

Sédimentation rythmique en milieu corallien : le Jurassique supérieur du Grand-Salève

Autor(en): **Carozzi, Albert**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **7 (1954)**

Heft 2

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-738917>

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.

SÉDIMENTATION RYTHMIQUE EN MILIEU CORALLIEN

LE JURASSIQUE SUPÉRIEUR DU GRAND-SALÈVE

PAR

Albert CAROZZI

(Avec 3 fig.)

Bien que quarante ans se soient déjà écoulés depuis l'admirable monographie de E. Joukowsky et J. Favre [12], une reprise de l'ensemble de cette œuvre ne se justifie pas à notre avis. Cependant, au cours de ce laps de temps, la sédimentologie s'est affirmée comme une branche capitale de la géologie moderne. Nous avons pensé parfaire, dans la modeste mesure de nos moyens, l'œuvre de nos illustres prédécesseurs en reprenant l'étude stratigraphique détaillée du Grand-Salève avec l'esprit tourné vers les problèmes de sédimentation et de paléoocéanographie.

Les recherches modernes de géologie sous-marine ont permis, entre autres, de préciser les conditions physico-chimiques de dépôt des sédiments et d'établir les bases de la paléoécologie des faunes benthiques et pélagiques. C'est dire que les nombreux résultats obtenus éclairent d'un jour nouveau bien des problèmes stratigraphiques, en particulier celui des formations coralliennes dont on connaît le grand développement dans le Jurassique supérieur et le Crétacé de la chaîne du Salève. C'est pour cette raison que nous exposons ici les principales conclusions de nos études basées sur l'examen statistique détaillé de plusieurs centaines de coupes minces. Il n'est donc pas question de rendre compte aujourd'hui de la totalité des faits observés, qui seront consignés dans un mémoire compre-

nant l'ensemble de la microstratigraphie du Salève; notre but est de mettre en évidence les principales lois régissant la sédimentation du milieu récifal étudié.

A. MÉTHODE D'ÉTUDE.

La coupe partielle décrite ici (fig. 3) est celle dite des « Etiollets »; levée dans la partie centrale du cirque de même nom, elle s'étend du Séquanien supérieur au Portlandien inférieur sur 225 m et a fait l'objet de plus de 600 coupes minces. La colonne stratigraphique a été subdivisée en *complexes lithologiques* d'importance variable. Ceux-ci comprennent en général plusieurs types lithologiques génétiquement liés et définis principalement par l'examen microscopique. Ces microfaciès sont les suivants:

1. Calcaires grumeleux (CG) constitués par de très petits flocons subarrondis, à limites floues et unis par un ciment cryptocristallin.
2. Calcaires pseudo-oolithiques (CPO), mal classés, dans lesquels sont observables de nombreux éléments de taille un peu plus élevée que dans le terme précédent, mêlés à de rares débris organiques.
3. Calcaires pseudo-oolithiques zoogènes (CPOZ), mal classés, où les débris organiques s'associent aux pseudo-oolithes mais dans une proportion toujours inférieure à 50%.
4. Calcaires zoogènes pseudo-oolithiques (CZPO), mal classés, semblables aux précédents, mais dans lesquels la proportion de débris organiques dépasse 50%.
5. Calcaires récifaux zoogènes pseudo-oolithiques (CRZPO), mal classés, où les débris organiques dépassent 75% et proviennent presque exclusivement d'organismes coloniaux.
6. Calcaires dolomitiques (magnésiens p.p.) et dolomies à grain fin (CD), azoïques ou pouvant contenir des débris organiques indiquant qu'ils proviennent de l'épigénéisation partielle ou totale des trois termes lithologiques précédents.
7. Calcaires récifaux construits (CR) dans lesquels se rencontrent des Polypiers en position de croissance ou à peine

disloqués. Les zones interstitielles sont remplies par un matériel grossier, pseudo-oolithique et zoogène, parfois à grain fin et rappelant ainsi l'un ou l'autre des termes précédents.

8. Calcaires oolithiques et pseudo-oolithiques (CO) où la proportion des oolithes atteint ou dépasse celle des pseudo-oolithes, le calibrage apparaît très prononcé et s'accompagne d'une élimination des fractions fines; le ciment est calcitique, largement cristallisé.

L'examen microscopique d'une roche sédimentaire consolidée révèle, autant en ce qui concerne les minéraux que les organismes, des phénomènes que seules les méthodes statistiques peuvent exprimer clairement, en particulier au moyen de courbes dessinées en fonction de l'épaisseur des séries sédimentaires. A ce sujet, nous nous bornerons à rappeler ici quelques généralités concernant nos méthodes de travail dont le détail a été exposé ailleurs [2, 3].

L'étude des minéraux détritiques ou de tout débris organique ou inorganique se comportant comme tel se fait par la mesure microscopique des variations du diamètre maximum des grains et de leur fréquence. Le diamètre maximum apparent du plus gros élément détritique d'un minéral donné, visible en coupe mince, exprime l'indice de clasticité du niveau étudié par rapport au minéral envisagé. Il y a de ce fait, pour un même niveau, autant d'indices de clasticité qu'il y a de minéraux détritiques présents; cependant dans la pratique courante, et pour faciliter les comparaisons, on utilise le minéral le plus répandu, c'est-à-dire le quartz, plus rarement la glauconie. L'indice de clasticité offre un grand intérêt sédimentaire, car il est fonction directe de la puissance des agents de transport pour autant qu'il se rapporte à un minéral en grains. En effet, l'habitus en paillettes, comme celui des micas, introduit des anomalies qui compliquent les interprétations [2, 3].

Quoique la mesure de l'indice de clasticité corresponde à celle d'un diamètre maximum *apparent*, l'écart qui en résulte par rapport au diamètre maximum réel (obtenu par l'analyse mécanique) ne modifie pas de façon appréciable les conditions

naturelles. Dans les faciès coralliens, dépourvus de minéraux clastiques mais riches en particules calcaires arrachées aux récifs par l'action des vagues ou des courants, la puissance des agents de transport peut être exprimée par la mesure du diamètre maximum des particules détritiques calcaires inorganiques, nous appellerons cette valeur : *indice de clasticité générale*. Précisons que le caractère inorganique des particules est indispensable pour obtenir une image voisine de la réalité géologique; en effet, les dimensions des débris organiques dépendent en premier lieu de leurs caractères structuraux internes et en second lieu de l'agent de transport. Il s'ensuit que les déductions que l'on voudrait en tirer concernant l'allure et l'intensité des courants marins sont fallacieuses; cependant l'étude des débris organiques est précieuse à d'autres points de vue, en particulier pour la paléo-écologie et les phénomènes de remaniement [2, 3].

Le second mode d'étude des particules minérales et des organismes est la détermination de leur fréquence, c'est-à-dire du nombre de grains d'un minéral donné ou du nombre d'individus d'un organisme donné présents dans un certain volume, constant d'un niveau à l'autre. En ce qui concerne les minéraux, cette mesure est effectuée indépendamment de toute notion de clasticité.

Les variations de fréquence expriment les vicissitudes de la charge des courants en minéraux ou en organismes remaniés; dans les cas de microfaunes autochtones, les mesures de fréquence des éléments benthiques apportent des indications paléo-écologiques de toute première importance.

En pratique, la mesure de la fréquence revient à compter le nombre de grains rencontrés sur un diamètre ou une surface selon une convention préalablement bien définie. Si, au cours d'une étude, la mesure de la fréquence d'un composant doit être basée sur les mêmes conventions afin de permettre les comparaisons d'un étage à l'autre, il n'en est pas forcément de même pour tous les composants. En effet, les amplitudes de variations peuvent différer fortement de l'un à l'autre en exigeant, pour des nécessités d'expression graphique, des échelles différentes pour les composants abondants et rares. De ce fait,

il convient de prendre connaissance attentivement des légendes avant d'entreprendre l'examen des courbes. Dans la présente étude, la fréquence des organismes et des minéraux en grains est définie par le nombre d'individus ou de grains rencontrés sur une surface de 60 mm^2 correspondant à la juxtaposition de quatre champs de vision microscopiques régulièrement distribués dans la préparation.

Pour les particules submicroscopiques telles que les flocons de minéraux argileux ou d'oxydes de fer, ainsi que pour les granules ou sphérules de quartz secondaire ou de calcédonite, dont la fréquence est d'une mesure délicate à effectuer de façon absolue, on a recours à un artifice. Celui-ci consiste à établir une série standard de coupes minces qui comprend toute la gamme des teneurs rencontrées; cette gamme est ensuite subdivisée en 10 ou en 100 degrés suivant les besoins de la recherche. La détermination de la fréquence relative se fait par comparaison directe et suffit largement dans la pratique courante, d'autant plus qu'il est possible d'étalonner l'échelle relative par des analyses chimiques ¹.

Lors de l'étude des organismes, il n'est pas toujours possible de déceler à l'avance les types benthiques qui possèdent une sensibilité vis-à-vis des variations physico-chimiques et bathymétriques du milieu et ceux que leur omniprésence rend inutilisables. Il convient d'avoir présent à l'esprit que l'établissement des courbes de fréquence est destiné à la mise en évidence des variations du milieu; elles n'ont rien de commun avec les « bioséries » à caractère purement paléontologique. On est ainsi amené, dans de nombreux cas, à grouper certains organismes, vivant dans des conditions voisines, en assemblages dont les variations de fréquence ont une signification beaucoup plus importante que celles de chaque composant pris isolément. Il s'agit en d'autres termes de *groupes bionomiques*; constitués

¹ M. Daniel Reelfs, ingénieur-chimiste de l'Institut de Minéralogie de l'Université de Genève a bien voulu déterminer la teneur en Fe^2O^3 de dix échantillons correspondant aux degrés 10 à 100 de notre échelle standard de coupes minces. Les résultats obtenus vérifient les données microscopiques auxquelles ils sont liés par la relation suivante: 10 degrés = 0,1% en poids Fe^2O^3 .

empiriquement, ils ne correspondent pas nécessairement à des unités taxonomiques mais peuvent posséder, lorsqu'il s'agit de faunes benthiques, une signification écologique. En règle générale, les groupes bionomiques doivent être établis partout où leur présence, leur absence ou leur fréquence indique des différences de biofaciès, que les facteurs écologiques régissant ces différences soient connus ou non.

Du reste, cette façon de procéder résulte également du mode d'étude en coupes minces. En effet, en section, les déterminations spécifiques des organismes ne sont possibles que dans des cas tout à fait favorables; d'ailleurs, les identifications génériques ne sont pas toujours précises et même l'attribution de certains débris à tel groupe zoologique plutôt qu'à tel autre reste incertaine. Il s'ensuit qu'après avoir éliminé les éléments omniprésents et par là inutilisables, tels que les Echinides, les Crinoïdes, les Lamellibranches, les Gastéropodes et les Brachiopodes, deux groupes distincts peuvent être délimités.

Le premier groupe comprend les organismes ou associations d'organismes qui sont représentés dans les coupes minces en nombre suffisant pour justifier une étude statistique et son expression au moyen de courbes de fréquence.

Le second comprend les organismes accessoires au point de vue numérique et dont ne sont tracées que les aires de distribution; notons cependant que parmi eux se trouvent la plupart des espèces stratigraphiques.

1. *Les composants du premier groupe.*

a) *Courbe de fréquence des organismes coloniaux.*

Cet ensemble comprend les Coralliaires, les Bryozoaires, les Stromatopores et leurs commensaux. Les étroites limites d'existence de ces organismes les rendent précieux pour les déterminations bathymétriques.

b) *Courbe de fréquence des Dasycladacées.*

Elle exprime les variations d'importance d'un assemblage constitué en majeure partie par les formes suivantes: *Macroporella pygmaea* Gümbel, *Petrascula bursiformis* Etallon, *Acti-*

noporella podolica Alth et *Clypeina jurassica* Favre dès le Kimméridgien moyen.

c) *Courbe de fréquence des Annélides.*

Elle correspond uniquement à la variation de *Terebella lapilloïdes* Münster in Goldfuss, seul représentant important de cette classe dans nos séries [1].

d) *Courbes de fréquence des Foraminifères.*

Les Foraminifères ne sont pas très variés ni très abondants dans nos coupes minces, cependant nous avons choisi deux groupes de formes benthiques dont les variations nous paraissent statistiquement intéressantes; ce sont les Textularidés (*Textularia jurassica* Gümbel et ses formes voisines) et les Miliolidés (*Quinqueloculina* et *Triloculina* principalement).

e) *Courbe de fréquence des Ostracodes.*

Il s'agit en général de formes lisses dont le mode de vie pélagique apporte de précieuses données comparatives.

2. *Les composants du deuxième groupe.*

Nous signalerons ici les spicules monaxones de Spongiaires calcifiés et de gros Foraminifères arénacés attribuables à des Lituolidés parmi lesquels il est possible d'identifier *Ammobaculites coprolithiformis* (Schwager).

3. *La courbe bathymétrique relative.*

Située à l'extrême droite des diagrammes, elle est basée sur une échelle le long de laquelle sont disposés, par ordre de profondeur décroissante vers la droite et à intervalles arbitrairement constants, tous les microfaciès constitutifs de la série à l'étude. Cette échelle est obtenue en combinant de façon logique les divers renseignements obtenus par l'étude du comportement des minéraux et des organismes. Les résultats que nous donnons ici de façon anticipée pour permettre de comprendre les rapports entre faciès, seront justifiés plus loin.

Il est évident qu'un classement bathymétrique des faciès ne comprend que ceux ayant une véritable signification à ce point de vue; les roches issues de phénomènes pénécotempo-

rains ou postérieurs à la sédimentation, telles que les calcaires dolomitiques ou cherteux n'y figurent pas. Nous reviendrons plus tard sur leur formation précisément à la lumière des variations bathymétriques.

L'échelle bathymétrique comprend finalement les termes suivants *par ordre de profondeur décroissante* :

1. Calcaires grumeleux (CG).
2. Calcaires pseudo-oolithiques (CPO).
3. Calcaires zoogènes pseudo-oolithiques (CZPO) et pseudo-oolithiques zoogènes (CPOZ). La différence entre ces deux termes ne tient qu'au rapport des composants organiques et inorganiques, rapport qui est dépourvu de signification bathymétrique. D'ailleurs, les fréquents passages latéraux témoignent de l'identité de position bathymétrique de ces deux faciès.
4. Calcaires récifaux construits (CR) et calcaires récifaux zoogènes pseudo-oolithiques (CRZPO). La différence entre ces deux termes ne tient qu'à l'état de fragmentation des Polypiers très avancé dans le second, mais leur signification bathymétrique est pratiquement semblable.

La courbe bathymétrique relative est destinée à mettre en évidence les variations de profondeur au cours du temps de la série étudiée. Ainsi tout déplacement vers la droite de la courbe indique une diminution de profondeur et tout déplacement vers la gauche, le phénomène inverse. La courbe porte toujours en surcharge les numéros d'ordre des termes lithologiques disposés par profondeur décroissante. Les rythmes de sédimentation, désignés par des chiffres romains, groupent un nombre variable d'unités; ils sont délimités, par convention, au moyen des microfaciès les moins profonds réalisés dans la série.

B. BATHYMÉTRIE RELATIVE DES MICROFACIÈS.

La classification bathymétrique relative des microfaciès est fondée, comme nous l'avons dit plus haut, sur la combinaison des indices de clasticité et des indications faunistiques.

Les divers microfaciès clastiques que nous avons décrits plus haut s'ordonnent harmonieusement autour des calcaires

récifaux construits dont ils représentent les produits de démantèlement dus à l'action des courants. Aux éléments provenant directement de l'érosion des calcaires construits, s'ajoutent les nombreux organismes benthiques qui vivent dans des zones bien délimitées du domaine périrécifal ainsi que les précipités d'origine chimique.

La plupart des calcaires détritiques périrécifaux de la série étudiée sont très faiblement triés. Ces conditions favorables ont conservé aux divers organismes benthiques leur valeur

Microfaciès	Clasticité des éléments	Composants organiques en pour-cents de l'assemblage			
		Organismes coloniaux	Dasycladacées	Foraminifères	Ostracodes
CR-CRZPO	> 4 mm	75	5	15	5
CZPO-CPOZ grossier	4,0 à 2,25	25	25	40	10
CZPO-CPOZ fin	2,25 à 0,65	15	45	20	20
CPO	0,65 à 0,26	10	25	15	50
CG	0,26 à 0,07	5	5	5	85
Microfaciès	Ciment				
	zoogène-pseudo-oolithique		pseudo-oolithique	grumeleux cryptocristallin	calcitique avec oolithes
	grossier	fin			
CR-CRZPO	+	+	+	+	+
CZPO-CPOZ grossier		+	+	+	+
CZPO-CPOZ fin			+	+	+
CPO				+	+
CG					+

écologique, permettant ainsi d'établir la classification bathymétrique des microfaciès sur des bases solides. Dans le cas d'un remaniement et d'une usure prolongée des matériaux constitutifs, le problème deviendrait pratiquement insoluble.

Le tableau ci-contre et la figure 1 mettent en évidence les limites de élasticité des divers microfaciès, les rapports réciproques de leurs composants faunistiques et enfin leurs principaux types de ciment.

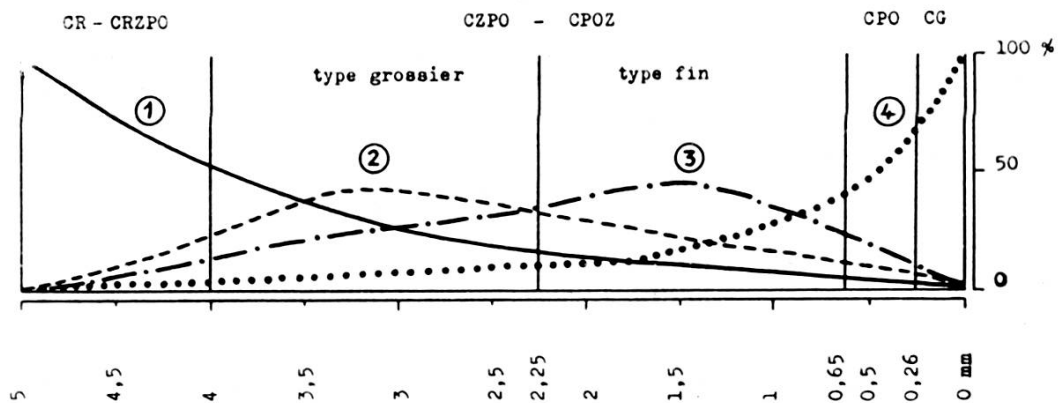


Fig. 1.

Schéma illustrant les rapports entre la clasticité (en abscisse) des divers microfaciès et les composants organiques exprimés en % de l'assemblage (en ordonnée).

- Courbe n° 1: Fréquence des organismes coloniaux.
 » n° 2: Fréquence des Foraminifères.
 » n° 3: Fréquence des Dasycladacées.
 » n° 4: Fréquence des Ostracodes.

La plupart des variantes pétrographiques rencontrées dans la série étudiée peuvent s'exprimer par une loi qui résume les indications du tableau:

« Chaque microfaciès peut constituer le ciment de ceux qui l'ont précédé par ordre de clasticité générale décroissante. »

La succession lithologique *idéale* qui conduit, par ordre de clasticité croissante, des calcaires grumeleux aux calcaires récifaux construits, lors d'une diminution de profondeur, a été presque pratiquement réalisée dans de nombreux rythmes (voir en particulier les complexes 7 et 8, fig. 3). Nous repren-

drons ici sa description car elle constitue la base sur laquelle repose notre interprétation bathymétrique de la série étudiée (fig. 2).

Lors d'une diminution de profondeur graduelle, on peut observer les faits suivants :

- 1° La courbe de l'indice de clasticité générale s'élève peu à peu et atteint ses valeurs maximales dans les calcaires construits;
- 2° La fréquence des oxydes de fer, maximale dans les calcaires grumeleux et pseudo-oolithiques, diminue vers le haut et devient pratiquement nulle dans les faciès construits. La dolomitisation des calcaires zoogènes et pseudo-oolithiques peut donner lieu à de fortes concentrations locales d'oxydes de fer à caractère accidentel et liées souvent à des phénomènes temporaires d'émersion;

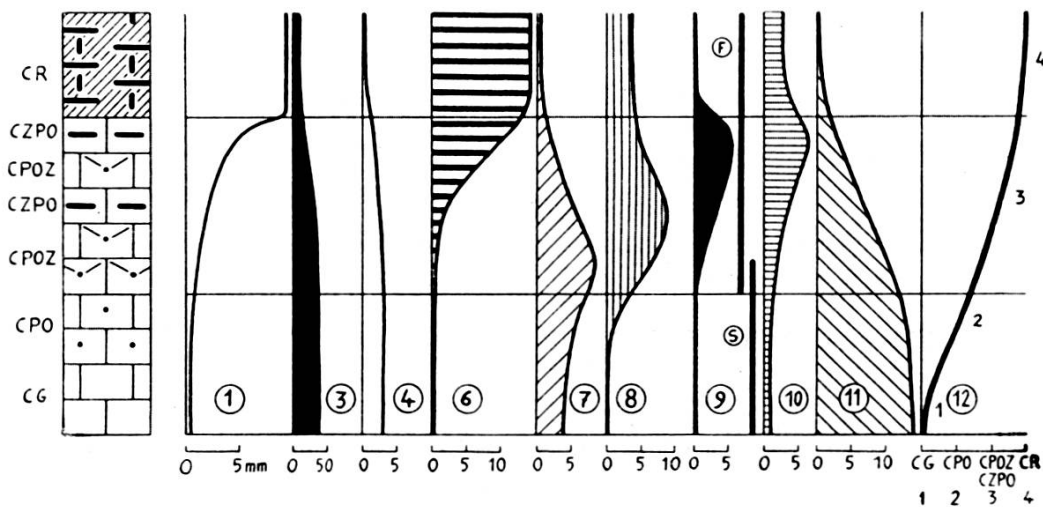


Fig. 2.

Schéma de la phase de soulèvement d'un rythme idéal allant des calcaires grumeleux aux calcaires récifaux construits.

- Courbe n° 1 : Indice de clasticité générale.
 » n° 3 : Fréquence des oxydes de fer.
 » n° 4 : Fréquence de la silice secondaire.
 » n° 6 : Fréquence des organismes coloniaux.
 » n° 7 : Fréquence des Annélides.
 » n° 8 : Fréquence des Dasycladacées.
 » n° 9 : Fréquence des Miliolides. F : distribution des gros Foraminifères arénacés; S : distribution des spicules de Spongiaires.
 » n° 10 : Fréquence des Textularidés.
 » n° 11 : Fréquence des Ostracodes.
 » n° 12 : Courbe bathymétrique relative.

Les courbes nos 2 et 5, relatives à l'intensité de la dolomitisation et aux oolithes ne figurent pas dans ce schéma.

- 3° La silice authigène, représentée par des cherts en nodules ou en lits se développe dans les faciès grumeleux, pseudo-oolithiques et zoogènes; elle est absente dans les calcaires construits sauf à l'état de sphérolithes microscopiques de calcédonite. La fréquence de la silice secondaire diminue ainsi parallèlement à la profondeur, cependant des concentrations locales de sphérolithes dans les calcaires construits peuvent conduire à d'importantes anomalies;
- 4° Les organismes coloniaux augmentent rapidement de fréquence vers le haut et prédominent naturellement dans les faciès construits;
- 5° Le maximum de fréquence des Annélides caractérise la partie inférieure des calcaires zoogènes pseudo-oolithiques, en particulier les zones dolomitisées. Notons que ce maximum est précédé par un développement appréciable dans les faciès grumeleux et pseudo-oolithiques, tandis qu'il est suivi par une disparition quasi complète dans les parties terminales des calcaires zoogènes pseudo-oolithiques et forcément dans les calcaires construits;
- 6° Les Dasycladacées, rares ou absentes dans les faciès grumeleux et pseudo-oolithiques, se développent largement dans les calcaires zoogènes pseudo-oolithiques. Leur aire maximale suit toujours celle des Annélides; dans les calcaires construits, elles conservent une fréquence moyenne;
- 7° L'aire de développement maximum des Miliolidés couvre entièrement les calcaires zoogènes pseudo-oolithiques, mais elle culmine à leur partie sommitale et suit toujours le maximum des Dasycladacées. Les Miliolidés sont absents dans les calcaires grumeleux, rares dans les calcaires pseudo-oolithiques et à nouveau absents dans les calcaires construits;
- 8° Les Textularidés, s'ils présentent la même aire de culmination que les Miliolidés, sont en revanche beaucoup plus largement répandus. Rares dans les calcaires grumeleux et pseudo-oolithiques, ils gardent une certaine fréquence dans les faciès construits;

- 9° Les gros Foraminifères arénacés, fréquents dans les calcaires zoogènes et pseudo-oolithiques, abondent dans les calcaires construits;
- 10° Les spicules de Spongiaires calcifiés caractérisent les calcaires grumeleux et pseudo-oolithiques; ils ne se rencontrent tout au plus qu'à la base des faciès zoogènes;
- 11° Les Ostracodes pélagiques atteignent leur fréquence maximale dans les calcaires grumeleux, ils diminuent de fréquence vers le haut et disparaissent pratiquement dans les faciès construits. Cependant, des concentrations locales peuvent être observées dans les interstices entre les Polypiers à la suite d'une accumulation passive des tests par l'action des courants.

Ainsi, au cours d'une diminution de profondeur, se réalise la succession de trois milieux bien caractérisés au point de vue lithologique et faunistique; elle correspond du reste à une intensité croissante de l'agitation de l'eau.

Premier milieu : Calcaires grumeleux et pseudo-oolithiques dans lesquels la faune benthique est rare, représentée par quelques Annélides, Dasycladacées et Textularidés; c'est en revanche le domaine des Ostracodes pélagiques.

Deuxième milieu : Calcaires zoogènes pseudo-oolithiques où se succèdent trois maxima faunistiques par ordre de profondeur décroissante: Annélides, Dasycladacées, Foraminifères (Textularidés et Miliolidés).

Troisième milieu : Calcaires récifaux construits et calcaires récifaux zoogènes pseudo-oolithiques correspondant à l'épanouissement des organismes coloniaux et de quelques Foraminifères particuliers.

Si cette succession de milieux se développe largement lors des phases de soulèvement des rythmes de sédimentation, elle peut présenter des anomalies lors des subsidences trop rapides, en particulier à la suite du trop faible développement de certains composants faunistiques. Cependant les nombreuses réalisations, quasi idéales, de la succession dans la série étudiée, confirment sa valeur interprétative.

C. BATHYMÉTRIE ABSOLUE DES MICROFACIÈS.

A la lumière des travaux récents sur l'écologie des organismes coloniaux et des faunes périrécifales, il est possible de tenter un essai de détermination de la position bathymétrique absolue des microfaciès de la coupe étudiée.

Il est évident qu'un essai de cette nature ne doit pas conduire à des conclusions définitives car bien des points restent encore à élucider et des recherches minutieuses à poursuivre, tant en ce qui concerne les récifs actuels que les structures anciennes qui leur ont été assimilées.

1. *Calcaires récifaux construits (CR-CRZPO).*

Dans l'atoll de Bikini [7, 14, 21], l'abondance maximale des Coralliaires se situe au-dessus de 15 fathoms, leur disparition rapide a lieu vers 45 fathoms et seules quelques espèces survivent encore à 85 fathoms.

La base des récifs vivants se trouve entre 4 et 8 fathoms dans la baie de Batavia [23], entre 6 et 7 fathoms dans la Grande-Barrière australienne, mais dans les régions ouvertes de l'océan Pacifique elle se place entre 8 et 10 fathoms [5].

Il semble normal d'admettre que la base des calcaires construits doit se placer vers 8 fathoms, c'est-à-dire à environ 15 m de profondeur. Les récifs de la série étudiée, comme nous le verrons plus loin, ne devaient pas atteindre la zone de forte action des vagues (5 m environ); nous adopterons dès lors les deux valeurs de 5 et 15 m comme limites bathymétriques des calcaires récifaux construits.

2. *Calcaires zoogènes et pseudo-oolithiques (CZPO-CPOZ).*

Ils comprennent, rappelons-le, les aires de développement maximum des Foraminifères (Textularidés et Miliolidés), des Dasycladacées et des Annélides, par ordre de profondeur croissante.

Dans la bordure immédiate des récifs actuels, les Miliolidés et les Textularidés abondent [6, 20, 24] tandis que les Dasycla-

dacées atteignent leur plus grande fréquence entre 3 et 14 fathoms et ne dépassent pas 38 fathoms [5]. Les représentants actuels du genre *Terebella*, en Méditerranée, dans la mer du Nord et dans l'Atlantique, vivent de préférence depuis les plages sableuses de la zone intercotidale jusqu'à 25 m de profondeur.

En tenant compte de ces données, nous pensons pouvoir situer bathymétriquement les calcaires zoogènes et pseudo-oolithiques entre 15 et 25 m de profondeur.

3. *Calcaires pseudo-oolithiques* (CPO).

Ils ne contiennent que peu de débris organiques et ne sont caractérisés par aucun maximum de fréquence d'un des composants faunistiques. Cependant, ils constituent le dernier microfaciès susceptible de contenir encore de rares Dasycladacées et quelques Annélides; sa limite inférieure semble être ainsi assez voisine de celle de la zone de photosynthèse, environ 25 fathoms (45 m).

4. *Calcaires grumeleux* (CG).

Ces roches ne contiennent pratiquement plus d'éléments organiques ayant vécu *in situ*, mais seulement leurs débris les plus fins; nous sommes ainsi amenés à penser qu'ils se sont déposés entre 45 m, limite de la zone de photosynthèse, et des profondeurs plus fortes impossibles à déterminer pour l'instant.

Dans l'état actuel de nos connaissances, il semble que l'extension bathymétrique des microfaciès étudiés soit fonction inverse de leur élasticité; ce phénomène est du reste caractéristique de la distribution des sédiments d'origine mécanique [13].

D. ÉVOLUTION BATHYMÉTRIQUE GÉNÉRALE ET MINÉRALISATIONS SECONDAIRES.

L'évolution bathymétrique de la série étudiée peut être subdivisée en trois parties principales (fig. 3).

La première comprend les rythmes I et II qui sont des oscillations à caractère relativement symétrique. Elles pré-

sentent de longues phases ascendantes de calcaires zoogènes et pseudo-oolithiques qui aboutissent à des calcaires récifaux. Ceux-ci sont précédés par d'importantes zones dolomitisées dans lesquelles peuvent même se produire des émerSIONS temporaires (limite Séquanien-Kimméridgien).

La deuxième partie de la série comprend les rythmes III et IV, de caractère nettement asymétrique. Les phases de subsidence de ces oscillations atteignent pour la première fois les faciès grumeleux, tandis que les phases de soulèvement ne sont pas assez puissantes pour réaliser les profondeurs favorables à l'établissement des organismes coloniaux.

Les rythmes V à IX constituent la troisième partie de la série à l'étude, ils présentent un caractère symétrique et donnent lieu à un très grand développement des calcaires construits. Celui-ci sera brusquement arrêté par le soulèvement au sommet du rythme IX qui a porté les récifs dans la zone d'action des vagues, provoquant ainsi leur extinction et leur démantèlement. Les produits de ce dernier phénomène sont représentés par les calcaires oolithiques et pseudo-oolithiques bien classés qui achèvent la série.

Au point de vue bathymétrique, on constate que le groupe des rythmes I et II témoigne d'une période de soulèvement accompagnée de l'apparition des premiers récifs. Une rémission des efforts tectoniques se produit lors des rythmes III et IV dans lesquels le développement des faciès grumeleux et l'absence complète de récifs sont particulièrement frappants. Puis une seconde phase de soulèvement, plus forte que la première, se produit brusquement dès le rythme V; elle conduit au retour des récifs et à leur épanouissement jusqu'au sommet de la série.

Toute cette évolution est parfaitement exprimée par le comportement de la courbe de fréquence des organismes coloniaux (fig. 3). Celle-ci dessine une première zone maximale, de valeur moyenne, dans les rythmes I et II, elle passe par une zone minimale au cours des rythmes III et IV, puis décrit une longue et forte zone maximale dans le reste de la série. Notons une fois encore le comportement inverse des courbes de fréquence de tous les autres composants faunistiques, en particulier celui des Ostracodes.

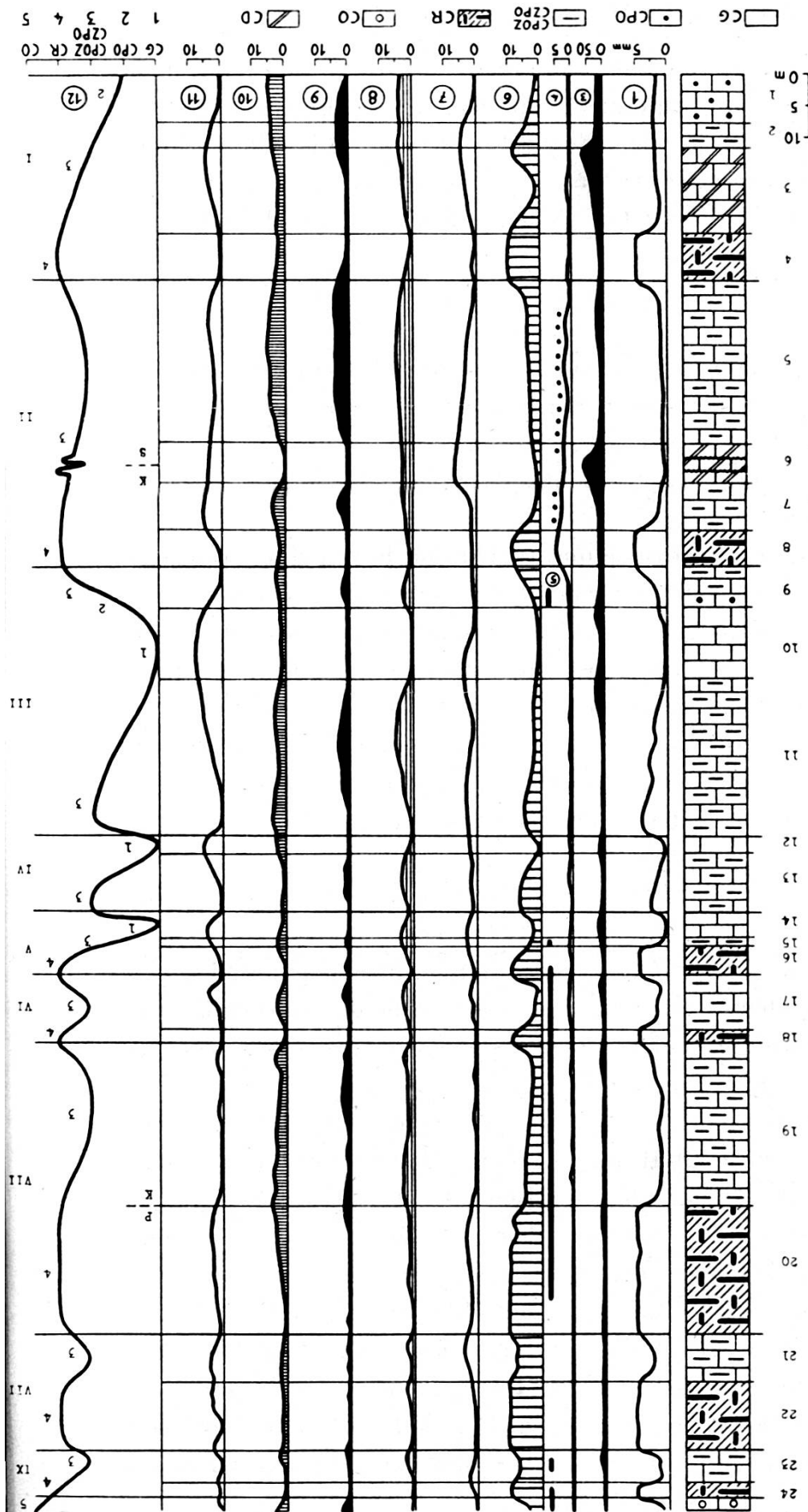


Fig. 3.
Vue d'ensemble schématique de la série étudiée.

- Courbe n° 1: Indice de clasticité générale.
 » n° 2: Fréquence des oxydes de fer.
 » n° 3: Fréquence de la silice secondaire; •: nodules de chert.
 » n° 4: Distribution des oolithes.
 » n° 5: Fréquence des organismes coloniaux.
 » n° 6: Fréquence des Annelides.
 » n° 7: Fréquence des Dasycladacés.
 » n° 8: Fréquence des Miliolides.
 » n° 9: Fréquence des Textulariides.
 » n° 10: Fréquence des Ostracodes.
 » n° 11: Fréquence des Ostracodes.

Courbe n° 12: Courbe bathymétrique relative. Elle porte en surcharge les numéros d'ordre des termes lithologiques disposés par profondeur décroissante. Les rythmes sont désignés par des chiffres romains.

La courbe n° 2 relative à l'intensité de la dolomitisation ne figure pas dans ce schéma.
 La numérotation des complexes lithologiques est placée à gauche de la colonne stratigraphique.
 S: Séquanien, K: Kimméridgien; P: Portlandien; la limite Séquanien-Kimméridgien est marquée par deux surfaces ravinées.

Stratigraphiquement, la première période de soulèvement correspond au Séquanien supérieur et à l'extrême base du Kimméridgien, la phase de subsidence couvre le Kimméridgien inférieur (Ptérocérien) tandis que la dernière période de soulèvement débute avec le Virgulien et se poursuit dans le Portlandien inférieur.

1. *Dolomitisation.*

Les phénomènes de dolomitisation affectent, comme nous venons de le voir, les calcaires zoogènes et pseudo-oolithiques qui précèdent les calcaires construits des rythmes I et II; ces derniers microfaciès ne sont que rarement touchés par l'épigénisation.

L'examen microscopique révèle que la dolomitisation s'est effectuée par le remplacement du carbonate de chaux par le carbonate de magnésium. Cette substitution n'a produit aucune déformation ou tassement du sédiment car elle a eu lieu à volume constant; elle est en outre de caractère sous-marin et pénécontemporaine de la sédimentation. Ces caractères sont démontrés par les limites franches des niveaux dolomitisés et par leur position bathymétrique particulière.

Dans ce mécanisme de remplacement, le carbonate de magnésium emprunté à l'eau de mer vient remplacer une partie du carbonate de chaux déjà déposé qui passe en solution. Or les eaux périrécifales, aérées, agitées et peu profondes, où la mise en liberté du CO_2 s'oppose à une diminution du pH, représentent les conditions les plus favorables à ce type de dolomitisation. Celui-ci est encore favorisé par la présence d'Algues et affecté à un haut degré par des variations minimales de salinité et d'agitation [16, 17]. La dolomitisation secondaire sera en outre facilitée si les sédiments sur lesquels elle agit sont particulièrement poreux et s'ils restent longtemps dans la zone bathymétriquement favorable, à la suite de phénomènes lents de subsidence ou de soulèvement [18, 19].

Toutes ces conditions ont été effectivement réalisées lors des phases de soulèvement des rythmes I et II au cours desquelles des calcaires zoogènes et pseudo-oolithiques grossiers et poreux ont été placés pendant une longue durée en milieu

très peu profond, voire soumis à des émerSIONS temporaires (limite Séquanien-Kimméridgien).

Notons que la dolomitisation ne s'est jamais produite lors des subsidences relativement brutales qui séparent les rythmes les uns des autres, ni lors des soulèvements trop rapides tels que ceux des rythmes IV et V, par exemple.

Les calcaires dolomitisés et particulièrement ceux de la limite Séquanien-Kimméridgien sont relativement riches en oxydes de fer comparativement aux autres termes de la série. Cette richesse en fer provient de deux causes distinctes; dans la plupart des calcaires dolomitisés, les oxydes de fer semblent avoir été mis en liberté lors des phénomènes de dissolution du CaCO_3 qui accompagnent le remplacement. En revanche, lors des émerSIONS, les oxydes de fer proviennent de rubéfaction subaériennes. Ainsi peuvent s'expliquer les concentrations de fer oxydé en liaison avec les dolomitisations mais entièrement dénuées de rapport avec les autres phénomènes de sédimentation développés dans la série étudiée.

2. *Etats du fer.*

La série étudiée est uniformément pauvre en fer comme l'ont montré l'analyse chimique et l'examen microscopique (fig. 3). Celui-ci révèle du reste que le fer a dû être présent originellement surtout à l'état de pyrite car les gros granules d'hématite ou de limonite présentent souvent des traces de faces cubiques caractéristiques. En revanche, il n'est pas possible de déceler l'origine première des petits flocons d'oxydes, cependant le fer pigmentaire contenu dans les cherts, dont la formation paraît pénécontemporaine de la sédimentation, est à l'état de pyrite; ce fait semble témoigner en faveur de l'état sulfuré originel du fer.

Abstraction faite des oxydes de fer génétiquement liés à la dolomitisation et aux rubéfaction qui l'ont parfois accompagnée, le fer oxydé de provenance continentale et apporté par les courants s'est déposé à l'état de sulfures en particulier dans les microfaciès fins tels que les calcaires grumeleux et pseudo-oolithiques (fig. 3). En effet, le milieu de dépôt tranquille et

relativement profond de ces sédiments devait favoriser les fermentations organiques créatrices du pH bas favorable à la précipitation des sulfures. Dans les milieux moins profonds tels que ceux où se déposaient les calcaires zoogènes, l'agitation n'a pas été favorable au dépôt des particules ferrugineuses dont la fréquence est en très forte baisse; enfin la pureté des calcaires construits montre qu'ils en sont pratiquement dépourvus.

3. *Silicification.*

La structure pseudo-oolithique des cherts, leurs nombreuses inclusions organiques témoignent en faveur de leur genèse par des phénomènes de remplacement. Ceux-ci apparaissent pénéscontemporains de la sédimentation et antérieurs à la dolomitisation. Les nodules zonés témoignent d'une façon évidente de la diffusion de solutions siliceuses au travers de calcaires zoogènes et pseudo-oolithiques poreux et d'une rythmicité des remplacements qui est caractéristique de ces mécanismes.

La silice semble d'origine colloïdale inorganique; en effet, la courbe de fréquence de la silice (fig. 3) et la distribution stratigraphique des cherts révèlent que les maxima d'intensité de la silicification précèdent et suivent immédiatement les émergences de la limite Séquanien-Kimméridgien. Cette liaison s'explique par les mouvements tectoniques qui ont déclenché des apports de silice colloïdale d'origine continentale; d'ailleurs les endroits favorables à ces dépôts sont les embouchures fluviales où se produit le mélange des eaux douces et salées [4].

4. *Calcitisation.*

La calcitisation semble avoir commencé très tôt dans l'histoire des calcaires récifaux construits en provoquant leur transformation totale ou partielle en agrégats calcitiques. Son milieu principal d'évolution a dû être le sédiment en contact avec l'eau de mer, milieu très favorable à des transformations de ce genre car la continuité des remaniements et la précipitation constante de calcite sont des facteurs primordiaux du durcissement rapide des récifs.

En liaison avec les phénomènes de calcitisation, il est intéressant de suivre la distribution des oolithes dans la série étudiée (fig. 3). On constate d'emblée que les oolithes sont relativement rares; elles font une première et courte apparition au complexe 9, sans doute comme conséquence des calcaires construits qui achèvent le rythme II. Elles ne réapparaissent ensuite qu'à la deuxième phase de soulèvement (rythme V), persistent en petit nombre jusqu'au sommet du rythme IX avant de se développer d'une façon importante dès l'extinction des Coralliaires.

Comme nous le verrons plus loin, les récifs de la série étudiée n'ont jamais atteint la zone d'action des vagues. Il s'ensuit que les conditions favorables au concrétionnement de la calcite n'ont été réalisées qu'exceptionnellement, expliquant ainsi la rareté des oolithes. En revanche, celles-ci se développeront en abondance dès que les récifs seront amenés dans la zone d'action des vagues et soumis à un puissant démantèlement en milieu très agité.

E. COMPARAISON OCÉANOGRAPHIQUE.

Les récifs du Jurassique supérieur du Grand-Salève se présentent comme des amas grossièrement lenticulaires ou irréguliers de calcaires construits contenant dans la plupart des cas des Polypiers en position de croissance. Ces amas organogènes ne dépassent pas 7 m de hauteur et atteignent 15 à 20 m de longueur pris isolément; il est évident que des édifices beaucoup plus grands sont réalisés par la coalescence de plusieurs d'entre eux. Ces récifs sont entourés de calcaires clastiques et zoogènes avec lesquels les passages sont brusques ou présentent de faibles interpénétrations. Toutes ces conditions rappellent en particulier les récifs siluriens et dévoniens de l'Amérique du Nord ainsi que ceux du Silurien de Gotland; les similitudes sont frappantes à toutes les échelles d'observation [9, 10, 15, 22].

Un vaste examen de la littérature relative aux formations coralliennes actuelles montre les grandes différences qui séparent celles-ci des édifices récifaux anciens. Il apparaît

indispensable de revoir en détail toutes ces différences car elles nous apparaissent capitales pour la compréhension de l'histoire géologique des récifs du Grand-Salève.

En laissant de côté les grandes hypothèses qui essaient d'expliquer la genèse des récifs actuels, mettons en évidence leurs principaux traits, sans oublier cependant que bien des données essentielles sur leur structure interne font encore défaut [5, 8, 14, 21, 23].

Les bassins de sédimentation où se développent de nos jours les édifices coralliens possèdent des traits structuraux très prononcés; ils sont apparemment soumis à une lente subsidence. En raison des conditions physico-chimiques particulières exigées par les Coralliaires, les récifs ne prennent naissance qu'en des endroits rigoureusement déterminés. Leur évolution, tout aussi étroitement délimitée, aboutit à un nombre assez restreint de types. Le 90% de ceux-ci sont des récifs-frangeants, récifs-barrières et atolls, les autres variétés sont des « table-reefs » et des « patch reefs ». A l'exception du premier type, l'établissement corallien apparaît toujours discordant sur une plateforme sous-marine. Malgré ces conditions particulières, les formations récifales actuelles contrôlent la sédimentation de surfaces océaniques considérables.

Quel que soit le type de récif, sa morphologie générale, déterminée par les courants marins et atmosphériques, se caractérise toujours par une très nette disharmonie. Le développement superficiel se traduit par une zonation annulaire ou longitudinale à la fois morphologique et structurale. Cette zonation, caractère le plus extraordinaire des récifs actuels, résulte de la remarquable adaptation des Coralliaires aux divers micro-milieus d'un récif mûr et provenant de la profondeur, de l'action des vagues, des vents dominants, etc.

L'activité organique d'un récif est sans cesse soumise aux nombreuses attaques de l'érosion marine et des organismes perforants. La sédimentation sableuse qui résulte de l'ensemble de ces phénomènes est complétée par une abondante précipitation de carbonate de chaux due à la photosynthèse des Algues et par la formation, largement distribuée, des oolithes.

Le développement vertical des Coralliaires, limité par le

niveau de la marée basse, se traduit par des surfaces nécrosées au sommet des colonies, que les tempêtes destructrices débitent du reste en blocs énormes roulés par les vagues sur les parties abritées.

Dans la phase de sénilité des récifs, les sables grossiers provenant des phénomènes de désagrégation, s'accumulent sur les parties les plus évoluées, abritées et les transforment en îles sableuses. Le récif actif est ainsi déporté peu à peu vers l'extérieur, tandis que les lagons internes se combent de sédiments fins.

Les principaux caractères des récifs actuels ayant été rappelés, voyons dans quelle mesure ils sont observables dans les récifs du Jurassique supérieur du Grand-Salève. Notons en passant que les faits qui vont être évoqués ci-dessous sont presque semblables, points par points, à ceux qui ont été signalés dans les études relatives aux récifs siluriens et dévoniens.

Dans l'état de nos connaissances, les récifs du Jurassique supérieur du Grand-Salève se distinguent des récifs coralliens actuels par :

- 1^o Leur soubassement, pratiquement horizontal, en concordance avec le récif et sans traces de plate-forme, qui ne semble pas entraîner une localisation des récifs aussi étroite que de nos jours ;
- 2^o L'importance relativement faible du phénomène qui ne paraît pas capable de régir la sédimentation, mais qui s'y subordonne en qualité d'accident local ;
- 3^o Leur morphologie plus simple, harmonieuse, avec développement homogène dans toutes les directions traduisant un état d'équilibre. Leur forme subcirculaire montre que, contrairement aux accroissements organiques de la zone du ressac, ils peuvent s'accroître sans contrainte, à l'abri de l'action des forts courants marins et atmosphériques. Rien ne rappelle les complexes édifices actuels des récifs frangeants, des barrières ou des atolls.
- 4^o Leur structure interne homogène, exempte de différenciations qui trahit une évolution simple et curieusement uniforme ;

- 5° Leur développement vertical uniforme, ne témoignant d'aucun déplacement latéral au cours de la croissance;
- 6° Leur extension horizontale restreinte malgré un fond uniforme offrant des conditions très favorables;
- 7° L'absence de phase sénile se traduisant par des dépôts oolithiques, des précipitations massives de carbonate de chaux (tuf corallien), des traces importantes de démantèlement ou d'érosion, des terrasses d'abrasion et enfin des nécroses étendues au sommet des colonies. Ces caractères de sénilité, si typiques dans les récifs des mers tropicales actuelles, font défaut; rien, même dans la partie supérieure des lentilles, ne révèle les conséquences d'une exposition à l'air ou d'un arrêt dans le développement vertical. On sait que de telles conditions se traduisent par un aplanissement ou une extension horizontale importante et par des colonies à tête nécrosée dont le développement superficiel forme ces larges plate-formes si caractéristiques près du niveau de la marée basse;
- 8° Une action détritique dans l'ensemble plus étendue mais n'affectant que les structures les plus fragiles, car les arborescences cassantes des Coralliaires lui ont pratiquement échappé;
- 9° L'absence de brèches et de conglomérats récifaux, les calcaires clastiques observés ne possédant que des éléments anguleux dont la taille ne dépasse pas 5 mm; ce sont tout au plus des sables coralliens grossiers;
- 10° L'absence ou la faible importance du classement des produits de la désagrégation périphérique;
- 11° Le rôle nul des organismes perforants dans la désagrégation des masses coralliennes;
- 12° L'absence de manifestations adaptives importantes chez les Coralliaires, leur taille relativement petite et la pauvreté des espèces pour un nombre considérable d'individus.

De l'ensemble de tous ces caractères, il paraît justifié d'admettre que les récifs étudiés ici se sont constitués:

- 1° *En dehors de l'influence des courants marins et atmosphériques*, comme le montrent leur morphologie simple et

harmonieuse, leur structure homogène, la régularité et l'absence de classement des roches encaissantes, la pauvreté relative des espèces;

- 2° *Dans un milieu sédimentaire uniforme*, sur un fond marin régulier qui ne se prêtait pas aux adaptations faunistiques et a déterminé une évolution simple et étonnamment uniforme de tous les édifices récifaux;
- 3° *Dans un milieu relativement calme*, à l'abri de l'action des vagues, permettant d'abondantes colonies, mais limitant les espèces et s'opposant à l'étalement et au classement des produits de désagrégation. En résumé, les récifs étudiés ne se sont jamais constitués, ni terminés à proximité de la surface de l'eau;
- 4° *Dans un milieu tectoniquement instable*, où les soulèvements lents, favorables à l'établissement des organismes coloniaux étaient entrecoupés de subsidences rapides amenant leur disparition. Tout semble indiquer que ces masses organogènes n'ont pu réaliser une évolution naturelle et que leur développement a été régulièrement décroissant comme si le milieu s'était révélé de plus en plus néfaste dans les périodes qui suivaient leur établissement et les avait empêché d'atteindre la sénilité. C'est toujours un changement brusque des conditions bathymétriques qui met le point final à leur développement; nous y reviendrons plus loin.

La plupart des différences observées entre récifs anciens et actuels paraissent devoir s'expliquer par l'instabilité tectonique des bassins anciens et par les modifications de la sédimentation qui devaient en découler, contrariant et limitant le développement des colonies. Cependant, si nous avons insisté sur les différences entre récifs anciens et actuels, il convient cependant de noter certaines analogies que les récifs étudiés présentent avec les « patch reefs » actuels [5, 8]. Ceux-ci se présentent comme des structures organogènes relativement petites et presque équidimensionnelles, à forme et à structure simple, qui peuvent se développer dans plusieurs milieux, en particulier les lagons d'atolls, les zones protégées du ressac des

récifs-barrières et enfin les plate-formes sous-marines protégées ou situées à des profondeurs suffisantes pour être hors d'atteinte de la forte agitation des vagues. Les « patch-reefs » ne constituent jamais d'îles et n'émergent temporairement qu'à marée basse. Leur forme subcirculaire indique que, contrairement aux développements organiques de la zone du ressac, ils peuvent s'accroître dans toutes les directions et sans aucune contrainte. Ces analogies paraissent avoir frappé certains auteurs qui pensent que les « patch-reefs » ont été le type prédominant dans les anciennes mers épicontinentales de l'Amérique du Nord où ils ont réalisé des aspects tout à fait identiques à ceux qui se développent de nos jours dans les eaux peu profondes des lagons du Pacifique [5].

L'état de nos connaissances ne permet pas de délimiter le cadre général des récifs du Jurassique supérieur du Grand-Salève; sans doute devaient-ils constituer la partie extérieure d'une grande barrière récifale dont nous ignorons l'emplacement exact. Cependant, la migration bien connue des faciès coralliens jurassiques, vers le SE et au travers du domaine jurassien, laisse deviner que la frange récifale fuyait le bassin de Paris, transformé en mer intérieure et qu'elle se trouvait ainsi en bordure de la grande mer alpine largement ouverte vers le sud.

Si le cadre général nous apparaît encore confus, l'étude du développement général des récifs en fonction des sédiments encaissants, est importante pour mettre en lumière les caractères des mouvements épirogéniques [9, 11].

Les récifs coralliens n'indiquent pas nécessairement, comme on l'a admis pendant longtemps, des périodes de subsidence; mais ils marquent une certaine zone bathymétrique de leur bassin de sédimentation. Si celui-ci était plus profond avant la formation des récifs, ces derniers prennent naissance pendant une phase de soulèvement du fond; si la situation paléogéographique était inverse, les récifs se développent en liaison avec la subsidence. Cependant, la réalisation de la position bathymétrique idéale par un mouvement quelconque du fond marin ne constitue pas un facteur suffisant pour que les organismes coloniaux puissent se développer, des conditions parti-

culières et appropriées de température, de salinité et de courants sont indispensables.

L'étude des rapports réciproques entre les récifs du Jurassique supérieur du Salève et leurs roches encaissantes révèle que les établissements récifaux sont liés à des mouvements périodiques de surélévation du fond. Cette liaison apparaît presque paradoxale de prime abord, car sous de telles conditions, un accroissement d'épaisseur des récifs actuels, dont la surface est au niveau de l'eau serait impossible. Mais les récifs étudiés s'étant formés au-dessous de la zone d'action des vagues, ils ont pu s'accroître même pendant les diminutions de profondeur. D'ailleurs la plupart d'entre eux n'ont jamais atteint une forte épaisseur et nous avons vu que leur développement a été régulièrement décroissant comme si le milieu était devenu néfaste immédiatement après la réalisation des conditions favorables à leur établissement. Les variations bathymétriques que nous avons mises en évidence donnent lieu précisément à de telles conditions; en effet l'établissement des Coralliaires s'est produit dans la partie terminale des phases de soulèvement lent des rythmes auxquelles ont toujours succédé des phases de subsidence rapide qui ont provoqué d'une part l'anéantissement des colonies bien avant qu'elles aient pu atteindre leur plein développement et, d'autre part, leur enfouissement sous des sédiments à faciès plus profond.

Une seule exception est constituée par l'important soulèvement qui a mis fin au phénomène récifal en le conduisant dans un milieu très peu profond et agité dont les conditions physico-chimiques ne correspondaient plus à celles de son existence. En effet, les calcaires récifaux construits sont brutalement recouverts en continuité par des calcaires détritiques très grossiers, oolithiques et pisolithiques par places et pouvant contenir des lentilles conglomératiques. L'absence de particules fines, la forte usure et le triage avancé des éléments, tous arrachés aux récifs, témoignent d'une importante phase de démantèlement dans la zone de balancement des marées.

Le soulèvement qui a conduit à la disparition des récifs a été assez rapide pour que ces derniers n'aient pas eu le temps de se développer latéralement ou même de subir d'importantes

nécroses superficielles, car la formation de calcaires littoraux oolithiques a succédé immédiatement aux calcaires construits, sans qu'il se soit produit de phénomènes d'émersion entre les deux faciès. Une telle évolution géologique n'est pas unique, elle a conduit également à la disparition des récifs siluriens de l'île de Gotland [9, 10] et témoigne une fois encore des frappantes similitudes entre formations récifales anciennes.

*Université de Genève.
Institut de Géologie.*

BIBLIOGRAPHIE

1. CAROZZI, A., « Sur un Annélide tubicole dans le Séquanien supérieur du Grand-Salève », *Cahiers Géol. Thoiry*, 2, 11-14, 1950.
2. — « Contribution à l'étude des rythmes de sédimentation », *Archives des Sciences*, Genève, 3, 17-40, 95-144, 1950.
3. — « Données micrographiques sur le Crétacé supérieur helvétique », *Bull. Inst. nat. Genève*, 56, 75-150, 1953.
4. — *Péetrographie des roches sédimentaires*, Rouge & C^{ie}, *Lettres Sciences Techniques*, n° 3, Lausanne, 1953.
5. CLOUD, P. E. Jr., « Facies relationships of organic reefs », *Bull. Am. Assoc. Petr. Geol.*, 36, 2125-2149, 1952.
6. CUSHMAN, J. A., « Foraminifera from Murray Island, Australia », *Papers Dpt. Marine Biology Carnegie Inst. Washington*, 9, 289-290, 1918.
7. EMERY, K. O., « Submarine geology of Bikini Atoll », *Bull. Soc. Geol. Am.*, 59, 855-860, 1948.
8. FAIRBRIDGE, R. W., « Recent and Pleistocene coral reefs of Australia », *Journ. of Geol.*, 58, 330-401, 1950.
9. HADDING, A., « The Pre-Quaternary sedimentary rocks of Sweden », VI Reef limestones, *Lunds Univ. Arsskrift N.F.Avd.*, 2, 37, 10, 1941.
10. — « Silurian reefs of Gotland », *Journ. of Geol.*, 58, 402-409, 1950.
11. HENSON, F. R. S., « Cretaceous and Tertiary reef formations and associated sediments in Middle East », *Bull. Am. Assoc. Petr. Geol.*, 34, 215-238, 1950.
12. JOUKOWSKY, E. et J. FAVRE, « Monographie géologique et paléontologique du Salève », *Mém. Soc. Phys. Hist. nat. Genève*, 37, 295-523, 1913.
13. KUENEN, Ph. H., *Marine Geology*, John Wiley and Sons, New York, 1950.
14. LADD, H. S., J. I. TRACEY Jr., J. W. WELLS et K. O. EMERY, « Organic growth and sedimentation on an atoll », *Journ. of Geol.*, 58, 410-425, 1950.

15. LECOMPTE, M., « Quelques types de « récifs » siluriens et dévoniens de l'Amérique du Nord — Essai de comparaison avec les récifs coralliens actuels », *Bull. Musée Hist. nat. Belgique, Bruxelles*, 14, n° 39, 1938.
 16. RIVIÈRE, A., « L'eau de mer et les sédiments calcaires », *C. R. somm. Soc. Géol. France*, 1940, 40-42.
 17. SKEATS, E. W., « The chemical composition of limestones from upraised coral islands, with notes on their microscopical structures », *Bull. Harvard Coll. Mus. Comp. Zoology*, 42, 53-126, 1903.
 18. — « The chemical and mineralogical evidences as to the origin of the dolomites of southern Tyrol », *Q. J. Geol. Soc. London*, 61, 97-141, 1905.
 19. — « The formation of dolomite and its bearing on the coral reef problem », *Am. Journ. Sc.*, 4th ser., 45, 185-200, 1918.
 20. THORP, E. M. « The sediments of the Pearl and Hermes Reef », *Journ. Sedim. Petr.*, 6, 109-118, 1936.
 21. TRACEY, J. I. Jr., H. S. LADD et J. E. HOFFMEISTER, « Reefs of Bikini, Marshall Islands », *Bull. Soc. Geol. Am.*, 59, 861-878, 1948.
 22. TWENHOFEL, W. H., « Coral and other organic reefs in geologic column », *Bull. Am. Assoc. Petr. Geol.*, 34, 182-202, 1950.
 23. UMBGROVE, J. H. F., « Coral reefs of the East Indies », *Bull. Soc. Geol. Am.*, 58, 729-778, 1947.
 24. VAUGHAN, T. W., « Some shoal-water bottom samples from Murray Island, Australia and comparisons of them with samples from Florida and the Bahamas », *Papers Dpt. Marine Biology Carnegie Inst. Washington*, 9, 235-288, 1918.
-