

Micrographie et sédimentation

Objektyp: **Chapter**

Zeitschrift: **Archives des sciences [1948-1980]**

Band (Jahr): **1 (1948)**

Heft 2

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Nutzungsbedingungen

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

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

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

Haftungsausschluss

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

« 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, Rotolidés, 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 élastique.

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 mûri-formes, 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 Clypeïnes. Cette composition conduit à des oolithes arrondies, assez régulières, parmi lesquelles n'apparaissent que de rares formes allongées dues à des tests de Lamelli-branches. 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 élastique 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 Dasycladacées¹. 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.

trainées 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 trainées, 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 n° 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 manquent 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 n° 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 auteurs 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^o Les galets noirs ne proviennent jamais des bancs sous-jacents, mais de couches contemporaines offrant le faciès sapropélien.
- 2^o 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^o 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 structure¹. 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 styolithiques 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, Dasycladacées 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 émerision est encadrée par des couches à cailloux noirs, tandis que la seconde, plus importante, l'est par des brèches multicolores. A Vaulion-Pétrafelix, l'émerision la plus nette est représentée 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^o 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^o 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 dessiccation. 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,

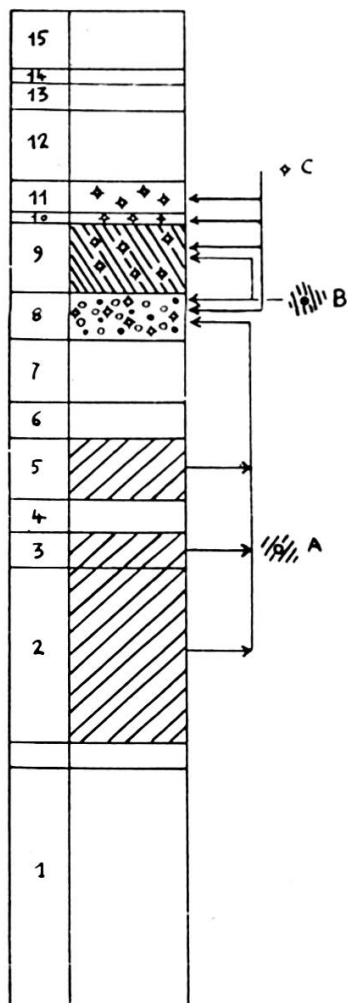


Fig. 34.

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.*

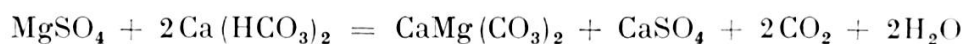
D'après les analyses rapides que nous avons faites, le rapport en poids $\text{CaCO}_3/\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ montre en gros les valeurs suivantes:

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.

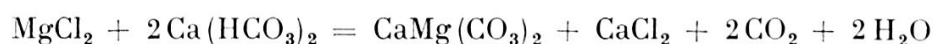
Disons d'emblée que les couches dolomitiques purbeckiennes sont marines. Les dolomies sont assez rares, les calcaires dolomitiques prédominent; mais il importe de noter que les faciès de remaniement (brèches) ou littoraux (marnes) montrent un rapport élevé, en d'autres termes une faible teneur en MgCO_3 , 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 $MgCO_3$ retombe ou devient même nulle; c'est le cas des marnes et des brèches.

En résumé, 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:



ou



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.