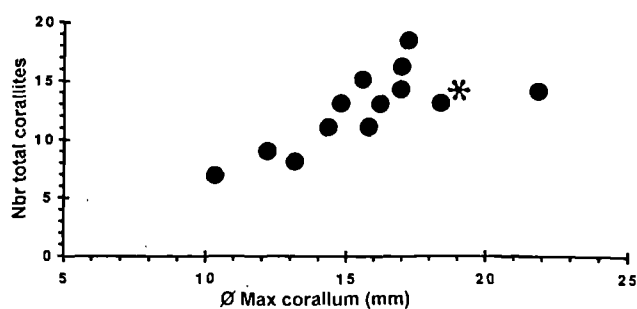


Fig. 10. — *Pterodictyum lobatum*. Représentation graphique des paramètres biométriques. (étoile pour l'holotype).

Fig. 10. — *Pterodictyum lobatum*. Scattergram(s) (star for the holotype).

(à l'exception du protocorallite) atteignent tous - un seul cas douteux - la marge de la colonie. Généralement leur bord externe est arqué, semi-circulaire voire outrepassé, ce sont les eucorallites externes. Seuls les eucorallites au contact direct du protocorallite ou de l'ouverture de *Hicetes* sont polygonaux, leur face libre étant alors localisée dans les angles rentrants du corallum (très typique sur l'holotype), ce sont les eucorallites internes. Les corallites intercalaires, peu nombreux 2 à 4 voire 5 (exceptionnellement aucun sur les formes jeunes) sont triangulaires à pentagonaux, adjacents au protocorallite et leur fond calicinal est perché par rapport à celui des eucorallites marginaux et à celui du protocorallite.

Les fonds calicinaux de tous les corallites, mais particulièrement ceux des eucorallites montrent de petites épines implantées sur les nombreuses vésicules qui remplissent les calices (voir structure interne). Le fond

	Ø corallum	hauteur corallum	nbr total corallites	nbr eucorall.	nbr intercal.	Ø <i>Hicetes</i>
LPB 14288 holotype	19.0 x 16.4	9.3	14	12	2	1.8
14289	21.8 x 17.7	9.3	14	10	4	1.6
14291	17.2 x 15.0	6.0 ?	18	14	4	1.4
14292	17.0 x 14.6	6.2	16	11	5	1.7
14295	16.9 x 14.6	7.8	14	10	4	1.6
14296	18.4 x 16.2	8.4	13	9	4	1.7
14297	16.2 x 13.4	5.3	13	10	3	1.4
14299	15.8 x 12.7	7.3	11	9	2	1.5
14300	13.2 x 11.3	5.3	8	7	1	1.4
14301	10.4 x 9.1	5.1	7	7	0	1.3
14302	14.8 x 13.0	6.3	13	9	4	1.7
14303	15.6 x 14.2	7.9	15	11	4	1.6
14304	12.2 x 10.3	6.8	9	8	1	1.4
14306	14.4 x 13.2	10.9	11	10	1	1.4
Moyennes	15.9 x 13.7	7.3	12.6	9.4	2.8	1.5

Tabl. II. — *Pterodictyum lobatum*, mensurations en mm.

Table. II. — *Pterodictyum lobatum*, measurements in mm.

calicinal des eucorallites est dans son ensemble légèrement convexe et montre en périphérie, au contact de la muraille, des dépressions punctiformes assez bien marquées. Les fonds calicinaux des corallites intercalaires ont sensiblement les mêmes caractéristiques.

Hicetes est toujours présent. On notera la faible augmentation du diamètre de la galerie au cours de la croissance (fig. 10).

Mensurations.

Elles sont présentées sous forme de tableaux (Tabl. II et III) et de diagrammes (fig. 10).

Structure interne et microstructure.

Les coupes transversales et longitudinales-axiales montrent principalement le grand développement des planchers vésiculeux. Ils sont très nombreux, fortement convexes minces ou épaissis et dans ce cas portent des épines trabéculaires généralement courtes (A, B et C, fig. 11).

Les planchers complets sont très rares et plans ou peu convexes, éventuellement épineux et/ou épaissis. Des épines nombreuses sont implantées dans les murailles comme dans la lame basale (qui n'est qu'une demi-muraille). Sur les planchers les épines-trabécules ont une longueur comprise entre 0,22-0,35 mm pour un diamètre de 0,07-0,15 mm ; dans la lame basale leur diamètre est de 0,10-0,15 mm ; dans la muraille elles sont plus petites : longueur 0,15-0,25 mm, diamètre autour de 0,06 mm. Les sections de pores muraux sont peu nombreuses et il est difficile d'en préciser la position exacte, pores pariétaux (P₂) et sans doute pores d'angle (P₁).

La microstructure est celle de tous les Pleurodictyidae, trabécules et sclérenchyme lamellaire (D et E, fig. 11).

Sur les lames d'épaisseur pétrographique, les coupes longitudinales dans la muraille montrent sur les spécimens excellents et la gangue souvent dolomitisée - ceci explique cela, une lame médiane sombre vraisemblablement granulaire flanquée d'une stéréozone lamellaire, les lamelles étant disposées parallèlement à la lame médiane (D, fig. 11). Ce dernier caractère - associé à la présence de planchers vésiculeux et épineux - tendrait à indiquer des relations de parenté avec le genre *Michelinia* s.s. Il reste toutefois à déterminer lequel des deux genres apparaît le

	Ø protocorallite / nbr pans mur	Ø eucorallites externes / nbr pans mur	Ø eucorallites internes / nbr pans mur	Ø corallites intercalaires / nbr pans mur
LPB 14288 Holotype	6.4/9	5.0 - 4.9 - 5.0 5.3 - 4.5 - 5.1 4.8 /2 - 5	4.5 - 3.3 3.9 - 3.9 /3 - 5	3.0 - 2.4 /4
LPB 14289	5.8/9	6.4 - 3.1 - 5.4 6.2 - 5.4 - 6.9 6.3 - 6.1 - 6.2 /2 - 5	3.3 /4	3.8 - 3.2 - 3.7 3.4 /3 - 4
LPB 14291	6.9/8	5.8 - 5.4 - 6.0 4.6 - 5.8 - 6.3 5.6 /3 - 5	3.8 /3	3.5 - 3.5 - 3.3 3.4 /3 - 5
LPB 14292	5.6/9	4.2 - 4.7 - 3.4 4.5 - 3.8 - 5.8 5.3 - 3.5 - 4.1 4.9 /3 - 5		3.2 - 2.8 - 4.8 4.2 /3 - 6
LPB 14295	5.5/8	5.5 - 5.2 - 5.0 3.9 - 5.5 - 4.3 5.6 - 4.8 /3 - 5	3.2 /4	4.5 - 2.0 - 2.9 3.1 /3 - 5
LPB 14296	6.5/9	4.3 - 6.1 - 5.9 5.9 - 6.2 - 6.9 5.9 /2 - 4	4.9 /4	4.0 - 2.8 - 2.6 4.1 /3 - 4
LPB 14297	5.5/9	5.3 - 4.5 - 5.6 5.6 - 3.5 - 4.9 5.0 - 5.1 - 4.3 /2 - 5		2.7 - 2.6 - 3.0 /3 - 4
LPB 14299	6.0/8	5.4 - 4.4 - 5.5 4.6 - 5.9 - 4.0 5.9 - 4.3 /3 - 4		2.4 - 2.4 /4
LPB 14300	5.5/7	4.2 - 5.2 - 4.3 5.2 - 4.4 - 3.9 /2 - 3		2.29 /3 - 4
LPB 14301	4.9/6	3.7 - 5.7 - 5.0 4.6 - 3.5 - 2.1 /3		
LPB 14302	6.0/9 - 10	4.8 - 3.7 - 5.7 5.9 - 4.8 - 5.6 5.4 /2 - 5		2.4 - 2.4 - 2.9 3.2 /3 - 4
LPB 14303	5.9/8 - 9	6.3 - 5.0 - 4.9 5.9 - 5.8 - 3.2 4.7 - 5.7 /2 - 6		2.4 - 2.6 - 3.2 3.7 /3 - 4
LPB 14304	5.9/7	5.2 - 4.1 - 3.0 4.8 - 4.6 - 3.5 4.6 /3 - 4		3.9 /4
LPB 14306	5.5/8 - 9	4.0 - 4.5 - 4.8 5.9 - 5.1 /2 - 4		2.5 /4
Moyennes	5.8/8	4.98	3.85	3.14

Tabl. III. — *Pterodictyum lobatum*, mensurations en mm ; le nombre de pans de muraille correspond au nombre réel ou potentiel c'est-à-dire abstraction faite de la galerie d'*Hicetes* qui peut séparer 2 corallites normalement adjacents. Pour les eucorallites marginaux externes et internes, le bord libre des corallites n'est pas comptabilisé comme pan de muraille. Concernant le diamètre des corallites (calice + demi-muraille) c'est le diamètre maximum qui est donné.

Table. III. — The number of corallite sides is the true number or the potential one when a corallite wall is hidden by the *Hicetes* tube. For external and internal eucorallites the corallite side at the margin of the corallum is not taken into account in the number of corallite sides. The diameter of corallite is the maximum diameter.

premier et comment s'organisent les liens de parenté entre les Pleurodictyidae à lamelles parallèles et les Micheliniinae.

Signalons ici que le groupe des "*Pleurodictyum americanum*" qui partage plusieurs caractères morphologiques et structuraux avec les *Pterodictyum* possède une muraille à lamelles obliques à divergence distale et présente de ce fait des affinités avec les Praemicheliniinae, mais ceci est une autre histoire...

A l'épaisseur "LFP", malgré la conservation moyenne, on observe les contours des biocristaux. Les trabécules sont de type en jet d'eau, les lamelles ne dépassant guère 55 µm de diamètre pour 5 µm d'épaisseur et la cupulation est parfois assez nette. Il n'y a pas de bonne coupe disponible dans la lame médiane mais elle est très certainement granulaire. Les planchers sont constitués de lamelles

disposées parallèlement à la surface basale lorsqu'elles ne sont pas déformées au contact des épines.

Rapport et différences.

Il y a peu de formes décrites pouvant appartenir au genre *Pterodictyum* ; *P. rosaceum* se distingue principalement par la morphologie des fonds calicinaux (voir plus loin) et "*Pleurodictyum americanum*" par ses caractères microstructuraux. Dans l'Emsien supérieur de Bohême, il existe une forme voisine de *P. lobatum*, elle sera décrite dans un travail à paraître (Plusquellec et Hladil).

Pterodictyum cf. *lobatum*

(fig. 12 ; Pl. II, fig. 6).

Matériel : 3 colonies complètes, usées et à squelette calcaire conservé. LPB 14307 à 14309 avec lame mince. El Kseib, coupe du flanc S.W. du synclinal de l'Erg Djemel, Mt d'Ougarta niveau LK 91-92, Emsien tout à fait terminal ou limite Emsien-Eifelien.

Description des spécimens.

- Face proximale. Elle est globalement conique mais avec un angle variant au cours de la croissance. Deux stades angulaires peuvent être distingués : un stade jeune correspondant à l'angle apical proprement dit (130-150°) ; un stade adulte à corallites plus redressés, le profil de la colonie s'inscrit dans un angle 85-100° (les angles sont mesurés sur le profil correspondant au grand diamètre de la colonie).

- Face distale. Elle est difficile à interpréter, un seul spécimen présentant des calices à peu près intacts. Convexe, elle est surtout marquée par des reprises de croissance responsables de la hauteur importante de la colonie et de décalage de niveau dans la position des fonds calicinaux. Le protocorallite ne semble pas occuper une position centrale ; l'un de ses côtés très étroit serait en bordure de colonie. Toutefois sur LPB 14307 le corallite identifié comme protocorallite n'a pas de côté libre au niveau de la face distale. Les corallites intercalaires sont en nombre très réduit (1 ou 2). Les fonds calicinaux des deux colonies les plus usées sont de même type que ceux de *P. lobatum* c'est-à-dire globalement plans et bosselés dans le détail. Sur la 3ème colonie des calices relativement profonds - jusqu'à 3 mm - sont conservés et leurs fonds calicinaux semblent plus irréguliers. Pores muraux présents, petits, visibles sur un seul spécimen.

Hicetes présent, ouvertures débouchant au contact du réputé protocorallite.

Mensurations : Les principales données sont fournies sous forme de tableau (Tabl. IV).

Structure interne et microstructure.

Les planchers sont complets (très rarement), incomplets et/ou vésiculeux. Très nombreux (15-25 pour 5 mm), ils s'étagent dans les corallites sur une hauteur pouvant atteindre 8 mm. Ils portent des épines parfois de grande taille - jusqu'à 0,5-0,7 mm - qui peuvent perforer plusieurs vésicules successives. Localement ils présentent des épaisissements réduits. La muraille est épineuse en

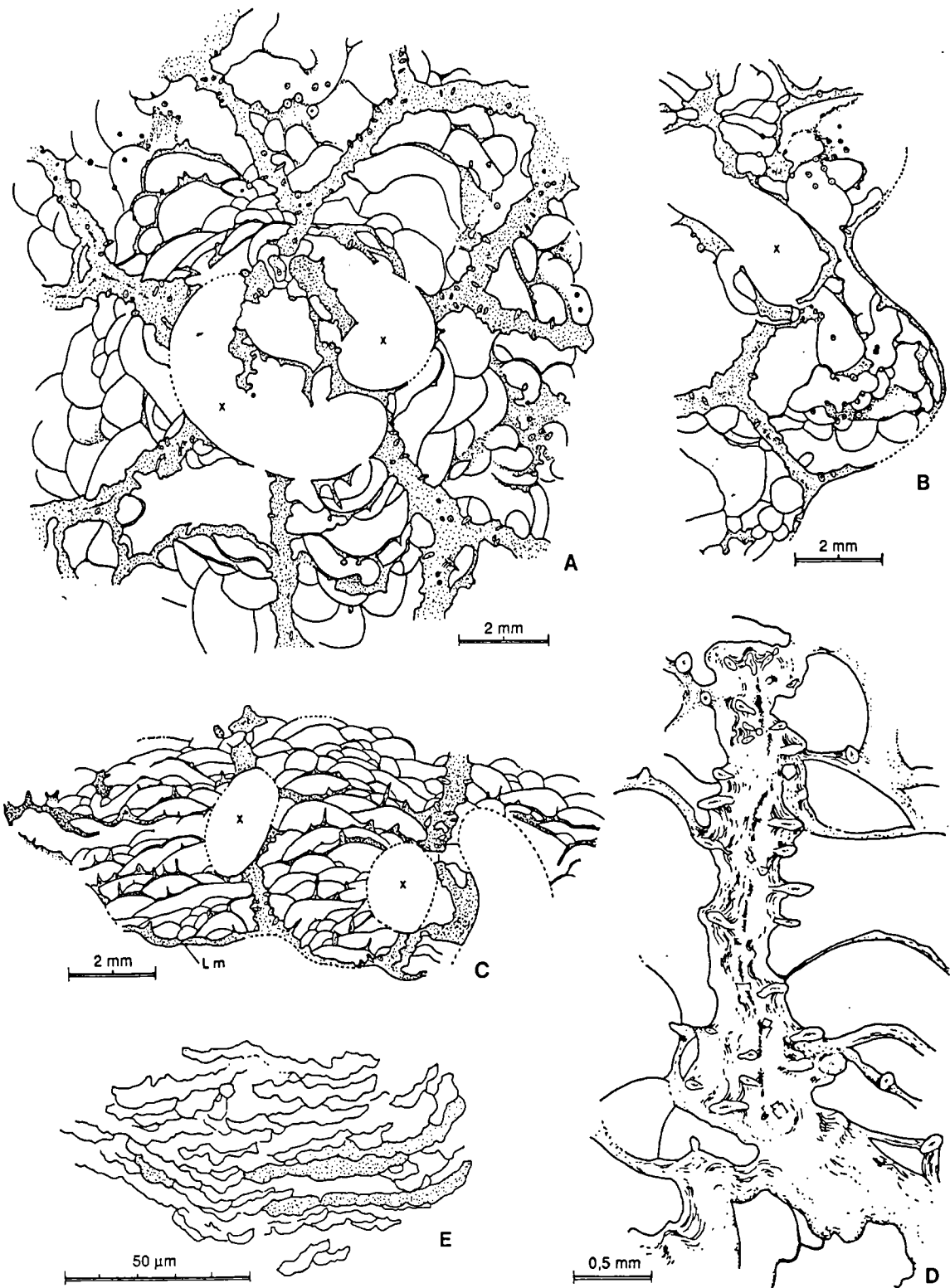


Fig. 11. — *Pterodictyum lobatum*. Structure et microstructure.

A : LPB 14290, coupe transverse dans la région centrale du corallum. ; B : LPB 14293, coupe transverse dans les eucorallites externes, remarquer le contour lobé de la colonie. ; C : LPB 14293, coupe axiale, remarquer l'épaisseur double des murailles par rapport à la lame basale (Lm). ; D : LPB 14291, coupe longitudinale dans la muraille, présence d'une lame médiane ("ligne noire"). Stéréozone à lamelles et trabécules. ; E : LPB 14294, lame LFP, morphologie des lamelles ; sens d'accrétion du squelette de bas en haut de la figure.

Fig. 11. — *Pterodictyum lobatum*. Structure and microstructure.

A : LPB 14290, transverse section in the central area of the corallum. ; B : LPB 14293, transverse section in the external eucorallites ; notice the lobate outline of the corallum. ; C : LPB 14293, axial section in the corallum ; notice the double thickness of the wall with respect to the basal plate (Lm). ; D : LPB 14291, longitudinal section in the wall, notice the lamellae of the stereoplasm roughly parallel to the median dark line and the trabeculae protruding to form spines. ; E : LPB 14294, outlines of the lamellae of the stereoplasm ; skeletal accretion from bottom to top of the figure.

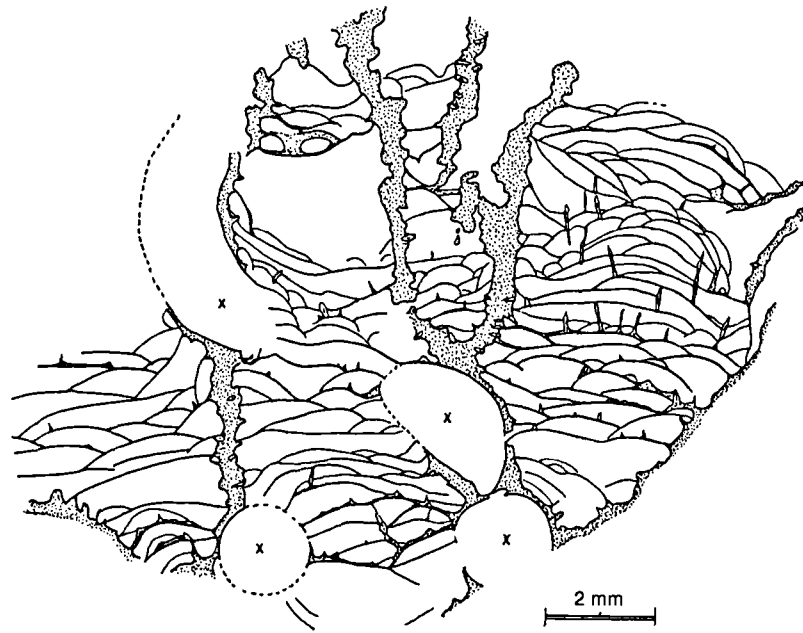


Fig. 12. — *Pterodictyum* cf. *lobatum*. LPB 14307, coupe axiale, remarquer des reprises de croissance sur le côté droit de la colonie.

Fig. 12. — *Pterodictyum* cf. *lobatum*. LPB 14307, axial section, notice rejuvenation on the right side of the corallum.

	Ø corallum	hauteur corallum	nbr total corallites	nbr coral intercal.	Ø protocorall	Ø eucorall	Ø intercal.	Ø <i>Hicetes</i>
LPB 14307	15.5 x 12.6	12.0	12	1	6.0	5.0 - 4.7 5.2 - 4.9	2.0	1.5
LPB 14308	14.0 x 11.0	14.7	28	1	6.0	5.0 - 5.0 3.2	2.5	1.6
LPB 14309	11.5 x 10.9	11.5	11	2	5.2	4.0 - 5.5 4.8	2.7 - 4.3	1.3
Moyennes	14.3 x 11.5	12.7	10	-	5.7	4.7	-	-

Tabl. IV. — *Pterodictyum* cf. *lobatum*, mensurations en mm.

Table. IV. — *Pterodictyum* cf. *lobatum*, measurements in mm.

liaison avec la présence de trabécules emballées dans un sclérenchyme lamellaire. Les lamelles semblent disposées parallèlement au plan médian peu distinct de la muraille.

Rapports et différences.

L'attribution générique et spécifique de ces 3 colonies pose problème. Elles présentent des caractères qui évoquent à la fois les genres *Pterodictyum* et *Kerforneidictyum*.

Malgré la position un peu particulière du protocorallite (type K.) et le profil plus ou moins conique de la face proximale (tendance K.), la forme non typiquement flabellée du polypier et le grand développement des planchers vésiculeux (type P.) sont des caractères qui permettent d'écarter l'attribution au genre *Kerforneidictyum*. Il faut alors considérer des colonies décrites comme appartenant au genre *Pterodictyum*. Il s'agit soit d'une espèce nouvelle, soit plus vraisemblablement d'une forme de croissance de *lobatum* qui se différencie des types par un contour plus aplati et un profil plus conique, des planchers vésiculeux moins convexes et de plus grande portée. A l'exception de la hauteur du corallum, nettement plus élevée, les autres mensurations s'intègrent très bien dans les variations de *P. lobatum*.

Pterodictyum rosaceum (Le Maître 1959)

(fig. 13-14 ; Pl. I, fig. 10 et 11).

v. 1959 *Pleurodictyum rosaceum* sp. nov. : Le Maître p. 2376-2377.

non 1965 *Pleurodictyum rosaceum* Le Maître 1959 : Plusquellec, p. 29-31, fig. 7-9, pl. IV, fig. 16-21. = *P. saourense* pars.

non 1965 *Pleurodictyum rosaceum* Le Maître 1959 ? : Plusquellec, p. 33, pl. IV fig. 22-23.

Lectotype et matériel : Le matériel original comporte 3 colonies à peu près complètes, dégagées de leur gangue et à squelette calcifique conservé (GFCL 455, GFCL 456, GFCL 457). S'y ajoute une colonie représentée par 2 lames minces mais sans chute de taille ni moulage préalable (GFCL 454). Pas de matériel complémentaire.

Le spécimen GFCL 455 est désigné comme lectotype. L'attribution de GFCL 456 à *P. rosaceum* est maintenue, celle de GFCL 454 est probable ; par contre la colonie GFCL 457 volontairement déterminée comme *rosaceum* par Le Maître ou accidentellement regroupée avec les spécimens de cette espèce doit être - à mon avis - attribuée à *P. saourense* (face proximale plane à légèrement concave, contour peu lobé, ride cardinale forte).

Locus typicus : Erg Djemel ou coupe du flanc N.E. du synclinal du même nom, Mt d'Ougarta (Algérie).

Stratum typicum : Probablement niveau coralligène de la Formation de Chefar el Ahmar, Emsien supérieur terminal.

Diagnose spécifique.

Espèce de *Pterodictyum* de petite taille à corallum de grand diamètre d'environ 12-15 mm pour une hauteur de 5.5 à 8,5 mm et 12 à 14 corallites, à face distale convexe à très convexe, à grand protocorallite central polygonal de diamètre 4-6 mm, à eucorallites de 3.5 à 5 mm de diamètre atteignant tous ou presque tous la marge de la colonie et 2-4 corallites intercalaires polygonaux adjacents au protocorallite. Fonds calcifinaux granuleux, convexes parfois raccordés à la muraille par un "pont". Planchers vésiculeux nombreux, épineux et pouvant occuper jusqu'au 2/3 des calices. *Hicetes* présent avec ouvertures de la galerie au contact du protocorallite.

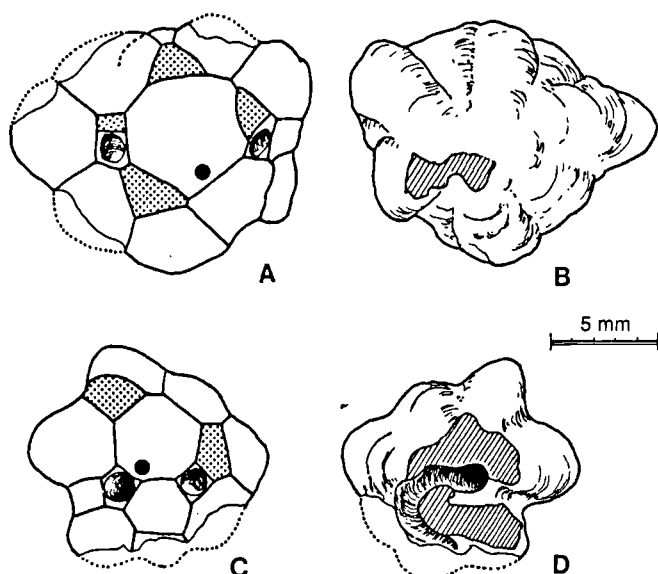


Fig. 13. — *Pterodictyum rosaceum*. Faces proximale et distale, dessin semi-schématique montrant l'organisation de la colonie autour du protocorallite (mêmes figurés que sur fig. 9). Sur la face proximale surface de fixation en hachures.

A-B : GFCL 455 (Lectotype) ; C-D : GFCL 456.

Fig. 13. — *Pterodictyum rosaceum*. Lower and upper sides of the corallum, diagrammatic sketch showing the lay-out of the "metacorallites" around the protocorallite (same symbols as in fig. 9). On the lower side, attachment area with hatching.

A-B : GFCL 455 (Lectotype) ; C-D : GFCL 456.

Description de l'espèce.

- Face proximale. Globalement convexe ou conique avec surface de fixation centrale - percée au niveau de la galerie de *Hicetes* sur le "paratype" - la face proximale à stries de croissance concentriques est très nettement divisée en secteurs radiaires individuellement convexes correspondant aux eucorallites et déterminant le contour lobé de la colonie (fig. 13).

- Face distale. Elle est fortement convexe et comprend : des eucorallites, des corallites intercalaires et les deux orifices de la galerie du commensal adjacents au protocorallite (fig. 13).

Parmi les eucorallites, on distingue un corallite central polygonal, vraisemblablement le protocorallite (c'est celui qui a le plus fort diamètre) entouré par les corallites intercalaires et les eucorallites périphériques. Les fonds calicinaux des eucorallites du lectotype sont convexes, granuleux et ont tendance à présenter un "pont" entre le fond calicinal et la muraille côté périphérique de la colonie. Toutefois ces caractères ne sont pas visibles sur GFCL 456 où les fonds calicinaux sont mal différenciés. Les corallites intercalaires sont coniques ou à fond plat en particulier au-dessus de la galerie de *Hicetes*.

La muraille porte des rides septales ; une certaine usure rend leur nombre difficile à évaluer : sans doute plus de 20 sur le protocorallite.

Les pores muraux sont disposés sans ordre apparent et ne paraissent pas préférentiellement localisés au sommet de la muraille comme chez *P. saourense*. Ils sont petits : 0,12 - 0,15 mm.

Mensurations.

Elles sont données sous forme de tableau (Tabl. V) et compte tenu du petit nombre (2) de spécimens, elles ne nécessitent pas de commentaire particulier.

Structure et microstructure.

La morphologie des fonds calicinaux ne laisse pas deviner la présence de planchers dont Le Maître signale l'existence (1959, p. 2377, "Seul, *P. rosaceum* présente des planchers peu nombreux") et que les lames minces GFCL 454 exposent clairement. En l'absence de données morphologiques sur la colonie ayant servi à tailler les lames minces et compte tenu des problèmes de déterminations soulevés par la série type, il était nécessaire de pratiquer une coupe axiale dans le lectotype. Elle a permis de prélever 2 empreintes à l'acétate de part et d'autre du plan de coupe.

Ces empreintes montrent la présence d'une lame basale mince et un développement remarquable des planchers vésiculeux qui occupent environ les 2/3 du calice (A et B, fig. 14). Certains restent minces, d'autres sont épaissis ; ils portent des épines trabéculaires assez nombreuses de taille - diamètre et longueur - très variable et qui souvent transpercent un plancher sus-jacent.

La muraille, apparemment sans lame médiane bien différenciée, est fondamentalement constituée (tout comme la lame basale qui n'est qu'une demi-muraille) de sclérenchyme lamellaire dans lequel sont implantées des trabécules à obliquité distale.

La disposition des lamelles par rapport à la "ligne médiane" est délicate à déterminer compte tenu de la densité des trabécules et des rebroussements de lamelles qu'elles entraînent. Toutefois il ne semble pas que les lamelles soient organisées en dièdre à divergence distale comme chez *P. americanum* (type *Praemichelinia*) mais plutôt parallèlement au plan médian (type *Michelinia* s.s.).

Compte tenu des restrictions émises dans le paragraphe "matériel", les lames "historiques" GFCL 454 donnent une idée des variations possibles affectant le squelette (fig. 14C-D). Chez ce spécimen, sans doute coupé obliquement, ce qui fausse la comparaison et le fait paraître plus massif, les planchers sont beaucoup moins développés, les murailles paraissent plus épaisses mais la taille et la densité des trabécules est tout à fait comparable. Le diamètre des trabécules s'établit entre 0,12 - 0,20 mm et leur longueur peut atteindre 0,5 voire 0,8 mm.

Rapports et différences.

Par sa face proximale conique avec corallites bien individualisés, son contour lobé subcirculaire, sa face proximale convexe et la présence d'*Hicetes*, l'espèce n'appartient ni aux genres *Pleurodictyum* s.s., *Petridictyum* et *Kerforneidictyum*, mais doit être rapportée à *Pterodictyum*.

Si l'on examine sommairement les seuls caractères morphologiques de la face distale, l'espèce peut être confondue avec des formes de *P. saourense* à petit nombre de corallites, mais la prise en compte de l'ensemble des caractéristiques de la colonie, face proximale, contour et

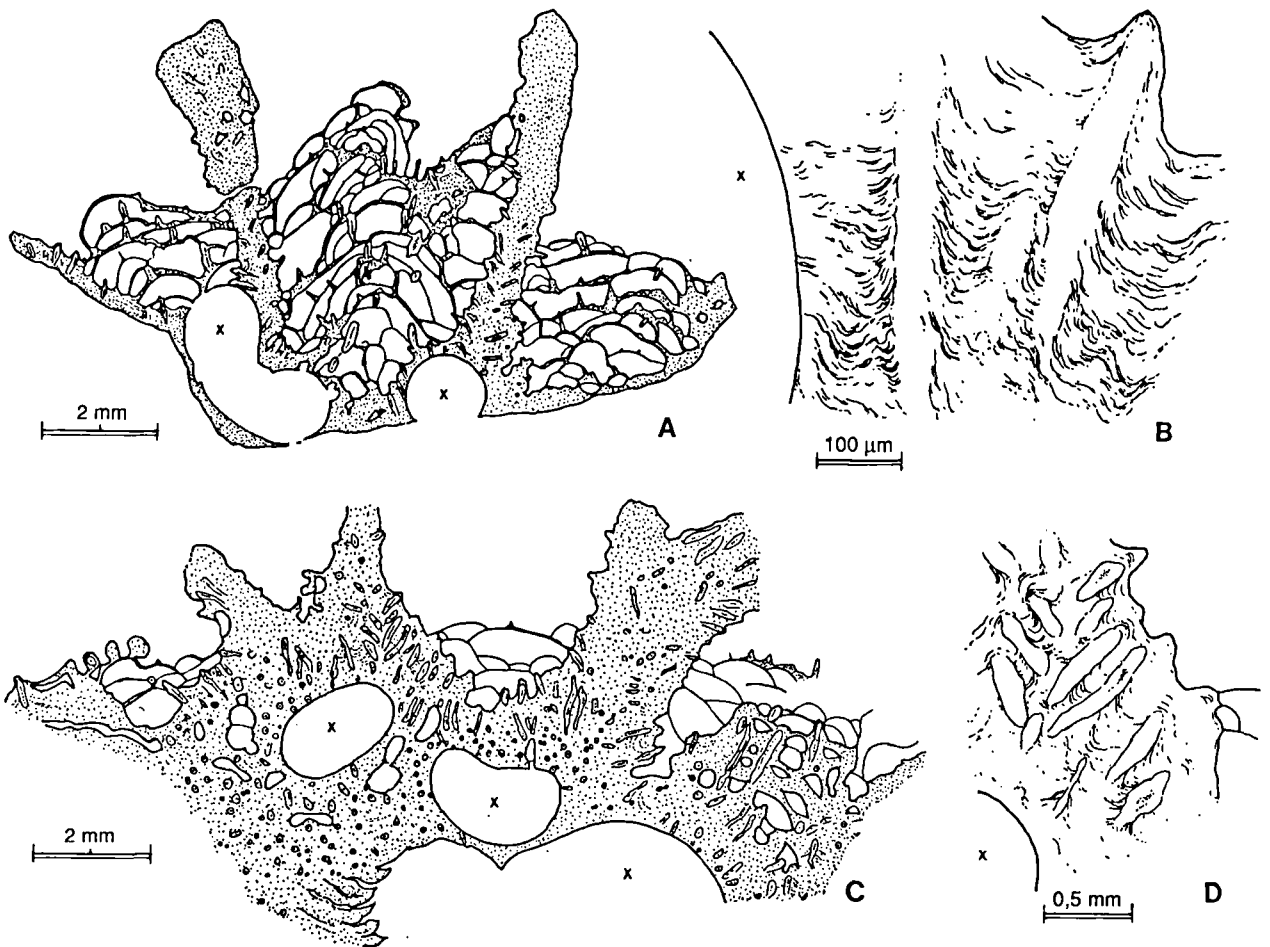


Fig. 14. — *Pterodictyum rosaceum*. Structure et microstructure. A : GFCL 455 (Lectotype), coupe axiale, empreinte à l'acétate. ; B : GFCL 455, aspect de la microstructure sur une empreinte à l'acétate, lamelles rebroussées sur les trabécules qui apparaissent homogènes. ; C : GFCL 454, coupe oblique. ; D : GFCL 454, même coupe, détail de l'organisation des trabécules et du sclérenchyme lamellaire (zone gauche du calice central).

Fig. 14. — *Pterodictyum rosaceum*. Structure and microstructure. A : GFCL 455 (Lectotype), axial section, acetate peel. ; B : GFCL 455, bad picture of the microstructure on the acetate peel, lamellar stereoplasm and location of the trabeculae. ; C : GFCL 454, oblique thin section. ; D : GFCL 454, same section, upwards diverging trabeculae in the wall (left side of the "central" corallite).

	Ø corallum	hauteur corallum	nbr total corallites	nbr total intercalaires	Ø protocoral	Ø Eucoral	Ø intercalaires	Ø Hicetes
GFCL 455 Lectotype	15.0 x 12.5	8.5	15	4	6.1/8	5.1-5.0-4.0 4.0-2.1-3.5 4.3-4.8-4.3 /1-5	1.7-2.8-2.6 3.6 /3-4	1.4
GFCL 456	12.0 x 10.5	5.5	12	3-3	4.3/7	3.9-2.5-3.2 3.5-2.0-4.2 3.8-3.6-3.9 /1-6	2.9-2.9 /3-5	1.4

Tabl. V. — *Pterodictyum rosaceum*, mensurations en mm (mêmes remarques que pour le tableau III).

Table. V. — *Pterodictyum rosaceum*, measurements in mm. (see table III)

structure interne (*P. saourense* est dépourvu de planchers) permet la distinction.

Pterodictyum rosaceum se distingue clairement de *P. lobatum* par l'aspect non vésiculeux des fonds calicinaux, un nombre moins important de corallites et une face distale plus convexe. Il ne paraît pas y avoir d'autres formes voisines ; *P. americanum* est très différent par son aspect

général, le grand nombre de corallites et la plus faible vésiculosité des planchers.

Genre *KERFORNEIDICTYUM* Lafuste & Plusquellec 1976

Kerforneidictyum n. sp.

(Pl. II, fig. 8).

v. *Michelinia dividua* HALL ; Le Maître 1952, p. 79-80.

Deux petites colonies (LPB 14319 et LPB 14320) proviennent du niveau coralligène de la coupe de l'Erg Djemel (ED 29), Emsien supérieur terminal, récoltes P.Y. 1985 ; deux colonies (matériel Le Maître) proviennent également de l'Erg Djemel très vraisemblablement du même niveau.

La description détaillée de cette forme sera incluse dans une monographie consacrée au genre. Elle se distingue

principalement des formes décrites par la présence de planchers et un aplatissement très marqué.

Genre *PETRIDICTYUM* Schindewolf 1958

Petridictyum gr. *petrii* (Maurer 1874)

(Pl. II, fig. 9).

Une seule colonie de cette espèce a été récoltée (LPB 14321) dans le coralligène (ED 29) de la coupe de l'Erg Djemel, Emsien supérieur terminal. Bien que de petite taille (diamètre maximum évalué à 15,5 mm) la colonie comporte un corallite central entouré d'une couronne complète de 8 corallites auxquels s'adjoignent les 7 (ou 8, un bord de la colonie est cassé) corallites en voie de développement d'une deuxième couronne marginale.

Cette espèce doit être rare car Le Maître (1952) n'en signale qu'un unique spécimen récolté sur l'autre flanc du synclinal, probablement dans le même niveau

III. — EN BREF ET EN MANIÈRE DE CONCLUSION.

On peut retenir de la présente étude les apports suivants :

- Mise au point sur la faune de *Pleurodictyidae* de l'Emsien supérieur de la Saoura - Ougarta reprenant la description d'espèces mal connues en précisant leur position stratigraphique.

- Proposition d'un nouveau genre et description détaillée de l'espèce-type, espèce nouvelle.

- Examen préliminaire et données inédites sur la disposition des lamelles dans la muraille de quelques "*Pleurodictyum*" et conséquences phylogéniques.

- Identification dans le niveau coralligène d'une association de trois genres (*Pleurodictyum*, *Petridictyum* et *Kerforneidictyum*) dont l'aire de répartition est principalement rhéno-ibarmaghienne (Massif Schisteux Rhénan, Kellerwald, Massif armoricain, Espagne et Nord Sahara).

- Présence très vraisemblable de *P. saourense* et de *P. crassum* à la fois dans l'Ougarta et dans le Massif armoricain et de représentants de *Pterodictyum* inconnus dans les régions citées ci-dessus mais attestés en Bohême.

- La faune, dans son ensemble, est maghrébo-européenne (pour la définition de ce terme voir Plusquellec *et al.*, (1997, p. 123), voir également la note n°2 ajoutée en cours d'impression.

Annexe. — Parmi les espèces étudiées par Le Maître dans sa note à l'Académie des Sciences (1959), elle décrit rapidement un *Pleurodictyum* sp. en signalant que "extérieurement ces colonies ressemblent à *Cleistopora smythi* Le Maître". Plus loin elle ajoute "quant à *Pleurodictyum* sp., un fragment de lame mince montre des trabécules courtes renflées distalement en massue et régulièrement assemblées par paires : ce sont des trabécules d'un autre type".

La lame en question semble perdue et rien dans la morphologie des fonds calicinaux des deux spécimens préservés n'évoque ce groupement de trabécules. Par contre, on voit très bien dans l'angle initial des corallites de la prototriade une petite dépression faiblement ornementée qui correspond à l'emplacement de la structure spongieuse du genre *Paracleistopora* (Pl. I, fig. 12). A notre avis les spécimens en question sont bien des *Paracleistopora smythi*.

NOTES AJOUTÉES EN COURS D'IMPRESSION.

1) Très récemment un paléontologiste amateur, Pierre Alain Jaouen, a récolté sur la rive nord de la rivière du Faou, à l'Ouest de Kersadiou (Localité LA 18) dans la Formation de Kerdreolet d'âge Emsien supérieur terminal (Zone à *patulus*), un spécimen de *Pterodictyum* proche ou peut être identique à *P. lobatum* (LPB 17298). C'est la première découverte de ce genre dans le Massif armoricain. Le spécimen est conservé à l'état de moulage naturel, la face proximale est absolument identique à celle des formes de l'Ougarta ; la face distale est très partielle, et la morphologie des fonds calicinaux montre néanmoins que la vésiculosité des planchers paraît plus faible que dans la série type.

2) Dans les conclusions paléogéographiques, il n'a pas été tenu compte du caractère allochtone de la bande Giessen-Kellerwald-Unterharz et de la possibilité de son appartenance à la bordure nord du Gondwana (Oczlon 1994, North Gondwana origin for exotic Variscan rocks in the Rhenohercynian zone of Germany. *Geol. Rundsch.* 83, p. 20-31; Francke 1995 in Dallmeyer *et al.* (Eds), Pre-Permian Geology of Central and Eastern Europe, III.B.1. Stratigraphy, p. 33-49, Springer-Verlag Berlin; Plusquellec et Jahnke en cours).

BIBLIOGRAPHIE

- BASTIEN Ch. (1967). — Essai d'étude sédimentologique des Grès de Dkhissa (Région d'Ougarta - Dévonien inférieur). *Publications du Service géologique de l'Algérie (Bull.)* 35, p. 81-88, pl. 1-4, pl. I-II.
- BOUMENDJEL K. (1987). — Les Chitinozoaires du Silurien supérieur et Dévonien du Sahara algérien. *Thèse Rennes*, 181 p., 73 fig., 26 pl.
- BOUMENDJEL K., MORZADÉC P., PARIS F. et PLUSQUELLEC Y. (1997). — Le Dévonien de l'Ougarta (Sahara occidental, Algérie). *Ann. Soc. Geol. Nord*, T. 5, fasc. 2, p. 73-88.
- BRETT C.E. et COTTREL J.F. (1982). — Substrate specificity in the Devonian tabulate coral *Pleurodictyum*. *Lethaia* 15, p. 247-262, 8 fig. Oslo.
- FUCHS G. et PLUSQUELLEC Y. (1982). — *Pleurodictyum problematicum* GOLDFUSS 1829 (Tabulata, Dévonien). Statut, Morphologie, Ontogénie. *Geologica et Palaeontologica*, 15, p. 1-26, 20 fig., pl. 1-3. Marburg.
- GÖDDERTZ B. (1987). — Devonische Goniatiten aus SW - Algerien und ihre stratigraphische Einordnung in die Conodonten - Abfolge. *Palaeontographica A*, 197 (4/6), p. 127-216, 42 fig., 15 pl. Stuttgart.

- HALL J. (1877). — Palaeontology of New York. Illustrations of devonian fossils : Gastropoda, Pteropoda, Cephalopoda, Crustacea and Corals of the upper Helderberg, Hamilton and Chemung Groups. *Geol. Surv. State N.Y., Palaeontology*, p. 1-7, pl. 1-74, 1-23, 1-39. Albany.
- LAFUSTE J. et PLUSQUELLEC Y. (1976). — *Kerforneidictyum* n. gen. (Tabulata, Dévonien) morphologie et microstructure. *Bull. Soc. géol. France* XVIII(6), p. 1669-1711, 9 fig., pl. I-IV. Paris.
- LAFUSTE J. et PLUSQUELLEC Y. (1985). — Structure et microstructure de quelques Micheliniidae et Michelinimorphes (Tabulata paléozoïques). *Bull. Mus. natn. Hist. nat. C(1)*, p. 13-55, 32 fig., Pl. I-IV. Paris.
- LAFUSTE J., PLUSQUELLEC Y. et SOTO F. (1993). — Coexistence de lamelles et de microlamelles dans le sclérenchyme de "*Ligulodictyum*" PLUSQUELLEC, 1973 (Tabulata, Dévonien du Nord-Gondwana). *Courier Forschungsinstitut Senckenberg*, 164, p. 329-337, 7 fig. Frankfurt am Main.
- LE MAITRE D. (1950). — Nouveaux éléments communs avec l'Amérique dans la faune de l'Afrique du Nord. *C.R. som. Soc. géol. France*, p. 253-256. Paris.
- LE MAITRE D. (1952). — La faune du Dévonien inférieur et moyen de la Saoura et des abords de l'Erg El Djemel (Sud-Oranais). *Matériaux pour la carte géologique de l'Algérie, Paléontologie* 12, 170 p., 8 fig., 12 pl.
- LE MAITRE D. (1959). — Espèces nouvelles de *Pleurodictyum* et leur microstructure. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 284, p. 2376-2378.
- LE MENN J., PLUSQUELLEC Y., MORZADEC P. et LARDEUX H. (1976). — IncurSION hercynienne dans les faunes rhénanes du Dévonien inférieur de la Rade de Brest (Massif armoricain). *Palaeontographica A*, 153, p. 1-61, 30 fig., pl. 1-10. Stuttgart.
- MORZADEC P. et WEYANT M. (1982). — Lithologie et Conodontes, de l'Emsien au Famennien dans la Rade de Brest (Massif armoricain). *Geologica et Palaeontologica*, 15, p. 27-46, 4 fig., pl. 1-4. Marburg.
- PANDOLFI J.M. et BURKE C.D. (1989a). — Environmental distribution of colony growth form in the favositid *Pleurodictyum americanum*. *Lethaia* 22, p. 69-84, 9 fig. Oslo.
- PANDOLFI J.M. et BURKE C.D. (1989b). — Shape analysis of two sympatric coral species : Implications for taxonomy and evolution. *Lethaia* 22, p. 183-193. Oslo.
- PARIS F., BOUMENDJEL K., MORZADEC P. et PLUSQUELLEC Y. (1997). — Synthèse chronostratigraphique du Dévonien de l'Ougarta (Sahara occidental, Algérie). *Ann. Soc. Géol. Nord*, T. 5, fasc. 2, p. 117-122.
- PLUSQUELLEC Y. (1965). — Le genre *Pleurodictyum* Goldfuss et genres morphologiquement voisins du Dévonien du Synclinorium médian armoricain. *Trav. labo. Collège scient. univ. Brest : Paléontologie*, 79 p., 18 fig. pl. I-V.
- PLUSQUELLEC Y., BOUMENDJEL K., MORZADEC P. et PARIS F. (1997). — Les faunes dévoniennes de l'Ougarta dans la paléogéographie des régions maghrébo-européennes. *Ann. Soc. Géol. Nord*, T. 5, fasc. 2, p. 123-128.
- RACHEBOEUF P. (1990). — Paléobiogéographie de la marge nord-gondwanienne au Dévonien inférieur et moyen : nouvelles données déduites de l'étude des Brachiopodes Chonetacés. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 310, II, p. 1481-1486.
- ROEMER F. (1876). — *Lethaea geognostica*. I *Lethaea Palaeozoica*, Atlas, 68 pl. Stuttgart.
- ROSS M.H. (1953). — The Favositidae of the Hamilton Group (Middle Devonian of New York). *Bull. Buffalo Soc. Natur. Sci.* 21 (2), p. 37-89, fig. 1-9, pl. 12-27. Buffalo.

EXPLICATION DES PLANCHES I ET II

PLANCHE I (*)

Fig. 1-3. — *Pleurodictyum crassum* Plusquellec 1965.

1¹ : face distale ou supérieure; 1² : profil; 1³ : face proximale ou inférieure, GFCL 460, "Erg Djemel".

2¹ : face distale; 2² : profil, LPB 14322, niv. ED29.

3 : face distale, LPB 181 Lectotype, Fm. Beg an Arreun, Rade de Brest.

Fig. 4-9. — *Pleurodictyum saourense* Le Maître 1959, niv. ED29.

4¹ : face distale; 4² : face proximale; 4³ : profil, LPB 14315.

5 : face distale, GFCL 457, "Erg Djemel" (colonie attribuée à *P. rosaceum* par Le Maître).

5 : *Specimen previously mistakenly referred to P. rosaceum by Le Maître.*

6 : face distale, LPB 14312.

7¹ : face distale; 7² : profil; 7³ : détail du secteur cardinal d'un corallite périphérique, LPB 14313.

7³ : *Septal ridges in the cardinal area of a corallite at the margin of the corallum.*

8¹ : face distale, reconstitution en latex de l'aspect des moulages naturels d'après une colonie non décalcifiée; 8² : secteur cardinal d'un corallite périphérique, moulage des sillons interseptaux, deux éléments courts bordés par deux éléments longs, LPB 14310.

8¹ : *Latex cast of a specimen preserved in calcite; 8² : Cardinal area of a corallite at the margin of the corallum showing the four latex casts of the septal ridges, two of them very short.*

9¹ : face distale; 9² : face proximale avec organisme-support décentré; 9³ : profil, GFCL 458, Lectotype, "Erg Djemel".

Fig. 10-11. — *Pterodictyum rosaceum* (Le Maître 1959).

10¹ : face distale; 10² : profil, GFCL 455, "Erg Djemel"

11¹ : face distale, remarquer au contact du protocorallite les deux ouvertures circulaires de la galerie de *Hicetes*; 11² : profil, GFCL 456, "Erg Djemel".

11¹ : *Notice the two opennings of the Hicetes tube close to the protocorallite.*

Fig. 12. — *Paracleistopora smythi* (Le Maître 1952) = *Pleurodictyum* sp. Le Maître 1959, "Erg Djemel".

(*) Tous les spécimens au grossissement x 2.5, sauf fig. 6, 7³ et 8² x 5. Magnification x 2.5, except for fig. 6, 7³ and 8² x 5. For the two plates, "face distale" = top view, "profil" = side view and "face proximale" = bottom view.

PLANCHE II (*)

Fig. 1-5. — *Pterodictyum lobatum* n. gen., n. sp., niv. LK91-92.

1¹ : face distale; 1² : face proximale; 1³ : profil LPB 14289.

2¹ : face distale; 2² : face proximale; 2³ : profil, LPB 14288, holotype.

3¹ : face distale; 3² : face proximale; 3³ : profil, LPB 14300.

4¹ : face distale; 4² : profil, spécimen très élevé avec reprise de croissance, LPB 14306.

4² : *Irregular shape with rejuvenation.*

5 : face proximale d'un spécimen fixé sur un Tétracoralliaire solitaire, LPB 14295.

5 : *Solitary Rugosa utilized as attachment substrate.*

Fig. 6. — *Pterodictyum cf. lobatum*,

6¹ : face distale; 6² : profil, LPB 14309, niv. LK91-92.

Fig. 7. — *Pleurodictyum styloporum* (Eaton 1832) sensu Le Maître 1952.

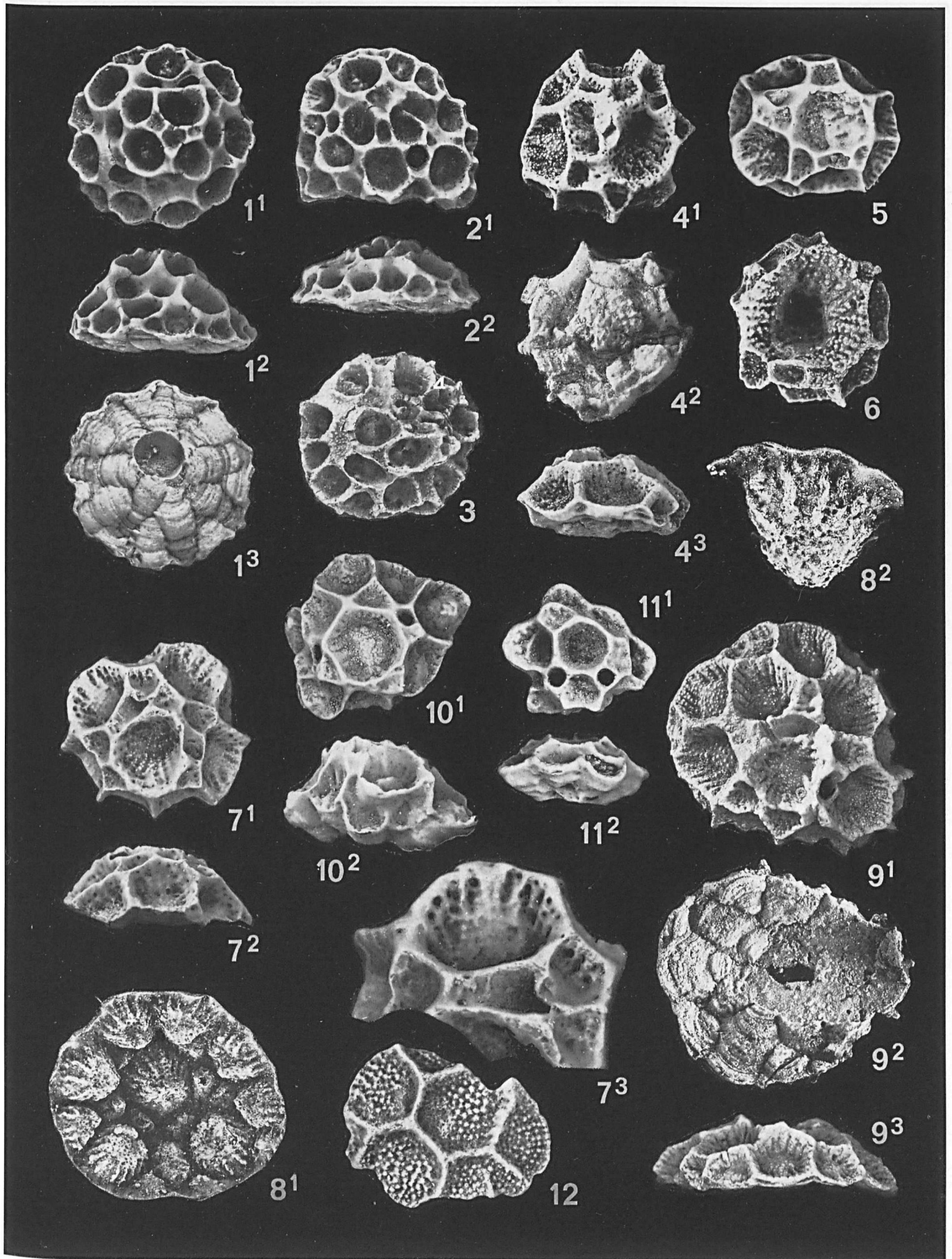
7¹ : face distale; 7² : face proximale, GFCL 131, "Erg Djemel".

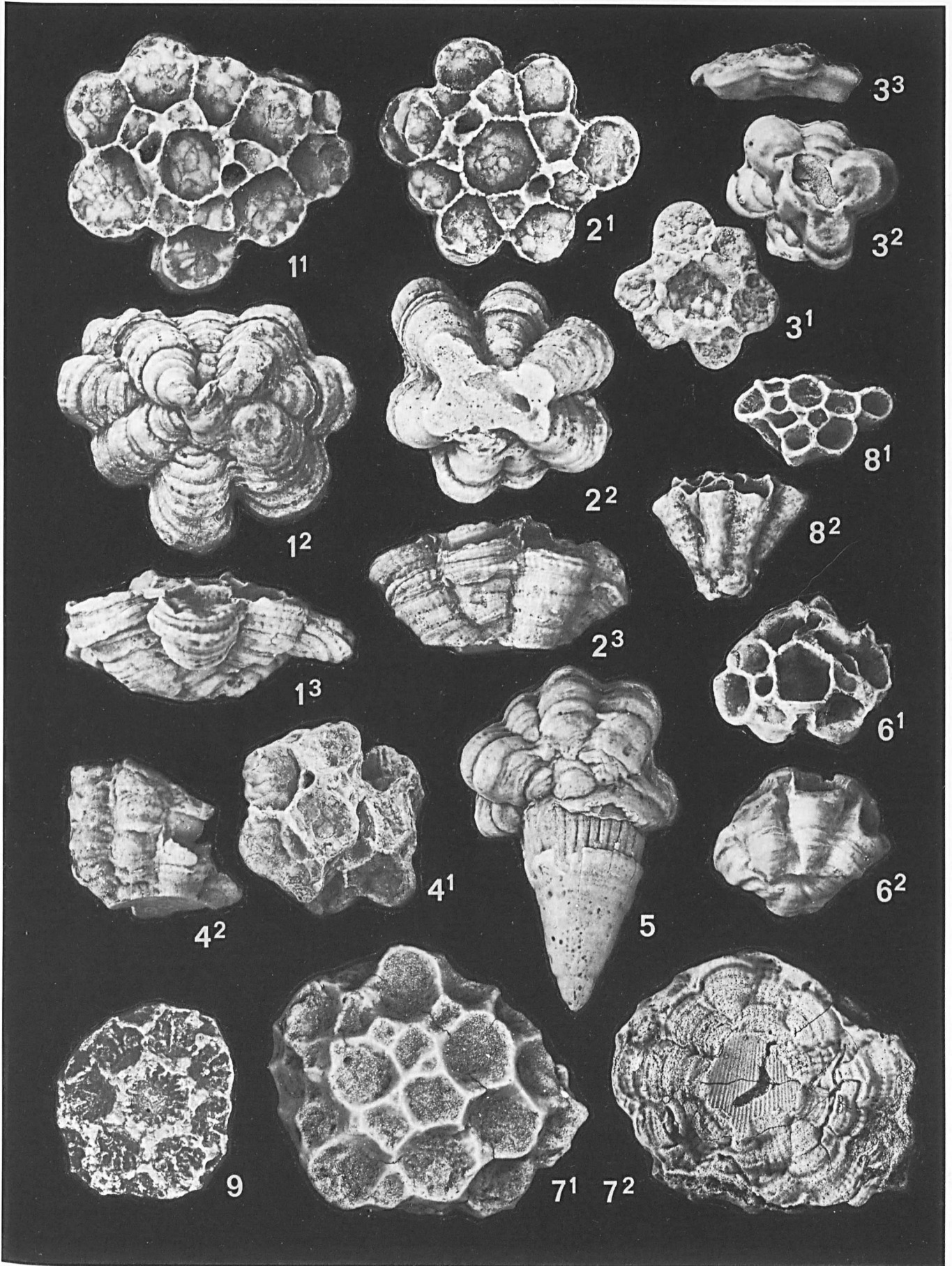
Fig. 8. — *Kerforneidictyum* n. sp.

8¹ : face distale; 8² : profil, LPB 14319, niv. ED29.

Fig. 9. — *Petridictyum* gr. *petrii* (Maurer 1874), face distale, LPB 14321, ED 29.

(*) Tous les spécimens sont au grossissement x 2,5.
Magnification x 2.5.





SYNTHESE SUR LES MODELES DECRIVANT LES MECANISMES PHYSICO-CIMIQUES DE PROPAGATION DE POLLUANTS EN NAPPES SOUTERRAINES.

Modeling of physical and chemical processes of the spreading of pollutant in groundwater.

par Erick CARLIER(*)

Résumé. — Les différents modèles simulant les mécanismes physico-chimiques de propagation d'un polluant en nappe souterraine sont présentés pour les milieux poreux et fissurés. Ils concernent la dispersion d'une substance conservative sans échange avec la matrice et avec échange entre eau immobile, matrice et eau mobile. Lesc x cas d'une fonction d'entrée quelconque du polluant dans la nappe, ainsi que les variations du débit d'écoulement pendant le transfert sont exposés en utilisant l'approche convolutive. Nous pensons répondre à l'un des objectifs de la Société Géologique du Nord qui souhaite, depuis quelques années, la publication de notes de synthèse, à vocation pédagogique; nous espérons que celle-ci aidera tout étudiant de deuxième ou troisième cycle souhaitant approfondir ses connaissances dans ce domaine des sciences de la Terre.

Abstract. — This paper does not present new results in ground water pollution but tries to make a state of the art about the physical and chemical processes of pollution in aquifer. We think that this synthesis is convenient with one of the purpose of the "Société Géologique du Nord" which wishes, since few years, to publish synthetic articles. We hope that this paper will help students who want to increase their knowledge in this part of hydrogeology.

INTRODUCTION

Cette note s'intègre dans un programme régional de recherche intitulé "Programme de Recherche Concerté" qui réunit des scientifiques de disciplines différentes ayant la volonté de confronter leur approche afin d'étudier les séquelles relatives à l'arrêt de l'activité minière du Nord-Pas-de-Calais. Nous nous focaliserons à la problématique de la pollution des eaux souterraines dont une part importante est due aux friches industrielles laissées à l'abandon. La figure 1 synthétise la problématique de la vulnérabilité des eaux souterraines dont les causes de pollution sont multiples et souvent associées. Le problème de la prévision de la concentration d'un polluant dans un forage reste encore non résolu car, alors que les modèles hydrodynamiques de simulation sont devenus routiniers, les modèles hydrodispersifs relèvent encore du domaine de la recherche. Pour répondre à la question posée par la figure 1: "quelle est la concentration du polluant au forage?" "il convient d'élaborer un modèle de transfert de masse dans la zone non saturée dont les résultats serviront d'entrée au modèle relatif à la zone saturée en écoulement naturel, lui-même suivi d'un modèle en écoulement radial convergent. La validation de chaque modèle suppose la possibilité d'effectuer des mesures le long de la zone de transfert, ce qui est, pour le moins, difficilement réalisable expérimentalement.

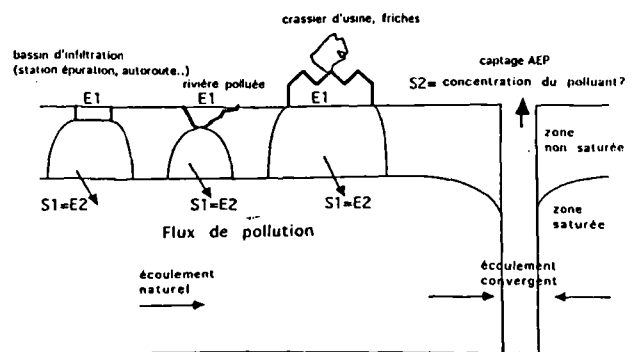


Fig. 1. — Causes de pollution des nappes (E=fonction d'entrée; S=fonction de sortie)

Fig. 1. — ground water pollution (E: input function. S: output function)

Nous présentons dans ce qui suit une synthèse des différents modèles dont le choix d'utilisation dépend des caractéristiques des sols et des roches impliqués dans le processus de transfert.

(*) Laboratoire d'Hydrogéologie, Faculté des sciences J.PERRIN, Université d'Artois, SP 18 62307 Lens cedex.

1. — MODELES DE TRANSFERT DE MASSE EN MILIEUX POREUX.

1) Dispersion d'un polluant conservatif sans échange avec la matrice.

$$\text{div} (D \text{ grad } C - C.U) = \omega \frac{\partial C}{\partial t}.$$

$$D = \begin{pmatrix} D_l & 0 & 0 \\ 0 & D_t & 0 \\ 0 & 0 & D_t \end{pmatrix}$$

$$D_l = \alpha_l \cdot U ; D_t = \alpha_t \cdot U$$

D_l : coefficient de dispersion longitudinale ($L^2 T^{-1}$)

D_t : coefficient de dispersion transversale ($L^2 T^{-1}$)

α : dispersivité (L)

U : vitesse de Darcy (LT^{-1})

ω : porosité totale

La dispersivité fut longtemps considérée comme constante car supposée intrinsèque à la nature de l'aquifère; or, de nombreux travaux expérimentaux sur colonne de laboratoire et sur le terrain ont montré qu'elle pouvait croître avec la distance (effet d'échelle). Les causes sont multiples et éventuellement associées:

- l'étalement progressif du nuage polluant inclus de nouvelles hétérogénéités
- la trajectoire des particules peut être de nature fractale (Wheatcraft et Tyler, 1988)
- Des échanges entre eau immobile, phase solide et eau mobile peuvent se produire (Coats et Smith, 1964)
- La convection est prédominante au début du transfert .

2) Dispersion et interactions entre eau immobile, matrice et eau mobile.

$$\text{div} (D \text{ grad } C - C.U) = \omega \frac{\partial C}{\partial t} . + Q$$

le terme source Q (masse/volume du milieu/unité de temps) est positif dans le cas d'une adsorption et négatif pour une désorption.

$$Q = (1 - \omega) \rho_s \frac{\partial F}{\partial t}$$

F : masse adsorbée/masse de solide.

ρ_s : masse volumique de la phase solide.

Le problème consiste à établir une relation entre C et F .

a) Adsorption instantanée linéaire réversible

$$F = K_d \cdot C$$

$$\text{div} (D \text{ grad } C - C.U) = \omega \cdot R \cdot \frac{\partial C}{\partial t}.$$

$R = 1 + \frac{1-\omega}{\omega} \rho_s \cdot K_d$ (coefficient de retard). $R=1$ sans adsorption.

b) Adsorption instantanée linéaire non entièrement réversible

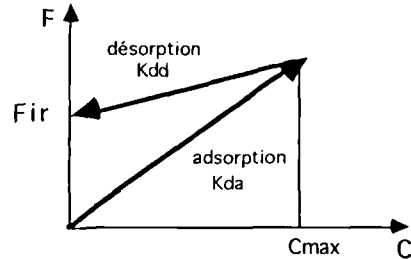


Fig.2. — Adsorption instantanée linéaire non entièrement réversible

Fig. 2. — partial reversible linear adsorption

$$\text{si } C_{t+dt} > C_t ; R = 1 + \frac{1-\omega}{\omega} \rho_s \cdot K_{da}$$

$$\text{si } C_{t+dt} < C_t ; R = 1 + \frac{1-\omega}{\omega} \rho_s \cdot K_{dd}$$

c) Adsorption instantanée non linéaire

$$F = K_1 C - K_2 C^2, K_1, K_2 > 0$$

$$F = \frac{K_1 C}{1 + K_2 C} \text{ (Langmuir)} K_1, K_2 > 0$$

$$F = K_1 \cdot C^{1/n} \text{ (Freundlich)} K_1 > 0, n \geq 1$$

$$C = K_1 F e^{K_2 F}, K_1, K_2 > 0$$

d) Adsorption non instantanée

Il faut connaître la loi de variation, en fonction du temps, de F en fonction de C .

$$\frac{\partial F}{\partial t} = K_1 \cdot C \text{ (Langmuir)}$$

$$\frac{\partial F}{\partial t} = K_1 (K_2 \cdot C + K_3 - F) \text{ (Lapidus)}$$

$$\frac{\partial F}{\partial t} = K_1 (K_2 \cdot C^{K_3} - F) \text{ (Van Genuchten)}$$

e) Relation entre adsorption et concentration C' dans l'eau immobile

$$\text{div} (D \text{ grad } C - C.U) = \omega_c \cdot \frac{\partial C}{\partial t} . + (\omega - \omega_c) \cdot \frac{\partial C}{\partial t} + (1-\omega) \rho_s \frac{\partial F}{\partial t}$$

avec ω : porosité totale et ω_c porosité cinématique.

si $F = K_d \cdot C$ et $C' = K' C$

$$\text{div} (D \text{ grad } C - C.U) = \omega_c \cdot R \cdot \frac{\partial C}{\partial t}.$$

$$R = \left(1 + \frac{\omega - \omega_c}{\omega_c} \cdot K' + \frac{1 - \omega}{\omega} \rho_s \cdot K_d \right)$$

f) Adsorption et décroissance radioactive

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\lambda \cdot C \quad (\lambda: \text{constante de décroissance } T^{-1}).$$

$$\text{div} (D \text{ grad } C - C \cdot U) = \omega \cdot \left(\frac{\partial C}{\partial t} + \lambda C \right) + (1-\omega)\rho_s \left(\frac{\partial F}{\partial t} + \lambda \cdot F \right)$$

$$\text{si } F = K_d \cdot C \text{ alors } \text{div} (D \text{ grad } C - C \cdot U) = \omega \cdot R \cdot \frac{\partial C}{\partial t} + \omega R \lambda C$$

II. — MODELES DE TRANFERT DE MASSE EN MILIEUX FISSURÉS

1) Adsorption dans les plans de fracture à matrice imperméable et non poreuse.

$$\text{div} (D \text{ grad } C - C \cdot U) = \omega \cdot \frac{\partial C}{\partial t} \cdot R$$

$$R = 1 + \frac{\alpha \cdot K_a}{\omega}$$

$$\alpha = \frac{\text{aire des plans de fractures}}{\text{volume total}}$$

il est compté deux plans par fracture.

$$F = K_a \cdot C \text{ en général.}$$

La dispersivité peut varier avec la distance quand la convection est prédominante. (Carlier *et al.*, 1988); (Carlier et Porel, 1989).

2) Milieu fissuré avec porosité de matrice: modèle de la fissure unique (SFDM) (Maloszewski et Zuber, 1993).

$$\text{div} (D \text{ grad } C - C \cdot U) = \omega \cdot \frac{\partial C}{\partial t} \cdot R - \frac{\omega p \cdot D_p}{b} \cdot \frac{\partial C_p}{\partial y}$$

$$\omega p \cdot \frac{\partial C_p}{\partial t} + (1-\omega p)\rho (\Phi_1 + \Phi_2) - \omega p \cdot D_p \cdot \frac{\partial^2 C_p}{\partial y^2} = 0$$

$$\Phi_1 = K_3 \cdot \frac{\partial C_p}{\partial t} = \frac{\partial Q_1}{\partial t}$$

$$\Phi_2 = K_1 \cdot \frac{\omega p C_p}{(1-\omega p) \cdot r} - K_2 \cdot Q_2 = \frac{\partial Q_2}{\partial t}$$

C: concentration dans l'eau de la fissure

C_p: concentration dans la matrice

D: coefficient de dispersion

D_p: coefficient de diffusion dans la matrice

b: demi-ouverture de la fissure

ρ: densité de la matière solide

Φ₁ et Φ₂: flux massique de soluté entre liquide et solide dans la matrice

Q₁ et Q₂: masse de soluté/ masse de solide

R: coefficient de retard du à l'adsorption par les plans de fracture.

L'effet de matrice est prépondérant; le milieu agit comme un milieu poreux anisotrope.

ωp: porosité de la matrice

3) Modèle stochastique du milieu fissuré (Billaux, 1990; Cacas *et al.*, 1990a,b)

A partir des mesures de terrains, on détermine la géométrie du champ de fractures et les lois de répartition des orientations, des ouvertures et des longueurs; puis on génère un champ de fractures ayant les mêmes caractéristiques statistiques au niveau des points de mesures. Les plans de fractures sont représentés par des disques. Le modèle de transfert est un modèle à particules, ajoutées au champ d'écoulement et ne fait intervenir que la convection. La dispersion, les échanges, la diffusion dans la matrice sont négligés. Aux intersections, la probabilité qu'une particule d'aller dans une direction est proportionnelle au rapport du débit dans cette direction et du débit total au noeud.

La comparaison des résultats de ce modèle avec ceux de la fracture unique (SFDM) montre que ce dernier (SFDM) nécessite moins de paramètres de calage et est plus proche de la réalité, notamment en ce qui concerne l'ouverture des fractures.

Si le milieu est fortement fracturé, le modèle SFDM est plus approprié.

4) Modèle de dispersion en écoulement convergent.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{Q}{2 \cdot p \cdot e \cdot \omega \cdot r} (\alpha \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial r^2} + \frac{\partial C}{\partial r}) \quad (\text{Sauty, 1977})$$

La vitesse radiale n'est pas constante.

Pour un milieu fissuré, Wang (1987) a établi l'équation suivante:

$$\frac{Uz}{r} \cdot \frac{\partial C}{\partial r} + \frac{\alpha \cdot Uz}{r} \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial r^2} + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{Uz \cdot \alpha}{r} \cdot \frac{\partial C}{\partial z} \right) = -B \cdot \frac{\partial C_{im}}{\partial y} + T_a \cdot p \cdot d \cdot \frac{\partial F}{\partial t} + \frac{\partial C}{\partial t}$$

la quantité Uz/r représente la vitesse à la distance r du forage et à l'altitude z.

$$T_a : \text{taux d'argile} = \frac{\omega_a}{\omega_f}$$

$$\omega_a = \frac{\text{volume des fissures occupé par l'argile}}{\text{volume total}}$$

$$\omega_f = \frac{\text{volume des fissures contenant l'eau libre}}{\text{volume total}}$$

F: concentration dans la phase solide représentant la masse de soluté adsorbé par unité de masse de solide.

$$B = \frac{\omega_{im} \cdot D_m}{d}$$

D_m: coefficient de diffusion dans la matrice

d: demi-ouverture des fissures

ω_{im}: porosité de la matrice.

III. — MODELE PAR MARCHE AU HASARD.(Delay, Marsily de, Carlier,1994)

Ce type de modèle peut être employé pour le milieu fissuré comme pour le milieu poreux.

Une particule voyage selon des pas élémentaires de longueur $A \pm B$.

$$P(x) = 0 \text{ si } x < A - B$$

$$P(x) = B/2 \text{ si } (A - B) < x < (A + B)$$

$$P(x) = 0 \text{ si } x > A + B$$

$$m = E(x) = A \text{ (moyenne)}$$

$$s^2 = \frac{B^2}{3} \text{ (variance)}$$

D'après le théorème central limite, au bout d'un grand nombre de pas, $P(x)$ est gaussienne:

$$P(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \cdot \exp\left(-\frac{(x-M)^2}{2\sigma^2}\right)$$

$$M = N \cdot m = N \cdot A \text{ (moyenne)}$$

$$\sigma^2 = N \cdot s^2 = N \cdot \frac{B^2}{3} \text{ (variance)}$$

Par exemple, dans le cas d'une propagation monodimensionnelle, à vitesse constante, sans échange:

$$C = C_0 \cdot \frac{1}{\sqrt{4\pi \cdot D \cdot t}} \cdot \exp\left(-\frac{(x - U \cdot t)^2}{4 \cdot D \cdot t}\right)$$

$$M = U \cdot t = N \cdot A$$

$$\sigma^2 = 2 \cdot D \cdot t = N \cdot \frac{B^2}{3}$$

$$D = \frac{U \cdot B^2}{6 \cdot A}$$

$$B = \sqrt{6 \alpha 1 \cdot A}$$

A: pas constant relatif à la convection

B: pas aléatoire relatif à la dispersion

En utilisant la fonction $RND(x)$, on obtient $B = RND(x) \cdot \sqrt{6 \alpha 1 \cdot A}$

Les pas élémentaires sont calculés à partir de la vitesse. Un pas aléatoire est surimposé au pas élémentaire.

L'avantage de ce modèle est qu'il ne génère pas de dispersion numérique.

IV. — MODELE A DEBITS VARIABLES ET A FONCTION D'ENTREE QUELCONQUE.

Il peut se produire des variations de débits, pendant et/ou après l'introduction du polluant dans la nappe. La modélisation du transfert peut se faire par l'approche convolutive (Carlier *et al.*, 1995):

Fonction d'entrée $E(t)$:

$$E(t) = \frac{q}{\sqrt{\pi} \left(P(x < \sqrt{2} \cdot q \cdot T) - 0.5 \right)} \cdot e^{-q^2 \cdot t^2} \quad (59)$$

T : temps d'injection. (T)

p ($x < \sqrt{2} \cdot q \cdot T$) : probabilité qu'à la variable x d'être inférieure à $\sqrt{2} \cdot q \cdot T$.

La variable x suit une loi normale centrée réduite.

q : paramètre de calage. (T^{-1})

Cette fonction vérifie la relation :

$$\int_0^T f(t) \cdot dt = 1$$

La réponse impulsionnelle utilisée est :

$$h(t) = \frac{u}{\sqrt{4\pi \cdot D \cdot t}} \cdot \exp\left(-\frac{(x - U \cdot t)^2}{4 \cdot D \cdot t}\right)$$

$$\text{avec: } \int_0^{\infty} h(t) \cdot dt = 1.$$

La fonction de sortie est:

$$C(t) = \frac{M}{Q} \cdot \int_{t-T}^t E(t-\tau) \cdot h(\tau) \cdot d\tau$$

Les variations de débits, intervenant à différents temps, sont prises en compte en introduisant un temps de "calcul" ($t > t_n$):

$$\text{temps de "calcul"} = \text{temps chronologique} - \sum_{k=1}^n t_k \left(1 - \frac{Q_{k-1}}{Q_k}\right) \frac{Q_k}{Q_n} \quad (63)$$

Pour n variations de débits, les paramètres suivants sont successivement transformés :

$$\text{vitesse moyenne : } U_i = U_0 \cdot Q_i / Q_0$$

$$\text{coefficient de dispersion : } D_i = D_0 \cdot Q_i / Q_0$$

$$\text{temps d'injection : } T_i = T \cdot Q_0 / Q_i$$

$$\text{coefficient de calage : } q_i = q \cdot Q_i / Q_0$$

i allant de 1 à n .

Quand la variation de débit intervient durant le temps d'injection, celui-ci doit être divisé en un nombre égal au nombre de variations agissant durant le temps d'injection T : pour chaque interval, l'intégrale de convolution est calculée et les résultats, pour un même temps, doivent être additionnés.

IV. — CONCLUSION

Il est important de noter qu'une modélisation mathématique réaliste du transport repose sur le bon choix des lois physico-chimiques qui régissent le phénomène. Ne considérer que la convection-dispersion dans la craie, sans tenir compte des phénomènes d'échange, conduira à des résultats erronés. De même, l'analyse d'une courbe de restitution de traceur devra être réalisée en connaissant le type d'injection, à savoir s'il s'agit d'une injection brève de type Dirac, en créneau, continue, à débit constant ou variable. Il convient aussi de préciser les possibilités d'utilisation de certains modèles, qui, tout en étant parfaitement rigoureux, ont un champ d'application

extrêmement réduit de par le nombre de paramètres, d'obtention souvent délicate, qu'ils font intervenir ; l'erreur commise sur la valeur d'un seul paramètre peut avoir de tragiques répercussions sur le résultat. Sur un plan pratique, il sera, dans certain cas, conseillé de choisir un modèle simple, assez proche de la réalité, pour lequel l'erreur commise sur le résultat sera connue plutôt qu'un modèle plus sophistiqué et généralement plus rigoureux, mais dont l'extrême sensibilité le rendra, dans la plupart des cas, inutilisable.

Remerciements. — Nous remercions le Conseil Régional du Nord-Pas-de-Calais pour l'aide financière qu'il nous accorde dans le cadre du Programme de Recherche Concerté.

BIBLIOGRAPHIE

- BILLAUX D. (1990). — Hydrogéologie des milieux fissurés. Géométrie, connectivité et comportement hydraulique. Doc. BRGM n°186.
- CACAS M.C., LEDOUX E., MARSILY de G., BARBREAU A., CALMELS P., GAILLARD B. and MARGRITTA R. (1993). — Modeling fracture flow with a stochastic discrete fracture network 2: the transport model. *Water Resour Res*, 26, p.491-501.
- CACAS M.C., LEDOUX E., MARSILY de G., TILLIE B., BARBREAU A., DURAND E., FEUGA B. and PEAUDECKER P. (1993). — Modeling fracture flow with a stochastic discrete fracture network: calibration and validation 1. The flow model. *Water Resour Res*, 26, p. 479-491.
- CARLIER E., DELAY F., DZIKOWSKI M. and CRAMPON N. (1995). — Elaboration of an input function and application to the mass transfer in unsteady flow by use of the convolution method. Karst waters and environmental impacts, IAHS publications.
- CARLIER E. et POREL G. (1989). — Approche stochastique de l'hydrodispersion en milieu fissuré. Variabilité du coefficient de dispersion. *Journ of Hydrol*, 107, Elsevier, p. 329-341.
- CARLIER E., COLLET T. et CRAMPON N. (1988). — Modélisation de la propagation d'un traceur dans une fracture qui se ferme progressivement en profondeur dans l'hypothèse d'un écoulement laminaire parallèle. *Journ. of Hydrol*, 101, Elsevier, p. 333-358.
- COATS K.H. and SMITH B.D. (1964). — Dead-end pore volume and dispersion in porous media. *Soc. Petro. Eng. Journ*, V4, p. 78-84.
- DELAY F., MARSILY de G. and CARLIER E. (1994). — One dimensional solution of the transport equation in porous media in transient state by a new numerical method for the management of particule track. *Computers and Geosciences*, 20, Pergamon, Elsevier, p. 1169-1200
- MALOSZEWSKI P. and ZUBER A. (1993). — Tracer experiments in fractured rocks: matrix diffusion and the validity of models. *Water Resour Res*, 29, p. 2723-2735.
- SAUTY J.P. (1977). — Contribution à l'identification des paramètres de dispersion dans les aquifères par l'interprétation des expériences de traçages. Thèse Univ. Grenoble, 157 P.
- WANG H. (1987). — Modélisation des transferts de masse en milieu saturé à double porosité. Thèse Univ. Paris XI, 270 P.
- WHEATCRAFT S.W. and TYLER S.W. (1988). — Explanation of scale-dependent dispersivity in heterogeneous aquifers using concepts of fractal geometry. *Water Resour. Res.* 24, p.566-578.

LE CHAMP CAPTANT DE SALOME (NORD): MODELISATION NUMERIQUE ET SCENARIO DE PROTECTION.

Pumping wells of Salomé (North of France): numerical model and protection.

par Erick CARLIER(*), Paul CAULIER(**), Arnold CAUTERMAN(***) , Benoît GALLIOT(**) et Francis MEILLIEZ(*)****).

Résumé. — Le champ captant de Salomé, situé au Nord du bassin minier du Nord-Pas-de-Calais, est implanté dans la craie séno-turonienne, en bordure du recouvrement tertiaire et alimente en eau potable soixante dix milles abonnés. La nappe est libre et est alimentée par les pluies efficaces et des drainances provenant du canal d'Aires et des sables tertiaires. Sa modélisation numérique a été réalisée (code Modflow) et suivie de simulations de transfert de particules (code Modpath) afin de visualiser les zones potentielles de pollution. En augmentant le débit du forage industriel de Douvrin, situé au Sud-Ouest du champ captant, il advient que les zones de transfert vers ce dernier ne sont plus limitées qu'au Nord et à l'est, ce qui l'affranchit de toutes pollutions provenant du bassin minier.

Abstract. — *The pumping wells of Salomé, which provide water to seventy thousand persons, take place to the north of the basin of mines of the Nord-Pas-de-Calais, in the seno-turonian chalk. In this zone, the chalk is, in part, under the cenozoic formations but the aquifer is still unconfined. The groundwater receive water from infiltration and from leakage from cenozoic sands and from the canal d'Aires. The Modflow code has been used to model the aquifer and the Modpath code has been used to identify the potential zones of pollution. By increasing the discharge of the industrial pumping well of Douvrin, in the south-west side of Salomé, it appears that the pollution zones are reduced to the north and the east ones: the pollution from the basin of mines would be captured by the industrial pumping well.*

INTRODUCTION

Les dernières décennies ont vu un accroissement important des prélèvements d'eau souterraine dans le bassin minier tant pour l'alimentation en eau potable que pour l'usage industriel. Ceci a fortement perturbé l'écoulement naturel de la nappe de la craie, initialement dirigé vers le Nord. Les zones d'eau souterraine polluées ont acquis un équilibre statique et sont relativement bien connues. Or, l'arrêt de l'activité minière risque de provoquer l'arrêt de nombreux forages industriels qui ; sur le plan purement économique, n'ont plus lieu d'être. Il est donc prévisible qu'à moyen terme, l'écoulement de la nappe reprendra sa direction initiale vers le Nord du bassin.

Actuellement, l'eau souterraine au droit de l'agglomération Lens-Liévin est quasiment impropre à la consommation. Deux solutions sont envisageables:

- Traiter l'eau du bassin minier, ce qui n'est pas réaliste à court terme, compte tenu du coût.
- Trouver de nouvelles ressources; celles-ci existent au Nord du bassin minier dans le secteur du Béthunois.

Ce secteur Nord bénéficie d'une dénitrification naturelle car il réunit les deux conditions nécessaires et suffisantes pour neutraliser les flux nitrates: un régime captif de la nappe et la présence de bactéries anaérobies.

De plus, les débits qui peuvent être prélevés, sur quelques kilomètres en bordure du recouvrement tertiaire, sont importants et peuvent suffire à alimenter le secteur de Béthune et l'agglomération de Lens-Liévin. Plus au Nord, l'importance du recouvrement est telle que les fractures de la craie sont très fermées et ne peuvent pas produire de débit intéressant. Il convient de protéger cette zone, très limitée géographiquement, des flux polluants provenant de la partie Sud du bassin minier, et notamment l'ensemble des champs captants lui appartenant.

I. — GEOLOGIE ET HYDROGEOLOGIE DU SITE DE SALOME

Le champ captant de Salomé est situé en périphérie Nord - Est du Bassin minier (fig.1), à proximité du canal d'Aires au lieu-dit « le Marais d'Hantay ». Il prélève un volume

(*) Université d'ARTOIS, Laboratoire d'Hydrogéologie, JE 231.

(**) Syndicat Intercommunal de Distribution d'Eau du Nord (S.I.D.E.N)

(***) Ecole Nationale Supérieure des Techniques Industrielles et des Mines de Douai.

(****) Université de Lille I, Laboratoire de tectonique et sédimentologie, URA 719.

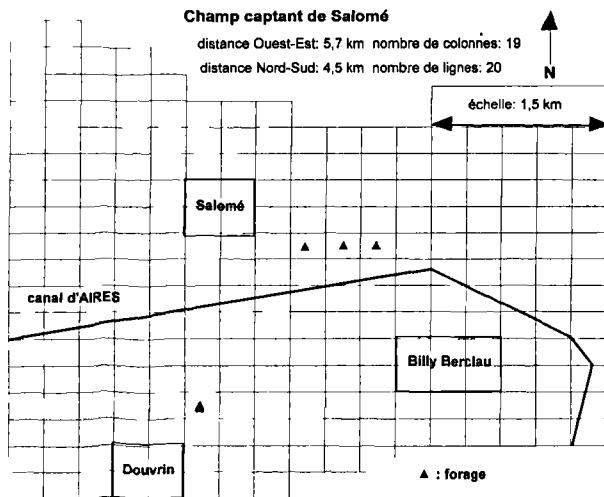


Fig 1. — Localisation du champ captant de Salomé
 Fig 1. — Localization of the pumping wells of Salomé

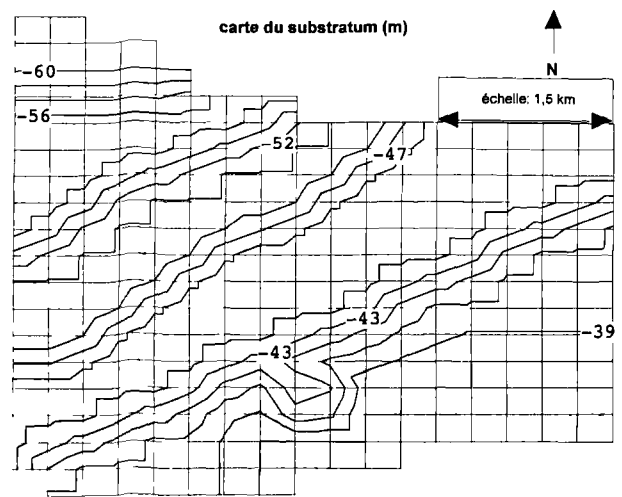


Fig 2. — Carte du substratum de la nappe de la craie
 Fig 2. — Substratum map of the chalk aquifer

journalier de 12000 m³ et alimente 70 000 personnes en eau potable. Bien que le régime de la nappe soit libre, la qualité de l'eau est bonne car ce secteur n'a pas (encore?) été contaminé par la migration des zones polluées plus au Sud. La craie est, à cet endroit, recouverte d'une couche de limons argilo-sableux de 1 à 10 m d'épaisseur. Cette zone correspondrait à une ancienne vallée. La nappe contenue dans les fissures de la craie séné-turonienne circule du Sud-Ouest vers le Nord-Est avec un gradient de 1,5‰. Le Turonien moyen marneux constitue le substratum imperméable de l'aquifère. Les pompages d'essai réalisés sur les forages du champ captant ont permis de calculer un coefficient d'emmagasinement compris entre 1% et 2%, ce qui confirme le régime libre de la nappe; la transmissivité obtenue est comprise entre 0,02 m²/s et 0,06 m²/s. Ces valeurs révèlent la bonne productivité de l'aquifère crayeux au droit de Salomé.

II. — MODELISATION DU CHAMP CAPTANT DE SALOME.

Le code Modflow utilisé est basé sur la résolution numérique de l'équation de diffusivité par la méthode des différences finies (Mc Donald and Harbaugh, 1988). Le modèle est constitué de 380 mailles rectangulaires (300m*240m); son élaboration a nécessité la connaissance de la géométrie du substratum (fig.2), des recharges par la pluie, les pertes du canal et la drainance à partir des formations tertiaires de recouvrement (fig. 3); les perméabilités ont été déterminées par la méthode inverse dite du "tâtonnement" (fig.4) qui consiste à ajuster, maille par maille, la perméabilité jusqu'à l'obtention de la piézométrie mesurée. Ces données ont permis de restituer la carte piézométrique et les sens d'écoulement (fig.5). Les conditions aux limites, indispensables pour la résolution numérique de l'équation de diffusivité, sont à flux nul sur les frontières Est, Ouest et Sud et à potentiel imposé sur la

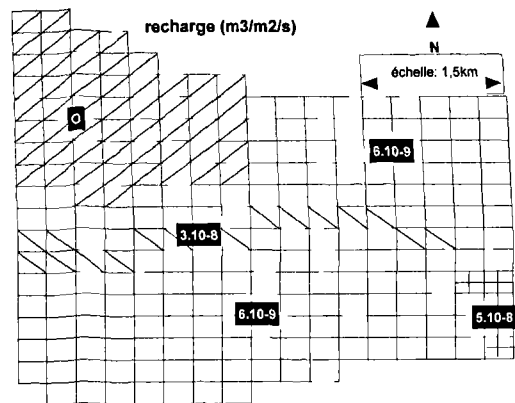


Fig 3. — Carte de la recharge de la nappe de la craie
 Fig 3. — Recharge map of the chalk aquifer

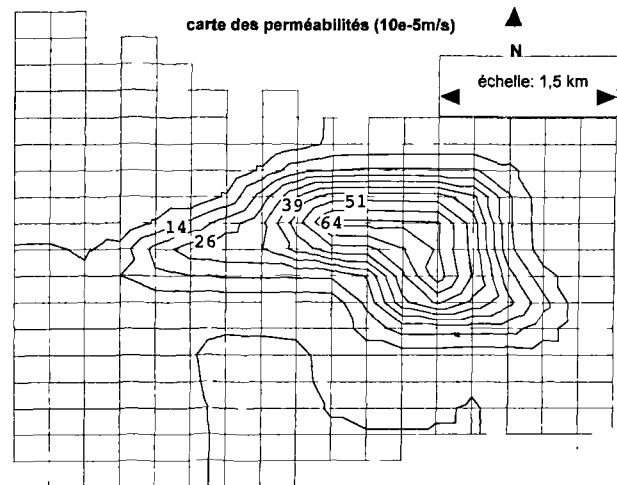


Fig 4. — Carte des perméabilités
 Fig 4. — Permeability map

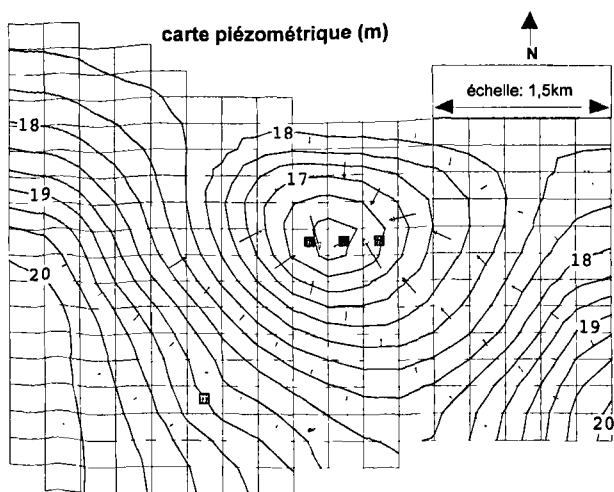


Fig 5. — Carte piézométrique, direction et intensité de la vitesse d'écoulement.

Fig 5. — Hydraulic heads map, direction and intensity of the velocity.

frontière Nord. Ces conditions sont compatibles avec l'écoulement naturel déduit de la carte piézométrique de référence. Les débits de pompage sont, pour les trois forages, 0,0519 m³/s, 0,0417 m³/s et 0,0453 m³/s.

III. — SIMULATION DE TRANSFERT DE PARTICULES ET VULNERABILITE DU CHAMP CAPTANT

Le code Modpath (Pollock, 1994) simule le transfert d'une particule dans un champ de vitesse en calculant ses coordonnées pour des pas de temps successifs en tenant compte de la vitesse moyenne de l'écoulement souterrain, de la vitesse de la particule et des composantes du gradient de la vitesse moyenne d'écoulement dans une maille; ces composantes sont les coefficients constants de l'interpolation linéaire qui permet de calculer les composantes de la vitesse moyenne en n'importe quel point de la maille (annexe). Afin de localiser les zones susceptibles de polluer les forages du champ captant, la méthode de rétrodiffusion a été utilisée; elle consiste à localiser des particules sur les faces de la maille centrée sur un forage et à visualiser leurs trajectoires jusqu'à la limite de la zone de capture du forage.

Les zones de pollution potentielles du champ captant sont représentées par la figure 6. La présence d'un forage industriel a permis de simuler sa potentialité en tant que "piège hydraulique"; en multipliant son débit par un facteur dix, la figure 7 montre que les zones polluantes du champ captant ont été fortement réduites. Ces résultats nous amènent à proposer le maintien en activité d'un certain nombre de forages industriels même si l'activité industrielle cesse.

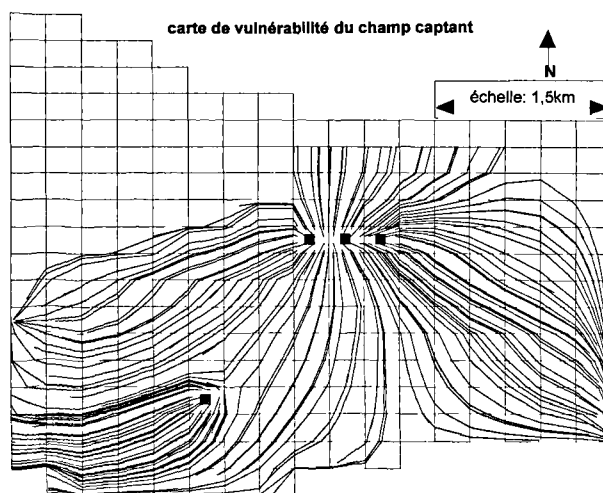


Fig 6. — Carte de vulnérabilité du champ captant dressée à partir des trajectoires de particules

Fig 6. — Vulnerability map of the pumping wells of Salomé from particles trajectory

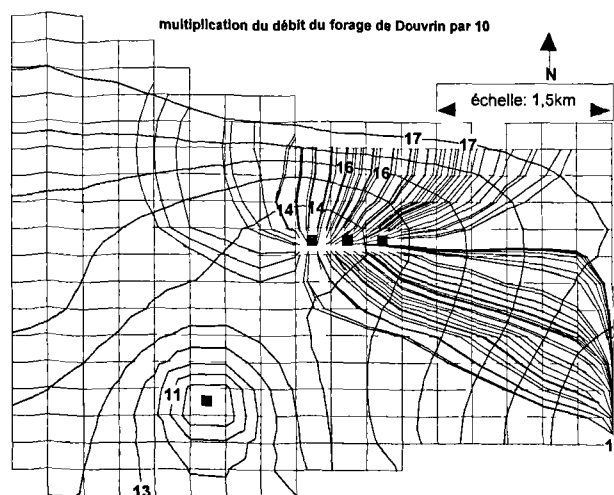


Fig 7. — Impact de l'augmentation du débit du forage de Douvrin sur la zone de vulnérabilité

Fig 7. — Impact of the increase of the discharge pumping well of Douvrin on the vulnerability zone

IV. — CONCLUSION.

Les travaux présentés ont pour objectif de déboucher sur une méthodologie opérationnelle de protection des champs captants régionaux et notamment ceux situés en périphérie du bassin minier Nord-Pas-de-Calais. Les simulations réalisées montrent que des aménagements tels que l'utilisation de forages industriels ou de forages d'alimentation en eau potable voués à l'arrêt en tant que pièges hydrauliques semblent être une stratégie intéressante qui pourrait être adoptée dans le cadre d'une politique régionale de protection des forages destinés à l'alimentation en eau potable.

Remerciements. — Nous tenons à remercier la Direction de la Recherche Régionale du Nord-Pas-de-Calais pour l'aide financière qu'elle nous a accordée pour mener à bien ce travail.

BIBLIOGRAPHIE

- Mc DONALD G. and HARBAUGH A.W. (1988). — A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model. *Techniques of water-resources investigations of the united states geological survey*. 510 p
- POLLOCKD.W. (1994). — A particle tracking post-processing package for MODFLOW, the US geological survey finite-difference ground-water flow model. *US department of the interior*. 200p

ANNEXE

L'équation aux dérivées partielles exprimant la conservation de la masse en régime permanent, dans un parallélépipède infiniment petit d'aquifère de porosité n et de volume $dx.dy.dz$, traversé par des flux d'eau de vitesse moyenne V_x, V_y et V_z s'écrit:

$$\frac{\partial}{\partial x}(n.v_x) + \frac{\partial}{\partial y}(n.v_y) + \frac{\partial}{\partial z}(n.v_z) = w$$

w représente le débit par unité de volume correspondant aux arrivées ou aux prélèvements externes d'eau (forage en injection ou en pompage...).

Les huit sommets du parallélépipède élémentaire sont positionnés par le système de coordonnées $X_1, Y_1, Z_1; X_2, Y_1, Z_1; X_2, Y_2, Z_1; X_1, Y_2, Z_1; X_2, Y_1, Z_2; X_1, Y_1, Z_2; X_1, Y_2, Z_2; X_2, Y_2, Z_2$.

En un point de coordonnée X, Y, Z à l'intérieur du parallélépipède, les composantes V_x, V_y, V_z du vecteur vitesse moyenne peuvent s'exprimer par interpolation linéaire à partir des coordonnées des sommets du parallélépipède:

$$V_i = A_i (i - i_1) + V_{i1}$$

avec $i = x, y, z$

Les termes A_i sont constants et représentent, en fait, les composantes du gradient de vitesse moyenne.

Considérons une particule p ; la variation en fonction du temps de la vitesse moyenne d'écoulement au point p peut s'écrire, par exemple selon la direction X :

$$\left(\frac{dv_x}{dt}\right)_p = \left(\frac{dv_x}{dx}\right) \times \left(\frac{dx}{dt}\right)_p$$

Le terme $\left(\frac{dx}{dt}\right)_p$ représente la vitesse de la particule selon la direction X . Le terme $\left(\frac{dv_x}{dx}\right)$ représente la constante A_x . A

partir des équations précédentes, on obtient la relation suivante: $\frac{dv_{x_p}}{v_{x_p}} = A_x \cdot dt$.

En intégrant cette expression entre les temps t_1 et t_2 ($\Delta t = t_2 - t_1$), on obtient la coordonnée x_p au temps t_2 :

$$x_p(t_2) = x_1 + \left(\frac{1}{A_x}\right) (v_{x_p}(t_2) \exp(A_x \Delta t) - v_{x_1})$$

Par un raisonnement analogue, on détermine les coordonnées y_p et z_p .

MISE EN ÉVIDENCE DE PÉLOÏDES D'ORIGINE CYANOBACTÉRIENNE DANS DES SÉDIMENTS CARBONATÉS LAMINÉS RICHES EN MATIÈRE ORGANIQUE DU KIMMÉRIDIEN DU JURA

Cyanobacterial peloids in laminated, organic-matter rich, limestones from the Kimmeridgian formations of French Jura Mountains

par Nicolas TRIBOVILLARD (*)

Résumé. — La plate-forme jurassienne (France) était au Kimméridgien supérieur le siège de dépôts de calcaires en plaquette, localement finement laminés et très enrichis en matière organique. Deux types de laminations se rencontrent : décanation ou croissance de films cyanobactériens donnant des stromatolites plans. Dans ce second cas, un traitement acide révèle que l'activité de cyanobactéries filamenteuses est à l'origine des lamines sombres alors que les lamines claires sont constituées d'innombrables péloïdes. Ces derniers sont interprétés comme le résultat d'une calcification *in vivo* ou rapidement *post mortem* de capsules de colonies cyanobactériennes. Cette calcification a pu se produire dans un environnement de dépôt vraisemblablement hyperalcalin. Des faciès comparables à ceux du Jura sont fréquents au Jurassique supérieur ; le rôle des cyanobactéries dans la genèse des calcaires de plates-formes mérite peut-être d'être réévalué pour cette période géologique.

Abstract. — *The late-Kimmeridgian Southern Jura (France) was a carbonate platform where laminated limestones accumulated locally (notably at Orbagnoux). The two types of laminations encountered result either from particle settling in a very quiet environment or from bacterial mat growth. In the later case, as revealed by etching, the dark-coloured laminae result from the developments of filamentous cyanobacteria, while the light-coloured laminae appear to be composed of packed peloids. These peloids are interpreted as originating from the in vivo or shortly post mortem calcification of sheaths of coccoid cyanobacteria in an environment rendered toxic by temporary excess alkalinity (and possible H₂S emissions). Thus a simple etching treatment evidences the unsuspected, albeit prominent, role of cyanobacteria in the genesis of the limestones from Orbagnoux. Such facies are widespread during Late Jurassic times. The role of bacteria would deserve more consideration for this geological time interval.*

1. — INTRODUCTION

Au Kimméridgien supérieur (zone à Beckeri), une vaste plate-forme carbonatée protégée derrière une barrière récifale et où se sont déposés les sédiments de la formation des Calcaires en plaquettes occupait l'actuel Jura méridional français (Bernier, 1984). Localement, des dépôts riches en matière organique se sont accumulés sous la forme de "laminites bitumineuses" sur cette plate-forme (fig. 1). De tels dépôts affleurent bien à Orbagnoux, non loin d'Aix-les-Bains. Ils ont été reconnus comme roche mère d'hydrocarbures potentielle (Gubler & Louis, 1956) et ils sont exploités actuellement pour l'exceptionnelle teneur en soufre de la matière organique fossile. De nombreux travaux relatifs aux environnements de dépôt et de diagenèse précoce qui ont présidé à la mise en place des laminites bitumineuses d'Orbagnoux en général et à leur enrichissement en matière organique en particulier, ont été publiés (Bernier, 1984 ; Bernier *et al.*, 1991 ; Courtinat, 1989 ; Mongenot *et al.*, 1997 ; Tribovillard *et al.*, 1991, 1992). Ainsi, les laminites bitumineuses sont faites de deux

composants : le carbonate de calcium et la matière organique, quelles que soient leurs origines et proportions respectives. La teneur en carbonate fluctue entre 75 et 96%, celle en carbone organique est plus élevée dans les lamines sombres que dans les claires (6% en moyenne contre 2% en moyenne, respectivement). Les valeurs de l'indice d'hydrogène obtenues grâce à la pyrolyse Rock Eval (Espitalié *et al.*, 1987) sont toujours très élevées (755-966 mg d'hydrocarbures/g carbone organique). Les kérogènes sont extrêmement riches en soufre organique (12-17% de leur poids). Par conséquent, la matière organique étudiée ici appartient au type I-S (matière organique algale d'origine laguno-lacustre et riche en soufre). Quelques rares grains de quartz authigènes, ainsi que quelques rhomboèdres dédolomités, peuvent être observés, en parallèle à la quasi absence des minéraux argileux (traces d'illite, occasionnellement). En revanche, les pseudomorphoses de gypse sont fréquentes. L'abondance d'organismes benthiques ou pélagiques, associée aux résultats d'une étude des éléments traces des laminites, permet de conclure que la colonne d'eau devait être oxygénée constamment ou, au

(*) Université Lille I, UFR des Sciences de la Terre, Sédimentologie et Géodynamique - URA CNRS 719, 59655 Villeneuve d'Ascq cedex (France).

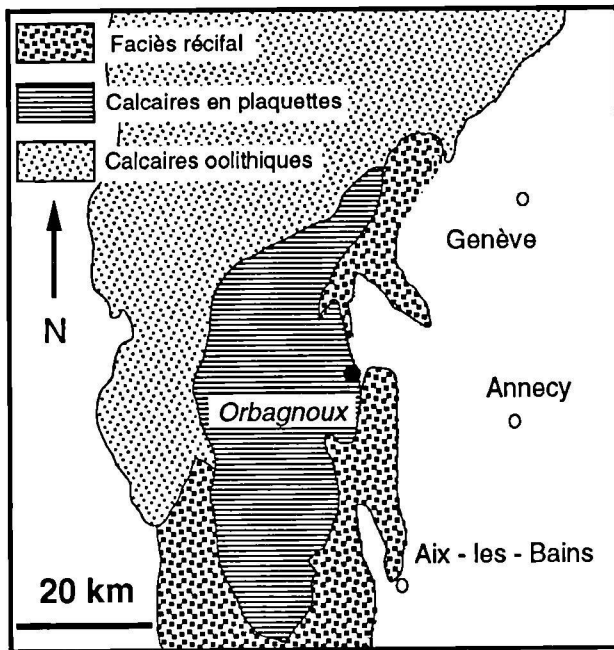


Fig. 1.— Carte simplifiée de répartition des faciès de la plate-forme kimmeridgienne (zone à *Beckeri*), à l'emplacement actuel du Jura méridional (d'après Bernier, 1984).

Fig. 1.— Schematic map of the facies distribution of the Kimmeridgian (*Beckeri ammonite zone*) platform located at the emplacement of the present-day Southern Jura.

moins, régulièrement. Toutefois, l'existence d'accumulations de coquilles d'ammonites juvéniles suggère que des mortalités en masse ont affecté occasionnellement des faunes relativement peu diversifiées (*Aspidoceras sp.* majoritaires). Si la colonne d'eau a pu être régulièrement oxygénée, le sédiment a été en permanence le siège de conditions très réductrices, avec des eaux interstitielles riches en sulfures. La chémocline entre les environnements réducteurs et oxydants correspondait à l'interface eau-sédiments, car le développement de films cyanobactériens a joué le rôle de barrière chimique.

Les faciès péloïdaux (riches en pelotes fécales ou en péloïdes, pour adopter un terme plus général, moins lié au mécanisme de formation de ces petits agglomérats de particules sédimentaires) sont un trait fréquent des environnements protégés, peu profonds, d'arrière-récif (Dromart, 1987). Les laminites d'Orbagnoux montrent seulement occasionnellement des textures de pelmicrite (Tribovillard *et al.*, 1991). Un travail récent de Kazmierczak *et al.* (1996) suggère que l'activité bactérienne a pu laisser dans les roches sédimentaires d'Orbagnoux davantage de témoins que ce à quoi on aurait pu s'attendre, sous la forme de constituants carbonatés.

II. — MÉTHODE D'ÉTUDE

Une cinquantaine d'échantillons ont été prélevés dans les laminites bitumineuses, notamment afin d'être soumis à des attaques acides modérées destinées à révéler d'éventuelles structures internes à la roche, indiscernables sans traitement préalable. Le traitement a consisté en des

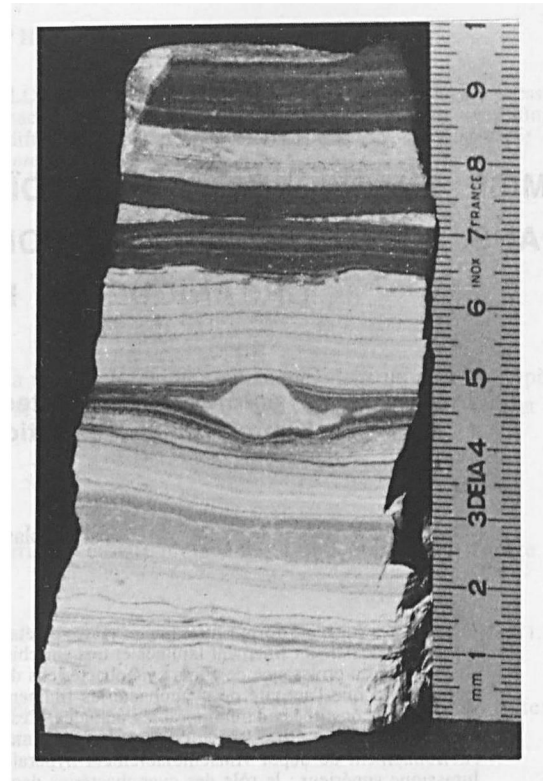


Fig. 2.— Echantillon des Laminites bitumineuses illustrant les deux types de laminations. La partie inférieure (jusqu'au niveau 2 cm de l'échelle) est représentative des lamines ondulées. On observe même une brèche à la base. La partie supérieure est typique des lamines parallèles.

Fig. 2.— Rock sample from the Kimmeridgian "Laminites bitumineuses" showing the characteristic two lamination types. The lower part (up to the 2 cm-level of the scale) is typical of the undulating laminae. The mat is even brecciated at the base. The upper part is typical of the parallel laminae.

attaques à l'HCl avec des solutions variables (N/10, N/5, N/2) et des temps d'attaque allant de quelques secondes à une dizaine de minutes. Les échantillons ont été observés avant et après traitement, à la loupe binoculaire et au microscope, photonique ou électronique.

III. — LITHOLOGIE

Les laminites bitumineuses montrent deux types de laminations (fig. 2) :

1) Les lamines parallèles

Elles sont constituées de l'alternance de très fines lamines (épaisseur inframillimétrique), dont la teinte sera d'autant plus sombre que le contenu organique sera plus important. Elles sont groupées en faisceaux millimétriques à centimétriques, plus ou moins sombres selon leur teinte dominante. La lamination est parfois perturbée : entrecroisée à très faible angle, déformées par des croissances de nodules millimétriques à centimétriques, apparus précocement. Au microscope électronique à balayage (MEB), les lamines claires apparaissent comme faites exclusivement de l'accumulation de coccolithes

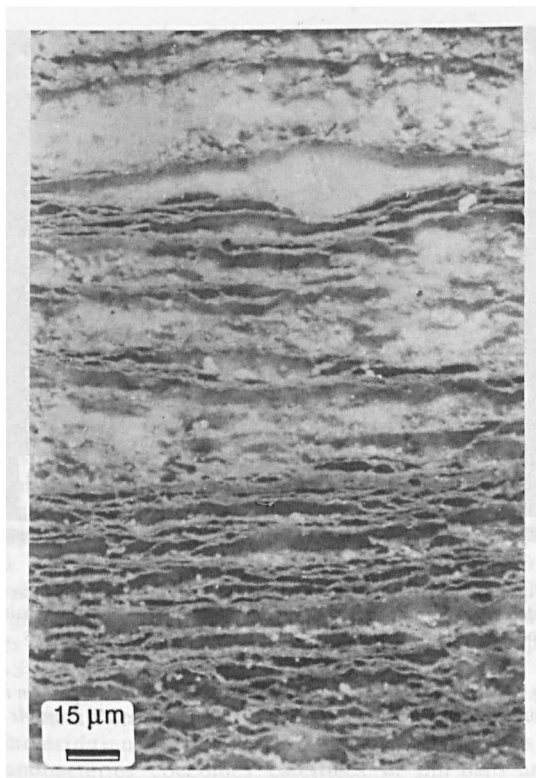


Fig. 3.— Echantillon traité de lamines parallèles. Les feuillettes organiques ressortent en relief. La base correspond à une lamine sombre (matière organique ou MO dominante), le sommet à une lamine claire (feuillettes organiques moins densément répartis).

Fig. 3.— Etched sample of parallel laminae. The thin, OM-made, seams stand out in relief. The lower half corresponds to a dark lamina (OM-seam dominated), the upper one to a light lamina (OM less densely stacked).

souvent organisés en coccosphères. Les lamines sombres montrent ces éléments, plus rares et englués dans une matrice de matière organique sous forme de gel.

Les échantillons traités à l'acide permettent de visualiser finement la disposition parallèle et faiblement anastomosée des feuillettes organiques (fig. 3). La disposition de l'affleurement par rapport à la galerie de mine permet de montrer l'extension latérale des lamines sur une distance kilométrique.

2) Les lamines ondulées, stromatolites plans

Ce faciès regroupe des lamines irrégulièrement ondulées, alternativement claires et sombres, dans l'ensemble parallèles au plan de stratification (fig. 4). Leur épaisseur est comparable à celle des lamines parallèles. Au microscope, ce faciès montre des lamines agencées de manière assez lâche, présentant des structures de types *bird's eyes* ou *fenestrae*, parfois à ciment géopète. Les lamines sombres sont le plus souvent faites de faisceaux de feuillettes extrêmement fins, alors que les lamines claires sont généralement plus épaisses et peuvent montrer occasionnellement des péloïdes. Ces derniers ont une forme ellipsoïdale et une taille comprise entre 50 et 200 µm (le plus souvent de 100 µm) ; ils sont constitués d'une micrite homogène. Au sein des lamines contenant des péloïdes, des vides subsphériques remplis de sparite ont une taille comparable à celle des péloïdes.

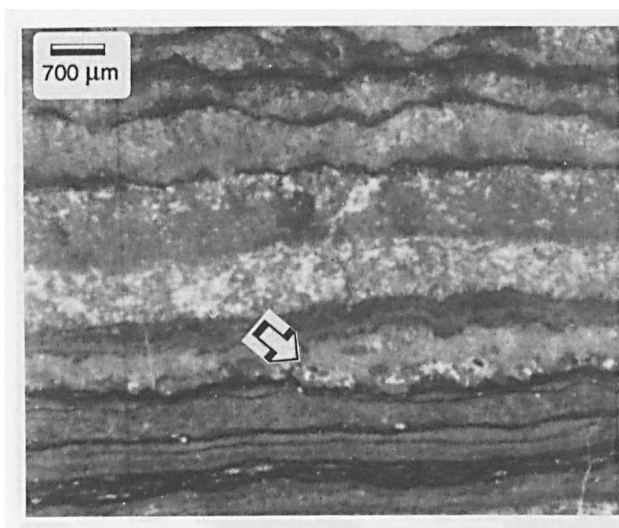


Fig.4.— Lamines ondulées typiques. Les flèches indiquent un horizon dans lequel des péloïdes sont visibles même en l'absence de traitement.

Fig.4.— Typical undulated laminae. The arrows indicate a level where peloids are visible from an untreated thin section.

Les échantillons traités à l'acide révèlent des péloïdes beaucoup plus nombreux qu'en montrent les échantillons bruts (A, B & C, fig. 5). Ils sont même si densément agglutinés qu'ils donnent l'impression d'un sédiment à texture carbonatée massive. L'observation au MEB des lamines riches en de tels péloïdes montrent à l'occasion des structures organiques identiques à celles interprétées par Kazmierczak *et al.* (1996) comme étant des restes des manchons mucilagineux ou capsules de cyanobactéries coccoïdes (fig. 6). Ces structures d'apparence spongieuse présentent des cavités de 1 à 2 µm, qui ont dû mouler des objets sphériques. Les échantillons traités mettent également en évidence la structure filamenteuse des feuillettes sombres des stromatolites. Ces structures ont un aspect en toiles d'araignée, surtout si elles sont observées en plan, ou d'éponge, surtout si elles sont vues en coupe (fig. 7).

Enfin, les coccolithes semblent être absents de ces faciès mais les observations au MEB montrent que le carbonate est sous forme de grains de micrite, équidimensionnels (1-5 µm). Cette micrite est la même, que les péloïdes soient visibles ou non. Les images du MEB illustrent la transition progressive entre les péloïdes et la matrice micritique encaissante (A, B & C, fig. 8).

IV. — INTERPRÉTATIONS

1) Lamines parallèles

Ce faciès semble résulter uniquement de phénomènes de décantation : des périodes d'épanouissement des coccolithophoridés ont conduit au dépôt des lamines claires, faites uniquement de coccolithes ; ces périodes ont alterné avec des épisodes d'accumulation de matière organique issue vraisemblablement de la biomasse d'algues phytoplanctoniques (incluant probablement de la matière organique issue des coccolithophoridés : Tribovillard *et al.*, 1992 ; Mongenot *et al.*, 1997). La continuité latérale remarquable des lamines atteste du calme qui régnait dans le gale.

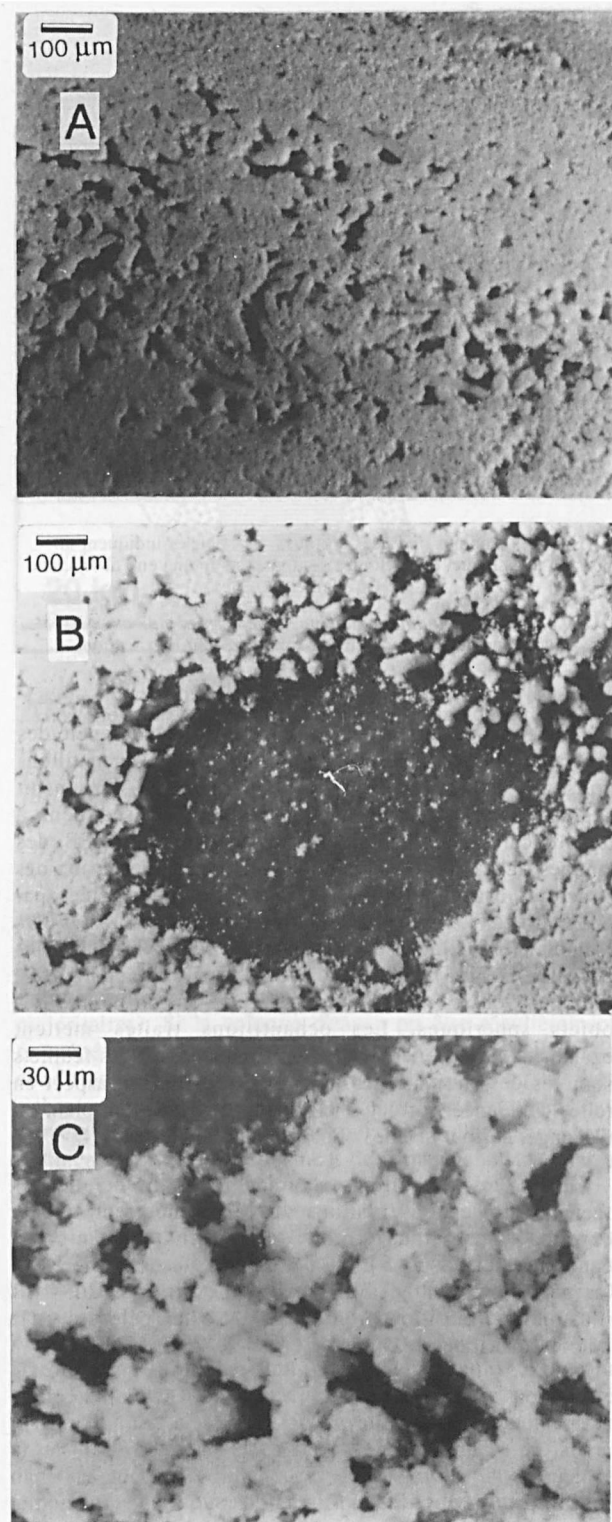


Fig. 5.— A - Les lamines d'apparence massive sont en réalité faites de péloïdes densément agglomérés, ainsi que le montre cet échantillon traité des lamines ondulées. B - L'assemblage compact des péloïdes ménage toutefois occasionnellement des vides recristallisés et remplis de sparite (échantillon traité). C - Vue rapprochée des péloïdes dans les lamines ondulées de couleur claire (échantillon traité).

Fig. 5.— A - The apparently massive, light coloured, laminae are in fact made of closely packed peloids, as evidenced from this etched sample of undulated laminae. B - The dense peloidal packing sometimes makes room for recrystallised, sparite-filled, voids (etched sample). C - Close view of the peloids from the light undulated laminae (etched sample).

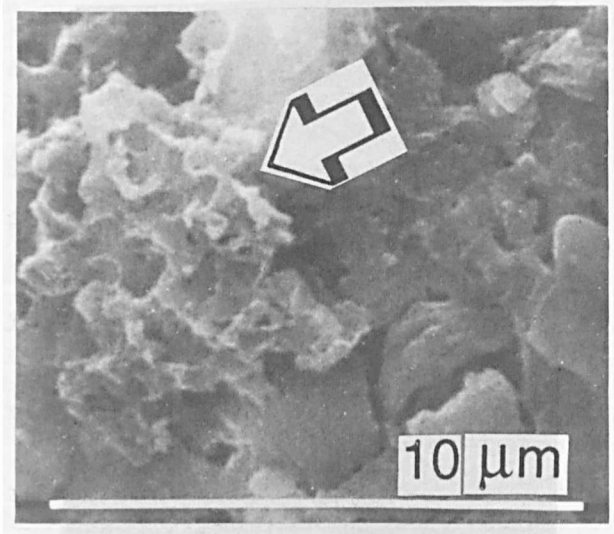


Fig. 6.— Observation au MEB d'un échantillon traité riche en péloïdes. Cette structure est interprétée comme un reste des capsules ou manchons mucilagineux des colonies de cyanobactéries coccoides.

Fig. 6.— SEM image of an etched peloidal sample. This pattern is interpreted as the remnants of common mucilage sheaths (capsule) of coccoid cyanobacteria.

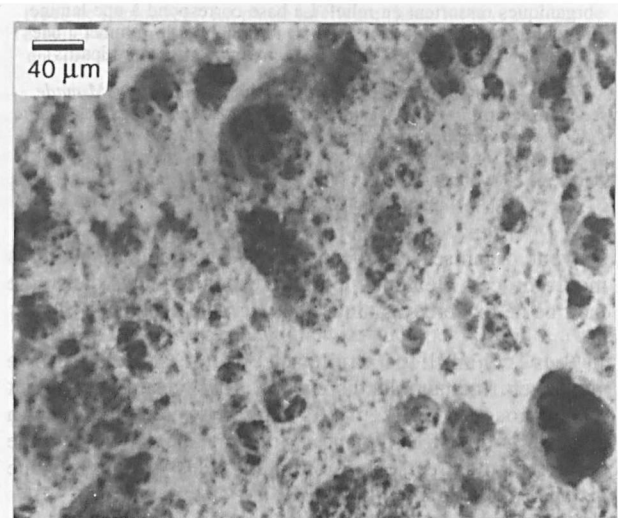


Fig. 7.— Lamine sombre des lamines ondulées, observée parallèlement au plan. Le réseau organique issu de l'activité cyanobactérienne est visualisé par l'attaque acide.

Fig. 7.— Dark-coloured lamina from the undulated laminae, observed in plane parallel section. Only the OM-made net of the filamentous bacteria is made visible by etching.

2) Lamines ondulées

Ce faciès semble peu ou pas concerné par les processus de décantation. Cette biolamination résultait de la croissance de films bactériens, en l'absence (ou quasi absence) de particules sédimentées (Tribovillard *et al.*, 1992).

- Les lamines sombres résultaient du développement de cyanobactéries filamenteuses. Plus fines que les lamines

claires, elles correspondent au type Lh ou lamines orientées horizontalement défini par Dahanayake et Krumbein (1985).

- A propos des lamines claires, un faisceau convergent d'observations souligne les similitudes nettes entre les lamines kimméridgiennes d'Orbagnoux et celles du Kimméridgien inférieur de Pologne centrale, étudiés par Kazmierczak *et al.* (1996). Dans les deux cas, des péloïdes d'une taille moyenne de 100 μm sont enracinés dans une matrice micritique, parfois localement recristallisée en sparite. Ces zones recristallisées ont la même dimension que celle des péloïdes ou une dimension supérieure. L'observation au MEB des échantillons traités montre que certaines structures peuvent correspondre à des restes de manchons ou capsules de colonies bactériennes. La transition progressive entre restes bactériens et matrice encaissante montre le type de relation entre les capsules et le matériel calcaire microcristallin. Les petites cavités de quelques micromètres de diamètre séparées par des parois aux formes floconneuses pourraient correspondre à des emplacements de cellules bactériennes individuelles. Enfin, la granulométrie des carbonates microcristallins est à peu près constante et la taille moyenne des grains est petite (1-5 μm).

Kazmierczak *et al.* (1996) ont comparé les calcaires kimméridgiens de Pologne avec des mattes de cyanobactéries coccoïdes calcifiées *in situ* dans un lac hyperalcalin, le lac Van (Turquie ; Kempe *et al.*, 1991). Les auteurs ont conclu que les péloïdes observés dans les calcaires kimméridgiens de Pologne résultaient de la calcification de capsules mucilagineuses enveloppant des groupes de cellules cyanobactériennes. Ces capsules sont d'ordinaire très résistantes vis-à-vis de la dégradation et peuvent relativement aisément être préservées *post mortem* (Kazmierczak et Krumbein, 1983 ; Gerdes et Krumbein, 1987).

Les observations faites sur les sédiments d'Orbagnoux conduisent à adopter la même interprétation pour les calcaires laminés du Kimméridgien du Jura. Autrement dit, les faciès de lamines ondulées résultaient de l'alternance d'épisodes de développement soit de cyanobactéries filamenteuses (lamines sombres, très fines), soit de cyanobactéries coccoïdes (lamines claires, plus épaisses, faites de péloïdes, parfois recristallisés en sparite). De telles alternances ne sont pas inhabituelles (lamines sombres Lh et lamines claires Lv de Dahanayake et Krumbein, 1985). En revanche, nous insistons ici sur l'abondance insoupçonnée des péloïdes (si aucun traitement ne les met en évidence) qui aboutit à la formation de lamines denses et en apparence homogènes.

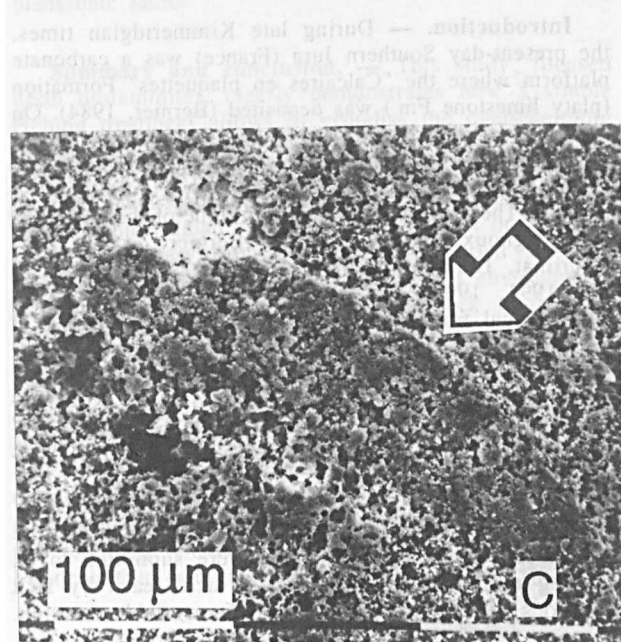
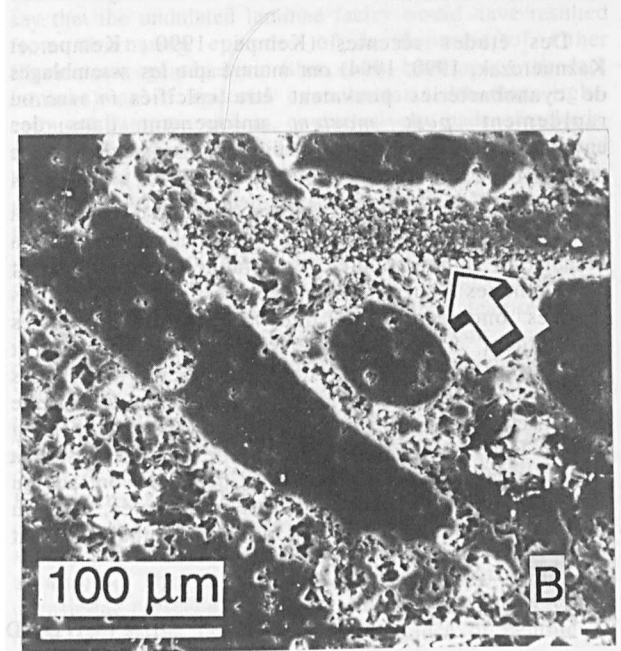
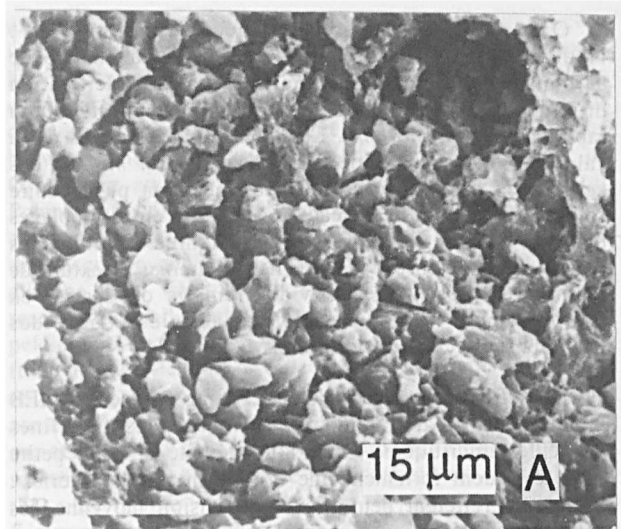


Fig. 8.— A - Observation au MEB de la micrite équidimensionnelle des lamines ondulées claires. Il est vraisemblable que l'activité cyanobactérienne soit à l'origine d'une telle micrite. B - Observation au MEB d'un échantillon traité de lamine ondulée claire. La flèche indique la transition entre un péloïde et la matrice micritique, qui suggère un lien génétique entre les deux. C - Observation au MEB d'un péloïde (flèche) à peine discernable de la micrite encaissante, reflétant peut-être ainsi une calcification intense et très précoce (échantillon traité).

Fig. 8.— SEM image of the equidimensional micrite of the light-coloured undulated laminae for which a bacterially-mediated origin is suspected. B - SEM image of an etched sample of light undulated laminae. The arrow points out the transition between a peloid and the matrix micrite, suggesting a genetical relationship between the two. C - SEM image of a peloid (arrow) hardly discernible from the surrounding micrite, perhaps reflecting intense, fast, calcification (etched sample of light undulated laminae).

On peut proposer le mécanisme suivant : l'individualisation des péloïdes au sein de la matrice de carbonate microcristallin serait due à la calcification différentielle des structures cyanobactériennes (*in vivo* ou rapidement *post mortem*). Les intensités respectives de la calcification *in vivo* et de la dégradation *post mortem* des cellules ou des mattes cyanobactériennes ont pu conduire soit à la formation de niveaux de péloïdes en assemblages denses, donnant l'impression de lamines compactes (calcification intense), soit à celle de lamines à texture de pelmicrite, présentant des vides remplis de sparite en remplacement de groupes de cellules coccoïdes décomposées (calcification moins intense).

Un autre trait caractéristique des images prises au MEB réside dans la granulométrie homogène des très fines particules micritiques. Cette homogénéité et cette petite taille évoquent fortement une origine liée aux bactéries : les grains reflètent peut-être la dimension moyenne des cellules bactériennes.

Des études récentes (Kempe, 1990 ; Kempe et Kazmierczak, 1990, 1994) ont montré que les assemblages de cyanobactéries pouvaient être calcifiés *in vivo* ou rapidement *post mortem* uniquement dans des environnements de très forte alcalinité (au sens de la somme des espèces chimiques $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} + \text{OH}^- + \dots$). Cet excès d'alcalinité, couplé à la présence sporadique d' H_2S dans la colonne d'eau (Tribovillard *et al.*, 1992), aurait provoqué la disparition momentanée des faunes benthiques et planctoniques : aucun organisme n'est visible dans les lamines ondulées, alors que les lamines parallèles contiennent une faune relativement abondante et diversifiée. En revanche, dans ce second faciès, les péloïdes n'ont pas pu être mis en évidence. Toutefois, la présence de cyanobactéries dans ce type de lamines ne peut être exclue *a priori*. Deux explications peuvent être avancées : soit la calcification était si intense que les péloïdes n'ont pas pu être individualisés dans la masse carbonatée, soit au contraire cette calcification n'a pas pu se produire, étant

limitée ou empêchée par une baisse d'alcalinité affectant la colonne d'eau ou les eaux interstitielles. Il n'est pas possible pour l'heure de trancher.

V. — CONCLUSION

Cette étude, focalisée sur la biolamination, illustre la façon dont un simple traitement à l'acide permet de mettre en évidence l'insoupçonnable abondance de péloïdes dans des faciès carbonatés, qui ne montrent qu'occasionnellement, et en très faibles quantités, de telles structures, en l'absence de traitement préalable.

Ces péloïdes sont interprétés comme le résultat de la calcification *in vivo* ou rapidement *post mortem* de capsules de colonies cyanobactériennes. Cette calcification a dû se produire dans un environnement de dépôt hyperalcalin (éventuellement épisodiquement envahi par des émanations d' H_2S), impropre à la survie ou à l'installation de toute autre forme de vie.

De tels environnements de lagune ou de plate-forme interne ne sont pas rares au Kimméridgien ou même lors du Jurassique supérieur du domaine téthysien. En outre, les faciès à péloïdes ou à pelotes (fécales ?) sont un trait commun des environnements de plates-formes internes, aux diverses époques géologiques. Le présent travail est une invitation à accorder plus d'attention à la présence trop discrète de péloïdes dans les environnements de plates-formes, même — ou surtout — en l'absence de telles structures sur l'échantillon ou la lame mince. Ceci est également valable pour les sédiments constitués de grains micritiques équidimensionnels de très petite taille, qui suggèrent une origine bactérienne. Cela revient à accorder toujours plus d'importance au rôle des bactéries dans la genèse des carbonates. Des études à venir devraient pouvoir nous dire si ce rôle n'a pas été exacerbé au Jurassique (supérieur ?), par rapport aux autres époques géologiques.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction. — During late Kimmeridgian times, the present-day Southern Jura (France) was a carbonate platform where the "Calcaires en plaquettes" Formation (platy limestone Fm.) was deposited (Bernier, 1984). On this platform, abundant organic matter (OM) accumulated as laminated limestones — called "Laminites bitumineuses" *i.e.* bituminous laminites — in a few individualised lagoons. The present study deals with one of these lagoons at Orbagnoux. Previous papers (Bernier *et al.*, 1991; Courtinat, 1989; Mongenot *et al.*, 1997; Tribovillard *et al.*, 1991, 1992) presented the sedimentological and geochemical framework of the depositional processes at Orbagnoux and discussed the abundance of OM in these sediments in terms of paleoenvironmental conditions. A recent paper by Kazmierczak *et al.* (1996) made us wonder whether the bacterial activity could not have left more abundant relics than suspected, in the form of carbonate constituents.

Methods. — Fifty samples were picked from the laminated facies. Many of them were submitted to an etching treatment consisting in an acid leach by HCl solutions of various concentrations for variable duration.

The samples were examined before and after etching with photonic and electronic microscopes and binocular glasses.

General features. — The carbonate content fluctuates between ca. 75 and 96%. The organic content is higher in the dark laminae than in the light ones. The values of the Hydrogen Index of the kerogens are always very high (755-966 mg hydrocarbons per g TOC). Elemental analyses performed on the isolated kerogens show that the organic sulphur is uncommonly abundant (12-17.6 wt% of the kerogens). The frequent presence of oxygen-demanding planktonic and benthic organisms, coupled with the results from a trace-element distribution study, allows to conclude that the water column must have remained (almost?) constantly oxic, whereas the underlying sediments were constantly bathed by anoxic, sulphidic, porewaters. The sharp chemocline was caused by the presence of bacterial biofilms acting as a barrier between the contrasted two environments.

Lithology. — Within the Laminites bitumineuses, the following two subfacies alternate.

1. — **Parallel laminae** are made of alternating, sub millimetre scale, more or less dark-coloured laminae. These parallel, continuous, individual layers are clustered into millimetre or centimetre scale laminae, which appear more or less dark depending on the dominant colour in individual layers. Various (micro-) organisms are present in the parallel laminae. In SEM, the light-coloured laminae appear as exclusively made of coccospheres and coccoliths. The dark-coloured laminae contain less frequent coccoliths and coccospheres, embedded within a matrix of structureless, gel-like, OM.

Acid etched samples allow to visualise clearly the distribution or arrangements of the thin organic seams, which stand out in relief. The organic laminae build an anastomosed mesh-like network. The layout of the mine gallery of Orbagnoux allowed us to compare the outcrop with the mine galleries: we were able to correlate bundles of laminae and sometimes even individual laminae over distance of ca. 1 km.

2. — **Undulated laminae** : This stromatolite facies comprises irregularly undulated, alternating light or dark-coloured, laminae, grossly parallel to the bedding plane. The thickness of these laminae is the same as the one of parallel laminae. In transmitted-light microscopy, this facies shows loosened laminae. Thin section observations show the alternation of dark laminae, consisting of bundles of very thin seams, and of light-coloured, thicker, carbonate laminae, occasionally disclosing peloidal bodies. These peloids have an ellipsoidal shape and an average size of 50-200 μm , most frequently ca. 100 μm . They are composed of and internally structureless micrite. Within the peloidal laminae, some subspherical voids are filled with sparite, their size corresponding to the one of the surrounding peloids. The etched samples evidence that the peloids are much more abundant than expected from untreated samples. Actually, they are closely packed and the stacking is so dense that it eventually mimics an homogeneous carbonate aspect. Within the peloid subfacies, SEM observations of etched samples show organic structures quite similar to those interpreted by Kazmierczak *et al.* (1996) as remnants of sheaths of pseudoparenchymatous coccoid bacteria common mucilage. These observed, spongy looking, structures show rounded pits 1-2 μm in size, which seem to have moulded globular objects. The etched samples also evidence the filamentous texture of the dark, irregular, seams of the dark laminae from the stromatolites. In the undulated laminae, SEM observations reveal that the carbonate is present as micrite grains, being almost equidimensional, their size is 1-5 μm .

Interpretation. — *Parallel laminae.* - This facies seems to derive mostly from settling mechanisms: periods of flourishing coccolithophorids led to the accumulation of light-coloured laminae, consisting of coccoliths exclusively. These periods were alternating with episodes of OM accumulation. This OM must have derived from planktonic algae. The exceptional quality of lamina-scale correlation testifies of the absolute calm of the depositional environment.

Undulated laminae. - These biolaminations must have resulted from self-burial processes, i.e. mat-by-mat overriding in relation with ecological changes possibly

affecting water salinity, light intensity, temperature, etc., in the absence of particle settling. The dark laminae must have resulted from the development of filamentous cyanobacteria. Concerning the light laminae, a body of convergent observations evidence striking similarities between the Kimmeridgian laminated limestones of Orbagnoux and Early Kimmeridgian ones from Central Poland, studied by Kazmierczak *et al.* (1996). These authors compared the Kimmeridgian limestones from Poland with the coccoid cyanobacteria mats recently discovered in the alkaline Lake Van (Turkey, Kempe *et al.*, 1991). Strong resemblance allowed the authors to conclude that the peloids, observed in the Kimmeridgian limestones, resulted from the calcification of outer mucilage sheaths (capsules) enveloping groups of cyanobacterial cells. These sheaths are usually most resistant to degradation and thus can be easier preserved *post mortem*. In turn, our observations are so strikingly similar to those by Kazmierczak *et al.* (1996) that the same interpretation is adopted for the Kimmeridgian limestones from the French Jura. That is to say that the undulated laminae facies would have resulted from alternating episodes of development of either filamentous cyanobacteria (thin, dark, biofilms of the dark laminae) or of coccoid cyanobacteria (thicker, light-coloured, laminae, rich in, or exclusively made of peloids, more or less recrystallised into sparite). What is stressed here is the unsuspected abundance of the peloids (when some easy treatment helps visualise them) that build up to form dense, homogeneous, laminae. It may be postulated that the distinct individualisation of the peloids within the microcrystalline carbonate is due to the rapid calcification of the bacterial structures. Another salient feature of the SEM images resides in the very smooth grain-size distribution of the small-dimensioned micrite particles (1-5 μm). This homogeneity, coupled with the small size of the grains, strongly suggests a bacterially mediated origin. The grains likely reflect the average dimension of bacterial cells. Recent studies (Kempe, 1990; Kempe and Kazmierczak, 1990, 1994) explained that the cyanobacterial assemblages could be calcified *in vivo* or shortly *post mortem* only in environments showing excess alkalinity. The excess alkalinity, together with the occasional presence of H_2S in the water column, would have caused the temporary disappearance of benthic or planktonic fauna.

Summary and conclusion. — This study, focused upon biolaminites, clearly demonstrates how a simple etching treatment allows to visualise the overwhelming presence of peloids in carbonate facies where pellet-like elements are only occasionally visible in untreated thin sections. Such lagoonal or shelfal facies are quite common in the Kimmeridgian or even Late Jurassic of the Tethyan realm sedimentary record. Peloid- and pellet-rich facies are also widespread all over the rimmed shelf environments through the geological record. This work is thus an invitation to pay more attention to the peloids in such environments, even (especially?) when they may not be suspected on the ground of sample or thin section observation. This is also true when a very smooth and small-dimensioned grain size supports a bacterial origin for the micrite. This comes down to give always more consideration to the role played by bacteria in the genesis of carbonate facies. Further studies should teach us whether this role may not have been more prominent during the Mesozoic than from the Cenozoic onward.

BIBLIOGRAPHIE

- BERNIER P. (1984). — Les formations carbonatées du Kimméridgien et du Portlandien dans le Jura méridional. Stratigraphie, micropaléontologie et sédimentologie. *Documents du Laboratoire de Géologie de Lyon*, 92, 790 p.
- 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*, 38, p. 127-136.
- COURTINAT B. (1989). — Les organoclastes des formations lithologiques du Malm dans le Jura méridional. Systématique, biostratigraphie and éléments d'interprétation paléocéologique. *Documents du Laboratoire de Géologie de Lyon*, 105, 542 p.
- DROMART G. (1987). — Deposition of upper Jurassic fine-grained limestones in the western Subalpine Basin, France. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 69, p. 23-43.
- ESPITALIÉ J., DEROG G. & MARQUIS F. (1985). — La Pyrolyse Rock-Eval et ses applications. Part I. *Revue de l'Institut Français du Pétrole*, 40, p. 563-579.
- GERDES G. & KRUMBEIN W.E. (1987). — *Biolaminated facies*. Lecture Notes in Earth Sciences, 9, Springer-Verlag, Berlin.
- GERDES G., KRUMBEIN W.E. & REINECK H.-E. (1991). — Biolaminations - Ecological versus depositional dynamics. In : *Cycles and events in stratigraphy* (G. Einsele, W. Ricken & A. Seilacher, eds.), p. 592-607. Springer-Verlag, Berlin.
- GUBLER Y. & LOUIS M. (1956). — Etude d'un certain milieu du Kimméridgien bitumineux de l'est de la France. *Revue de l'Institut Français du Pétrole*, 11, p. 1536-1543.
- DAHANAYAKE K. & KRUMBEIN W.E. (1985). — Ultrastructure of microbial mat-generated phosphorite. *Mineralia Deposita*, 20, p. 260-265.
- KAZMIERCZAK J. & KRUMBEIN W.E. (1983). — Identification of calcified cyanobacteria forming stromatoporoid stromatolites. *Lethaia*, 16, 207-213.
- KAZMIERCZAK J., COLEMAN M.L. GRUSZCZYNSKI M. & KEMPE S. (1996). — Cyanobacterial key to the genesis of micritic and peloidal limestones in ancient seas. *Acta Palaeontologica Polonica*, 41(4), p. 319-338.
- KEMPE S. & KAZMIERCZAK J. (1990). — Calcium carbonate supersaturation and the formation of in situ calcified stromatolites. In: *Facets of modern biogeochemistry* (Ittekkot, V., Kempe S., Michaelis, W. & Spitz, A., eds.) . p. 225-278. Springer, Berlin.
- KEMPE S. & KAZMIERCZAK J. (1994). — The role of alkalinity in the evolution of ocean chemistry, organization of living systems and biocalcification processes. In: *Past and present biomineralisation processes. Considerations about carbonate cycle* (Dumenge F., ed.). *Bulletin de l'Institut Océanographique de Monaco*, spec. Publ., 13, p. 61-117.
- KEMPE S. (1990). — Alkalinity: the link between anaerobic basins and shallow water carbonates? *Naturwissenschaften*, 77, p. 426-427.
- KEMPE S., KAZMIERCZAK J., KONUK T., LANDMANN G., REIMER A. & LIPP A. (1991). — Largest known microbialites discovered in Lake Van, Turkey. *Nature*, 394, p. 605-608.
- MONGENOT Th., BOUSSAFIR M., DERENNE S., LALLIER-VERGES E., LARGEAU Cl. & TRIBOVILLARD N.-P. (1997). — Sulphur-rich organic matter from Bituminous Laminites of Orbagnoux (France, upper Kimmeridgian) - the role of early vulcanization. *Bulletin de la Société géologique de France*, 168 (3), p. 331-341.
- TRIBOVILLARD N.-P., GORIN G., BELIN S., HOPFGARTNER G. & PICHON R. (1992). — Organic-rich biolaminated facies from a Kimmeridgian lagoonal environment in French Southern Jura Mountains - A way of estimating accumulation rate variations. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 99, p. 163-177.
- TRIBOVILLARD N.-P., GORIN G., HOPFGARTNER G., MANIVIT H. & BERNIER P. (1991). — Conditions de dépôt et matière organique en milieu lagunaire d'âge kimmeridgien du Jura méridional français (résultats préliminaires). *Eclogae geologicae Helvetiae*, 84(2), p. 441-461.

Sont en vente au Siège de la Société :

MÉMOIRES (*)

Tome I	n° 1. — Ch. BARROIS, <i>Recherches sur le terrain crétaé de l'Angleterre et de l'Irlande</i> , 1876, 232 p.....	336,00 F
	n° 2. — P. FRAZER, <i>Géologie de la partie Sud-Est de la Pennsylvanie</i> , 1882, 178 p.....	252,00 F
	n° 3. — R. ZEILLER, <i>Mémoire sur la flore houillère des Asturies</i> , 1882, 24 p.....	36,00 F
Tome IV	n° 1. — J. GOSSELET, <i>Etudes sur les variations du Spirifer Vermeuilli</i> , 1894, 63 p., 7 pl.....	90,00 F
Tome VI	n° 1. — P. BERTRAND, <i>Etude du stipe de l'Adelophyton jutieri</i> , B. Renault, 1907, 38 p., 4 pl.....	85,00 F
	n°2. — J. GOSSELET <i>et al.</i> , <i>Faune siluro-dévonienne de Liévin</i> , 1912-1920. Fasc. 2.....	336,00 F
	n°3. — V.COMMONT, <i>Saint-Acheul et Montières : Notes de Géologie, de Paléontologie et de Préhistoire</i> , 1909, 68 p., 3 pl.....	156,00 F
Tome VII	n°1. — P. BERTRAND, <i>Etude des Stipes d'Asterochloena laxa</i> , Stenzel, 1911, 72 p., 6 pl.....	102,00 F
Tome VIII	n° 2. — Ed. LEROUX, <i>Le tunnel de l'Avè Maria</i> , 1929, 50 p., 5 pl.....	120,00 F
Tome IX	n°1. — G. DUBAR, <i>Etude sur le Lias des Pyrénées françaises</i> , 1925, 332 p., 7 pl.....	432,00 F
	n°2. — G. FOURNIER <i>et al.</i> , <i>Poissons élasombranches de Dénéé</i> , 1926, 23 p., 6 pl.....	96,00 F
Tome X	n° 2. — J. LAVERDIERE, <i>Terrains paléozoïques des Pyrénées occidentales</i> , 1931, 132 p., 8 pl.....	180,00 F
Tome XII	— D. LEMAITRE, <i>Faune des calcaires dévoniens du Bassin d'Anceis</i> , 1934, 268 p., 18 pl.....	336,00 F
Tome XIII	— P. BRICHE <i>et al.</i> , <i>Flore infraliasique du Boulonnais</i> , 1963, 145 p., 11 pl.....	252,00 F
Tome XIV	— G. WATERLOT, <i>Les Gigantostrocés du Siluro-Dévonien de Liévin</i> , 1966, 23 p., 5 pl.....	84,00 F
Tome XV	— J. MANIA, <i>Gestion des Systèmes aquifères. Applications au Nord de la France</i> , 1978, 228 p.....	180,00 F
Tome XVI	— A. BOUROZ <i>et al.</i> , <i>Essai de synthèse des données acquises dans la gènèse et l'évolution des marqueurs pétrographiques dans les bassins houillers</i> , 1983, 118 p., 10 pl.....	250,00 F

PUBLICATIONS (*)

Publication N° 1. — J. CHOROWICZ, <i>Etude géologique des Dinarides le long de la transversale Split-Karlovac (Yougoslavie)</i>	130,00 F
Publication N° 2. — J. CHARVET, <i>Essai sur un orogène alpin : Géologie des Dinarides au niveau de la transversale de Saravejo (Yougoslavie)</i>	150,00 F
Publication N° 3. — J. ANGELIER, <i>Néotectonique de l'arc égéen</i>	140,00 F
Publication N° 4. — J.J. FLEURY, <i>Les zones de Gavrovo-Tripolitza et du Pinde-Olonos (Grèce continentale et Péloponnèse du Nord). Evolution d'une plate-forme et d'un bassin dans leur cadre alpin</i>	175,00 F
Publication N° 5. — M. COUSIN, <i>Les rapports Alpes-Dinarides. Les confins de l'Italie et de la Yougoslavie</i>	175,00 F
Publication N° 6. — F. THIEBAULT, <i>L'évolution géodynamique des Héliénides externes en Péloponnèse méridional</i>	185,00 F
Publication N° 7. — P. DEWEVER, <i>Radiolaires du Trias et du Lias de la Téthys</i>	180,00 F
Publication N° 8. — J. FERRIERE, <i>Paléogéographie et tectoniques superposées dans les Héliénides internes : les massifs de l'Othrys et du Pélion (Grèce continentale)</i>	185,00 F
Publication N° 9. — H. MAILLOT, <i>Les Paléoenvironnements de l'Atlantique sud : Apport de la géochimie sédimentaire</i>	130,00 F
Publication N° 10. — Cl. BROUSMICHE, <i>Les Fougères sphénoptériennes du Bassin Houllier Sarro-Lorrain</i>	200,00 F
Publication N° 11. — B. MISTIAEN, <i>Phénomènes récifaux dans le Dévonien d'Afghanistan (Montagnes Centrales). Analyse et systématique des Stromatopores</i>	200,00 F
Publication N° 12. — T. HOLTZAPFFEL, <i>Les minéraux argileux. Préparation, analyses diffractométriques et détermination</i>	T.T.C. 90,00 F
Publication N° 13. — J.L. MANSY, <i>Géologie de la Chaîne d'Ormineca des Rocheuses aux plateaux intérieurs (Cordillère Canadienne). Evolution depuis le Précambrien</i>	200,00 F
Publication N° 14. — C. BECK, <i>Géologie de la Chaîne Caraïbe au méridien de Caracas (Venezuela)</i>	125,00 F
Publication N° 15. — J.M. DEGARDIN, <i>Le Silurien des Pyrénées : Biostratigraphie, Paléogéographie</i>	125,00 F
Publication N° 16. — J. SIGAL, <i>Les recherches sur les Foraminifères fossiles en France des environs de 1930 à l'immédiat après-guerre</i>	T.T.C. 100,00 F
Publication N° 17. — F. DELAY, <i>Etude et cartographie géologiques du Massif pyrénéen de l'Agly (Fasc. 1 : Evolution tectono-métamorphique ; Fasc. 2 : Traitement informatique des microanalyses chimiques ; Fasc. 3 : Carte géol. en couleurs 1/25000 Massif Agly)</i>	T.T.C. (les 3 fasc.) 360,00 F
Publication N° 18. — A. KHATIR, <i>Structuration et déformation progressive au front de l'allochtone ardennais (Nord de la France)</i>	T.T.C. 150,00 F
Publication N° 19. — C. LAMOUROUX, <i>Les mylonites des Pyrénées. Classification. Mode de formation. Evolution</i>	150,00 F
Publication N° 20. — G. MAVRIKAS, <i>Evolution Crétacé-Eocène d'une plate-forme carbonatée des Héliénides externes. La plate-forme des Ori Valtou (Massif du Gavrovo), Zone de Gavrovo-Tripolitza (Grèce continentale)</i>	150,00 F
Publication N° 21. — P. BRACQ, <i>Effet d'échelle sur le comportement hydrodynamique et hydrodispersif de l'aquifère crayeux, apport de l'analyse morphostructurale</i>	150,00 F
Publication N° 22. — N. FAGEL, <i>Flux argileux du Néogène au Quaternaire dans l'Océan Indien Nord, mise en évidence et interprétation</i>	150,00 F
Publication N° 23. — G. BUSSON <i>et A. CORNÉE</i> , <i>L'événement océanique anoxique du Cénomanién supérieur-terminal</i>	125,00 F
Publication N° 24. — B. LOUCHE, <i>Limites littorales de la nappe de la Craie dans la région Nord Pas-de Calais. Relations eaux souterraines-eaux superficielles-mer</i>	150,00 F
Publication N° 25. — J. G. BREHERET, <i>L'Apvien et l'Albien de la fosse vocontienne (des bordures au bassin). Evolution de la sédimentation et enseignements sur les événements anoxiques</i>	300,00 F

Les membres abonnés bénéficient d'une réduction de 20% sur un exemplaire de chacune de ces publications.
 Les prix sont augmentés des frais de port et d'emballage quand les volumes ne sont pas pris directement au dépôt.
 (*) Tous les prix sont indiqués hors taxe, sauf indication contraire (T.T.C.).

SOMMAIRE

Tome 6 (2^me série), Fascicule 1

parution 1998

	pages
Yves PLUSQUELLEC. — Pleurodictyidae de l'Emsien Supérieur des monts d'Ougarta (Algérie)	5
Erick CARLIER. — Synthèse sur les modèles décrivant les mécanismes physico-chimiques de propagation de polluants en nappes souterraines.....	25
Erick CARLIER, Paul CAULIER, Arnold CAUTERMAN, Benoît GALLIOT et Francis MEILLIEZ. — Le champ captant de Salomé (Nord): Modélisation numérique et scénario de protection.....	31
Nicolas TRIBOVILLARD. — Mise en évidence de péloïdes d'origine cyanobactérienne dans des sédiments carbonatés laminés riches en matière organique du Kimméridgien du Jura.....	35

© 1998 Société Géologique du Nord Editeur, Lille

Toute reproduction, même partielle, de cet ouvrage est interdite. Une copie ou reproduction par quelque procédé que ce soit, photographie, microfilm, bande magnétique, disque ou autre, constitue une contrefaçon passible des peines prévues par la loi du 11 mars 1957 sur la protection des droits d'auteurs.

Imprimé en France (Printed in France)