

LES STYLOLITES. ORIGINES POSSIBLES

par Jean J. BLANC

SOMMAIRE

Exposé des principales théories concernant l'origine des stylolites. Le problème des sédiments meubles et consolidés. L'importance des gradients de pression facilitant la mise en solution du sédiment. Revue des principales figures de joints stylolitiques.

La pluralité des phénomènes possibles souligne cependant un facteur constant : le rôle de la pression. Les recherches océanographiques récentes confirment ce point de vue.

Les stylolites se rencontrent principalement au sein des roches calcaires solubles dans les solutions acides. Quelques cas particuliers ont été observés dans des roches à trames siliceuses (certains grès et quartzites). Dans tous les cas, la roche est homogène, à peu près dépourvue d'impuretés.

Les sutures sont rugueuses, particulièrement dentelées, de faible amplitude (quelques m/m à quelques c/m) - ressemblant alors à des sutures crâniennes - ou montrant des aiguilles longues imbriquées et striées à la façon de minces tenons.

Plusieurs théories ont été envisagées pour expliquer la formation des stylolites.

I°/ "SOLUTION - PRESSURE THEORY" de STOCKDALE

Dès 1922, STOCKDALE pensait que les stylolites résultaient de corrosions dues à des solutions, dans les roches consolidées, sous l'action de la pression. Des actions différentielles expliqueraient alors les multiples irrégularités des surfaces de contact.

II°/ "CONTRACTION - PRESSURE THEORY" de SHAUB

SHAUB (1939) présenta un certain nombre d'objections à l'opinion précitée. Pour cet auteur les stylolites résulteraient bien de dissolutions internes - mais, ces dernières se seraient exercées au sein d'un sédiment *non consolidé* (vases calcaires plus particulièrement). Les stylolites seraient le résultat de dissolutions, en substrats meubles, sous l'action de contractions et pressions différentielles.

Il apparut assez vite que ces deux théories ne pouvaient être acceptées ou refu-

tées d'une manière globale. En fait, ces opinions paraissent comporter une part de vérité. Les figures correspondant aux stylolites pouvant, "à-priori", avoir plusieurs origines possibles.

III°/ MODALITES CONCERNANT LA FORMATION DES STYLOLITES

On pouvait également envisager l'origine secondaire possible de telles formations, pénécotemporaines de la sédimentation. Par ailleurs il paraît intéressant d'établir si des niveaux calcaires à stylolites se répartissent au hasard ou s'ils occupent une position singulière dans les séquences.

Pour STOCKDALE, la position des joints à stylolites apparaît d'une façon quelconque dans les horizons d'une série calcaire. En Provence, pour les horizons calcaires d'origine péri-récifale ou pélagique, les niveaux à stylolites paraissent localisés à tous les bancs, mais des *maximas* ont été observés à la partie supérieure des séquences (Urgonien supérieur, Portlandien supérieur). Une étude statistique portant sur les fréquences des joints à stylolites - en fonction de la puissance d'une série, apparaît nécessaire afin d'éclaircir cette localisation éventuelle. On choisira une série puissante, homogène, très peu déformée par les actions tectoniques.

Les auteurs américains (TARR, 1938 ; LOGAN, 1863 et TREFETHEN, 1947) soulignent les relations observées entre la position des joints stylolitiques et la présence de cherts. Dans la plupart des cas, les stylolites pénètrent dans les nodules siliceux. Ces derniers sont toujours entamés à partir de leur surface supérieure, du haut vers le bas et, bien entendu, postérieurement à la formation des cherts.

Plusieurs stylolites peuvent se recouper au sein d'un même nodule. De telles figures apparaissent donc franchement postérieures à la sédimentation - sinon à la consolidation résultant de la diagénèse des cherts.

SCHROCK (1948) observe que les bissectrices des angles correspondant aux zigzags des stylolites et les axes des aiguilles ("columns" des auteurs de langue anglaise), sont toujours orientés verticalement. Lorsque le banc est horizontal, il en est de même pour le joint stylolitique. (cf. fig. 1) (SCHROCK, p. 241). La formation de ce dernier peut être pénécotemporaine ou postérieure à la sédimentation. Il est fréquent d'observer des modalités concernant cette disposition initiale :

1°) La strate a un pendage : les axes et bissectrices des joints stylolitiques demeurent verticaux mais ils ne seront plus perpendiculaires au litage des bancs (fig. 2). Pour ce cas, on peut admettre que la formation du front de stylolite est non seulement postérieure à la sédimentation, mais encore à la déformation des strates.

2°) La strate a un pendage *original* (stratification entrecroisée, lentille récifale, etc...).

Les joints stylolitiques peuvent être :

a/ franchement postérieurs à la sédimentation :

Cela nous ramène à une figure équivalente au cas précédent (certaines zones péri-récifales de l'Urgonien de Port-Miou, près de Cassis).

b/ pénécotemporains de la sédimentation :

Le front stylolitique reste solidaire aux joints et présente la même inclinaison que ces derniers - les axes des aiguilles de corrosion demeurant verticaux -. (fig. 3) (cf. SCHROCK, 1948 ; p. 241).

3°) Le joint stylolitique étant pénécotemporain ou postérieur à la sédimentation, la strate est déformée par les actions tectoniques. Un tel cas s'observe assez fréquemment en Provence (Valanginien du massif d'Allauch). (fig. 4 ; SCHROCK, p. 211).

Il m'est arrivé d'observer les combinaisons suivantes :

a/ Type initial recoupé obliquement (parfois verticalement) par un front stylolitique paraissant en rapport avec un gradient de pression. De telles figures ont toujours été observées dans des zones broyées où les contraintes dues aux actions tec-

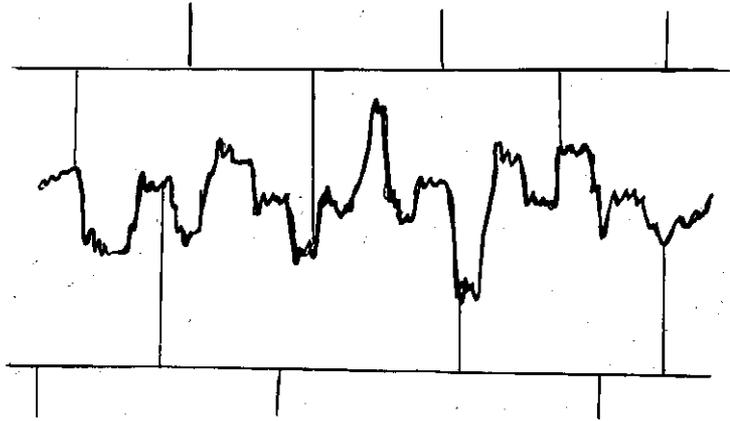


fig. 1.

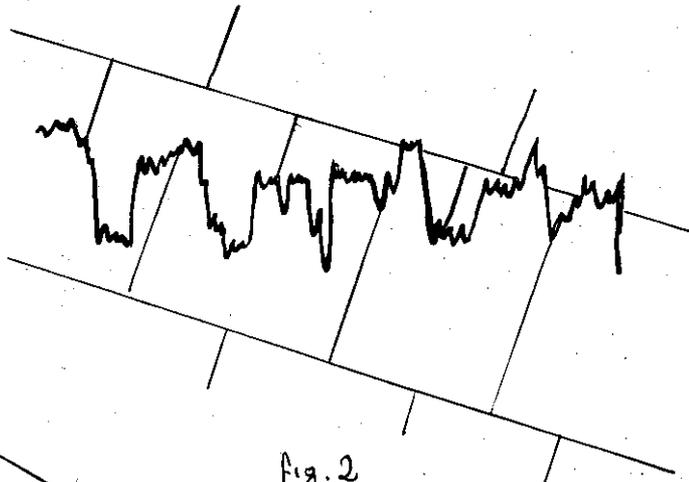


fig. 2

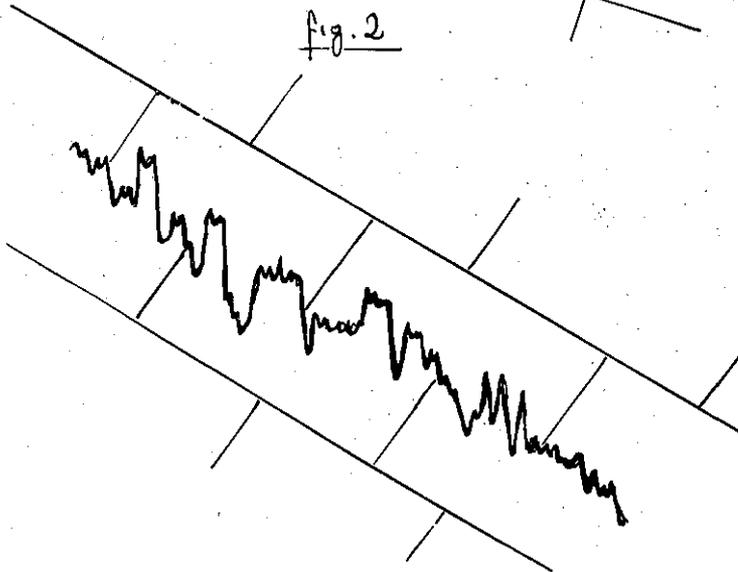


fig. 3

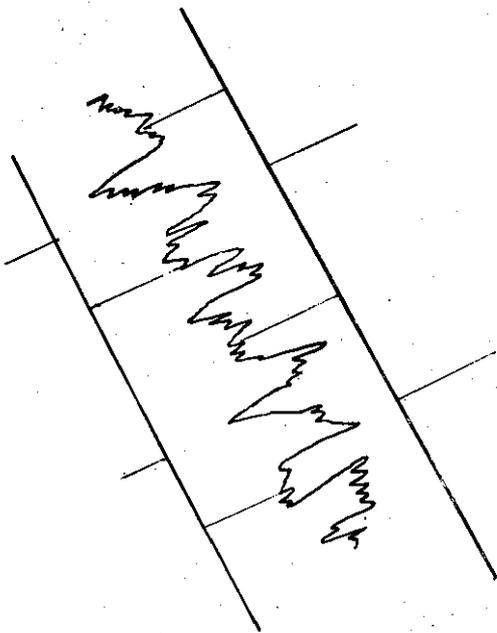


fig. 4

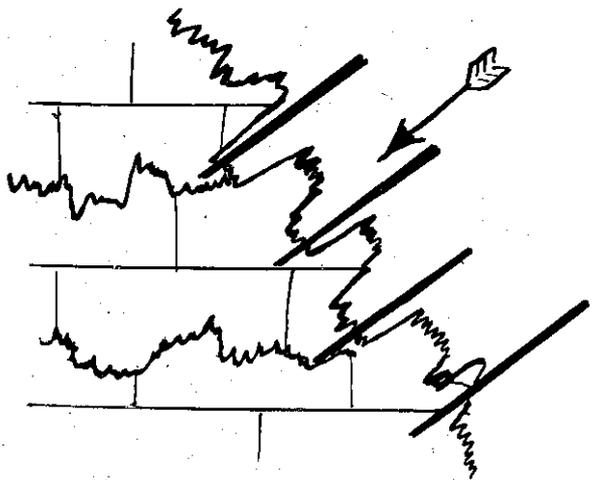


fig. 5

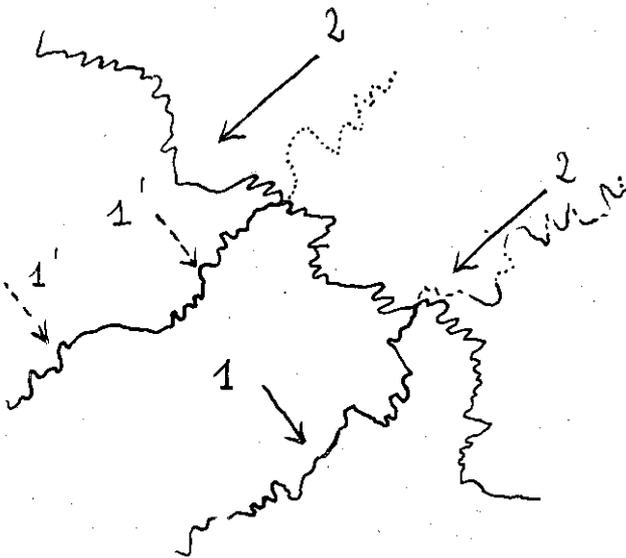


fig. 6

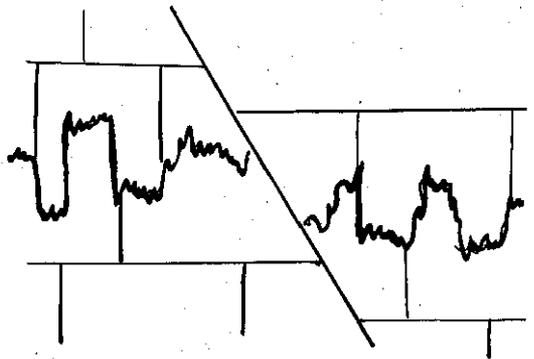


fig. 7

toniques sont orientées et recouper les dispositions initiales : joints-stylolites. Les dissolutions et corrosions issues de solutions acides se trouveraient - postérieurement à la diagénèse - orientées préférentiellement dans le sens *moyen* de l'effort auquel se trouve soumis le matériau. (fig. 5).

La direction *moyenne* des pressions serait alors parallèle aux axes et bissectrices du joint stylolitique "croiseur" postérieur aux stylolites "croisés". (Ex. Calcaires bordure S du Massif d'Allauch).

b/ Une formation initiale, à joints stylolitiques ou non, est soumise, postérieurement à la diagénèse, à un gradient de pression issu d'une déformation tectonique. Le matériau précontraint sera déformé et les solutions corrosives vont cheminer le long des joints stylolitiques commandées par la direction moyenne des pressions, (fig. 6 : joints 1 et 1') effaçant *totalemment* la structure initiale (carbonates mis en solution et redéposés).

Par la suite, une nouvelle déformation tectonique conditionnera le front stylolitique n° 2 (fig. 6) qui recoupera les joints 1 et 1' en effaçant leur tracé, pour les zones où le calcaire est remis en solution.

L'examen détaillé des joints stylolitiques aberrants peut mettre en évidence la direction des contraintes affectant les strates calcaires. Il demeure possible d'individualiser plusieurs phases de mise en tension du matériau et d'indiquer leur *ordre* relatif. Cependant il faut tenir compte que les observations portent sur des phénomènes *moyens*, encore très mal déterminés et à une échelle strictement localisée. Le contrôle de phases tectoniques éventuelles demeure sous la dépendance de facteurs d'un ordre et d'une échelle différents (failles radiales, plis couchés à grands rayons de courbure, chevauchements, etc...). En sédimentologie comme en analyse séquentielle fine, il ne faut point perdre de vue cette hiérarchisation naturelle des phénomènes ; on ne saurait passer logiquement de l'un à l'autre malgré certaines similitudes.

c/ Certains joints stylolitiques sont décalés par des micro-cassures (micro-failles). D'autres fois, ils recouvrent au contraire les micro-accidents. Il s'agit alors, en général, de stylolites en rapport avec les directions de pressions - mais, il ne semble pas exister de règles absolues.

IV° / TRAVAUX RECENTS

Dans son traité sur les séries géologiques marines, A. LOMBARD (1956) considère les stylolites comme le résultat de compressions exercées dans les roches. "Ces efforts sont accompagnés de dissolution et de circulation d'eau le long de surfaces internes déterminées" (p. 349). Les joints stylolitiques, en effet, portent sous forme de "films" pelliculaires les résidus insolubles de ces actions de dissolutions : traces d'argiles colorées par les oxydes de fer ou l'hydrotroïlite et soulignent le tracé des sutures.

Il est possible, sans que cela soit certain, que le plan où s'exerce la dissolution soit représenté par l'interface eau-vase, comme le pense PROKOPOVICH (1952). Nous verrons par la suite qu'il y a lieu de discuter ce point de vue.

Quels que soient les modes de formation des stylolites, ces derniers recouper des éléments durs à l'origine - ou durcis par la diagénèse : oolites, pseudoolites, parfois nodules, galets et fossiles.

En 1952, PROKOPOVICH reprend, en partie, les idées de SHAUB : les stylolites résulteraient d'une mise en solution du calcaire le long de la surface eau-vase ou dans le sédiment non encore consolidé. Un rôle majeur doit être attribué à la teneur en CO² et au pH de l'eau contre le fond.

Les auteurs sont à peu près d'accord en ce qui concerne le rôle de la pression (STOCKDALE, DUNNINGTON, 1954). Cette dernière aurait pour effet d'accélérer la mise en solution du sédiment (généralement : vase calcaire). Les joints stylolitiques seraient

le résultat de dissolutions différentielles, sous l'action de la pression. Pour STOCKDALE, le tracé des stylolites serait en rapport, au départ, avec des secteurs de solubilités différentes - d'où l'obtention d'une surface ondulée (micro-joint). La pression serait alors plus importante à l'aplomb des crêtes, tandis que les flancs de ces ondulations ne seraient soumis qu'à des composantes obliques de ces pressions. Les contraintes, initialement réparties suivant cette disposition, s'accroîtraient au fur et à mesure que se poursuit la dissolution. Les aiguilles des joints stylolitiques arrivent alors à se creuser davantage ; des fronts de dissolutions se succèdent dans le sédiment et peuvent même arriver à se rattraper.

La présence de nombreux joints stylolitiques dans une formation calcaire traduit un milieu chimique particulier, caractérisé par la mise en solution du sédiment au fur et à mesure de son dépôt (floculation des vases calcaires) ou postérieurement à ce dernier. On peut estimer ainsi d'importantes quantités de calcaire déplacé, mis en solution puis précipité - au gré des fluctuations physico-chimiques (réserve alcaline de l'eau interstitielle du sédiment, pH et, probablement, eH). La durée et les modalités exactes du phénomène demeurent inconnues.

STOCKDALE (1926) estime que certains calcaires à stylolites présentent de ce fait une réduction d'environ 40 % de leur puissance initiale.

Il importe de tenir compte de la compaction du matériau due à la diagenèse (consolidation) dans ces estimations. Or, on ignore encore souvent le mode exact de remise en solution du carbonate de Ca, car le sédiment peut se trouver consolidé au moment du phénomène ou demeurer meuble.

Pour DUNNINGTON (1), le long des joints stylolitiques, la mise en solution du carbonate est concomitante avec sa précipitation, ailleurs, au sein de la roche. Le cheminement du carbonate déplacé serait, à une plus large échelle, une application du principe de RIECKE : mise en solution aux points où s'exercent les plus fortes pressions et, simultanément, précipitation aux points où règnent les pressions les plus faibles. (Exemples : explication possible de la formation des galets "impressionnés", cimentation des grès (HEALD ; 1953).

Par ailleurs, les travaux de DUNNINGTON mettent l'accent sur plusieurs faits :

1°/ La présence des stylolites peut faciliter le déplacement des fluides au sein de la masse rocheuse ; d'où l'importance de ces figures dans la migration de l'huile, son accumulation et la productivité d'un magasin. Les champs pétrolifères du Nord de l'Irak correspondent à des calcaires imperméables compacts, à Globigérines. Les micro-stylolites y permettent le passage de l'huile ; ils recoupent des fossiles et des oolites en demeurant postérieurs à d'autres phénomènes secondaires tels que fractures, zones bréchiques, veines calcitiques, plages recristallisées ou dolomitisées. (DUNNINGTON, 1954). Les très belles photographies publiées par DUNNINGTON ("Stylolite development post-dates rock induration" J. of sed. petr. 1954, vol. 24, n° 1 ; pp. 27-49) mettent en évidence les faits suivants :

- décalages de stylolites par microfailles, avec, en certains cas, des "rattrappages" secondaires. Des sections obliques à travers les colonnes stylolitiques se traduisent par de petites pinacles en "clé de voûte" ("keystone offset") (pl. I ; p. 29).

- veines calcitiques secondaires déplacées de part et d'autre part du front stylolitique marquant la progression de la dissolution. Les décalages peuvent parfois être importants (fig. 1 à 5 ; pl. II ; p. 39).

- fossiles, microfossiles (Foraminifères) recoupés et détruits par la progression des fronts stylolitiques (pl. III ; fig. 1 à 4, p. 40)

- stylolites recoupant obliquement le litage dû à la stratification et mettant en contact des formations différentes au point de vue lithologique (pl. IV ; fig. 4, p. 42).

(1) DUNNINGTON (H.V.) ; 1954 : Stylolite development post-dates rock induration. Journ. of Sed. Petrol. ; vol. 24 ; n° 1 ; pp. 27 - 49.

2°/ Une laborieuse étude statistique, portant sur de très nombreuses sections et carottes d'âges divers (Carbonifère à Miocène) a donné à DUNNINGTON les résultats suivants :

- a) Toutes les figures examinées peuvent être le résultat de la dissolution de roches compactes et dures.
- b) 79,3 % de ces figures sont compatibles avec une dissolution de la roche *antérieure* à son induration - mais en deçà du plan de sédimentation (interface eau-sédiment).
- c) 20,2 % des stylolites examinées paraissent relever des mécanismes de dissolution sous l'effet de compactions et de pressions.

Cette pluralité d'origines rend difficile toute interpénétration systématique du problème des stylolites.

3°/ Les actions de dissolution, au sein du sédiment, seraient dues au CO_2 en solution dans l'eau intersticielle, au cours d'une phase de non-saturation en CO_3Ca . Une telle explication peut être retenue dans le cas des sédiments non encore consolidés. L'hypothèse sera plus hasardeuse en ce qui concerne les roches consolidées ayant déjà été l'objet d'une diagénèse poussée. Mais alors, on peut concevoir, à la lumière du principe de RIECKE, que les stylolites seraient la conséquence de sursaturations locales favorisées par des zones en tensions à l'état solide.

DUNNINGTON souligne le fait que les joints stylolitiques pullulent dans les faciès calcaires compacts, lithographiques ou sub. lithographiques. Cela confirmerait que la précipitation du calcaire en excès - préalablement mis en solution lors de la formation des joints stylolitiques - s'effectuerait *in situ*, au sein du calcaire. La progression des fronts de stylolites continuerait à se manifester jusqu'à la disparition de la porosité initiale du matériau. Mais, alors, comment expliquer l'abondance - tout aussi manifeste - des joints stylolitiques dans les calcarénites et les calcaires à débris des fins de séquence ? (Portlandien sup. Barrémien sup. en Provence). De même, Cf. in CAROZZI, 1960.

V°/ STYLOLITES DANS LES SEDIMENTS DE LA FOSSE DE MATAPAN

Lors de la troisième campagne du navire océanographique "Calypso" en Méditerranée orientale, le 18 mai 1960, un dragage profond a été effectué sur l'emplacement d'une des fosses de Matapan, au S du Péloponèse, par -4 200 m. Position de la station :

Lat = $35^\circ 48' \text{ N}$
Long = $21^\circ 51' \text{ E}$

La tranche superficielle du sédiment présentait la succession suivante :

1°) A partir de la surface, jusqu'à une profondeur moyenne de 0,10 m : Vase rouge à débris de Ptéropodes et fragments de ponces provenant probablement de l'Archipel de Santorin. Le sédiment était très oxydé. La microfaune pélagique correspond à un fond banal, tempéré chaud, analogue aux groupements actuels.

2°) Sous cette vase rouge, on rencontre une vase jaune gluante, compacte, très argileuse, également oxydée. Dans ce sédiment plus ancien, on retrouve des débris de Ptéropodes et quelques poussières volcaniques. La microfaune montre la persistance des espèces tempérées, on note seulement la présence de quelques espèces à tendance froide (L. BLANC-VERNET ; 1961).

Les deux types de sédiment montrent une granulométrie assez uniforme traduisant un dépôt effectué par décantation, sans remaniement, dans la fosse de Matapan.

On observe un *joint stylolitique* au contact de la vase rouge à Ptéropodes et de la vase jaune gluante. Il en résulte une corrosion du "toft" de la couche de vase inférieure, à l'état meuble, corrosion postérieure ou contemporaine de la sédimentation.

de la vase rouge. Cette dernière paraît s'étendre aux dépens de la vase jaune dont la partie supérieure semble manquer. Le long de la surface tourmentée du joint stylolitique, on observe une mince pellicule noirâtre formée de matières organiques.

Il est possible de présenter les remarques suivantes :

1°) sous des pressions élevées, dépassant 400 kg/cm^2 , les sédiments meubles, vaseux, relativement pauvres en calcaire (35 à 40 % de CO_3Ca), peuvent montrer des joints corrodés, de type stylolitique.

2°) à cette profondeur, pour le cas particulier de la fosse de Matapan, se décantent les sédiments à l'abri des remaniements. La fraction organique, d'origine pélagodétritique ou autochtone forme une mince pellicule contre l'interface eau-sédiment. Les zones corrodées correspondant toujours à des "films" de matière organique soulignant le tracé des stylolites.

3°) les joints stylolitiques de corrosion ont été rencontrés au sein du sédiment meuble, en deçà de l'interface eau-sédiment.

CONCLUSIONS

Les joints de type "stylolite" abondent dans les séries calcaires où leur origine paraît relever de plusieurs mécanismes, faisant intervenir des actions de dissolution sous pression. Le sédiment peut se trouver induré ou à l'état meuble, selon les cas, mais toujours, les figures montrent un front de corrosion avec remise en solution d'une partie du matériel déposé. Postérieurement à la diagénèse, des gradients de pressions liés aux contraintes (tectonique, phénomènes locaux), orientent les actions de dissolution, recoupant les joints primitifs. En l'absence de perturbations mécaniques ; le joint initial disparaît avec le matériel remis en solution et, dans ces cas, se succèdent exclusivement des joints de type "stylolite" ; une partie de la série primitivement déposée manque (fossiles recoupés).

La comparaison avec le milieu sédimentaire actuel s'avère délicate : le contact des stylolites correspond toujours à un front de corrosion, sous l'action de la pression, entre deux formations meubles de natures parfois différentes.

(Station Marine d'Endoume -
Division de Géologie et Océanographie Physique.)

BIBLIOGRAPHIE

- BASTIN (E.S) : 1940 : A note on pressure stylolites. *Journ. of Geology*, 48, pp. 214-215
- BASTIN (E.S) : 1951 : A note on stylolites in oolitic limestone. *Journ. of Geology*, 59, pp. 509-510.
- CAROZZI (A.V) : 1960 : Microscopic sedimentary petrography. *John Wiley and Sons inc.* p. 222.
- DUNNINGTON (H.V) : 1954 : Stylolite development post-date rock induration. *Journ. Sed. Petr.* vol. 24, n° 1, pp. 27-49.

- GOLDMAN (M.I) : 1940 : Stylolites. *Journ. Sed. Petr.* vol. 10, pp. 146-147.
- HEALD (M.T) : 1955 : Stylolites in sandstones. *Journ. of Geology*, vol. 63, n° 2, pp. 101-114.
- LOMBARD (A) : 1956 : Géologie sédimentaire. Les séries marines. *Masson*, pp. 319-320 et p. 349.
- PETITJOHN (F.J) : 1957 : Sedimentary rocks. *Harper and Broth. New York*, pp. 206-207 et pp. 213-218.
- PROKOPOVICH (N) : 1952 : The origin of stylolites. *Journ. Sed. Petr.* vol. 22, pp. 212-220.
- SHAUB (B.M) : 1939 : The origin of Stylolites *Journ. Sed. Petr.* vol. 9, pp. 47-61.
- SHAUB (B.M) : 1949 : Do stylolites develop before or after the hardening of the enclosing rock ? *Journ. Sed. Petr.* vol. 19, pp. 26-35.
- SHAUB (B.M) : 1953 : Stylolites and oil migration. *Journ. Sed. Petr.* vol. 23, pp. 260-264.
- SHROCK (R.R) : 1948 : Sequence in layered rocks. *Mc. Grw. Hill Book Comp. inc.* pp. 239-241.
- STOCKDALE (P.B) : 1922 : Stylolites ; their nature and origin. *Indiana Univ. Studies*, vol. 13, pp. 3-11.
- WALDSCHMIDT (W.A) : 1941 : Cementing materials in sandstones and their influence on migration of oil. *Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull.* n° 25, pp. 1839 - 1879.