Zeitschrift: Archives des sciences [1948-1980]
Herausgeber: Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève
Band: 1 (1948)
Heft: 2

Artikel: Étude stratigraphique et micrographique du Purbeckien du Jura suisse
Autor: Carozzi, Albert
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-739262

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 02.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

ÉTUDE
STATIGRAPHIQUE ET MICROGRAPHIQUE
DU
PURBECKIEN DU JURA SUISSE

PAR

ALBERT CAROZZI

(Avec 56 fig. et 6 pl.)

INTRODUCTION

Depuis les travaux classiques de G. Maillard en 1884 sur le Purbeckien du Jura franco-suisse, cet étage n'a fait l'objet d'aucune étude d'ensemble, soit du point de vue stratigraphique, soit du point de vue micrographique. A part les magnifiques monographies de J. Favre et E. Joukowsky sur le Salève et de J. Favre et A. Richard sur la cluse de Pierre-Châtel, nos connaissances sur le Purbeckien du Jura franco-suisse étaient presque inexistantes. En effet, les auteurs se bornaient à indiquer des alternances de marnes et de marno-calcaires en général peu visibles; le géologue jurassien sait ce que signifie la combe purbeckienne, verdoyante et parsemée de grosses gentianes.

Notre projet avait été d'effectuer sur l'étendue du Jura suisse des coupes stratigraphiques aussi précises que celles faites au Salève. Mais nous n'avons réalisé qu'en partie notre projet et ceci au prix de grandes difficultés. En effet, dans la plupart des cas nous avons été obligés de dégager par des tranchées les couches purbeckiennes de leur épaisse couverture terreuse et végétale. Nous tenons à préciser ces conditions de travail, afin

que le lecteur ne s'étonne pas du canevas un peu lâche de nos points d'observations; ils se sont révélés du reste suffisants pour esquisser les grandes lignes de la paléogéographie purbeckienne. Mais il reste encore d'innombrables problèmes de tous ordres, que seul un réseau serré de coupes stratigraphiques permettra d'élucider.

Le problème jurassien s'est présenté à nous comme un ensemble d'une grande complexité, et si ce modeste travail pouvait montrer que le dernier mot est et sera toujours à la stratigraphie de détail, il aura largement atteint son but.

« Un fatto é come un sacco, che vuoto non si regge. Perché si regga, bisogna prima farci entrar dentro la ragione. »

L. PIRANDELLO.

CHAPITRE PREMIER

STRATIGRAPHIE GÉNÉRALE

§ 1. GÉNÉRALITÉS.

Le Purbeckien du Jura suisse présente deux domaines paléogéographiques nettement distincts, déjà en partie délimités par G. Maillard (74) [1]. Le plus étendu est le domaine dit des *couches dolomitiques inférieures*, qui couvre le Jura vaudois et la partie méridionale du Jura neuchâtelois et bernois (fig. 1). On y distingue, de bas en haut, la série stratigraphique suivante:

1. Couches dolomitiques inférieures,
2. Couches lacustres,
3. Couches saumâtres ou marines supérieures.

Les coupes les plus typiques se trouvent dans les régions de La Dôle, Noirmont, Marchairuz, Le Brassus, Mont Tendre, puis Baulmes, Mont Aubert et enfin Neuchâtel et Bienne.

Au Nord de cette première zone, donc en plein cœur du Jura neuchâtelois, s'étend le domaine dit des *marnes à gypse*. La série type est, de bas en haut, la suivante:

1. Marnes à gypse,
2. Couches lacustres,
3. Couches saumâtres ou marines supérieures.

Cette succession s'observe aux Verrières, La Brévine, Le Locle, La Chaux-de-Fonds, etc. Les localités situées à la

[1] Les numéros entre parenthèses renvoient à la Bibliographie.

limite des deux domaines montrent des coupes très variables, dans lesquelles il n'est pas possible de retrouver les trois termes d'un faciès ou de l'autre. Ce sont principalement les séries de Ballaigues, Les Clées, Vaulion, etc.

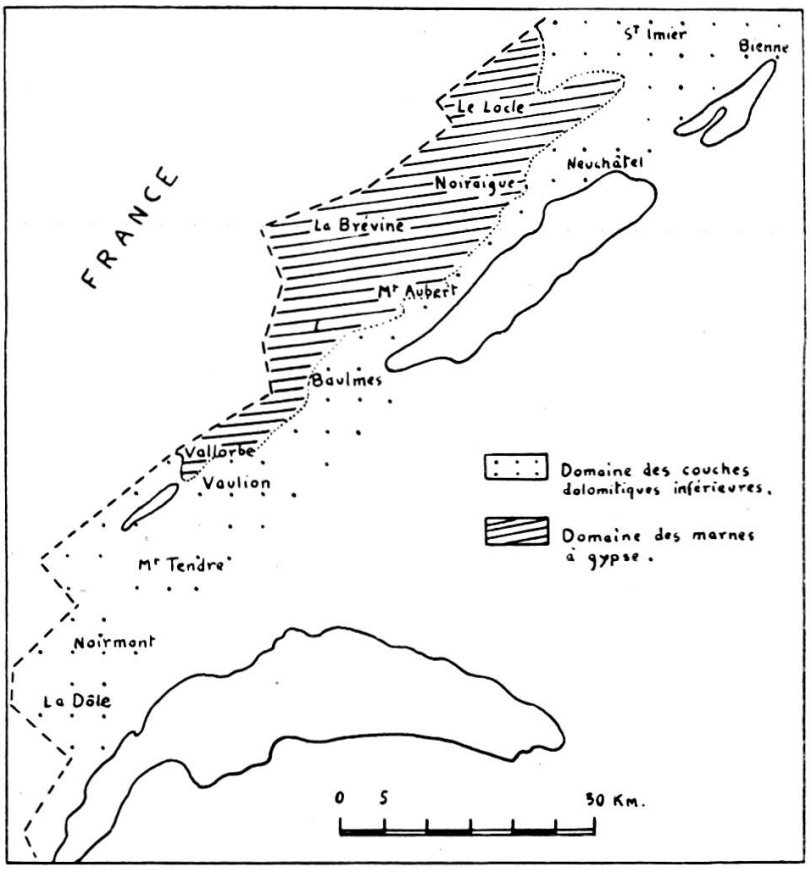


Fig. 1.
Les domaines paléogéographiques du Purbeckien du Jura suisse.

Cependant, pour faciliter les références bibliographiques, nous avons subdivisé le territoire étudié en neuf régions correspondant en gros soit à des monographies, soit à des feuilles de l'Atlas géologique. Les régions sont les suivantes:

1. La Dôle – Noirmont.
2. Marchairuz – Le Brassus – Mont Tendre.
3. Vaulion – Mollendruz – Premier.
4. Ballaigues – Les Clées.
5. Baulmes – Côte-aux-Fées – Mont Aubert.

6. Les Verrières – La Brévine.
7. Noiraigue – Chambrelien – Neuchâtel.
8. Le Locle – La Chaux-de-Fonds – Saint-Imier.
9. Landeron – Vigneules – Bienne.

§ 2. Méthode d'interprétation des séries sédimentaires.

En étudiant les variations de faciès des séries purbeckiennes, nous avons remarqué que les passages progressifs du milieu marin au milieu lacustre ou même à l'émersion, se faisaient toujours par une succession de faciès déterminée. Il nous a donc semblé admissible d'établir une échelle bathymétrique relative basée précisément sur ces successions de faciès. Bien entendu, tout ce qui se passe en verticale est valable aussi en horizontale et il ne faudrait pas croire que la liaison faciès et profondeur soit applicable à n'importe quelle série sédimentaire. Mais, dans le cas étudié, les différents faciès expriment bien des différences de profondeur ou de distance à la côte, ce qui revient au même. Les variations de profondeur pendant le Purbeckien sont l'effet direct des poussées orogéniques intermittentes et ce sont ces dernières qui règlent en fait les cycles sédimentaires.

La série sédimentaire *complète* en allant du milieu marin à l'émersion n'est pas toujours représentée dans son ensemble et, selon les localités divers termes peuvent manquer. Cela est évident, si l'on envisage que chaque région a réagi d'une façon propre aux efforts orogéniques et que de ce fait les amplitudes des oscillations n'ont pas été partout les mêmes.

Examinons la série *idéale* complète, en partant des termes les plus profonds. On distingue quatre ensembles:

1. *Ensemble calcaire:*
   - *a*) Calcaire compact (CC) sub-lithographique souvent sans fossiles.
   - *b*) Calcaire microbréchique oolithique ou pseudo-oolithique (MO) à Foraminifères ou à Dasycladacées.

Le terme *b* résulte du remaniement du terme *a* et implique donc une profondeur plus faible.

2. *Ensemble dolomitique :*

a) Calcaire dolomitique (CD) *b*) Microbrèche dolomitique (BD) *c*) Dolomie cristalline (DO) *d*) Marne dolomitique (MD)	à rares fossiles.

Le terme *b* résulte toujours du remaniement du terme *a*, et la diminution de profondeur qu'il annonce permet souvent le passage aux marnes qui sont le terme le moins profond de toute la série dolomitique. Le stade des dolomies implique un régime lagunaire bien établi et du reste rarement atteint.

3. *Ensemble marneux :*

a) Brèche calcaire (BC).
b) Calcaire marneux à Chara et Ostracodes (MC).
c) Marnes (M).

Cet ensemble lie le milieu lagunaire au milieu saumâtre-lacustre qui achève la série purbeckienne. Les brèches calcaires, qui semblent de prime abord étrangères à cet ensemble, doivent pourtant s'y rattacher car elles témoignent des ruptures d'équilibre précédant ou suivant les émersions. Pour obtenir une succession logique de faciès, nous sommes amenés de nouveau à considérer les marnes comme le terme le moins profond de l'ensemble marneux.

4. *Ensemble calcaire lacustre :*

a) Calcaires à Ostracodes (CY).
b) Calcaire à Chara (CH).

Le premier terme se rapporte à des couches calcaires pétries de carapaces d'Ostracodes (Cypris) et contenant souvent des débris flottés de Characées. La présence de ces dernières semble exclure peu à peu celle des Ostracodes, comme si le milieu saumâtre avait fait place aux eaux douces riches en calcaire et favorables au développement des Characées.

Cette succession de faciès permet de tracer une *courbe des variations bathymétriques dans le temps.* Nous l'avons dessinée en regard de la coupe stratigraphique, en portant en haut du

diagramme en abscisse et de gauche à droite les profondeurs décroissantes. En ordonnée, nous avons placé les points figuratifs (○) des divers termes, au milieu de la couche.

On remarquera sans doute qu'il n'est fait aucune mention dans la série sédimentaire des *brèches multicolores*, car ce faciès s'intercale n'importe où dans la suite lithologique, il est donc impossible de lui assigner une position déterminée dans l'échelle bathymétrique; dans la courbe il est figuré par un point noir (●). Il en est de même de la présence de cailloux noirs disséminés dans divers types de sédiments, leur présence est indiquée par un cercle entourant le point figuratif (⊙).

Nous verrons plus loin que l'apparition de cailloux noirs, soit sous forme de brèches, soit en éléments disséminés représentent des intercalations détritiques superposées à une série lithologique obéissant à d'autres lois. Nous étudierons dans un chapitre spécial les facteurs régissant l'apparition des cailloux noirs, mais d'ores et déjà il faut mettre en évidence le fait qu'il s'agit de la superposition de deux types différents de sédimentation.

Nous avons parlé plus haut de *cycles sédimentaires* [1]; une colonne leur est réservée à l'extrême droite du diagramme bathymétrique. En effet, à l'intérieur même des ensembles, les termes alternent d'une façon assez uniforme et suivant deux types principaux. Ces alternances de second ordre s'intègrent dans une courbe plus importante qui régit tout le système sédimentaire purbeckien.

Prenons immédiatement des exemples dans l'ensemble dolomitique. Voici de bas en haut une succession très fréquente:

1 calcaire dolomitique (CD),
2 microbrèche dolomitique (BD),
3 dolomie cristalline (DO).

Dans la colonne nous inscrirons de bas en haut: 1, 2, 3 — 1, 2, 3 — 1, 2, 3, etc. Cette série exprime une diminution graduelle de la profondeur de 1 à 3, puis un affaissement brusque

[1] Nous reprendrons en détail la question des cycles sédimentaires dans un autre travail actuellement en cours.

de 3 à 1 et ainsi de suite; c'est un *cycle sédimentaire asymétrique.* Ce type précède ou suit très souvent les émersions, dans ce dernier cas, il s'écrira de bas en haut 3, 2, 1 1, 2, 3 1, 2, 3.

Mais les cycles à trois termes ne sont pas toujours complets et, en règle générale, on peut affirmer que les cycles incomplets sont les plus fréquents. Le terme 1 est rarement absent, tandis que 2 et 3 manquent assez souvent. Plusieurs cycles s'expriment ainsi: 1, 3 1, 3 1, 3, dans ce cas on peut admettre que la poussée a dépassé en vitesse la sédimentation, amenant ainsi la suppression du terme intermédiaire. Ailleurs, on observe de cycles 1, 2 1, 2 1, 2. c'est le résultat d'une faible poussée n'ayant pas permis d'atteindre le terme le moins profond de la série.

Une série très souvent observable est: 1, 2, 3, 2, 1, 2, 3, 2, 1; ce *cycle symétrique* exprime une diminution graduelle de la profondeur suivie par une augmentation tout aussi graduelle. Ces oscillations parfaites se développent tout au long de la série lacustre, en ne comportant que deux termes 1, 2, 1, 2, 1, 2, 1

1 calcaire à Ostracodes (CY),
2 calcaire à Chara (CH).

En résumé, les cycles asymétriques ou symétriques se présentent dans n'importe quel milieu, mais ils ne sont pas discernables partout et dans les régions particulièrement sensibles aux efforts tectoniques il est très difficile de les retrouver.

Dans certaines coupes stratigraphiques, il semble y avoir une liaison entre le type de cycle et le milieu de sédimentation, voici les observations que l'on peut faire:

1° Les séries marines sont souvent formées par des cycles asymétriques;
2° les séries lacustres sont souvent formées par des cycles symétriques;
3° Les séries lacustres sont parfois précédées par un cycle symétrique en milieu marin.

Illustrons ces constatations par un exemple théorique en partie réalisé dans la coupe de Riondaz-Dessus. On a de bas en haut:

1, 2, 3, 1, 2, 3, 1, 2, 3, 2, 1	1, 2, 1, 2, 1, 2, 1	2, 1, 2, 1, 2
Ensemble calcaire dolomitique	*Ensemble calcaire lacustre*	*Ensemble calcaire*
1 calcaire compact (CC)	1 calcaire à Ostracodes (CY)	1 calcaire compact (CC)
2 calcaire oolithique (MO)	2 calcaire à Chara (CH)	2 calcaire oolithique (MO)
3 calcaire dolomitique (CD)		

Accompagnant la courbe des faciès, nous avons tracé la *courbe de variation du diamètre du quartz clastique* (courbe en pointillé), en prenant comme indice de clasticité d'un niveau le diamètre du plus gros grain; les diamètres sont portés en abscisse au bas du diagramme. Disons d'emblée que le parallélisme des deux courbes est réalisé dans les grandes lignes, mais que l'on observe partout que les calcaires à Chara correspondent toujours à un minimum de la courbe du quartz. Ce minimum, parfois même une absence complète de quartz, exprime l'isolement des lacs d'eau douce dû à l'émersion. En revanche, les calcaires à Ostracodes sont toujours relativement riches en quartz clastique, par le fait qu'ils se placent au moment du déséquilibre consécutif de l'émersion ou de la subsidence. A ce moment les courants marins sont fortement perturbés et l'apport de quartz, en provenance sans doute des massifs hercyniens, est accentué. Il est presque impossible de tracer une *courbe de la variation de la teneur en oxydes de fer*, nous nous sommes contentés de placer, à côté des points figuratifs, des croix (+) exprimant un ordre de grandeur:

+ teneur faible, ++ teneur moyenne, +++ teneur forte.

La lettre « R » qui figure parfois sur les diagrammes signifie présence de débris de calcaires rubéfiés.

Pour vérifier certaines diagnoses microscopiques, nous avons étudié du point de vue chimique par la méthode rapide du professeur M. Gysin (53) nos coupes stratigraphiques et surtout les niveaux dolomitiques. Il nous a semblé intéressant de suivre les variations possibles en verticale de la teneur en $MgCO_3$. *La courbe dessinée en trait discontinu* (—·—·) *à l'extrême droite du diagramme donne la variation du rapport en poids* $CaCO_3/CaCO_3 + MgCO_3$; ce rapport qui est abrégé en C/S (calcite/somme des

carbonates), tend vers 1 pour les calcaires purs. Bien entendu, la méthode ne nous donne qu'un ordre de grandeur et nous n'avons tracé la courbe que lorsque la série stratigraphique présentait un intérêt particulier; nous reviendrons du reste plus loin sur le problème de la dolomie.

ABRÉVIATIONS

Dans les descriptions stratigraphiques nous utiliserons les conventions suivantes:

- Fe oxydes de fer.
- QD quartz détritique, les dimensions sont données en mm.
- CN présence de cailloux noirs.
- BM brèche multicolore.
- C/S rapport en poids de $CaCO_3/CaCO_3 + MgCO_3$, ce rapport est indiqué seulement pour les couches dolomitiques; dans les autres cas il vaut 1 et n'est pas mentionné.

§ 3. Description stratigraphique.

I. *Région de La Dôle-Noirmont.*

Elle couvre le territoire étudié par H. Lagotala (66) auquel nous renvoyons le lecteur pour la description détaillée générale. Nous avons pu faire trois coupes complètes, la première sous le sommet de La Dôle, au point 1500 m, Sous-les-Creux. C'est là que nous avons trouvé en place la grosse brèche formée de cailloux de 40 cm signalée par H. Lagotala comme bloc éboulé ou bloc erratique. Les deux autres coupes se placent, l'une le long de la route Arzier-Les Biolles, au point 1289 m, et l'autre sur le flanc du Noirmont, au N du Crêt-au-Bovairon, point 1450 m. Les autres affleurements des Fruitières de Nyon, Basse-Ruche, La Barillette et La Chenalette sont trop incomplets pour fournir des renseignements précis.

a) *Coupe du Crêt-au-Bovairon*, Pt 1450 m (fig. 2 et 3).
Berriasien: Microbrèche oolithique.

31. Calcaire compact grumeleux gris à rares Ostracodes. Fe en traînées, QD, diam.: 0,045.

30. Calcaire oolithique jaunâtre, Chara et Foraminifères dans les éléments. Ciment calcitique à tests de Lamellibranches et CN.
29. Calcaire grumeleux gris à Ostracodes. Fe, QD, diam.: 0,043.
28. Calcaire grumeleux gris-jaune, bréchique par places à Chara et Ostracodes. Fe, QD, diam.: 0,030.
27. Calcaire compact gris pétri de Chara et d'Ostracodes. Phosphates, QD, diam.: 0,015.
26. Calcaire compact jaunâtre pétri de Chara et d'Ostracodes. Fe, QD, diam.: 0,015.
25. Calcaire compact gris-jaune à Ostracodes et Chara. QD, diam.: 0,045.
24. Calcaire jaunâtre à rares Ostracodes. Zones de dissolution ferrugineuses avec quartz secondaire et détritique, diam.: 0,045.
23. Calcaire compact gris-jaune, sub-lithographique. Fe, QD, diam.: 0,030.
22. Calcaire faiblement dolomitique jaune concrétionné. C/S = 0,92.
21. Calcaire dolomitique jaune recristallisé. C/S = 0,82.
20. Micro-poudingue multicolore faiblement dolomitique passant vers le haut à un calcaire brunâtre bréchique. C/S = 0,90.
19. Calcaire faiblement dolomitique grumeleux à rares Ostracodes. Nombreux CN, surtout à la base. C/S = 0,95.
18. Calcaire compact clair sub-lithographique.
17. Calcaire ferrugineux à Ostracodes et Chara. Petits CN disséminés.
16. Calcaire compact clair sub-lithographique.
15. Calcaire ferrugineux à Chara et Ostracodes, rares Lamellibranches. Petits CN disséminés.
14. Calcaire compact clair grumeleux, Fe.
13. Calcaire compact gris à Chara et Ostracodes, petits Gastéropodes. Petits CN à la base. Fe.
12. Micro-poudingue multicolore à Fucacées passant vers le haut à un calcaire compact gris-noir. Quartz secondaire, Fe.
11. Calcaire bréchique à éléments multicolores. Fe.
10. Calcaire compact gris, bréchique à la base.

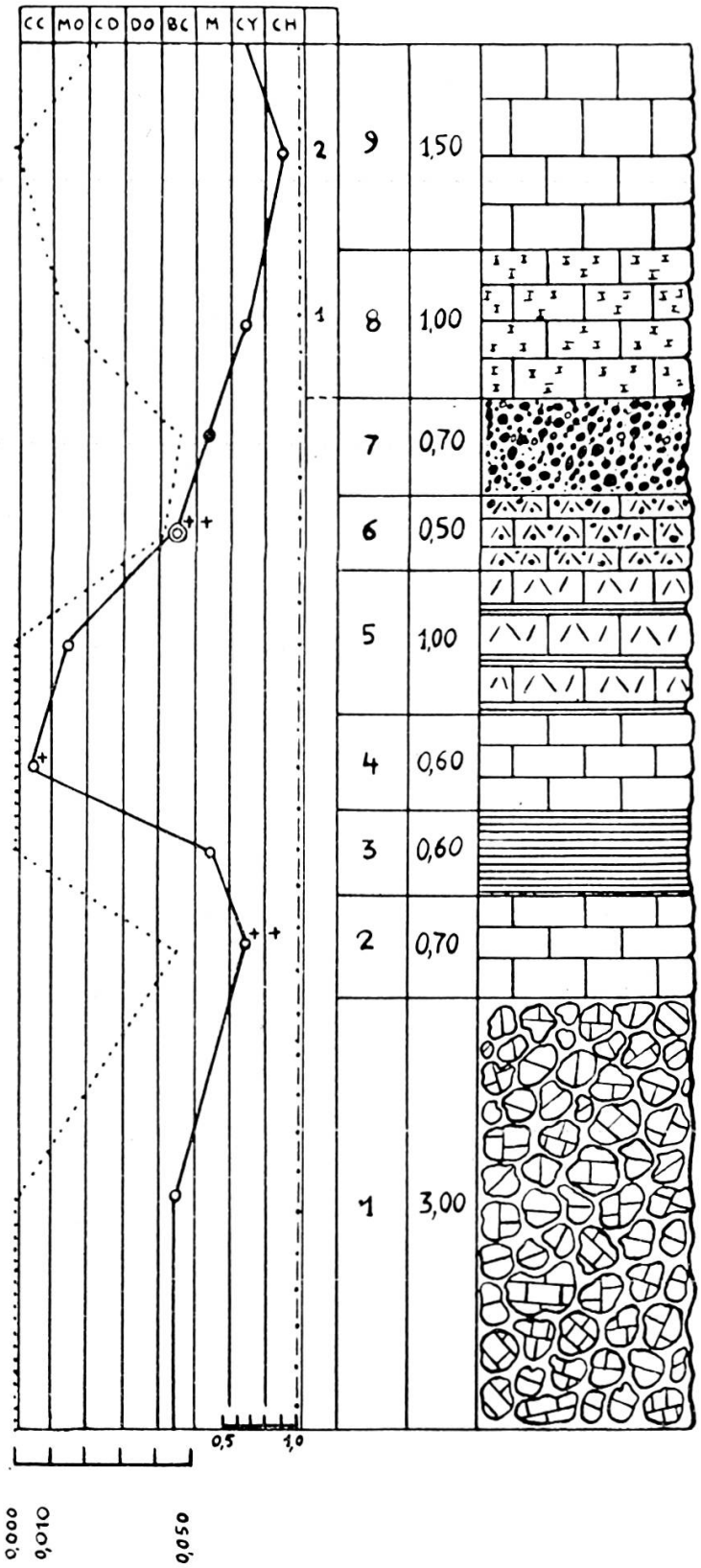


Fig. 4.
Coupe des Biolles-Marais-Rouge.
Echelle 1 : 75.

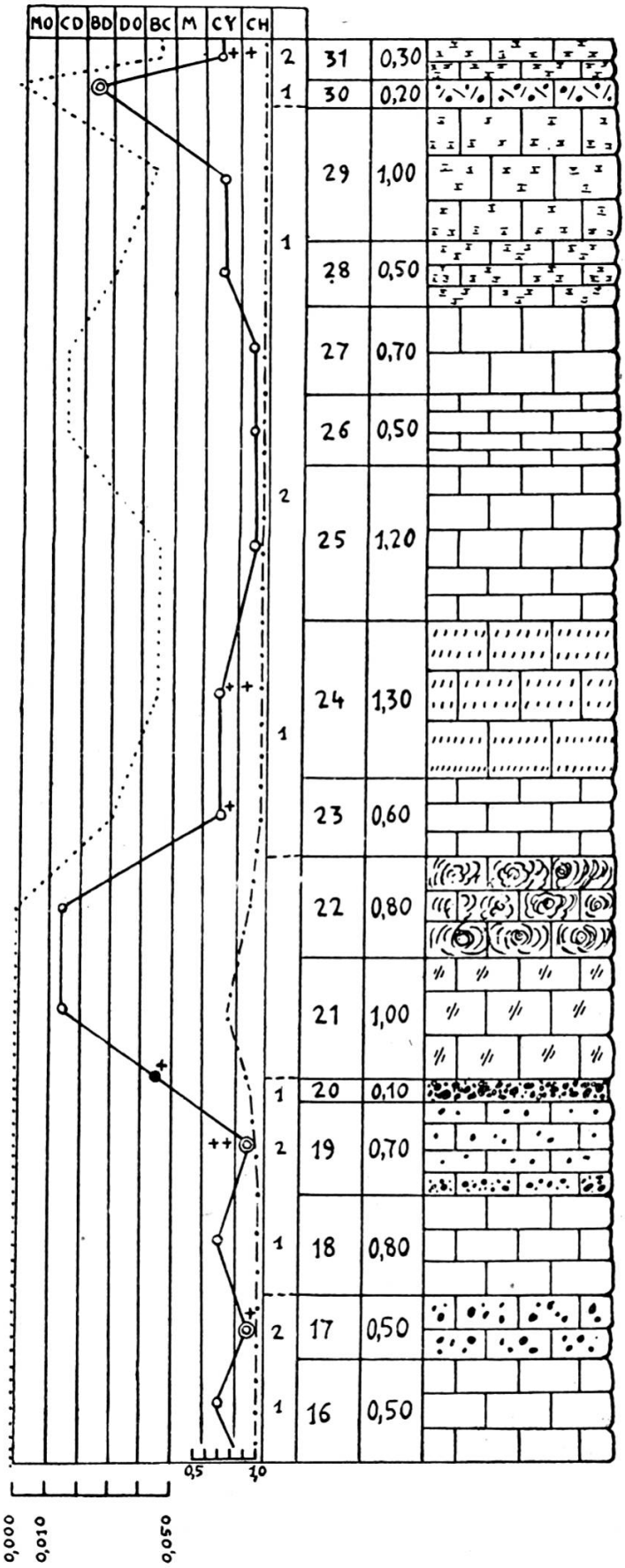


Fig. 3.
Coupe du Crêt-au-Bovairon *(suite)*.
Echelle 1 : 75.

9. Brèche calcaire grise recristallisée.
8. Marnes noires grumeleuses à éléments dolomitiques décomposés.
7. Calcaire bréchique et pseudo-oolithique gris-noir recristallisé. Fe en traînées.
6. Brèche calcaire grise recristallisée.
5. Dolomie oolithique jaunâtre recristallisé, délits marneux à la base. C/S = 0,52.
4. Calcaire bréchique gris fortement recristallisé. C/S = 0,86.
3. Dolomie oolithique jaune à *Coprolithus salevensis* Par. (99). C/S = 0,57.
2. Brèche dolomitique recristallisée. C/S = 0,90.
1. Dolomie oolithique jaune à *Coprolithus salevensis* Par. C/S = 0,42.

Epaisseur totale: 23 m 15.

Portlandien: grosse dolomie vacuolaire.

Détail de la coupe:

a) *Couches marines inférieures* (niveaux 1 à 12). — Elles résultent de la répétition plus ou moins complète d'un cycle sédimentaire de trois termes:

1. Brèche dolomitique,
2. Dolomie,
3. Brèche calcaire.

Cette série se place à la limite des ensembles dolomitiques et marneux, et exprime une diminution de profondeur aboutissant à des remaniements sous faible couche d'eau. On observe d'abord un cycle 1, 2, 3, indiquant un soulèvement lent, suivi par un affaissement avec apport de fer. Ensuite le fond marin se maintient dans le terme supérieur et atteint même le stade des marnes. Cette persistance de la poussée prélude à l'émersion amenant les couches lacustres à partir du niveau 13. Ainsi que nous le verrons dans d'autres cas, les oxydes de fer accompagnent le terme moyen, car ils proviennent du délavage de régions soumises à l'action des agents atmosphériques; ce délavage effectué sans doute pendant un terme 3 a dû prendre un certain

temps et la floculation des oxydes de fer dans l'eau de mer s'est effectuée à l'affaissement consécutif, c'est-à-dire au terme 2.

b) *Couches lacustres inférieures* (niveaux 13 à 20). — Le terme de passage indiquant le changement de milieu est formé par le micro-poudingue multicolore (nº 12). La série lacustre se compose d'alternances de calcaire grumeleux à Ostracodes (1) et de calcaire à Chara (2), ce dernier étant le moins profond. A quatre reprises les calcaires à Chara apparaissent accompagnés de CN montrant ainsi autant d'oscillations séparées par de légers affaissements amenant des eaux légèrement saumâtres favorables aux Ostracodes. Les oxydes de fer semblent correspondre aux calcaires à Chara, ce qui indique la proximité de terres en voie de rubéfaction. La fin de ce premier régime lacustre est marqué par un micro-poudingue multicolore qui se substitue au terme 1, la symétrie de l'ensemble est remarquable.

c) *Couches marines moyennes* (niveaux 21 à 22). — Ce petit épisode marin se marque par des calcaires dolomitiques, auxquels succèdent, sans intercalation de micro-poudingues multicolores, de nouvelles couches lacustres.

d) *Couches lacustres supérieures* (niveaux 23 à 29). — Cette série, assez riche en quartz détritique, est parfaitement symétrique, elle débute par des calcaires à Ostracodes, puis passe à des calcaires à Chara et se termine encore par des calcaires à Ostracodes.

e) *Couches marines supérieures* (niveau 30). — On peut leur attribuer la brève intercalation de calcaires oolithiques à CN du niveau 30, bien qu'elle soit encore surmontée par des couches lacustres. Précisons que les oolithes et fausses oolithes contiennent soit des Foraminifères (Textularidés), soit des débris de Characées.

Minéraux :

1. *Le quartz.* — Il n'apparaît que dans la partie supérieure de la série et sa courbe de variation s'harmonise bien avec celle des faciès, le diamètre maximum atteint est 0,045 mm. Ainsi que nous l'avons dit plus haut, les calcaires à Chara correspon-

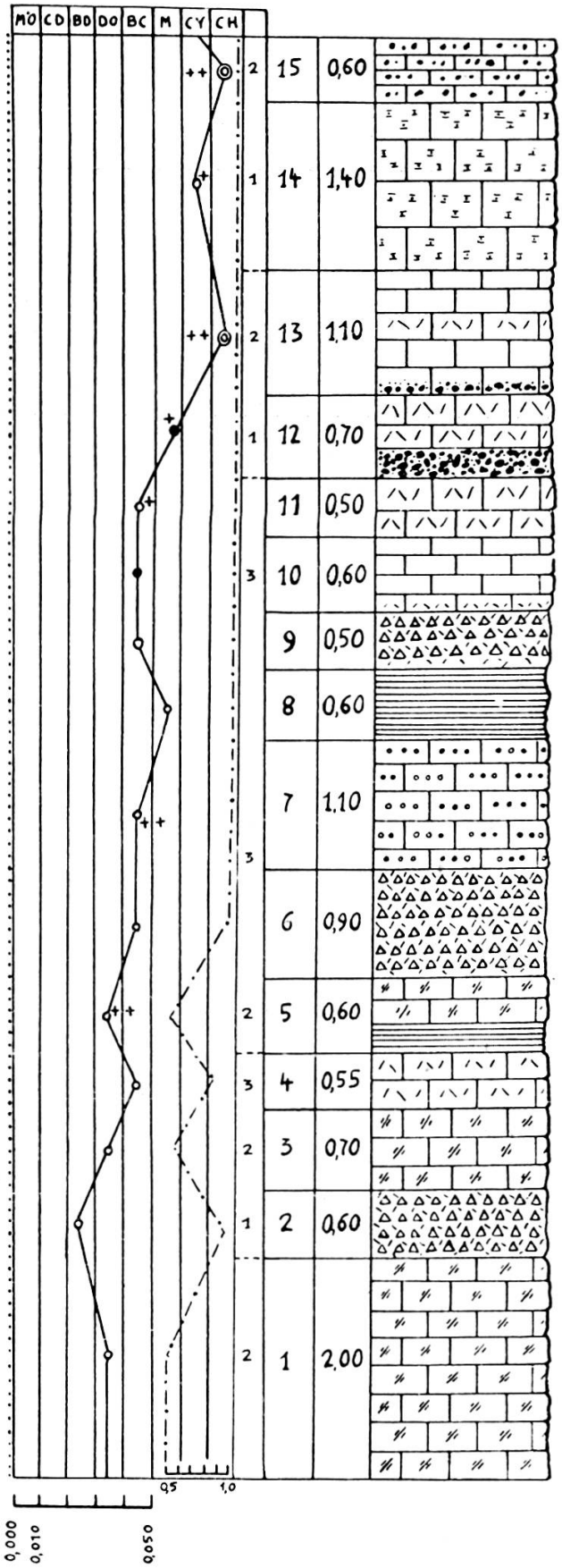


Fig. 2.
Coupe du Crêt-au-Bovairon.
Echelle 1 : 75.

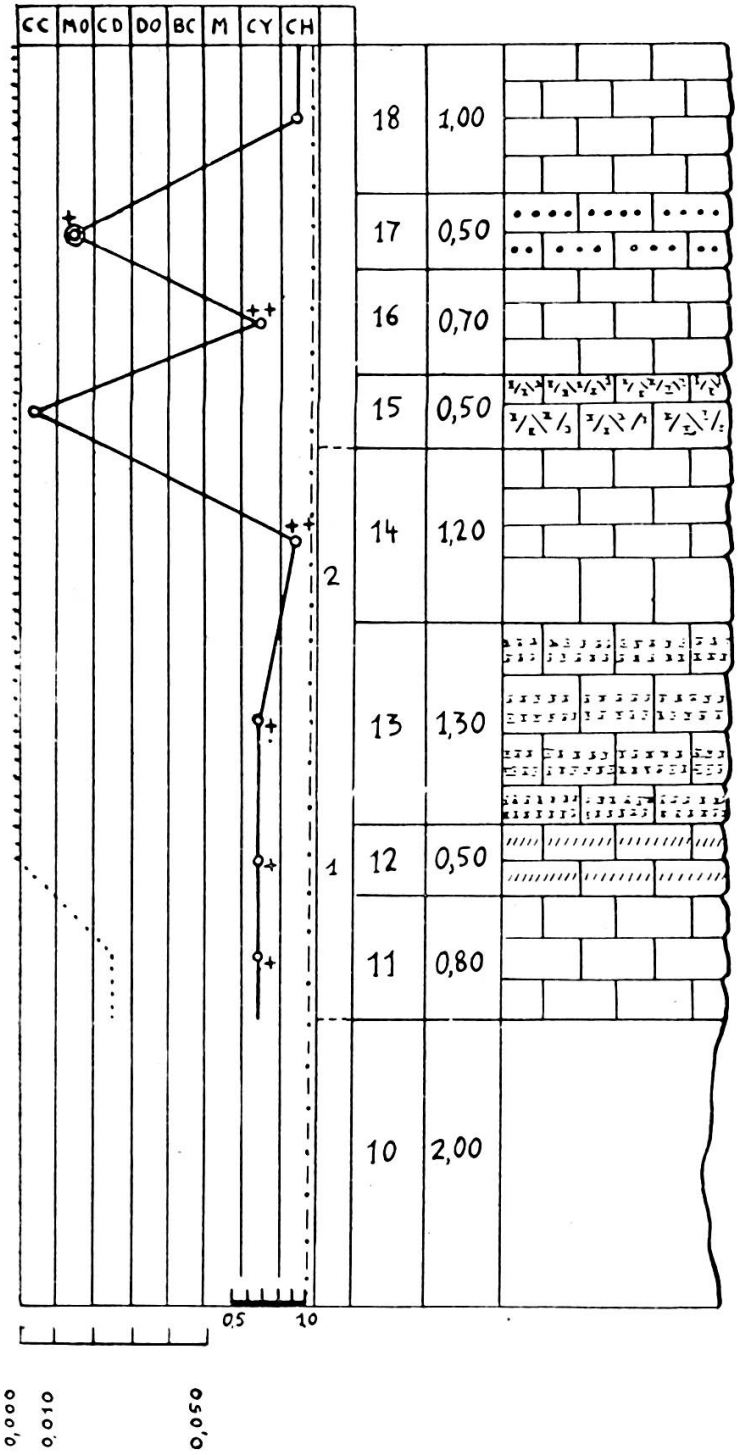


Fig. 5.
Coupe des Biolles-Marais-Rouge *(suite)*.
Echelle 1 : 75.

dent à un minimum de la courbe du quartz, minimum consécutif à l'isolement dû à l'émersion.

2. *Le fer.* — Les oxydes de fer en milieu marin apparaissent au terme 2 des cycles comme nous l'avons vu, puis aux couches de passage entre le milieu marin et le milieu lacustre; dans ce dernier on le retrouve surtout dans les calcaires à Chara.

b) *Coupe des Biolles-Marais rouge:* Pt 1289 m (fig. 4 et 5).

Berriasien: Microbrèche oolithique.

18. Calcaire compact brun clair à Chara, Clypéines et Ostracodes.
17. Calcaire oolithique beige, les éléments contiennent des Foraminifères et des Chara, quelques CN disséminés. Fe.
16. Calcaire compact clair à Ostracodes et Chara. Fe.
15. Calcaire oolithique à Chara, Clypéines et Textularidés. Fe.
14. Calcaire compact jaune à Chara et Ostracodes.Fe.
13. Calcaire zoné ferrugineux.
12. Calcaire compact gris à traînées ferrugineuses.
11. Calcaire compact gris-brun à Ostracodes. Fe, QD, diam.: 0,025.
10. Niveau couvert.
9. Calcaire compact gris, sub-lithographique.
8. Calcaire compact jaune-clair à Ostracodes et Chara. Fe, QD, diam.: 0,015.
7. Micro-poudingue multicolore à Fucacées. Fe, QD, diam.: 0,045.
6. Calcaire bréchique jaune à éléments multicolores (CN). Fe, QD, diam.: 0,040.
5. Calcaire bréchique et vacuolaire jaune à intercalations marneuses vertes.
4. Calcaire compact clair ferrugineux.
3. Marnes noires grumeleuses.
2. Calcaire compact gris-jaune à Ostracodes et Chara. Fe, QD, diam.: 0,045.
1. Brèche-poudingue à gros éléments portlandiens (calcaire dolomitique et calcaire compact).

Epaisseur totale: 18 m 10.

Portlandien: grosse dolomie vacuolaire.

Détail de la coupe:

a) *Couches marines inférieures* (niveaux 1 à 7). — Le faciès dolomitique est remplacé par une épaisse brèche-poudingue formée par des éléments portlandiens, puis une légère tendance à l'émersion se marque par un calcaire à Ostracodes (niveau 2).

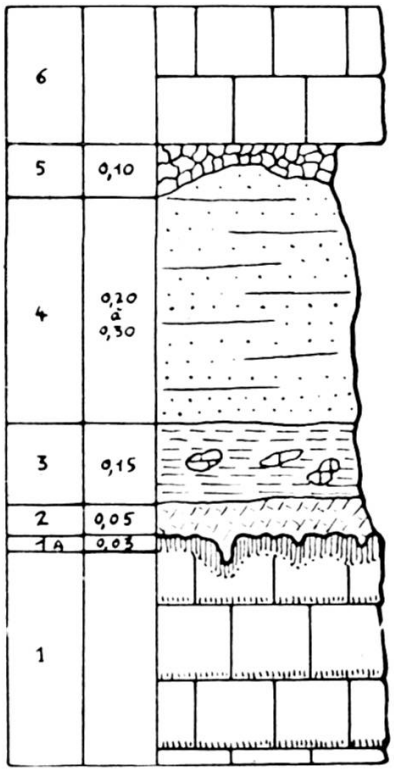


Fig. 6.
Coupe du sidérolithique berriasien de la carrière de La Violette.
Echelle 1 : 15.

Le faciès marin franc s'établit ensuite jusqu'au micro-poudingue multicolore qui fait passage à la série lacustre.

b) *Couches lacustres* (niveaux 8 à 14). — Elles sont formées par deux cycles de deux termes: calcaire compact à Ostracodes (1) et calcaire à Chara (2). La répartition des oxydes de fer est régulière.

c) *Couches marines supérieures* (niveaux 15 à 18). — On peut leur attribuer les niveaux 15 et 17 qui amènent des Foraminifères et des Clypéines, avec parfois de petits CN. Puis un dernier

banc de calcaire à Chara nous sépare de la microbrèche oolithique du Berriasien.

Minéraux :

1. *Le quartz.* — Dans la partie inférieure de la coupe, les variations suivent celles des faciès avec des maxima de 0,045, puis dans les couches lacustres réapparaît le minimum lié cette fois-ci aux couches à Ostracodes. Le quartz retombe à zéro dans la partie supérieure de la coupe où pourtant les oscillations sont importantes.

2. *Le fer.* — Sa teneur est moyenne aux maxima de la courbe des faciès et aux ruptures d'équilibre précédant et suivant les émersions, ailleurs il est peu important.

c) *Sidérolithique d'âge berriasien* (fig. 6).

Les mouvements orogéniques responsables de l'émersion purbeckienne se sont poursuivis encore pendant le dépôt du marbre bâtard. En effet dans la carrière de la Violette, au-dessus d'Arzier, on peut observer la coupe suivante:

6. Marbre bâtard compact.
5. Calcaire bréchoïde rubéfié, vert et rose, pouvant manquer par places.
4. Grès jaunâtre à ciment calcaire.
3. Marnes finement stratifiées rouges et gris-bleu à fragments de calcaire.
2. Bolus compact rouge sang.
1*a*. Marbre bâtard corrodé et rubéfié, surface d'altération continentale.
1. Marbre bâtard compact à bandes rosées.

Le sidérolithique se situe environ 8 m 20 sous les marnes d'Arzier et 33 m au-dessus du sommet du Purbeckien. Il est à mettre en liaison avec l'émersion que Ed. Paréjas (98) a observée au Salève, dans l'assise à *Natica leviathan*, au-dessus de la couche charbonneuse de la Corraterie, où le calcaire est profondément rubéfié et perforé par des mollusques lithophages.

d) *Coupe de La Dôle (Sous-les-Creux):* Pt 1500 m (fig. 7 et 8).
Berriasien: Microbrèche pseudo-oolithique.

41. Marno-calcaire grumeleux à Ostracodes.
40. Calcaire compact grumeleux à Ostracodes et Chara. Fe, QD, diam.: 0,030.
39. Calcaire compact grumeleux à gros Ostracodes, débris rubéfiés. QD, diam.: 0,015.
38. Calcaire compact gris à traînées ferrugineuses.
37. Calcaire compact clair à débris de Chara et d'Ostracodes. Petits CN, Fe, QD, diam.: 0,045.
36. Calcaire grumeleux gris à Chara, Ostracodes et débris de Lamellibranches, petits CN disséminés, passant vers le bas à un micro-poudingue multicolore à gros éléments noirs.
35. Calcaire micro-bréchique à Chara, Ostracodes et Dasycladacées.
34. Calcaire compact jaune à Chara et Ostracodes.
33. Calcaire bréchique et pseudo-oolithique jaune à Chara et Ostracodes, CN à Fucacées. Fe.
32. Calcaire micro-grumeleux clair à Chara et Ostracodes. Nombreux CN en graded-bedding. QD, diam.: 0,030.
31. Calcaire compact gris à traînées ferrugineuses.
30. Brèche calcaire à éléments gris et jaunes à Chara et Ostracodes. Fe, agrégats de quartz secondaire.
29. Calcaire grumeleux jaune à Ostracodes et Chara.
28. Calcaire compact jaune à Chara et Ostracodes. Fe.
27. Calcaire jaunâtre à rares débris d'Ostracodes, traînées ferrugineuses.
26. Calcaire grumeleux ferrugineux passant vers le bas à une fine microbrèche multicolore.
25. Calcaire compact clair sans fossiles.
24. Brèche calcaire polygénique, semblable au niveau n° 23, diamètre maximum des éléments : 3 cm. Ciment calcitique à rares Ostracodes et à nombreux CN roulés. Fe.
23. Grosse brèche calcaire polygénique, la taille des éléments augmente vers le bas et s'étend de 1 cm à 40 cm. Ciment calcitique à Ostracodes et nombreux CN roulés. Fe, agrégats de quartz secondaire.

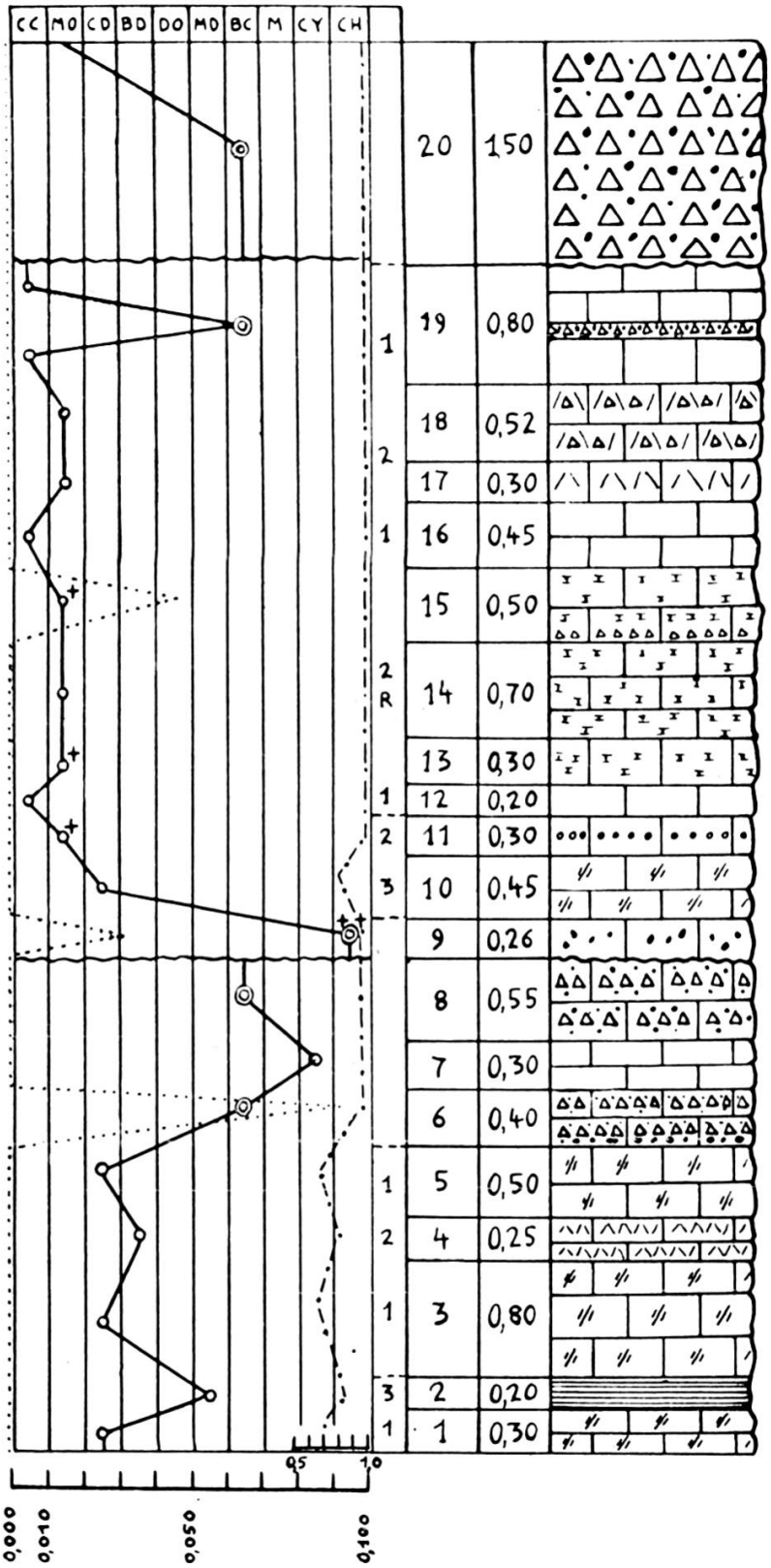


Fig. 7.

Coupe de La Dôle.
Echelle 1: 75.

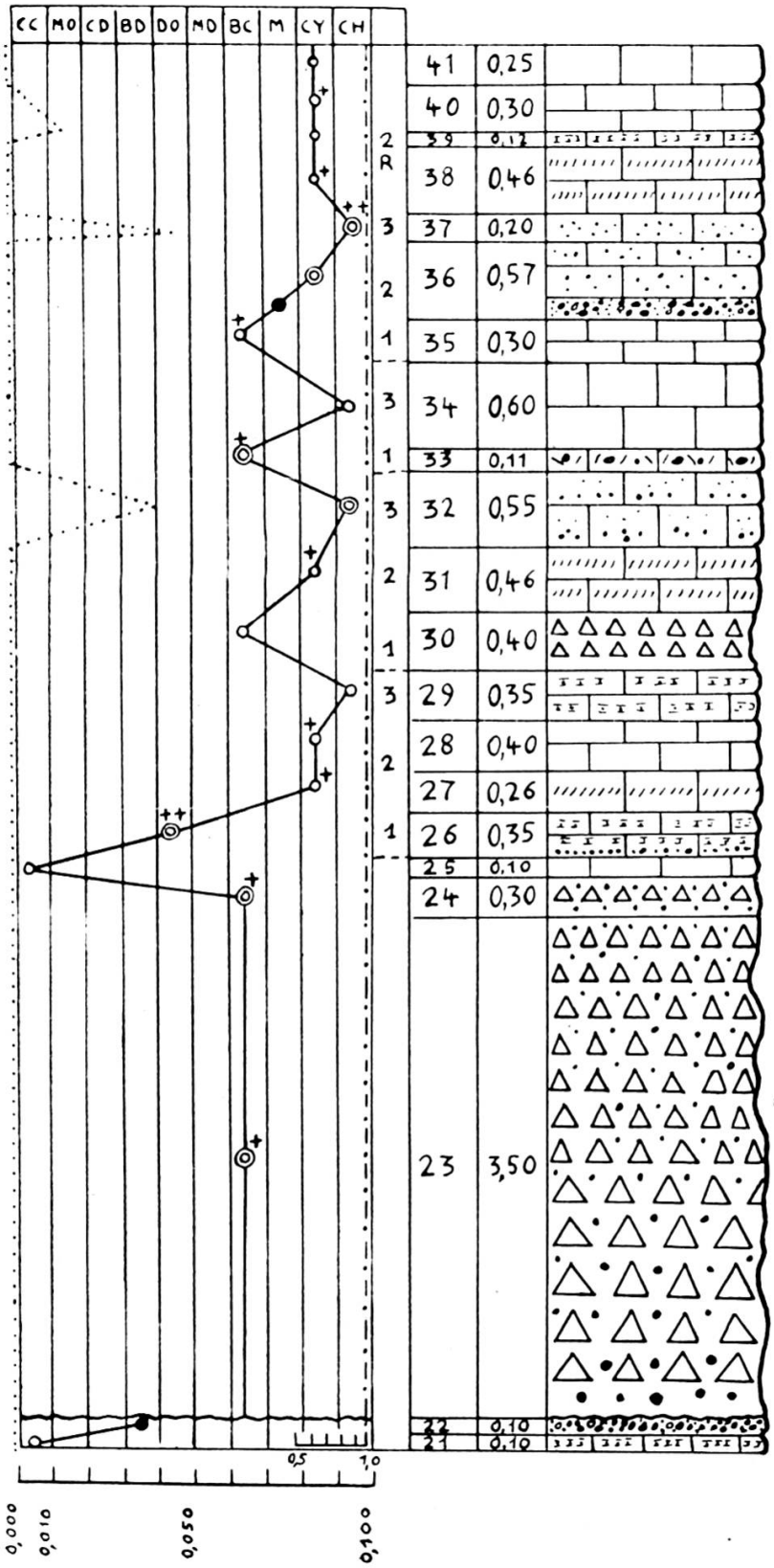


Fig. 8.
Coupe de La Dôle *(suite)*.
Echelle 1 : 75.

22. Micro-poudingue multicolore schisteux à Fucacées, Lamellibranches et Gastéropodes.
21. Calcaire pseudo-oolithique gris.
20. Grosse brèche calcaire polygénique, la taille des éléments ne dépasse pas 10 cm. Ciment calcitique à Ostracodes et nombreux CN roulés.
19. Calcaire compact gris avec une intercalation bréchique semblable au niveau n° 20.
18. Calcaire bréchique jaunâtre à éléments du niveau sous-jacent.
17. Calcaire bréchique à quartz secondaire.
16. Calcaire recristallisé.
15. Calcaire grumeleux à Chara, Lamellibranches et Miliolidés, Fe, QD, diam.: 0,045.
14. Calcaire finement grumeleux à Dasycladacées, Echinodermes et Mollusques, petits débris de calcaire à Chara rubéfié.
13. Calcaire oolithique et grumeleux à *Coprolithus salevensis* Par. Fe.
12. Calcaire compact gris sans fossiles.
11. Calcaire oolithique gris-jaune à Dasycladacées et Textularidés, amas mûriformes de Fe.
10. Calcaire dolomitique jaune recristallisé. C/S = 0,81.
9. Calcaire compact clair à Ostracodes et Chara. Petits CN disséminés. Fe, QD, diam.: 0,030.
8. Brèche calcaire polygénique, diamètre des éléments: 5 à 8 cm. Ciment calcitique à Ostracodes et petits CN. Agrégats de quartz secondaire.
7. Calcaire compact jaune à Chara et Ostracodes.
6. Brèche calcaire polygénique. Ciment calcitique à Chara, Ostracodes et Lamellibranches. Nombreux CN surtout à la base. QD, diam.: 0,090.
5. Calcaire dolomitique cristallisé. C/S = 0,72.
4. Microbrèche dolomitique vacuolaire. C/S = 0,78.
3. Calcaire dolomitique jaune finement cristallisé. C/S = 0,72.
2. Marne dolomitique grumeleuse jaune. C/S = 0,81.
1. Calcaire dolomitique cristallisé jaune clair. C/S = 0,72.

Epaisseur totale: 19 m 36.

Portlandien: dolomie vacuolaire.

Détail de la coupe:

1. *Couches marines inférieures* (niveaux 1 à 19). — La série se compose comme toujours des trois termes suivants:

1. Calcaire dolomitique,
2. Brèche dolomitique,
3. Marne dolomitique.

Le premier cycle asymétrique est dépourvu du terme intermédiaire, tandis que le second est symétrique mais ne comporte pas le dernier terme. Ensuite un calcaire à Ostracodes entouré par deux brèches calcaires polygéniques à CN indique une tendance à l'émersion, qui s'affirme au niveau nº 9 par un calcaire à Chara reposant sur une surface continentale érodée. Le régime marin reprend alors avec une série plus profonde composée de:

1. Calcaire compact,
2. Calcaire oolithique,
3. Calcaire dolomitique.

L'enfoncement s'inscrit par un cycle inverse 3-2, puis vient une série d'oscillations n'atteignant pas le terme 3 et dont la fin est troublée par une intercalation bréchique (niveau 19) préludant à une émersion (niveau 20). Dans ces séries cycliques marines on peut refaire l'observation que la présence des oxydes de fer correspond en général au terme moyen d'un cycle quel qu'il soit.

Nous avons rencontré dans le niveau 14 une faune d'affinité nettement portlandienne comprenant les genres suivants:

Nerinea salinensis d'Orb.
Natica eudora d'Orb.
Natica aff. gigas (?) Bronn.
Pterocera Thirriae Cont.
Trigonia sp.
Ptygmatis sp.
Cardium aff. Verioti. Buv.

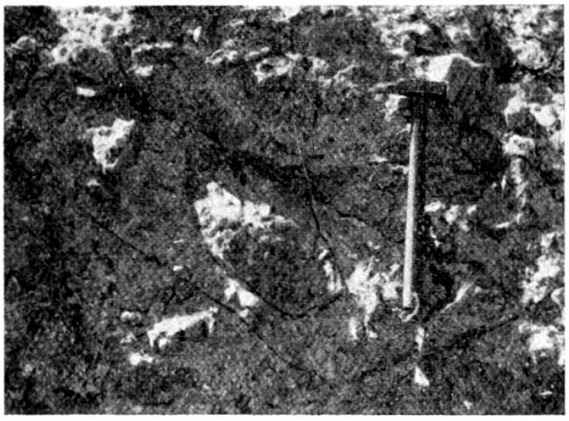


Fig. 9.
Les brèches d'écroulement de La Dôle.
Le gros bloc subanguleux du centre de la figure (diam.: 60 cm) est formé par une brèche multicolore.

Fig. 10.
Les brèches d'écroulement de La Dôle.
Le bloc anguleux d'aspect cubique (diam.: 40 cm) est formé par du calcaire portlandien. Le bloc arrondi situé au-dessus est formé par du calcaire dolomitique portlandien.

2. *Les brèches d'écroulement* (niveaux 20 à 26). — Le passage du milieu marin au milieu lacustre est marqué par plusieurs niveaux de brèches s'étendant sur plus que 5 mètres d'épaisseur, avec deux intercalations de microbrèche multicolore à Fucacées. Examinons de près la grosse brèche du niveau 23

(fig. 9 et 10), car les autres sont semblables. On peut distinguer deux séries en ce qui concerne les dimensions des éléments:

1° Petits éléments: < 5 cm de diamètre,
2° Gros éléments: 5 à 40 cm de diamètre.

Les gros éléments, sans exception, sont anguleux, certains sont parallélipipédiques. Au point de vue lithologique, on rencontre tous les termes du Portlandien et ceux du Purbeckien inférieurs aux niveaux en question.

Purbeckien:

a) marno-calcaire compact gris,
b) calcaire compact à Chara et CN,
c) calcaire compact clair à Chara,
d) calcaire microbréchique jaunâtre,
e) calcaire compact à Chara, traînées rubéfiées,
f) calcaire sapropélien [1] brun-noirâtre, finement stratifié
g) micro-poudingue multicolore.

Portlandien:

a) calcaire compact clair à grain fin,
b) calcaire oolithique blanchâtre,
c) calcaire dolomitique jaunâtre,
d) dolomie caverneuse.

Les petits éléments sont arrondis et offrent la même série lithologique, mais en plus il y a de nombreux cailloux noirs roulés à surface irrégulière.

Nous examinerons dans le chapitre de la paléogéographie le mode de formation de ces brèches et leur signification.

3. *Couches lacustres* (niveaux 27 à 41). — Elles sont entrecoupées par des niveaux bréchiques formant le premier terme d'un cycle:

1. Calcaires à Ostracodes,
2. Calcaires à Chara.

[1] *Sapropélien.* Nous désignons par ce terme un calcaire riche en matière organique colorant la pâte en bleu-noir, devenant brun en coupe mince. Voir le développement de cette question dans le chapitre des brèches multicolores.

Cette série se répète quatre fois presque sans lacunes jusqu'au niveau 39 qui marque le début de l'approfondissement précédant l'arrivée des micro-brèches du Berriasien. Dans cette série lacustre, l'apparition du fer est fréquente, liée soit au terme 1 soit au terme 2 des cycles, tandis que le quartz détritique est étroitement lié aux termes 3, indiquant la moindre profondeur. Les couches marines supérieures sont absentes et la transgression crétacée se fait directement sur les couches lacustres.

Minéraux :

1. *Le quartz.* — Il apparaît très sporadiquement et seulement aux oscillations les plus violentes, son diamètre maximum est de 0,090 mm.

2. *Le fer.* — Ainsi que nous l'avons dit plus haut, le fer est très fréquent dans la série lacustre supérieure aux termes 1 et 2 des cycles et avec son maximum de teneur aux ruptures d'équilibre.

* * *

Il est intéressant de rappeler ici les observations de Sautier et surtout de T.-H. Raven (129) sur la nature du contact entre le Purbeckien et le Valanginien dans la région de Morez-Les Rousses. Le premier de ces auteurs écrits: « ... on observe les marques significatives du violent mouvement des eaux qui s'est opéré entre les deux dépôts. Les couches valanginiennes empâtent de nombreux fragments de roches purbeckiennes et prennent un aspect bréchiforme jusqu'à 2 m au-dessus de la ligne de séparation des deux niveaux. Dans le ravin de La Chaille, à 250 m du fort des Rousses, la base du Néocomien est formée par une ou deux épaisses couches d'un véritable conglomérat, dont les volumineux fragments, arrondis ou anguleux et cimentés par les marnes purbeckiennes, appartiennent aux deux complexes. »

T.-H. Raven n'a pas retrouvé les coupes décrites par Sautier, mais sur quelques points, il a trouvé des cailloux anguleux de calcaire sublithographique purbeckien dans les couches infra-

valanginiennes. Au N de La Chaille, dans les 12 cm de la base du Crétacé; on peut voir des enclaves de calcaire compact a Chara, tandis que la masse principale est un calcaire microgrumeleux à Rhynchonelles. Le Purbeckien sous-jacent est raviné, et les fissures produites par l'érosion sont remplies de calcaire valanginien. Il ne fait aucun doute qu'il y a une liaison intime entre cette instabilité de sédimentation et celle que nous avons signalée dans la coupe du col de La Dôle.

II. *Région du col du Marchairuz-Le Brassus-Mont Tendre.*

Les environs du col du Marchairuz étudiés par A. Falconnier (32) sont d'une monotonie désespérante et nous n'avons réussi à faire qu'une seule coupe complète à Riondaz-Dessus (point 1300 m) où les couches purbeckiennes sont recoupées par la route cantonale.

Quant au domaine de la carte de D. Aubert (3), il ne nous offre qu'une belle coupe, celle de chez Villard, au-dessus du Brassus, coupe malheureusement interrompue sur 3 m environ par un chemin forestier. Les alentours du Mont Tendre sont passablement couverts et les affleurements réduits à quelques mètres carrés, c'est le cas du Purbeckien du chemin Mazel-La Racine (1 km 500 au NE du Mont Tendre). D. Aubert signale que la limite Portlandien-Purbeckien est marquée par un calcaire noirâtre très dur et peu recristallisé, riche en matériaux détritiques. Nous étudierons en détail ce faciès dans la région de Vaulion.

a) *Coupe de Riondaz-Dessus:* Pt 1300 m (fig. 11 et 12).

Berriasien: microbrèche oolithique.

27. Calcaire compact jaunâtre à zones remaniées, Ostracodes et *Globochaete alpina* Lomb. CN disséminés, QD, diam.: 0,045.
26. Calcaire pseudo-oolithique clair, les éléments contiennent des Chara et des Dasycladacées.
25. Calcaire pseudo-oolithique jaunâtre à ciment grumeleux, débris de Chara et Foraminifères. Débris d'un calcaire rubéfié. QD, diam.: 0,030.

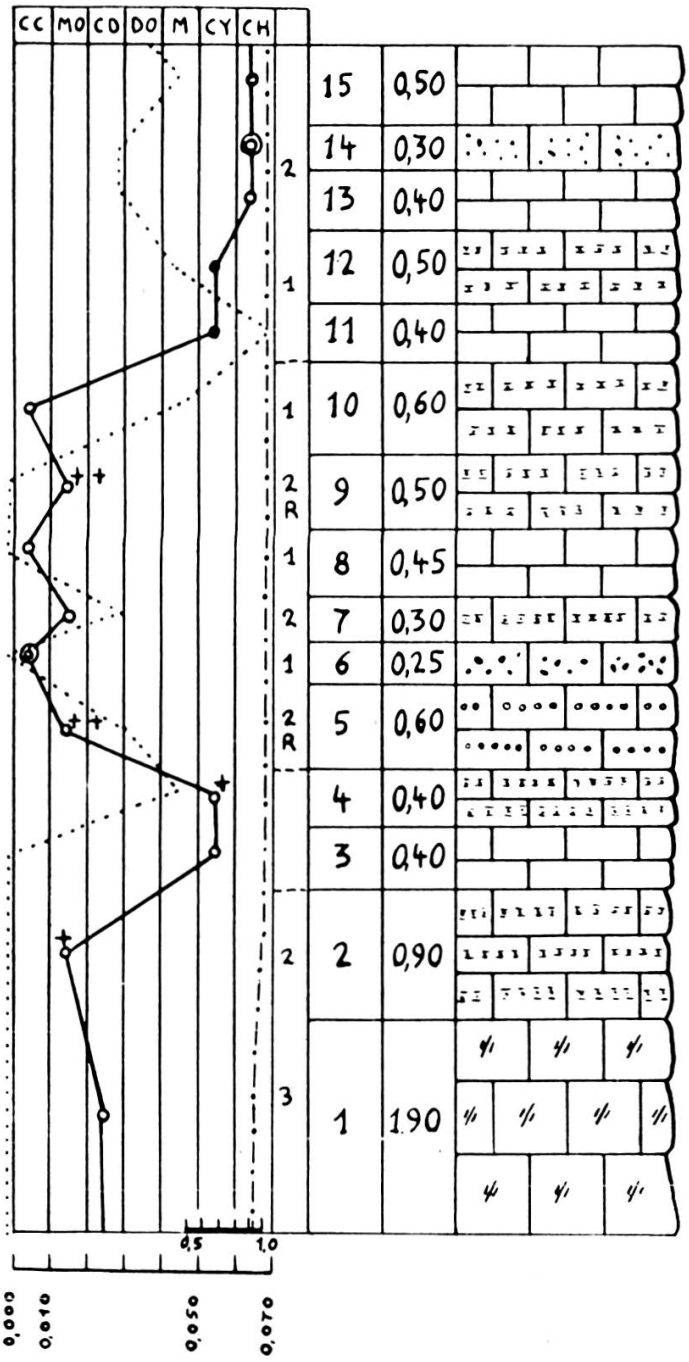


Fig. 11.
Coupe de Riondaz-Dessus.
Echelle 1 : 75.

24. Calcaire compact micro-grumeleux à petits débris de Chara. QD, diam.: 0,030.
23. Calcaire grumeleux, à niveaux pseudo-oolithiques à débris noirs, Chara, Ostracodes, Clypeines, Fe, QD, diam.: 0,030.

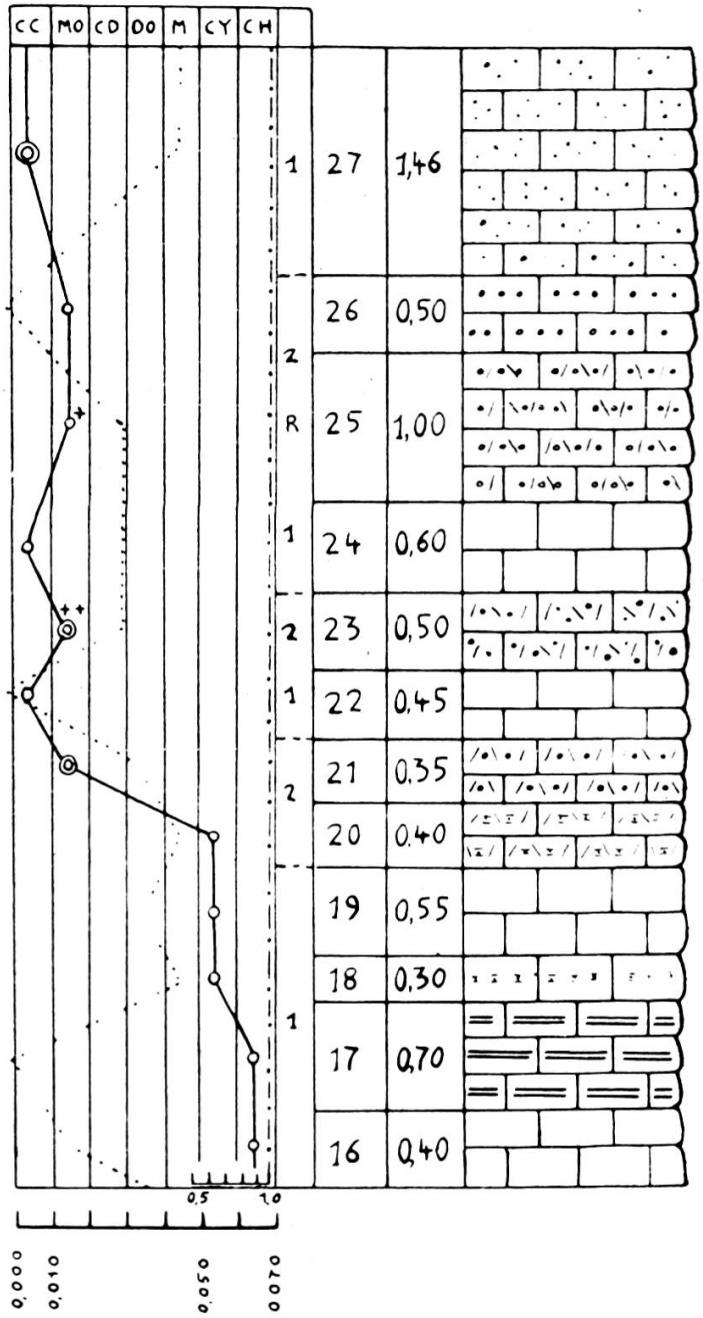


Fig. 12.
Coupe de Riondaz-Dessus *(suite)*.
Echelle 1 : 75.

22. Calcaire compact clair.
21. Calcaire micro-bréchique et pseudo-oolithique clair à Chara, Clypeines, Textularidés et Ostracodes. Petits CN, QD, diam.: 0,035.

20. Calcaire très grumeleux à Chara, Clypeines et Ostracodes QD, diam.: 0,045.
19. Calcaire grumeleux à Chara, Ostracodes et rares Clypeines. QD, diam.: 0,035.
18. Calcaire fin blanchâtre à Ostracodes et rares Chara, QD. diam.: 0,045.
17. Calcaire compact gris-clair à niveaux schistoïdes.
16. Calcaire compact clair à Chara et Ostracodes, QD, diam.: 0,015.
15. Calcaire grumeleux clair à Chara et Ostracodes. QD. diam.: 0,045.
14. Calcaire micro-grumeleux à Chara et Ostracodes, quelques Gastéropodes, petits CN, QD, diam.: 0,030.
13. Calcaire compact clair à rares Chara, QD, diam.: 0,030.
12. Calcaire grumeleux à débris de Chara et Ostracodes. QD. diam.: 0,045.
11. Calcaire compact clair à débris de Chara et Ostracodes, tests de Lamellibranches, QD, diam.: 0,075.
10. Calcaire grumeleux gris-jaune à *Coscinoconus alp.* et *elong.* et rares Foraminifères. Fe, QD, diam.: 0,045.
9. Calcaire pseudo-oolithique gris à éléments rouges, débris de Chara, tests de Lamellibranches et rares Foraminifères.
8. Calcaire jaune clair finement cristallisé.
7. Calcaire pseudo-oolithique gris à débris de Chara, Clypeines et tests de Lamellibranches. QD, diam.: 0,030.
6. Calcaire compact gris sombre à Chara, Clypeines et Ostracodes. Petits CN.
5. Calcaire micro-conglomératique zoogène à éléments ferrugineux. Textularidés, Miliolidés, *Coscinoconus alpinus* et *elongatus*, Echinodermes, Clypeines, Fe, QD, diam.: 0,030.
4. Calcaire grumeleux et pseudo-oolithique à débris de Chara, Ostracodes et tests de Lamellibranches. Fe, QD, diam.: 0,045.
3. Calcaire compact gris à débris de Chara et d'Ostracodes.
2. Calcaire grumeleux jaune clair, Textularidés, Miliolidés, Lamellibranches, Echinodermes, *Coscinoconus alpinus* et *elongatus*, Fe.

1. Calcaire faiblement dolomitique jaune-orange, cristallisé et vacuolaire. C/S = 0,95.

Epaisseur totale: 15 m 61.

Portlandien: dolomie caverneuse.

Détail de la coupe:

1. *Couches marines inférieures* (niveaux 1 à 10). — La série lithologique comprend:

1. Calcaire compact,
2. Calcaire oolithique,
3. Calcaire dolomitique.

Le premier cycle d'affaissement (3, 2) est suivi par un soulèvement qui atteint le stade lacustre-saumâtre. Les dernières séries cycliques indiquent par leur symétrie (2, 1, 2, 1, 2, 1) deux oscillations avant l'émersion principale.

L'apparition du fer se fait toujours au terme moyen, donc dans les calcaires oolithiques.

2. *Couches lacustres* (niveaux 11 à 20). — Elles forment un ensemble symétrique représenté par des calcaires à Chara (2) encadré par des calcaires à Ostracodes (1).

3. *Couches marines supérieures* (niveaux 21 à 27). — Nous retrouvons la même série des couches inférieures, cependant le terme supérieur dolomitique n'est pas atteint, la série restant dans des profondeurs plus grandes. Un cycle avorté réduit au terme 2 fait le passage depuis les couches lacustres, ensuite se développe un cycle asymétrique incomplet (1-2) et de nouveau une oscillation parfaitement symétrique (1-2-1) termine les couches purbeckiennes. On peut refaire ici l'observation sur la présence du fer dans le terme 2.

Minéraux:

1. *Le quartz.* — Très abondant dans cette coupe, il est parfaitement lié aux oscillations de la courbe des faciès, son diamètre maximum se présente dans les couches de passage au milieu lacustre, avec 0,075 mm puis l'on retrouve le minimum

des couches à Chara, ensuite le parallélisme des deux courbes reprend.

2. *Le fer.* — Toujours liés aux termes 2 des cycles marins, les oxydes de fer sont ici absents dans la série lacustre.

b) *Coupe de Chez Villard:* Pt 1260 m (fig.13 et 14).

Berriasien: microbrèche oolitique jaunâtre.

34. Microbrèche oolithique jaunâtre.
33. Calcaire compact pseudo-oolithique jaune à Dasycladacées, *Coscinoconus alp.* et *elong.*, Foraminifères, Echinodermes, Lamellibranches. QD, diam.: 0,075, Fe.
32. Calcaire compact clair microgrumeleux, à rares débris de Chara et d'Ostracodes. QD, diam.: 0,045.
31. Calcaire quartzifié blanc. Fe.
30. Calcaire pseudo-oolithique jaunâtre à Foraminifères, Chara et Ostracodes, Fe, QD, diam.: 0,015.
29. Microbrèche oolithique jaune à Foraminifères, Echinodermes et Lamellibranches.
28. Calcaire grumeleux à débris de Chara, Clypeines et Ostracodes. Fe.
27. Microbrèche oolithique jaune à Dasycladacées, Chara et Foraminifères.
26. Calcaire grumeleux clair sans organismes.
25. Microbrèche calcaire à débris de Chara. QD, diam.: 0,030.
24. Calcaire vacuolaire jaunâtre.
23. Calcaire compact clair sans organismes.
22. Calcaire bréchique jaunâtre à Chara et Ostracodes, quartz secondaire.
21. Calcaire compact micro-grumeleux à débris organiques recristallisés, QD, diam.: 0,060.
20. Calcaire compact clair sans organismes.

Niveau couvert.

19. Calcaire compact à Chara et Ostracodes. Fe.
18. Calcaire faiblement dolomitique jaune farineux. C/S = 0,96.
17. Marne dolomitique jaune clair. C/S = 0,80.
16. Calcaire compact à Chara et Ostracodes, quelques Clypeines. QD, diam.: 0,015.

15. Calcaire compact clair sans organismes.
14. Calcaire micro-grumeleux à Fucacées. QD, diam.: 0,015.
13. Marno-calcaire plaqueté sans organismes.
12. Calcaire grumeleux gris-jaune à Ostracodes et rares Chara, petits CN, Fe, QD, diam.: 0,030.
11. Calcaire compact clair à petits débris de Chara et d'Ostracodes. QD, diam.: 0,045.
10. Brèche calcaire recristallisée (diamètre maximum des éléments: 4 cm).
9. Microbrèche calcaire à CN, Ostracodes, rares Foraminifères et Chara, Fe.
8. Brèche calcaire recristallisée (diamètre maximum des éléments: 4 cm).
7. Calcaire compact clair à débris d'Ostracodes et de Chara. QD, diam.: 0,015.
6. Calcaire grumeleux jaunâtre à Ostracodes et de Chara, Fe, QD, diam.: 0,075.
5. Microbrèche calcaire jaunâtre à Ostracodes et Chara. Fe, quartz secondaire.
4. Brèche calcaire à ciment dolomitique.
3. Microbrèche calcaire jaune à géodes de recristallisation.
2. Calcaire compact jaunâtre à traînées ferrugineuses.
1. Alternances confuses de calcaire dolomitique cristallisé (C/D = 0,72) et de marne dolomitique jaunâtre (C/S = 0,81) avec passage vers le bas à la dolomie vacuolaire.

Epaisseur totale: 15 m 55.

Portlandien: dolomie vacuolaire.

Détail de la coupe:

1. *Couches marines inférieures* (niveaux 1 à 5). — Elles se composent d'alternances confuses de calcaires dolomitiques et de marnes dolomitiques, esquissant des cycles incomplets, dépourvus de leur terme moyen: les brèches dolomitiques.

2. *Couches lacustres* (niveaux 6 à 25). — Les couches d'eau douce ne sont pas continues sur toute leur épaisseur, par deux

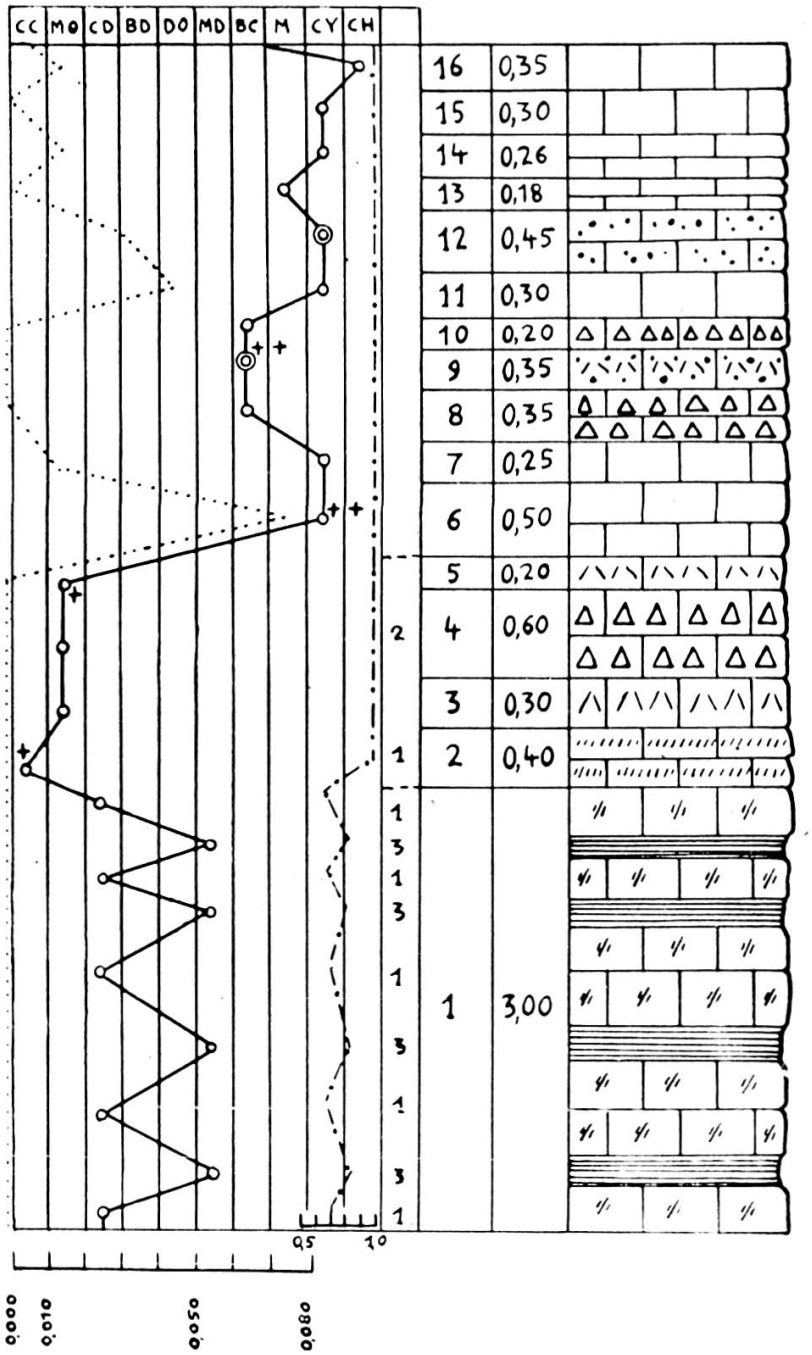


Fig. 13.
Coupe de Chez Villard.
Echelle 1 : 75.

fois l'eau marine viendra troubler la sédimentation. La première invasion, peu importante, se marque dans les couches 8 à 10, par des brèches et des microbrèches calcaires à CN, témoignant des mouvements du fond. Ensuite la série lacustre est de nou-

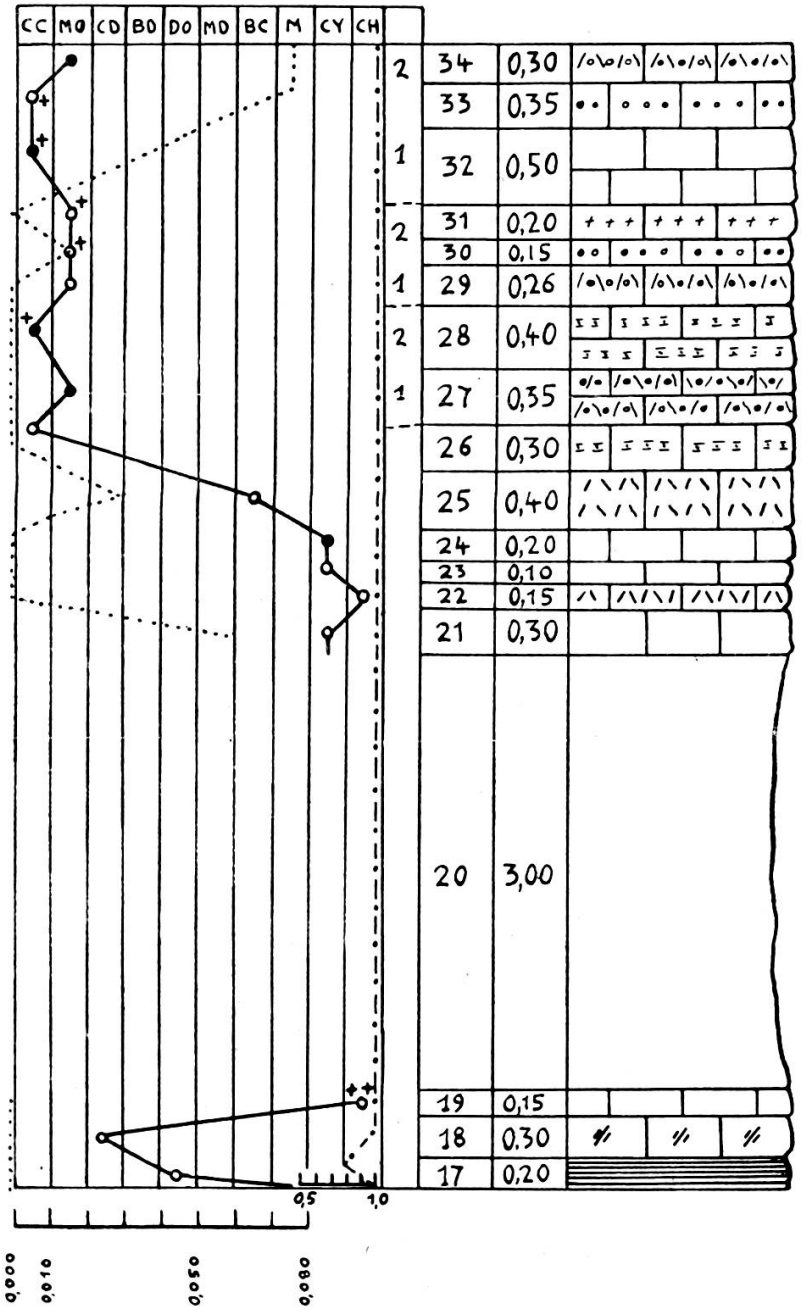


Fig. 14.
Coupe de Chez Villard *(suite)*.
Echelle 1 : 75.

veau coupée par la seconde invasion marine (niveaux 17 à 18) qui apporte des marnes et calcaires dolomitiques, puis pour la dernière fois une couche de calcaire à Chara se présente avant les niveaux marins supérieurs.

3. *Couches marines supérieures* (niveaux 26 à 34). — Les cycles sédimentaires se composent ici de deux termes:

1. Calcaire compact,
2. Microbrèche oolithique.

Trois cycles complets se succèdent jusqu'aux microbrèches oolithiques jaunes du Crétacé inférieur. L'arrivée du fer se fait soit aux termes 2, soit plus rarement aux termes 1.

Minéraux:

1. *Le quartz.* — Absent dans les couches dolomitiques de base, il atteint son diamètre maximum de 0,045 mm pendant les deux premières émersions, puis son diamètre diminue rapidement et il semble indépendant des oscillations de la partie supérieure de la série.

2. *Le fer.* — Il est peu développé dans cette coupe, sa liaison, en milieu marin, avec les termes 1 et 2 des cycles est nette, en milieu lacustre, la teneur devient assez forte aux maxima de la courbe des faciès.

c) *Mont Tendre–Le Mazel.*

Nous ne pouvons rien ajouter à ce que D. Aubert écrit dans (3): « Sur le chemin qui conduit de la Racine au Chalet de Yens, sur le versant NW du Mont Tendre, on peut observer, intercalé dans des formations dolomitiques, un calcaire microgrenu à petits CN, tout à fait semblable à ceux que l'on trouve plus haut dans les brèches purbeckiennes. » Malheureusement, aucune coupe n'est possible dans cette région, nous pouvons seulement confirmer que la base du Purbeckien y est formée par une brèche grossière, à éléments anguleux oxydés d'origine portlandienne, ensuite viennent les calcaires gris à Chara. C'est exactement la même série que l'on observe à Marais-Rouge, nous reviendrons plus loin sur cette comparaison.

III. *Région de Vaulion-Col du Mollendruz-Premier.*

Depuis l'étude de Maillard (74), la coupe de Vaulion a été passablement dégagée lors de la construction de la route can-

tonale; on peut la voir complète au S du point 1131 m, à Pétrafelix.

Une autre coupe, décrite par T. Nolthenius (94), se voyait dans le lit du ruisseau du bois de Mollendruz; actuellement elle est en partie masquée par des glissements, cependant nous avons pu en vérifier certaines parties et, abstraction faite des éboulis et du manque de précision qui en résulte, elle nous a fourni de précieuses indications.

Afin de savoir quelle est l'allure du Purbeckien vers le S, nous avons encore effectué une coupe au N du village de Premier, dans le bois de la Rapettaz (point 916 m), au-dessus de Romainmôtier.

a) *Coupe de Vaulion-Pétrafelix:* Pt 1131 m (fig. 15).

Berriasien: calcaire oolithique jaunâtre.

17. Calcaire oolithique à éléments de calcaire rubéfié. Ciment à Ostracodes. Fe.
16. Calcaire bréchique et pseudo-oolithique à débris de calcaire rubéfié. Ciment à Ostracodes et Dasycladacées. QD, diam.: 0,045.
15. Calcaire pseudo-oolithique à éléments de calcaire rubéfié à Chara et Foraminifères. Ciment grumeleux à Ostracodes. Fe, QD, diam.: 0,015.
14. Calcaire compact clair à Chara et Ostracodes. QD, diam.: 0,030.
13. Calcaire compact gris-jaune à Chara et Ostracodes. QD, diam.: 0,030.
12. Calcaire compact gris à Chara et Ostracodes.
11. Calcaire micro-conglomératique à éléments brun-noir à Fucacées. Ciment à Chara, Ostracodes et rares Foraminifères. Fe, QD, diam.: 0,030.
10. Calcaire compact clair, en gros bancs, schisteux à la base. Rares Ostracodes, Fe, QD, diam.: 0,030.
9. Alternances de micro-poudingue multicolore à éléments noirs, ciment à Ostracodes et Lamellibranches, Fe, QD, diam.: 0,100, avec des marnes brunes plaquetées à petits CN. Fe.

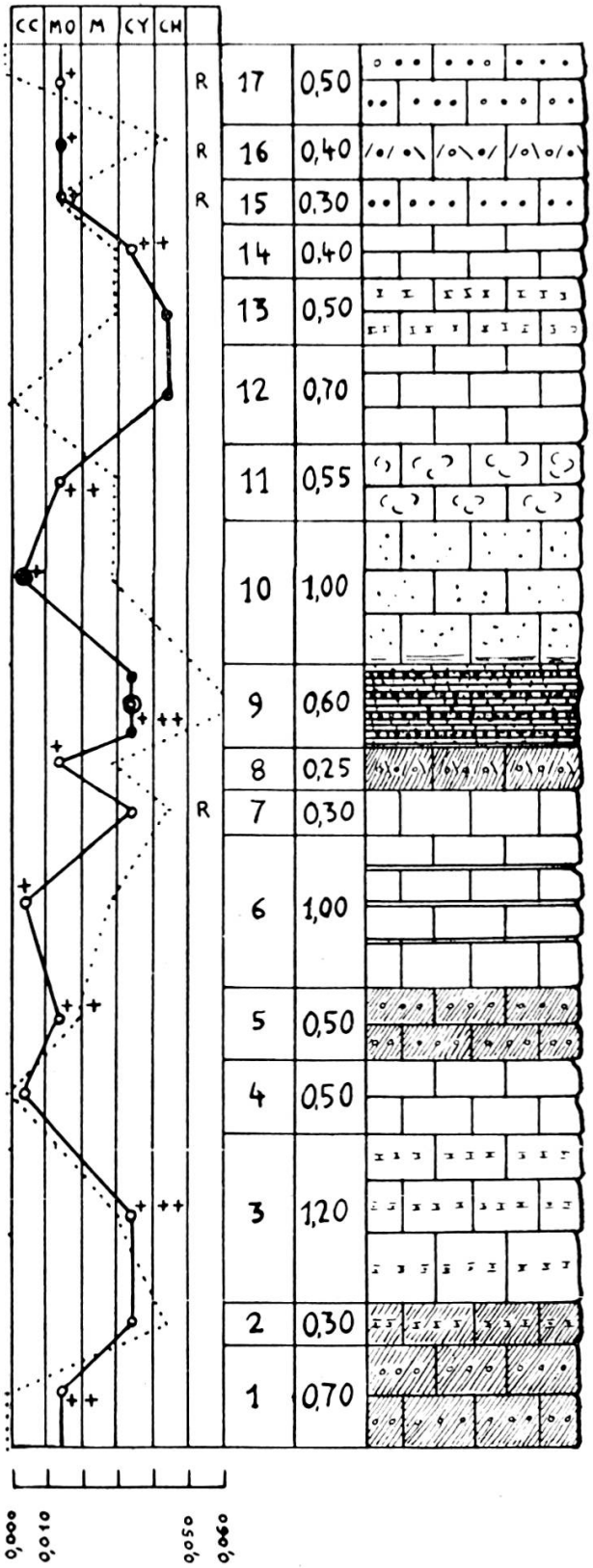


Fig. 15.
Coupe de Vaulion-Pétrafelix.
Echelle 1 : 75.

8. Calcaire micro-bréchique et pseudo-oolithique à éléments bruns et bleutés, rares Ostracodes. QD, diam.: 0,030. Fe.
7. Calcaire compact clair à Chara et Ostracodes, débris de calcaire rubéfié. QD, diam.: 0,045.
6. Calcaire compact clair conglomératique à zones schisteuses, Chara, Fucacées et débris de bois flottés, Fe, QD, diam.: 0,030.
5. Calcaire grumeleux et pseudo-oolithique à éléments bleutés. Ciment à Ostracodes et Lamellibranches. QD, diam.: 0,020, Fe.
4. Calcaire compact clair à grain fin, par places conglomératique, à thalles et Fucacées recristallisés.
3. Calcaire grumeleux jaune à débris de Chara, conglomératique par places, Fe, QD, diam.: 0,030.
2. Calcaire grumeleux sapropélien bleu-noir à zones de concentration, Chara, Ostracodes et rares Foraminifères. QD, diam.: 0,045.
1. Calcaire grumeleux et pseudo-oolithique sapropélien bleu-noir à Chara, Foraminifères, Dasycladacées et Lamellibranches. Fe.

Epaisseur totale: 9 m 70.

Portlandien: calcaire compact blanc, conglomératique par endroits, devenant plaqueté vers le bas.

Détail de la coupe:

La série de Vaulion-Pétrafélix montre une histoire géologique assez mouvementée, les couches de base (1 à 3) sont de teinte bleu-noir et lacustres, puis viennent des sédiments marins à Fucacées (4 à 6) faisant passage à des termes lacustres riches en cailloux noirs et en brèches multicolores. La mer revient ensuite avec des calcaires compacts et pseudo-oolithiques (niveaux 10 et 11). Puis la sédimentation lacustre reprend avec des calcaires à Chara (12 à 14), ensuite l'enfoncement final est marqué par des calcaires oolithiques, à débris de calcaires rubéfiés assez riches en Dasycladacées.

Minéraux :

1. *Le quartz.* — Parallélisme très net entre la courbe de variation du quartz et celle des faciès, le maximum atteint ici: 0,102 mm.

2. *Le fer.* — Très abondant dans cette série, la teneur maximum correspond aux émersions et la liaison avec la courbe des faciès est assez bonne.

b) *Coupe du ruisseau du bois de Mollendruz* (fig. 16, 17, 18).

En reprenant l'étude de cette coupe, nous nous sommes aperçu que la plupart des éboulis décrits par Nolthenius (94) couvraient en réalité les contacts entre certains bancs. Nous avons donc figuré *la coupe comme continue* afin d'avoir une idée de l'ensemble.

Berriasien: microbrèche oolithique jaunâtre.

18. Calcaire compact gris à oolithes fondues, en haut irrégulières, en bas régulières.
17. Calcaire marneux à oolithes noires, débris de bivalves et oursins.
16. Calcaire marneux à Chara et Foraminifères, petits débris de CN.
15. Calcaire oolithique clair.
14. Microbrèche oolithique gris foncé.
13. Calcaire compact gris à Chara, petits débris de CN.
12. Microbrèche gris blanche à cassure porcelanée, à Chara et *Coprolithus salevensis* Par. Rares débris de CN.
11. Calcaire oolithique gris à Foraminifères.
10. Calcaire compact porcelané gris, à traînées oolithiques à Chara.
9. Calcaire oolithique gris-brun.
8. Calcaire oolithique gris-brun.
7. Microbrèche compacte, très fine à Foraminifères, petits débris de CN.
6. Calcaire compact gris.
5. Conglomérat polygénique analogue à celui du niveau n° 3.

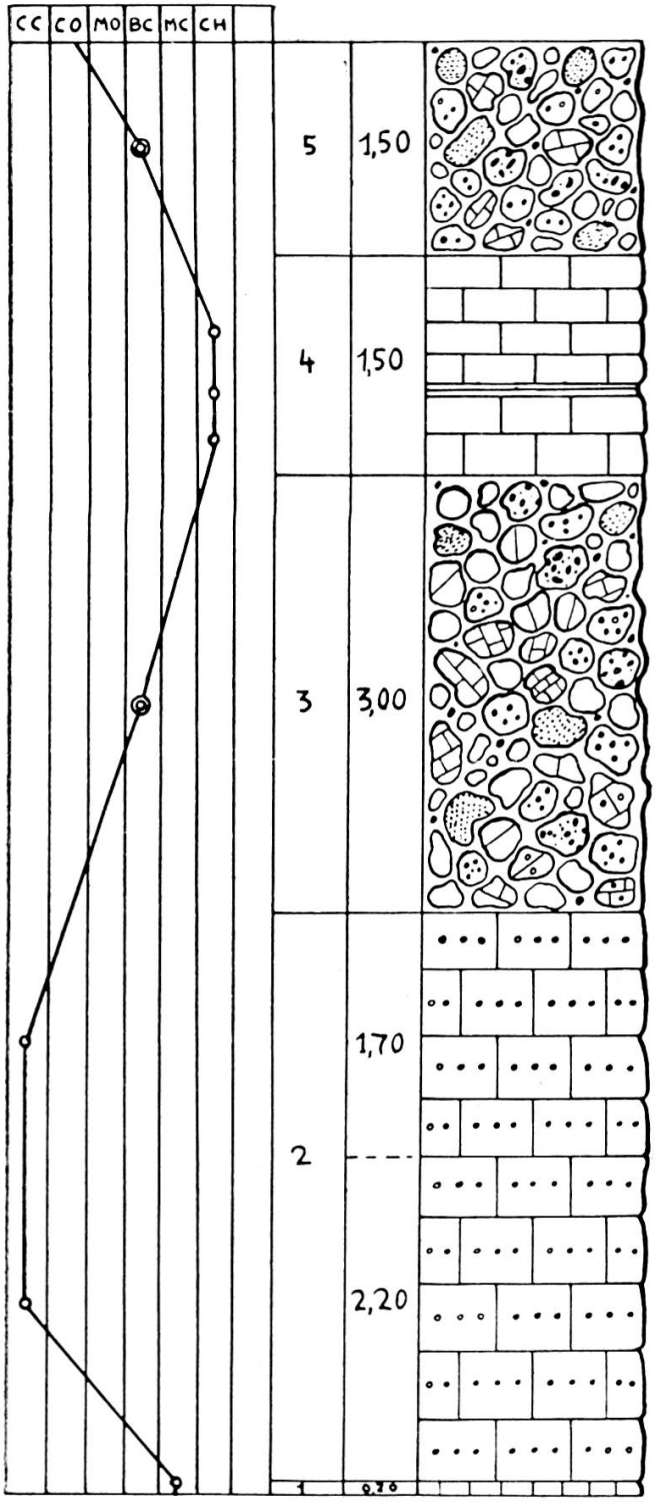


Fig. 16.
Coupe du bois de Mollendruz.
Echelle 1 : 75.

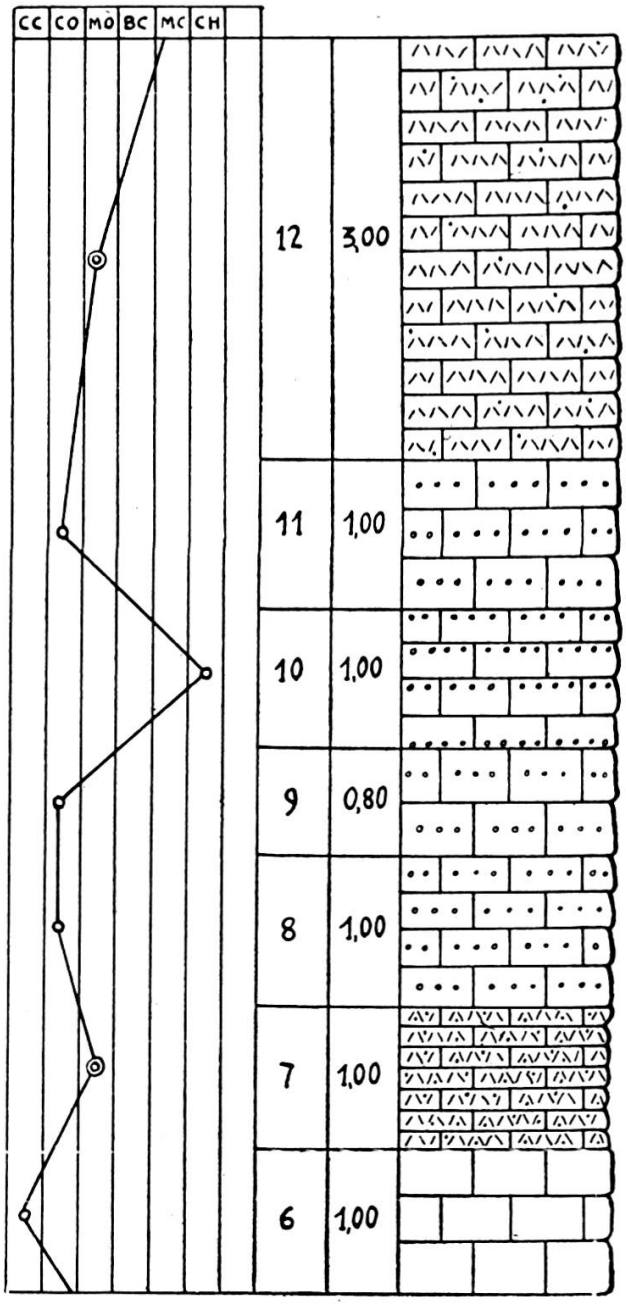


Fig. 17.
Coupe du bois de Mollendruz *(suite)*.
Echelle 1 : 75.

4. Niveau formé de deux bancs de calcaire compact gris-bleu fétide avec une intercalation de marne.
3. Conglomérat polygénique avec blocs de:

   a) calcaire oolithique versicolore à petits CN,

   b) microbrèche fine à CN,

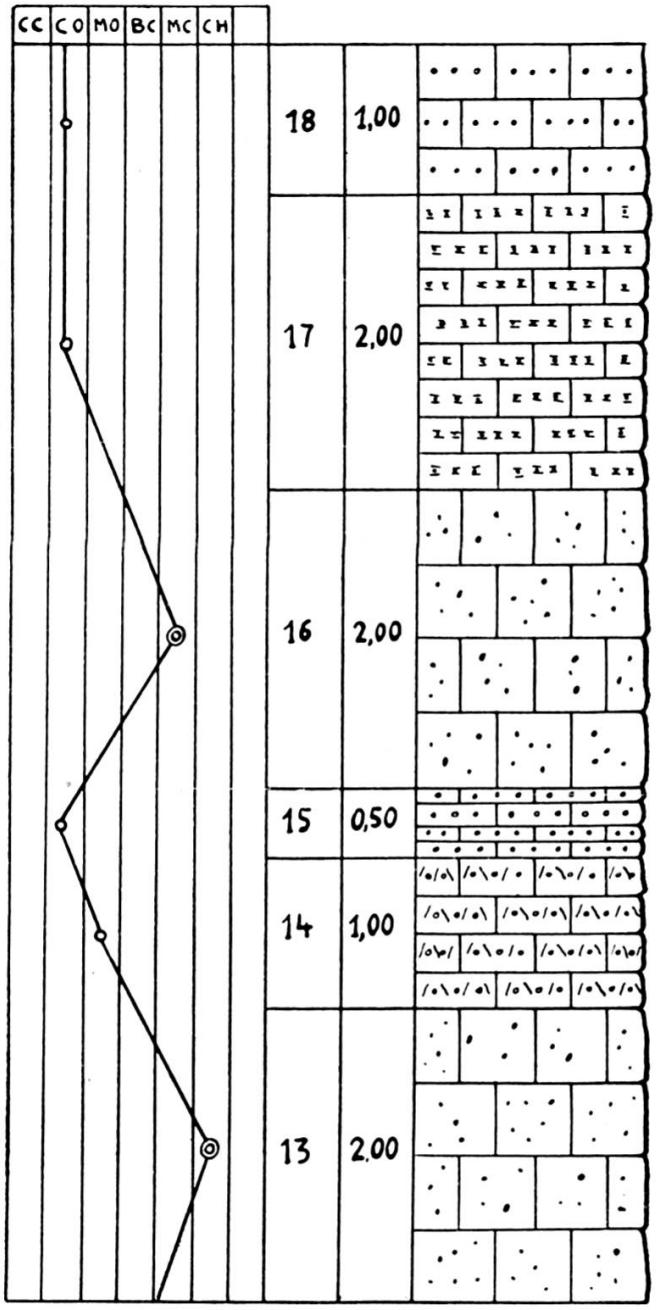


Fig. 18.
Coupe du bois de Mollendruz *(suite)*.
Echelle 1 : 75.

c) calcaire oolithique gris,

d) micro-poudingue multicolore à Chara dans le ciment et les éléments.

2. Calcaire oolithique fin, gris, compact à *Coprolithus salevensis* Par.

1. Calcaire marneux.

Epaisseur totale: 27 m 40.

Portlandien: calcaire dolomitique compact.

Détail de la coupe:

Cette épaisse série montre des mouvements très atténués du fond de la mer et jusqu'au niveau 9 la série reste entièrement marine, une oscillation symétrique allant du niveau 2 à 6 montre une tendance à l'émersion qui s'est éteinte au stade des marnes. Elle est encadrée par deux épais niveaux de conglomérats polygéniques témoignant du déséquilibre du fond marin. Ensuite la série sédimentaire témoigne d'une plus grande agitation, précédée par les arrivées de CN du niveau 7. Trois émersions successives se marquent par des couches à Chara avec des CN, séparées par autant d'épisodes marins à calcaires compacts ou à microbrèches oolithiques. Il est téméraire de vouloir déterminer des cycles dans cette série, où seuls les termes extrêmes semblent avoir subsisté.

c) *Coupe de Premier:* Bois de la Rapettaz (fig. 19).

Contrastant avec la coupe précédente, les couches purbeckiennes ne dépassent ici pas 5 m d'épaisseur et se présentent comme suit:

Berriasien: calcaire oolithique et échinodermique jaune.

8. Marnes compactes gris-jaunes.
7. Calcaire microbréchique et pseudo-oolithique à Ostracodes, Echinodermes, Lamellibranches et Miliolidés, QD, diam.: 0,055.
6. Calcaire compact clair à Chara noires, Clypeines et Ostracodes.
5. Calcaire compact à zones pseudo-oolithiques. Echinodermes, Dasycladacées, QD, diam.: 0,015.
4. Calcaire compact jaunâtre à Ostracodes, *Coscinoconus*, Miliolidés et Dasycladacées, QD, diam.: 0,045.
3. Calcaire pseudo-oolithique à Textularidés, Miliolidés, Echinodermes, *Coscinoconus*.

2. Calcaire compact clair pseudo-oolithique à débris de Chara. Miliolidés, Lamellibranches, Fe, QD, diam.: 0,030.
1. Calcaire compact gris azoïque.

Epaisseur totale: 4 m 75.

Portlandien: calcaire compact plaqueté.

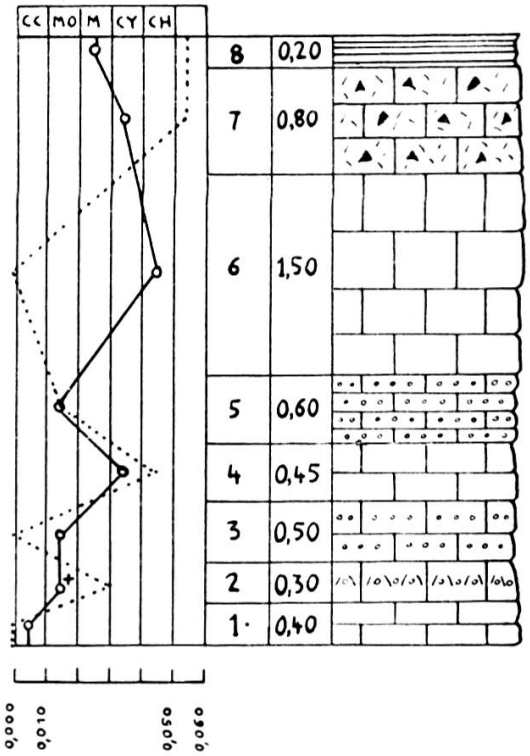


Fig. 19.
Coupe de Premier.
Echelle 1: 75.

Détail de la coupe:

Cette série complète, malgré son épaisseur réduite, débute par des couches marines, puis une tendance à l'émersion se dessine par le calcaire à Ostracodes du niveau 4, ensuite le milieu marin fait apparition avec des calcaires pseudo-oolithiques précédant une nette émersion avec calcaires à Chara (niveau 6), suivis par les faciès saumâtres à Dasycladacées préludant à la transgression crétacée.

Minéraux :

1. *Le quartz.* — Les variations de diamètre sont assez nettement liées à celles des faciès, le maximum de 0,045 est atteint avec la première émersion, puis on retrouve le minimum correspondant aux calcaires à Chara. Le diamètre augmente de nouveau fortement (diam,: 0,055) dans les marnes supérieures.

2. *Le fer.* — Il est presque absent.

IV. *Région de Ballaigues-Les Clées.*

Maillard (74) a signalé à Ballaigues de rares affleurements qu'il nous a été impossible de retrouver. Voici ce qu'il écrit: « Les couches d'eau douce sont remplacées par des brèches à cailloux noirs, à ciment calcaire, on trouve épars dans la roche des débris de grès et de brèches. Les marnes à gypse sont dures, noires et grossières, chargées de bitume en poches. » En ce qui concerne Les Clées, il a noté: « Les marnes supérieures calcaires gris-brun, à grains noirs, charbonneuses, des cargneules, des argiles lourdes, grises et bitumineuses, et les marnes noires à cristaux de quartz. »

Nous sommes ici à la limite du faciès des marnes à gypse qui se développent largement au N, et dans la coupe des Clées le faciès va changer assez rapidement.

Dans la même région, Nolthenius (94) signale des traces charbonneuses, en face du viaduc du chemin de fer du Day et au même endroit, une surface plane sur un calcaire oolithique qui représente soit la base du Valanginien, soit le haut du Purbeckien. Depuis cette surface qui est recouverte par une mince couche de marne, des trous de lithophages descendent dans le calcaire. Dernièrement, Custer (25) a donné une stratigraphie de la coupe des Clées, malheureusement bien incomplète, mais dont nous avons retrouvé la plupart des niveaux.

Coupe des Clées (fig. 20).

Berriasien: calcaire échinodermique jaunâtre.

15. Calcaire oolithique et pseudo-oolithique brun clair à ciment calcitique. Les éléments contiennent: Chara, Ostracodes,

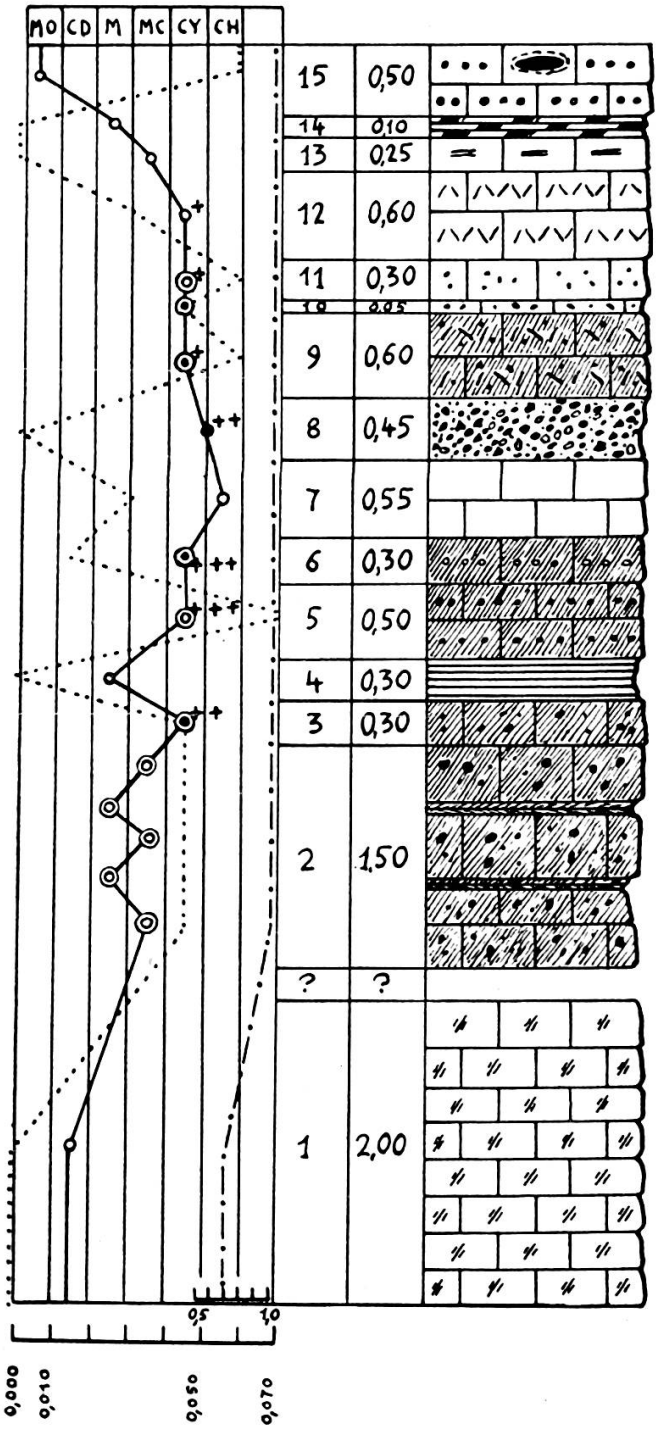


Fig. 20.
Coupe des Clées.
Echelle 1 : 75.

Foraminifères et Dasycladacées. Fe, QD, diam.: 0,060. Par places délits marneux et une lentille de charbon.

14. Marnes grumeleuses brunes, à zones bitumineuses.
13. Marno-calcaire tendre verdâtre, sans fossiles.
12. Calcaire microbréchique à rares Ostracodes. Fe, QD, diam.: 0,030.
11. Calcaire compact microgrumeleux à Chara, Ostracodes et CN à Chara. Fe, QD, diam.: 0,060.
10. Calcaire marneux grumeleux gris à Chara, Ostracodes et Fucacées. Débris de CN à Chara. Fe, QD, diam.: 0,060.
9. Calcaire microbréchique sapropélien à Chara, Ostracodes, Lamellibranches, Gastéropodes, CN anguleux disséminés, Fe, QD, diam.: 0,060.
8. Micropoudingue multicolore, ciment calcitique à Chara, Fe.
7. Calcaire compact grumeleux à Chara, Ostracodes et Gastéropodes, QD, diam.: 0,030.
6. Calcaire pseudo-oolithique sapropélien à débris rouges. Foraminifères, Chara, Lamellibranches, Fe, QD, diam.: 0,015.
5. Calcaire pseudo-oolithique sapropélien à zones de concentration de matière organique. Chara, Ostracodes et Fucacées. Fe, QD, diam.: 0,075.
4. Marnes grumeleuses brunes.
3. Calcaire microgrumeleux sapropélien à CN en formation dans la pâte. Chara, Ostracodes, Gastéropodes, Fe, QD, diam.: 0,045.
2. Marnes et marno-calcaires sapropéliens gris-brunâtres à stratification confuse. CN assez gros en formation. Fe, QD, diam.: 0,045.
1. Calcaire dolomitique caverneux. C/S = 0,71.

Epaisseur totale: environ 8 m 30.

Portlandien: calcaire dolomitique caverneux (cf. niveau nº 1).

Détail de la coupe:

La série des Clées peut-être considérée comme parfaitement symétrique, en effet, le faciès marin marneux persiste jusqu'au

niveau 5, excepté la petite émersion du terme 3. Ensuite la série lacustre s'implante, représentée par des couches à Chara encadrées par des couches à Ostracodes, puis dès le niveau 13, le faciès saumâtre à Dasycladacées lui succède, pour passer graduellement au calcaire échinodermique.

Minéraux :

1. *Le quartz.* — La variation de diamètre est liée étroitement à la courbe des faciès, le maximum de 0,075 mm est atteint au début de l'émersion, puis on retrouve le minimum correspondant aux couches à Chara, et un nouveau maximum avant l'enfoncement.

2. *Le fer.* — Assez abondant dans cette série, la teneur maximum est atteinte aux ruptures d'équilibre précédant et suivant l'émersion.

V. *Région de Baulmes–Six-Fontaines–Côte-aux-Fées–Mont Aubert.*

La meilleure coupe des environs de Baulmes est celle du bois de Pipechat au lieu-dit Les Feurtilles. Décrite en premier par Schardt (139), elle a été étudiée ensuite de façon approfondie par Maillard (74, 75), qui y a récolté une faune abondante, soutout dans les couches lacustres et saumâtres supérieures. Rittener (133) mentionne la coupe en disant qu'elle se couvrait de plus en plus. Et récemment Custer (25) signale simplement que le premier banc du Berriasien, est un calcaire oolithique brunâtre, à débris noirs remaniés.

Il subsiste encore un doute au sujet de la coupe de Feurtilles, en effet Schardt signale à la base une lentille de gypse, Maillard n'en fait aucune mention, et Rittener n'a retrouvé nulle part trace de gypse dans tout le territoire de sa monographie. Notre coupe, comparée avec celles des régions voisines, semble complète, bien que le contact avec les dolomies portlandiennes n'ait pas pu être délimité avec précision. Dans la coupe de Six-Fontaines, nous avons observé une couche de marnes noires compactes, qui pourrait bien être un ultime témoin vers le S

des marnes à gypse. D'autre part tous les affleurements de la Côte-aux-Fées étant mauvais, nous manquons de documents de comparaison précis. Rittener a signalé des fragments de dolomie blanche, saccharoïde, à cristaux de quartz et de cargneule jaunâtre (dolomie vacuolaire) entre la Limasse et les Etroits. En tout cas, les marnes à gypse pourraient exister dans la région de la Côte-aux-Fées, mais avec une épaisseur réduite; en revanche dans la zone de Baulmes il n'y a aucun argument en faveur de leur existence.

a) *Coupe de Feurtilles* (fig. 21 et 22).

La base étant invisible, la numérotation a été faite de haut en bas. Pour des raisons graphiques l'échelle de cette coupe a été doublée.

Berriasien: calcaire spathique et échinodermique rose à Térébratules. Débris noirs remaniés.

1. Marne schisteuse jaunâtre sans fossiles.
2. Marno-calcaire grumeleux gris à Ostracodes et débris de Chara. Fe et débris d'un calcaire rubéfié. QD, diam.: 0,075.
3. Calcaire marneux grumeleux gris-verdâtre à Ostracodes et débris de Chara et de graines de conifère. Fe et débris d'un calcaire rubéfié. QD, diam.: 0,060.
4. Marne grumeleuse gris-brun, microconglomératique, à éléments de calcaire clair et noir à Chara. Ciment à Ostracodes, Fe, QD, diam.: 0,045.
5. Calcaire compact clair à Chara et Ostracodes, Gastéropodes, QD, diam.: 0,045.
6. Calcaire microbréchique grumeleux à éléments noirs et rouges, Chara, Ostracodes et Lamellibranches. QD, diam.: 0,050.
7. Marno-calcaire gris-brun grumeleux et schistoïde à rares Ostracodes. QD, diam.: 0,060.
8. Calcaire grumeleux gris-bleu à Ostracodes, Lamellibranches et *Coprolithus salevensis* Par., débris rouges d'un calcaire à Textularidés. QD, diam.: 0,075, base irrégulière.
9. Marne grumeleuse brun-rougeâtre, microconglomératique à éléments de calcaire clair et noir à Chara.

10. Calcaire finement grumeleux gris clair à rares Ostracodes, QD, diam.: 0,075.
11. Marno-calcaire schisteux gris-verdâtre.
12. Calcaire grumeleux. QD, diam.: 0,075.

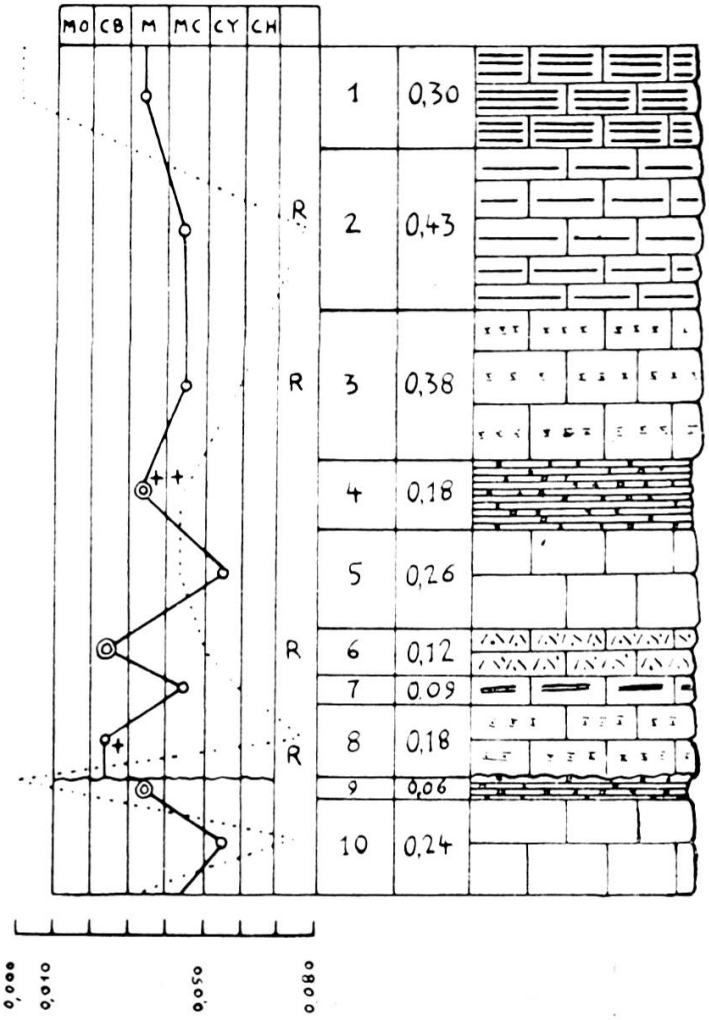


Fig. 21.
Coupe de Feurtilles.
Echelle 1 : 35.

13. Même niveau que nº 11.
14. Marno-calcaire grumeleux gris à débris de Chara et d'Ostracodes. QD, diam.: 0,045.
15. Calcaire compact gris clair à débris de Chara et d'Ostracodes.
16. Calcaire microbréchique à Chara et Ostracodes, quelques CN, QD, diam.: 0,060.

17. Marno-calcaire grumeleux et schistoïde gris-brun.
18. Calcaire finement grumeleux à débris de Chara et Ostracodes, débris de CN, Fe, QD, diam.: 0,015.

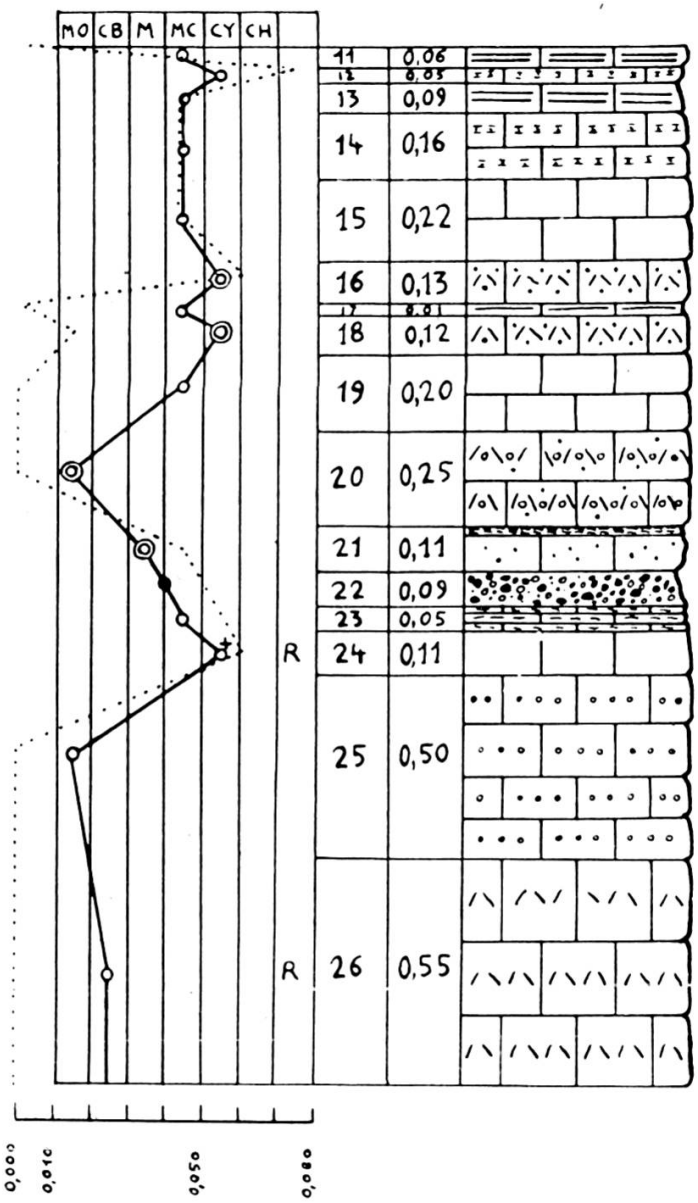


Fig. 22.
Coupe de Feurtilles *(suite)*.
Echelle 1: 35.

19. Marno-calcaire compact à Fucacées, en voie de recristallisation.
20. Calcaire bréchique, oolithique et pseudo-oolithique par places à Textularidés. Très rares débris de CN.

21. Marne charbonneuse passant vers le bas à un marno-calcaire grumeleux à débris de Chara et d'Ostracodes. Fe, QD, diam.: 0,045.
22. Micro-poudingue multicolore à débris de Chara et Lamellibranches. QD, diam.: 0,050.
23. Marno-calcaire schisteux à zones charbonneuses et ferrugineuses.
24. Calcaire grumeleux gris à Ostracodes et Chara. Débris de calcaire rubéfié. QD, diam.: 0,060.
25. Calcaire oolithique brun-rosé à Textularidés.
26. Calcaire finement grumeleux à rares Ostracodes. Fe.

Epaisseur totale: 4 m 94.

Portlandien: dolomie vacuolaire ?

Détail de la coupe:

La série de Feurtilles montre une instabilité assez grande. Une tendance à l'émersion assez nette se marque dans les niveaux 24 à 21 accompagnée d'une brèche multicolore. Puis une ingression marine se fait sentir par des calcaires pseudo-oolithiques passant par des couches à Fucacées à un nouveau soulèvement témoigné par des couches marneuses à Ostracodes. L'émersion complète se traduit par la surface d'érosion séparant les niveaux 9 et 8, ce dernier étant marin; ensuite diverses oscillations peu importantes terminent la série, qui, au point de vue faciès, reste dans les marnes à débris flottés de Chara.

Mais à six reprises apparaissent dans les sédiments des débris rubéfiés d'un calcaire compact, contenant parfois des Textularidés. L'arrivée de ces débris est en liaison très nette avec des pointes de la courbe des faciès indiquant des soulèvements. L'origine des débris n'est pas lointaine et il s'agit d'un calcaire marin rappelant le Portlandien. D'autre part, Rittener dédie dans sa monographie, tout un chapitre à une coloration rouge qu'il a observée dans le Jurassique supérieur. Il écrit que la coloration ne dépasse pas les limites de la région comprise entre la Gittaz et le Chasseron, son centre d'intensité est à Sainte-Croix même. Il écarte la possibilité d'une coloration produite pendant la sédimentation et en se basant sur diverses obser-

vations il rapporte les niveaux rouges au Sidérolithique éocène. Mais toutes les fois qu'on les observe dans les calcaires du Portlandien, il manque la couverture crétacée et s'il ne fait aucun doute que la matière colorante a dû pénétrer dans les couches de haut en bas, il n'est pas possible de lui donner un âge. Cependant les débris rouges que nous avons trouvé dans les couches purbeckiennes indiquent l'existence d'un sidérolithique contemporain ayant entamé les couches portlandiennes sous-jacentes.

Minéraux :

1. *Le quartz.* — Liaison assez nette avec les variations de faciès, le maximum est atteint trois fois lors de l'émersion importante qui termine la série lacustre.

2. *Le fer.* — A part les débris remaniés de calcaire rubéfié, les oxydes de fer sont peu importants.

b) *Coupe de Six-Fontaines* (fig. 23).

C'est une des meilleures de la région, elle est observable le long de la voie du chemin de fer, au kilomètre 16,2.

Berriasien : calcaire échinodermique jaunâtre.

15. Marnes grumeleuses jaunes.
14. Marno-calcaire clair finement lité à Ostracodes. Fe, QD, diam.: 0,015.
13. Calcaire microgrumeleux bréchique. QD, diam.: 0,020.
12. Calcaire microgrumeleux conglomératique à Chara, Ostracodes et Lamellibranches. Débris de CN, QD, diam.: 0,030.
11. Calcaire compact fin à Chara, Ostracodes et Fucacées vers le bas. Rares débris noirs. Fe, QD, diam.: 0,075.
10. Micropoudingue multicolore à gros éléments noirs, anguleux. Ciment à Chara, Ostracodes, Lamellibranches et Fucacés. Fe, QD, diam.: 0,060.
9. Calcaire microbréchique sapropélien bleu à éléments noirs et clairs. Ciment calcitique à Chara, Ostracodes, Fucacées, Fe.

Surface d'érosion.

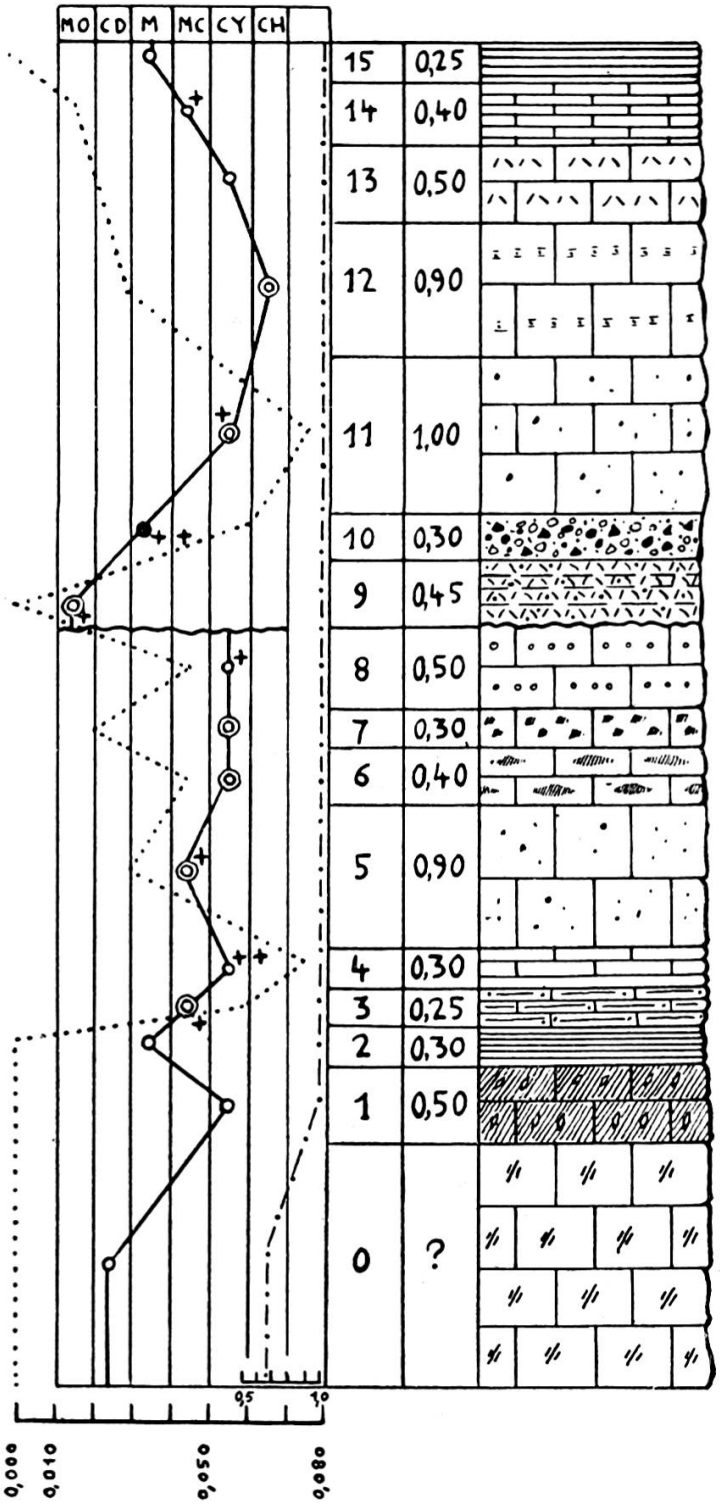


Fig. 23.
Coupe de Six-Fontaines.
Echelle 1 : 75.

8. Calcaire compact à zones pseudo-oolithiques, Chara, Ostracodes, organismes D, Fe, QD, diam.: 0,045.
7. Calcaire sapropélien bleuté pseudo-oolithique à Ostracodes. Fe, QD, diam.: 0,020, CN en formation.
6. Calcaire grumeleux rose à zones bleues de concentration de matière organique sapropélienne. Fe, QD, diam.: 0,045.
5. Marno-calcaire gris microgrumeleux à Ostracodes. Débris de CN. Fe, QD, diam.: 0,030.
4. Calcaire compact plaqueté à Ostracodes. Fe, QD, diam.: 0,075.
3. Marno-calcaire gris schisteux à Ostracodes, Chara et Fucacées. Fe, QD, diam.: 0,060.
2. Marnes gris-noir compactes.
1. Calcaire sapropélien brun à cristaux de quartz secondaire. Ciment cristallin à Fe et matières organiques.

Epaisseur totale: 7 m 25.

Portlandien: calcaire dolomitique vacuolaire. C/S = 0,71.

Détail de la coupe:

Le faciès marin domine depuis la base jusqu'au niveau 2, où les marnes compactes noires pourraient être un équivalent réduit des marnes à gypse. Ensuite les calcaires à Ostracodes se développent jusqu'au niveau 8 marqué à son sommet par une surface d'érosion témoignant d'une émersion. Au niveau 9, le faciès marin reprend avec des microbrèches pseudo-oolithiques, puis se produit une nouvelle émersion parfaitement symétrique, représentée par des couches à Chara encadrées par des niveaux à Ostracodes. Enfin des marnes jaunâtres précèdent les calcaires échinodermiques infra-valanginiens.

Minéraux:

1. *Le quartz.* — En gros, similitude de la courbe du quartz et de celle des faciès, maximum: 0,075 mm aux deux émersions.

2. *Le fer.* — Assez fréquent avec des teneurs maxima aux émersions et aux ruptures d'équilibre.

c) *Mont Aubert-Saint-Aubin.*

Le Purbeckien qui ceinture le Mont Aubert n'est jamais visible en coupe complète. Avec mon camarade M. Haarsma, qui fait sa thèse dans cette région, nous avons trouvé au Pré-Marillier, au-dessous de Provence, les couches dolomitiques de base et les couches lacustres. La série purbeckienne qui ne dépasse pas 10 m d'épaisseur, s'établit en gros ainsi:

1. *Couches saumâtres supérieures.* — Ce sont des calcaires bréchiques et pseudo-oolithiques versicolores, parfois à éléments noirâtres, à Foraminifères (*Pseudocyclammina* sp.), Echinodermes, Ostracodes, Dasycladacées, tests de Lamellibranches et Brachiopodes.

2. *Couches lacustres.* — Les calcaires à Chara, Ostracodes et Clypeines alternent avec des micropoudingues multicolores.

3. *Couches marines inférieures.* — Elles sont formées par des dolomies grossières et des calcaires dolomitiques.

Cette série concorde parfaitement dans ses grandes lignes avec celles de la région de Baulmes-Six-Fontaines et même des Clées, où apparaît aussi une grosse brèche multicolore.

L'étude de Ch. Thiébaud (152) de la région Travers-Saint-Aubin n'apporte aucun indice sur les faciès du Purbeckien, si ce n'est la présence de brèches multicolores en quelques endroits.

VI. *Région des Verrières-La Brévine.*

Nous n'avons pas pu faire mieux que Muhlethaler (92) qui a levé la carte des environs des Verrières. Les affleurements sont presque inexistants, ce sont le plus souvent les couches lacustres, représentées par des marno-calcaires, des marnes avec souvent de petits CN. Cet auteur signale encore à la hauteur du réservoir de Meudon, mais sur territoire français, une mince couche de cargneule jaunâtre et des calcaires marneux cloisonnés. Nulle part les marnes à gypse sont visibles, bien qu'elles aient été exploitées dans la région au siècle passé. Muhlethaler

signale encore dans les déblais de la galerie des Bayards, une brèche multicolore à gros fragments noirs.

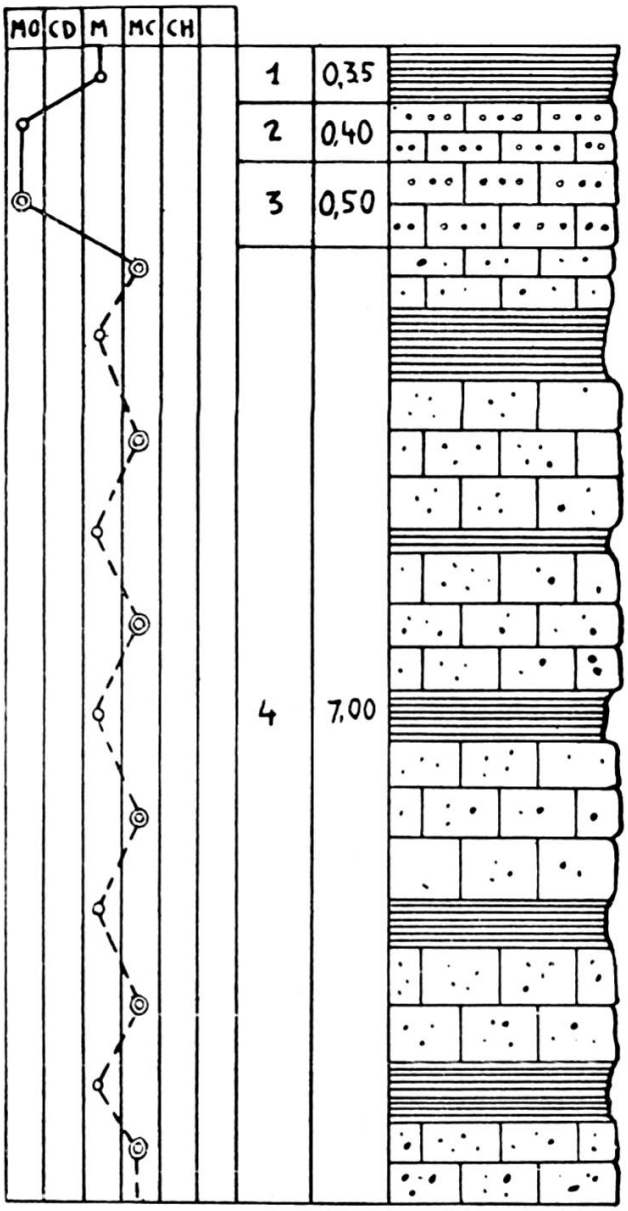


Fig. 24.
Coupe de La Brévine.
Echelle 1 : 75.

D'après ces quelques indications, la série des Verrières ne diffère en rien de celle de La Brévine, bien décrite par Maillard (74) et actuellement invisible. Rickenbach (134) attribue au Purbeckien de cette région une épaisseur de 10 à 15 m.

Coupe de La Brévine, d'après Maillard (fig. 24 et 25).

La numérotation est faite de haut en bas.

1. Marne jaune grumeleuse à Corbules.
2. Calcaire oolithique sans fossiles.

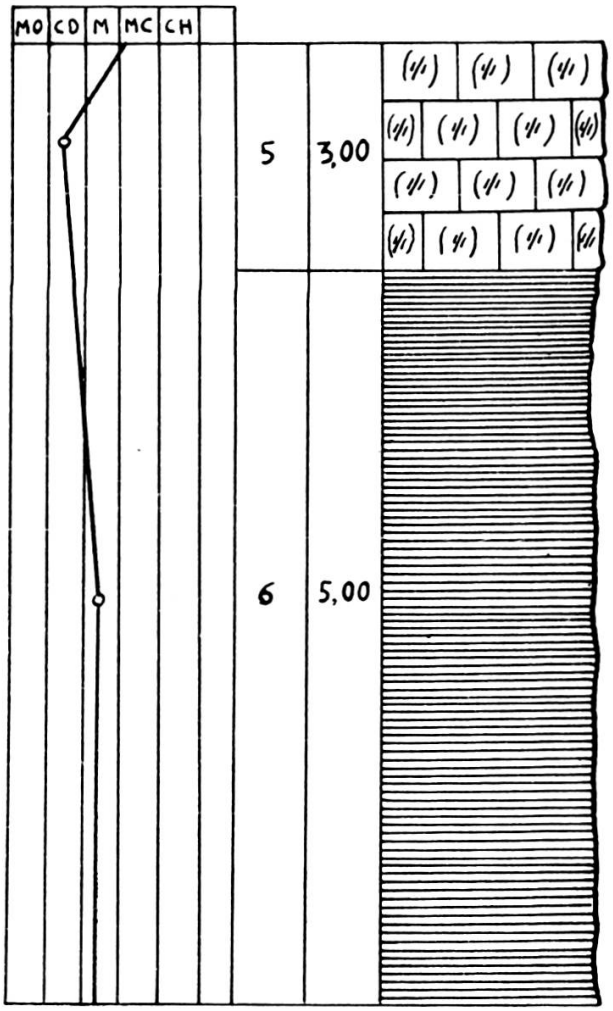


Fig. 25.
Coupe de La Brévine *(suite)*.
Echelle 1 : 75.

3. Calcaire oolithique à rares Corbules. CN fréquents.
4. Alternances de calcaire d'eau douce gris-jaune à petits CN et de marne noire-verdâtre. Planorbes, Physes, Corbules.
5. Calcaire dolomitique vacuolaire (cargneule).
6. Marnes noires à gypse.

Epaisseur totale: 16 m 25.

Détail de la coupe:

Nous sommes ici en présence d'une série typique de la lagune centrale purbeckienne. Au-dessus des dolomies vacuolaires du Portlandien, on note des marnes noires à gypse, le passage aux couches lacustres marno-calcaires s'effectue par un petit banc de dolomie vacuolaire. Ensuite les couches saumâtres supérieures sont représentées par des calcaires oolithiques et pseudo-oolithiques à Corbules et rares cailloux noirs.

VII. *Région de Noiraigue-Chambrelien-Neuchâtel.*

Schardt et Dubois (141) signalent dans les environs de Noiraigue la coupe de la route de Rosières, au-dessous de Combe Varin. Maillard (74) écrivait déjà à ce propos: « Les marnes nymphéennes de 5 m de puissance supportent des brèches calcaires à Corbules, surmontées elles-mêmes par des marnes grumeleuses. Absence des marnes à gypse. »

Voici la coupe que nous avons levée à cet endroit:

a) *Coupe de Noiraigue:* Combe Varin (fig. 26).

Berriasien: calcaire échinodermique.

8. Calcaire pseudo-oolithique jaune à Chara, Ostracodes, Foraminifères et débris de Dasycladacées. Gros CN rubéfiés et limonitisés. Fe, QD, diam.: 0,060.
7. Micropoudingue multicolore, ciment calcitique à Lamellibranches, Dasycladacées et débris de Conifères. Fe, QD, diam.: 0,070.

Contact irrégulier.

6. Marnes grumeleuses vertes.
5. Marno-calcaire compact à Fucacées. Nombreux fragments de CN. Fe, QD, diam.: 0,030.
4. Marno-calcaire compact à débris de végétaux noirs.
3. Microbrèche oolithique et pseudo-oolithique à Ostracodes, Lamellibranches et rares Chara. Nombreux petits CN. Fe, QD, diam.: 0,090.

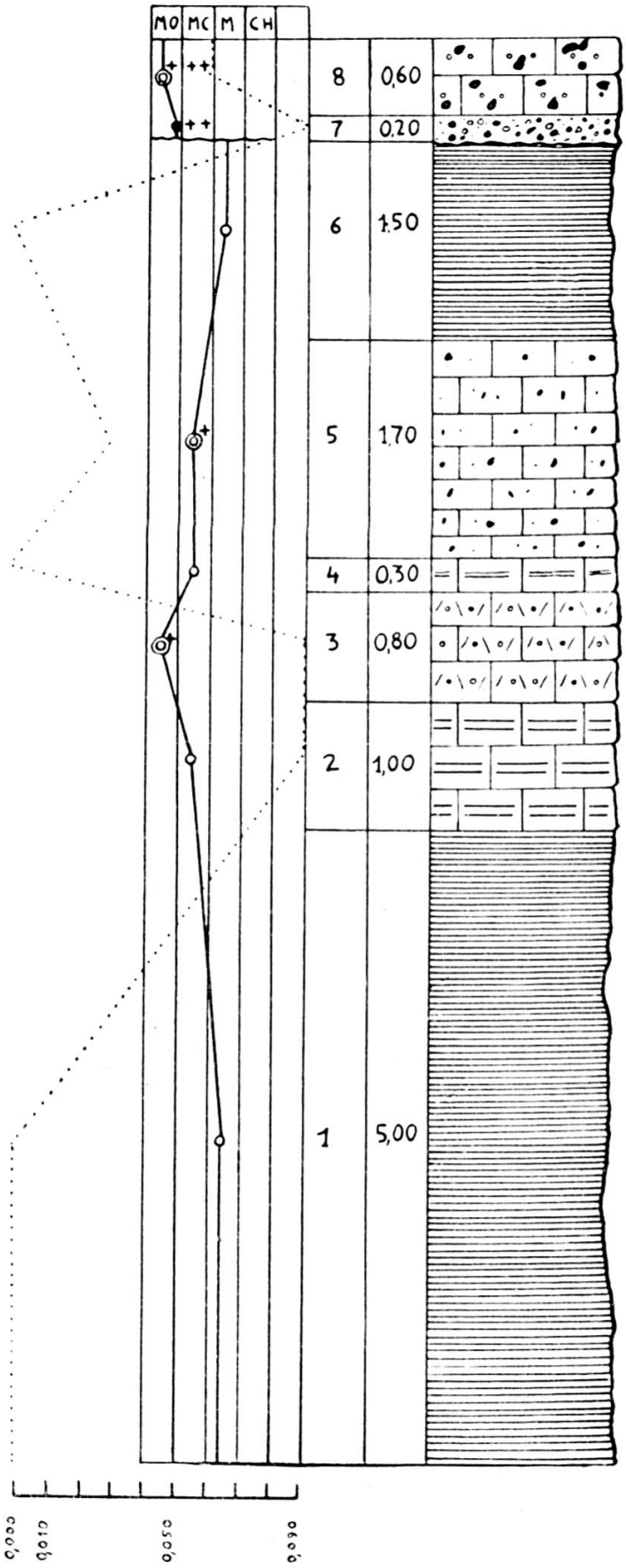


Fig. 26.
Coupe de Noiraigue-Combe Varin.
Echelle 1 : 75.

2. Marno-calcaire compact, un peu schisteux, à débris de végétaux noirs à la surface des bancs. QD, diam.: 0,090.
1. Marnes compactes grises, finement litées.

Epaisseur totale: 11 m 10.

Portlandien: calcaire compact blanc.

Détail de la coupe:

On voit que les marnes lacustres grises reposent directement sur le calcaire compact portlandien, il y a lacune des dolomies et des marnes à gypse. Le régime lacustre subsiste jusqu'au niveau 4 riche en débris de végétaux flottés, tandis que la microbrèche oolithique (3) semble indiquer un léger enfoncement. Les couches saumâtres supérieures débutent par les faciès marneux à Fucacées (5 et 6) et acquièrent nettement leur caractère dans le niveau 8, après un beau micro-poudingue multicolore. La dernière couche immédiatement sous le calcaire échinodermique contient de très gros blocs noirs subanguleux, complètement oxydés et atteignant parfois 3 cm de diamètre. C'est le seul endroit où le contact avec l'infra-crétacé est marqué par une telle abondance de cailloux noirs roulés. Nous y reviendrons plus loin. La coupe de la Sauge, près de Chambrelien, a été décrite par Maillard, puis Schardt et Dubois (141) signalent la prédominance d'un faciès particulier, une sorte de marne noire bitumineuse, dure, chargée de sulfate de baryum et de gypse. Actuellement, des travaux de fortification ont masqué les marnes à gypse.

Minéraux:

1. *Le quartz.* — La courbe de variation est mal définie avec deux maxima atteignant 0,090 mm.

2. *Le fer.* — Très abondant au sommet de la série.

b) *Coupe de La Sauge-Chambrelien* (fig. 27 et 28).

La base n'étant pas visible, la numérotation va de haut en bas:

Berriasien: calcaire échinodermique jaunâtre, marneux à la base.

1. Marnes et marno-calcaires pseudo-oolithiques à Chara, Ostracodes et Dasycladacées, nombreux CN, Fe, QD, diam.: 0,030.
2. Marno-calcaire gris à petits CN. Fe, QD, diam.: 0,075.
3. Marne grumeleuse grise, finement litée à Chara, Ostracodes, Foraminifères et Dasycladacées. CN et débris de calcaire rubéfié disséminés. Fe, QD, diam.: 0,075.
4. Marno-calcaire grumeleux jaune à Ostracodes. Fe, QD, diam.: 0,045.
5. Marnes oolithiques jaunes.
6. Calcaire pseudo-oolithique jaune à ciment calcitique microgrenu. Foraminifères, Ostracodes, Lamellibranches, QD, diam.: 0,045.
7. Marnes oolithiques jaunes (cf. niveau 5).
8. Calcaire pseudo-oolithique jaune à Chara, Ostracodes et Clypeines. Fe, QD, diam.: 0,060.
9. Calcaire pseudo-oolithique clair à Chara et Ostracodes. Fe, QD, diam.: 0,120.
10. Marno-calcaire gris à Ostracodes et Fucacées, petits CN, Fe, QD, diam.: 0,060.
11. Calcaire compact gris à intercalations pseudo-oolithiques, rares CN, Fe.
12. Calcaire dolomitique plaqueté jaune clair. C/S = 0,62.
13. Calcaire microbréchique dolomitique jaune à Chara, Ostracodes, Foraminifères et Dasycladacées, QD, diam.: 0,060. C/S = 0,90.
14. Marnes compactes noires.

Epaisseur totale: 20 m 25.

Portlandien: calcaire dolomitique ?

Détail de la coupe:

Au-dessus des marnes à gypse prédomine un faciès dolomitique marneux ou marno-calcaire (niveaux 13 à 9) qui n'est jamais franchement marin, le mélange de faune est fréquent, les Chara se rencontrent associées aux Dasycladacées et aux

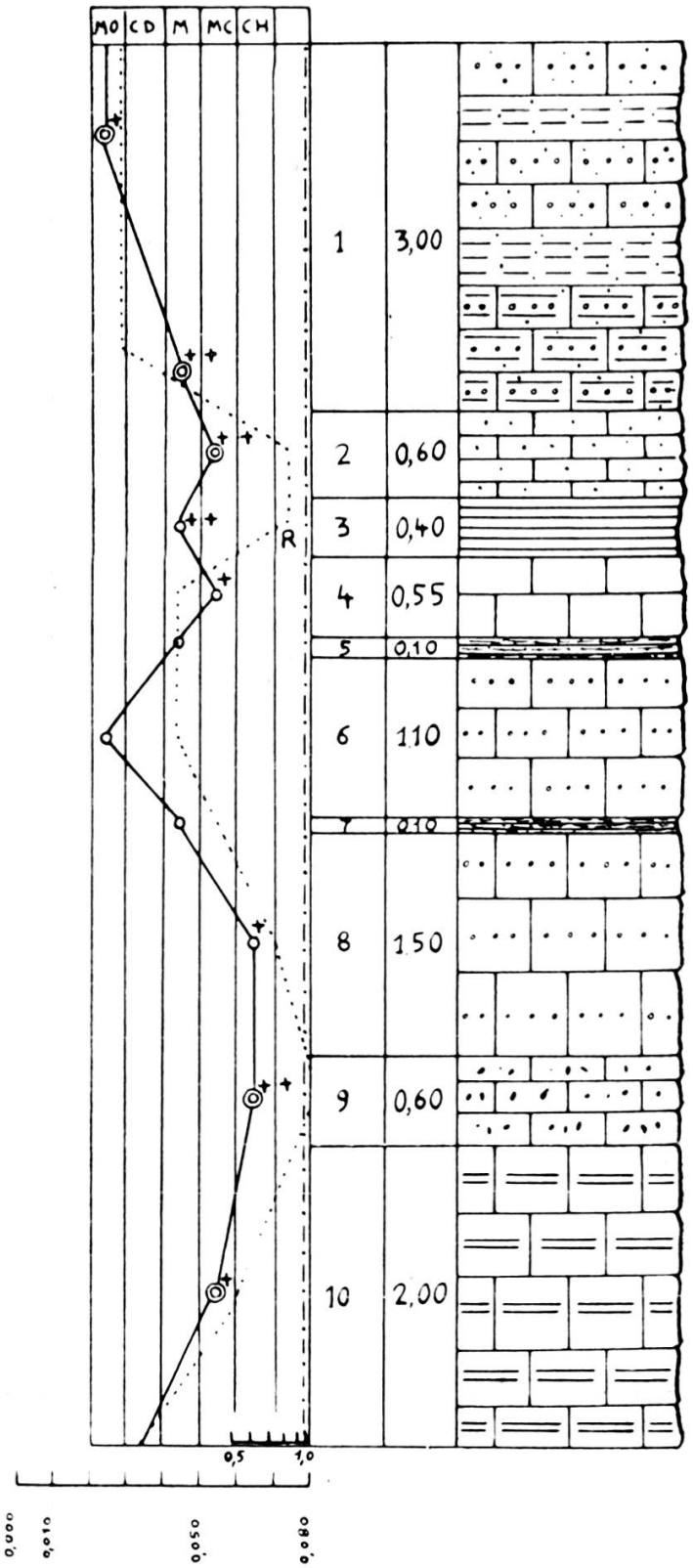


Fig. 27.
Coupe de La Sauge-Chambrelien.
Echelle 1: 75.

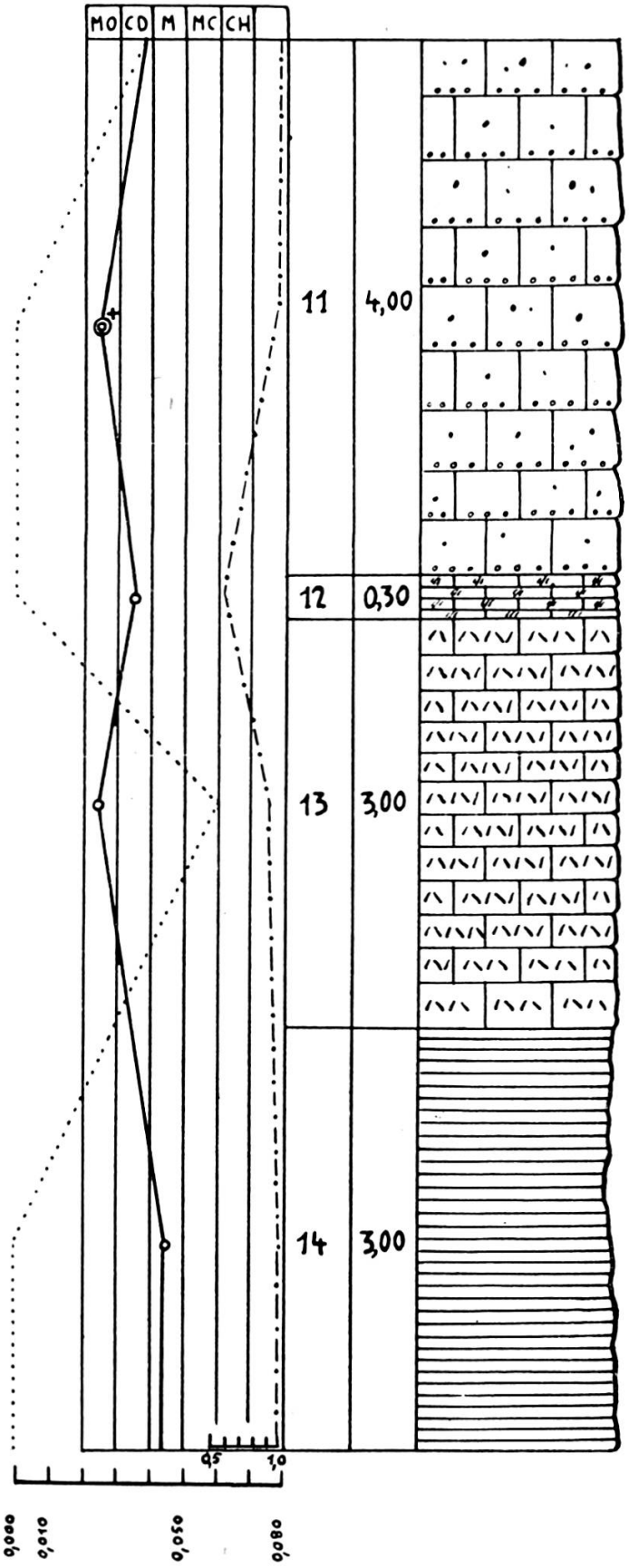


Fig. 28.
Coupe de La Sauge-Chambrelien *(suite)*.
Echelle 1 : 75.

Foraminifères. La tendance à l'émersion devient plus manifeste aux niveaux 8 à 9, avec arrivée de CN, puis se produit un enfoncement marqué, amenant des calcaires marins pseudo-oolithiques encadrés par des niveaux marneux jaunes (5 et 7). Une nouvelle émersion accompagnée de cailloux noirs et de débris de calcaire rubéfié est marquée dans les couches 4, 3 et 2, enfin la série se termine par les couches saumâtres pseudo-oolithiques à petits CN.

Minéraux :

1. *Le quartz.* — Il n'apparaît qu'au sommet de la série avec une courbe tout à fait semblable à celle des faciès, le maximum atteint est 0,120 mm.

2. *Le fer.* — Les teneurs varient parallèlement aux faciès.

c) *Coupe des gorges du Seyon* (fig. 29).

Le Purbeckien des gorges du Seyon, près de Neuchâtel, a été étudié assez récemment par E. Frei (41), qui en donne une excellente coupe, aujourd'hui elle n'est visible qu'incomplètement et nous reproduisons ci-dessous la série observée par cet auteur:

Berriasien : marnes jaunes.

14. Calcaire d'eau douce oolithique gris à petits CN et jaunes.
13. Marne noire.
12. Calcaire semblable au niveau n° 14.
11. Marno-calcaire noirâtre, schisteux, à écailles de poisson.
10. Calcaire d'eau douce compact gris.
9. Marne noire semblable au niveau n° 13.
8. Calcaire d'eau douce gris semblable au niveau n° 10.
7. Marne calcaire blanche à Valvata.
6. Calcaire compact gris.
5. Marne bitumineuse sans fossiles.
4. Calcaire marneux à rognons et nodules irréguliers.
3. Marne jaunâtre.

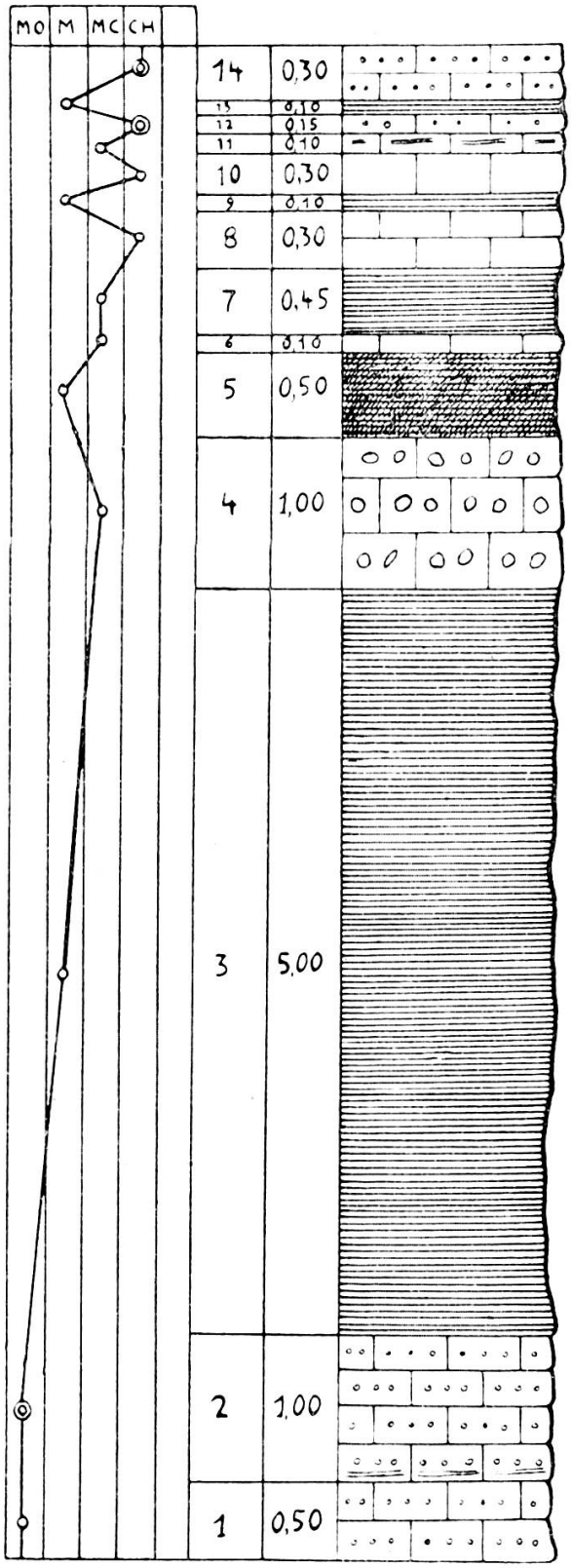


Fig. 29.
Coupe des gorges du Seyon.
Echelle 1 : 75.

2. Calcaire bleuté pseudo-oolithique à grains de glauconie. Vers le bas passage à un marno-calcaire gris à CN. Nids de $CaCO_3$ et $BaSO_4$.
1. Calcaire oolithique jaune à nids de calcite.

Epaisseur totale: 9 m 90.

Portlandien: calcaire saccharoïde blanc.

Détail de la coupe:

La plus grande partie de la série purbeckienne des gorges du Seyon est marine (niveaux 1 à 5), le passage au milieu lacustre se marque par les marnes calcaires blanches à Valvata du niveau 7, puis alternent des calcaires d'eau douce à CN et des marno-calcaires. Le contact avec les marnes jaunes du Valanginien est brusque, sans l'intermédiaire des couches saumâtres.

VIII. *Région du Locle–La Chaux-de-Fonds–Saint-Imier.*

J. Favre (33), dans sa monographie des environs du Locle écrit que le Purbeckien est partout recouvert par la végétation et il renvoie à la coupe de Maillard (74) prise pendant la construction de la route cantonale. Nous avons dû à notre tour nous rendre à l'évidence qu'il est impossible d'effectuer une coupe quelconque à la Combe Girard [1].

a) *Coupe du Locle*, d'après Maillard (fig. 30).

La numérotation va de haut en bas:

1. Calcaire un peu oolithique azoïque.
2. Calcaire à Chara et petits CN.
3. Marnes d'eau douce à Cyrènes.
4. Calcaire marneux à débris de tests, en gros bancs.
5. Marnes grises à Cyrènes.

[1] M. le Dr C. Bourquin et M. l'ingénieur P. Cart ont eu l'amabilité de me communiquer les résultats d'un sondage effectué à la Combe Girard pour des recherches d'eau. Le Purbeckien rencontré par ce forage mesure 12 m 40 d'épaisseur, il ne semble pas différer dans ses grandes lignes de la coupe de Maillard. Nous reprendrons, dans une autre publication, l'étude détaillée du Purbeckien de ce sondage.

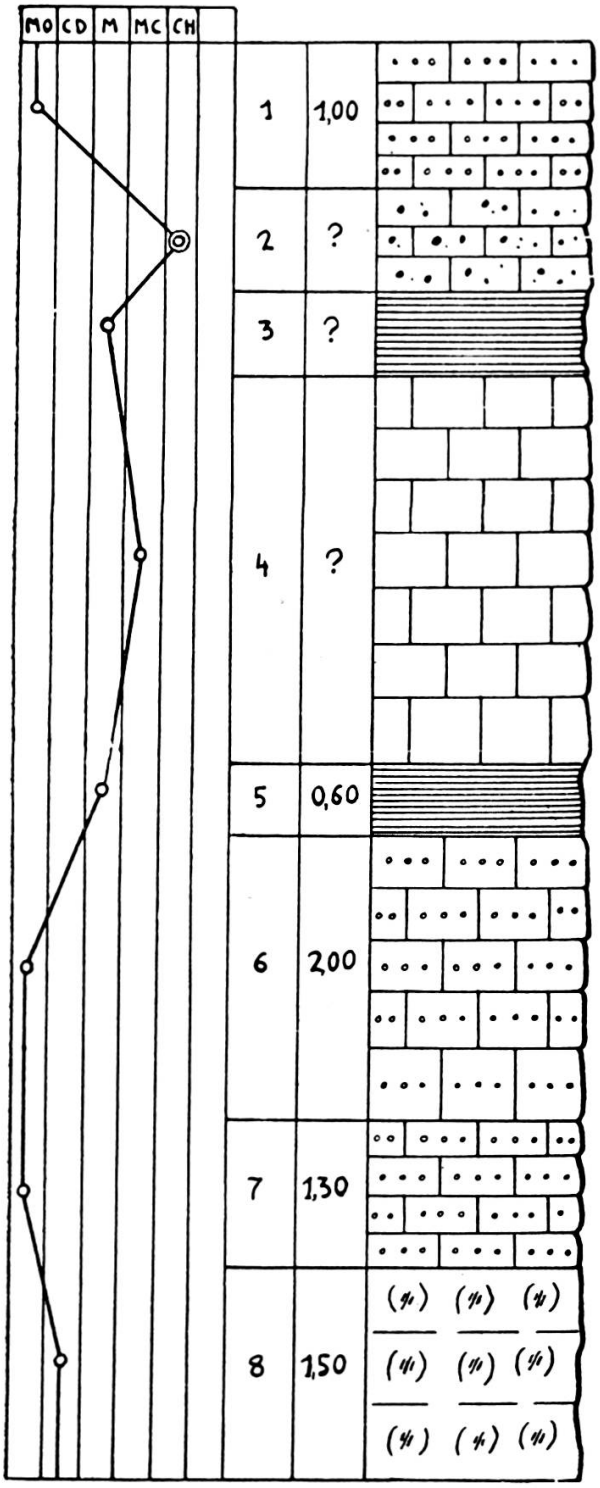


Fig. 30.
Coupe du Locle.
Echelle 1 : 75.

6. Calcaire compact oolithique.
7. Calcaire oolithique blanc à Corbules.
8. Dolomie vacuolaire.
9. Dolomie grossière en gros bancs.
10. Calcaire feuilleté gris-jaune.

Epaisseur totale: 10 m environ.

Détail de la coupe:

A notre avis les deux derniers niveaux doivent être rapportés au Portlandien, puisque nous avons admis que la dolomie vacuolaire représente toujours la base du Purbeckien.

En ce qui concerne la succession des faciès, cette série est très calme. Les couches lagunaires persistent jusqu'au niveau 6, puis les marnes grises à Cyrènes forment le passage aux couches lacustres, marneuses au début, puis passant à des calcaires à Chara et CN, enfin les couches saumâtres supérieures sont représentées par un calcaire oolithique. Les marnes à gypse manquent dans cette coupe, mais il doit s'agir d'une lacune tout à fait locale car le gypse a été exploité dans la région au siècle passé.

Aucun affleurement de Purbeckien n'est actuellement visible près de La Chaux-de-Fonds. J. Favre décrit une bande de Purbeckien s'étendant du Tertre-du-Temple aux nouveaux abattoirs; ce sont des marnes noires, des marno-calcaires et des calcaires gris à Planorbes et Physes. Nicolet a décrit dans ces parages un complexe de marnes blanc-jaunâtre, de marnes charbonneuses et de grès.

Pour trouver une coupe complète, il faut aller dans la haute vallée de Saint-Imier, au lieudit Les Convers. H. Suter (148) y a signalé des marnes noires et des dolomies vacuolaires jaunes.

b) *Coupe de Convers* (fig. 31).

Berriasien: calcaire échinodermique.

12. Calcaire compact clair avec intercalations oolithiques vers le haut.
11. Marnes noires grumeleuses.

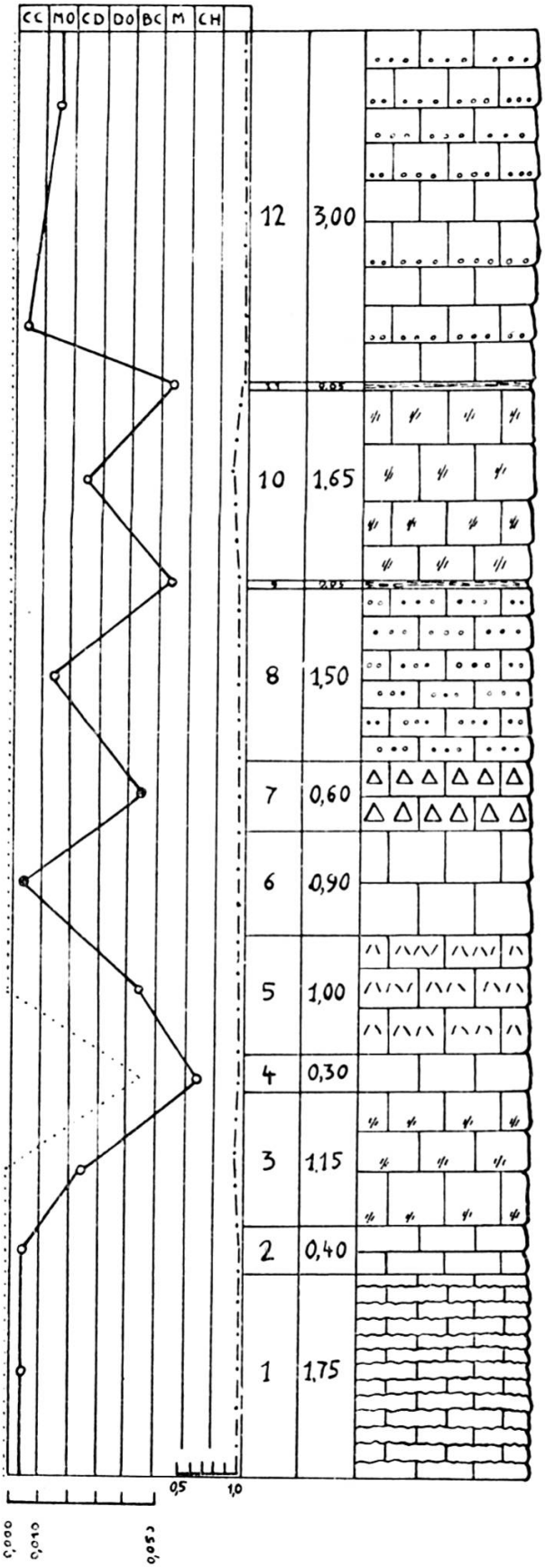


Fig. 31.
Coupe de Convers.
Echelle 1 : 75.

10. Calcaire dolomitique grumeleux partiellement recristallisé. *Coprolithus salevensis* Par. assez fréquents. C/S = 0,96.
9. Marnes noires grumeleuses.
8. Calcaire oolithique jaune clair à ciment calcitique.
7. Brèche calcaire brune à ciment calcitique.
6. Calcaire compact clair recristallisé.
5. Calcaire bréchique jaune clair à ciment calcitique.
4. Calcaire compact jaunâtre à petits débris d'Ostracodes et de Chara, QD, diam.: 0,045.
3. Calcaire cristallin ferrugineux interstratifié avec un calcaire dolomitique grossier, Ostracodes ? C/S = 0,98.
2. Calcaire compact clair recristallisé.
1. Calcaire compact jaune plaqueté à polygones de dessication et ripple-marks (direction: S 30° E).

Epaisseur totale: 12 m 35.

Portlandien: calcaire dolomitique compact.

Détail de la coupe:

Nous sommes ici à la limite septentrionale de la lagune purbeckienne. La série est presque entièrement marine, avec trois niveaux indiquant des émersions, ce sont le niveau 4 avec débris de Chara et les couches 9 et 11, marnes noires semblables à celles de La Chaux-de-Fonds-Le Locle. Ce sont les seuls épisodes lacustres qui viennent troubler la sédimentation marine, qui plus au N devait être continue entre le Jurassique et le Crétacé.

IX. *Région de Landeron-Vigneules-Bienne.*

La seule coupe visible le long du lac de Bienne est celle de Vigneules décrite par Maillard (74), de nos jours, elle est en partie couverte et nous l'avons refaite à quelques centaines de mètres plus loin dans la carrière abandonnée de Goldberg. K. Ryniker, dans son travail (136), signale ces affleurements, de même que Baumberger (6) sans du reste apporter plus de précision que les travaux de Maillard (74), si ce n'est Ryniker qui insiste sur le faciès bréchique du calcaire portlandien,

témoignant, à son avis, des oscillations précédant l'émersion purbeckienne. W. Schuerer (142) signale dans les environs immédiats de Bienne des marnes noires, de même ces couches seraient visibles dans la gorge du Jorat, entre Lamboing et Orvin. Dans ces mêmes localités, Maillard (74) notait des calcaires sableux à cailloux jaunes et noirs, ne paraissant pas avoir été roulés, ces cailloux pouvant atteindre la grosseur d'une noix. Pour cet auteur, la coupe de Vigneules présenterait un faciès littoral qui se poursuit jusqu'à Tüscherz et même à Lignières. Dans cette dernière localité, les cailloux noirs sont parfois concaves, ce que le roulage seul ne peut pas faire. En règle générale, les éléments de ces roches clastiques diminuent de puissance de Vigneules à Lignières. Ce sont les seules indications que nous possédons sur le Purbeckien des bords du lac de Bienne, visible seulement à Vigneules.

a) *Coupe de Vigneules*, d'après Maillard (fig. 32).

Numérotation de haut en bas.

Berriasien: calcaire spathique roux.

1. Marne rognonneuse grise, tachée de rouge et calcaire marneux avec poches de marne graveleuse à CN.
2. Calcaire conglomératique.
3. Marne graveleuse.
4. Marno-calcaire à CN passant à une
5. Marne graveleuse.
6. Calcaire compact cristallin.
7. Marne dolomitique passant à un
8. Calcaire spathique jaune.
9. Marnes graveleuses, feuilletées, à taches rouges, les cailloux sont un calcaire grumeleux à CN, les marnes deviennent violacées et passent à un
10. Calcaire compact en gros bancs.

Epaisseur totale: 14 m environ.

Détail de la coupe:

La succession des faciès s'établit ainsi: Les couches 10 et 9 sont marines, mais une tendance au soulèvement se fait déjà

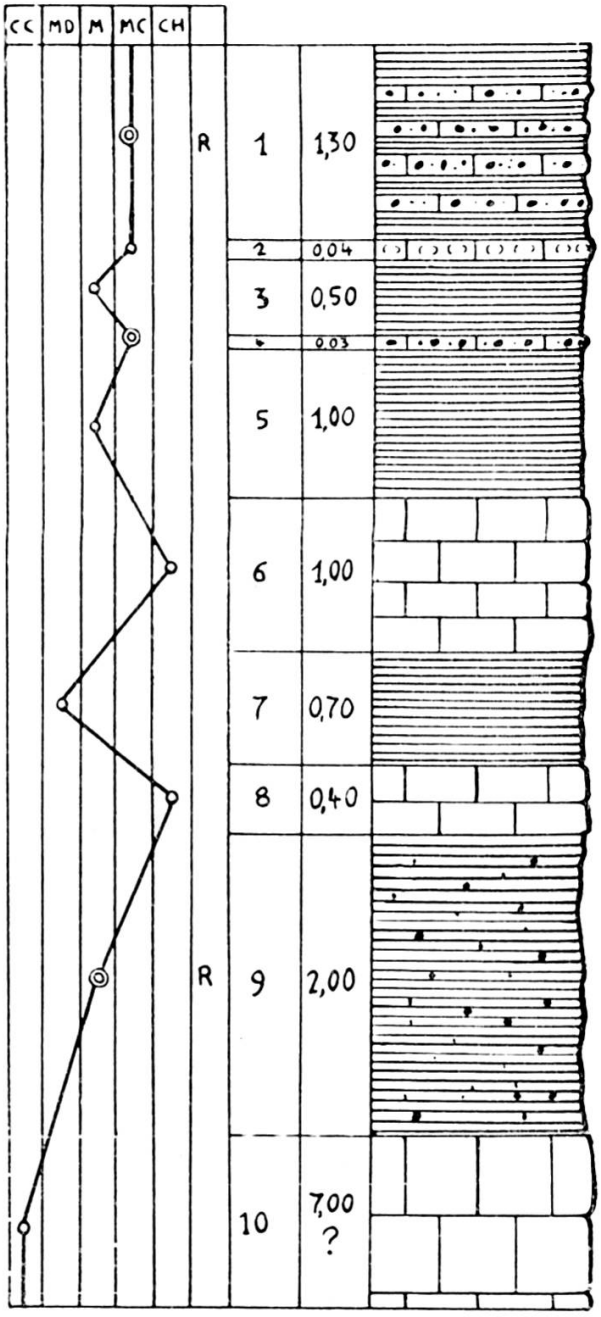


Fig. 32.
Coupe de Vigneules.
Echelle 1 : 75.

sentir au niveau 9 par des apports de débris rubéfiés et de cailloux noirs. Le maximum est atteint au niveau 10. La mer revient avec le faciès dolomitique (7) suivi par un nouveau soulèvement dès le niveau 6. Ensuite les couches lacustres,

représentées par des marno-calcaires à CN et débris rouges persistent jusqu'au sommet de la coupe. Il n'y a donc pas de couches saumâtres supérieures.

Notons que la coupe de Maillard est insuffisante pour mettre en évidence les variations de faciès décrites plus haut et que seule une comparaison avec la série que nous avons levée nous a permis d'y arriver.

b) *Coupe de Vigneules-Goldberg* (fig. 33).

Berriasien : calcaire pseudo-oolithique à Foraminifères et Dasycladacées.

15. Marno-calcaire grumeleux jaunâtre à gros cailloux noirs. Fe, QD, diam.: 0,060.
14. Marnes et marno-calcaires grumeleux à Ostracodes. Fe, QD, diam.: 0,090.
13. Micropoudingue multicolore à Chara, Ostracodes et Lamellibranches, Fe.
12. Marno-calcaire grumeleux à Ostracodes. Fe, QD, diam.: 0,015.
11. Marnes schisteuses grises.
10. Marno-calcaire grumeleux à Ostracodes et Chara. Fe, QD, diam.: 0,045. Débris rubéfiés.
9. Marnes schisteuses roses.
8. Calcaire pseudo-oolithique à débris de Chara et d'Ostracodes, nombreux CN à Fucacées. Fe, QD, diam.: 0,030.
7. Marnes schisteuses roses (cf. nº 9).
6. Même niveau que le nº 8.
5. Marne dolomitique jaunâtre. C/S = 0,80.
4. Calcaire grumeleux conglomératique à Ostracodes et Fucacées. Rares CN disséminés. QD, diam.: 0,060.
3. Calcaire grumeleux à débris de Chara, Ostracodes et Lamellibranches, Fe, nombreux débris rubéfiés, QD, diam.: 0,060.
2. Marno-calcaire schistoïde pseudo-oolithique à débris de Chara, Ostracodes et Lamellibranches, écailles de poissons. Nombreux débris rubéfiés et poches de CN. Fe, QD, diam.: 0,060.

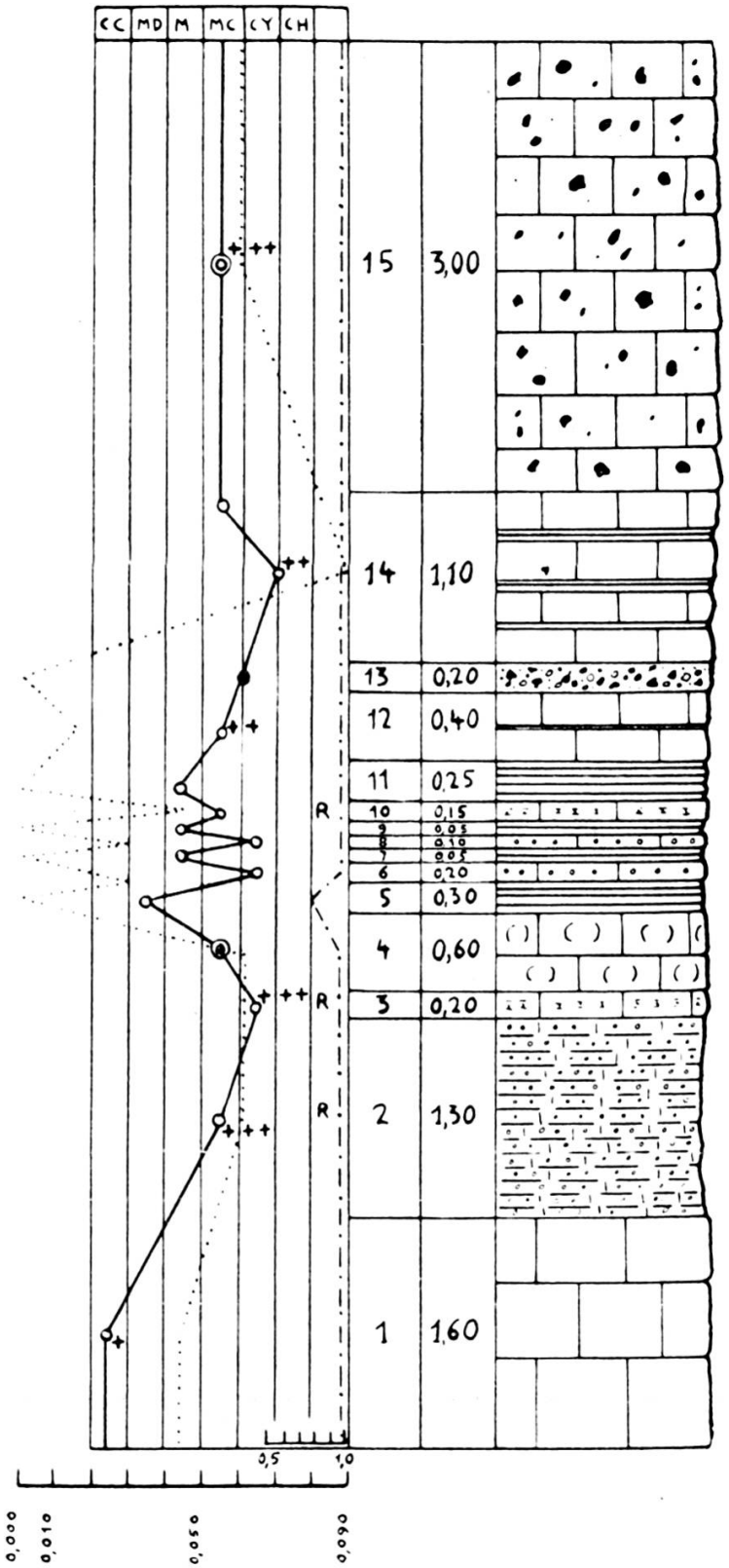


Fig. 33.
Coupe de Vigneules-Goldberg.
Echelle 1 : 75.

1. Calcaire compact à rares Chara et Ostracodes. Fe, QD, diam.: 0,045.

Epaisseur totale: 9 m 50.

Portlandien: calcaire compact blanc jaunâtre.

Détail de la coupe:

Les termes 1 et 2 sont marins avec déjà des débris d'algues d'eau douce flottées, puis au niveau 3, l'émersion se marque avec des calcaires à Ostracodes contenant des débris de calcaire rubéfié. Au niveau 5, la mer revient avec des faciès dolomitiques, puis le régime lacustre reprend au niveau 6 avec des alternances de couches marneuses, enfin la brèche multicolore (13) indique une surélévation encore plus marquée qui persistera jusqu'au sommet de la coupe. L'absence des couches saumâtres supérieures se confirme.

Minéraux:

1. *Le quartz.* — Très abondant dans cette coupe, les variations de diamètre enregistrent toutes les oscillations du fond de la mer, la surélévation marquée dans la couche 14 correspond aussi au diamètre maximum du quartz (0,090 mm).

2. *Le fer.* — Il apparaît très souvent dans les couches, surtout à la base et au sommet, où il colore des niveaux entiers, il fait défaut pendant les oscillations des couches moyennes.

« Des causes appelées à jouer un rôle fondamental dans la constitution des sédiments anciens n'interviennent pas du tout dans l'élaboration des sédiments actuels. »

L. Cayeux.

CHAPITRE 2

MICROGRAPHIE ET SÉDIMENTATION

Nous allons examiner en détail quelques types de sédiments caractéristiques du Purbeckien.

§ 1. Les sédiments calcaires marins.

a) *Calcaires compacts.*

A l'œil nu, ils se présentent comme des calcaires gris à pâte très fine, sublithographique, en bancs épais. SM: pâte calcaire gris sombre, cristallisée, homogène, par places très finement grumeleuse. Les grumeaux peuvent être alignés et donner naissance à une légère stratification. Les organismes sont presque toujours absents ou se présentent à l'état de petits débris recristallisés et indéterminables. Les oxydes de fer se présentent parfois en traînées discontinues parallèles à la stratification, ou en petits agrégats à contours diffus. La recristallisation de ces calcaires est parfois très poussée et aboutit à une roche formée entièrement de cristaux de calcite, dans d'autres cas, elle s'amorce en divers endroits par de petits cristaux de calcite disséminés dans la pâte.

b) *Calcaires compacts à organismes.*

A l'œil nu, ce sont des calcaires gris-jaunes ou jaunes, à pâte fine. SM: ils ne diffèrent pas du terme précédent si ce n'est par

la présence de Foraminifères: Miliolidés, Textularidés, Rotalidés, associés avec de rares débris de tests de Lamellibranches.

Les oxydes de fer soulignent parfois les contours des organismes ou pénètrent dans les loges; on observe dans certains types des amas de quartz secondaire à contours cristallographiques et extinctions onduleuses. Les minéraux authigènes, le quartz secondaire mis à part, sont très rares dans les calcaires compacts. On y trouve cependant des cristaux de célestine, mais pas d'orthose secondaire comme le pensait A. Falconnier (32).

c) *Calcaires grumeleux.*

A l'œil nu on ne peut pas les distinguer des types précédents. SM: la pâte est formée par d'innombrables grumeaux témoignant d'une précipitation colloïdale. Ce genre de dépôt est peu favorable aux organismes car ils sont presque toujours absents; en revanche les oxydes de fer sont abondants et se présentent en pigmentations diffuses répandues dans toute la masse calcaire. Le quartz détritique est rarement représenté par de très petits grains à contours subanguleux.

d) *Calcaires grumeleux microbréchiques.*

C'est une variante assez rare des calcaires grumeleux, le dépôt semble avoir été remanié sous faible profondeur d'eau et la pâte a été brisée en multiples fragments subanguleux, sans égard à la structure primitive. Les organismes, plus résistants, n'ont subi aucune détérioration. Ce remaniement a aussi enrichi le sédiment en oxydes de fer et en quartz clastique.

e) *Calcaires grumeleux pseudo-oolithiques.*

Le remaniement plus accentué dans ce cas aboutit à des fragments subarrondis, à contours circulaires ou elliptiques noyés dans une pâte de même composition. Les pseudo-oolithes n'ont aucune couronne calcitique, mais sont parfois soulignées par un liséré d'oxydes de fer pigmentaires. Dans certains cas, les Foraminifères ou les débris de tests ont été brisés et englobés dans les éléments.

f) *Calcaires oolithiques et pseudo-oolithiques.*

Assez souvent on observe un type de calcaire à pâte fine, parfois entièrement recristallisée, contenant de nombreuses pseudo-oolithes dues à son propre remaniement, ces fragments ne sont presque jamais atteints par la recristallisation, seuls leurs contours deviennent un peu flous. Plus rarement, se développent de vraies oolithes à une ou plusieurs couches concentriques de calcite, à structure fibro-radiée. Les noyaux sont formés le plus souvent par des débris de Foraminifères, de tests ou même par le calcaire lui-même. Il ne fait aucun doute que dans certains cas des pseudo-oolithes aient donné naissance à de vraies oolithes. La forme de ces dernières est des plus variables, souvent les débris de tests conduisent à des oolithes allongées et aplaties, ayant une couche de calcite à l'intérieur et plusieurs à l'extérieur. La recristallisation atteint très souvent les oolithes et les transforme en grandes plages calcitiques contrastant avec le ciment qui est le plus souvent microcristallin avec pigmentations d'oxydes de fer.

g) *Calcaires oolithiques.*

Ils diffèrent des précédents par la prédominance des vraies oolithes, qui parfois forment toute la roche. Les noyaux des éléments sont parfois des Foraminifères ou des fragments de tests, dans d'autres cas ils ne sont pas discernables; le nombre des couches concentriques varie de 1 à 5, selon la grosseur du noyau. La recristallisation est souvent limitée aux couches externes des oolithes.

h) *Calcaires zoogènes.*

Calcaire très finement bréchique, dont la pâte est peu discernable à cause de l'abondance des débris d'organismes: Miliolidés, Textularidés, fragments de tests de Lamellibranches, plaques d'Echinodermes, piquants d'Oursins, etc. Les oxydes de fer sont très répandus dans ces niveaux, soit en amas mûriformes, soit en pigmentations, le quartz clastique est assez fréquent.

§ 2. Les sédiments calcaires d'origine mixte.

Nous désignons par ce terme des calcaires oolithiques et pseudo-oolithiques dont la pâte contient des fossiles marins et dont les éléments sont d'origine continentale, lacustre ou saumâtre. Nous laissons de côté les débris noirs que nous étudierons plus loin.

a) *Calcaires pseudo-oolithiques à débris rubéfiés.*

Dans ces calcaires, une proportion variable de pseudo-oolithes est formée par un calcaire à grain fin fortement rubéfié, contenant de rares Foraminifères et des débris de tests formant le centre des pseudo-oolithes. Il s'agit vraisemblablement de niveaux portlandiens qui ont été émergés pendant le Purbeckien et remaniés dans ce dernier. L'arrivée de ces débris rouges s'accompagne toujours d'amas d'oxydes de fer et parfois de quartz détritique. Dans d'autres cas, le calcaire rubéfié est d'origine purbeckienne, il contient des débris de Chara et d'Ostracodes, de nouveau la fausse oolithe possède un débris organique à son intérieur. Les fragments de tiges de Chara donnent lieu à des éléments allongés, tandis que les valves d'Ostracodes conduisent à des formes grossièrement ellipsoïdales.

b) *Calcaires pseudo-oolithiques à débris de calcaires d'eau douce.*

Les pseudo-oolithes se composent ici en grande partie de débris de Chara, les tiges et les verticilles forment les gros éléments arrondis, tandis que les débris de ramuscules et d'oogones donnent des variétés de formes infinies. Les Ostracodes donnent toujours des pseudo-oolithes ellipsoïdales, bien qu'assez rares dans ces types de roches. Les minéraux sont peu fréquents, le fer se présente parfois en très fines pigmentations dans les éléments.

c) *Calcaires pseudo-oolithiques à débris de calcaires saumâtres.*

Les Chara ne forment ici qu'une très faible proportion des éléments, tandis que les Ostracodes et les Dasycladacées abon-

dent, surtout les Clypeines. Cette composition conduit à des oolithes arrondies, assez régulières, parmi lesquelles n'apparaissent que de rares formes allongées dues à des tests de Lamellibranches. Les oxydes de fer sont très abondants et enrobent souvent les pseudo-oolithes d'un épais liséré brunâtre passant vers l'intérieur à de fines pigmentations.

§ 3. Les sédiments dolomitiques marins.

a) *Calcaires dolomitiques.*

A l'œil nu, ils sont de couleur jaunâtre à gris-jaune, à cassure pulvérulente. SM: on observe une pâte très fine formée par des cristaux de calcite interpénétrés avec des cristaux de dolomite. Très souvent, il y a de larges plages hexagonales de quartz secondaire à zones d'accroissement concentriques et bourrées d'inclusions. Absence presque complète d'organismes et de minéraux détritiques.

b) *Calcaires dolomitiques microbréchiques.*

Ils diffèrent des précédents par le fait que la pâte a été remaniée et fragmentée en débris anguleux. Le quartz secondaire est toujours abondant, mais le remaniement a souvent apportée de petits grains de quartz clastique et des pigments ferrugineux. L'exposition à l'air de ces microbrèches leur donne en surface un aspect finement vacuolaire (fausses cargneules). Assez rarement le remaniement peut conduire à une structure pseudo-oolithique et si la teneur en dolomite est assez forte, on passe à des dolomies pseudo-oolithiques.

c) *Dolomies cristallines.*

A l'œil nu, il s'agit de roches compactes, de teinte jaune clair, à cassure saccharoïde. SM: la pâte se résout en un agrégat microcristallin de dolomite. Certaines de ces dolomies sont concrétionnées et offrent des alternances de couches concentriques à divers degrés de cristallisation et rayonnants à partir de plusieurs centres. Il y a absence totale d'organismes et de minéraux clastiques ou d'origine secondaire.

§ 4. Les sédiments marneux saumatres-lacustres.

a) *Calcaires marneux.*

Ils se présentent comme des calcaires grisâtres, tendres, se délitant à l'air. SM: on note une pâte calcitique ultrafine ennoyée par de la matière argileuse en fins grumeaux. Les pigments d'argile sont parfois en traînées stratiformes associés avec les oxydes de fer et le quartz détritique. Les organismes sont peu abondants, en général ce sont des valves d'Ostracodes et de petits débris recristallisés et indéterminables. Dans d'autres types prédominent d'innombrables petits fragments de coronules et ramuscules de Chara, quelquefois en accumulations stratiformes. La roche résulte vraisemblablement d'une précipitation colloïdale, comme du reste les marnes.

b) *Marnes.*

Elles sont très semblables aux calcaires marneux, sauf que la forte teneur en matières argileuses empêche de distinguer la pâte calcaire. Les organismes sont rares, les valves d'Ostracodes sont parfois orientées suivant la stratification. Dans cette catégorie de sédiments, on observe parfois des traînées charbonneuses et des débris rubéfiés analogues à ceux décrits dans les calcaires marneux.

§ 5. Les sédiments calcaires saumatres-lacustres.

Dans le genre de sédimentation de ces calcaires, semble prédominer un classement par flottation. En effet, on observe des couches contenant exclusivement des débris de certaines parties de Characées ou d'autres algues d'eau douce.

a) *Calcaires à Ostracodes.*

Pâte calcaire à grain fin, de couleur gris-jaune, pétrie de carapaces entières ou brisées d'Ostracodes lisses et dentelés. Les individus entiers ont souvent conservé leur forme primitive et sont bourrés de calcite largement cristallisée, d'autres sont

complètement aplatis. Les débris de Characées sont assez rares. Le quartz est parfois présent, les oxydes de fer abondants.

b) *Calcaires à microdébris de Chara.*

Une pâte calcaire ultra-fine montre d'innombrables débris des parties fragiles des Characées, ce sont les anthéridies, les coronules, les ramuscules et les dentelures brisées des tiges. Il s'agit de la flottation, peut-être sous l'action du vent, des organes reproducteurs de ces algues d'eau douce. Rares carapaces d'Ostracodes.

c) *Calcaires à gyrogonites de Chara.*

Dans ce type, la pâte calcaire fine ne contient que des gyrogonites, plus ou moins brisés et dépourvus de leur coque, l'intérieur est en calcite largement cristallisée ou rempli par la pâte calcaire elle-même. Le mauvais état de conservation des gyrogonites semble témoigner en faveur d'une flottation prolongée.

d) *Calcaires à tiges de Chara.*

Dès que l'on observe des tiges dans une pâte calcaire, il n'est pas rare qu'elles présentent une orientation privilégiée, comme si elles avaient été fossilisées soit en position verticale, soit en position horizontale, selon les niveaux.

e) *Calcaires phytogènes à Chara.*

Il s'agit de calcaire pétri de Characées, très peu brisées, toutes les parties de la plante sont observables; tiges, entre-nœuds, verticilles, ramuscules et oogones parfois encore pourvus de leur cortex. Ce qui frappe c'est l'orientation des débris, comme s'il s'agissait de paquets d'algues couchés sur le fond ou accumulés par des courants. Les oxydes de fer sont abondants.

f) *Calcaires phytogènes à Chara brisées.*

On est en présence ici d'un véritable « feutrage » de débris de Chara. Tout est brisé, il n'y a pas un verticille, ni une tige qui ne soit pas déchiquetée ou fragmentée en multiples parties.

C'est sans doute le résultat d'un remaniement par des courants lacustres assez puissants.

g) *Calcaires pseudo-oolithiques à Chara.*

C'est le produit d'un remaniement sous faible couche d'eau de calcaires phytogènes à Chara. SM: on observe que chaque fragment, de quelque forme qu'il soit, a donné naissance à une pseudo-oolithe; parfois il y a passage à une structure finement grumeleuse.

h) *Calcaires pseudo-oolithiques à Ostracodes.*

Semblable au précédent, mais ce sont les Ostracodes entiers ou brisés qui forment les éléments. Il y a, bien entendu, des termes de passage entre ces deux extrêmes.

i) *Calcaires pseudo-oolithiques à Dasycladacées.*

Comme le nom l'indique, il s'agit du remaniement de couches à Dasycladacées [1]. Les débris de Chara et d'Ostracodes sont souvent très bien représentés et dans quelques cas rares on note des Foraminifères (Textularidés et Miliolidés).

j) *Calcaires grumeleux.*

A l'œil nu, il est impossible de les différencier de leur équivalent marin, si ce n'est par la présence de rares débris de carapaces d'Ostracodes (SM de même). Comme ce type de calcaire s'intercale toujours dans des couches lacustres, il ne fait aucun doute sur son mode de précipitation colloïdale dans des lacs d'eau douce.

k) *Calcaires compacts.*

Ce sont des calcaires gris clair à pâte ultra-fine, semblables à leurs équivalents marins. Ils contiennent de très petits fragments de carapaces d'Ostracodes et de petits débris recristallisés. Très souvent ces calcaires sont finement rubanés par des

[1] Nous n'avons jamais trouvé de calcaires compacts à Dasycladacées, ces dernières se rencontrent toujours dans les pseudo-oolithes.

traînées stratiformes d'oxydes de fer soulignant des zones de dissolution. Ces rubans ferrugineux sont parfois accidentés par des microplissements et des discordances, vraisemblablement dus à de petits glissements sous-lacustres.

§ 6. Les sédiments calcaires sapropéliens.

Ce sont ces types de calcaire qui forment la plus grande partie des éléments des brèches multicolores et qui constituent aussi les cailloux noirs répandus dans maints niveaux purbeckiens. Nous ne pouvons que reproduire la définition donnée par L. Cayeux (19):

« Le terme sapropélien implique une notion d'origine et non une composition minéralogique donnée. Les matériaux d'origine première organique interviennent dans la composition de ces calcaires sous des formes très diverses et, notamment, en tant que produits ultimes des transformations de la matière organique, végétale ou animale. La présence de ces produits se révèle dans les roches par *une teinte noirâtre et un aspect mat.* Dans le cas où ils sont développés au maximum, on les voit réaliser toute une série de manières d'être dans les coupes. Les sections sont-elles minces et la matière uniformément répartie, les coupes sont légèrement voilées par un pigment brun très pâle, comme si le milieu était très homogène. Il est impossible, dans ces conditions, de discerner la moindre différenciation en toutes petites particules. En règle générale, cette homogénéité ne se maintient que sur des espaces restreints. Un peu partout apparaissent de fines mouchetures, des facules, des taches, de minuscules traînées, des amas le plus souvent mal individualisés, confusément distribués, ou manifestant une tendance à l'alignement, plus ou moins reliés entre eux, tous de teinte brune, passant au brun noirâtre lorsque les concentrations sont très denses. Y a-t-il des organismes dans le milieu, les loges sont envahies par le produit, à l'exclusion d'une autre substance et leur organisation s'en trouve remarquablement soulignée. »

Cette description s'applique parfaitement aux:

a) *Calcaires sapropéliens compacts*

(voir coupe de Six-Fontaines, niveau nº 1) du Purbeckien, qui du reste sont assez rares.

A l'œil nu, ce sont des roches compactes, de teinte bleu-noir ou brune, à cassure franche. SM: on constate la diagnose donnée par L. Cayeux, c'est-à-dire une pâte brunâtre très fine contenant d'innombrables débris de Characées, d'Ostracodes, de tests de Lamellibranches et de Gastéropodes, le tout dans un état de fragmentation très poussée. Les minéraux clastiques manque souvent, tandis que les oxydes de fer sont très abondants en amas ou en pigmentation soulignant les contours des débris.

Les deux traits caractéristiques de ce type de roche sont, d'une part *la présence d'algues et d'organismes d'eau douce*, et d'autre part une répartition très homogène de la matière organique. Le remaniement ultérieur de ce type de calcaire a donné naissance à des cailloux noirs aux formes anguleuses très variables, puisqu'elles dépendent de la nature du débris organique ayant servi de centre: carapaces d'Ostracodes, tiges, oogones ou verticilles de Chara. Il est assez rare de trouver des galets noirs formés uniquement de pâte, la fragmentation semble s'être presque toujours effectuée autour d'un ou plusieurs débris organiques plus résistants. La grande majorité des galets noirs des brèches multicolores résultent de ce mode de formation.

b) *Calcaires sapropéliens grumeleux*

(voir coupe de Vaulion, niveaux nºs 1, 2, 5, et coupe de Six-Fontaines, niveau nº 6).

Ils contiennent très peu de débris organiques, sauf quelques rares carapaces d'Ostracodes brisées. La matière organique se présente sous le microscope en grumeaux et en taches plus ou moins diffuses, à contours mal délimités. Il n'y a aucune répartition privilégiée de ces flocons dans la roche, ce fait est démontré par des carapaces d'Ostracodes passant au travers de certains amas de matière organique. Les oxydes de fer sont

toujours très fréquents dans toutes les coupes, parfois ils se concentrent autour ou dans les grumeaux.

c) *Calcaires sapropéliens pseudo-oolithiques*

(voir coupe de Vaulion, niveau n° 8, et coupe des Clées, niveaux n°s 5 et 6).

La différence avec le terme précédent réside dans le fait que les grumeaux sont ici de grande taille, dépassant 1,5 mm de diamètre. En fait ce sont des pseudo-oolithes, mais ne résultant pas d'un remaniement, car leur teneur en matières organiques est plus forte que celle du ciment et d'autre part, des carapaces d'Ostracodes passent du ciment dans la pseudo-oolithe, prouvant la formation *in situ* par concentration de la matière organique. Souvent les éléments sont criblés de pigmentations ferrugineuses tandis que la pâte en est presque dépourvue.

d) *Calcaires sapropéliens oolithiques à cailloux noirs autochtones*

(voir coupe des Clées, niveaux n°s 2 et 3).

Dans ce type de calcaire sapropélien, les éléments s'entourent d'un liséré de calcite et accusent une certaine recristallisation. Cette transformation aboutit à une roche qui sous le microscope montre une pâte brune contenant des oolithes brun foncé très riches en matière organique et entourées par une couronne calcitique d'épaisseur variable, presque toujours soulignée par des oxydes de fer. Parfois le centre des éléments est plus riche en matière organique que le reste, c'est le résidu du grumeau primitif qui s'est encore enrichi au cours du processus. Ces oolithes et fausses-oolithes dues à la concentration de la matière organique *in situ*, diffèrent des types normaux par le fait qu'elles ne sont pas formées autour d'un débris organique ayant agi comme centre, mais découpent à l'emporte-pièce la roche sans égard aux organismes qu'elle peut contenir. Ce mode de formation est assez semblable à celui décrit par L. Cayeux (19) sous le titre: *Genèse de pseudo-oolithes consécutives d'un commencement de cristallisation d'une vase calcaire.*

« La cristallisation partielle du calcaire au lieu de respecter des témoins anguleux de grande taille, découpe dans la roche une infinité de globules de la dimension des oolithes. Au micros-

cope, ces globules affectent une forme circulaire, elliptique ou irrégulière, et leur composition, aussi bien que leur structure, sont en tout point identiques à celles du calcaire. »

Dans les trois cas envisagés, la cristallisation partielle est accompagnée d'une migration de la matière organique. Le phénomène est amorcé par des floculations qui agissent comme centres d'attraction en drainant à leur profit le reste de la roche. Au fur et à mesure que cette concentration s'effectue, la composition de la pseudo-oolithe s'enrichit en matière organique, tandis que celle du ciment s'appauvrit. C'est la seule différence que l'on puisse observer, car tous les autres caractères du ciment se retrouvent dans les éléments. Ainsi se forment, au sein même de la roche, des cailloux noirs « embryonnaires » à contours diffus ou entourés par une mince couronne calcitique.

Le remaniement ultérieur de ces types de calcaires sapropéliens, oolithiques ou pseudo-oolithiques, libérera des cailloux noirs ayant déjà une forme subarrondie et formés par une pâte cristalline relativement pauvre en débris organiques.

e) *Calcaires sapropéliens à cailloux noirs allochtones*
(voir coupe des Clées, niveau n° 9).

Assez souvent, on rencontre des calcaires sapropéliens à débris de Characées et d'Ostracodes contenant des galets d'un autre calcaire sapropélien de composition différente. En général il s'agit d'un calcaire noir, très riche en matière organique. Les galets ont des formes anguleuses variables et sont formés par des débris de tiges, de verticilles et d'oogones de Chara.

Conclusions.

Les cailloux noirs qui forment la plus grande partie des éléments des brèches multicolores ou qui sont répandus à l'état isolé dans maints niveaux purbeckiens, résultent de deux modes de formation nettement distincts:

Premier type (fréquent). — Les cailloux noirs ont des contours anguleux variables déterminés par la nature des débris organiques autour desquels la pâte sapropélienne s'est fragmentée.

L'origine de ce type est à rechercher dans le remaniement des calcaires sapropéliens compacts.

Deuxième type (rare). — Les cailloux noirs ont des contours arrondis ou subarrondis, ils se sont formés par un commencement de cristallisation accompagné d'une concentration de la matière organique. L'origine de ce type est à rechercher dans le remaniement des calcaires sapropéliens grumeleux, oolithiques et pseudo-oolithiques.

La distinction de ces deux types n'est pas absolue; il y a de nombreux termes de passage provenant en premier lieu de la grande variabilité de composition des vases sapropéliennes, et ensuite de la nature et de l'intensité de l'usure subie lors du transport.

Il est intéressant de rapporter ici les opinions des divers auteur sur l'origine des cailloux noirs. L. de Buch les considérait comme des débris de Malm alpin. Pour Girardot (46) les galets noirs se sont formés dans les vases par agglomération ou par voie d'attraction moléculaire. Choffat (21) avait signalé près de Moutier une petite coupe de Purbeckien comprenant deux bancs de calcaire noir à Chara et Planorbes. Il montrait ainsi que les calcaires noirs pouvaient bien se former au milieu de calcaires blancs. Maillard (74) exprima des doutes sur la découverte de Choffat en disant: « Ceci me semble peu clair, les cailloux noirs ne peuvent provenir du Purbeckien, car une couche ne peut pas en même temps se former, s'éroder et fournir des matériaux de transport. » Il admet dès lors les vues de Girardot, mais envisage aussi, pour certaines localités, une origine détritique, car selon lui: « C'est surtout dans le N du territoire purbeckien qu'ils sont fréquents, quelques-uns sont formés par une oolithe ferrugineuse pouvant être rapportée assez sûrement au Dogger, d'autres, un calcaire noir à pâte fine et à veinules jaunâtres rappelle un peu le Lias du Jura, un troisième type est un calcaire compact gris-blanc, semblable à celui du Jurassique supérieur. Les cailloux ont donc été amenés par des cours d'eau assez larges, quoique peu profonds, qui prenaient leur source probablement au pied des massifs vosgiens. »

Il faut attendre les travaux de Favre et Joukowsky (35), puis Favre et Richard (36) pour obtenir des précisions sur l'origine des cailloux noirs. D'après ces auteurs, non seulement une partie des galets peut provenir des bancs sous-jacents, mais tous ont une origine locale. La couleur des galets serait un caractère négligeable pour la détermination de l'origine des éléments des brèches. Il n'y a pas lieu non plus de s'étonner de ne pas retrouver dans les sédiments purbeckiens les bancs gris bleutés ou noirs ayant fourni les galets des brèches, car les galets noirs ne diffèrent entre eux que par la couleur. On trouve d'ailleurs toute la gamme des tons entre les uns et les autres, de sorte que les auteurs croient pouvoir admettre que la couleur sombre des galets est due à la protection fournie par le ciment qui les englobe, tandis que la roche-mère en place aurait été entièrement décolorée par les phénomènes d'oxydation superficielle.

Malheureusement nous ne pouvons accepter ce mode de voir, car les nombreuses coupes minces effectuées dans les galets noirs nous amènent aux constatations suivantes:

1° Les galets noirs ne proviennent jamais des bancs sous-jacents, mais de couches contemporaines offrant le faciès sapropélien.

2° Les galets noirs proviennent du remaniement de couches sapropéliennes lacustres; ils ont donc une origine locale, mais nettement délimitée et en liaison avec la paléogéographie purbeckienne que nous étudierons plus loin (localisation sur les dorsales anticlinales).

3° Les roches-mères des galets noirs existent, ce sont les calcaires sapropéliens compacts, pseudo-oolithiques et oolithiques. Par l'effet de l'oxydation superficielle, leur teinte est toujours plus claire que celle des galets, mais tous les autres caractères sont parfaitement identiques. La rareté des affleurements de ces roches provient de deux faits. D'abord elles ont été presque toujours remaniées dès leur formation et redéposées à l'état de brèches multicolores. Ensuite, après le plissement principal du Jura au Tertiaire, les anticlinaux ont été décapés par l'érosion en

général jusqu'au Kiméridgien; et ce n'est qu'à la faveur de conditions tectoniques spéciales que le Purbeckien a pu être conservé sur les anticlinaux.

4° Les divers types de galets noirs diffèrent entre eux non seulement par la couleur, mais par la composition. Les gammes de teintes intermédiaires sont dues à des différences de structure et de teneur en matières organiques et non pas à la pyrite.

5° L'oxydation superficielle à l'affleurement décolore les galets noirs et parfois les recouvre d'une couche poreuse gris blanchâtre qui les rend presque invisible. Mais sous le microscope leur nature est toujours décelable, bien que l'oxydation s'accompagne toujours d'une forte concentration d'oxydes de fer à l'état de pigments isolés ou d'auréole plus ou moins développée. Cependant, ainsi que le pensaient Favre et Joukowsky (35) il semble bien que le ciment des brèches ait en partie protégé les galets noirs de l'oxydation car nous avons déjà vu qu'actuellement les roches-mères ne sont jamais aussi noires que les galets des brèches.

6° Il n'est pas question de voir une liaison entre la couleur des galets et celle du ciment englobant, puisqu'il s'agit de deux types de sédiments différents. S'il est hors de doute que dans certains cas le ciment bleuté par la pyrite pigmentaire ait été décoloré, ce processus est indépendant de l'oxydation des galets noirs.

§ 7. Les brèches multicolores (Auct.).

Ce faciès typique du Purbeckien du Jura se montre d'une grande variabilité de composition, que la plupart des auteurs semblent avoir négligée. En effet, de prime abord toutes les brèches multicolores semblent identiques, mais après une étude détaillée, on peut affirmer qu'*il n'y a pas deux brèches multicolores semblables.*

Définition de la roche.

On observe tous les termes de passage entre la brèche typique et le micropoudingue, les types intermédiaires sont les plus fréquents, nous les désignerons par le nom de brèche-poudingue. Il n'y a cependant aucune relation entre le milieu où s'est déposé la brèche et sa structure [1]. Nous allons subdiviser les brèches multicolores en trois catégories selon leur mode de gisement:

1° Milieu lacustre;
2° Au passage du milieu marin au milieu lacustre et vice versa;
3° En milieu marin.

Nous prendrons des exemples typiques choisis dans les coupes stratigraphiques vues plus haut.

1. *Brèches multicolores en milieu lacustre.*

Pour éviter des confusions rappelons que les calcaires sapropéliens noirs donnent en coupe mince une teinte brune plus ou moins foncée.

a) *Niveau n° 36 de la coupe du col de La Dôle.*

Micropoudingue multicolore contenant les éléments suivants:
Calcaire sapropélien compact brun sombre à rares débris de Chara et d'Ostracodes (éléments subanguleux),
Calcaire sapropélien grumeleux brun (subanguleux),
Calcaire sapropélien pseudo-oolithique brun à débris d'Ostracodes (arrondis),
Calcaire sapropélien oolithique brun clair à gros Ostracodes (arrondis),
Calcaire finement grumeleux gris, sans organismes (subanguleux),
Calcaire clair à débris de Chara et d'Ostracodes (subanguleux).

[1] Disons d'emblée que le graded-bedding à diamètre décroissant vers le haut est de règle dans les brèches multicolores et en général dans tout dépôt de cailloux noirs. Ce classement du matériel dans le sens vertical exprime une diminution de l'intensité du mouvement des eaux.

Dans ce niveau, comme l'indique son nom, les éléments arrondis prédominent nettement sur les subanguleux. L'interpénétration des divers galets est assez poussée et indique qu'il s'agissait de galets mous. De même les débris de Chara, les oogones et les Ostracodes du ciment calcitique sont très souvent déformés et pénètrent parfois même dans les éléments. Les oxydes de fer, très abondants, colorent en brun sombre les couches concentriques des oolithes ou soulignent par des traînées stylolithiques les contacts des galets. En résumé, les éléments et le ciment sont tous deux d'origine lacustre.

b) *Niveau n° 8 de la coupe des Clées.*

Brèche-poudingue multicolore contenant les éléments suivants:

Calcaire sapropélien brun grumeleux à débris de Chara et d'Ostracodes (anguleux),
Calcaire sapropélien compact brun sombre à rares débris d'Ostracodes (anguleux),
Calcaire sapropélien brun sombre pétri de microdébris de Chara (subarrondis),
Calcaire sapropélien brun sombre pétri de débris de Clypeines (subarrondis),
Calcaire sapropélien oolithique brun à tiges et oogones de Chara (arrondis),
Calcaire finement grumeleux à débris d'Ostracodes (anguleux),
Calcaire à débris de Chara et d'Ostracodes (subarrondis).

Dans ce type, les éléments anguleux prédominent sur les arrondis, les galets sont fortement interpénétrés. Le ciment est calcitique, largement cristallisé et contient des fragments de Characées indiquant un milieu de sédimentation lacustre.

2. *Brèches multicolores au passage du milieu marin au milieu lacustre et vice versa.*

Elles sont toujours caractérisées par la présence de Fucacées et constituent par ce fait un indice précieux pour déterminer les changements de milieu.

a) *Niveau n° 22 de la coupe du col de La Dôle.*

Microbrèche multicolore contenant les éléments suivants:

Calcaire sapropélien compact brun foncé à petits débris organiques indéterminables (subanguleux),

Calcaire sapropélien pseudo-oolithique brun à débris de Fucacées (subarrondis),

Calcaire sapropélien oolithique brun à Fucacées (arrondis),

Calcaire compact gris recristallisé sans organismes (subanguleux).

Le ciment est formé par de la calcite largement cristallisée à débris de tests de Lamellibranches et de Gastéropodes, assez nombreux fragments de Fucacées. Absence complète de Chara et d'Ostracodes.

b) *Niveau n° 12 de la coupe du Crêt au Bovairon.*

Brèche-poudingue multicolore contenant les éléments suivants:

Calcaire sapropélien gris-brun grumeleux à nombreux débris de Chara et d'Ostracodes (subarrondis), d'autres éléments contiennent des Fucacées,

Calcaire sapropélien brun très foncé à tiges brisées de Chara (subanguleux),

Calcaire compact gris recristallisé sans organismes (subanguleux),

Calcaire microgrumeleux à débris de Chara (subarrondis).

Le ciment est formé par de la calcite finement cristallisée à nombreux fragments de tests de Lamellibranches et de valves d'Ostracodes écrasés entre les éléments. Par endroits, accumulation d'oogones de Fucacées en partie recristallisés.

c) *Niveau n° 7 de la coupe de Noiraigue.*

Micropoudingue multicolore formé par les éléments suivants:

Calcaire sapropélien brun sombre microgrumeleux sans fossiles (subarrondis),

Calcaire sapropélien brun très sombre à rares débris de Chara et nombreux grains de quartz clastique (subarrondis),

Calcaire sapropélien brun noirâtre pétri d'innombrables débris de Characées et de Dasycladacées (anguleux).
Calcaire compact clair, sans organismes (subarrondis).

Le ciment calcitique microcristallin contient de gros débris de tests de Lamellibranches, des fragments de graines de Conifères, des Ostracodes et des Dasycladacées. Les oxydes de fer abondent soulignant les contours des éléments et des fossiles du ciment.

3. *Brèches multicolores en milieu marin.*

Nous n'avons pas rencontré au cours de notre étude de brèche multicolore nettement marine. Mais on sait par les études de Favre et Joukowsky (35) et Favre et Richard (36) qu'elles ne diffèrent des autres que par la nature des fossiles du ciment qui sont dans ce cas de Foraminifères.

En résumé, le caractère multicolore des brèches est dû au fait qu'elles sont formées par les débris de divers calcaires sapropéliens noirs et de tous les autres types de sédiments purbeckiens dont la teinte varie du gris au jaune clair. Selon la position stratigraphique de la brèche multicolore, les types de sédiments clairs varient, tandis que ceux de teinte noire sont toujours constants. Ces divers caractères sont résumés dans le tableau ci-après.

§ 8. Les couches a cailloux noirs.

N'importe quelle couche purbeckienne quelle soit lacustre, marine ou saumâtre, est susceptible de contenir des cailloux noirs d'*origine allochtone*. Ces arrivées de galets de calcaire sapropélien représentent un faciès atténué des brèches multicolores et, souvent, ces dernières sont précédées et suivies par des venues de galets noirs. Ces derniers sont semblables en tout point à ceux formant les brèches, nous n'y insisterons donc pas. Quant à la forme des galets elle est anguleuse ou arrondie selon le type de formation. Il ne faut cependant pas y voir une règle absolue, car l'usure d'un galet noir anguleux, formé

Milieu de sédimentation	Nature des éléments		Nature du ciment
	Eléments clairs	Eléments noirs	
Lacustre	Calcaires compacts grumeleux ou pseudo-oolithiques à Chara et Ostracodes	Calcaires compacts grumeleux ou pseudo-oolithiques sapropéliens à Chara et Ostracodes	Calcitique microcristallin ou largement cristallisé à Chara, Ostracodes et Lamellibranches
Passage lacustre-marin ou vice versa	Idem avec calcaires à Fucacées, calcaires à Dasycladacées, calcaires compacts sans organismes	Calcaires compacts grumeleux ou pseudo-oolithiques sapropéliens à Chara, Ostracodes et Fucacées	Calcitique microcristallin ou largement cristallisé à Ostracodes, Fucacées, Dasycladacées et Lamellibranches
Marin	Calcaires compacts grumeleux ou pseudo-oolithiques à Dasycladacées et Ostracodes	Calcaires compacts grumeleux ou pseudo-oolithiques sapropéliens à Chara, Ostracodes et Fucacées	Calcitique microcristallin ou largement cristallisé à Foraminifères, Dacycladacées et Lamellibranches

autour d'un débris organique, conduira à une forme arrondie. En général, plus les galets sont petits, plus ils sont anguleux; cela provient du fait que les petits éléments flottent dans le milieu liquide lors du transport et subissent une usure moindre.

§ 9. Relations entre l'apparition des cailloux noirs et les variations de la courbe des faciès.

Nous traiterons ensemble les brèches multicolores et les arrivées de cailloux noirs et ceci pour quelques coupes stratigraphiques.

Au Crêt-au-Bovairon, la première brèche multicolore apparaît au passage du milieu marin au milieu lacustre, puis toutes les pointes de la courbe des faciès correspondant aux calcaires à Chara sont accompagnées d'arrivées de cailloux noirs. La

subsidence annonçant le retour du faciès marin est marquée par une brèche, tandis que les oscillations qui terminent la série sont accompagnées d'arrivées de cailloux noirs.

On peut répéter ces observations pour la coupe des Biolles-Marais-Rouge, de même au col de La Dôle, la première émersion est encadrée par des couches à cailloux noirs, tandis que la seconde, plus importante, l'est par des brèches multicolores. A Vaulion-Pétrafelix, l'émersion la plus nette est representée par une brèche épaisse de 60 cm. Aux Clées, les cailloux noirs apparaissent aux moindres variations de faciès, un cas semblable est celui de Feurtilles. Nous pouvons donc résumer les observations comme suit:

1° Les brèches multicolores apparaissent toujours aux changements de milieu et plus rarement au cours des plus importants changements de faciès, soit en milieu marin, soit en milieu lacustre;

2° Les arrivées de cailloux noirs sont liées aux oscillations de moindre importance, parfois elles suivent où précèdent les brèches multicolores.

Ainsi s'affirme la liaison étroite de cause à effet entre les mouvements positifs ou négatifs du fond de la mer et les faciès à cailloux noirs. Il semblerait de prime abord, en examinant les courbes, qu'il y ait une relation entre l'apparition des cailloux noirs et les maxima de la courbe du quartz détritique. Mais c'est une simple apparence due au fait que ce sont deux effets d'une même cause. Ceci se remarque aisément, car les arrivées de galets noirs, d'origine locale, enregistrent les moindres oscillations, tandis que le quartz d'origine lointaine ne se présente que lors des grands mouvements.

En revanche, la liaison entre le fer et les cailloux noirs est évidente, ils semblent avoir même origine, cela permet d'étendre aux cailloux noirs la même *notion de sédimentation retardée* que nous avons remarqué pour le fer. Rappelons qu'il s'agit de l'apparition de ces caractères aux termes 2, plus rarement au terme 1, d'un cycle quel qu'il soit. Ce retard qui exprime le temps nécessaire à la formation des oxydes par altération superficielle d'une terre émergée rend compte aussi du temps néces-

saire au remaniement des couches noires. Ceci nous amène à préciser le mode de formation des brèches multicolores.

k) *Mode de formation des brèches multicolores.*

Le matériel étant toujours d'origine lacustre, la formation des brèches exige la présence de terres émergées, nous verrons plus loin leur localisation exacte. Rappelons d'abord l'hypothèse émise par Favre et Joukowsky (35) et Favre et Richard (36) à propos du Salève et de la cluse de la Balme: « ... le fond de la mer a subi une série d'oscillations, positives et négatives. Lors des soulèvements, ce fond, parallèle dans son ensemble à la surface de la mer, mais très légèrement ondulé, a donné naissance à des îles temporaires à relief à peine sensible où les sédiments fraîchement déposés avaient le temps de se consolider et probablement aussi de se fissurer par dessication. Les vagues et les marées faibles attaquaient ces terres nouvelles et répandaient sous l'eau dans le voisinage les galets qu'elles y avaient arrachés, mais leur action n'a pas cependant été suffisamment intense pour pouvoir les arrondir. Du reste, un affaissement n'a pas tardé à interrompre pour quelque temps l'action destructive de la mer et la sédimentation marine a continué à accumuler des dépôts sur les régions récemment émergées. »

Comme on le voit, il faut modifier et compléter en partie ce mode de voir. Les variations de faciès vues plus haut témoignent d'ondulations assez fortes correspondant à des îles au relief bien sensible (faciès conglomératiques). Ces îles ont persisté, dans la plupart des cas, pendant toute la durée du Purbeckien, et à leur surface le faciès sapropélien lacustre s'est maintenu presque sans modifications, de ce fait elles ont fonctionné comme zones émettrices de cailloux noirs. En effet, lors des oscillations positives ou négatives dues aux efforts orogéniques intermittents, il se produit d'importantes ruptures d'équilibre en milieu marin et lacustre. Par exemple, la mer pénètre dans des lacs d'eau douce ou s'en retire, les lagunes voient leur étendue et leur profondeur se modifier, d'autres se relient entre elles ou s'isolent. Les marées, les vagues et les courants qui sont la conséquence de cette instabilité remanient les dépôts sapropéliens en formation, les mêlent aux dépôts normaux et, après un transport

plus ou moins long, les redéposent à l'état de brèches multicolores ou de galets isolés, sans distinction du milieu de sédimentation.

§ 10. Origine et mode de formation de quelques sédiments purbeckiens.

a) *Les calcaires sapropéliens.*

Selon L. Cayeux (19), « la constitution actuelle de la substance sapropélienne reste indéterminée. Jamais elle ne se résout en éléments de très petite taille. En lumière réfléchie, elle ne prête à confusion, ni avec les composés ferrugineux, ni avec la matière charbonneuse, par la raison qu'elle reproduit sa couleur propre. Cette substance est sans doute à base de carbone sous une forme indéterminée. »

En ce qui concerne le milieu générateur des sapropels purbeckiens, nous pouvons affirmer qu'il est *lacustre ou parfois saumâtre, mais en aucun cas marin.* Nous sommes ainsi en parfait accord avec H. Potonie (124) qui exclut la mer des milieux générateurs de gelées sapropéliennes, par le fait que les organismes ne peuvent donner naissance à une accumulation appréciable de matières humiques sur le fond de la mer. Appuyant cette opinion très catégorique du point de vue général, mais valable pour les formations purbeckiennes, H. Potonie fait remarquer que les dragages sous-marins n'ont jamais rencontré de formations humiques sur le fond des mers actuelles. D'ailleurs il écrit: « Des amas d'humus ne peuvent se former que si des restes de végétaux sont immergés, en temps utile, à l'abri de l'air sous des eaux stagnantes, phénomène qui ne peut se produire dans une mer, sans compter que le fait seul de devoir traverser de grandes masses d'eau amènerait une décomposition rapide des organismes. »

Dans un travail consacré aux sapropélites, H. Potonie (124) a étudié quels sont les organismes que l'on y rencontre le plus fréquemment, ce sont d'abord les Characées, Caulerpa, Potamogeton, les Chlorophycées, Schizophycées, Diatomées, Oscillariées, les Mousses et plus rarement les Ptéridophytes et les

Angiospermes. Le plancton doit jouer du reste un rôle important, mais variable selon les localités.

Un exemple intéressant, surtout comme document de comparaison, est la composition des sapropélites quaternaires de l'Allemagne du Nord:

Restes de végétaux: Schizophycées, Oscillariées, Rivulariées, Chlorococacées, Schizomycètes, Conferves, Characées, Desmidiacées, Volvocacées, Œdogoniales, Cladophorales, Vaucheriales, grains de pollen.

Restes d'organismes: Plancton, débris de Crustacés, spicules de spongiaires.

Minéraux et divers: Calcaire, argile, sable, sulfure de fer, concrétions pyriteuses, vivianite et une matière fondamentale gélatineuse provenant de la décomposition de la substance organique.

Les études sur les sapropélites de la Prusse-Orientale montrent la grande gamme de variations de ces formations et H. Potonie (124) montre que sous l'action du vent et des courants, les divers types de gelées sapropéliennes peuvent être mélangés, remaniés, parfois accumulés le long des rivages en de véritables barres épaisses de plusieurs mètres; de même il souligne l'extrême mobilité et la rapidité avec laquelle certains faciès peuvent envahir des lagunes entières.

Nous avons pu constater ce comportement complexe des sapropels purbeckiens surtout dans la coupe des Clées (fig. 34). Les niveaux 2, 3 et 5 sont formés par des calcaires sapropéliens pseudo-oolithiques et oolithiques, donc à cailloux noirs autochtones (nous les désignons par la lettre A). Au niveau 8 apparaît une brèche-poudingue multicolore, dans laquelle nous trouvons des éléments provenant du remaniement des couches 2, 3 et 5, associés, entre autres, à deux autres types de calcaires sapropéliens, que nous appellerons B et C.

Le niveau 9 est formé par le calcaire sapropélien B à l'état de roche compacte mais contenant toujours des débris de C. Les couches 10 et 11 sont des calcaires grumeleux lacustres à débris de C. On peut donc conclure de ces faits que le remaniement des couches A s'est arrêté au niveau 8 avec l'apparition de la brèche-poudingue. D'autre part, le faciès B qui existait dans le

voisinage pendant le dépôt de la couche 8, dans laquelle il est remanié, a ensuite envahi la région au niveau 9. Pendant ce temps un autre faciès sapropélien C existait aussi à proximité et les produits de son remaniement s'étendent, dans le temps,

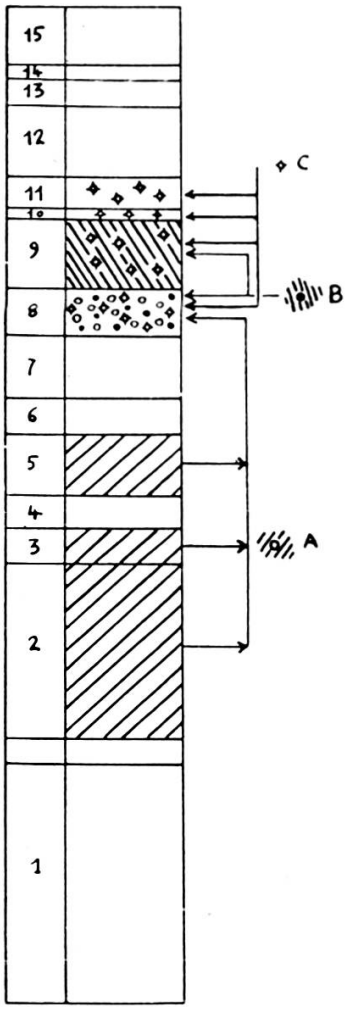


Fig. 34.
Les faciès sapropéliens
de la coupe des Clées.

du niveau 8 à 11. Nous avons là un indice de la complexité des formations sapropéliennes et de leur mobilité dans l'espace et dans le temps.

Rappelons pour terminer que les phénomènes de putréfaction de la matière organique ne sont pas limités au régime lagunaire, mais peuvent aussi se produire dans les récifs coralliens, comme

l'a montré l'étude de A. Bersier (8) sur les oolithes noires du récif kiméridgien de Vallin. D'après cet auteur, le milieu générateur des oolithes noires n'est autre chose que l'intérieur des organismes en cours de décomposition. Ainsi, localement, le milieu réducteur de cavités animales en voie de fossilisation suffit pour donner au sédiment sa couleur noire.

b) *Les calcaires dolomitiques.*

D'après les analyses rapides que nous avons faites, le rapport en poids $CaCO_3/CaCO_3 + MgCO_3$ montre en gros les valeurs suivantes:

Dolomies: 0,50 à 0,60,
Calcaires dolomitiques: 0,70 à 0,80,
Marnes dolomitiques: 0,80 à 0,90,
Brèches dolomitiques: 0,80 à 0,95.

Disons d'emblée que les couches dolomitiques purbeckiennes sont marines. Les dolomies sont assez rares, les calcaires dolomitiques prédominent; mais il importe de noter que les faciès de remaniement (brèches) ou littoraux (marnes) montrent un rapport élevé, en d'autres termes une faible teneur en $MgCO_3$, ce qui semble indiquer que l'agitation des eaux ou leur très faible profondeur n'est pas favorable à la genèse de la dolomie. D'ailleurs le milieu marin relativement profond semble aussi exclure la présence de dolomie. Ces constatations permettent « d'encadrer » assez bien les conditions de formation des dolomies purbeckiennes: elles exigent une certaine stabilité ou des oscillations lentes qui maintiennent le fond marin dans des profondeurs moyennes. Les relations que l'on peut tirer des courbes de faciès montrent la nécessité d'une « profondeur optimum », par le fait que les couches dolomitiques alternent avec d'autres sédiments marins qui sont absolument dépourvus de dolomie. On remarque aussi nettement dans les séries purbeckiennes que tout soulèvement ou abaissement rapide du fond marin suivi par une régression ou une ingression marine brusque n'est pas accompagné par des couches dolomitiques. Ainsi l'origine sédimentaire de la dolomie s'affirme; rappelons ici ce que L. Cayeux (19, 20) a observé sur le mode de répartition des accidents magnésiens de la craie du bassin de Paris.

A savoir que ces derniers s'ordonnent autour des ruptures d'équilibre, surtout des soulèvements et ridements sous-marins. La diminution de profondeur semble donc un facteur important; du reste les dolomies portlandiennes, annonciatrices du faciès purbeckien, en sont la preuve. Cependant, lorsque se produisent des diminutions trop fortes de profondeur (accompagnées ou non d'émersions), la teneur en MgCO3 retombe ou devient même nulle; c'est le cas des marnes et des brèches.

En resumé, les dolomies purbeckiennes semblent être d'origine chimique et pourraient résulter en partie de la double décomposition admise par les auteurs dans le cas des lagunes:

$$MgSO_4 + 2Ca(HCO_3)_2 = CaMg(CO_3)_2 + CaSO_4 + 2CO_2 + 2H_2O$$

ou

$$MgCl_2 + 2Ca(HCO_3)_2 = CaMg(CO_3)_2 + CaCl_2 + 2CO_2 + 2H_2O$$

Ces réactions exigent d'abord un apport de bicarbonate de calcium aisément concevable à partir des zones émergées, ensuite une concentration des eaux marines, qui nous paraît avoir été difficilement atteinte dans les mers du Purbeckien inférieur. En effet, les couches dolomitiques d'origine lagunaire sont dépourvues d'organismes, tandis que les nôtres contiennent en tout cas des crustacés (*Coprolithus salevensis* Par.) dont la vie était impossible dans des lagunes sursalées. En conséquence nous pensons qu'une partie, même prépondérante, du magnésium provient de la dissolution du fond marin qui est formé, ne l'oublions pas, de dolomies portlandiennes.

Nous aurions là une source de magnésie importante qui permettrait les réactions vues plus haut sans envisager des concentrations trop poussées de l'eau de mer. Ainsi la « profondeur optimum » que nous avons admise plus haut pourrait être celle convenant le mieux, du point de vue physico-chimique, aux phénomènes de dissolution et d'enrichissement sur le fond marin.

« L'homme de science qui ne peut émettre une hypothèse n'est plus qu'un comptable de phénomènes. »
LECOMTE DU NOÜY.

CHAPITRE 3

PALÉOGÉOGRAPHIE ET PALÉOTECTONIQUE

§ 1. GÉNÉRALITÉS.

A la suite de ses études, G. Maillard (74) était arrivé à la conclusion que la lagune purbeckienne pouvait être divisée en deux domaines; d'une part la zone dite « des marnes à gypse », s'étendant depuis les affleurements les plus septentrionaux de Saint-Imier jusqu'à une ligne tirée de Pontarlier-Petites-Chiètes à Vallorbe. A partir de cette ligne et jusqu'à l'extrémité S du territoire purbeckien, il n'y a plus, selon Maillard, de couches saumâtres supérieures, ni de marnes à gypse, tout l'étage est lacustre.

D'après nos recherches, la stratigraphie dans la partie méridionale de la lagune est plus compliquée et présente aussi trois termes, les marnes à gypse sont remplacées par les couches dolomitiques inférieures, tandis que les couches lacustres et saumâtres supérieures persistent. Voici un tableau schématique des divers faciès et de leurs relations:

(domaine des couches dolomitiques)			(domaine des marnes à gypse)
La Dôle	Vallorbe	Le Locle	
Couches saumâtres supérieures			Purbeckien sup.
Couches lacustres supérieures			Purbeckien moy.
Intercalation marine moyenne			
Couches lacustres inférieures			
Couches dolomitiques inférieures		Couches dolomitiques réduites Marnes à gypse	Purbeckien inf.

Il semble que les marnes à gypse soient l'équivalent de la plus grande partie des couches dolomitiques inférieures.

Un simple examen des séries stratigraphiques et surtout des courbes de faciès que nous avons données, montre que le Purbeckien du Jura est sujet à de grandes variations de faciès et d'épaisseur. Ces deux caractères sont intimement liés et il n'est pas question de voir dans ces variations des effets tectoniques secondaires (réductions, laminages), mais bien le résultat d'une paléogéographie accusée.

Nous allons, dans les lignes qui suivent, développer l'idée que dans les séries purbeckiennes on peut distinguer deux types principaux de faciès, l'un répondant à des conditions anticlinales, l'autre à des conditions synclinales. Bien entendu, il ne faut pas se méprendre sur les termes « anticlinaux » et « synclinaux », il s'agit des ondulations à grand rayon de courbure d'une tectonique embryonnaire. Les coupes stratigraphiques que nous avons données ne sont pas *actuellement* en position nettement anticlinale ou synclinale, car dans le premier cas le Purbeckien des charnières a été érodé et celui des synclinaux enfoui en profondeur. Ces séries se situent donc en des positions intermédiaires qui, selon les localités, se rapprochent plus ou moins de l'axe de l'anticlinal ou du synclinal actuel. Ceci explique pourquoi les exemples donnés plus loin pour chaque type de faciès ne présentent pas toujours la totalité des caractères spécifiques.

Voyons les caractères généraux des deux types de série:

a) *Série anticlinale:*

1° Epaisseur réduite;
2° Lacunes stratigraphiques, surfaces d'émersion;
3° Faciès lacustre largement développé;
4° Intercalations marines réduites ou absentes;
5° Présence de niveaux sapropéliens, bitumineux ou charbonneux (roches-mères des cailloux noirs);
6° Présence de niveaux rubéfiés ou riches en débris rubéfiés;
7° Forte agitation de la courbe des faciès exprimant une grande sensibilité aux efforts tectoniques;

8° Abondance consécutive de quartz clastique, d'oxydes de fer et de cailloux noirs;
9° Présence locale de brèches de pente ou d'écroulement de falaises.

b) *Série synclinale:*

1° Grande épaisseur;
2° Pas de lacunes stratigraphiques, ni de surfaces d'émersion;
3° Faciès lacustre réduit;
4° Intercalations marines fréquentes;
5° Absence de niveaux sapropéliens;
6° Allochtonie des débris rubéfiés et des cailloux noirs;
7° Faible agitation de la courbe de faciès exprimant une moindre sensibilité aux efforts tectoniques;
8° Moindre fréquence de quartz clastique, d'oxydes de fer et de cailloux noirs;
9° Présence locale de brèches de pente et d'écroulement de falaises, d'origine allogène.

c) *Série réduite:*

On peut encore distinguer des séries purbeckiennes ayant des caractères mal définis, mixtes et caractérisés surtout par une épaisseur très faible et qui jalonnent les limites du territoire purbeckien. Dans ces régions, le passage du Jurassique supérieur au Crétacé s'est effectué presque sans épisode lacustre bien établi et il est intéressant d'y étudier le passage latéral de la lagune purbeckienne à la mer.

§ 2. Domaine des couches dolomitiques inférieures.

a) *Coupes anticlinales.*

Les caractères sont les suivants:

1° Epaisseur moyenne faible dépassant rarement 10 m;
2° Couches dolomitiques inférieures peu épaisses, et entrecoupées d'émersions, souvent absentes ou remplacées par des conglomérats ou des couches lacustres sapropéliennes ou normales;

3° Couches lacustres épaisses riches en niveaux sapropéliens (roches-mères des brèches multicolores). Fréquence des surfaces d'émersions et des niveaux rubéfiés. Localement, grandes épaisseurs de brèches de pente ou d'écroulement de falaises. Intercalations marines réduites ou nulles:

4° Couches saumâtres à Dasycladacées réduites, absentes ou remplacées par des couches lacustres sapropéliennes ou normales.

Ainsi on peut réaliser, dans un cas extrême, une série entièrement lacustre telle que Maillard l'avait définie, mais ce qu'il considérait être un cas général n'est en réalité qu'une exception.

1. *Coupe des Biolles–Marais-Rouge*, épaisseur: 18 m 10.

Le faciès marin dolomitique est remplacé par une grosse brèche-poudingue à éléments portlandiens et le faciès lacustre ne montre pas d'intercalations marines. Les couches saumâtres supérieures sont peu développées.

2. *Coupe du col de la Dôle*, épaisseur: 19 m 36.

Les couches dolomitiques sont épaisses mais entrecoupées par des émersions brusques à surface d'érosion continentale. Dans la série lacustre s'intercalent sur plus de 5 m d'importantes brèches d'écroulement, dont nous avons déjà parlé. Précisons maintenant que les petits éléments arrondis où prédominent les cailloux noirs pourraient bien représenter la grève à galets roulés par les vagues, sur laquelle sont venus s'écrouler les blocs anguleux d'une falaise. On peut avoir une idée de la hauteur de la paroi éboulée en reconstituant la succession stratigraphique que l'on retrouve dans les blocs. Elle s'étend du Portlandien calcaire compact au Purbeckien moyen, ce qui équivaut à environ 30 m. D'autre part, la composition des éléments purbeckiens donne de précieuses indications sur les faciès qui existaient au sommet de l'anticlinal. Nous avons vu qu'ils sont entièrement lacustres et même sapropéliens, ce qui confirme l'idée selon laquelle les dorsales émergées forment les régions émettrices de cailloux noirs. Un autre argument est fourni par les faits suivants: en descendant sur le flanc S

de l'anticlinal de la Dôle vers la Barillette, on observe que le diamètre des galets noirs des brèches multicolores diminue graduellement dans cette direction. En effet, le diamètre des galets atteint 5 à 6 cm dans les brèches d'écroulement du col de la Dôle, tandis qu'il ne dépasse plus 1 à 2 cm dans les brèches de la région de la Barillette. Cette diminution graduelle du diamètre des galets montre que leur origine est à rechercher près des culminations anticlinales.

L'intercalation marine moyenne est bien développée au milieu des couches lacustres, qui s'étendent jusqu'au sommet de la coupe; ainsi les couches saumâtres supérieures manquent.

3. *Coupe de Riondaz-Dessus*, épaisseur: 15 m 61.

Elle ne possède pas un caractère anticlinal aussi accentué que celle du col de la Dôle; il s'agit ici d'un bombement moins accentué. En effet, les couches dolomitiques coupées par une émersion sont bien développées, de même que les couches saumâtres supérieures. La série lacustre, assez importante, est restée à l'abri des intercalations marines.

4. *Coupe du Mont Tendre-Le Mazel*, épaisseur: ?

Les rares parties visibles de cette série indiquent un caractère anticlinal, d'abord la base est formée par une brèche grossière d'origine portlandienne, semblable à celle de la coupe de Marais-Rouge, puis dans les couches dolomitiques s'intercale un calcaire à cailloux noirs témoignant de la proximité de zones émergées à couches sapropéliennes, il s'agit du Mont Tendre lui-même.

5. *Coupe de Vaulion-Pétrafelix*, épaisseur: 9 m 70.

Pour Maillard (74) cette coupe était de faciès littoral et il la considérait comme une trace du bord oriental de la lagune. Mais depuis lors le Purbeckien a été reconnu plus à l'E et la région de Vaulion doit être considérée, à notre avis, comme une zone anticlinale des plus typiques. La conservation d'une telle coupe est due à la forte surrection en bloc du massif de la Dent-de-Vaulion; c'est un cas extrêmement rare. La série en question montre dès la base des couches lacustres sapropéliennes repo-

sant, sans l'intermédiaire des couches dolomitiques, sur le calcaire portlandien conglomératique. Ensuite les alternances lacustres et marines sont fréquentes, indiquant une grande instabilité. Du reste cette dernière est encore soulignée par un important développement du faciès conglomératique. Dans certaines couches, des débris de bois flottés indiquent la proximité de terres fermes. Les couches saumâtres supérieures existent, mais très réduites.

6. *Coupe de Ballaigues* (limite des deux domaines), épaisseur: ?

Cette région très mal connue à cause de la rareté des affleurements, semble avoir été une terre émergée pendant tout le Purbeckien, comme en témoignent les couches charbonneuses et bitumineuses décrites par Maillard (74). Nolthenius (94) y a signalé en plus une surface à perforation de Lithophages au sommet du Purbeckien.

7. *Coupe des Clées* (limite des deux domaines), épaisseur: 8 m 30.

Elle ressemble beaucoup à la précédente, nous avons déjà parlé en détail de l'importance de ses niveaux sapropéliens où on observe le mode de formation d'un type de cailloux noirs. Les couches saumâtres supérieures sont peu épaisses et nous y avons trouvé une lentille de charbon.

8. *Coupe de Feurtilles*, épaisseur: 4 m 94.

L'instabilité est grande, bien que le caractère anticlinal ne soit pas toujours évident, sauf en ce qui concerne l'épaisseur.

Il y a une surface d'érosion très nette précédant l'intercalation marine moyenne. Rappelons l'abondance des débris rubéfiés provenant de couches portlandiennes émergées en voie de rubéfaction dans les environs de Sainte-Croix et la présence de débris de Conifères dans les niveaux lacustres. Les couches saumâtres supérieures manquent presque complètement.

9. *Coupe de Six-Fontaines*, épaisseur: 7 m 25.

Série assez voisine de la précédente, on retrouve l'intercalation marine transgressant sur une surface érodée. Les faciès

sapropéliens et conglomératiques sont présents et les couches saumâtres supérieures sont à peu près absentes.

10. *Coupe du Mont Aubert–Saint-Aubin*, épaisseur: ?

On sait peu de choses sur cette région presque entièrement couverte. En tout cas, les brèches observées indiquent un relief assez accusé soit dans la région du Mont Aubert, soit dans la région du Creux-du-Van–Le Solliat.

11. *Coupe de Vigneules*, épaisseur: 9 m 50.

Pour Maillard (74), le territoire longeant la côte du lac de Bienne, de Landeron à Vigneules, représentait le faciès littoral oriental de la lagune purbeckienne, mais en réalité il s'agit du flanc d'une longue dorsale émergée, correspondant au Chasseral.

A Vigneules même, les couches dolomitiques réduites reposent sur le calcaire portlandien conglomératique. Les couches lacustres riches en débris rubéfiés persistent jusqu'au sommet de la coupe, les couches saumâtres supérieures manquent. Les déductions faites plus haut sont confirmées par la trouvaille à Bienne d'un tronc d'arbre purbeckien silicifié (142) [1].

12. *Coupe des gorges du Seyon*, épaisseur: 9 m 90.

Le caractère anticlinal est ici moins marqué, presque toute la série est marine, à caractère lagunaire peu marqué, mais la partie supérieure lacustre montre des niveaux sapropéliens et bitumineux; les couches saumâtres supérieures manquent ici encore.

b) *Coupes synclinales.*

Les caractères sont les suivants:

1° Epaisseur moyenne grande pouvant atteindre 30 m;
2° Couches dolomitiques inférieures puissantes;
3° Couches lacustres peu épaisses à fréquentes intercalations marines. Absence de niveaux sapropéliens;
4° Couches saumâtres supérieures à Dasycladacées bien développées.

[1] Je remercie le Musée Schwab, à Bienne, de m'avoir aimablement communiqué cette pièce.

1. *Coupe du Crêt-au-Bovairon*, épaisseur: 23 m 15.

La série purbeckienne est typique, les couches dolomitiques épaisses précèdent la série lacustre coupée par une importante intercalation marine. Les couches saumâtres supérieures terminent la coupe.

2. *Coupe de Chez Villard*, épaisseur: 15 m 55.

Le faciès dolomitique puissant supporte les couches lacustres entrecoupées de fréquentes intercalations marines.

Grand développement des couches saumâtres.

3. *Coupe du bois du Mollendruz*, épaisseur: 27 m 40.

Cette coupe stratigraphique est la plus épaisse que nous ayons rencontrée au cours de notre étude. Elle est presque entièrement marine avec quelques rares épisodes lacustres, les couches dolomitiques et les couches saumâtres rivalisent de puissance. Dans la partie inférieure on observe d'importants conglomérats venus sans doute des anticlinaux voisins.

§ 3. Domaine des marnes a gypse.

La rareté des affleurements dans ce domaine a fortement restreint le nombre des exemples.

a) *Coupes anticlinales.*

Les caractères sont les suivants:

1° Epaisseur moyenne faible ne dépassant pas 10 m;

2. Marnes à gypse réduites, sans lentilles de gypse, localement absentes ou remplacées par des couches lacustres sapropéliennes ou normales. Pas de niveau dolomitique au sommet;

3° Couches lacustres puissantes, riches en niveaux sapropéliens (roches-mères des brèches multicolores). Fréquence des surfaces d'émersion;

4° Couches saumâtres supérieures à Dasycladacées réduites souvent absentes ou remplacées par des couches lacustres sapropéliennes ou normales.

Coupe de Noiraigue, épaisseur: 11 m 10.

Nous sommes ici dans le domaine des marnes à gypse, qui manquent précisément dans cette coupe, de même que le banc de calcaire dolomitique qui les surmonte. Les couches lacustres très puissantes, à débris de végétaux flottés, reposent directement sur le calcaire compact portlandien. En revanche, les couches saumâtres existent au sommet de la coupe et l'arrivée de la mer infra-crétacée est marquée par une couche à gros galets noirs provenant de la culmination anticlinale, encore une fois l'existence de couches noires au sommet des anticlinaux se confirme.

b) Coupes synclinales.

Les caractères sont les suivants:

1° Epaisseur moyenne grande pouvant atteindre 20 m;
2° Marnes à gypse épaisses à lentilles de gypse, niveau dolomitique au sommet;
3° Couches lacustres peu épaisses à fréquentes intercalations marines. Absence de niveaux sapropéliens;
4° Couches saumâtres supérieures à Dasycladacées assez bien développées.

1. *Coupe de La Brévine*, épaisseur: 16 m 25.

Nous avons ici la série-type du domaine des marnes à gypse, débutant à la base par les marnes noires terminées par un banc de calcaire dolomitique et surmontées par les couches lacustres et enfin les couches saumâtres. Ces deux dernières ont une puissance à peu près identique.

2. *Coupe de Chambrelien*, épaisseur: 20 m 25.

C'est une coupe tout à fait semblable à la précédente. Au-dessus des marnes à gypse et du calcaire dolomitique viennent les couches lacustres moins importantes qu'à La Brévine et puis les couches saumâtres.

3. *Coupe du Locle*, épaisseur: 10 m environ.

Nous ne pouvons dire grand-chose sur cette série levée par Maillard et actuellement invisible. Les marnes à gypse semblent

manquer localement et les couches lacustres sont peu importantes.

§ 4. Les séries réduites.

1. *Coupe de Premier*, épaisseur: 4 m 75.

Malgré cette faible épaisseur, la série n'offre aucun caractère anticlinal, il n'y a pas de lacunes. En effet, le faciès marin de base repose sur le portlandien conglomératique, puis viennent des couches d'eau douce et finalement le faciès saumâtre supérieur termine la coupe.

2. *Coupe de Convers*, épaisseur: 12 m 35.

La série est presque entièrement marine, dolomitique vers le bas et oolithique vers le haut. Quelques rares niveaux indiquent de faibles émersions avec des marnes noires ou des calcaires à petits débris végétaux. Il est presque exagéré de parler ici de Purbeckien, en effet, ne serait-ce la présence de polygones de dessication et de ripple-marks, on pourrait dire que le faciès marin est continu du Jurassique au Crétacé. C'est vraisemblablement le cas, immédiatement au N de la vallée de Saint-Imier.

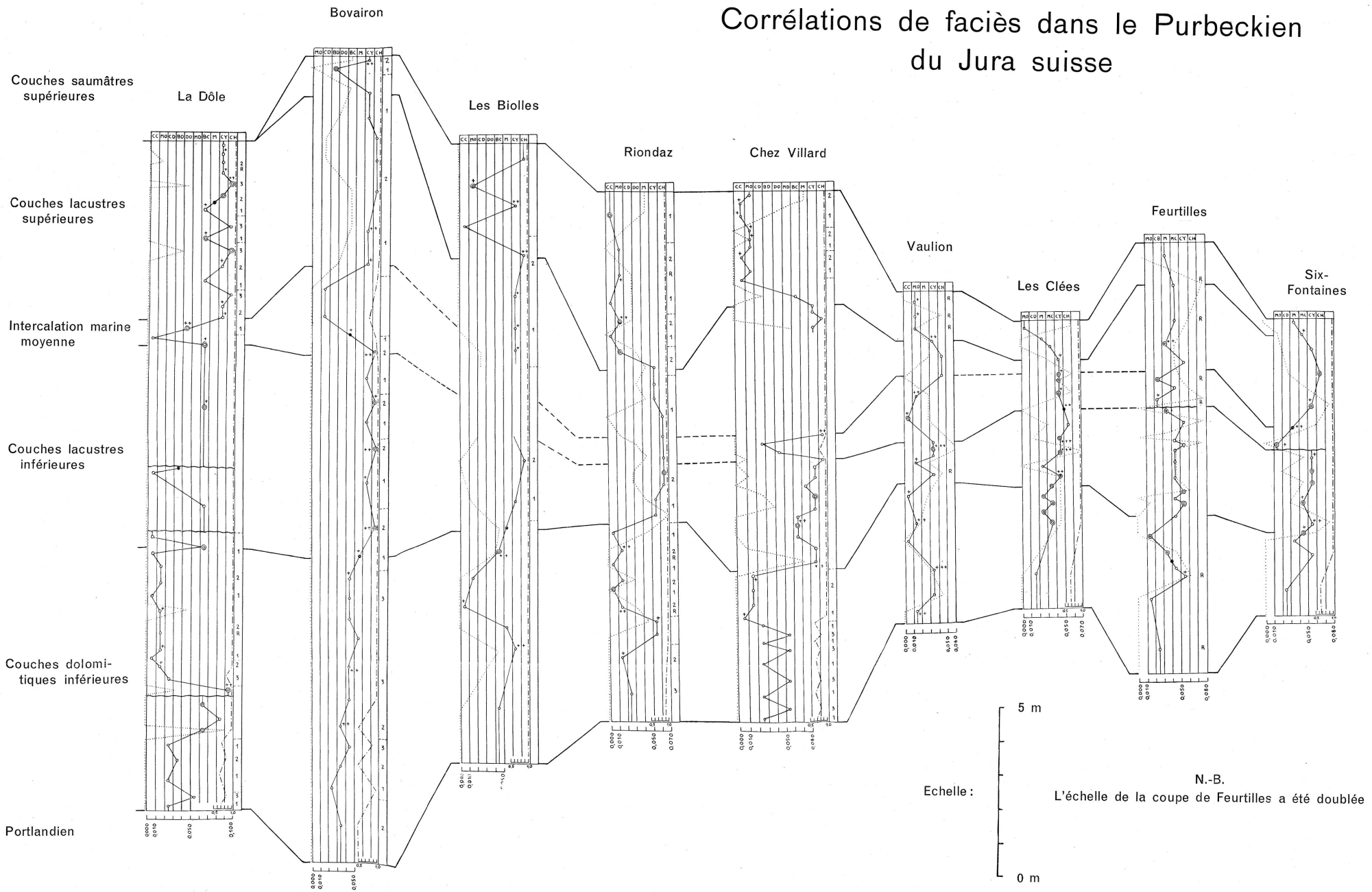
La planche I montre les corrélations que l'on peut établir entre quelques-unes des coupes étudiées. On se rendra aisément compte que *seuls les changements de milieu les plus importants peuvent donner lieu à des raccords à distance.*

En effet, les oscillations à l'intérieur de chaque milieu sont tout à fait locales, chaque région ayant réagi de façon propre aux efforts orogéniques. Il en est de même des brèches multicolores et des arrivées de cailloux noirs, *l'impossibilité de raccord est évidente*, vu le grand nombre de points émetteurs dont les produits ont dû souvent se mêler.

§ 5. La paléotectonique purbeckienne et ses rapports avec la tectonique actuelle.

Reportons (voir planche II) sur la carte structurale du Jura, établie en partie d'après de Margerie (79) à la surface du Portlandien, d'une part les coupes purbeckiennes ayant un

Corrélations de faciès dans le Purbeckien du Jura suisse



type anticlinal et d'autre part celles ayant un type synclinal ou réduit, et voyons s'il y a des analogies.

L'identité existe, les coupes anticlinales et les coupes synclinales purbeckiennes correspondent aux anticlinaux et aux synclinaux actuels.

Prenons deux exemples locaux, pour montrer jusqu'à quel point l'identité est réalisée:

1. *La région du col de La Dôle.*

La carte structurale détaillée publiée par E. Paréjas (98), rend bien compte de l'asymétrie du pli actuel de la Dôle, dont le flanc S est très redressé. C'est sur ce flanc que nous avons levé notre coupe, et la présence des brèches d'écroulement, fait unique jusqu'à ce jour dans le Purbeckien du Jura, indique que *l'asymétrie du pli existait déjà pendant le Purbeckien.*

2. *La région de la Dent-de-Vaulion.*

Les conglomérats que nous avons signalés dans la coupe du bois du Mollendruz viennent sans nulle doute de la forte culmination de la Dent-de-Vaulion et se sont accumulés dans le synclinal qui la longeait vers le SE.

Il nous semble inutile de reprendre une description générale, les faits représentés sur la planche II parlent d'eux-mêmes et nous sommes amenés à la conclusion suivante:

> Le Jura a été affecté au Purbeckien par un plissement précurseur qui a donné naissance à des ondulations à grand rayon de courbure. Ces plis embryonnaires reproduisaient, de façon atténuée, les principales culminations de la tectonique actuelle.

Du reste, G. Maillard (74) avait déjà émis cette hypothèse en se basant sur la coïncidence qu'il avait observée entre les affleurements des couches purbeckiennes et l'emplacement de certains synclinaux actuels. Malheureusement cette coïncidence apparente, simple jeu de l'érosion, ne signifie rien. Toutefois, rendons hommage à Maillard pour sa remarquable intuition.

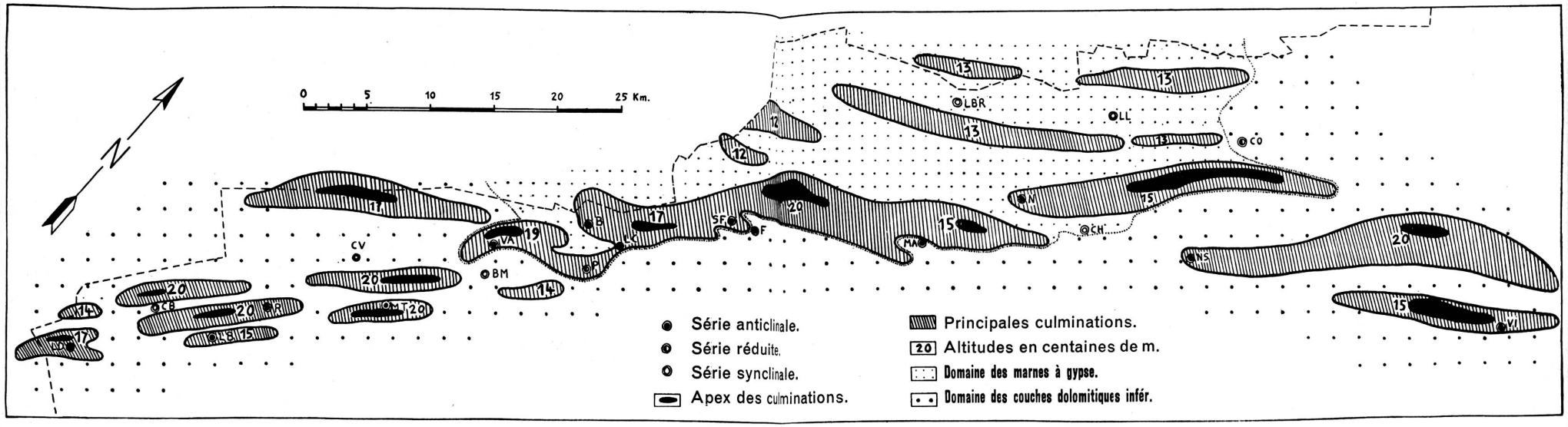
Examinons maintenant l'extension des divers faciès purbeckiens et leurs rapports avec la tectonique embryonnaire. *Nous insistons immédiatement sur le caractère schématique des esquisses paléogéographiques et sur les extrapolations inévitables pour certaines régions où toute coupe stratigraphique s'est avérée impossible*[1]. Néanmoins nous avons jugé utile de présenter ces essais d'interprétation, malgré la part d'hypothèses qu'ils comportent.

a) *Le Purbeckien inférieur:* marnes à gypse et faciès dolomitique (planche III).

Dès que les premières tendances à l'émersion apparaissent au cours du Portlandien supérieur, on remarque que la plus forte poussée s'exerce sur une bande du Jura s'étendant en gros de la ligne transversale Vallorbe-Foncines à celle de Villers-le-Lac-Neuchâtel. Ce secteur s'est surélevé plus fortement que les autres, s'isolant en quelque sorte des régions septentrionale et méridionale. Cet isolement, déjà signalé par Maillard, est responsable de la formation des lagunes à marnes à gypse, tandis que de part et d'autre s'étendent les faciès dolomitiques. Notons, qu'au point de vue tectonique, cette région singulière se situe exactement en face de l'ensellement alpin, massif de l'Aar–Mont-Blanc, cet axe de transmission de poussées, comparable dans sa nature à la transversale de Genève de Ed. Paréjas (98), était déjà actif à ce moment.

Autrefois on admettait que le territoire purbeckien devait ressembler à une vaste dorsale surbaissée culminant dans le domaine des marnes à gypse. Mais la paléogéographie était bien plus compliquée. Les couches dolomitiques se sont déposées dans une mer peu profonde qui ceinturait le domaine plus élevé des marnes à gypse. Son rivage, en territoire suisse, passe par Vaulion, Premier, Les Clées, Six-Fontaines, puis il longe le versant S du Mont Aubert et de la montagne de Boudry. De là

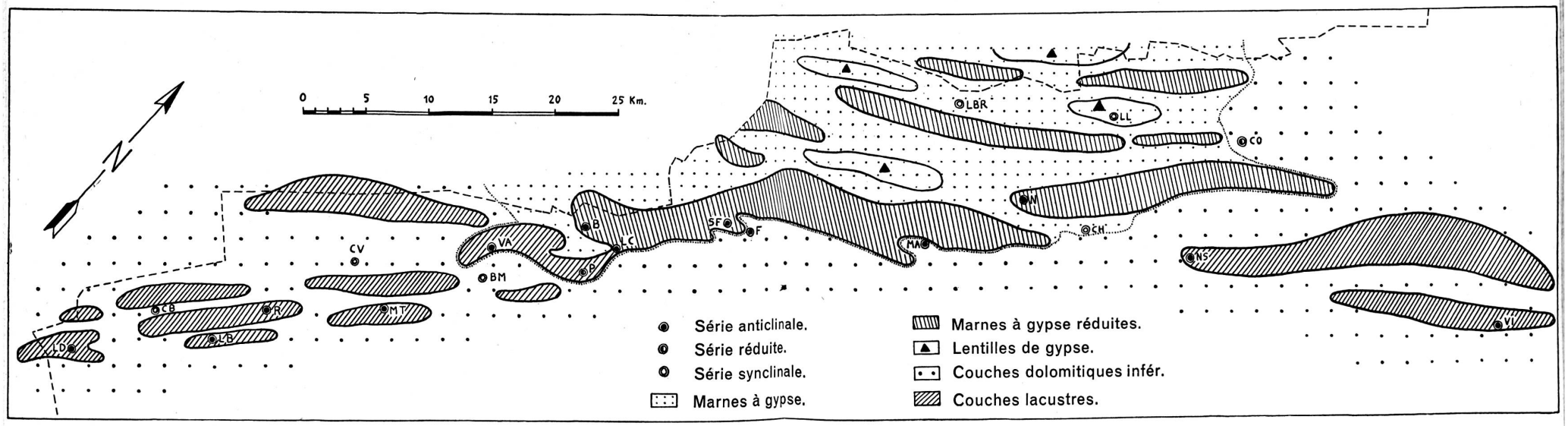
[1] Les contours des dorsales figurées sur les planches II et V ont été tracées sur la base de la tectonique actuelle. Il est probable qu'au Purbeckien elles n'étaient pas toutes individualisées, mais que plusieurs d'entre elles devaient se grouper en des ensembles plus simples.



Rapports entre la carte structurale actuelle du Jura et les domaines paléogéographiques du Purbeckien.

Les initiales désignent les coupes stratigraphiques:

B	Ballaigues.	CH	Chambrelien.	F	Feurtilles.	LC	Les Clées.	MA	Mont Aubert.	NS	Neuchâtel-Seyon.	SF	Six-Fontaines.
BM	Bois du Mollendruz.	CO	Les Convers.	LB	Les Biolles.	LD	La Dôle.	MT	Mont Tendre.	P	Premier.	VA	Vaulion.
CB	Crêt-au-Bovairon.	CV	Chez Villard.	LBR	La Brévine.	LL	Le Locle.	N	Noiraigue.	R	Riondaz-Dessus.	VI	Vigneules.



Esquisse paléogéographique du Purbeckien inférieur.

Même légende que la planche II.

sa trace se suit à Chambrelien, puis dans le Val-de-Ruz et enfin près du Locle et de Villers-le-Lac. De cette mer émergeaient de longues îles correspondant aux voûtes des plis embryonnaires. Sur leur surface se développaient des faciès lacustres, même sapropéliens, dont le remaniement conduit à la formation des premières brèches multicolores. Parfois il y avait lacune de sédimentation et le calcaire portlandien battu par les vagues donnait naissance à des brèches-poudingues. Ailleurs encore les agents atmosphériques rubéfiaient les dorsales émergées. Point n'est besoin de rappeler les principales d'entre elles qui se situaient sur l'emplacement actuel de La Dôle, du Noirmont, du Mont Tendre, du Risoux, de la Dent-de-Vaulion, du Chasseron et, plus au NE, du Chasseral.

De même, l'aire d'extension des marnes à gypse était accidentée. Dans les dépressions synclinales, les marnes se déposaient épaisses et riches en lentilles de gypse, dont plusieurs ont été exploitées (Les Verrières, La Brévine, Le Locle). Sur les voûtes anticlinales, les couches marneuses sont peu importantes, souvent absentes et remplacées par les faciès lacustres, sapropéliens par endroits, tel est le cas de la longue dorsale Suchet-Montagne de Boudry, du Mont-de-Verrières, pour ne parler que des principales culminations.

En résumé, on distingue au Purbeckien inférieur deux domaines de sédimentation bien distincts: d'une part une zone surélevée où se déposent les marnes à gypse, d'autre part une vaste zone moins surélevée, entourant la précédente, et où s'accumulent les couches dolomitiques. Ces deux domaines sont eux-mêmes accidentés par des terres émergées à la surface desquelles s'établissent des faciès lacustres ou continentaux.

Nous insistons d'ores et déjà sur l'existence de ces domaines géographiques qui persisteront pendant tout le Purbeckien, au travers des différents faciès.

b) *Le Purbeckien moyen:* couches lacustres (planche IV).

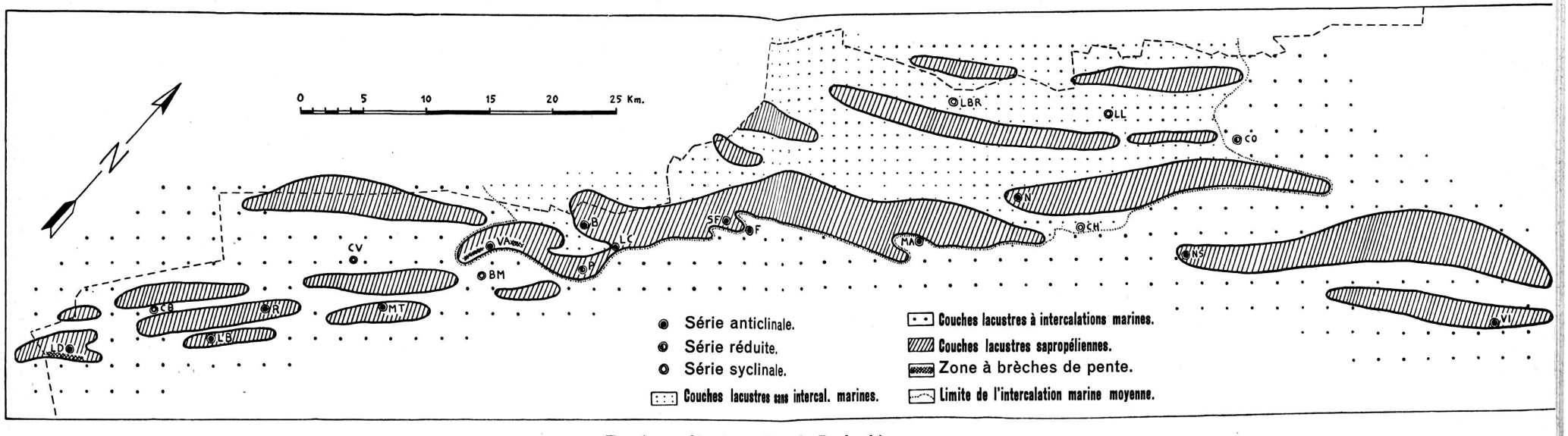
C'est à cette période que la surrection atteint son maximum, la mer s'est entièrement retirée et le faciès lacustre s'étend sur tout l'emplacement de la lagune purbeckienne. Cependant l'uniformité de sédimentation est loin d'être réalisée, les dor-

sales anticlinales constituent toujours des zones plus élevées, en partie isolées, et à leur surface les faciès sapropéliens noirs se développent largement. Au cours des oscillations si fréquentes à cette période, les couches noires sont remaniées et leurs débris se répandent dans les dépressions synclinales sous forme de brèches multicolores. Rappelons que ce remaniement qui avait déjà débuté au Purbeckien inférieur, atteint ici son paroxysme et qu'il se poursuivra encore, mais atténué, dans le Purbeckien supérieur. L'instabilité tectonique est démontrée par les écroulements se produisant sur les flancs des plis asymétriques (La Dôle, Dent-de-Vaulion) et dont les matériaux glissent jusque dans les dépressions les plus profondes (col du Mollendruz). Parfois les rémissions de poussées permettent des pénétrations marines, de courte durée, qui déposent surtout des couches dolomitiques. La plus importante est celle qui s'est produite en plein milieu des couches lacustres; elle s'est étendue, en évitant les dorsales anticlinales, sur presque tout l'ancien domaine des couches dolomitiques inférieures et elle est venue mourir précisément sur son ancienne ligne de rivage. Cette coïncidence indique que l'ancienne aire des marnes à gypse a conservé, même pendant le faciès lacustre, une position légèrement plus élevée qui l'a mise à l'abri des atteintes de la mer.

c) *Le Purbeckien supérieur:* couches saumâtres supérieures (planche V).

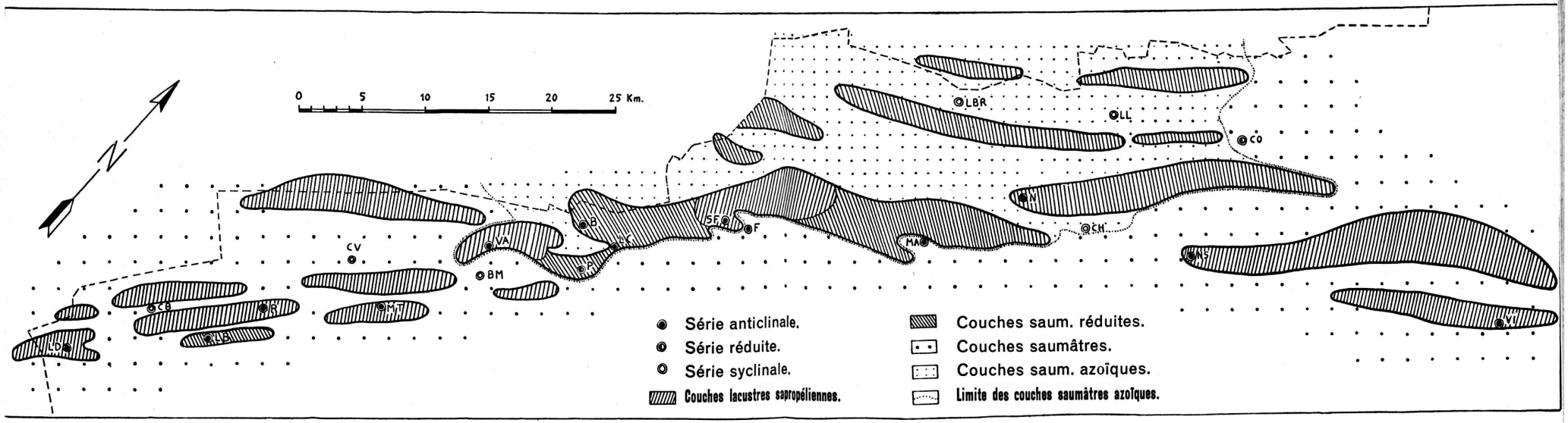
L'effort tectonique touche bientôt à sa fin et la lagune purbeckienne subit une lente subsidence. Le retour de la mer s'amorce par des faciès microbréchiques saumâtres. Pourtant, dans tous les domaines, les zones émergées anticlinales subsistent et il s'y dépose toujours des couches saumâtres d'épaisseur réduite, ou même des couches lacustres sapropéliennes sur les plus fortes culminations.

En ce qui concerne l'allure générale de la région, on note deux faciès principaux. Au centre de l'ancienne zone des marnes à gypse s'étend, selon Maillard et, principalement sur territoire français, un faciès spécial dit « oolithique supérieur » qui passe latéralement à des couches saumâtres relativement pauvres en



Esquisse paléogéographique du Purbeckien moyen.

Même légende que la planche II



Esquisse paléogéographique du Purbeckien supérieur.

Même légende que la planche II.

Dasycladacées. Dès que l'on sort de ce domaine, soit vers le N, soit vers le S, les couches saumâtres sont plus épaisses et plus riches en algues vertes.

d) *La transgression crétacée.*

Les couches infra-crétacées reposent, comme il fallait s'y attendre, soit sur les couches saumâtres, soit sur les couches lacustres. Il y a donc bien une discordance à la base du Crétacé, mais elle n'est observable qu'à grande échelle. Dans le premier cas, la limite entre les deux terrains n'est pas franche et il y a souvent passage graduel ou des alternances, dans l'autre cas le contact est très net. Le faciès du Crétacé inférieur varie selon les localités, il va de la microbrèche oolithique blanche (marbre bâtard) à un calcaire échinodermique grossier rappelant le calcaire roux.

e) *Les variations d'épaisseur du Purbeckien.*

Si même nous voulons négliger complètement les indications paléogéographiques fournies par les différents faciès purbeckiens, nous pouvons avoir un autre argument important en faveur de l'idée d'un plissement précurseur, c'est la carte isopachyque ou carte des épaisseurs. (Fig. 35 A.)

Elle se construit en rejoignant par des courbes les points où le Purbeckien montre la même puissance, les courbes sont dites « isopachytes ». L'esquisse obtenue ne peut donner qu'une idée générale du phénomène vu le nombre restreint de points connus. Il n'en subsiste pas moins que sur l'étendue du Jura vaudois se montrent deux dépressions importantes où le Purbeckien est très puissant, ce sont les zones du Crêt-au-Bovairon (puissance: 23 m 15) et du bois du Mollendruz (puissance: 27 m 40). Ces dernières sont séparées par la culmination importante du Mont-Tendre où le Purbeckien ne dépasse pas 10 m de puissance.

Une comparaison avec la carte structurale actuelle du Jura vaudois construite au sommet du Portlandien (fig. 35 B) est significative.

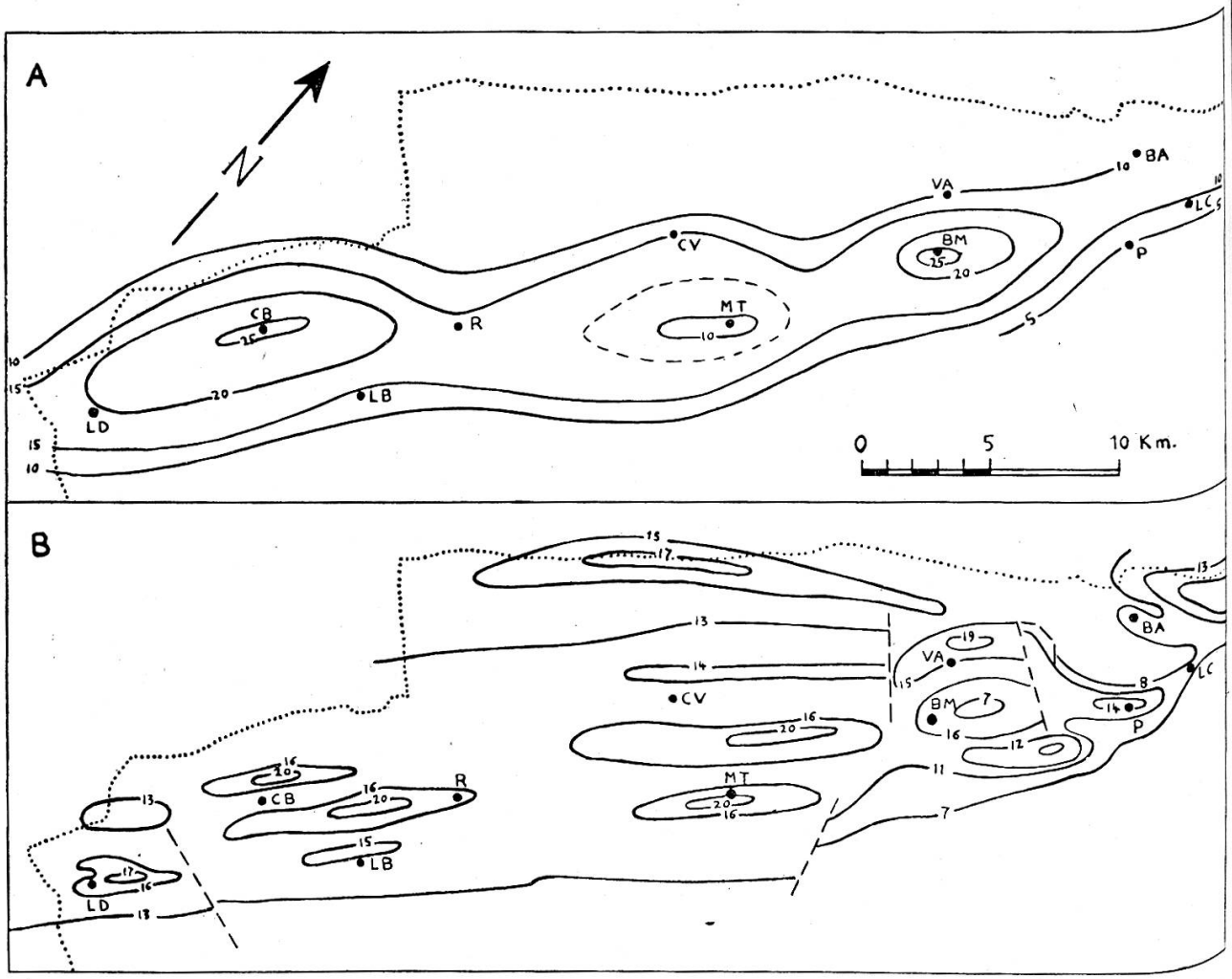


Fig. 35.

A. Carte isopachyque du Purbeckien du Jura vaudois. Les épaisseurs sont données en mètres.
B. Carte structurale actuelle du Jura vaudois construite au sommet du Portlandien. Les altitudes sont données en centaines de mètres.

Les initiales désignent les coupes stratigraphiques:

BA	Ballaigues.	LD	La Dôle.
BM	Bois du Mollendruz.	MT	Mont Tendre.
CB	Crêt-au-Bovairon.	P	Premier.
CV	Chez Villard.	R	Riondaz-Dessus.
LB	Les Biolles.	VA	Vaulion.
LC	Les Clées.		

§ 6. Les limites du territoire purbeckien.

Vers l'intérieur du Jura, sur territoire français, le Purbeckien se développe largement d'après la carte de Maillard. Vers le NE, depuis Bienne, le Sidérolithique éocène a effacé toute trace des

couches lacustres, dont il ne subsiste qu'un seul témoin, celui de Moutier, signalé par Choffat (21), cependant il doit s'agir d'un pointement isolé et la lagune purbeckienne ne devait pas s'étendre bien loin au delà de la vallée de Saint-Imier.

On ne sait pas quelle est l'allure du Jurassique supérieur sous les molasses du Plateau suisse, mais il est probable que des terres émergées devaient y exister, établissant la liaison entre le Purbeckien du Jura et celui du parautochtone du Klausen-Pass (13) et celui de la Nappe de Morcles (Mont-Ruan) signalé récemment (23). Vers le S, la lagune purbeckienne s'étendait très loin, par le Salève, la Cluse de Balme et le Semnoz (88) jusqu'à La Buisse près de Grenoble (146).

§ 7. La paléogéographie du fer.

Pour avoir une idée de l'importance relative de l'apport de fer, on peut pour chaque coupe stratigraphique faire la somme des niveaux ferrugineux (représentés sur les diagrammes par des croix). Nous avons ainsi un moyen de comparer les coupes entre elles. En ce qui concerne les séries anticlinales, on remarque facilement que seules les couches lacustres sont intéressantes; en effet on a les valeurs suivantes, par importance décroissante:

Coupes anticlinales	Niveaux ferrugineux			
	Couches dolomitiques	Couches lacustres	Couches saumâtres	Total
Vaulion . . .	0	15	3	18
La Dôle . . .	5	13	0	18
Vigneules . .	1	14	0	15
Les Clées . .	0	13	0	13
Les Biolles . .	0	8	3	11
Six-Fontaines .	0	10	0	10
Riondaz . . .	6	0	3	9
Feurtilles . . .	1	7	0	8
Noiraigue . .	0	7	0	7

Il ne faut pas donner à ces chiffres plus de valeur qu'ils n'en ont, mais on peut cependant classer les anticlinaux étudiés en

se basant sur le fait que les culminations les plus puissantes, ou les plus étendues, ont persisté le plus longtemps et possèdent ainsi le plus grand nombre de niveaux ferrugineux. L'ébauche de classification des anticlinaux ci-dessous exprime bien leur importance réciproque telle qu'elle apparaît du reste sur la carte structurale et dans les successions de faciès.

Culmination de 1er ordre: Vaulion, la Dôle (18), par analogie Mont Tendre, Noirmont.
2e ordre: Les Clées, Vigneules (15 à 13).
3e ordre: Les Biolles, Six-Fontaines (11 à 10).
4e ordre: Feurtilles, Noiraigue, Riondaz (9 à 6).

Les séries synclinales offrent moins d'intérêt par le fait que leur teneur en fer est fonction directe du délavage des anticlinaux voisins, c'est le cas de la coupe du Crêt-au-Bovairon qui, située au pied de la culmination du Noirmont, montre une teneur anormale dans les couches lacustres; les autres coupes n'offrent rien de particulier.

Coupes synclinales	Niveaux ferrugineux			
	Couches dolomitiques	Couches lacustres	Couches saumâtres	Total
Crêt au Bovairon	6	11	2	19
Chez Villard .	2	6	2	10
Chambrelien .	2	8	3	13

Nous avons vu que la présence du fer est liée à presque toutes les variations de faciès et aux moindres oscillations du fond. Souvent il se montre indépendant du quartz. Tous ces faits témoignent en faveur d'*une origine locale du fer*, il provient, comme l'envisage E. Paréjas (98) pour les culminations des Bornes, du délavage des dorsales anticlinales émergées et soumises aux actions des agents atmosphériques. On a constaté aussi que le fer arrive avec un certain retard par rapport à la courbe des faciès, retard exprimant le temps nécessaire à la rubéfaction et au transport des oxydes à distance.

§ 8. La paléogéographie du quartz.

La présence du quartz clastique est liée aux grandes oscillations ou aux principaux changements de milieu; parfois il en est même indépendant. Le comportement témoigne d'une origine lointaine. Le quartz clastique n'est fréquent que dans les couches lacustres et lors des pénétrations marines à leur intérieur; ailleurs il est rare et sans intérêt.

Le tableau ci-dessous donne les diamètres maxima par ordre décroissant:

Couches lacustres inférieures		Intercalation marine moyenne		Couches lacustres supérieures	
	mm		mm		mm
1 Chambrelien:	0,120	1 Feurtilles:	0,075	1 Vigneules:	0,090
2 Vaulion:	0,100	2 Chambrelien:	0,045	2 Chambrelien:	0,075
3 Noiraigue:	0,090	3 Vaulion:	0,030	3 Feurtilles:	0,075
4 Les Clées:	0,075	4 Vigneules:	0,030	4 Six-Fontaines:	0,075
5 Six-Fontaines:	0,075	5 Chez Villard:	0,000	5 Riondaz:	0,070
6 Chez Villard:	0,075	6 Six-Fontaines:	0,000	6 Noiraigue:	0,060
7 Feurtilles	0,060	7 Les Biolles	0,000	7 Les Clées:	0,060
8 Vigneules:	0,060	8 Bovairon:	0,000	8 Chez Villard:	0,060
9 Les Biolles:	0,045	9 La Dôle:	0,000	9 Premier:	0,055
10 Riondaz:	0,045			10 Vaulion:	0,045
11 Convers:	0,045			11 Les Biolles:	0,045
12 Bovairon:	0,000			12 Bovairon:	0,045
13 La Dôle:	0,000			13 La Dôle:	0,040

A l'aide de ces données on peut tracer les courbes de même indice de clasticité (fig. 36). Les courbes sont dans les grandes lignes parallèles à l'axe du Jura et leur allure varie peu dans les trois niveaux. Les diamètres augmentent graduellement du NW au SE en montrant nettement que le quartz clastique est de provenance alpine, vraisemblablement issu des massifs hercyniens [1]. Notons encore que pendant les couches lacustres, c'est-à-dire lors des oscillations positives, les courbes marquent des inflexions autour de l'ancien domaine des marnes à gypse

[1] Pour le Purbeckien du Jura suisse, le quartz clastique semble provenir du massif Aar-Gothard, du moins dans l'état actuel de nos connaissances.

occupant toujours une position plus surélevée. En revanche, lors de l'intercalation marine moyenne, le quartz fait défaut dans la même région puisqu'elle est restée hors d'atteinte de la mer.

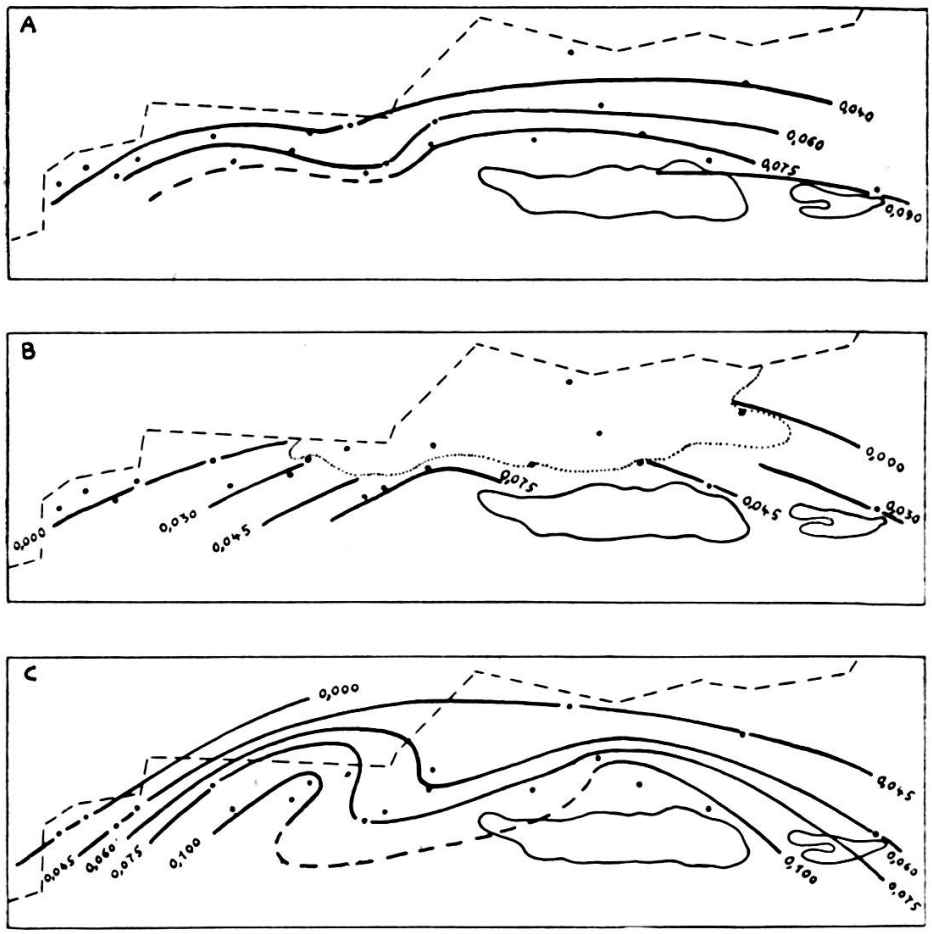


Fig. 36.

Allure des courbes de même indice de clasticité du quartz détritique.

A. Couches lacustres supérieures.
B. Intercalation marine moyenne.
C. Couches lacustres inférieures.

§ 9. Considérations tectoniques.

Dans deux publications récentes (4, 5) D. Aubert est arrivé aux conclusions suivantes: *Le Jura est un plissement superficiel apparent dont la cause réside dans les dislocations de son socle*

cristallin [1]. D'autre part, en étudiant le rapport entre les zones isopiques des terrains secondaires et les plissements jurassiens, cet auteur a montré que des relations de parallélisme apparaissent peut-être au Lias, en tout cas au Dogger, et deviennent assez nettes à l'Oxfordien, à l'Argovien et au Séquanien.

Nous même avons admis au Purbeckien un plissement précurseur reproduisant d'une façon adoucie les principales particularités de la tectonique actuelle. D'après Aubert, nous pouvons admettre que les phénomènes orogéniques se sont manifestés antérieurement et d'une façon plus atténuée, en tout cas au Dogger, si ce n'est plus loin encore dans le passé. Mais, à notre avis, l'intensité de l'effort orogénique au Purbeckien n'a pas été suffisante pour permettre des dislocations du tréfond hercynien, comme le pense Aubert. Or cette phase orogénique semble avoir été la plus intense que le Jura ait subie avant l'orogénèse alpine; et si elle ne semble pas avoir été capable de fracturer le Cristallin, à plus forte raison les mouvements de date antérieure ne pourraient entrer en ligne de compte. Cependant il n'en subsiste pas moins que les dislocations qui ont joué au Tertiaire étaient déjà actives pendant le Dogger et le Malm; comme il nous paraît peu probable qu'elles aient pris naissance en ce moment-là, elles seraient donc d'âge antérieur et vraisemblablement hercyniennes.

Le Jura pourrait donc être considéré comme un plissement hercynien posthume, de direction varisque [2]. Cette hypothèse permet d'expliquer l'instabilité très grande de la sédimentation pendant le Jurassique, instabilité due au jeu intermittent d'accidents hercyniens profonds, réagissant aisément aux poussées venues du géosynclinal alpin. Il est évident que le socle

[1] Cette solution avait du reste déjà été envisagée par J. Cadisch (*Geologie der Schweizeralpen*, 1934, p. 214).

[2] En parlant de la faille d'Ognon, D. Aubert (4) écrit: « ... il est intéressant de constater qu'une ancienne faille hercynienne a joué à nouveau lors du plissement ou peu avant; aussi est-on en droit de supposer que ce cas n'est pas unique et que d'autres dislocations du Jura sont en relation avec des déformations de sa base hercynienne... » Cependant, dans la planche qui accompagne son travail, l'auteur dessine les dislocations du tréfond hercynien comme absolument indépendantes de la structure ancienne de ce dernier.

hercynien qui supporte la série sédimentaire jurassienne est en partie pénéplainé, mais il n'en subsiste pas moins qu'il doit posséder une structure tectonique très accentuée, comme le montre, par exemple, le bassin de Sarrebrück, où les couches carbonifères fortement plissées émergent de la couverture sédimentaire secondaire, transgressive et discordante (9).

On sait que la prolongation vers le SW du bassin de Sarrebrück a été déterminé par l'allure des plis posthumes, d'orientation varisque, affectant les couches triasiques et liasiques de Lorraine. L'étroite liaison entre les faciès jurassiens et le tréfond hercynien ne se montre pas seulement en longitudinale, mais aussi en transversale. En effet, l'aire de sédimentation jurassienne correspond à un ensellement axial complexe de la chaîne hercynienne. Il n'est donc pas étonnant que la paléotectonique purbeckienne nous ait montré une culmination correspondante.

En conclusion, nous estimons que le plissement jurassien n'est pas dû uniquement à des dislocations d'âge secondaire ou tertiaire de son socle cristallin, mais en partie à la reprise de dislocations de direction varisque préexistant dans le socle cristallin depuis l'orogène hercynienne. Bien entendu, ce n'est qu'au paroxysme tertiaire que se produiront les phénomènes principaux de décollement et de disharmonie de la couverture sédimentaire tels que D. Aubert (4, 5) les a envisagés.

« Les formes, si diverses, du monde végétal, qui peuplent le globe sont filles du temps... »

L. EMBERGER.

CHAPITRE 4

PALÉOBOTANIQUE

§ 1. CHAROPHYTES (Charales).

CLAVATORACÉES

Genre « Clavator » Reid et Groves emend.

1. *Clavator Reidi* Groves.

1916. *Clavator* Reid and Groves, p. 253, planche VIII (diagnose du genre, mais sans désignation spécifique du nom). Preliminary Report on the Purbeck Characeae. *Proc. Roy. Soc. London*, B. LXXXIX.

1924. *Clavator Reidii* Groves, p. 116 (nom seul, mais se rapportant à la diagnose précédente). *Journal of Botany*, LXII.

1939. *Clavator* Reid and Groves emend., p. 14 et suivantes (diagnose précisée). Harris T. M. British Purbeck Charophyta. *British Museum London*, 1939.

1939. *Clavator reidi* Groves, *idem*, p. 16 et suivantes.

Rappelons que l'oogone, organe femelle de *Clavator*, est entouré par un ensemble de cellules allongées formant la coque ou noix (utricle). La paroi de l'oogone est formée par cinq cellules spirales (spiral cells), dont la surface externe est plus ou moins lisse, tandis que la partie interne est fortement marquée par les cellules spirales. Cette partie interne de l'oogone est appelée *gyronite*, elle contient une membrane cutinisée renfermant elle-même l'œuf.

La diagnose détaillée du genre a été donnée par T. M. Harris, qui a eu le rare privilège d'étudier un matériel silicifié facilement

dégagé de sa gangue calcaire. Malheureusement, dans le Purbeckien du Jura, il n'en est pas ainsi et l'étude ne peut se faire qu'en coupe mince. De ce fait il est impossible, sauf rares

Gisement	longueur en μ	largeur en μ	nombre de tours
Crêt au Bovairon, niv. 13	530	330	9
Idem	490	380	9
Idem	540	430	9
Idem	520	430	8
Idem	540	320	9
Idem	480	370	8
Les Biolles-Marais-Rouge, niv. 15	500	430	8
Idem	540	460	8
Feurtilles, niveau 16	590	480	8
Col de la Dôle, niveau 28	450	330	8
Idem	490	375	9
Idem	550	460	8
Salève-Les Etournelles, niveau 22	465	370	8
Idem	450	435	9
Salève-Aiguebelle, niv. 16	520	435	9
Idem	495	420	8

exceptions, de rapporter un oogone aux organes végétatifs correspondants.

Dimensions. — D'après T. M. Harris, la coque de l'oogone est en général bien développée, mais souvent absente. L'oogone est normalement pyriforme à surface lisse, largeur: 450 μ,

longueur: 700 μ. Le gyronite de l'oogone est plus ou moins ovale, longueur: 500 μ, largeur: 400 μ (les extrêmes étant: longueur: 650-380 μ, largeur: 450-250 μ). Il montre, en vue latérale, 9 à 10 côtes spirales (extrêmes 8-11). Les cellules

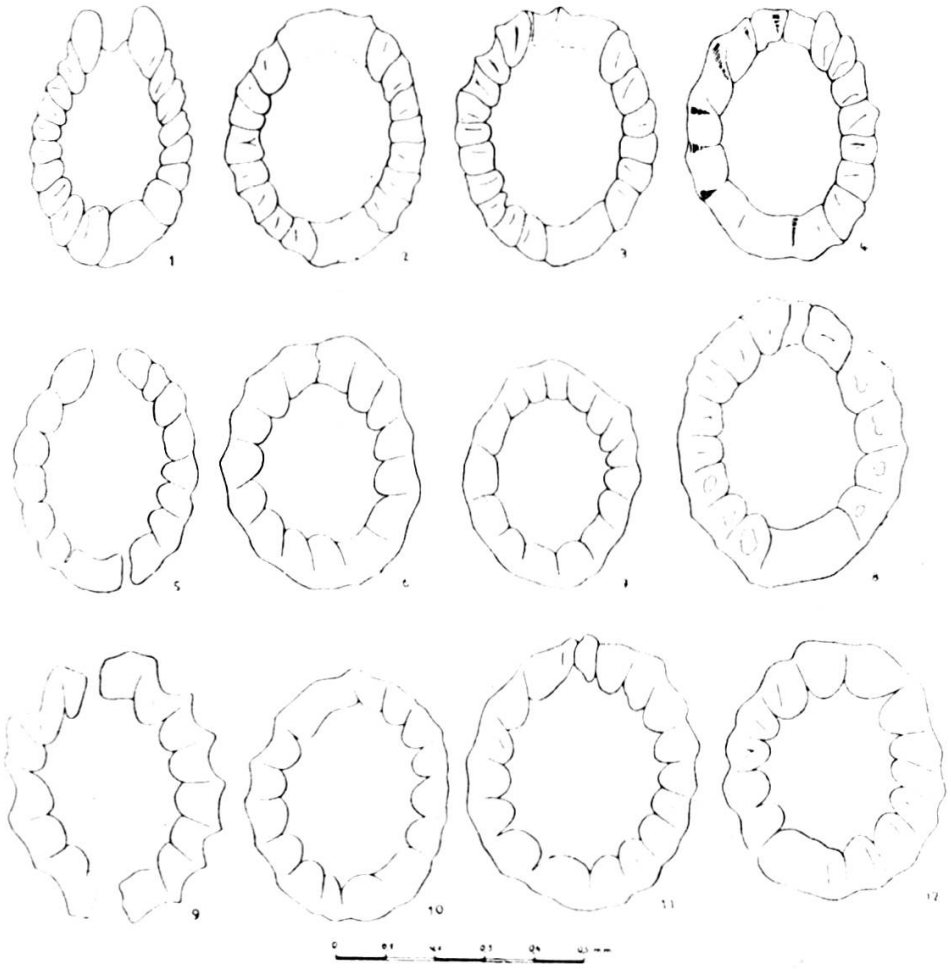


Fig. 37.
Gyrogonites de *Clavator Reidi* Groves
en section longitudinale.

spirales sont en général convexes ou plates, parfois concaves, surtout à la base.

a) *Les gyronites.*

La plus grande partie des gyronites du Purbeckien du Jura correspondent à la diagnose ci-dessus (fig. 37) et dans le tableau de la page précédente nous donnons les caractéristiques des meilleurs exemplaires recueillis.

b) *Les coques* (utricles).

Comme nous l'avons dit plus haut, cette partie de l'oogone est rarement conservée avec le gyrogonite, mais se rencontre seule, plus ou moins déformée. D'après T. M. Harris, le degré

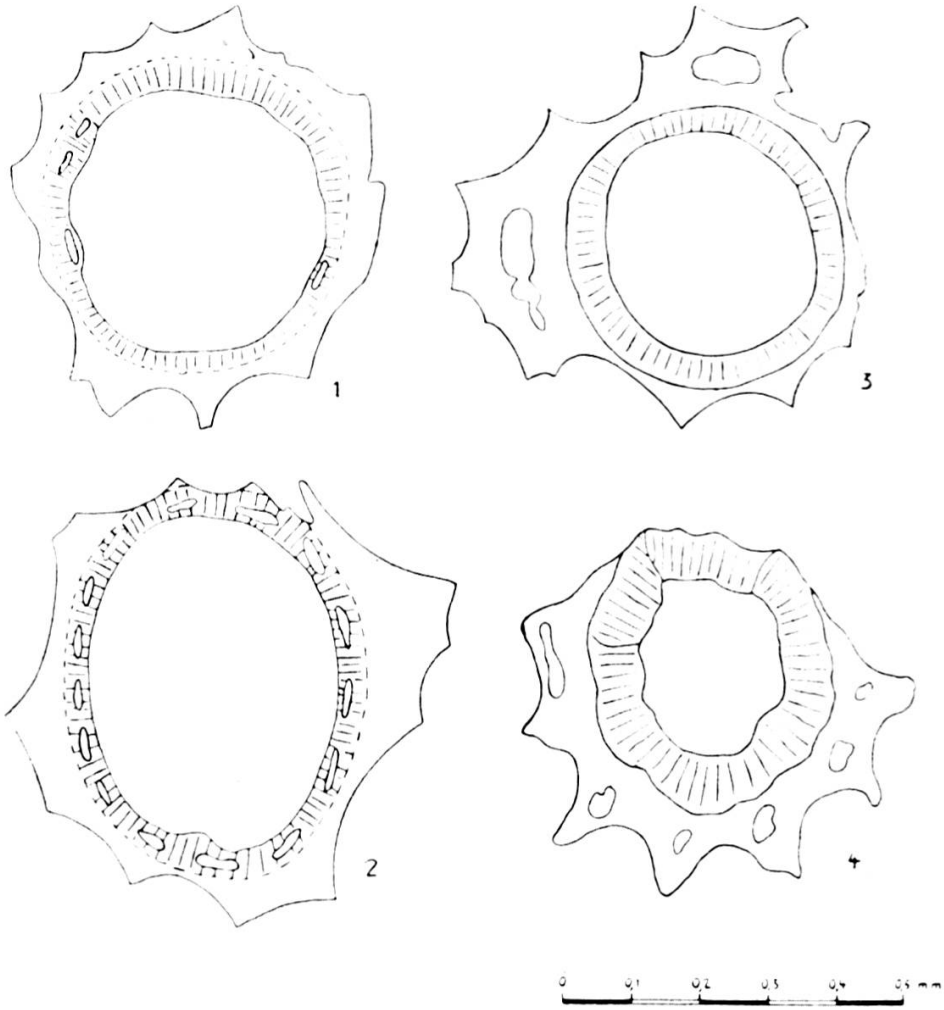


Fig. 38.
Gyrogonites de *Clavator Reidi* Groves munis de leur coque.
1 et 2: Sections obliques.
3 et 4: Sections transversales.

de calcification de la coque est très variable, ce qui explique les différentes formes observées (fig. 38).

c) *Les anthéridies.*

Les organes mâles sont rarement conservés à l'état fossile, mais nous croyons pouvoir leur rapporter d'innombrables

petites boules calcitiques localisées dans les niveaux à Characées. Leur diamètre varie de 0,05 à 0,09 mm, avec le maximum de fréquence à 0,07 mm, elles montrent un fin cortex fibro-radié et donnent une croix noire en nicols croisés (fig. 39).

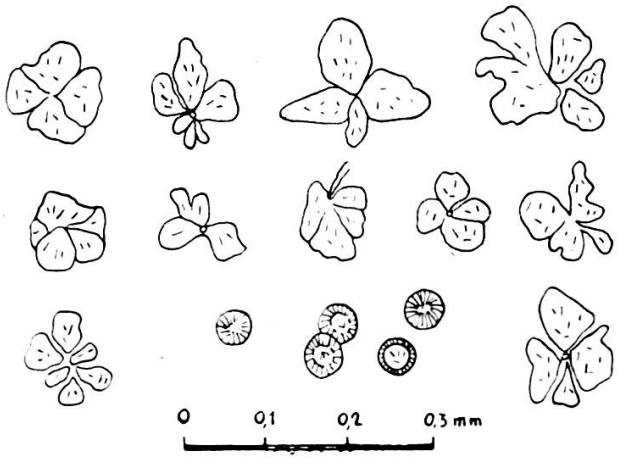


Fig. 39.

Coronules d'oogones et anthéridies de *Clavator Reidi* Groves.

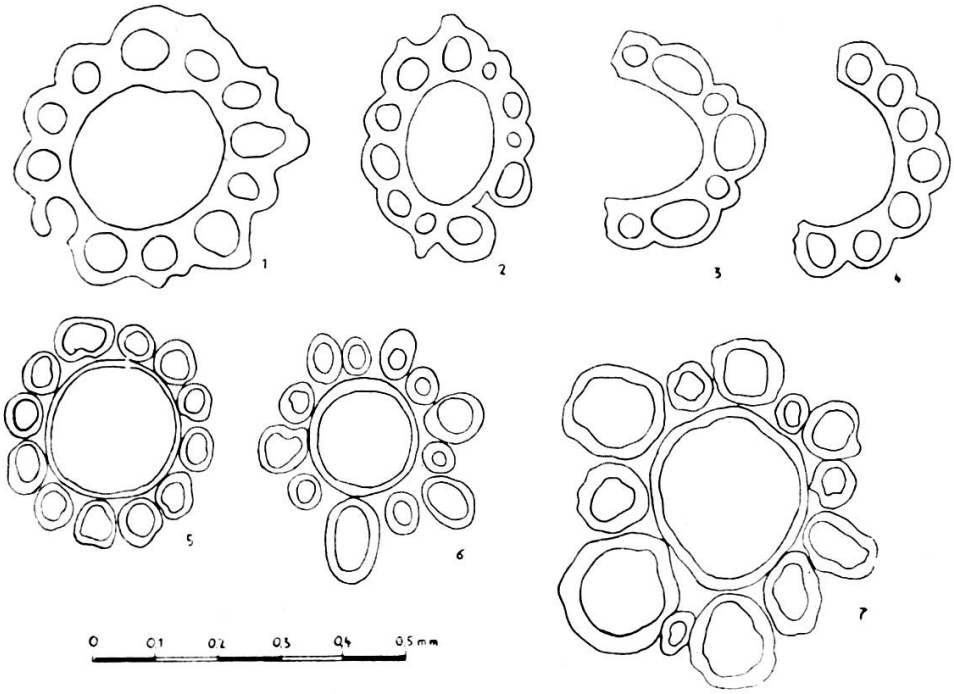


Fig. 40.

Variations des canaux corticaux de la tige chez *Clavator Reidi* Groves.

d) *La tige.*

Elle se compose d'un canal central entouré par douze tubes corticaux (fig. 40). Le cortex est plus ou moins incrusté par un manteau externe de cellules épineuses d'importance variable.

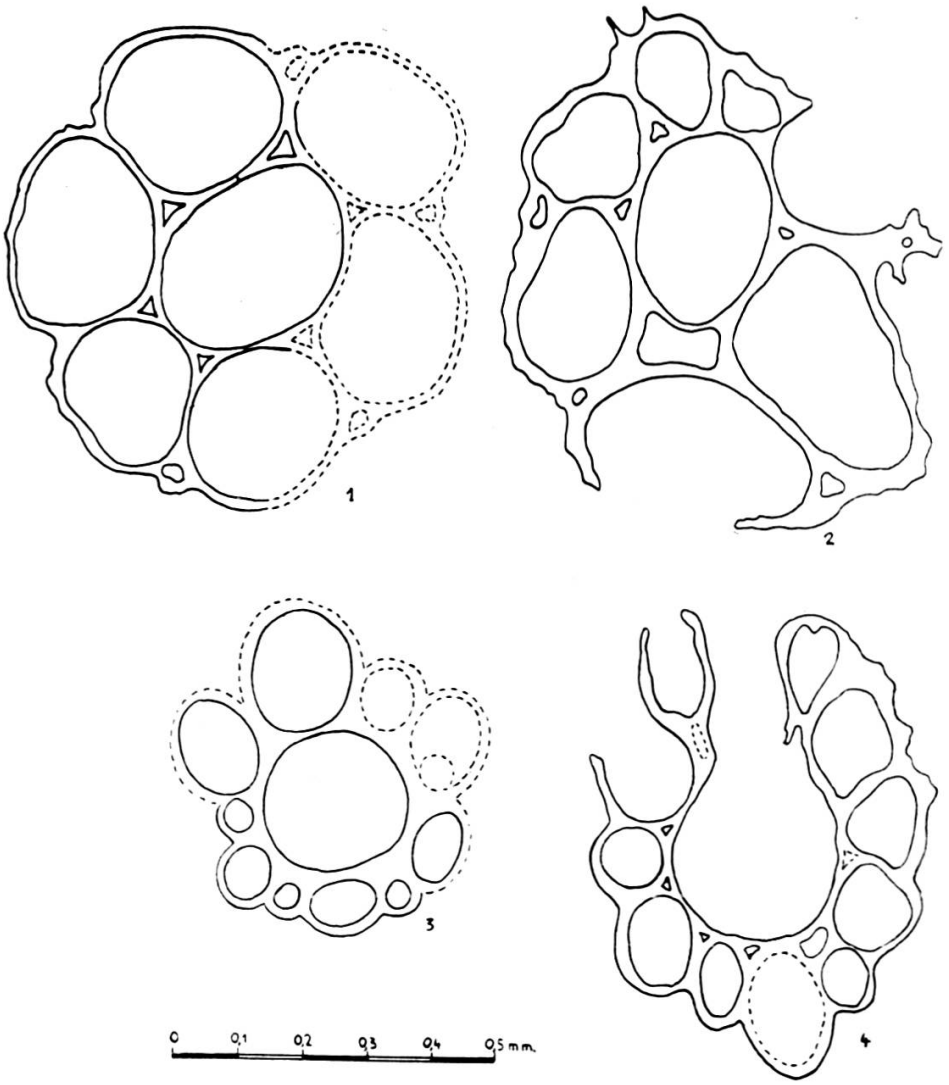


Fig. 41.

Disposition nodale chez *Clavator Reidi* Groves.

Les tubes corticaux sont toujours au nombre de douze et lorsque la tige s'évase pour former un nœud, six d'entre eux augmentent de diamètre, tandis que les autres diminuent ou peuvent même disparaître (fig. 41). Cette disposition nodale est caractéristique de *Clavator* (fig. 42 et 43).

e) *Les « feuilles »*.

En général, elles naissent par nombre de six aux nœuds, elles pointent radialement vers l'extérieur; très fragiles, leur conservation est rare. Les « feuilles » sont entourées par des

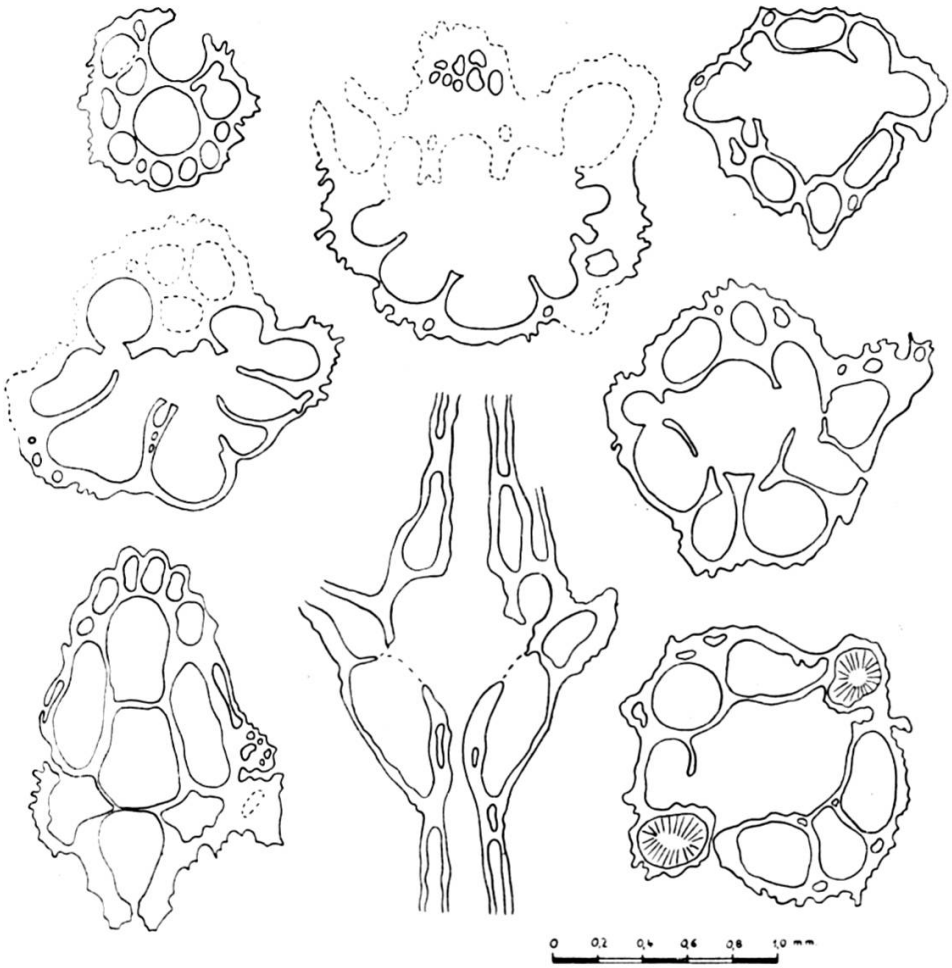


Fig. 42.

Sections nodales diversement orientées (parties inférieures et moyennes) chez *Clavator Reidi* Groves.

cellules épineuses en spirale, surtout très denses à leur naissance et formant des masses globulaires ou ovales. En coupe mince, ces dernières se résolvent en un réseau de cellules de diamètre très variable, elles ont du reste les mêmes caractères que les cellules épineuses de la tige (fig. 44).

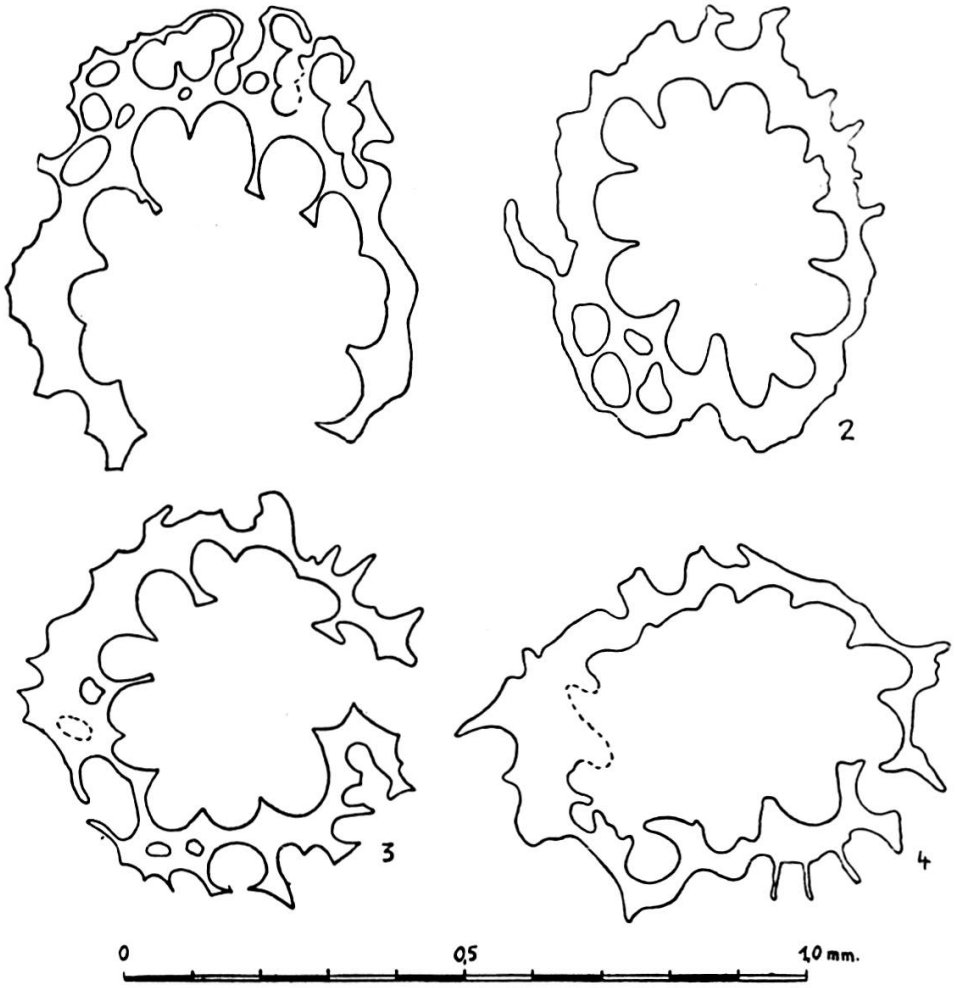


Fig. 43.
Sections nodales diversement orientées (parties supérieures) chez *Clavator Reidi* Groves.

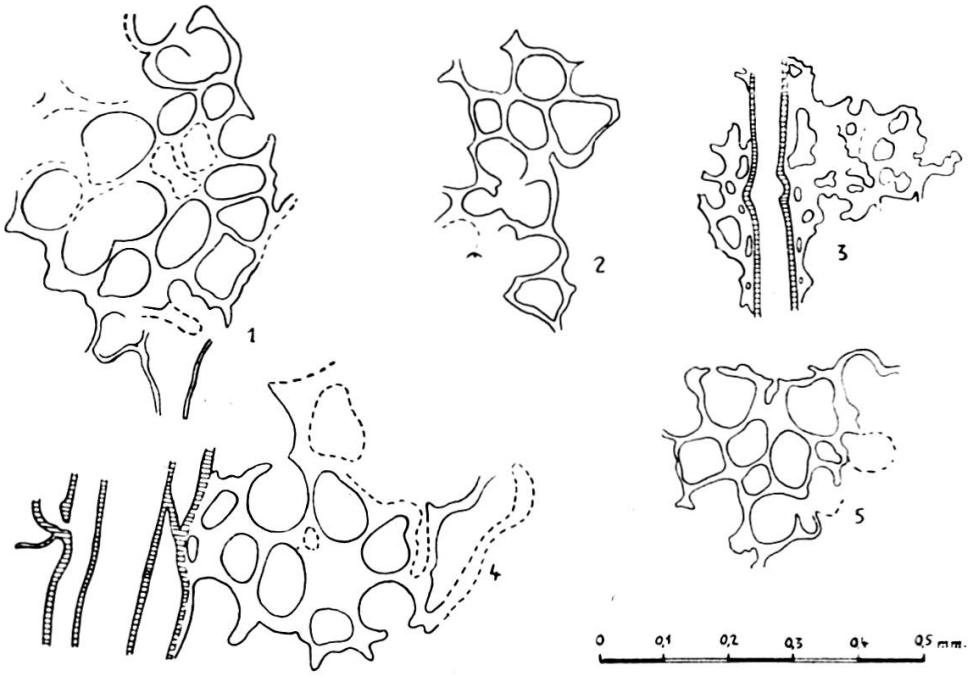


Fig. 44.
Tiges avec bourgeons et cellules épineuses chez *Clavator Reidi* Groves.

2. *Clavator Grovesi* Harris.

Clavator grovesi n. sp. Harris, *British Purbeck Charophyta*, p. 46 et suiv.

La diagnose de ce genre est la suivante: oogone de longueur 650 μ, de largeur 450 μ. Gyrogonite ovale à sommet pointu, longueur 300 μ, largeur 225 μ (les extrêmes étant: longueur 335-225 μ, largeur 290-180 μ). En vue latérale on compte

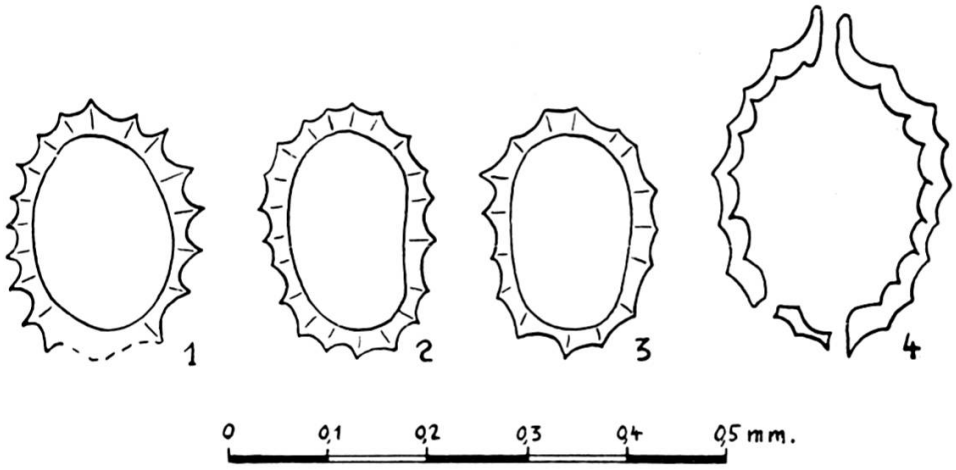


Fig. 45.

Gyrogonites de *Clavator Grovesi* Harris.

1 à 3: coupes obliques.
4: Coupe longitudinale.

10 côtes spirales (8-12). Nous rapportons à ce genre un type de gyrogonite, parmi les plus petits du Purbeckien (fig. 45). La surface des cellules spirales est en général concave, parfois plate, les cellules spirales sont le plus souvent concaves. (Les dimensions sont indiquées dans le tableau ci-après).

Nous pouvons confirmer les remarques de T. M. Harris. A savoir que ce genre est le plus petit que l'on connaisse et qu'il est beaucoup moins fréquent que *Clavator reidi*, bien que localement très abondant.

Gisement	longueur en μ	largeur en μ	nombre de tours
Crêt au Bovairon, niv. 16	300	250	9
Idem	280	180	9
Idem	350	280	10
Idem	340	255	10
Idem	330	270	9
Idem	320	190	10
Salève-Les Etournelles niveau 22	330	240	9

3. *Clavator Bradleyi* Harris.

Clavator bradleyi n. sp. Harris, *British Purbeck Charophyta*, p. 53.

Diagnose: oogone ovoïde, parfois largement crochu, longueur 550 μ, largeur 360 μ. Gyrogonites à parois assez épaisses, l'extrémité basale est pointue et le sommet forme un bec, facilement détachable et de ce fait rarement conservé. Lon-

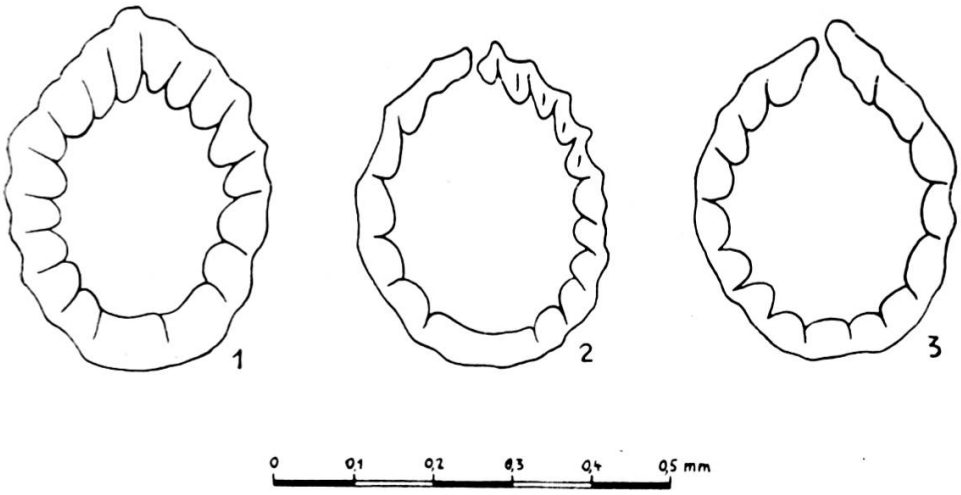


Fig. 46.

Gyrogonites de *Clavator Bradleyi* Harris en coupe longitudinale.

gueur (sans le bec apical): 360 μ, extrêmes 470-270 μ, largeur 280 μ, extrêmes: 360 à 250 μ. Le bec mesure 40 à 80 μ. Les cellules spirales fortement convexes plates ou concaves sont semblables quelle que soit la partie de l'échantillon. La vue latérale montre 7 à 8 spirales, les extrêmes étant 6-10 (fig. 46). Nous n'avons rencontré que de rares oogones pouvant correspondre à cette diagnose et seulement dans les coupes du Salève. Les parois des gyronites sont assez épaisses et dans un seul cas nous avons noté le bec apical.

Gisement	longueur en μ	largeur en μ	nombre de tours
Salève-Les Etournelles niveau 22	375	280	9
Salève-Aiguebelle, niv. 16	375	285	8
Idem	370	300	9
Salève Varappe	360	300	8

Genre **Perimneste** Harris.

Perimneste horrida Harris.

Perimneste horrida n. sp. Harris, *British Purbeck Charophyta*, p. 54 et suiv.

L'oogone a une paroi externe fortement calcifiée, longueur 1 mm, largeur 0,80 mm. Le gyrogonite a 680 μ de longueur et 570 μ de largeur (les extrêmes sont 840-580 μ pour la longueur et 700-460 μ pour la largeur). En vue latérale, on observe 11 côtes spirales (extrêmes 9-13). Les cellules spirales sont en général concaves, parfois plates ou légèrement convexes. Le sommet du gyrogonite n'est pas calcifié et il semble percé par une ouverture de 100 μ de diamètre. Les organes végétatifs, faiblement calcifiés, sont très rarement conservés. De grands gyrogonites répondant à cette diagnose se rencontrent assez rarement dans le Purbeckien du Jura, ils montrent une assez grande variabilité de dimensions (fig. 47).

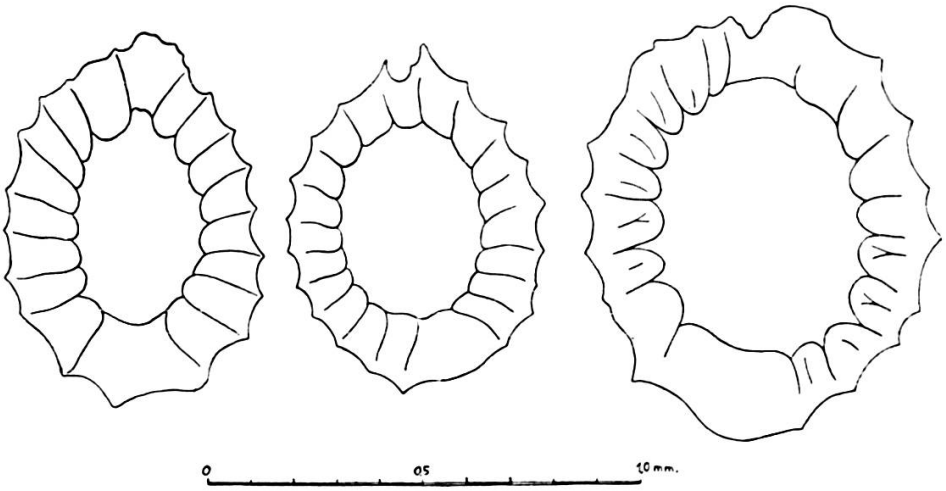


Fig. 47.
Gyrogonites de *Perimneste horrida* Harris en coupe longitudinale.

Gisement	longueur en μ	largeur en μ	nombre de tours
Crêt au Bovairon, niv. 26	840	620	9
Idem	800	640	10
La Dôle, niveau indéterminé	884	730	9

Résumé.

Nous avons rencontré dans le Purbeckien du Jura des Charophytes que l'on peut rapporter aux genres et espèces suivantes caractéristiques du même étage anglais:

Clavator reidi Groves,
Clavator grovesi Harris,
Clavator bradleyi Harris,
Perimneste horrida Harris.

C'est grâce au splendide travail de T. M. Harris (54) qu'il nous a été possible d'identifier en coupe mince nos oogones en l'absence de tout organe végétatif correspondant. Dans le tableau ci-dessous, nous avons comparé les dimensions des diverses espèces d'Angleterre et du Jura. Malgré le nombre assez restreint des gyrogonites que nous avons pu étudier,

l'identité des trois espèces de *Clavator* est évidente; quant aux gyrogonites du genre *Perimneste*, ils sont trop peu nombreux pour donner une idée correcte des variations de dimensions.

Longueur

		Maximum	Minimum	Moyenne
CLAVATOR REIDI	Angleterre	650	380	500
	Jura	590	450	490
CLAVATOR GROVESI	Angleterre	335	225	300
	Jura	350	280	310
CLAVATOR BRADLEYI	Angleterre	470	270	360
	Jura	375	360	370
PERIMNESTE HORRIDA	Angleterre	840	580	680
	Jura	884	800 ?	800 ?

Largeur

		Maximum	Minimum	Moyenne
CLAVATOR REIDI	Angleterre	450	250	400
	Jura	480	320	430
CLAVATOR GROVESI	Angleterre	290	180	225
	Jura	280	180	230
CLAVATOR BRADLEYI	Angleterre	360	250	280
	Jura	300	280	280
PERIMNESTE HORRIDA	Angleterre	700	460	570
	Jura	730	620 ?	670 ?

§ 2. Dasycladacées.

Genre **Munieria** Deecke 1883.

C'est le plus connu des représentants des Diplopores du Crétacé qui possèdent encore des affinités triasiques. Il se rapproche très étroitement des Oligoporelles du Trias et des Actinoporelles du Jurassique. Ce sont sans doute des flores résiduelles.

Munieria baconica Hauth (fig. 48).

1883. *Munieria baconica.* DEECKE: Uber einige neue Siphoneen. *N. J. B. für Min.*, Vol. I, 1883.
1887. *Munieria.* SOLMS: *Paleophytologie*, p. 43.
1920. *Munieria baconica* Hauth. PIA, J.: Die Siphoneae verticillatae von Karbon bis zur Kreide. *Abhandl. Zool. Bot. Ges. Wien*, Band XI, Heft 2, 1920.

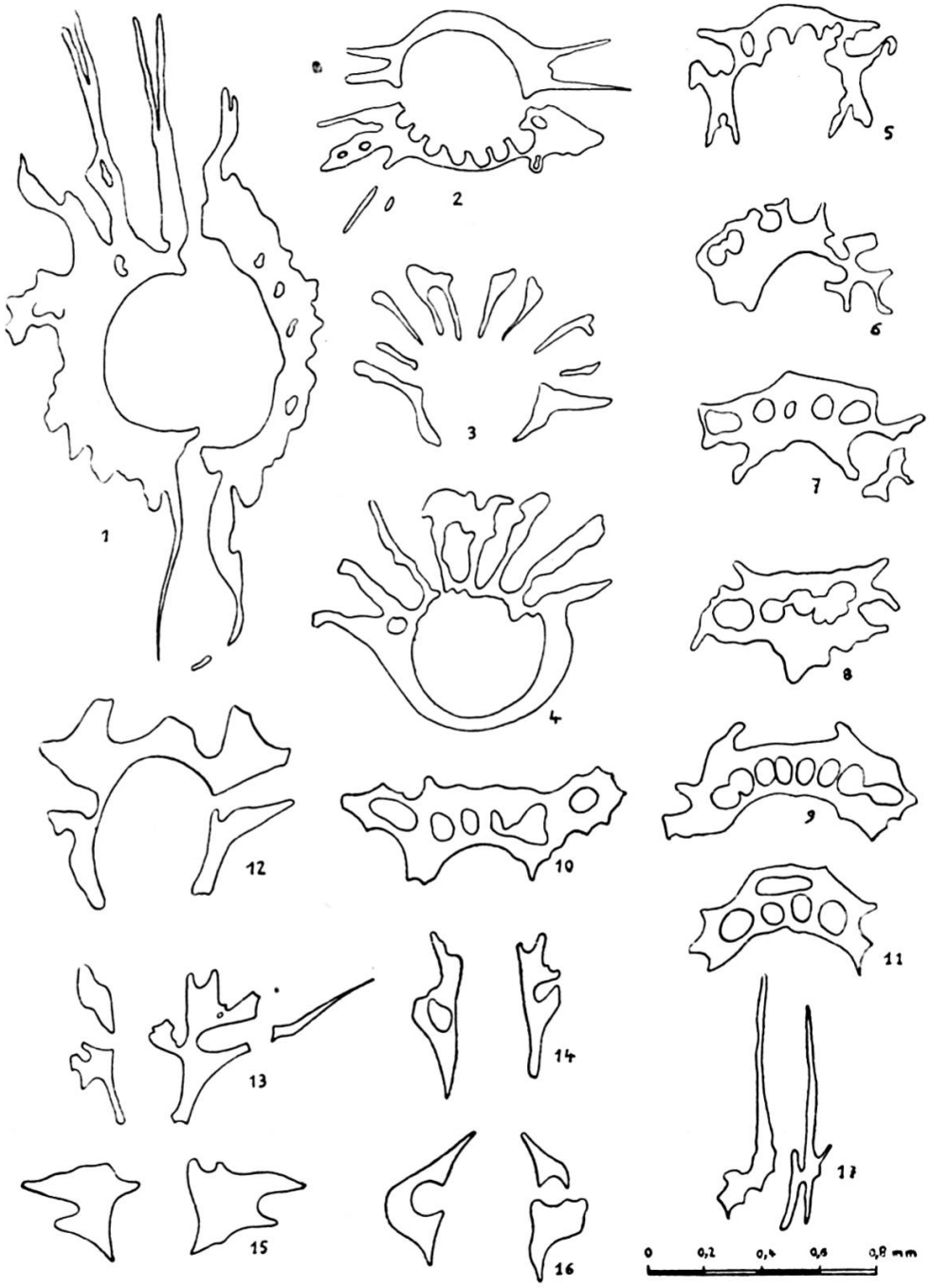


Fig. 48.

Munieria baconica Hauth.

1: Section transversale d'un verticille.
2 à 4: Sections légèrement obliques.
5 à 12: Sections très obliques.
13 à 17: Sections longitudinales.

D'après Pia qui a complété la diagnose du genre, le canal axial est peu épais. Les rameaux forment de grands verticilles disposés à intervalles réguliers le long de la tige. Ce sont des bâtonnets calcaires fusiformes enrobés dans une épaisse couronne donnant une grande rigidité à l'ensemble. La présence de l'épaisse couronne calcaire est spécifique de ce genre et le distingue nettement d'*Actinoporella.*

Dimensions du type. — Diamètre externe: 1,1 à 0,60 mm, diamètre du canal axial: 0,15 à 0,05 mm, nombre de rameaux par verticille: 16 environ.

Munieria baconica Hauth se présente en grande abondance dans le niveau 33 de la coupe de Chez Villard et dans le niveau 15 de la coupe du col de la Dôle. Ses caractéristiques sont les suivantes: diamètre externe: 1,6 à 1,2 mm, diamètre du canal axial: 0,20 à 0,05 mm nombre des rameaux par verticille: 16 environ.

Extension. — Cette Dasycladacée aurait été signalée dans le Crétacé des Alpes occidentales, mais d'après Pia il n'a pas été possible de vérifier cette assertion. Elle a été signalée à plusieurs reprises par Noszky (93) et Taeger (151) dans l'Aptien de la montagne de Bakony (Hongrie), mais sans description ultérieure.

Genre **Actinoporella** Gümbel in Alth 1882.

Actinoporella podolica Alth (fig. 49).

1881. *Actinoporella podolica* Alth. Nizniover Kalkstein. (*Pamietnik akademici Unriezetnosci w Krakowie*, Vol. 6, 1881)
1920. *Actinoporella podolica* Alth. J. Pia: Die Siphoneae verticillatae von Karbon bis zur Kreide. *Abhandl. Zool.Bot. Ges. Wien*, Band. XI, Heft 2.
1922. *Actinoporella podolica* Alth. Raineri, R.: Alghe sifonee fossili della Libia. *Atti. Soc. Ital. Sc. Nat. Milano*, Vol. 61, 1922.

D'après Pia à qui nous devons une description détaillée de cette algue, elle est formée par un tube central long et mince autour duquel sont disposés en verticilles simples, les rameaux. Chacun d'eux est entouré à sa naissance par un voile calcaire qui diminue rapidement d'importance vers l'extérieur. Il en

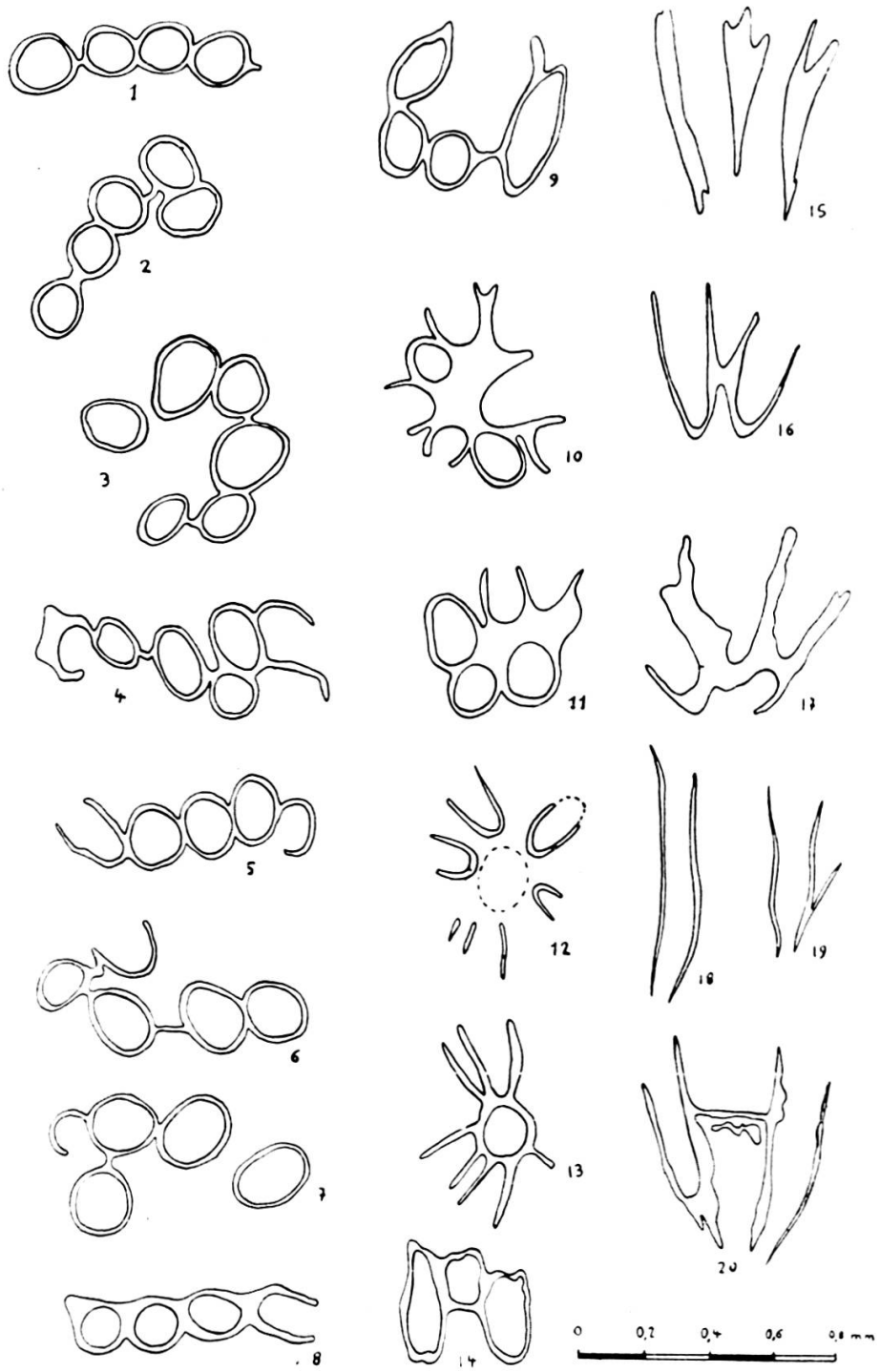


Fig. 49.

Actinoporella podolica Alth.

1 à 11: Sections obliques des rameaux des verticilles.
12 et 13: Sections transversales de la base des verticilles.
14 à 20: Sections longitudinales des rameaux des verticilles.

résulte en section transversale, une forme étoilée avec un canal central. Malgré l'épaississement calcaire basal, les rameaux gardent toujours leur individualité, ce caractère distingue aisément ce genre de *Munieria*.

Dimensions du type. — Diamètre externe: 3,2 à 2,0 mm, diamètre du canal axial: 0,80 à 0,40 mm, nombre des rameaux par verticille: 13 à 22 (moyenne: 20).

Cette algue est très fréquente dans le niveau 14 de la coupe du col de la Dôle, de même au Salève, dans le niveau 14 de la coupe des Etournelles et dans le niveau 6 de celle d'Aiguebelle (35), où elle coexiste avec *Clypeina jurassica* Favre et Richard. Cette association est intéressante car elle semble confirmer les idées émises par Pia (121) selon lesquelles le genre *Clypeina* dérive d'*Actinoporella*.

Nous avons observé les caractères suivants: diamètre externe (reconstitué): 2,5 à 1,6 mm, diamètre du canal axial: 0,40 à 0,20 mm, nombre de rameaux par verticilles: 12 à 22 (moyenne: 20).

Extension. — A notre connaissance, *Actinoporella podolica* n'a pas éte signalée ailleurs que dans les localités-types des environs de Cracovie.

Genre **Clypeina** Michelin, 1845.

1845. Michelin: *Iconographie zoophytologique*, p. 177.

La diagnose du type est la suivante: petits corpuscules calcaires en forme d'entonnoir ou de disque perforé en son centre, constitués par un verticille de chambres sporangiques allongées, soudées entre elles latéralement, au moins à leur base et communiquant chacune par un pore avec la cavité axiale.

Clypeina parvula Carozzi (fig. 50 et 51).

1946. *Clypeina parvula*. A. Carozzi: Sur quelques Dasycladacées du Purbeckien du Jura. *C. R. Soc. Phys. Hist. nat.*, Vol. 63, nº 1, 1946, Genève.

Les verticilles stériles de cette espèce sont formés par des tubes calcaires droits, évasés à leur partie supérieure et ouverts

aux deux extrémités. Les parois sont épaisses et cannelées à l'extérieur. Les verticilles fertiles ont la forme d'entonnoirs évasés, cannelés à l'extérieur et percés d'un canal axial circulaire.

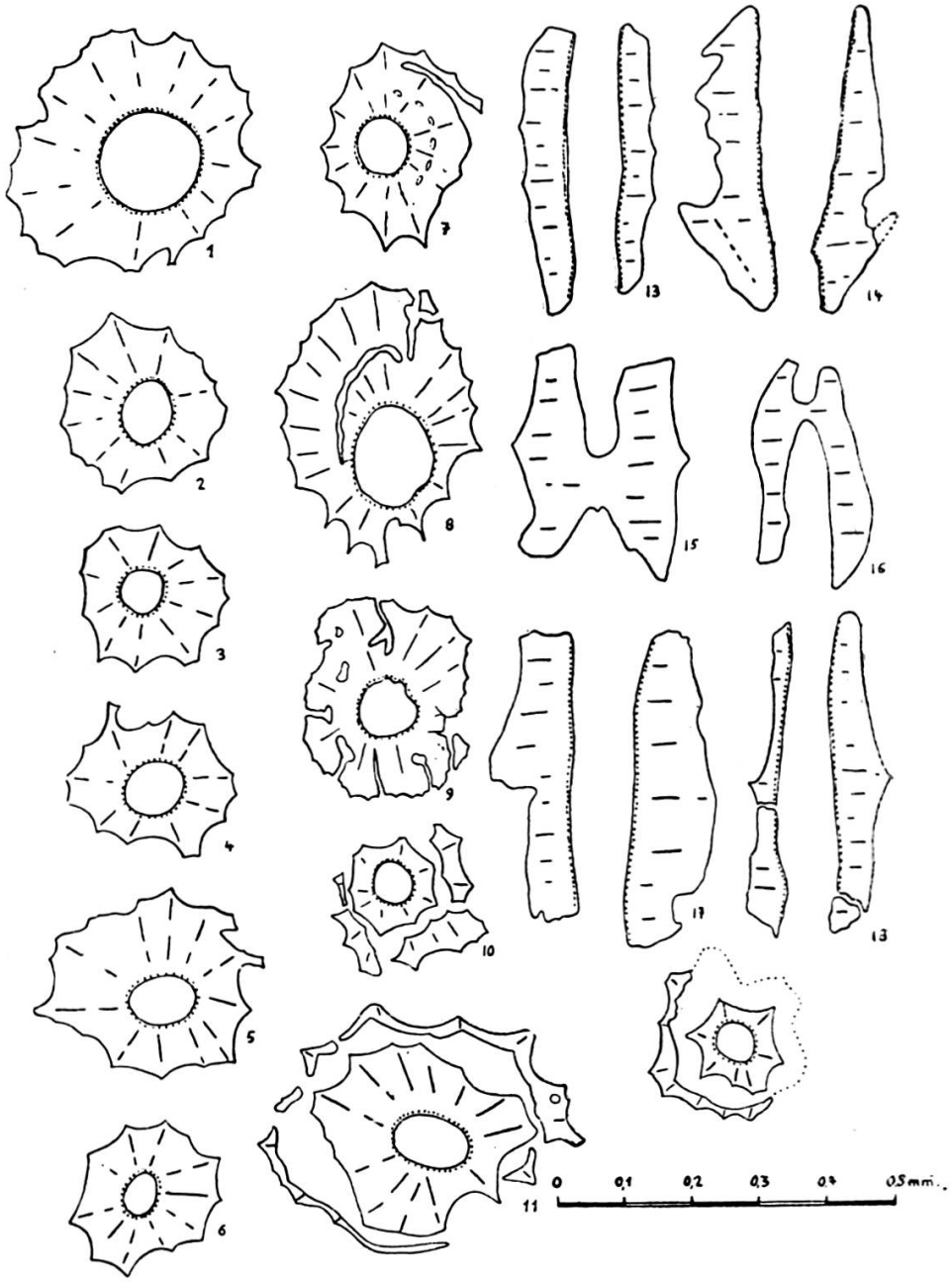


Fig. 50.

Clypeina parvula Car.

1 à 6: Sections transversales de la base des verticilles.
7 à 12: Sections transversales au sommet des verticilles fertiles (noter la collerette et les logettes sporangiques).
13 à 18: Sections longitudinales.

Pour les deux types de verticilles, le nombre des côtes externes varie de 10 à 25, mais la moyenne oscille autour de 12. Le diamètre du canal axial varie de 0,03 à 0,12 mm, avec une moyenne de 0,07 mm. Le diamètre externe oscille de 0,09 à 0,45 mm, en passant par les quatre fréquences maxima de 0,15, 0,18, 0,22, 0,25 mm.

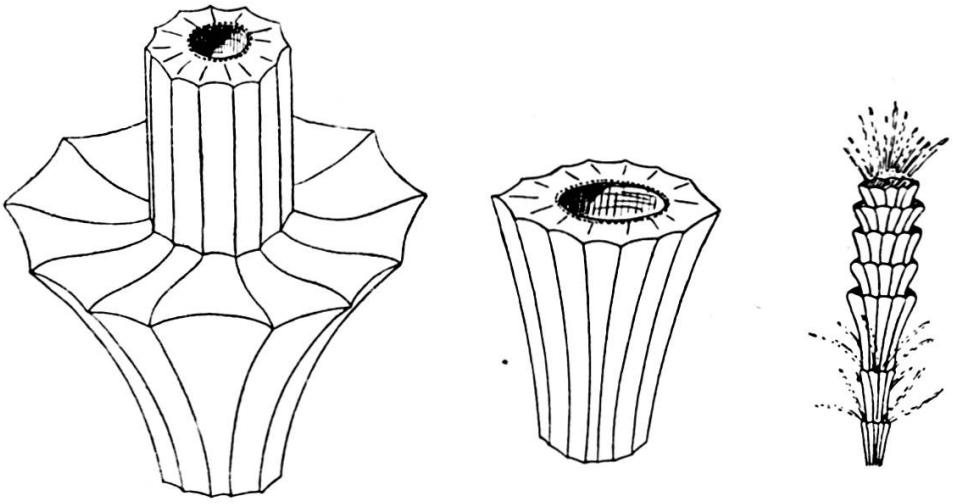


Fig. 51.

Reconstitution de *Clypeina parvula* Car.
A gauche: verticille fertile.
Au centre: verticille stérile.
A droite: aspect général.

Sur la face interne des entonnoirs fertiles, les cannelures de la tige se poursuivent par des côtes radiales aboutissant au centre de l'entonnoir, où elles se raccordent à la base de l'élément supérieur. Les verticilles fertiles se composent en moyenne de 12 logettes sporangiques allongées, obliques par rapport à l'axe et logées à l'intérieur de la paroi. Les chambres sont soudées sur toute leur longueur et les sutures correspondent aux crêtes radiales de la face interne des verticilles. Sans doute ces cavités débouchaient à l'intérieur du canal axial.

En coupe mince, les sections transversales de verticilles stériles se présentent sous la forme de disques calcitiques, clairs et hyalins, irrégulièrement cannelés, à perforation centrale. Cette dernière est souvent entourée d'une couronne plus sombre et finement craquelée, les craquelures se prolongent radialement

et semblent correspondre aux côtes externes. Les sections transversales de verticilles fertiles sont plus grandes et montrent des perforations circulaires correspondant aux logettes sporangiques. Si la coupe passe par la partie supérieure du verticille, on observe une collerette irrégulière. La largeur de la collerette dépend de l'angle d'intersection du plan de la coupe avec le bord de l'entonnoir. Parfois on peut noter, dans l'épaisseur de la collerette, des ouvertures circulaires mais il semble qu'elles soient accidentelles et dues à l'usure.

Les coupes longitudinales montrent des tubes calcaires, coniques ou droits, à parois épaisses, emboîtés les uns dans les autres. Le canal axial est rectiligne, tandis que l'extérieur de la tige est finement dentelé. Aux verticilles, seule la tige s'épaissit et s'évase, le canal axial ne subissant aucune modification notable.

Disons encore que les verticilles stériles rappellent étrangement par leur forme l'organisme C. de J. Favre, l'avenir nous dira si on peut le considérer comme formant les verticilles stériles d'une *Clypeina* dont nous ignorons encore les parties fertiles.

Clypeina parvula Carozzi se distingue de *Clypeina jurassica* Favre par ses petites dimensions, sa tige cannelée et la rareté des logettes sporangiques visibles.

Gisements.

Elle est présente dans tous les niveaux saumâtres du Purbeckien moyen et supérieur, parfois associée aux Characées; lorsqu'elle abonde dans un niveau, elle est presque seule ou associée avec des carapaces d'Ostracodes.

Clypeina jurassica Favre.

J. Favre et A. Richard: Etude du Jurassique supérieur de Pierre-Châtel et de la cluse de la Balme (Jura méridional). *Mém. Soc. Paléon. suisse*, Vol. XLVI, 1927.

Après avoir examiné les coupes originales de cette espèce, nous pouvons affirmer qu'elle n'existe pas dans le Purbeckien du Jura suisse, tout au moins dans les localités étudiées. Comme

sa présence est indiscutable au Salève et à Pierre-Châtel, c'est-à-dire dans une région purbeckienne voisine du géosynclinal alpin, nous pensons qu'il s'agit d'une espèce ayant des affinités plus marines et de ce fait ayant une localisation géographique propre.

Organisme C.

J. Favre et A. Richard: Etude du Jurassique supérieur de Pierre-Châtel et de la cluse de la Balme (Jura méridional). *Mém. Soc. Paléon. suisse*, Vol. XLVI, 1927.

Nous n'avons jamais rencontré dans le Jura suisse cet organisme non encore identifié.

Genre **Acicularia** d'Archiac 1843.

1843. *Acicularia* d'Archiac. Descript. géol. départ. Aisne. Mém. S.G.F. 1, XV, p. 386.

Spicules calcaires élargis à une extrémité, isolés ou associés latéralement, à section circulaire ou aplatie, creusée à la périphérie d'un grand nombre de petites cavités sphériques (pores). Tantôt elles sont uniformément réparties tout autour des spicules (*Acicularia* s. str.), tantôt elles n'existent que sur les faces inférieures *(Briardina)*.

Acicularia elongata Carozzi (fig. 52 et 53).

1947. *Acicularia elongata*. A. Carozzi: La microflore du Purbeckien du Jura suisse. C.R. Soc. phys. hist. nat., vol. 64, nº 1, 1947.

Les spicules sporangiques de cette espèce se présentent comme des fuseaux allongés, semblables à des massues souvent creuses à leur intérieur, à section circulaire. La périphérie est creusée de cavités sphériques dont le nombre varie de 6 à 16. Les spicules sont toujours isolés, leur longueur peut atteindre 0.8 mm, en général elle oscille entre 0,80 et 1,15 mm. Le diamètre maximum est de 0,30 mm, les sections varient de cette

valeur jusqu'à 0,14 mm. Le diamètre des cavités sporangiques est de 0,03 à 0,04 mm.

En coupe mince, les sections longitudinales ou tangentielles ont l'aspect de fuseaux allongés, à surface déchiquetée et per-

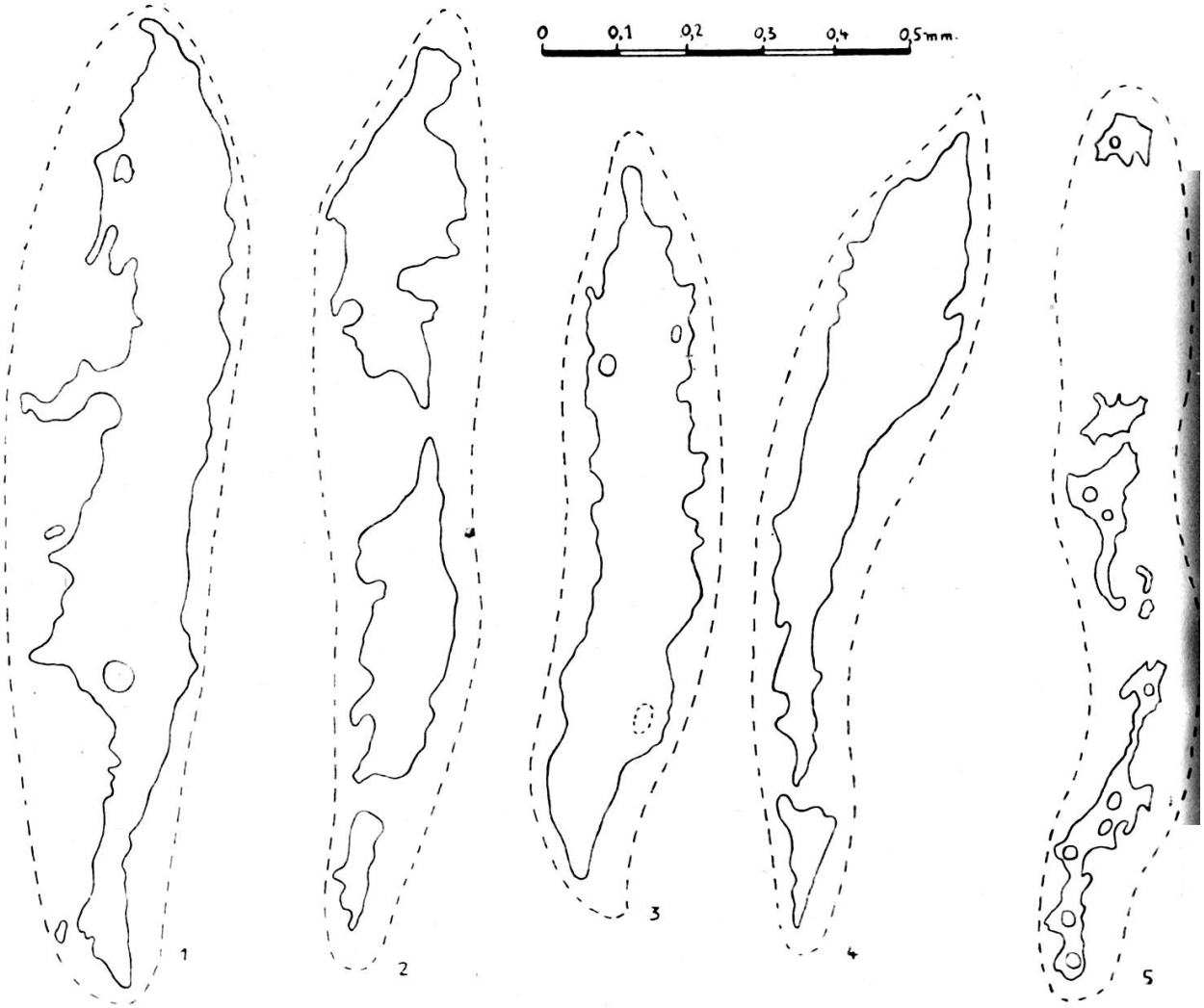


Fig. 52.

Acicularia elongata Car. en sections longitudinales et tangentielles.

forée par le recoupement des cavités sporangiques. Les sections transversales sont circulaires avec une couronne périphérique de cavités, ouvertes ou fermées selon l'état de conservation.

Dans les petites sections correspondant aux extrémités du fuseau, l'intérieur est plein, tandis que les sections plus grandes montrent à leur intérieur des cavités irrégulières séparées par

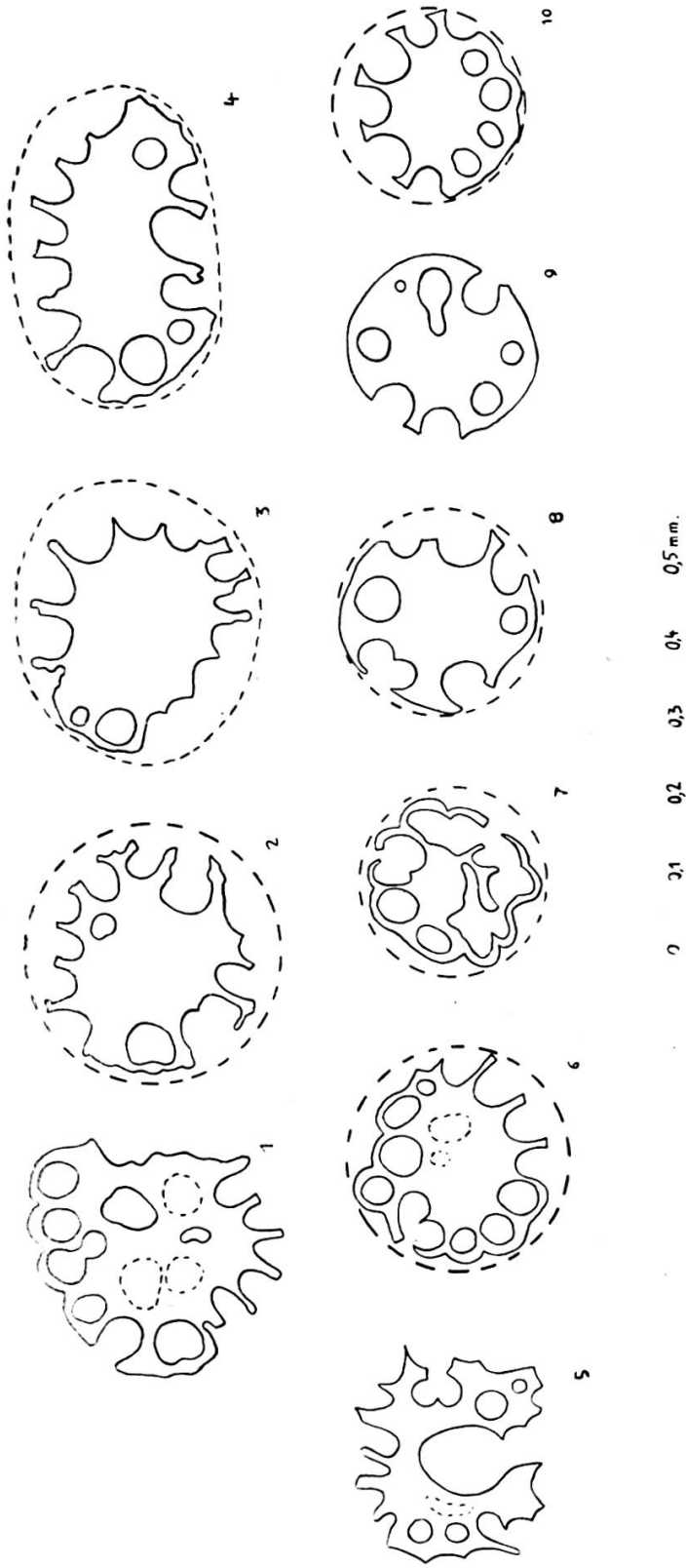


Fig. 53.

Acicularia elongata Car. en sections transversales.

des parois plus ou moins épaisses; les sections de diamètre maximum offrent une large cavité résultant visiblement de la jonction de plusieurs loges. Ce caractère n'est pas toujours présent et il s'agit d'un canal central allongé, d'extension variable et en partie cloisonné à ses extrémités. Du reste, un tel caractère existe encore dans *Acicularia pavantina* d'Archiac du Tertiaire du bassin de Paris (82, 84).

Gisements.

Chambrelien, niveau 1, 3, 13.
Noiraigue, niveau 8.
Vaulion, niveau 1.
Vigneules, niveau 15 et base du Berriasien.
Salève, Aiguebelle, partie supérieure du niveau 27.

Rapports et différences.

Pia a décrit sous le nom d'*Acicularia antiqua* des spicules du Crétacé supérieur de Tripoli (119). En coupe mince, les sections transversales sont discoïdales avec une couronne périphérique de cavités sporangiques. Le centre du disque est en général dépourvu de sporanges et les sections qui en montrent doivent être considérés comme plus ou moins tangentielles. En étudiant les diverses sections, Pia a été frappé par l'absence de formes allongées qui correspondent aux coupes longitudinales des spicules. Il est donc évident que les spicules des *Acicularia* crétacées n'étaient pas fusiformes et que leur longueur ne devait pas dépasser deux fois leur largeur. Ce dernier caractère les distingue nettement d'*Acicularia elongata*, car les autres dimensions sont semblables, en effet le diamètre maximum est de 0,33 mm et celui des cavités sporangiques de 0,04 à 0,05 mm.

§ 3. Fucacées.

La variété morphologique est grande à l'intérieur de cette famille, et pour éviter un trop grand nombre d'espèces, nous nous sommes astreints à ne décrire que les formes extrêmes, d'une part fusiforme, d'autre part cordiforme.

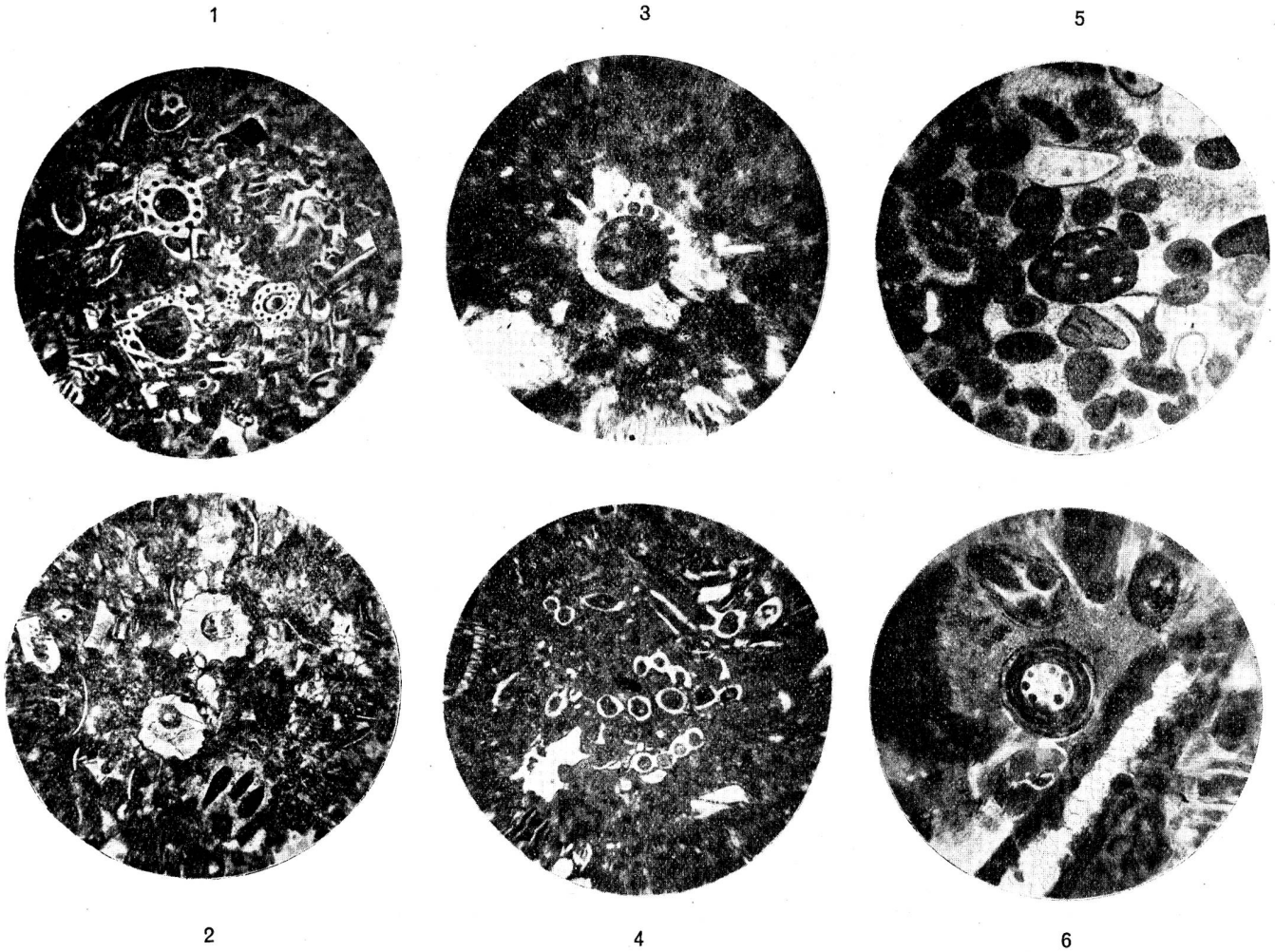


Fig. 1: Calcaire à tiges de Chara *(Clavator)*. Coupe de la Dôle, niveau 35. × 36.
» 2: Calcaire à *Clypeina parvula* Car. Coupe de Riondaz-Dessus, niveau 6. × 60.
» 3: Calcaire à *Munieria baconica* Hauth. Coupe de Chez Villard, niveau 33. × 60.
» 4: Calcaire à *Actinoporella podolica* Alth. Coupe de la Dôle, niveau 14. × 36.
» 5: Calcaire dolomitique oolithique à *Coprolithus salevensis* Par. Coupe du Crêt-au-Bovairon, niveau 1. × 60.
» 6: Calcaire à *Acicularia elongata* Car. Coupe de Chambrelien, niveau 1. × 60.

Eofucus fusiformis Carozzi (fig. 54).

1946. *Eofucus fusiformis*. A. Carozzi: Sur la découverte d'oogones de Fucacées dans le Purbeckien du Noirmont (Jura vaudois). *C. R. Soc. Phys. Hist. nat.*, Vol. 62, nº 2, 1946, Genève.

Oogone fusiforme, de longueur moyenne 0,60 mm (min. 0,18 mm, max. 1,1 mm), de largeur moyenne 0,25 mm (min. 0,05 mm, max. 0,45 mm).

Les deux extrémités du fuseau sont grossièrement pointues, l'une d'elle est souvent plus effilée et munie d'un pédoncule.

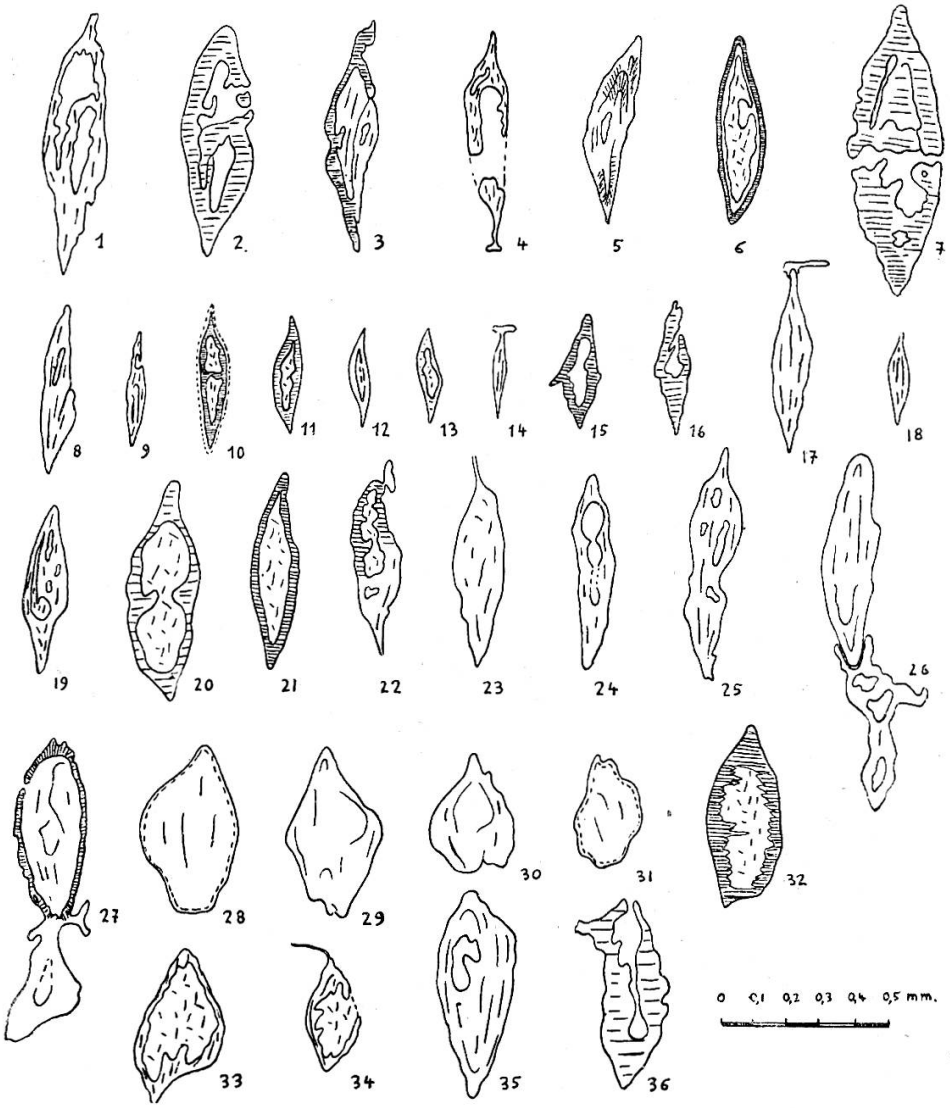


Fig. 54.

Eofucus fusiformis Car. (1 à 26) et *cordiformis* (27 à 36) en sections longitudinales.

La section longitudinale montre une enveloppe à deux couches, assez épaisse. Une couche externe en calcite fibro-radiée, d'épaisseur variable (moy. 5 μ) ayant l'allure d'un cortex rugueux, souvent strié longitudinalement. Une couche interne, épaisse, en calcite compacte, formant deux à cinq loges irrégulières. Les loges peuvent communiquer entre elles ou être nettement séparées par des cloisons; l'intérieur est rempli par de la calcite transparente.

Eofucus cordiformis Carozzi (fig. 54).

1946. *Eofucus cordiformis*. A. Carozzi: *loc. cit.*

Oogone plus ou moins cordiforme, trapu, de longueur moyenne 0,60 mm (min. 0,43 mm, max. 0,78 mm), de largeur moyenne 0,30 mm (min. 0,18 mm, max. 0,35 mm). Une des extrémités est grossièrement pointue et quelquefois munie d'un filament, l'autre est arrondie ou coupée nette par rupture du point d'attache. L'enveloppe et l'intérieur sont semblables à ceux de l'espèce précédente.

Gisements.

Coupe du Crêt-au-Bovairon, niveau 12 (micropoudingue multicolore).

Coupe des Biolles-Marais-Rouges, niveau 7 (micropoudingue multicolore).

Coupe du col de la Dôle, niveau 22 (micropoudingue multicolore).

Coupe de Chez Villard, niveau 14 (calcaire grumeleux).

Coupe de Vaulion-Pétrafelix, niveau 11 (calcaire microconglomératique).

Coupe de Vaulion-Pétrafelix, niveau 4 (calcaire microconglomératique).

Coupe des Clées, niveau 10 (marno-calcaire).

Coupe des Clées, niveau 5 (calcaire pseudo-oolithique sapropélien).

Coupe de Six-Fontaines, niveau 10 (micropoudingue multicolore).

Coupe de Six-Fontaines, niveau 3 (marno-calcaire).

Coupe de Six-Fontaines, niveau 11 (calcaire compact fin).
Coupe de Vigneules-Goldberg, niveau 4 (calcaire conglomératique).

Les deux types d'oogones se rencontrent en abondance dans les couches de passage du milieu marin au milieu lacustre et, comme il s'agit dans la plupart des cas de brèches multicolores, on les trouve englobés dans le ciment calcitique. Il n'est pas rare de rencontrer aussi des galets de calcaire sapropélien à oogones de Fucacées. Ainsi il résulte de ces exemples que, en règle générale, les oogones ne se rencontrent qu'au moment d'une avancée ou d'un recul de la mer. Quelle est la cause de cette étrange localisation ? Si l'on étudie le mode de reproduction des Fucacées actuelles, on remarque que les anthéridies et les oogones sont abandonnés sur les grèves par la marée descendante et que la fécondation s'effectue à la marée ascendante suivante. Or, dans le cas qui nous occupe, il est probable que les pénétrations marines dans les lagunes purbeckiennes au cours de leurs péripéties aient abandonné les oogones non fécondés sur les plages, expliquant ainsi leur abondance aux termes de passage de milieu marin et le milieu lacustre.

Rapports et différences.

A notre connaissance, la seule Fucacée signalée dans le Jurassique est *Liasophycus scythothalioides* Fliche signalée dans le Sinémurien (38, 39), malheureusement non figurée et qui, d'après la description de son auteur, porterait des fruits fusiformes assez gros, puisqu'ils atteignent 7 mm de longueur et 2, 5 mm de largeur.

§ 4. Chlorophycées.

Genre **Globochaete alpina** Lombard (fig. 55).

1945. *Globochaete alpina.* Lombard : Attribution de microfossiles du Jurassique supérieur alpin à des Chlorophycées. *Ecl. Geol. Helv.*, Vol. 38, nº 1, 1945.

Cette forme attribuée à une Chlorophycée accompagne les Dasycladacées dans le niveau 27 de la coupe de Riondaz-Dessus,

c'est-à-dire presque au contact avec les microbrèches du Berriasien. Ce sont de petites boules typiques ayant environ 50 μ de diamètre et donnant une croix noire en nicols croisés. Elles sont fixées à de petits débris végétaux.

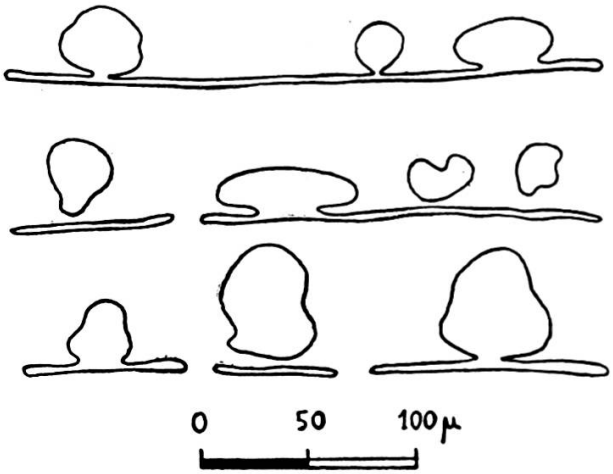


Fig. 55.

Globochaete alpina Lomb.

§ 5. Conifères.

Genre **Brachyphyllum** d'Orbigny.

1884. *Brachyphyllum.* d'Orbigny: *Paléontologie française.* Plantes jurassiques. Tome III, p. 310, Paris, 1884.

Brachyphyllum gracile Brongniart (fig. 56).

Les semences ailées sont caractérisées à leur base par une nucule épaisse, atténuée avec un bec obtu vers son extrémité inférieure et surmontée d'un appendice membraneux élargi et émarginé vers le haut. La forme irrégulière de cet appendice et la direction unilatérale de la nucule dénotent une semence inverse qui aurait été disposée par paires sur chaque écaille du strobile.

Gisements.

Cette forme signalée chez nous dans le Kiméridgien d'Orbagnoux, Cirin et Armaille, est présente dans la coupe de Feur-

tilles au niveau 4 et dans celle de Vaulion au niveau 1, c'est-à-dire dans des coupes de caractère anticlinal. Ceci correspond à l'habitat de *Brachyphyllum* qui vivait à l'intérieur des terres, à l'abri de l'action immédiate des eaux.

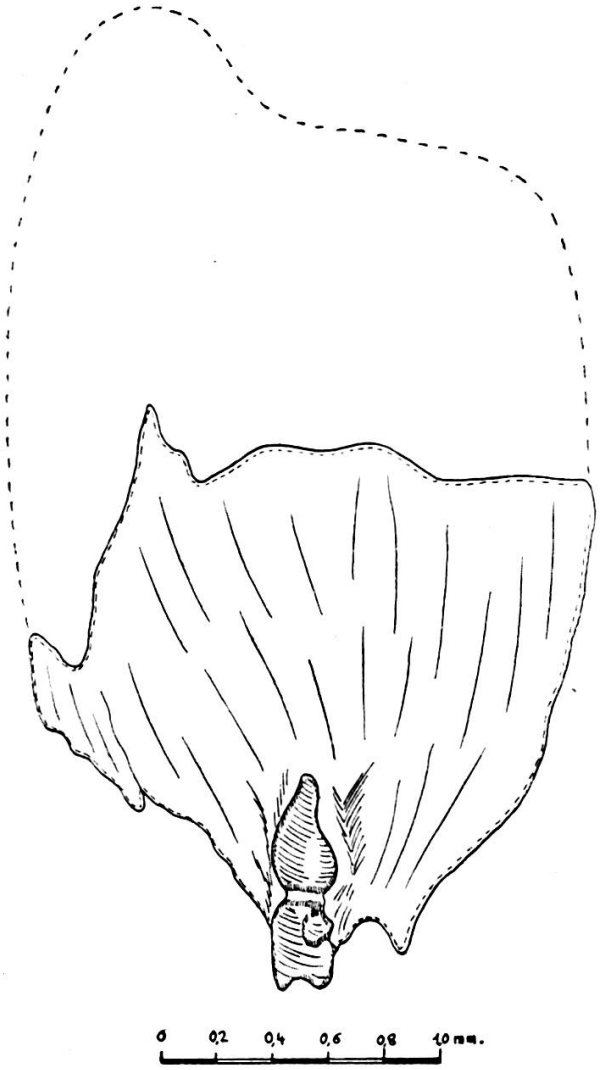


Fig. 56.

Semence ailée de *Brachyphyllum gracile* Brong.

BIBLIOGRAPHIE

Principales abréviations:

B. S. G. F.	*Bulletin de la Société Géologique de France.*
Ecl. Geol. Helv.	*Eclogae Geologicae Helvetiae.*
J. of P.	*Journal of Paleontology.*
N. J. B. für Min.	*Neues Jahrbuch für Mineralogie...*
Q. J.	*Quarterly Journal of the Geological Society of London.*

1. Alth, A. v. Nizniover Kalkstein. *Pamietnik. akademici. Unriezetnosci. w. Krakowie*, vol. 6, 1881.
2. Archiac, V. d'. Descript. géol., départ. Aisne. *Mém. S.G.F.*, 1, 15, 1843.
3. Aubert, D. Monographie géologique de la Vallée de Joux (Jura vaudois). *Mat. Carte géol. Suisse*, N. S., 78e livr., 1943.
4. —— Le Jura et la tectonique d'écoulement. *Bull. Lab. Géol. Univ. Lausanne*, nº 83, 1945; *Mém. Soc. vaud. Sc. nat.*, vol. 8, nº 4, 1945.
5. —— Rapport entre les faciès des terrains secondaires et les plissements jurassiens. *Bull. Soc. vaud. Sc. nat.*, vol. 63, nº 268, 1947.
6. Baumberger, E. Über die geol. Verhältnisse am linken Bielerseeufer. *Mitteil. d. naturf. Ges. Bern*, 1895.
7. Benoit, M. Extension du Purbeckien dans le Jura. *B. S. G. F.*, 3e s., t. 7, 1879.
8. Bersier, Arn. Les oolithes noires du récif kiméridgien de Valfin (Jura) et leur genèse. *Bull. Soc. vaud. Sc. nat.*, nº 244, vol. 59, 1937.
9. Bertrand, L. Les grandes régions géologiques du sol français. *Bibl. Phil. Sc. Flammarion*, Paris, 1935.
10. Bertrand, M. Etude sur le Jurassique sup. et ses niveaux coralliens entre Gray et Saint-Claude. *B. S. G. F.*, 3e s., t. 11, 1883.
11. Boyer, G. Note sur les environs de Brénod (Jura méridional). Réunion extr. Soc. géol. de France dans le Jura, sept. 1885. *B. S. G. F.*, 3e s., vol. 13, 1884-1885.
12. Browson, C. Fresh-water invertebrates of Morrisson in Wyoming. *J. of. P.*, vol. 9, Menasha, 1935.
13. Brückner, W. et Pia, V. Characeenreste im unteren Teil der Zementsteinschichten der Grisstock-Decke am Klausenpass. *Ecl. Geol. Helv.*, vol. 28, nº 1, 1935.

14. Carozzi, A. Sur la découverte d'oogones de Fucacées dans le Purbeckien du Noirmont (Jura vaudois). *C. R. Soc. Phys. Hist. nat. Genève*, vol. 62, nº 2, 1945.
15. —— Sur quelques Dasycladacées du Purbeckien du Jura. *Idem*, vol. 63, nº 1, 1946.
16. —— La microflore du Purbeckien du Jura. *Ibidem*, vol. 64, nº 1, 1947.
17. —— La paléogéographie du Purbeckien du Jura suisse. *Ibidem.*, vol. 64, nº 2, 1947.
18. Cayeux, L. *Introduction à l'étude pétrographique des roches sédimentaires.* Paris, Imprimerie Nationale, 1916.
19. —— *Les roches sédimentaires de France.* Les roches carbonatées. Paris, Masson, 1935.
20. —— *Causes anciennes et causes actuelles en géologie.* Paris, Masson, 1941.
21. Choffat, P. Note sur les soi-disant calcaires alpins du Purbuckien. *B. S. G. F.*, 3e s., t. 5, 1876-1877.
22. Collet, L.-W. Les brèches du Jurassique supérieur et la limite Jurassique-Crétacé. *Ecl. Geol. Helv.*, vol. 29, nº 1, 1936.
23. Collet, L.-W. et Carozzi, A. Sur la découverte de débris de Characées dans les brèches du Malm supérieur au Mont-Ruan (Nappe de Morcles). *C. R. Soc. Phys. Hist. nat. Genève*, vol. 64, nº 1, 1947.
24. Cushman, J. A. Foraminifera. Their classification and Economic Use. *Sec. Edit. Massachussetts, U.S.A..*, 1933.
25. Custer, W. Etude géologique du pied du Jura vaudois. *Mat. Carte géol. Suisse*, N. S., 59e livr., 1928.
26. Dangeard, P. Traité d'algologie. *Encl. biol.*, t. 11, Paris.
27. Dawson Turner. Fuci sive Plantarum generi. London, 1808.
28. Deecke, W. Über einige neue Siphoneen. *N. J. B. für Min.*, vol. 1, 1883.
29. Dollfus, G. F. et Fritel, P. H. Catalogue raisonné des Characées fossiles du bassin de Paris. *B. S. G. F.*, 19, 1920.
30. Dubar, G. et Le Maitre, D. Etude paléontologique sur le Lias du Maroc. Spongiomorphidés et Algues. *Notes et mémoires. Service des mines.* Maroc, Nº 34, Rabat, 1935.
31. Eisenack, A. Die Form des Thallus der Siphonee Vermiporella. *Zeitschr. Geschiebeforsch.*, Berlin, 1936.
32. Falconnier, A. Etude géologique de la région du col du Marchairuz. *Mat. Carte géol. de la Suisse*, N. S., nº 27, Berne, 1931.
33. Favre, J. *Description géologique des environs du Locle et de La Chaux-de-Fonds.* Thèse, Genève, 1911.
34. —— Présence d'une nouvelle espèce d'algue calcaire siphonée dans le Valanginien du Jura central. *Ecl. Geol. Helv.*, 25, 1932.
35. Favre, J. et Joukowsky, E. Monographie géologique et paléontologique du Salève. *Mém. Soc. Phys. et Hist. nat. Genève*, vol. 37, fasc. 4, Genève.
36. Favre, J. et Richard, A. Etude du Jurassique supérieur de Pierre-Châtel et de la cluse de la Balme. *Mém. Soc. paléont. suisse*, vol. 46, Genève, 1927.

37. Fisch, W. Beiträge zur Geologie des Bihargebirges. *Jahrb. Philos.*, Fak. 2, Univ. Bern, vol. 4, 1924.
38. Fliche, P. Flore fossile du Trias en Lorraine et Franche-Comté. *Bull. Soc. Sc. Nancy*, S. 3, vol. 6, nº 3, 1905.
39. —— Sur une algue fossile du Sinémurien. *C. R. Acad. Sc. Paris*, vol. 148, janvier 1909.
40. Fournier, E. Sur la structure tectonique profonde de la zone des Avants-Monts du Jura. *B. S. G. F.*, 4e série, t. 22, 1922.
41. Frei, E. Zur Geologie des südöstlichen Neuenburger Jura. *Mat. Carte géol. Suisse*, N. S., 55e livr., 1925.
42. Gardner, N. L. Two new fossil algae from the Miocene. *Proc. Ac. Nat. Sc. Philadelphia*, vol. 75, 1923-1924.
43. Giesenhagen, K. Untersuchungen über Characeen. *Flora*, 77, t. 10, Marburg, 1896.
44. Gignoux, M. *Géologie stratigraphique*, 2e éd., Paris-Masson, 1936.
45. —— et Moret, L. Sur l'extension des lagunes purbeckiennes dans le SE de la France. *C. R. somm. Soc. Géol. France*, nº 10, 1937.
46. Girardot, A. Le Purbeckien de Pont-La-Chaux. *B. S. G. F.*, vol. 13, 1883-1885.
47. Greppin, J.-B. Jura bernois. *Mat. Carte géol. Suisse*, livr. 8, 1870.
48. Groves, J. A sketch of the geological history of Charophyta. In Groves and B. Webster, vol. 2, p. 72, London Ray Soc., 1924.
49. —— Fossil Charophyta-fruits from Texas. *Amer. J. of Sc.*, vol. 10, July 1925.
50. —— *Clavator* Reid and Groves. *Journ. Bot.*, 62, London, 1924.
51. —— *Fossil. Cat 2 Plantae pars 19 Charophyta.* Berlin, 1933.
52. —— and Bullock Webster. *The British Charophyta.* Ray Society, London, 1924.
53. Gysin, M. Sur un procédé d'analyse sommaire des calcaires et des dolomies. *Bull. suisse de Min. et Pétr.*, tome 21, 1941.
54. Harris, T. M. British Purbeck Charophyta. *Brit. Museum Nat. Hist.*, London, 1939.
55. Harvey, W. H. *Phycologia Australica*, London, 1858.
56. —— *Phycologia Britannica*, London, 1846-51.
57. —— *A Manual of the British Marine Algae*, London, 1849.
58. Heer, O. *Le monde primitif de la Suisse*, Genève et Bâle, 1872.
59. Hirmer. *Handbuch der Palaeobotanik*, Berlin, 1937.
60. Hollande, M. Note sur les terrains jurassiques de Chanaz, Mollard-de-Vions, Grand-Colombier. *B. S. G. F.*, 3e sér., vol. 13, 1884-1885.
61. Hy, F. Sur les modes de ramification et de cortication dans la famille des Characées et les caractères qu'ils peuvent fournir à la classification. *Bull. Soc. bot. de France*, 36, Paris, 1889.
62. —— Sur les caractères généraux de la famille des Characées et leur importance taxonomique. *Revue de Bot.*, Toulouse, 1890.

63. JACCARD, A. Jura vaudois et neuchâtelois. *Mat. Carte géol. Suisse*, 6-7e livr., 1869.

64. —— Le Purbeckien du Jura. *Arch. Sc. phys. et nat.*, 3e période, t. 11, nº 5, Genève, 1884.

65. JOHNSON, J. H. Fossil Algae from Jurassic of Utah. *Proc. Geol. S. of Am.*, New York, 1933-1934.

66. LAGOTALA, H. Etude géologique de la région de la Dôle. *Mat. Carte géol. Suisse*, N. S., 46e livr., Berne, 1920.

67. LAPPARENT, A. DE. *Traité de Géologie*, t. 2, 5e éd., Paris, 1906.

68. LEUPOLD, W. et BIGLER, H. *Coscinoconus*, eine neue Foraminiferenform aus Tithon, Unterkreidegesteine der helvetischen Zone. *Ecl. Geol. Helv.*, 28, 1935.

69. LEUPOLD, W. et MAYNC, W. Das Auftreten von *Choffatella*, *Pseudocyclamina*, *Lovcenipora (Cladocoropsis)* und *Clypeina* im alpinen Faziesgebiet. *Ecl. Geol. Helv.*, 28, 1935.

70. LOMBARD, Aug. Attribution de microfossiles du Jurassique sup. alpin à des Chlorophycées. *Ecl. Geol. Helv.*, vol. 38, nº 1, 1945.

71. LORIOL, P. de et JACCARD, J. Etude géologique et paléontologique de la formation d'eau douce infracrétacée du Jura (Villers-le-Lac). *Mém. Soc. Phys. et Hist. nat. Genève*, t. 17, 1865.

72. LUGEON, M. Une hypothèse sur l'origine du Jura. *Bull. Soc. vaud. S. nat.*, vol. 61, nº 256, 1941; *Bull. Lab. Géol. Univ. Lausanne*, nº 73, 1941.

73. LYELL, C. *Elements of Geology*, London, J. Murray, 1865.

74. MAILLARD, G. *Etude sur l'étage purbeckien dans le Jura.* Thèse, Zürich, 1884.

75. —— Invertébrés du Purbeckien du Jura. *Mém. Soc. paléont. Suisse*, vol. 11, 1884.

76. —— Supplément à la monographie des Invertébrés du Purbeckien du Jura. *Mém. Soc. paléont. Suisse*, vol. 12, 1885, Genève.

77. —— Note sur le Purbeckien de la cluse de Chailles. Réunion extr. Soc. géol. de France dans le Jura, sept. 1885. *B. S. G. F.*, 3e s., vol. 13, 1884-1885.

78. —— Quelques mots sur le Purbeckien du Jura. *Bull. Soc. vaud. Hist. nat.*, vol. 21, 1885.

79. MARGERIE, E. DE. Le Jura. *Carte géol. dét. de la France*, part. I. Bibl. somm. du Jura français et suisse, Paris, 1922.

80. MAYNC, W. Die Grenzschichten von Jura und Kreide in der Titliskette. *Ecl. Geol. Helv.*, vol. 31, nº 1, 1938.

81. MOHLER, W. Mikropaläontologische Untersuchungen in der nordschweizerischen Juraformation. *Abhandl. Schw. Paläont. Ges.*, vol. 60, 1937-38.

82. MORELLET, L. et J. Les Dasycladacées du Tertiaire parisien. *Mém. Soc. Géol. France*, nº 47, 1913.

83. —— Observations sur le genre Clypeina. *B. S. G. F.*, t. 18, 1918.

84. —— Nouvelle contribution à l'étude des Dasycladacées tertiaires. *Mém. Soc. géol. France*, nº 58, 1922.

85. MORELLET, L. et J. *Tertiary Syphoneous Algae in the W. K. Parker collection*. British Museum (Nat. Hist.), London, 1939.
86. MORET, L. *Notes pétrographiques sur quelques roches sédimentaires des environs de Chambéry*. Réunion extr. Soc. géol. de France, sept. 1921.
87. —— Existence du Purbeckien dans les chaînes jurassiennes des environs de Voreppe (Isère). *A. F. A. S.*, Lyon, 1926.
88. —— Découverte du Purbeckien dans la chaîne du Semnoz. *C. R. Acad. Sc.*, 16, 6, t. 192, 1931.
89. —— Sur la géologie de l'extrémité septentrionale du Semnoz et sur la limite méridionale des lagunes purbeckiennes. *Trav. Lab. géol. Univ. Grenoble*, t. 17, fasc. 1, 1933.
99. —— Géologie du Massif des Bornes et des klippes préalpines de Sulens et Annes. *Soc. géol. de France*, mém. 22, N. S., t. 10, 1934.
91. —— *Manuel de paléontologie végétale*. Masson, Paris, 1943.
92. MUHLETHALER, C. *Etude géologique de la région des Verrières (Neuchâtel)*. Thèse, Neuchâtel, 1932.
93. NOSZKY, J. jun. Beiträge zur Kenntnis der Kretazischen Bildung des nördlichen Bakony. *Föld. Közl.*, 64, 99, Budapest, 1934.
94. NOLTHENIUS, Ab. Tutein. Etude géologique des environs de Vallorbe. *Mat. Carte géol. Suisse*, N. S., nº 48, 1re partie, Berne, 1921.
95. OLTMANNS, Fr. *Morphologie und Biologie der Algen*, vol. 2, Jena, Fischer, 1922.
96. ORBIGNY, A. D'. *Paléontologie française*. Plantes jurassiques, t. 3, Paris, 1884.
97. PARÉJAS, Ed. L'organisme « B » de Favre et Joukowsky. *C. R. Soc. Phys. Hist. nat. de Genève*, vol. 52, fasc. 3, 1935.
98. —— Essai sur la géographie ancienne de la région de Genève. *Publ. Inst. de Géol. Univ. d'Istanbul*. N. S., nº 2, 1938.
99. —— *Sur quelques coprolithes des crustacés*. A paraître.
100. PECK, R. E. Late Paleozoic and Early Mesozoic Charophyta. *Am. Journal of Sc.*, 5 s., vol. 27, 1934.
101. —— Morrisson Charophyta from Wyoming. *J. of P.*, vol. 11, 1937.
102. —— Charophyta from fresh-water Mesozoic Formations in Wyoming. *P. Am. Geol. Soc. Washington*, 1937.
103. —— Charophyta from the Rocky Mountain Region. *P. Am. Geol. Soc. Washington*, 1937-1938.
104. —— A new family of Charophyta from the lower Cretaceous of Texas. *J. of P.*, vol. 12, 1938.
105. —— Non-marine fossils of Morrisson formation in Wyoming. *J. of P.*, vol. 15, 1941.
106. PFENDER, J. Sur la présence de *Clypeina* Michelin dans les couches de passage du Jurassique au Crétacé en Basse-Provence calcaire. *B. S. G. F.*, série 4, t. 27, Paris, 1927.
107. —— A propos du Purbeckien du SE de la France. *C. R. somm. S. G. F.*, fasc. 12, Paris, 1937.

108. Pia, J. Die Siphoneae Verticillatae von Karbon bis zur Kreide. *Abhandl. Zool. Bot. Ges. Wien*, Band 11, 1920.

109. —— Einige Ergebnisse neuerer Untersuchungen über die Geschichte der Siphonae Verticillatae. *Sonderdr. Zeitschr. für induktive Abstammungs- und Vererbungslehre*, Bd. 30, Heft 1-2, 1922.

110. —— Geologisches Alter und geographische Verbreitung der wichtigsten Algengruppen. *Oesterr. Bot. Zeit. Wien*, 1924.

111. —— Einige neue oder ungenügend bekannte Siphonae Verticillatae aus dem mitteleuropäischen Malm. *Annalen des natur. hist. Museum Wien*, Band 38, 1925.

112. —— *Pflanzen als Gesteinbildner*. Bornträger Verlag., Berlin, 1926.

113. —— Neue Arbeiten über fossile Kalkalgen aus den Familien der Dasycladaceen und Codiaceen. *N. J. für Min.*, Band 3, 1928.

114. —— Die Anpassungsformen der Kalkalgen. *Palaeobiologica*, Band 1, Wien, 1928.

115. —— A new Dasycladacea-*Holosporella siamensis* ng. n. sp. with a description of the allied genus *Aciculella*. *Rec. Geol. Surv. India*, 177, Calcutta, 1930.

116. —— Remarques sur les algues calcaires. *Serv. mines et carte géol. du Maroc*, vol. 20, 1932.

117. —— Die Kalkbildung durch Pflanzen. *Beil. zu Bot. Zentralblatt*, Bot. 52, 1934.

118. —— Die Kalkalgen als fazielle, klimatische und chronologische Zeitfossilien. *Proc. intern. botan. Congress*, Amsterdam, 1935.

119. —— Calcaerous green Algae from upper Cretaceous of Tripoli. *J. of P.*, vol. 10, 1, 1936.

120. —— Algen als Leitfossilien. *Probl. of Paleont. Moskow*, 1936.

121. —— Sammelbericht über fossile Algen: *Dasycladaceae* 1928 bis 1936, mit Nachträgen aus früheren Jahren. *N. J. B.* für *Min. Referate*, Teil 3, Heft 5, Stuttgart, 1937.

122. —— et Rama Rao. Fossil Algae from the uppermost Cretaceous Beds of Trichinopoly. *Paleontologia Indica*, N. S., vol. 21, mém. 4, 1935.

123. —— et Rao S. R. N.-Rao K. S. Dasycladaceen des Dekkantrapps bei Royahmundry in Südindien. *Akad. Anzeiger*, nº 21, Jahr 74, Wien, 1937.

124. Potonie, H. Die rezenten Kaustobiolithe und ihre Lagerstätten. Band 1: die Sapropelite. *Abhandl. König. Preuss. Geol. Landesanstalt*. Neue Folge, Heft 55, Berlin, 1908.

125. —— *Lehrbuch der Paläobotanik*. Bornträger, Berlin, 1921.

126. —— et Gothan, W. *Handbuch der Palaobotanik*. Bornträger, Berlin, 1921.

127. Rabenhorst. *Kryptogamen Flora* in: W. Migula: *Die Characeen. Deutschlands, Œsterreichs und der Schweiz*. Leipzig, 1897.

128. Raineri, R. Alghe sifonee fossili della Libia. *Atti Soc. Ital. Sc. Nat.*, vol. 61, Milano, 1922.

129. Raven, T.-H. Etude géologique de la région de Morez-les-Rousses. *Trav. Lab. Géol. Lyon*, fasc. 20, mém. 17, 1932.

130. Reid, C. et Groves, J. Preliminary report on the Purbeck Characeae. *Proc. R. Soc.*, 89, t. 8, 1916.

131. —— et —— The *Charophyta* of the lower Headon Beds of Hordle Cliffs. *Q. J.*, 77, 1921.

132. Revil, J. Géologie des chaînes jurassiennes et subalpines de la Savoie. *Trav. Lab. géol. de Grenoble*, t. 9, 1911.

133. Rittener, T. H. Etude géologique de la Côte-aux-Fées et des environs de Sainte-Croix et Baulmes. *Mat. Carte géol. Suisse*, N. S., livr. 13, 1902.

134. Rickenbach, E. Description géologique du Val-de-Travers entre Fleurier et Travers, du cirque de Saint-Sulpice et de la vallée de La Brévine. *Bull. Soc. neuchât. Sc. nat.*, vol. 50, 1926.

135. Ruppert-Jones, T. On the *Ostracoda* of the Purbeck formation, with notes on the Wealden Species. *Q. J.*, vol. 41, London, 1885.

136. Ryniker, K. Geologie der Seekette zwischen Biel und Ligerz. *Ecl. Geol. Helv.*, vol. 18, nº 1, 1923.

137. Saporta, G. de. Plantes jurassiques. *Paléont. Franç.*, série 2, Végétaux, 1, 4, 1873, 1891.

138. Schaffer, Fr. X. *Hormosiroidea florentina* n. g. n. sp. ein Fucus aus der Kreide der Umgebung von Florenz. *Paleont. Zeit.*, Band 10, Heft 2, 1928.

139. Schardt, H. Fossiles du terrain purbeckien de Feurtilles, près de Baulmes. *Bull. Soc. vaud. Hist. nat.*, Lausanne, vol. 19, 1883.

140. —— Géologie de l'extrémité méridionale du Jura (Reculet et Vuache). *Bull. Soc. vaud. Sc. nat.*, Lausanne, vol. 27, 1891-92.

141. —— et Dubois, A. Description géologique de la région des gorges de l'Areuse (Jura neuchâtelois). *Ecl. Geol. Helv.*, 7, 1901-1903.

142. Schürer, W. *Geologische Aufnahmen des Jura und Molassegebietes zwischen Dotzingen und Tavannes.* Thèse, Zürich, 1927.

143. Seward, A. C. Catalogue of the Mesozoic Plants, in the *Dept. of Geol. British Museum*, 1, 1894.

144. —— Contribution to our knowledge of Wealden Floras, especially Sussex. *Q. J.*, vol. 69, part. 1, nº 273, March 1913.

145. Schwartz, C. Les nappes des Préalpes médianes et de la Simme dans la région de la Hochmatt. Thèse. *Bull. Soc. Frib. Sc. nat.*, vol. 12, 142, 1945.

146. Stastny, V. Etude pétrographique de l'affleurement le plus méridional du Purbeckien: La Buisse près de Grenoble. *Trav. Lab. Géol. Grenoble*, t. 15, fasc. 2, 1930.

147. Steinmann, G. Über fossile Dasycladaceen vom Cerro Examela Mexico. *Botan. Ztg.*, I, Stuttgart, 1891.

148. Suter, H. *Geologische Untersuche in der Umgebung von Les Convers-Vue des Alpes.* Dissert., Zürich, 1920.

149. SUTER, H. Geologische Beschreibung der Kartengebiete: Les Bois, und St. Imier. *Mat. Carte géol. de la Suisse*, N. S., 72e livr. 1936.

150. —— Zur Geologie der westlichen Tête-de-Ran-Kette. *Ecl. Geol. Helv.*, vol. 30, 1937.

151. TAEGER, H. Regionale Geologie des Bakonygebirges, 1. Teil: Im nordöstlichen Bakony und seinem Vorlande. *Geol. Hungars. Serv. Geol.*, 6, Budapest, 1936.

152. THIÉBAUD, C.-A. *Etude géologique de la région de Travers-Creux-du-Van-Saint-Aubin.* Thèse, Neuchâtel, 1937. *Ext. Bull. Soc. neuch. Géographie*, t. 45, 1937.

153. THURET, G. *Etudes phycologiques.* Masson, Paris, 1878.

154. TILDEN, J. E. The Algae and their life Relations. *University of Minnesota Press*, 1935.

155. TOURNIER, Abbé. Sur la présence des couches purbeckiennes dans la vallée inférieure du Suran. *B. S. G. F.*, vol. 15, fasc. 3, 1886.

156. YOUNG, J. T. On the Occurrence of a Freshwater Sponge in the Purbeck Limestone. *Geological Magazine*, Decade 2, vol. 25, Jan.-Decemb. 1878.

157. WARMING, E. *Handbuch der systematischen Botanik.* Bornträger, dritte Auflage, Berlin, 1911.

158. WETHERED, E. On the occurrence of fossil forms of the genus Chara in the Middle Purbeck Strata of Lulworth Dorset. *Proc. Cottesworld, Nat. F. Club*, 10, 1890.

159. ZITTEL, K. A. *Traité de Paléontologie.* 2e partie: Paléophytologie. Paris-Munich-Leipzig, 1891.