Zeitschrift: Archives des sciences [1948-1980]
Herausgeber: Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève
Band: 3 (1950)
Heft: 2

Artikel: Contribution à l'étude des rythmes de sédimentation [suite et fin]
Autor: Carozzi, Albert
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-739438

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

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

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

Download PDF: 13.07.2025

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

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DES RYTHMES DE SÉDIMENTATION

PAR

Albert CAROZZI

(Avec 13 fig.)

(suite et fin)

Exemple n° 4. **Le Crétacé supérieur de Châtelard-en-Bauges, Autochtone, Savoie, France** [6, 22].

Les faits suivants sont mis en évidence:

1° *Origine différente et comportement indépendant de certains minéraux détritiques;*
2° *Variation de la courbe de clasticité du quartz et de la glauconie sans variation de la courbe de fréquence correspondante;*
3° *Sensibilité plus grande du mica par rapport aux minéraux en grains.*

Il s'agit d'une série compréhensive de calcaires blancs, parfois crayeux ou marneux, épaisse de 135 m environ. Les minéraux détritiques présents sont le quartz, la glauconie et la muscovite (fig. 4). Le quartz est rare, sauf dans la moitié inférieure du Turonien où il provient du remaniement des sables verts et atteint une clasticité moyenne de 0,29 mm.

Dans cette zone tous les minéraux atteignent leurs plus grandes valeurs de fréquence et de clasticité (quartz: 1,03 mm,

glauconie: 0,44 mm, mica: 0,40 mm). Puis le régime change brusquement, la sédimentation détritique devient de plus en plus calme et uniforme vers le haut, la clasticité moyenne du quartz tombe à 0,085 mm dans cette partie.

Le quartz et la glauconie sont étroitement liés dans leurs variations montrant ainsi une origine commune, tandis que le comportement de la muscovite manifeste une certaine indépendance. Cependant la glauconie et le mica surtout, avec en général des diamètres plus petits que ceux du quartz, suivent ses fluctuations avec un certain retard. Le retard de la glauconie pourrait être attribué à sa densité plus faible et celui de la muscovite à son habitus en paillettes. Ces deux minéraux montrent parfois de fortes variations non ressenties ou à peine ressenties par la courbe du quartz.

Le phosphate de chaux est omniprésent à l'état de grains, de nodules, de remplissages de loges de Foraminifères ou encore de débris osseux phosphatisés.

La pyrite et la limonite, peu abondantes, se présentent en pigmentations ou remplissages d'organismes.

En ce qui concerne les Foraminifères, il y a un rapport étroit entre la courbe de fréquence des Lagénidés benthiques et la clasticité du quartz détritique. Cette relation donne une valeur bathymétrique aux variations du quartz et vérifie les subdivisions stratigraphiques. Précisons que ces limites d'étages nous ont été fournies de façon indépendante et purement paléontologique par les associations des différentes espèces de *Globotruncana* [1].

[1] Cette note complémentaire est valable aussi pour le Crétacé supérieur de Vormy (exemple nº 13).

Nous avons placé la base du Turonien à l'apparition de *Globutruncana helvetica* Bolli et *Globotruncana lapparenti inflata* Bolli. Ces deux formes ne persistent pas longtemps et sont suivies par l'apparition d'un groupe de formes comprenant principalement:

Globotruncana lapparenti lapparenti Bolli,
Globotruncana lapparenti bulloides Vogler,
Globotruncana lapparenti tricarinata (Quereau),
Globotruncana lapparenti coronata Bolli.

Le sommet du Turonien correspond au milieu de l'extension

Quant à la courbe de fréquence des *Gümbelina* pélagiques, elle varie en sens inverse de celle des Lagénidés; les deux types de Foraminifères s'excluent dans l'espace et dans le temps.

La courbe de fréquence des prismes d'Inocérames assez désordonnée n'exprime rien de clair.

La comparaison des différentes courbes nous permet de mettre en évidence six soulèvements du fond marin. Trois d'entre eux se placent dans le Turonien, les autres aux trois limites d'étages.

Soulèvement n° 1.

Il se produit à la base du Turonien, le quartz et la glauconie l'enregistrent par des variations très nettes dans leurs courbes de clasticité et de fréquence, cela signifie une augmentation locale de la puissance des courants liés à ces deux minéraux accompagnée d'un apport supplémentaire. En revanche, les courants apportant la muscovite n'ont pas subi de modification et cette dernière est presque absente à ce niveau.

Soulèvement n° 2.

Il s'agit d'un mouvement important ressenti par les courbes de fréquence et de clasticité des trois minéraux, ainsi tous les

verticale de *Globotruncana lapparenti bulloides* Vogler et au tiers inférieur de celle de *Globotruncana lapparenti coronata* Bolli.

Le Coniacien se termine avec la disparition de ces deux dernières formes. Quant au Santonien, il voit la persistance de deux sous-espèces seulement, ce sont *Globotruncana lapparenti lapparenti* Bolli et *Globotruncana lapparenti tricarinata* (Quereau). La première disparaît au milieu du Campanien, tandis que la seconde persiste jusqu'au sommet de cet étage. L'apparition de *Globotruncana leupoldi* Bolli est typique du Campanien. L'absence complète de formes pouvant se rattacher à *Globotruncana stuarti* (de Lapparent) semble montrer que le Maestrichtien ne s'est pas déposé dans cette région.

Cette subdivision stratigraphique n'a pu être effectuée que par comparaison avec l'important travail de H. Bolli sur le Crétacé supérieur des nappes helvétiques supérieures. Cet auteur a pu vérifier la répartition de la microfaune par l'échelle de la macrofaune établie par A. Heim et J. Boehm et donner ainsi une base d'étude pour des séries compréhensives dépourvues de macrofaunes comme celles de Châtelard-en-Bauges et de Vormy.

courants distributeurs de particules détritiques ont été englobés dans le phénomène; c'est la trace du contre-coup de la phase subhercynienne de H. Stille.

Soulèvement n° 3.

Ce dernier mouvement dans le Turonien n'intéresse que les courbes de clasticité du quartz et de la glauconie, à l'exclusion

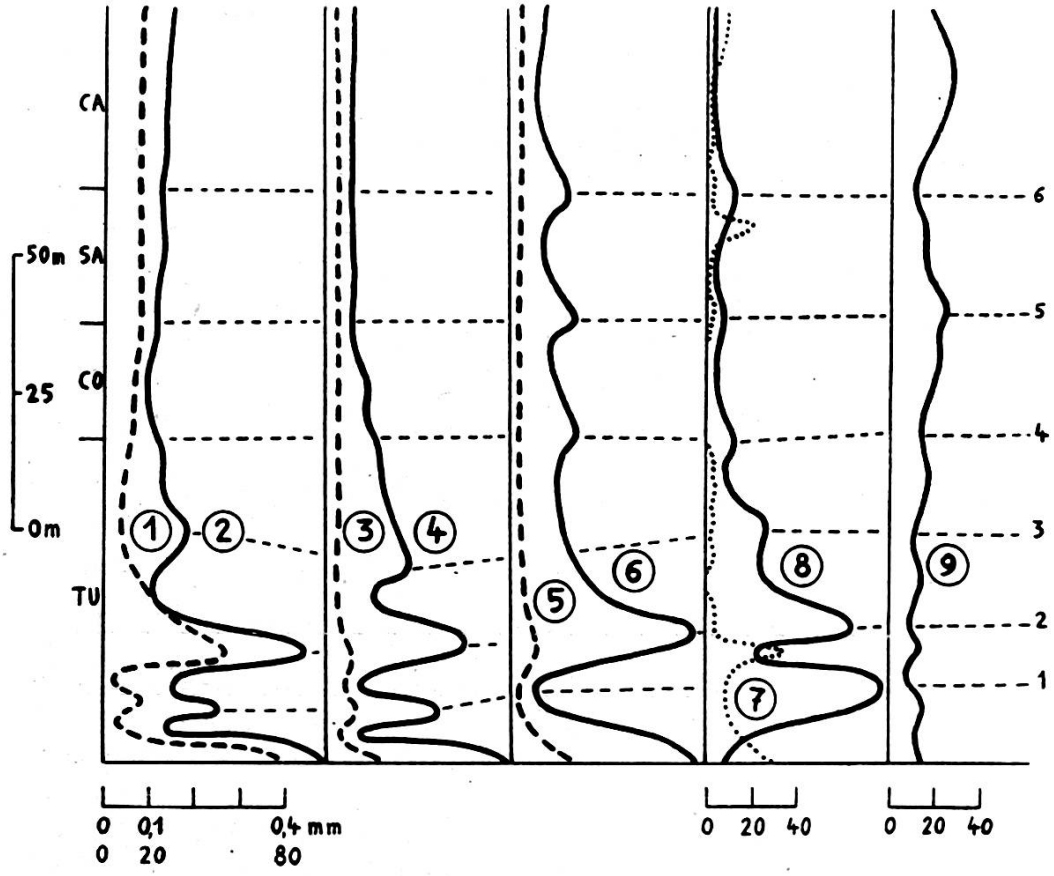

Fig. 4.

Les échelles de clasticité et de fréquence sont identiques pour tous les minéraux.

Courbe n° 1. *Fréquence du quartz détritique.*
Courbe n° 2. *Diamètre du quartz détritique.*
Courbe n° 3. *Fréquence de la glauconie détritique.*
Courbe n° 4. *Diamètre de la glauconie détritique.*
Courbe n° 5. *Fréquence de la muscovite détritique.*
Courbe n° 6. *Diamètre de la muscovite détritique.*
Courbe n° 7. *Fréquence des prismes d'Inocérames.*
Courbe n° 8. *Fréquence des organismes benthiques* (Lagena).
Courbe n° 9. *Fréquence des organismes pélagiques* (Gümbelina).

Les étages sont abrégés comme suit:
TU: Turonien, CO: Coniacien, SA: Santonien, CA: Campanien.

de leurs courbes de fréquence. Ce comportement exprime un accroissement local de la puissance des courants liés à ces minéraux, mais sans apport supplémentaire; il s'agit d'une perturbation tout à fait localisée.

D'autre part les courants apportant la muscovite n'ont pas été modifiés. Dès ce moment on constate un approfondissement relativement rapide de la mer souligné par la diminution brusque et générale du diamètre des minéraux détritiques. Les courbes de fréquence des organismes témoignent dans le même sens en indiquant le passage d'une faune benthique à une faune pélagique.

Soulèvement n° 4.

Il se place à la limite paléontologique Turonien-Coniacien; dès lors le quartz et la glauconie deviennent peu sensibles à ce type de faibles oscillations en mer profonde. Seule la courbe de clasticité de la muscovite enregistre nettement le mouvement à l'exclusion de sa courbe de fréquence; ce qui indique qu'il s'agit d'un simple remaniement du matériel préexistant localement sans aucun apport supplémentaire. Cette sensibilité de la muscovite doit être attribuée à son habitus en paillettes.

Soulèvements nos 5 et 6.

Ils présentent les mêmes caractères que le n° 4.

Conclusions.

Le faciès compréhensif de la série ne nous permet pas de tracer la courbe bathymétrique relative, mais seulement de constater que plusieurs mouvements importants du fond pendant le Turonien ont précédé l'approfondissement de la mer caractéristique de la partie supérieure de la coupe.

Exemple n° 5. **L'Aptien de la Perte du Rhône, Ain, France**[1] [16].

Les faits suivants sont mis en évidence:

1° *Retard des variations de clasticité et de fréquence de la glauconie détritique et du mica par rapport à celles du quartz;*
2° *La pyrite est omniprésente, tandis que la limonite est limitée aux faciès les moins profonds.*

La série aptienne peut être divisée en deux zones. La partie inférieure se compose de marnes gréseuses et de grès marneux contrastant par leur composition avec les calcaires zoogènes de l'Urgonien sur lesquels ils reposent. La partie supérieure est essentiellement formée de grès et de sables glauconieux faisant le passage aux grès verts albiens.

Afin de fixer la position bathymétrique relative de ces différents termes, nous avons établi, suivant notre méthode d'interprétation, plusieurs courbes (fig. 5).

a) *Les courbes de clasticité et de fréquence du quartz détritique.*

La courbe de clasticité montre par ses variations que les indices sont les suivants:

1. Calcaires zoogènes (0,22 mm) (CZ);
2. Marnes et argiles gréseuses (0,23 mm) (MG);
3. Grès marneux (0,30 mm) (GM);
4. Grès calcaires glauconieux (0,45 mm) (GC).

Sur les diagrammes (fig. 5) l'indice de clasticité du terme n° 4 paraît beaucoup plus faible qu'il n'est indiqué ci-dessus. En effet, nous avons tenu compte dans son calcul de l'indice des grès de l'Aptien supérieur. Ces derniers ne figurent pas sur la coupe, leur échantillonnage n'ayant pas été assez serré.

Il n'en subsiste pas moins qu'il s'est produit, à l'apparition des grès calcaires glauconieux, un certain déficit dans les apports détritiques.

[1] Nous remercions M. Ad. Jayet de nous avoir aimablement autorisés à reprendre l'étude du matériel de sa thèse.

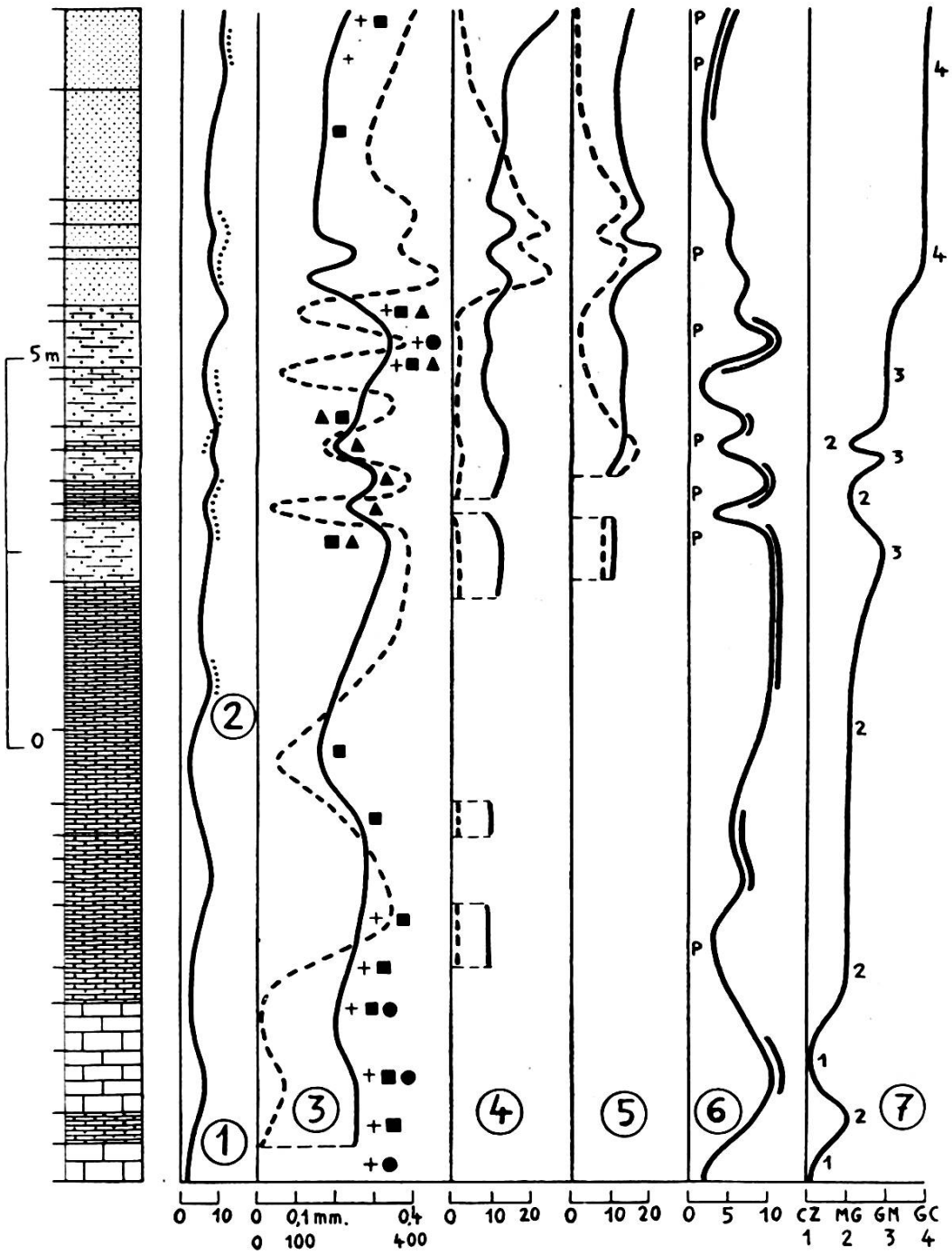

Fig. 5.

Les courbes de clasticité de tous les minéraux sont à la même échelle que celle du quartz détritique, les courbes de fréquence correspondantes sont en pointillé.

Courbe n° 1. *Diamètre du zircon détritique.*

Courbe n° 2. *Diamètre de la tourmaline détritique.*

Courbes n° 3. *Diamètre et fréquence du quartz détritique.*

+ : Miliolidés. ■: Echinodermes.

●: Textularidés. ▲: Orbitolinidés.

Courbes n° 4. *Diamètre et fréquence de la glauconie détritique.*

Courbes n° 5. *Diamètre et fréquence du mica détritique.*

Courbe n° 6. *Fréquence du fer* (pyrite), la présence de la *limonite* est marquée par un trait double.

Courbe n° 7. *Courbe bathymétrique relative.*

L'allure de la courbe de clasticité indique une augmentation générale du diamètre des particules vers le haut. Dans le même sens, la fréquence atteint ses valeurs les plus élevées et montre des variations irrégulières. Certaines se font en sens inverse de la clasticité montrant que les apports ont été temporairement irréguliers.

b) *Les courbes de clasticité et de fréquence de la glauconie détritique.*

Elle n'apparaît que sporadiquement dans les marnes gréseuses en liaison avec des maxima de la courbe de clasticité du quartz. Dès que le régime des grès marneux s'est établi, la glauconie apparaît de façon continue. Ses deux courbes varient dans le même sens et avec un retard appréciable et constant par rapport aux variations analogues du quartz. Ce retard pourrait être attribué à la densité plus faible (2,2 à 2,3) de la glauconie par rapport à celle du quartz (2,65) donnant lieu à une précipitation plus lente.

c) *Les courbes de clasticité et de fréquence du mica détritique.*

Le mica ne fait son apparition qu'au moment de l'établissement du régime franchement détritique des grès marneux. Ses deux courbes varient dans le même sens mais avec une sensibilité plus faible que celle des autres minéraux. On constate un retard très net par rapport aux variations analogues de la glauconie et du quartz, l'habitus en paillettes du mica en est peut-être responsable.

d) *Les minéraux accessoires.*

Le zircon est omniprésent, mais en quantité insuffisante pour tracer une courbe de fréquence. Sa clasticité varie et augmente vers le haut parallèlement à celle du quartz. La distribution discontinue de la tourmaline paraît en rapport avec les maxima de clasticité des autres minéraux. La répartition des phosphates n'indique rien de particulier.

e) *La courbe de fréquence du fer.*

Le fer est présent dans tous les niveaux, sous deux états: pyrite seule ou association pyrite-limonite. Dans ce dernier cas,

la fréquence est exprimée par la somme des deux composés. La courbe générale montre une liaison étroite avec la fréquence du quartz détritique, témoignant d'une identité d'origine et de mode de transport. La pyrite est omniprésente, tandis que la limonite n'apparaît que lors des maxima de fréquence où elle devient prépondérante. Cette distribution, comparée à la bathymétrie, semble indiquer que le fer subsiste à l'état d'oxydes seulement en milieu oxygéné, relativement peu profond. Partout ailleurs les conditions réductrices favorisent la production de la pyrite.

f) *La fréquence des organismes benthiques.*

Leur variété est grande mais leur nombre insuffisant pour tracer des courbes de fréquence. Les Echinodermes, les tests de Lamellibranches, se rencontrent dans presque tous les niveaux. La distribution des Orbitolinidés, Miliolidés et Textularidés ne permet de tirer aucune déduction.

g) *La courbe bathymétrique relative.*

Tous ces faits nous autorisent à considérer les différents termes comme correspondant à des profondeurs décroissantes dans l'ordre suivant:

1. Calcaires zoogènes;
2. Marnes et argiles gréseuses;
3. Grès marneux;
4. Grès calcaires glauconieux.

La succession des faciès montre une diminution lente et graduelle de la profondeur vers le haut. Elle permet, par l'intermédiaire des termes marneux de l'Aptien inférieur, le passage des calcaires zoogènes à faciès urgonien aux grès calcaires glauconieux.

En milieu détritique, les marnes sont un faciès généralement plus profond que les grès, car les particules clastiques les plus fines ne pouvant se déposer en milieu littoral agité, se sédimentent au large dans des zones plus calmes.

En revanche, en milieu calcaire, les apports détritiques peu importants sont limités aux particules fines qui se déposent dans les zones littorales sans pouvoir parvenir de ce fait dans les parties profondes des bassins.

CHAPITRE II

LES MINÉRAUX AUTHIGÈNES

A. La glauconie.

Ce minéral présente la particularité intéressante d'être, suivant les conditions de sédimentation, tantôt détritique, tantôt authigène. Ce dernier habitus se présente en général dans des faciès beaucoup plus littoraux que la variété détritique. L'aspect microscopique témoigne avec évidence du processus de formation autochtone. Les grains ont des *contours irréguliers* et résultent de *plusieurs générations*. Les pigments glauconieux forment une grande partie du ciment et parfois la totalité, en outre l'épigénisation des débris organiques est largement répandue.

Dans ces conditions, il n'est plus possible de parler d'indice de clasticité, mais seulement de *diamètre maximum des grains*; les mesures de fréquence ne subissent en revanche aucune modification. Les grains de glauconie formés sur place ont toujours un diamètre plusieurs fois supérieur à celui des grains de quartz détritique avec lesquels ils sont associés. On observe *deux types de comportement* des courbes de diamètre maximum et de fréquence de la glauconie autochtone.

Dans un premier cas, les deux courbes varient dans le même sens et en sens inverse de la clasticité des minéraux détritiques. Cela signifie que la synthèse de la glauconie se produit en de nombreux points en donnant naissance à des grains de grande taille, et qu'elle exige en outre un milieu de sédimentation

calme. Il est hors de doute qu'une partie de la glauconie provient de l'altération sous-marine de la biotite et les conditions observées correspondent à celles mises en évidence par les études de E. W. Galliher [14, 15].

Mais il paraît peu probable que la totalité de la glauconie albienne ou cénomanienne ait une telle origine. Cela laisserait supposer un apport massif de biotite non vérifié par les autres données. Il existe une liaison intime entre les conditions de formation de la glauconie et de la pyrite, les courbes de fréquence des deux minéraux variant parallèlement. Il en est de même pour les oxydes de fer provenant de l'altération de la glauconie, dans certains niveaux leur abondance voile complètement les apports ferrugineux d'origine continentale.

Dans un second cas, nous sommes en présence d'un comportement mixte. La glauconie autochtone présente des grains résultant de plusieurs générations, mais avec des contours plus réguliers; les pigmentations et les épigénies deviennent moins importantes. Les grains de glauconie sont toujours de taille plus grande que celle des grains de quartz détritique, cependant la courbe de diamètre maximum ne s'oppose plus à la clasticité du quartz, mais au contraire en suit les variations avec le léger retard que nous lui connaissons. Ces faits témoignent d'une *ébauche de classement mécanique* par les courants des grains formés *in situ*. La fréquence en revanche atteint des valeurs élevées et varie en sens inverse des deux autres courbes en gardant une empreinte très nette de la formation autochtone.

Dès que les conditions sont modifiées, par une augmentation de profondeur, la synthèse de la glauconie cesse et elle passe à l'état de minéral détritique. Ce changement se traduit de différentes façons: disparition des pigmentations, des phénomènes d'épigénisation, et chute brusque du diamètre des grains qui prend une valeur voisine, ou légèrement supérieure à l'indice de clasticité des autres minéraux détritiques.

Le passage de la glauconie autochtone à la glauconie détritique semble favoriser la formation de la silice secondaire et des feldspaths authigènes; comme si l'arrêt local de la synthèse de la glauconie libérait ses constituants qui se combinent dès lors autrement.

B. La silice.

Dans les séries étudiées, elle se présente sous forme de quartz secondaire riche en inclusions de la roche encaissante. L'habitus le plus fréquent est celui de cristaux bipyramidés ou de sphérolithes à structure fibro-radiée. La silice secondaire admet deux origines: *continentale ou organique*, en laissant de côté l'action tardive des eaux d'infiltration que nous n'avons pas observée.

La silice d'origine continentale est liée aux maxima de fréquence des minéraux détritiques. Cependant elle est en général absente, non seulement dans les faciès dépourvus d'apports clastiques, mais aussi dans ceux très fortement détritiques. En fait, la silice secondaire d'origine continentale caractérise les niveaux à clasticité moyenne, comme si les solutions colloïdales nécessaires à sa formation précédaient dans l'espace et dans le temps l'arrivée des particules détritiques. L'origine organique de la silice est mise en évidence par l'indépendance de son comportement vis-à-vis des minéraux et par une liaison étroite avec les phénomènes de dissolution d'organismes siliceux.

C. Les feldspaths.

Ils sont plus largement répandus qu'on ne le suppose et il s'agit en général plus souvent de plagioclases que d'orthoclases [24]. Leur comportement est semblable à celui du quartz secondaire avec lequel ils sont très souvent associés. De ce fait, ils sont absents ou rares dans les faciès très détritiques et dans ceux dépourvus de particules clastiques. Ils caractérisent en revanche les niveaux à clasticité moyenne et à *apport argileux modéré*. Ce dernier paraît jouer un rôle primordial dans la genèse des feldspaths authigènes. Dans certaines séries compréhensives formées de calcaires sublithographiques, les variations de la fréquence des feldspaths pourraient donner une idée de la variation dans le temps des apports argileux [24].

D. Le phosphate de chaux.

Il est représenté par des imprégnations du ciment ou des grains. Ces derniers sont incolores ou de teinte gris jaunâtre à brun foncé, souvent riches en inclusions de quartz, glauconie et pyrite, à contours extérieurs anguleux, irréguliers ou parfois nettement arrondis. La présence du phosphate de chaux est liée aux faciès littoraux et aux surfaces d'érosion sous-marine en milieu plus profond. Le rapport est étroit avec *la richesse de la vie marine* et les accidents responsables d'hécatombes d'organismes.

La clasticité des grains montre des variations importantes et brusques; de gros fragments hétérogènes et bien roulés succèdent brusquement à de minuscules grains anguleux. Ces variations sont cependant toujours en accord avec les courbes de clasticité des minéraux détritiques.

La courbe de fréquence manifeste un comportement tout à fait indépendant de la clasticité; elle est fonction directe de la richesse en organismes des niveaux. La formation du phosphate de chaux est souvent associée à la sédimentation glauconieuse; cette association n'implique cependant aucune liaison génétique entre les deux phénomènes.

E. Le fer.

La pyrite est le minerai de fer typiquement authigène, elle abonde dans les milieux réducteurs favorables aussi à la genèse de la glauconie. Les deux minéraux sont étroitement liés et leurs courbes de fréquence varient parallèlement.

Dans d'autres sédiments, la pyrite est présente en petite quantité sous la forme de granules ou de cristaux plus grands avec des faces caractéristiques. Sa courbe de fréquence varie dans le même sens que celle des minéraux clastiques. L'apport ferrugineux est d'origine continentale, mais les conditions réductrices du milieu de sédimentation ont transformé les oxydes en sulfures. Cette transformation est confirmée par

l'apparition de la limonite dans les termes les moins profonds des séries.

Lorsque la glauconie subit des phénomènes d'altération sous-marine, elle libère des oxydes de fer dont la fréquence est liée à la sienne. Cette formation de limonite authigène est à mettre en rapport avec les observations de A. E. Alexander [1] relatives à la limonitisation sous-marine de la biotite sur les plateaux continentaux actuels.

Exemple n° 6. **Le Cénomanien du col de Bossetan, du col de Bretolet et du chalet de Berroy, Nappe de Morcles, Valais, Suisse** [11, 25].

Les faits suivants sont mis en évidence:

1° *Rapports réciproques entre les courbes de diamètre maximum et de fréquence de la glauconie autochtone;*

2° *Rapports entre les courbes de diamètre maximum et de fréquence de la glauconie autochtone et du quartz détritique;*

3° *Passage en verticale de la glauconie autochtone à la glauconie détritique par augmentation de la profondeur;*

4° *Relations entre l'arrêt de la formation de la glauconie autochtone et l'apparition de la silice secondaire et des feldspaths authigènes;*

5° *Oxydes de fer provenant de l'altération* in situ *de la glauconie autochtone;*

6° *Diminution graduelle de la sédimentation phosphatée par augmentation de la profondeur.*

La stratigraphie générale est la suivante de bas en haut (fig. 6):

1. *Albien supérieur* (A): grès glauconieux, glauconites gréseuses ou calcaires glauconieux bréchiformes;
2. *Cénomanien inférieur* (CI): calcaires glauconieux ou glauconites à nodules phosphatés;
3. *Cénomanien supérieur* (CS): calcaires glauconieux gris compacts passant vers le haut à des calcaires sublithographiques;
4. *Sénonien inférieur* (S): calcaires sublithographiques gris.

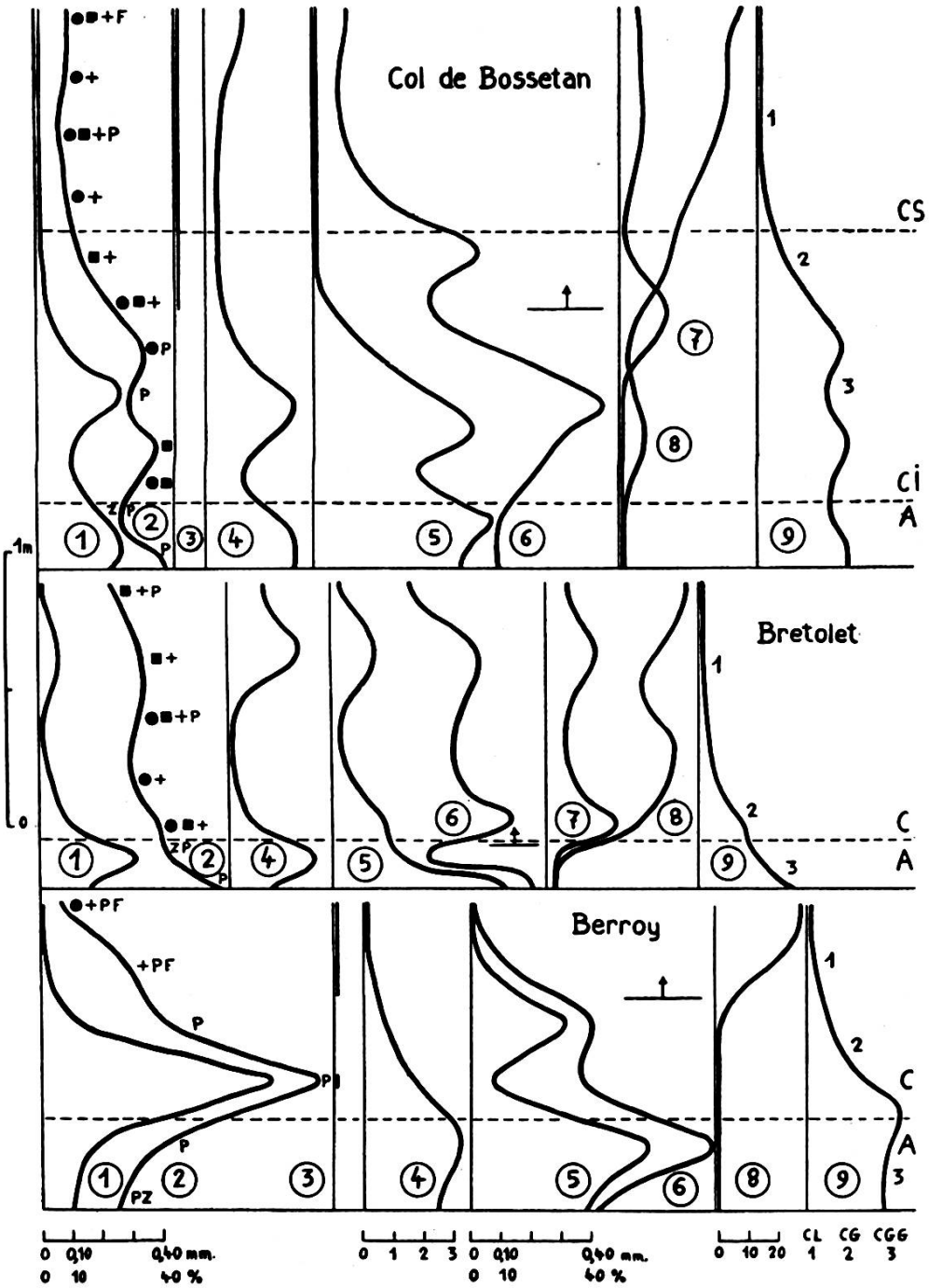

Fig. 6.

Courbe n° 1. *Fréquence du quartz détritique.*

Courbe n° 2. *Diamètre du quartz détritique*, les minéraux accessoires et les organismes benthiques ont été placés en surcharge:

F: Feldspaths authigènes.
P: Phosphates.
T: Tourmaline.
Z: Zircon.

●: Textularidés.
+: Spongiaires.
■: Echinodermes.

Courbe n° 3. *Quartz secondaire*, sa présence est marquée par un trait épais.

Courbe n° 4. *Fréquence des oxydes de fer.*

Courbe n° 5. *Fréquence de la glauconie.*

Courbe n° 6. *Diamètre de la glauconie*, la limite entre la glauconie autochtone de la base et la glauconie détritique du sommet des séries est marquée par un trait horizontal muni d'une flèche.

Courbe n° 7. *Fréquence des prismes d'Inocérames.*

Courbe n° 8. *Fréquence des Lagénidés.*

Courbe n° 9. *Courbe bathymétrique relative.*

a) *Les courbes de clasticité et de fréquence du quartz détritique.*

Dans le Cénomanien inférieur littoral, les deux courbes varient en sens inverse, puis dans le même sens dès la chute des deux indices coïncidant avec l'établissement d'une sédimentation calcaire plus profonde.

Les indices de clasticité sont les suivants:

1. Calcaire sublithographique (0,03 mm);
2. Calcaire glauconieux compact (0,10 mm);
3. Calcaire glauconieux gréseux et phosphaté (0,30 mm).

Ce terme peut passer par les variations de fréquence du quartz et de la glauconie à un grès glauconieux ou à une glauconite gréseuse.

b) *Les courbes de clasticité et de fréquence de la glauconie.*

Dans le Cénomanien inférieur, la glauconie possède un habitus microscopique indiquant une *origine autochtone* dont les caractères sont:

1. Diamètre maximum des grains indépendant de l'indice de clasticité du quartz détritique;
2. Diamètre maximum et fréquence varient dans le même sens;
3. Les deux courbes varient en *sens inverse* de la clasticité du quartz détritique; la synthèse de la glauconie n'est donc pas favorisée en milieu agité ou à forts courants.

Au Cénomanien supérieur. l'augmentation de profondeur ne permet plus la formation de la glauconie autochtone et cette dernière n'apparaît plus qu'à l'état de minéral détritique avec comportement et indice de clasticité semblables à ceux du quartz détritique.

c) *La courbe de fréquence des oxydes de fer.*

Elle varie dans le même sens que la fréquence du quartz détritique, indiquant une identité d'origine et de mode de transport. Si l'on observe dans ce cas une relation avec la glauconie autochtone, elle est purement fortuite et due simplement aux rapports de cette dernière avec la fréquence du quartz.

Si les oxydes de fer ne sont plus d'origine continentale, mais proviennent de l'altération *in situ* de la glauconie autochtone, la courbe de fréquence est alors indépendante de celle du quartz et directement liée à celle de la glauconie. (Albien du chalet de Berroy.) Il en est de même de la pyrite dont la formation paraît en liaison étroite avec celle de la glauconie.

d) *Les minéraux accessoires et authigènes.*

Les minéraux lourds disparaissent pendant le Cénomanien inférieur et parfois déjà au sommet de l'Albien. Les phosphates sont abondants dans le milieu littoral du Cénomanien inférieur, puis leur importance diminue vers le haut jusqu'à la disparition complète.

La silice secondaire et les feldspaths authigènes caractérisent les calcaires du Cénomanien supérieur, correspondant ainsi à l'augmentation de profondeur et à la fin de la formation de la glauconie autochtone, en d'autres termes à un milieu plus calme. Une liaison entre la silice secondaire et les spicules calcifiés de Spongiaires siliceux est aussi apparente.

e) *Les variations faunistiques.*

La fréquence de la faune, essentiellement constituée par des formes benthiques, augmente vers le haut de la série. Nous reviendrons plus loin (exemple n° 12) sur les caractères des variations présentés par les différents éléments.

f) *La courbe bathymétrique relative.*

Les faits exposés montrent que la courbe de clasticité du quartz détritique exprime les variations bathymétriques et que de ce fait l'ordre relatif des faciès par profondeur décroissante est celui défini par les indices de clasticité. En ligne générale, la profondeur augmente de la base au sommet de la série.

Exemple n° 7. **L'Albien de la Perte du Rhône, Ain, France** [16].

Les faits suivants sont mis en évidence:

1° *Rapports réciproques entre les courbes de diamètre maximum et de fréquence de la glauconie autochtone;*

2° *Rapports entre les courbes de diamètre maximum et de fréquence de la glauconie autochtone et du quartz détritique;*
3° *Liaison entre le mode de formation de la glauconie et de la pyrite.*
4° *Indépendance entre le mode de formation de la glauconie et du phosphate de chaux;*
5° *Liaison entre la fréquence du phosphate de chaux et la richesse de la faune.*

L'Albien de la Perte du Rhône qui a fait l'objet de la monographie d'Ad. Jayet [16] se compose des termes sédimentaires suivants (fig. 7):

1. Sables marneux glauconieux de teinte variable (SG);
2. Glauconites gréseuses et phosphatées (GP);
3. Grès glauconieux de teinte variable (GG).

Afin de fixer la position bathymétrique de ces différents termes, nous avons établi plusieurs courbes.

a) *Les courbes de clasticité et de fréquence du quartz détritique.*

Bien que nous soyons en milieu littoral peu profond, les apports clastiques sont massifs et réguliers. Il s'ensuit que clasticité et fréquence varient dans le même sens, sauf à l'extrême sommet de la coupe où l'on observe un certain fléchissement général de la fréquence tandis que la clasticité atteint ses valeurs maxima.

Les indices de clasticité sont les suivants:

1. Sables marneux glauconieux (0,40 mm);
2. Glauconites phosphatées (0,45 mm);
3. Grès glauconieux (0,50 mm).

b) *Les minéraux accessoires.*

Le zircon est omniprésent, mais les grains sont trop peu nombreux pour tracer une courbe de fréquence. La clasticité, en revanche, varie parallèlement à celle du quartz détritique. La tourmaline, à répartition discontinue, n'apparaît que lors des maxima de clasticité du zircon et avec un indice toujours plus élevé.

c) *Les courbes de clasticité et de fréquence de la glauconie.*

Son habitus microscopique témoigne d'une formation autochtone, cependant avec une amorce de classement mécanique des grains. Cette très faible action des courants se traduit par le fait que la courbe de diamètre maximum des grains ne varie plus parallèlement à sa fréquence et en sens inverse de la

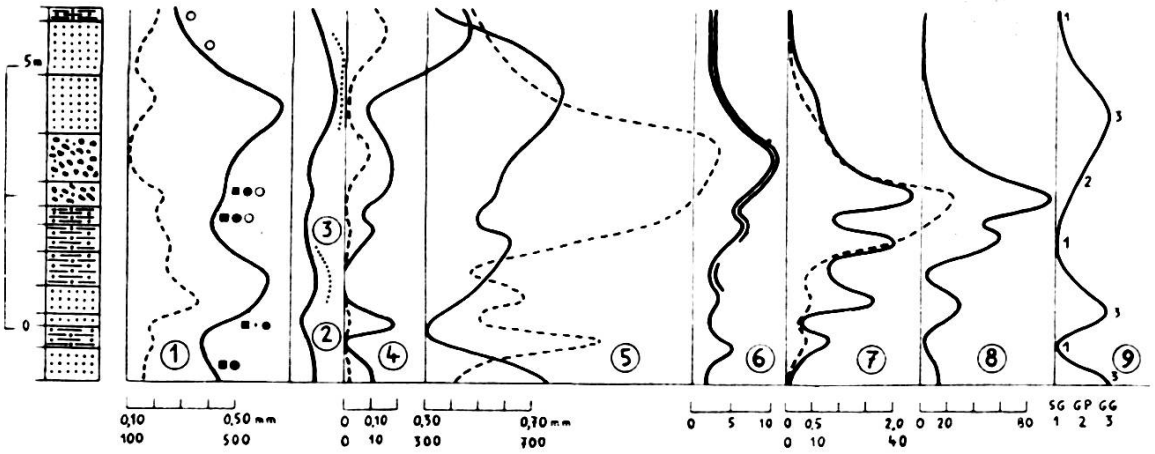

Fig. 7.

Les courbes de clasticité de tous les minéraux sont à la même échelle; pour des nécessités graphiques l'origine de la graduation figurée ne correspond pas dans tous les cas à la valeur zéro. Les courbes de fréquence correspondantes sont en pointillé.

Courbes n° 1. *Diamètre et fréquence du quartz détritique.*

⊥: Miliolidés. ■: Echinodermes.
●: Textularidés. ○: Globigérinidés.

Courbe n° 2. *Diamètre du zircon détritique.*
Courbe n° 3. *Diamètre de la tourmaline détritique.*
Courbes n° 4. *Diamètre et fréquence du mica détritique.*
Courbes n° 5. *Diamètre et fréquence de la glauconie autochtone.*
Courbe n° 6. *Fréquence du fer* (pyrite).
La présence de *limonite* est marquée par un trait double.
Courbes n° 7. *Diamètre et fréquence des grains de phosphate de chaux.*
Courbe n° 8. *Richesse de la faune*, exprimée par la somme de tous les genres et espèces fossiles décrits dans chaque niveau.
Courbe n° 9. *Courbe bathymétrique relative.*

clasticité du quartz détritique. Mais au contraire, elle suit les variations de ce dernier avec une clasticité plus élevée et le léger retard qui caractérise toujours les rapports entre glauconie et quartz. La fréquence de la glauconie absolument indépendante de la clasticité témoigne d'une production intense de ce minéral dans la partie moyenne de l'Albien. Le tracé de la courbe s'oppose nettement au comportement du quartz

détritique en montrant une fois encore que la synthèse de la glauconie est favorisée par un milieu détritique calme.

d) *Les courbes de clasticité et de fréquence du mica détritique.*

Le mica est présent dans tous les niveaux, mais en faible quantité. Les deux courbes varient parallèlement et en *sens inverse* de la clasticité du quartz détritique. Nous avons déjà noté que ce comportement particulier provient de l'habitus minéralogique en paillettes. En effet, lors de l'augmentation de l'intensité des courants, les grandes paillettes sont emportées et seules subsistent les petites pouvant se loger dans les intervalles entre les grains de quartz. Il s'ensuit une *chute simultanée* de la clasticité et de la fréquence du mica. Réciproquement dès que l'intensité des courants de remaniement diminue. les grosses paillettes se concentrent mêlées aux petits grains de quartz.

E. W. Galliher [14, 15] a mis en évidence que la glauconie est, dans certains cas, un simple produit d'altération sous-marine de la biotite. Nous avons rencontré dans l'Albien de la Perte du Rhône des arguments en faveur de ce mode de formation, en tout cas pour une partie de la glauconie. Mais il nous semble peu probable qu'elle puisse dériver en totalité de l'altération de la biotite. Ce processus exige un apport massif de biotite qui n'est pas confirmé par les autres données. Quoi qu'il en soit, lorsque le mica est abondant, il montre tous les termes de passage à la glauconie tels qu'ils ont été décrits par E. W. Galliher. Ce phénomène est particulièrement développé au sommet de la série.

e) *La courbe de fréquence du fer.*

La pyrite omniprésente forme la presque totalité du fer de la série. Sa genèse est intensément liée à celle de la glauconie comme Ad. Jayet l'avait déjà noté; les deux courbes de fréquence sont semblables.

La production autochtone des sulfures indique un milieu calme, anaérobie et réducteur qui est aussi celui favorable à la synthèse de la glauconie. La présence de limonite dans les

deux tiers supérieurs de la série coïncidant avec l'apparition d'organismes pélagiques paraît indiquer une modification dans les apports.

f) *Les courbes de clasticité et de fréquence des grains de phosphate de chaux.*

Les grains sont d'aspect et de teinte variables, homogènes ou composites. Dans ce dernier cas, ils englobent des grains de quartz, de glauconie et de mica et leur taille est plusieurs fois supérieure à la clasticité moyenne des niveaux dans lesquels on les rencontre. On sait [16] que la plus grande partie (56%) du phosphate de l'Albien de la Perte du Rhône provient des moules phosphatés de fossiles, les grains ne représentant que le 4 à 5%. Ad. Jayet [16] a signalé que la présence du phosphate de chaux correspond de manière frappante avec les principaux niveaux fossilifères. Nous avons précisé cette notion en traçant d'une part les courbes de clasticité et de fréquence des grains phosphatés et d'autre part la courbe de *richesse* de la faune. Cette dernière a été obtenue en prenant, comme valeur pour chaque niveau, la somme de tous les genres et espèces fossiles décrits.

La courbe de clasticité des grains phosphatés montre des variations assez désordonnées, mais la courbe de fréquence est en revanche semblable à celle de *richesse* de la faune.

g) *La fréquence des organismes benthiques.*

Les débris de tests de Lamellibranches et de Brachiopodes n'indiquent rien de particulier dans leur distribution, il en est malheureusement de même pour les Miliolidés, Textularidés et débris d'Echinodermes.

h) *La fréquence des organismes pélagiques.*

Ils apparaissent à deux reprises, dans les niveaux marneux à faible clasticité de la partie supérieure de la série. Ce sont des *Globigerina* annonçant les faciès pélagiques du Crétacé supérieur.

i) *La courbe bathymétrique relative.*

Tous les faits énumérés nous autorisent à considérer les différents termes sédimentaires comme correspondant à des *profondeurs décroissantes* dans l'ordre suivant:

1. Sables marneux glauconieux;
2. Glauconites gréseuses et phosphatées;
3. Grès glauconieux.

On peut ainsi distinguer dans cette série deux soulèvements du fond amenant une accentuation de la sédimentation détritique. Un affaissement les sépare, marqué par des faciès marneux, une production importante de glauconie et l'apparition des premières faunes pélagiques. Ces dernières réapparaîtront du reste au sommet de la série immédiatement après le dernier soulèvement.

CHAPITRE III

LES ORGANISMES

Les indications fournies par la faune donnent aux variations minérales leur signification bathymétrique ou montrent qu'il s'agit simplement de changements dans l'intensité des courants non accompagnés de mouvements du fond. Il est presque inutile de souligner l'importance capitale du critère faunistique auquel doivent être subordonnés tous les autres; la notion de profondeur en dépend directement.

Nous devons rechercher des *organismes-témoins* largement répandus et sensibles aux changements de milieu résultant des variations de profondeur. Les rapports avec les faciès montrent quels sont les types d'organismes dont le mode de vie n'est pas ambigu et qui peuvent être de ce fait des indicateurs sûrs. Il est encore prématuré de dresser des listes d'organismes-témoins, cependant on peut déjà les subdiviser en trois catégories principales: les formes *benthiques*, *pélagiques* et *ubiquistes*.

La détermination de la fréquence des deux premières catégories met en évidence une exclusion réciproque dans l'espace

et dans le temps. Leurs proportions relatives donnent une idée de la profondeur à laquelle s'est déposé le sédiment qui les contient. Une richesse en organismes pélagiques s'accompagne d'une rareté d'organismes benthiques et caractérise un dépôt en eau relativement profonde et réciproquement. Des anomalies peuvent se présenter, mais elles sont facilement repérables par leur position aberrante dans les séries et par divers caractères résultant de l'état de conservation des organismes.

De nombreux individus brisés et la présence de débris roulés caractérisent souvent des accumulations anormales dont les causes peuvent être multiples: effets de variations brusques de courants, remaniements, hécatombes et apportent de nombreuses indications sur les vicissitudes que peuvent subir les organismes en milieu marin.

Les indications fournies par les courbes de fréquence des organismes-témoins peuvent être complétées par l'étude des modifications du test observables chez certains Foraminifères. Il s'agit en somme du problème délicat de la faculté d'adaptation de ces organismes aux variations bathymétriques. Les cas les plus fréquents se rencontrent chez les formes benthiques où les tests deviennent plus épais, plus grands et plus robustes à mesure que la profondeur diminue dans l'espace et dans le temps; la réciproque est aussi vraie. Il est évident que cette faculté d'adaptation sera réalisée à différents degrés d'intensité et de rapidité ou pourra même être absente. Dans ce dernier cas, différentes faunes benthiques se succèderont suivant les variations du milieu sans qu'aucun de leurs éléments ne soit capable de persister au travers de plusieurs changements.

Quant aux formes strictement pélagiques, elles ne semblent pas, jusqu'à plus ample informé, subir d'influences modificatrices quelconques sous l'effet de variations bathymétriques, tant que ces dernières n'affectent pas de façon sensible les conditions physico-chimiques de surface.

Nous venons de voir qu'en règle générale la fréquence des organismes benthiques varie en sens inverse de celle des organismes pélagiques. Cependant, en étudiant différents milieux de sédimentation nous avons constaté que cette loi générale pouvait subir un certain nombre de modifications et qu'il était

nécessaire d'en tenir compte pour donner une vue aussi fidèle que possible des variations bathymétriques.

Les différents types de comportement réciproque des courbes de fréquence des organismes benthiques et pélagiques correspondent à autant de zones de profondeur s'échelonnant entre les lignes de rivage et le large. Nous ne prétendons pas donner des valeurs absolues de profondeur, mais simplement la place relative de chacune des zones par rapport aux autres.

1. *Zone littorale.*

La microfaune est presque exclusivement benthique, les mouvements du fond sont enregistrés par des associations d'espèces benthiques différentes, ou si la composition faunistique est uniforme, par des variations de sa fréquence. Précisons que la fréquence augmente quand la profondeur diminue.

Localement des faunes pélagiques peuvent vivre en grand nombre dans la zone littorale. Dans ce cas, leur comportement est assez aberrant; mais on constate souvent que leur fréquence varie dans le même sens que celle des organismes benthiques. Cette première exception à la loi générale implique une liaison avec les courants littoraux, responsables de l'accumulation passive de tests d'organismes pélagiques; du reste ce genre de concentration s'accompagne toujours d'une fragmentation appréciable des coquilles.

2. *Zone peu profonde.*

La microfaune se compose d'éléments benthiques et pélagiques, leur fréquence varie régulièrement en sens inverse, cela provient du fait que les mouvements du fond, vu la profondeur encore peu considérable, affectent les conditions de vie en surface.

3. *Zone assez profonde.*

La microfaune se compose toujours d'éléments pélagiques et benthiques mais avec une tendance très nette vers une diminution dans l'importance de ces derniers. Les mouvements du fond sont marqués par des variations correspondantes dans la

courbe de fréquence des organismes benthiques; en revanche la fréquence des organismes pélagiques est peu ou pas affectée par les mouvements du fond, ces derniers étant en grande partie amortis par la tranche d'eau et n'ayant qu'une influence minime sur la vie en surface.

4. *Zone profonde.*

La microfaune benthique est de plus en plus réduite et les sédiments ne contiennent plus que les tests des organismes pélagiques ayant pu traverser l'épaisseur de la tranche d'eau sans être dissous. Les mouvements qui pourraient affecter le fond sont à peine inscrits dans la faune benthique vu sa pauvreté, à moins que la diminution de profondeur soit telle que nous retrouvions un des cas précédents.

5. *Zone très profonde.*

Seuls subsistent dans ces sédiments les tests les plus résistants à la dissolution, la faune benthique est absente et aucun renseignement ne peut être tiré de ce milieu presque azoïque.

Zones de profondeur	Microfaune benthique	Microfaune pélagique	Variations de la fréquence à un mouvement positif du fond	
			Microfaune benthique	Microfaune pélagique
1. Littorale	diminution en importance avec l'augmentation de profondeur	présente localement	augmentation	augmentation ou indépendance
2. Peu profonde		répartition uniforme	augmentation	diminution
3. Assez profonde			augmentation	indépendance
4. Profonde			augmentation faible	indépendance
5. Très profonde			néant	indépendance

Exemple n° 8. **Le Valanginien calcaire et l'Hauterivien de la Pointe des Avaudrues, Nappe de Morcles, Haute-Savoie, France** [10, 12].

Les faits suivants sont mis en évidence:

1° *Exclusion réciproque de deux associations de faune benthique;*

2° *Association des Textularidés et des Miliolidés dans les termes sédimentaires les plus profonds;*

3° *Association des Bryozoaires et des Echinodermes dans les termes les moins profonds.*

Le Valanginien calcaire.

Il se compose des mêmes termes sédimentaires que ceux de la série de Pas-de-Sales (exemple n° 1), mais avec des indices de clasticité en général plus faibles et des caractères indiquant une profondeur plus grande (fig. 8). Nous retrouverons les mêmes conditions aussi dans la série hauterivienne.

a) *La courbe de clasticité du quartz détritique.*

Elle donne par ses variations les indices suivants:

1. Alternances de calcaires compacts et de marnes (0,180 mm) (AL);
2. Marnes (0,200 mm) (M);
3. Calcaires pseudo-oolithiques ou spathiques (0,270 mm) (CO).

b) *La courbe de fréquence du quartz détritique.*

Elle varie en sens inverse de celle de l'indice de clasticité, sauf à l'extrême sommet où elle commence à reprendre une variation dans le même sens qui se poursuivra pendant tout l'Hauterivien. Nous avons déjà vu que la variation en sens inverse caractérise le milieu très littoral.

c) *Les minéraux accessoires.*

Le mica est localisé à la base de la série et fait place ensuite à la tourmaline. La répartition de ces deux minéraux n'indique rien de particulier.

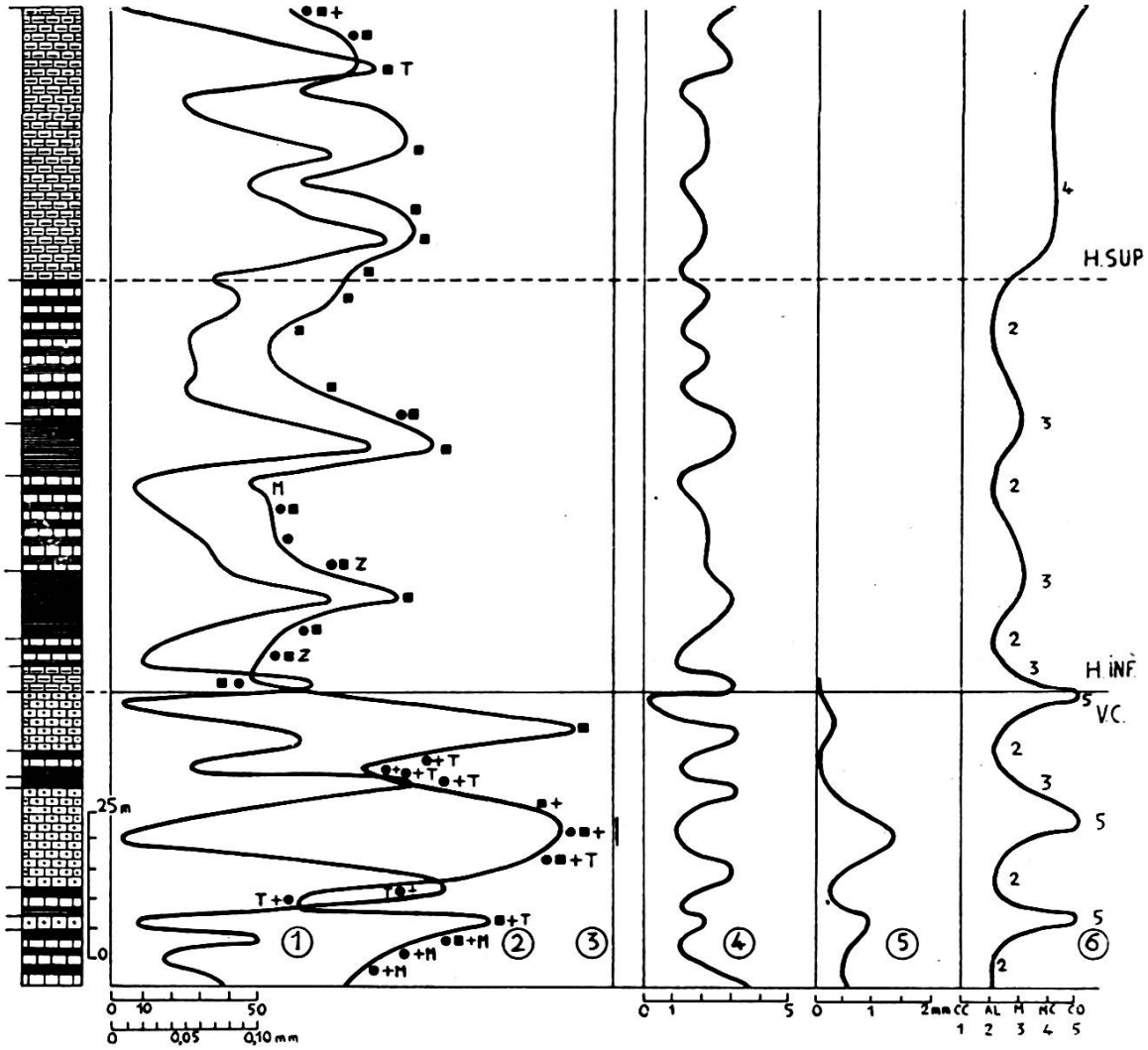

Fig. 8.

Courbe n° 1. *Fréquence du quartz détritique.*
Courbe n° 2. *Diamètre du quartz détritique,* les minéraux accessoires et les organismes benthiques ont été placés en surcharge:

M: Mica.
T: Tourmaline.
Z: Zircon.

●: Textularidés.
+: Miliolidés.
■: Echinodermes et Bryozoaires.

Courbe n° 3. *Quartz secondaire,* sa présence est marquée par un trait épais.
Courbe n° 4. *Fréquence des oxydes de fer.*
Courbe n° 5. *Diamètre des pseudo-oolithes.*
Courbe n° 6. *Courbe bathymétrique relative.*

d) *La courbe de fréquence des oxydes de fer.*

Ses variations se font exactement dans le même sens que celles de la courbe de fréquence du quartz détritique, indiquant ainsi une identité de transport et d'origine des deux minéraux.

e) *Le quartz secondaire.*

Il n'existe que vers le milieu de la formation en liaison avec un maximum de la courbe de clasticité du quartz détritique.

f) *La courbe de clasticité des pseudo-oolithes.*

Elle varie dans le même sens que la courbe de clasticité du quartz détritique et confirme les déductions exprimées dans l'exemple n° 1.

g) *La fréquence des organismes benthiques.*

Leur nombre n'est pas suffisant pour tracer une courbe, mais on note que, dans la plupart des cas, les Textularidés et les Miliolidés se localisent dans les termes sédimentaires les plus profonds. En revanche, les Bryozoaires et les Echinodermes sont exclusivement cantonnés dans les termes les moins profonds.

Conclusions.

La courbe bathymétrique montre que le Valanginien calcaire comporte trois mouvements positifs du fond marin très bien individualisés.

L'Hauterivien.

Il est représenté par une série sédimentaire encore plus monotone que celle de Pas-de-Sales (exemple n° 1). La distinction de la partie supérieure est moins évidente. L'allure générale des diverses courbes et les indices de clasticité plus faibles confirment ces caractères de plus grande profondeur.

a) *La courbe de clasticité du quartz détritique.*

Elle donne par ses variations les indices suivants:

1. Alternances de calcaires compacts et de marnes (0,110 mm) (AL);
2. Marnes (0,150 mm) (M);
3. Calcaires marneux (0,170 mm) (MC).

L'allure générale de la courbe indique une augmentation de la clasticité vers le haut de la série. Cette augmentation n'est pas marquée par des maxima beaucoup plus forts, mais par une valeur moyenne plus élevée de la courbe.

b) *La courbe de fréquence du quartz détritique.*

Ses variations se font dans le même sens que celles de la courbe de clasticité. Il y a augmentation de la fréquence moyenne vers le haut de la série.

c) *Les minéraux accessoires.*

Mica et tourmaline sont peu répandus et de ce fait sans intérêt apparent.

d) *La courbe de fréquence des oxydes de fer.*

Elle varie dans le même sens que la courbe de fréquence du quartz détritique, mais montre une légère diminution de la teneur en fer vers le haut de la série.

e) *La fréquence des organismes benthiques.*

Les Textularidés et les Echinodermes sont assez uniformément répandus dans les parties inférieure et moyenne. Dans l'Hauterivien supérieur, moins profond, seuls les Echinodermes sont présents. Les Textularidés et les Miliolidés ne réapparaissent que dans les derniers niveaux annonçant le faciès zoogène urgonien.

Conclusions.

La courbe bathymétrique montre que la profondeur augmente brusquement dès le sommet du Valanginien calcaire, l'Haute-

rivien inférieur comporte deux oscillations bien définies préludant à la diminution de profondeur caractéristique de l'Hauterivien supérieur.

Exemple n° 9. **Le Barrémien à faciès urgonien de Pas-de-Sales, Nappe de Morcles, Haute-Savoie, France** [12].

Les faits suivants sont mis en évidence:

1° *Application des notions de clasticité et de fréquence à des organismes remaniés assimilables à des minéraux détritiques;*

2° *Variations des courbes de clasticité et de fréquence des pseudo-oolithes en milieu récifal;*

3° *Transport de certains organismes par charriage sur le fond, en suspension ou par un processus mixte;*

4° *Comportement des minéraux détritiques en milieu récifal isolé.*

La liaison étroite que nous venons de constater entre la fréquence des organismes benthiques et la clasticité du quartz détritique n'est valable que lorsque les organismes ont vécu sur place dans des conditions normales. Quand des remaniements se produisent, les organismes sont arrachés à leur lieu d'existence et transportés sur une distance plus ou moins longue par les courants. Dès lors l'on est autorisé à les assimiler à des particules détritiques et à tracer les courbes de leur clasticité et de leur fréquence. Cette méthode est particulièrement applicable dans le cas de certains calcaires pseudo-oolithiques de l'Urgonien de la nappe de Morcles [7] où les organismes n'existent qu'à l'état de pseudo-oolithes. Il est évident que dans un sédiment de ce genre, véritable gravier organique, les variations des courbes de clasticité des minéraux détritiques et des pseudo-oolithes indiqueront uniquement les changements d'intensité des courants marins. En effet, pour que ces variations puissent être interprétées au point de vue bathymétrique, elles doivent s'accompagner de modifications affectant la faune benthique ayant vécu sur place. Or ces conditions ne sont pas

réalisées dans les faciès pseudo-oolithiques et toute détermination de variations bathymétriques s'avère impossible par nos méthodes usuelles.

De véritables oolithes existent aussi dans ce genre de dépôt. Leurs noyaux paraissent obéir aux mêmes lois qui régissent le comportement des pseudo-oolithes. Ce problème ainsi que celui des enveloppes concentriques sera repris ultérieurement.

Cependant des variations faunistiques importantes sont décelables dans ces niveaux, elles ne correspondent donc pas à des conditions de vie différente, mais dépendent principalement, comme nous allons le voir, des agents de transport.

Les principaux organismes présents dans les calcaires urgoniens *compacts* sont les suivants: algues vertes calcaires, plaques d'Echinides, articles de Crinoïdes, Bryozoaires, tests de Lamellibranches, (Rudistes) Brachiopodes, Gastéropodes, Orbitolinidés, Textularidés, Miliolidés, Rotalidés, etc. Cet ensemble faunistique correspond à un habitat commun dans des conditions subrécifales.

En revanche, dans les faciès pseudo-oolithiques, la distribution de la faune est toute différente:

1. Les niveaux à grosses pseudo-oolithes ont leurs galets d'origine organique formés uniquement par les tiges d'algues vertes, les plaques d'Echinodermes, les articles de Crinoïdes, les Bryozoaires, divers débris de tests, les Orbitolinidés et les grands Miliolidés;
2. Les niveaux à petites pseudo-oolithes ont leurs galets d'origine organique formés uniquement de Miliolidés, Textularidés et Rotalidés.

Cette distribution particulière provient d'un *triage par dimensions* du matériel organique et effectué par l'agent de transport. Ce dernier, en remaniant l'ensemble faunistique homogène des calcaires compacts a donné naissance à *deux sédiments bien distincts*, l'un grossier, l'autre fin, caractérisés par des associations faunistiques différentes.

En règle générale, chaque individu de Foraminifère forme à lui seul un galet de taille correspondante; il en est de même

pour les tiges d'algues calcaires, les articles de Crinoïdes, les plaques d'Echinodermes, etc. En conséquence, pour les organismes que l'on trouve dans les pseudo-oolithes, soit à l'état d'individus entiers, soit à l'état de parties composantes (valves, plaques, articles, spicules), leur distribution n'est pas fonction uniquement des caractéristiques de l'agent de transport, mais est fonction aussi de leur dimension la plus fréquente dans le sédiment primaire *(fréquence dimensionnelle)*.

Un exemple frappant parmi les Foraminifères est celui des Orbitolinidés localisés dans les niveaux à grosses pseudo-oolithes et des Textularidés présents uniquement dans les niveaux à petites pseudo-oolithes.

Le remaniement d'organismes coloniaux résultant de la juxtaposition de nombreux individus conduira à leur isolement et à la formation de pseudo-oolithes de taille correspondante; ce cas est illustré par les cellules tubuleuses de Bryozoaires donnant lieu à la formation de grosses pseudo-oolithes très résistantes à l'usure et de taille assez constante.

Il est évident que la fragmentation d'organismes à structure interne peu développée ou faiblement résistante conduira à la formation de galets de taille déjà plus variable que dans les cas précédents et dépendant presque uniquement des caractères de l'agent de transport. Le cas extrême est illustré par les éléments purement calcaires formant la plus grande partie des pseudo-oolithes, grandes ou petites, et qui proviennent du remaniement du *ciment* du dépôt primaire.

Il ne fait aucun doute que la distribution particulière des différents débris organiques que nous venons d'examiner témoigne d'*un phénomène de remaniement brutal* et encore à ses débuts. Dans le cas d'une action prolongée, la réduction de volume des galets par usure agira contre cette subdivision et tendra progressivement à l'effacer. Il en résultera des faciès pseudo-oolithiques à composition faunistique semblable en tout point à celle du sédiment primaire.

L'étude a porté sur une coupe inédite levée par A. Coaz en 1931 [12]. Elle comprend les cent premiers mètres de l'épaisse série de calcaires oolithiques et pseudo-oolithiques dont la base un peu marneuse repose sur l'Hauterivien supérieur (fig. 9).

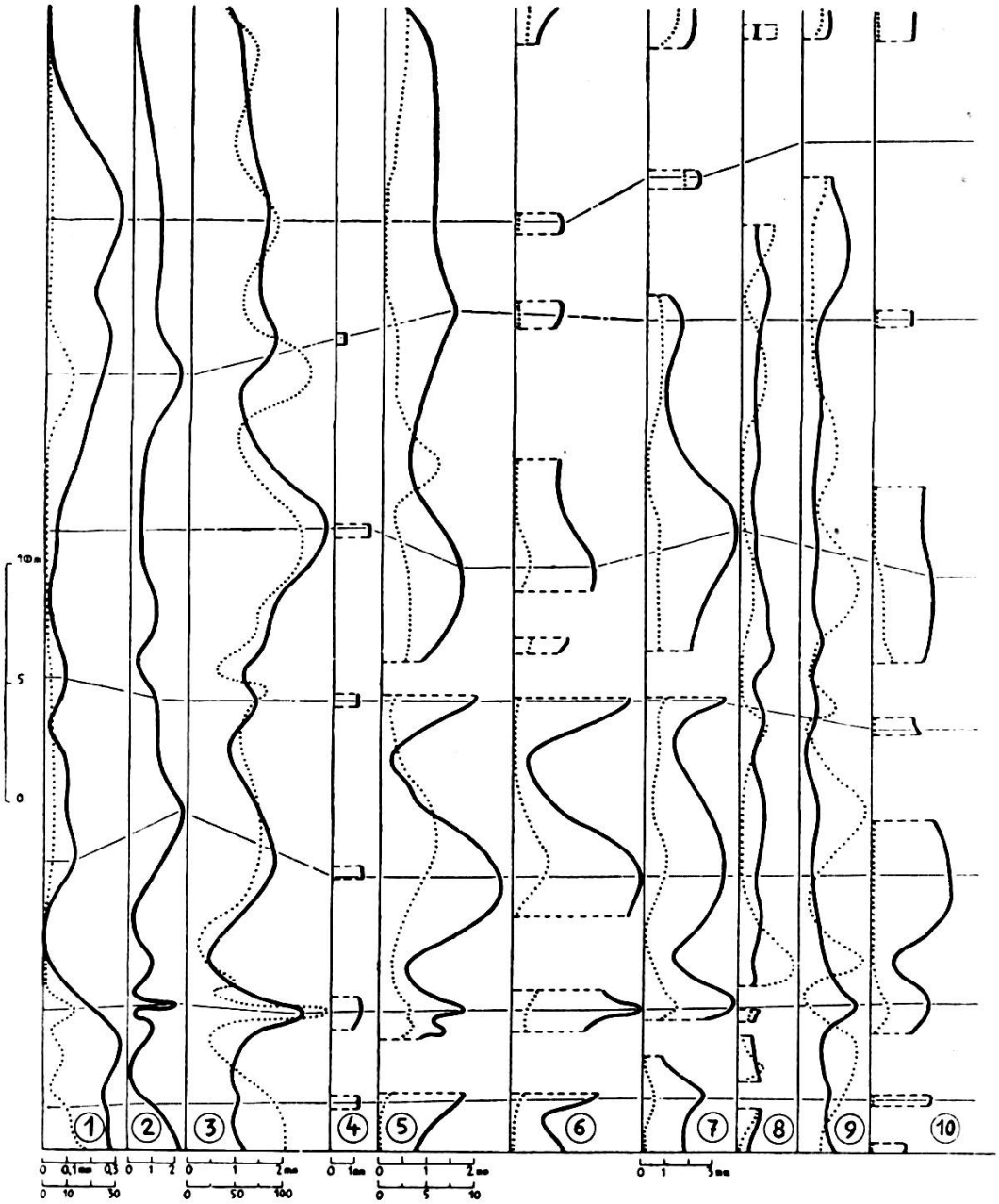

Fig. 9.

Les courbes de fréquence sont en pointillé, sauf le n° 2. Les courbes de clasticité sont en trait plein. Les courbes n°s 6, 8, 9 et 10 ont la même échelle que le n° 5.

Courbes n° 1. *Quartz détritique.*
Courbe n° 2. *Fréquence des oxydes de fer.*
Courbes n° 3. *Pseudo-oolithes*, la fréquence est exprimée par la valeur α.
Courbes n° 4. *Tiges d'algues vertes calcaires.*
Courbes n° 5. *Echinides.*
Courbes n° 6. *Bryozoaires.*
Courbes n° 7. *Tests de Lamellibranches.*
Courbes n° 8. *Textularidés.*
Courbes n° 9. *Miliolidés.*
Courbes n° 10. *Orbitolinidés.*

a) *Les courbes de clasticité et de fréquence du quartz détritique.*

Elles varient dans le même sens avec des indices plus faibles par rapport à l'Hauterivien supérieur, ce qui indique un apport détritique normal, mais réduit par effet d'isolement. Les indices de clasticité sont les suivants:

1. Niveaux à grosses pseudo-oolithes: 0,27 mm;
2. Niveaux à petites pseudo-oolithes: 0,05 mm;
3. Indice moyen de la formation: 0,15 mm

b) *La courbe de fréquence des oxydes de fer.*

Ses variations se font dans le même sens que celles de la fréquence du quartz détritique, il y a donc identité de transport et d'origine des deux minéraux.

c) *Les courbes de clasticité et de fréquence des pseudo-oolithes.*

Elles varient dans le même sens en montrant sept maxima d'intensité des courants marqués par des niveaux à grosses pseudo-oolithes. Ces variations ne sont pas toujours enregistrées par le quartz détritique du fait de son rôle très accessoire.

Dans cet exemple et dans le suivant, le diamètre moyen des pseudo-oolithes assez important par rapport au champ d'observation microscopique introduit les erreurs de mesure de fréquence dont nous avons parlé plus haut. Rappelons qu'elles sont évitées par l'emploi de la formule:

$$\alpha = \frac{k\,n\,r^2}{R^2}$$

k = constante de construction graphique,
n = nombre de particules (fréquence),
r = rayon moyen des particules,
R = rayon du champ d'observation.

d) *Les courbes de clasticité et de fréquence des débris de tiges d'algues vertes calcaires, Echinides, Bryozoaires, tests de Lamellibranches et Orbitolinidés.*

Les deux courbes de chaque type de débris varient en général dans le même sens; elles sont discontinues du fait que ces organismes ne donnent naissance qu'à de *grosses pseudo-oolithes.*

Le cas est particulièrement mis en évidence par les tiges d'algues vertes calcaires et les Orbitolinidés.

e) *Les courbes de clasticité et de fréquence des Miliolidés.*

Les deux courbes sont continues, la première est d'allure uniforme, la seconde désordonnée; d'autre part, les Miliolidés présents ont un diamètre moyen plus petit que celui des organismes précédents et ne portent que de *faibles traces d'usure.* Ces faits indiquent que les Miliolidés ne devaient pas être toujours roulés sur le fond, mais en grande partie transportés *en suspension* dans les courants.

f) *Les courbes de clasticité et de fréquence des Textularidés.*

L'allure uniforme et assez continue des deux courbes, leurs rapports réciproques désordonnés et l'*absence complète de traces d'usure* même quand ces organismes sont présents dans des niveaux où tous les autres débris organiques sont roulés, font penser à un mode de transport uniquement par suspension.

Du reste, dans les niveaux à grosses pseudo-oolithes et conformément à la distribution mécanique déjà signalée, les Textularidés sont absents, emportés par les courants.

g) *La courbe bathymétrique relative.*

La série urgonienne reste limitée au terme le moins profond (CO) de l'échelle bathymétrique définie dans nos précédents exemples. Il y a succession régulière de sept niveaux de grosses pseudo-oolithes correspondant aux périodes de forts courants. En toute rigueur, du fait de l'allochtonie des organismes, il n'est pas possible de démontrer qu'il s'agit de sept variations de profondeur, mais la régularité de leur succession est une forte présomption en faveur de cette interprétation.

Exemple n° 10. **Le Barrémien à faciès urgonien de Salvadon, Nappe de Morcles, Haute-Savoie, France** [12].

Les faits suivants sont mis en évidence:

1° *Apparition de la glauconie détritique en milieu à apport irrégulier;*

2° *Isolement graduel du milieu récifal mis en évidence par le comportement du quartz détritique.*

La coupe de Salvadon (fig. 10) permet de détailler le contact entre l'Hauterivien calcaire et la base un peu marneuse du Barrémien (Drusbergschichten).

a) *Les courbes de clasticité et de fréquence du quartz détritique.*

Les plus fortes valeurs de clasticité et de fréquence sont atteintes à l'extrême sommet de l'Hauterivien où les variations en sens inverse des deux courbes sur quelques mètres témoignent d'un milieu littoral à apport irrégulier. Puis, dès la base du Barrémien, la chute des deux courbes est brutale. Tout en variant dans le même sens, la clasticité et la fréquence diminuent graduellement vers le sommet jusqu'à la disparition du quartz détritique.

b) *Les courbes de clasticité et de fréquence de la glauconie.*

Ce minéral avec habitus détritique fait une très courte apparition au sommet de l'Hauterivien en correspondance avec le maximum de clasticité du quartz détritique. Ses deux courbes ont une allure semblable.

c) *La courbe de fréquence des oxydes de fer.*

Ses variations sont en tous points semblables à celles de la courbe de fréquence du quartz détritique et il y a de même diminution graduelle des apports en fer vers le haut.

d) *Les courbes de clasticité et de fréquence des pseudo-oolithes.*

Ce sont ces deux courbes qui enregistrent le mieux les trois maxima d'intensité des courants décelables dans la coupe. Il est intéressant d'observer que la clasticité et la fréquence (courbe α) des pseudo-oolithes augmentent vers le haut, indiquant un milieu de plus en plus agité et aussi de plus en plus isolé puisque les apports de minéraux clastiques diminuent dans le même sens et finissent par disparaître.

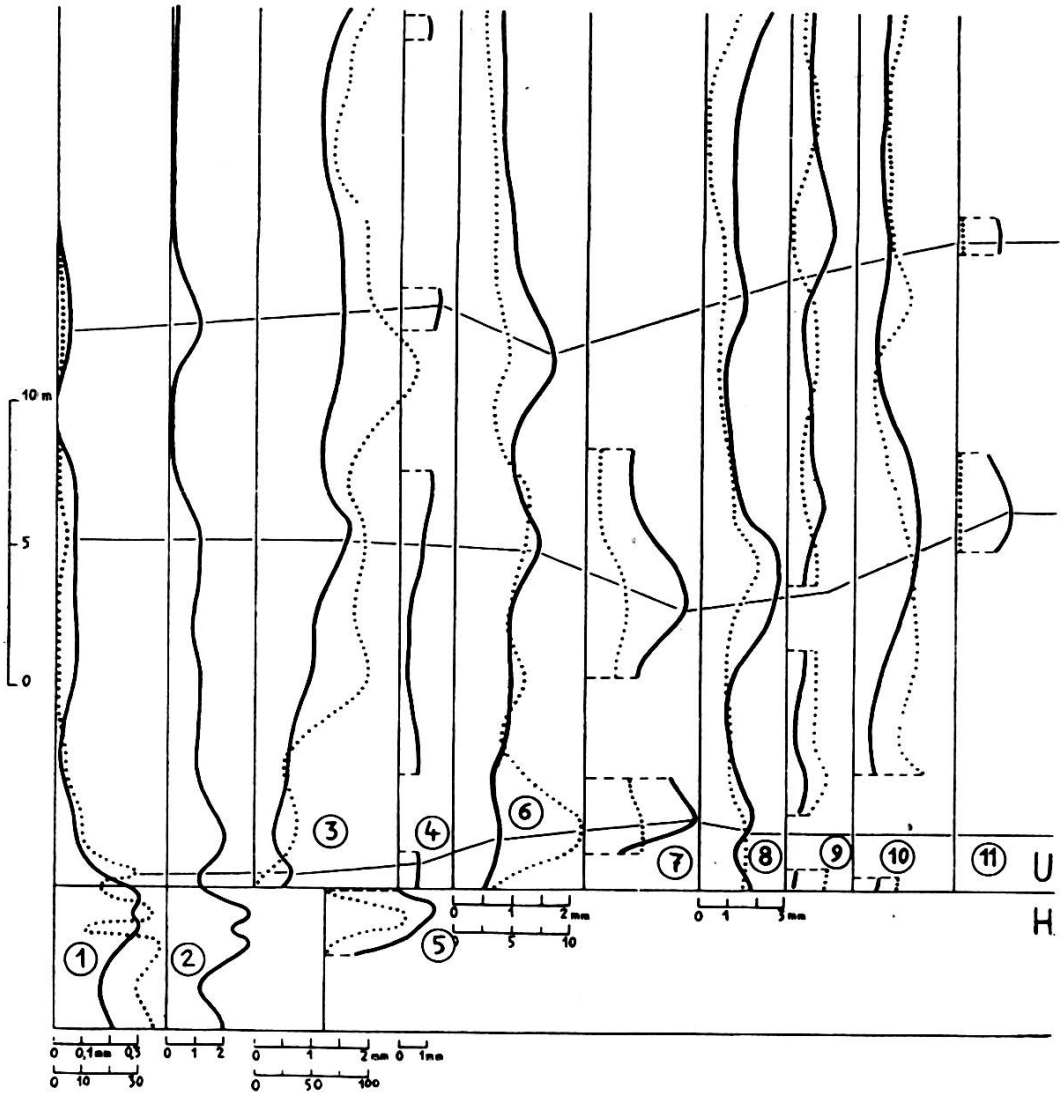

Fig 10.

Les courbes de fréquence sont en pointillé, sauf le n° 2. Les courbes de clasticité sont en trait plein. Les courbes n°s 7, 9, 10 et 11 ont la même échelle que le n° 6, la courbe n° 5 a la même échelle que le n° 1.

Courbes n° 1. *Quartz détritique.*
Courbe n° 2. *Fréquence des oxydes de fer.*
Courbes n° 3. *Pseudo-oolithes*, la fréquence est exprimée par la valeur α.
Courbes n° 4. *Tiges d'algues vertes calcaires.*
Courbes n° 5. *Glauconie détritique.*
Courbes n° 6. *Echinides.*
Courbes n° 7. *Bryozoaires.*
Courbes n° 8. *Tests de Lamellibranches.*
Courbes n° 9. *Textularidés.*
Courbes n° 10. *Miliolidés.*
Courbes n° 11. *Orbitolinidés.*

e) *Les courbes de clasticité et de fréquence des débris de tiges d'algues vertes calcaires, Echinides, Bryozoaires, tests de Lamellibranches et Orbitolinidés.*

Les débris d'Echinides et de tests de Lamellibranches sont omniprésents et leurs variations sont en accord avec celles des pseudo-oolithes. Quant aux tiges d'algues vertes calcaires, Bryozoaires et Orbitolinidés, leur répartition est discontinue et limitée aux niveaux à grosses pseudo-oolithes conformément à la distribution mécanique dont nous avons déjà parlé.

f) *Les courbes de clasticité et de fréquence des Miliolidés.*

Leur étude conduit aux mêmes résultats que ceux de l'exemple précédent, à savoir que l'on est en présence d'un mode de transport mixte par roulement sur le fond et par suspension dans les courants qui se traduit par de fortes irrégularités de fréquence.

g) *Les courbes de clasticité et de fréquence des Textularidés.*

Le transport par suspension de ces organismes donne lieu à des courbes uniformes, mais désordonnées dans leurs rapports réciproques.

h) *La courbe bathymétrique relative.*

Comme nous l'avons déjà montré, il n'est pas possible de la tracer. On note cependant une augmentation graduelle vers le haut de la clasticité des pseudo-oolithes indiquant un accroissement de l'intensité des courants qui s'effectue, du reste, en trois étapes. Il semble s'agir d'une diminution graduelle de la profondeur vers le haut de la série.

Exemple n° 11. **Le Berriasien et le Valanginien schisteux de la Giettaz, Nappe de Morcles, Haute-Savoie, France** [8, 12].

Les faits suivants sont mis en évidence:

1° *Variations en sens inverse des courbes de fréquence des organismes benthiques et pélagiques;*

2° *Evolution en verticale de la faune benthique avec passage des Foraminifères aux Echinodermes et Bryozoaires;*

3° *Disparition graduelle de la faune pélagique par diminution générale de la profondeur.*

Cet ensemble sédimentaire se compose d'une succession de rythmes comprenant les termes suivants:

1. Calcaires compacts (CC);
2. Alternances de calcaires compacts et de marnes (AL);
3. Marnes (M);
4. Calcaires marneux (CM);
5. Calcaires pseudo-oolithiques (CO).

Afin de fixer la position bathymétrique relative de ces différents termes, nous avons établi suivant nos méthodes d'interprétation, différentes courbes (fig. 11).

a) *La courbe de clasticité du quartz détritique.*

Elle montre par ses variations que les indices de clasticité sont les suivants:

1. Calcaires compacts (0,046 mm);
2. Alternances (0,070 mm);
3. Marnes (0,100 mm);
4. Calcaires marneux (absents dans cette coupe);
5. Calcaires pseudo-oolithiques ou spathiques (0,230 mm).

Notons que l'allure générale de la courbe indique une augmentation de la clasticité dès la base du Valanginien schisteux. D'autre part, les alternances se comportent comme un ensemble homogène au point de vue de l'indice de clasticité, ce qui montre que ces fines successions de calcaires compacts et de marnes ne sont pas le résultat de variations de profondeur mais de modifications dans l'équilibre chimique.

b) *La courbe de fréquence du quartz détritique.*

Elle varie dans le même sens que la courbe de l'indice de clasticité, c'est-à-dire que les niveaux ayant les grains de plus gros diamètre en ont aussi le plus grand nombre. Cette analogie

des deux courbes caractérise un apport détritique normal; cependant vers le haut du Valanginien schisteux, la courbe de fréquence amorce une variation en sens inverse que nous verrons se développer dans le Valanginien calcaire et qui témoigne d'un milieu plus littoral à apports détritiques insuffisants ou excessifs.

c) *Les minéraux accessoires (mica, tourmaline).*

Ils sont absents dans le Berriasien et n'apparaissent qu'au Valanginien schisteux au moment de l'augmentation de l'indice de clasticité du quartz détritique.

d) *La courbe de fréquence des oxydes de fer.*

Elle varie dans le même sens que la courbe de fréquence du quartz détritique, témoignant ainsi d'une analogie d'origine et de mode de transport. Il y a une augmentation générale très nette de la teneur en fer vers le haut de la série.

e) *Les minéraux secondaires.*

Le quartz secondaire est systématiquement absent dans les calcaires compacts, mais fréquent dans les alternances et largement répandu dans les marnes et calcaires pseudo-oolithiques ou spathiques. Il paraît donc en liaison avec les apports clastiques et ferrugineux et apporté sous forme de gel colloïdal par les mêmes courants. Les feldspaths secondaires apparaissent uniquement dans les calcaires pseudo-oolithiques et à l'intérieur des éléments.

f) *La fréquence des organismes benthiques.*

Leur nombre n'est pas suffisant pour établir une courbe, cependant on constate que ces organismes (Miliolidés, Textularidés, Bryozoaires et Echinodermes) sont strictement localisés dans les alternances et les marnes à l'exclusion des calcaires compacts. Les Textularidés sont toujours plus fréquents dans les marnes que dans les alternances; dans les calcaires pseudo-oolithiques et spathiques ils cèdent la place aux Bryozoaires, aux Echinodermes et à de gros Foraminifères arénacés.

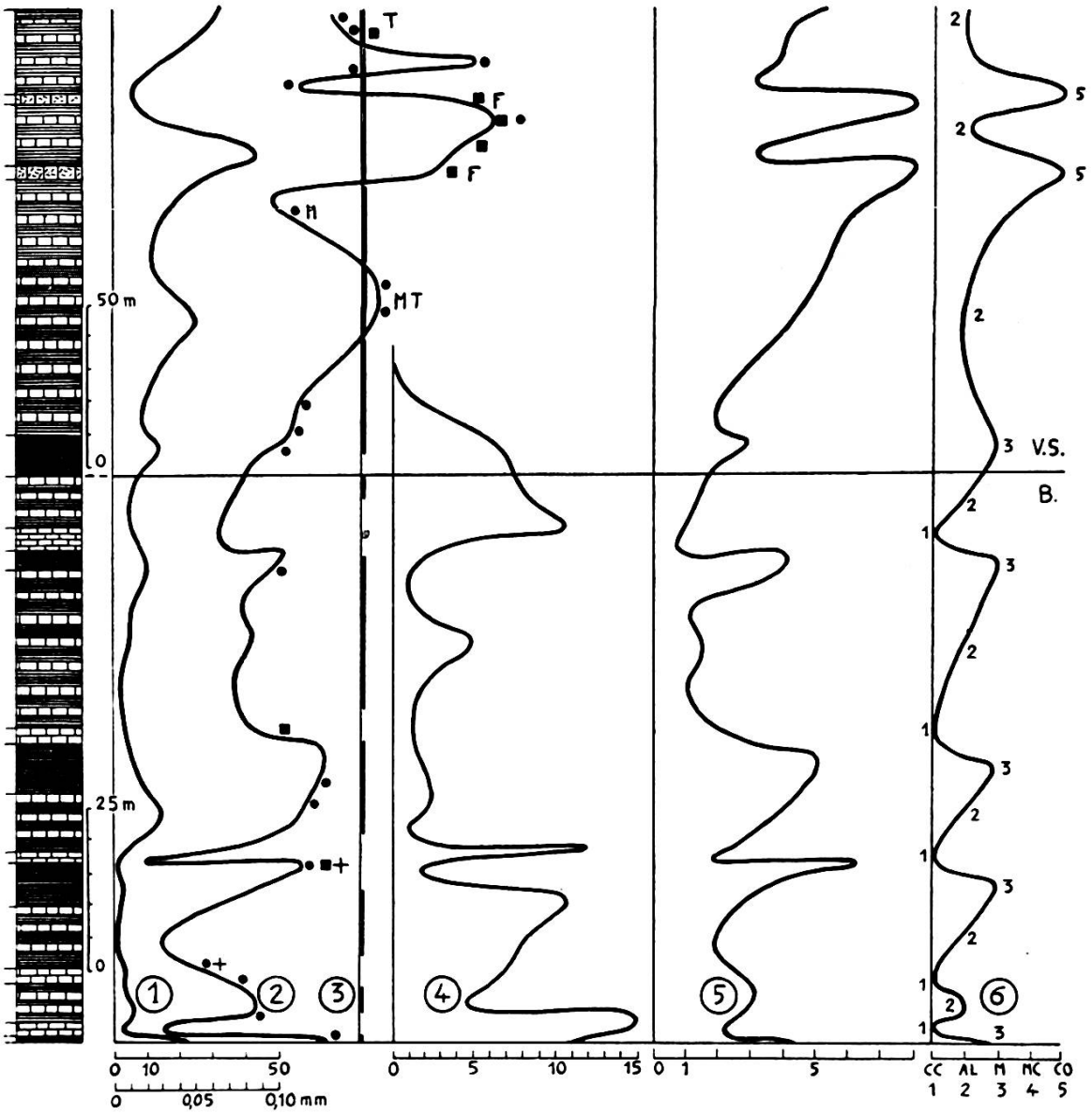

Fig. 11.

Courbe n° 1. *Fréquence du quartz détritique.*

Courbe n° 2. *Diamètre du quartz détritique,* les minéraux accessoires et les organismes benthiques ont été placés en surcharge:

F: Feldspaths authigènes.
M: Mica.
T: Tourmaline.

●: Textularidés.
+: Miliolidés.
■: Echinodermes et Bryozoaires.

Courbe n° 3. *Quartz secondaire,* sa présence est marquée par un trait épais.

Courbe n° 4. *Fréquence des organismes pélagiques.* (Calpionelles.)

Courbe n° 5. *Fréquence des oxydes de fer.*

Courbe n° 6. *Courbe bathymétrique relative.*

g) *La fréquence des organismes pélagiques.*

Ils sont représentés par les Calpionelles dont le grand nombre permet l'établissement d'une courbe de fréquence. Les variations montrent que la plus grande fréquence est réalisée dans les calcaires compacts, qu'elle diminue dans les alternances pour atteindre son minimum dans les marnes. Ces variations se font donc en sens inverse de celles des organismes benthiques et du quartz détritique. Les organismes pélagiques s'éteignent dès la base du Valanginien schisteux et la faune devient dès lors exclusivement benthique.

Conclusions.

Tous les faits nous autorisent à considérer les différents termes sédimentaires comme correspondant à des *profondeurs décroissantes dans l'ordre suivant :*

1. Calcaires compacts;
2. Alternances de calcaires compacts et de marnes;
3. Marnes;
4. Calcaires marneux;
5. Calcaires pseudo-oolithiques ou spathiques.

Leur succession en rythmes sédimentaires résulte de variations de profondeurs consécutives des mouvements du fond marin. La courbe bathymétrique relative que nous avons tracée montre que le Berriasien se compose à la base d'un rythme incomplet à deux termes suivi de quatre rythmes asymétriques à trois termes plus ou moins largement développés. Le passage au Valanginien schisteux se fait par un cinquième rythme asymétrique, puis la profondeur se maintient dans les alternances entrecoupées par deux mouvements brusques correspondant aux bancs de calcaires spathiques.

Exemple n° 12. **Le Cénomanien de l'arête d'Anthémoz, de la combe de Tête-Blanche et de l'arête de Selayre, Nappe de Morcles, Valais, Suisse** [11, 25].

Les faits suivants sont mis en évidence:

1° *Variations en sens inverse de la fréquence des Lagénidés benthiques et de la clasticité du quartz détritique en milieu littoral détritique;*
2° *Augmentation de la fréquence des Lagénidés et chute de la fréquence des prismes d'Inocérames lors du passage de la sédimentation détritique à celle calcaire;*
3° *Variations dans le même sens de la fréquence des prismes d'Inocérames et de la clasticité du quartz détritique;*
4° *Liaison entre les spicules calcifiés de Spongiaires siliceux et la présence de silice secondaire.*

La stratigraphie générale est la suivante de bas en haut:

1. *Albien supérieur* (A): grès glauconieux, glauconites gréseuses ou calcaires glauconieux bréchiformes;
2. *Cénomanien inférieur* (CI): calcaires glauconieux ou glauconites à nodules phosphatés;
3. *Cénomanien supérieur* (CS): calcaires glauconieux gris compacts passant vers le haut à des calcaires sublithographiques;
4. *Sénonien inférieur* (S): calcaires sublithographiques gris.

a) *Les courbes de clasticité et de fréquence du quartz détritique.*

Dans le Cénomanien inférieur littoral, les deux courbes varient en sens inverse, puis dans le même sens dès la chute des deux indices coïncidant avec l'établissement d'une sédimentation calcaire plus profonde.

Les indices de clasticité sont les suivants:

1. Calcaire sublithographique (0,03 mm);
2. Calcaire glauconieux compact (0,10 mm);
3. Calcaire glauconieux gréseux et phosphaté (0,30 mm);

Ce terme peut passer par les variations de fréquence du quartz et de la glauconie à un grès glauconieux ou à une glauconite gréseuse.

b) *Les courbes de clasticité et de fréquence de la glauconie.*

Dans le Cénomanien inférieur, la glauconie possède un habitus microscopique indiquant une *origine autochtone*, dont les caractères sont:

1. Diamètre maximum des grains indépendant de l'indice de clasticité du quartz détritique;
2. Diamètre maximum et fréquence varient dans le même sens;
3. Les deux courbes varient en *sens inverse* de la clasticité du quartz détritique; la synthèse de la glauconie n'est donc pas favorisée en milieu agité ou à forts courants.

Au Cénomanien supérieur, l'augmentation de profondeur ne permet plus la formation de la glauconie autochtone et cette dernière n'apparaît plus qu'à l'état de minéral détritique avec comportement et indice de clasticité semblables à ceux du quartz détritique.

c) *La courbe de fréquence des oxydes de fer.*

Elle varie dans le même sens que la fréquence du quartz détritique, indiquant une identité d'origine et de mode de transport. Si l'on observe dans ce cas une relation avec la glauconie autochtone, elle est purement fortuite et due simplement aux rapports de cette dernière avec la fréquence du quartz.

Si les oxydes de fer ne sont plus d'origine continentale mais proviennent de l'altération *in situ* de la glauconie autochtone, la courbe de fréquence est alors indépendante de celle du quartz et directement liée à celle de la glauconie. (Albien de l'arête d'Anthémoz.)

d) *Les minéraux accessoires et authigènes.*

Les minéraux lourds disparaissent pendant le Cénomanien inférieur et parfois déjà au sommet de l'Albien. Les phosphates

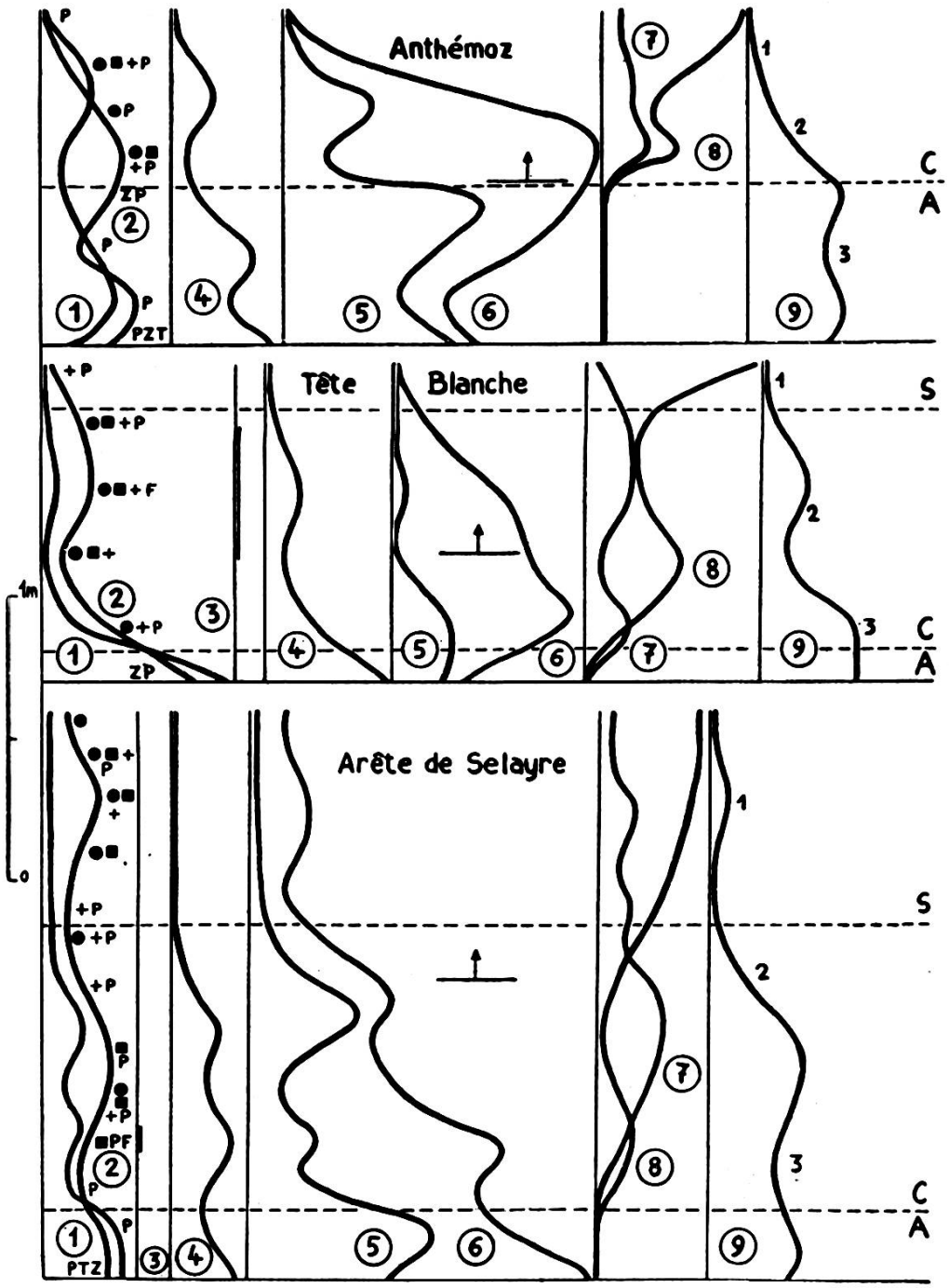

Fig. 12.

Les graduations sont semblables à celles de la figure 6.

Courbe n° 1. *Fréquence du quartz détritique.*

Courbe n° 2. *Diamètre du quartz détritique*, les minéraux accessoires et les organismes benthiques ont été placés en surcharge:

F: Feldspaths authigènes.
P: Phosphates.
T: Tourmaline.
Z: Zircon.

●: Textularidés.
+: Spongiaires.
■: Echinodermes.

Courbe n° 3. *Quartz secondaire*, sa présence est marquée par un trait épais.

Courbe n° 4. *Fréquence des oxydes de fer.*

Courbe n° 5. *Fréquence de la glauconie.*

Courbe n° 6. *Diamètre de la glauconie*, la limite entre la glauconie autochtone de la base et la glauconie détritique du sommet des séries est marquée par un trait horizontal muni d'une flèche.

Courbe n° 7. *Fréquence des prismes d'Inocérames.*

Courbe n° 8. *Fréquence des Lagénidés.*

Courbe n° 9. *Courbe bathymétrique relative.*

sont abondants dans le milieu littoral du Cénomanien inférieur, puis leur importance diminue vers le haut jusqu'à la disparition complète.

La silice secondaire et les feldspaths authigènes caractérisent les calcaires du Cénomanien supérieur, correspondant ainsi à l'augmentation de profondeur et à la fin de la formation de la glauconie autochtone, en d'autres termes à un milieu plus calme. Une liaison entre la silice secondaire et les Spongiaires est aussi apparente.

La pyrite autochtone en cristaux ou pigmentations est en liaison directe avec la fréquence des oxydes de fer de quelque origine qu'ils soient.

e) *Les variations faunistiques.*

La fréquence de la faune essentiellement formée de Foraminifères augmente vers le haut de la série. Les Lagénidés prédominent, *Globotruncana et Globigerinella* sont omniprésentes, ces dernières plus fréquentes à la base, tandis que les *Globigerina* pélagiques caractérisent le sommet.

Les Textularidés et les débris d'Echinodermes se rencontrent presque partout, tandis que les spicules calcifiés de Spongiaires n'apparaissent que lors de la chute des indices de clasticité.

f) *La courbe de fréquence des Lagénidés.*

Le passage du Cénomanien au Sénonien, par approfondissement graduel, fait succéder des calcaires sublithographiques à une sédimentation très détritique. Ce changement de milieu important exerce une grande influence sur la répartition des organismes en faisant augmenter la fréquence des Lagénidés benthiques. Ces derniers apparaissent déjà dans les calcaires gréseux du Cénomanien inférieur, mais leur fréquence varie alors en sens inverse de la clasticité du quartz détritique.

Cette exception à la règle énoncée plus haut montre que les Lagénidés, bien que benthiques, ne peuvent s'accommoder d'un milieu détritique trop agité ou à courants trop violents.

Ce n'est qu'à partir des calcaires glauconieux du Cénomanien supérieur que les Lagénidés trouvent un milieu favorable à

leur développement; dès lors leur fréquence augmente et varie dans le même sens que la clasticité des minéraux détritiques.

h) *La courbe de fréquence des prismes d'Inocérames.*

Le comportement de ces débris est calqué sur celui des minéraux, la courbe varie dans le même sens et diminue parallèlement aux apports clastiques vers le haut de la série. Ces faits confirment l'opinion que ces organismes affectionnent les milieux littoraux détritiques, agités ou à forts courants.

i) *La courbe bathymétrique relative.*

Les faits exposés montrent que la courbe de clasticité du quartz détritique exprime les variations bathymétriques, à savoir que la profondeur augmente de la base au sommet de la série.

Exemple n° 13. **Le Crétacé supérieur de Vormy, Nappe de Morcles, Haute-Savoie, France** [23].

Les faits suivants sont mis en évidence:

1° *Variations en sens inverse des courbes de fréquence des organismes benthiques et pélagiques;*
2° *Passage en verticale de la faune benthique à la faune pélagique.*

Il s'agit d'une série compréhensive de calcaires blancs ou verdâtres avec des intercalations marneuses, épaisse de 104 m environ (fig. 13). Les minéraux détritiques sont peu importants. Le quartz est rare et en grains très petits (moyenne: 0,054 mm). Les courbes de clasticité et de fréquence montrent une diminution générale assez régulière de leurs valeurs jusqu'au milieu du Turonien, puis une légère augmentation suivie d'une stabilisation presque complète.

La glauconie n'a été observée qu'à la base et vers le sommet de la formation, tandis que le mica fait une brève apparition dans le Santonien. La distribution trop discontinue de ces deux minéraux ne permet d'en tirer aucune conclusion.

Cette coupe met en évidence avec grande netteté les variations en sens inverse des courbes de fréquence des organismes benthiques *(Lagena)* et pélagiques *(Gümbelina)*, l'exclusion dans l'espace et dans le temps de ces deux formes est significative quant à leur mode de vie.

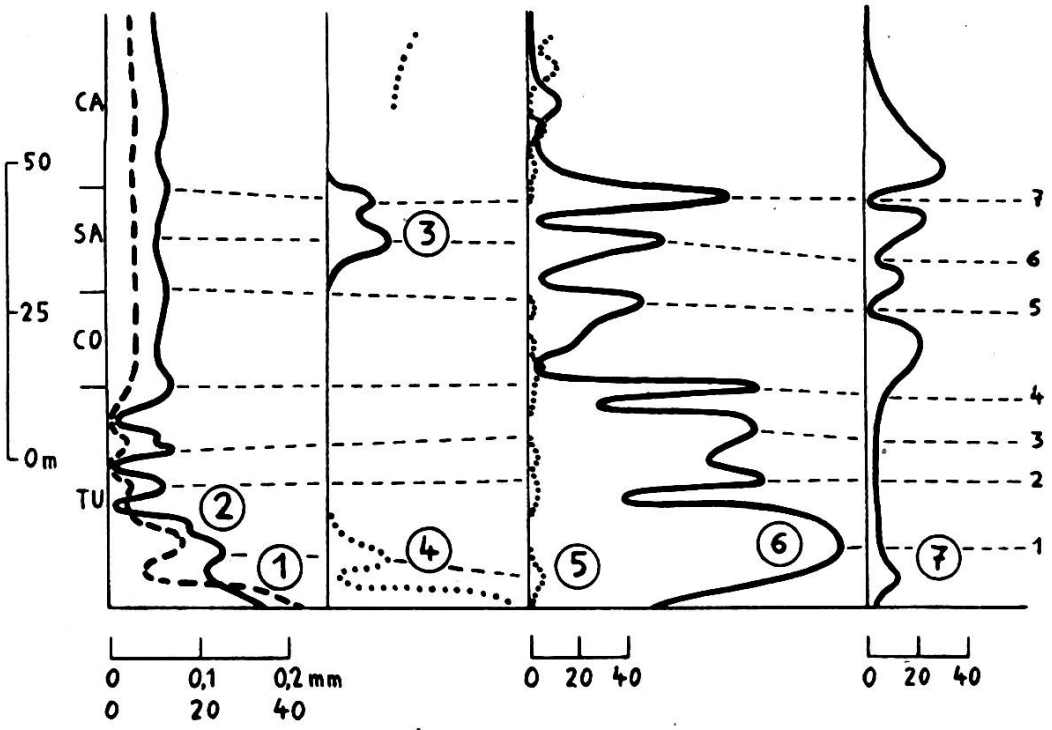

Fig. 13.

Courbe n° 1. *Fréquence du quartz détritique.*
Courbe n° 2. *Diamètre du quartz détritique.*
Courbe n° 3. *Diamètre du mica détritique* (même échelle que pour le quartz).
Courbe n° 4. *Diamètre de la glauconie détritique* (même échelle que pour le quartz).
Courbe n° 5. *Fréquence des prismes d'Inocérames.*
Courbe n° 6. *Fréquence des organismes benthiques.* (Lagena.)
Courbe n° 7. *Fréquence des organismes pélagiques.* (Gümbelina.)

Les étages sont abrégés comme suit:
TU: Turonien, CO: Coniacien, SA: Santonien, CA: Campanien.

D'autre part, en verticale la fréquence générale de la faune benthique diminue et celle de la faune pélagique augmente. Il y a donc passage de l'une à l'autre vers le haut parallèlement à l'augmentation générale de profondeur mise en évidence par la chute de clasticité du quartz détritique.

La courbe de fréquence des prismes d'Inocérames paraît assez désordonnée et n'exprime rien de clair.

La comparaison des différentes courbes permet d'identifier sept soulèvements du fond marin. Les trois premiers se placent dans le Turonien, le quartz et la fréquence élevée des *Lagena* y sont particulièrement sensibles, tandis que les *Gümbelina* présentes en petit nombre ne sont pas affectées.

Les autres mouvements, exception faite du n° 6, se placent aux différentes limites d'étage. A ce propos, précisons que ces limites nous ont été fournies de façon indépendante et purement paléontologique par les associations des différentes espèces de *Globotruncana*. (*Cf.* exemple n° 4.)

Le quartz est à peine sensible à ces oscillations en mer assez profonde, mais les organismes pélagiques, de plus en plus prépondérants, les enregistrent avec netteté ainsi du reste que les *Lagena* en voie de disparition.

Université de Genève.
Institut de Géologie.

BIBLIOGRAPHIE

1. ALEXANDER, A. E., « A petrographic and petrologic study of some continental shelf sediments », *Journ. Sedim. Petr.*, *4*, 12, 1934.
2. CAROZZI, A., « Etude stratigraphique et micrographique du Purbeckien du Jura suisse », *Archives des Sciences*, *1*, 211, 1948, thèse n° 1122, Genève.
3. —— « Les relations entre la tectonique et la sédimentation en milieu épicontinental calcaire », *Idem*, *1*, 498, 1948.
4. —— « Rapports entre microfaune benthique et microfaune pélagique », *Ibidem*, *2*, 169, 1949.
5. —— *Essai de géologie dynamique en milieu calcaire épicontinental.* Prix Davy 1949 de la Faculté des Sciences de l'Université de Genève (manuscrit inédit).
6. —— « Interprétation des séries sédimentaires. Le Crétacé supérieur de Châtelard-en-Bauges (Savoie). *Archives des Sciences*, *2*, 171, 1948.
7. —— « Sur une particularité des calcaires pseudo-oolithiques de l'Urgonien (Nappe de Morcles) », *Idem*, *2*, 348, 1949.
8. —— « Interprétation des séries sédimentaires. Le Berriasien et le Valanginien schisteux de la Giettaz (Nappe de Morcles-Aravis) », *Ibidem*, *2*, 350, 1949.
9. —— « Interprétation des séries sédimentaires. Le Valanginien calcaire et l'Hauterivien de Pas-de-Sales (Nappe de Morcles-Aravis), *Ibidem*, *2*, 354, 1949.
10. —— « Interprétation des séries sédimentaires. Le Valanginien calcaire et l'Hauterivien de la Pointe des Avaudrues (Nappe de Morcles-Aravis », *Ibidem*, *2*, 359, 1949.

11. Carozzi, A., « Interprétation des séries sédimentaires. Le Cénomaniende la Nappe de Morcles dans les Dents-Blanches de Champéry et les Dents du Midi », *Ibidem*, *2*, 544, 1949.
12. Coaz, A., « Sur le Néocomien de la Nappe de Morcles-Aravis », *Ecl. Geol. Helv.*, *25*, 331, 1932. Thèse nº 925, Genève.
13. Collet, L.-W. et Ed. Paréjas, « Résultats de l'expédition géologique de l'Université de Harvard dans les Montagnes Rocheuses du Canada (Jasper National Park, 1929). Note nº 4. La coupe de Mural Glacier et le chevauchement du Mumm Peak (Alberta) », *C. R. Soc. Phys. et Hist. nat.*, *49*, 36, 1932.
14. Galliher, E. W., « Geology of Glauconite », *Bull. Am. Assoc. Petr. Geol.*, *19*, 1569, 1935.
15. —— « Glauconite genesis », *Bull. Soc. Geol. Am.*, *46*, 1351, 1935
16. Jayet, Ad., « Etude stratigraphique de la Perte du Rhône près. de Bellegarde (Ain, France), *Ecl. Geol. Helv.*, *20*, 159, 1926.
17. Lombard, Aug., « Critères descriptifs et critères génétiques dans l'étude des roches sédimentaires », *Bull. Soc. Belge Géol.*, *58*, 214, 1949.
18. Moret, L., « Géologie du Massif des Bornes et des Klippes préalpines des Annes et de Sulens », *Mém. Soc. géol. Fr. N. S.*, *22*, 1934.
19. Paréjas, Ed., « Résultats de l'expédition géologique de l'Université de Harvard dans les Montagnes Rocheuses du Canada (Jasper National Park, 1929). Note nº 3. Sur le Trias de la vallée de l'Athabaska », *C. R. Soc. Phys. et Hist. nat.*, *48*, 60, 1931.
20. —— et A. Carozzi, « Résultats de l'expédition géologique de l'Université de Harvard dans les Montagnes Rocheuses du Canada (Jasper National Park, 1929). Note nº 9. La sédimentation du Cambrien supérieur de Mural Glacier », *Archives des Sciences*, *2*, 562, 1949.
21. —— et A. Carozzi, « Résultats de l'expédition géologique de l'Université de Harvard dans les Montagnes Rocheuses du Canada (Jasper National Park, 1929). Note nº 10. La sédimentation du Trias de Fiddle River », *Idem*, *2*, 567, 1949.
22. —— et A. Lillie, « Données micrographiques sur le Crétacé supérieur de Châtelard-en-Bauges (Savoie) », *C. R. Soc. Phys. et Hist. nat.*, *52*, 272, 1935.
23. ——et A. Lillie, « Données micrographiques sur le Crétacé supérieur de Vormy (Aravis, Haute-Savoie) », *Idem*, *52*, 275, 1935.
24. Tokay, M., *Micrographie du Crétacé supérieur de la Nappe de Morcles entre le col de Bretolet et le Pas-de-Cheville*, thèse nº 1083, Genève, 1948.
25. Tolun, N., *Etude stratigraphique du Cénomanien de la Nappe de Morcles*, thèse nº 1073, Genève, 1948.
26. Vuagnat, M., « Granulométrie réelle et granulométrie apparente », *Archives des Sciences*, *2*, 423, 1949.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION 17

CHAPITRE PREMIER: *Les minéraux détritiques* 20

A. L'indice de clasticité 20
B. L'indice de fréquence 22
C. Rapports entre l'indice de clasticité et l'indice de fréquence d'un même minéral 23

Exemple n° 1. Le Valanginien calcaire et l'Hauterivien de Pas-de-Sales, Nappe de Morcles, Haute-Savoie, France 27
Exemple n° 2. Le Cambrien supérieur de Mural Glacier, Montagnes Rocheuses du Canada, Jasper National Park 32
Exemple n° 3. Le Trias de Fiddle River, Montagnes Rocheuses du Canada, Jasper National Park . . . 36
Exemple n° 4. Le Crétacé supérieur de Châtelard-en-Bauges, Autochtone, Savoie, France 95
Exemple n° 5. L'Aptien de la Perte du Rhône, Ain, France 100

CHAPITRE 2: *Les minéraux authigènes* 104

A. La glauconie 104
B. La silice 106
C. Les feldspaths 106
D. Le phosphate de chaux 107
E. Le fer 107

Exemple n° 6. Le Cénomanien du col de Bossetan, du col de Bretolet et du chalet de Berroy, Nappe de Morcles, Valais, Suisse 108
Exemple n° 7. L'Albien de la Perte du Rhône, Ain, France 111

CHAPITRE 3: *Les organismes* 116

Exemple n° 8. Le Valanginien calcaire et l'Hauterivien de la Pointe des Avaudrues, Nappe de Morcles, Haute-Savoie, France 120
Exemple n° 9. Le Barrémien à faciès Urgonien de Pas-de-Sales, Nappe de Morcles, Haute-Savoie, France 124
Exemple n° 10. Le Barrémien à faciès Urgonien de Salvadon, Nappe de Morcles, Haute-Savoie, France 129
Exemple n° 11. Le Berriasien et le Valanginien schisteux de La Giettaz, Nappe de Morcles, Haute-Savoie, France 132

Exemple n° 12. Le Cénomanien de l'arête d'Anthémoz, de la combe de la Tête-Blanche et de l'arête de Selayre, Nappe de Morcles, Valais, Suisse . . 137
Exemple n° 13. Le Crétacé supérieur de Vormy, Nappe de Morcles, Haute-Savoie, France 141

BIBLIOGRAPHIE 143