

Contribution  
à l'étude micrographique  
de l'Albien  
de la région de Genève

par

Albert CAROZZI

(avec 6 figures).

Tirage part du  
Bulletin de l'Institut National Genévois  
Tome LV  
1951

# Contribution à l'étude micrographique de l'Albien de la région de Genève

par  
Albert CAROZZI  
(avec 6 figures)

## INTRODUCTION

Dans la région de Genève, la sédimentation récifale de l'Urgonien fait place, dès l'Aptien supérieur, à un régime de plus en plus détritique qui atteindra son développement maximum pendant l'Albien.

Dans cet étage, deux faciès principaux ont été distingués dont la limite passe entre la Montagne de Veyrier et le Parmelan (fig. 1) :

- Le faciès vert clair*, grossier, souvent pauvre en fossiles domine dans la région située à l'W et au S du lac d'Annecy, les Bauges, le Salève (Montagne de la Bâtie) et le Jura (Cluse du Fier, Perte-du-Rhône, Chésery).
- Le faciès noir*, plus glauconieux, fossilifère et phosphaté, caractérise les Bornes à l'E du lac d'Annecy et les Aravis.

Ed. Parcjas (13)<sup>1</sup> a mis en évidence de façon admirable les caractéristiques des grès verts en montrant qu'ils représentent une véritable *mollasse albienne* dont les matériaux proviennent de l'érosion du massif cristallin de Belledonne, pli de fond soulevé par la phase vorgosau du plissement alpin.

Ces conditions paléogéographiques particulières nous ont incité à reprendre l'étude micrographique détaillée de quelques

<sup>1</sup> Les chiffres entre crochets renvoient à la liste bibliographique en fin d'ouvrage.

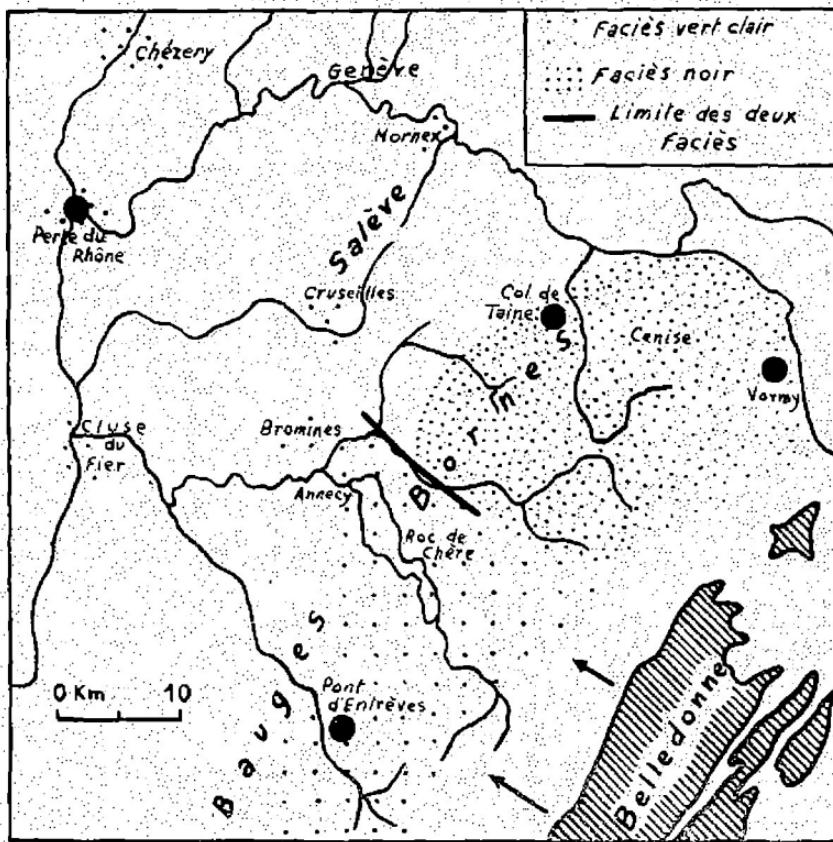


Fig. 1.  
Distribution des faciès de l'Albien  
(d'après E. Paréjas (13) modifié)

L'hydrographie actuelle n'a été dessinée que pour aider au repérage des localités citées. Les flèches indiquent la direction générale des apports détritiques.

coups stratigraphiques, en partie inédites, levées par A. Jayet (1, 9, 10) à qui vont tous nos remerciements pour l'amabilité avec laquelle il a mis ses observations et son matériel à notre disposition. Nous ne saurions oublier M. le professeur Ed. Paréjas qui a bien voulu nous faire part de son expérience et de sa vaste connaissance de la géologie du Pays de Genève.

## CHAPITRE I

### MÉTHODE D'ÉTUDE

Ce travail constitue un nouvel exemple d'application de notre méthode d'étude et d'interprétation des roches sédimentaires (2) dont nous allons brièvement rappeler les caractères. Au point de vue descriptif, toute roche sédimentaire se compose de trois éléments : *les minéraux*, *les organismes* et *le ciment* qui donne de la cohérence à l'ensemble.

Les minéraux sont deux types distincts, les uns *d'origine détritique*, indicateurs de courants, les autres *d'origine authigène*, indicateurs du chimisme du milieu de sédimentation. Mais, aucun des deux types ne peut fournir, à lui seul ou combiné avec l'autre, des indications d'ordre bathymétrique. Les organismes pélagiques ou benthiques, sensibles aux variations physico-chimiques du milieu, sont les seuls indicateurs de profondeur susceptibles de donner une signification bathymétrique aux renseignements fournis par les minéraux. Tous les critères de clasticité et de fréquence doivent être interprétés à la lumière des observations faunistiques.

Après l'étude des minéraux et des organismes, il est possible de compléter les indications données par le ciment et de tenter l'interprétation du mode de formation et de la position paléogéographique du sédiment. Cette dernière se fait au moyen d'une « *courbe bathymétrique relative* ». Elle a pour base une succession de termes lithologiques disposés par ordre décroissant de profondeur relative. Cet ordre est défini en combinant de façon logique les observations faunistiques et minérales. La courbe obtenue montre les variations de profondeur au cours du temps et définit la position paléogéographique réciproque des divers sédiments de la série à l'étude.

#### Les minéraux détritiques

##### A) *L'indice de clasticité.*

L'étude des minéraux détritiques ou de tout débris organique et inorganique se comportant comme tel se fait en premier lieu par la mesure des variations du *diamètre maximum des grains*. Ce dernier est fonction directe de la puissance des agents

de transport, et ainsi un indicateur précieux de la distribution et de l'intensité des courants marins.

Le diamètre maximum *apparent* du plus gros élément détritique visible en coupe mince mesure l'indice de clasticité du niveau étudié. Il y a bien entendu un indice pour chaque minéral détritique. Quoiqu'il s'agisse de la mesure 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 l'expression des conditions naturelles. La mesure du diamètre moyen des grains conduit à des résultats semblables à ceux obtenus par la mesure du diamètre maximum, mais les variations des courbes sont fortement atténuées. Nous avons toujours effectué les deux mesures afin de corriger certaines aberrations de la courbe du diamètre maximum.

Ces anomalies proviennent en général de la présence d'un gros élément n'exprimant pas de ce fait les conditions réelles du milieu de sédimentation. Il est aisé dès lors de tracer la courbe de variation verticale de l'indice de clasticité des différents minéraux détritiques. La construction des courbes exige comme condition absolue un échantillonnage aussi serré que possible. Il doit être de l'ordre du décimètre pour les séries comprises et de un ou plusieurs échantillons au minimum par niveau lithologique suivant son épaisseur dans les séries rythmiques ; faute de quoi l'interprétation se trouve compromise.

Les courbes des indices de clasticité expriment les variations dans le temps de la puissance des agents de transport, sans qu'il soit possible en l'absence des indications fournies par les organismes, d'en déduire les variations de profondeur ou de distance à la côte. Le comportement réciproque des courbes de clasticité des divers minéraux permet d'affirmer que dans les grandes lignes les variations sont concordantes. Certes, des anomalies se marquent parfois par des avances ou des retards de certaines courbes par rapport à d'autres. Ces anomalies semblent le fait principalement des différences de densité et d'habitus minéralogique.

Dans les séries détritiques très riches en minéraux, ces derniers peuvent avoir des origines multiples. L'étude minutieuse de leur comportement permet de déterminer l'allure des

courants distributeurs et de préciser la nature et la position des roches-mères.

B) *L'indice de fréquence.*

Le second mode d'étude des minéraux détritiques est la détermination de la fréquence, c'est-à-dire du nombre de grains d'une espèce minérale donnée présents dans un volume donné d'un niveau, ceci indépendamment de toute notion de clasticité. Les mesures de fréquence indiquent la charge des courants et complètent les renseignements fournis par l'indice de clasticité.

En pratique, cela revient à compter le nombre de grains rencontrés sur un diamètre ou une surface selon une convention quelconque, préalablement bien définie.

Cette méthode quantitative est d'un emploi fastidieux, mais elle possède l'avantage de donner une expression fidèle de la réalité sans trop dépendre de facteurs personnels. Dans certains cas, où une détermination de fréquence relative suffit, nous avons utilisé une méthode descriptive exprimée par les termes suivants : très nombreux (TN), nombreux (N), peu nombreux (PN), rares (R), très rares (TR), absents (O).

Pour les particules sub-microscopiques, telles que les flocons d'argile ou de fer colloïdal, la mesure des indices de clasticité et de fréquence est impossible à effectuer. Cependant la fréquence relative peut être exprimée par un artifice. On établit une série-standard de coupes minces donnant, pour le fer par exemple, une échelle de fréquence arbitrairement subdivisée en 10 degrés. La détermination s'effectue par comparaison directe et suffit largement pour les besoins de l'étude. L'expression graphique se fait sous forme de courbes ou de traits dont l'épaisseur est proportionnelle à la fréquence.

C) *Rapports entre l'indice de clasticité et l'indice de fréquence d'un même minéral.*

1. *Les minéraux en grains*

Nous entendons par ce terme les particules minérales de forme plus ou moins sphérique, telles que les grains de quartz par opposition aux particules en paillettes dont le comportement particulier sera examiné en second lieu.

Le comportement réciproque des deux indices montre

d'abord des variations à petite échelle ou « *micro-variations* », qui ont l'ordre de grandeur de l'épaisseur d'un niveau ou au-dessous et exprimant l'évolution locale et temporaire des apports détritiques.

On note ensuite des variations à grande échelle ou « *macro-variations* » ayant l'ordre de grandeur de l'épaisseur d'un étage et au-dessus et qui expriment l'évolution générale des apports clastiques au cours du temps.

Les variations à petite échelle s'intègrent dans les macro-variations dont elles en constituent les détails, bien qu'il y ait indépendance complète entre les deux ordres de phénomènes. Ce genre de comportement n'est pas isolé, il se retrouve dans les rapports liant les rythmes de sédimentation des étages à ceux des périodes géologiques.

a) *Apport détritique régulier.*

Dans ce cas, les variations de puissance des agents de transport locaux ne sont pas capables d'épuiser le stock disponible de particules. En d'autres termes, la distribution dans le bassin de sédimentation ne dépasse pas l'alimentation. Dans de telles conditions, *la clasticité et la fréquence varient dans le même sens*. Cela signifie par exemple que l'augmentation locale de la puissance des courants est accompagnée par un apport supplémentaire de particules.

Parfois la clasticité varie et la fréquence ne varie pas. Il s'agit alors d'un changement tout à fait local de la puissance des courants sans apport supplémentaire de particules, les zones distributrices de ces dernières n'ayant pas été affectées par la perturbation.

En revanche, l'effet de perturbations lointaines ou de modifications de la charge des courants sans variation locale de leur puissance donne lieu à des oscillations de fréquence tandis que la clasticité n'est pas touchée.

b) *Apport détritique irrégulier.*

Dans ces conditions, les variations de puissance des agents de transport locaux épuisent le stock disponible de particules ou sont incapables de le distribuer. Il en résulte des *variations typiques en sens inverse de la clasticité et de la fréquence*. C'est

en premier le cas des niveaux où l'on rencontre de très rares grains mais de grand diamètre. Il s'agit du résultat d'une augmentation locale de la puissance des courants qui dans un faible stock de particules ont emporté les plus petites en ne laissant subsister localement que les grosses puisque la continuité de l'alimentation fait défaut. Ce phénomène se produit lorsque la charge est très faible par rapport à la capacité de l'agent, conséquence naturelle d'un apport insuffisant.

Le cas inverse est réalisé par les niveaux riches en grains de petit diamètre exprimant une charge excessive pour une faible capacité des courants.

Pour l'instant rien ne permet de savoir quelle est la position paléogéographique des milieux à apport régulier ou irrégulier. On peut cependant anticiper sur les résultats fournis par l'étude des organismes, en disant que les apports irréguliers caractérisent les zones littorales et peu profondes, tandis que les apports réguliers sont spécifiques des milieux plus profonds hors d'atteinte des actions côtières.

Ces deux types d'apports expriment les conditions de sédimentation régnant en un point donné et pendant une durée assez courte. Ils constituent les micro-variations qui s'intègrent dans le cadre des grandes courbes de clasticité et de fréquence. Ces dernières sont sujettes aux mêmes types de variations, mais de façon indépendante et à une échelle supérieure. Elles expriment l'évolution générale de l'alimentation en particules détritiques. Cette évolution directement liée aux phases d'érosion continentale, manifeste bien son indépendance vis-à-vis des phénomènes pouvant se produire dans le bassin de sédimentation.

## 2. *Les minéraux en paillettes*

Dans la plupart des cas, leur clasticité est plus grande que celle des autres minéraux en grains avec lesquels ils sont associés. Cela provient du fait que les paillettes à grande surface par rapport à celle des grains plus sphériques, flottent dans les courants et vont se déposer avec des grains de taille plus petite.

Souvent les variations de clasticité et de fréquence des paillettes montrent un *retard* par rapport aux variations correspondantes des grains. Les causes de ce retard, variable suivant les

conditions, ne sont pas entièrement élucidées, les différences de densité et l'habitus minéralogique doivent y jouer un rôle.

Lorsque l'apport détritique est régulier, les courbes de clasticité et de fréquence des minéraux en paillettes se comportent, dans les grandes lignes, comme celles des minéraux en grains. Les variations ont cependant *un caractère plus désordonné et plus brusque*. On passe rapidement d'un niveau dépourvu de paillettes à un autre dans lequel clasticité et fréquence atteignent des valeurs élevées. De ce fait la répartition des minéraux en paillettes est souvent discontinue en verticale, mais parfois de légers changements de milieu peuvent être mis en évidence par leur intermédiaire, alors que les minéraux en grains y sont insensibles.

Quand l'apport détritique commence à devenir irrégulier, l'allure des courbes de clasticité et de fréquence n'est pas modifiée, mais la clasticité des paillettes devient inférieure ou égale à celle des grains. En effet, en milieu littoral, les courants renvoient leurs propres dépôts, emportent les grandes paillettes et ne laissent subsister que celles ayant des dimensions voisines ou inférieures aux grains dans les intervalles desquels elles peuvent se loger. Le processus n'est cependant pas encore assez prononcé pour affecter de façon sensible la courbe de fréquence des paillettes, seule la courbe de clasticité l'enregistre.

Le phénomène précédent s'accentue lorsque les apports sont très irréguliers. Le lessivage des grandes particules devient plus intense à mesure que l'intensité des courants augmente. La courbe de fréquence est dès lors affectée et l'on constate ainsi, lors d'une augmentation de l'intensité des courants, *une chute simultanée de la fréquence et de la clasticité*. Ce comportement est inverse de celui des minéraux en grains qui, dans les mêmes conditions, montrent une augmentation de la clasticité et une chute de la fréquence dues au fait que les petites particules sont emportées.

### 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 un premier cas, les deux courbes varient dans le même de clasticité, mais seulement de *diamètre maximum des grains*; les mesures de fréquence ne subissent en revanche aucune modification. Les grains de glauconie formée 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, d'autant plus que la courbe de fréquence de la biotite résiduelle non altérée s'oppose à celle de la glauconie authigène (3).

L'examen microscopique permet de distinguer les différentes phases du processus tel qu'il a été mis en évidence par E. W. Galliher (7,8) dans les sédiments actuels de la baie de Monterey en Californie.

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'épigénération, et chute brusque du diamètre des grains qui prend une valeur voisine, ou légèrement supérieure à l'indice de clasticité des autres minéraux détritiques.

### B) *Le phosphate de chaux.*

Il est représenté par des imprégnations du ciment, des grains et des galets. Les grains, incolores ou de teinte gris-jaunâtre à brun foncé sont formés de phosphate de chaux à peu près pur, leurs contours sont en général anguleux ; il s'agit d'une formation « *in situ* ». En revanche, les galets sont constitués par des fragments de grès phosphatés hétérogènes, riches en glauconie et en pyrite, les contours extérieurs sont irréguliers ou parfois nettement arrondis, ce sont des produits de phénomènes de remaniement.

Dans la plupart des cas, les courbes de diamètre maximum et de fréquence des éléments phosphatés suivent les mêmes lois que les minéraux clastiques, mais le caractère des variations est plus brutal ; les gros galets de grès phosphatés succèdent brusquement à de minuscules grains anguleux.

Lorsque les grains formés « *in situ* » prédominent, la courbe de diamètre maximum devient plus désordonnée, la courbe de fréquence suit alors un comportement tout à fait indépendant, fonction de la richesse en organismes des niveaux. Ce fait met

en évidence la liaison étroite entre le phosphate de chaux et les hécatombes d'organismes, conséquences directes des ruptures d'équilibre en milieu marin. Le comportement des deux courbes montre que l'on est en présence d'une formation autochtone ayant subi une ébauche de classement mécanique analogue à celle décrite pour la glauconie.

Excepté le cas des imprégnations, nous n'avons pas trouvé, dans les coupes décrites, d'éléments phosphatés absolument autochtones pour lesquels les courbes de diamètre maximum et de fréquence varieraient parallèlement entre elles et en accord avec les variations de la richesse de la faune.

### C) *Le fer.*

La pyrite est le minéral 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.

### 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 prématué 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 de deux premières catégories met en évidence une liaison entre les faunes benthiques et la plasticité des minéraux détritiques ainsi qu'une exclusion réciproque des deux types de faune 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.

C'est précisément le cas de l'Albien de l'Autochtone et de la Nappe de Morcles, objet de cette étude qui est caractérisé par une sédimentation détritique abondante et une très grande instabilité tectonique. Dans un tel milieu où la microfaune est presque exclusivement benthique, les oscillations du fond sont enregistrées par des associations d'espèces benthiques différentes, ou si la composition faunistique est uniforme, par des variations de sa fréquence. Cependant, dans certains cas, les apports détritiques sont si excessifs et l'agitation des eaux si violente que le milieu devient défavorable pour les foraminifères benthiques, dont les courbes de fréquence varient alors de façon anormale en sens inverse de la clasticité minérale.

Localement, ce phénomène peut aboutir à la disparition complète de la faune benthique pour l'ensemble de l'étage. De même, la faune pélagique accidentelle du reste dans ce domaine, montre à son tour des anomalies de comportement dues aux courants qui transportent de façon passive les tests pélagiques flottés et les accumulent en milieu littoral où ils se mêlent à la faune benthique. En l'absence de cette dernière, ils constituent à eux seuls la faune des faciès littoraux, mais la fragmentation, l'usure et la déformation des tests témoignent de leur allochtonie.

### NOTE IMPORTANTE

Pour toutes les figures :

1. La fréquence des minéraux et des organismes est définie par le nombre de grains ou d'individus rencontrés sur un diamètre de 18,2 mm uniforme pour chaque préparation, ou par une échelle relative comprenant les termes suivants :

O : absence

PN : peu nombreux

TR : très rare

N : nombreux

R : rare

TN : très nombreux

2. La fréquence du fer est exprimée par des degrés d'importance allant de 0 à 10.
3. Dans la courbe bathymétrique relative, les profondeurs sont décroissantes de gauche à droite et les chiffres correspondent aux différents termes des rythmes sédimentaires.
4. Les désignations des faciès dessinés dans la colonne stratigraphique placée à gauche des diagrammes sont donnés par les chiffres qui leur font face horizontalement en surcharge le long de la courbe bathymétrique relative.

## CHAPITRE II

### LE FACIÈS VERT CLAIR

#### 1. Coupe du Pont d'Entrèves (Bauges), Autochtone, Savoie, France.

Cette coupe met en évidence des conditions de sédimentation assez particulières. L'Aptien supérieur et l'Albien non différenciables, épais de 4,50 m. reposent sur la surface supérieure des calcaires récifaux à faciès urgonien, rubéfiés et criblés de perforations de mollusques lithophages.

Au-dessus d'une pseudo-brèche calcaire et phosphatée représentant le sommet de l'Albien, le faciès change brusquement et devient très détritique. Il s'agit sans doute de la base du Cénomanien entièrement envahie par les apports clastiques ; en l'absence de toute trace organique, on ne peut en dire plus. La succession lithologique est la suivante de haut en bas (fig. 2) :

10. Grès-quartzite glauconieux et micacé, vert ou roux, plus ou moins grossier.
9. Grès glauconieux et micacé à ciment quartzzeux.
8. Grès glauconieux et micacé à ciment calcaire.
7. Grès glauconieux et micacé à ciment calcaire et empreintes cylindriques.
6. Pseudo-brèche calcaire, gréseuse, glauconieuse et phosphatée. La partie supérieure contient de gros grains de quartz (diam.  $> 5$  mm.). *Mortoniceras inflatum*, *Hysteroceras varicosum*, *Scaphites Hugardi*. (Albien supérieur).
5. Calcaire gris microbréchique et gréseux à entroques.
4. Calcaire gris microbréchique et gréseux à entroques.
3. Marno-calcaire microbréchique glauconieux et zoogène.

2. Partie terminale des calcaires récifaux à faciès urgonien, rubéfaction violacée et perforations de mollusques lithophages.
1. Calcaire récifal blanc et crayeux à faciès urgonien, pseudo-oolithique et gréseux.

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

Les indices de clasticité par ordre croissant sont les suivants :

1. Calcaire pseudo-oolithique griséux (CO) . . . . .	0,19 mm
2. Marno-calcaire microbréchique (MC) . . . . .	0,26 mm
3. Calcaire microbréchique zoogène (CB) . . . . .	0,30 mm
4. Grès glauconieux à ciment calcaire (GG) . . . . .	0,75 mm
5. Pseudo-brèche calcaire, griseuse glauconieuse et phosphatée (PBP) . . . . .	2,30 mm (> 5 mm au sommet)

Dans la première partie essentiellement calcaire (niveau 1 à 6), les deux courbes varient parallèlement et la clasticité après une légère oscillation, augmente rapidement vers le haut. L'arrivée brusque du faciès gréseux se traduit par une chute de clasticité et une augmentation de fréquence. Dès lors les deux courbes vont varier en sens inverse témoignant d'un milieu aux apports clastiques abondants, mais irréguliers. Le phénomène s'amorce dans la pseudo-brèche phosphatée où la courbe de fréquence ne suit déjà plus l'augmentation brusque de la clasticité.

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

La glauconie montre dans toute la série un mélange de grains d'origine autochtone et d'origine détritique avec prédominance temporaire de l'une ou l'autre des variétés. La variété autochtone, qui du reste épigénise fortement les débris organiques, prédomine dans les niveaux 3 à 5. Il en résulte une variation parallèle des deux courbes, mais en sens inverse de la clasticité du quartz détritique, ce qui est toujours le cas dans ces conditions.

La glauconie détritique prédomine en revanche dès le niveau 6 et jusqu'au sommet de la série. Les deux courbes suivent alors

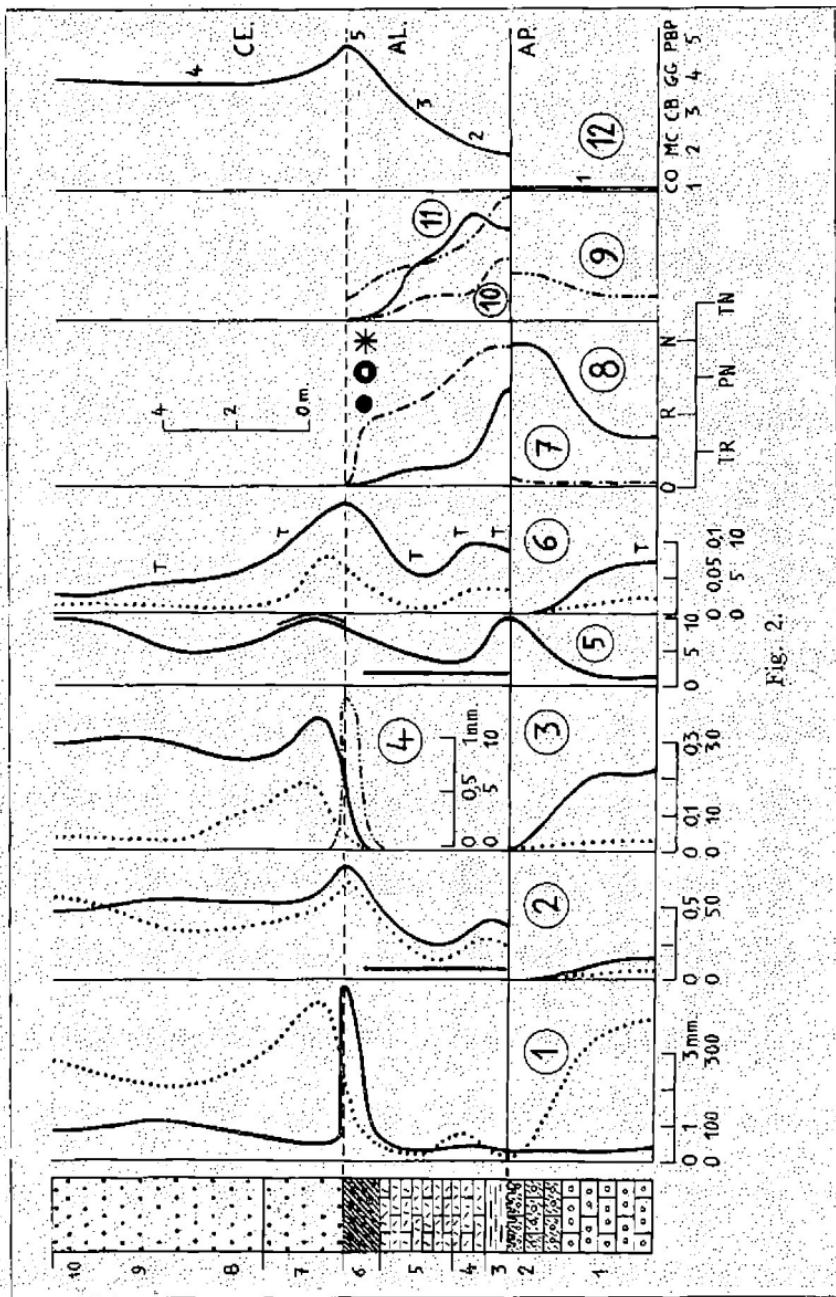


Fig. 2.

celles du quartz détritique, en variant parallèlement encore dans le niveau 6, puis en sens inverse.

Les indices de clasticité par ordre croissant sont les suivants :

- |  |         |
|--|---------|
| 1. Calcaire pseudo-oolithique gréseux (CO) . . .                               | 0,11 mm |
| 2. Marno-calcaire microbréchique (MC) . . . .                                  | 0,26 mm |
| 3. Calcaire microbréchique zoogène (CB) . . . .                                | 0,30 mm |
| 4. Grès glauconieux à ciment calcaire (GG) . . . .                             | 0,50 mm |
| 5. Pseudo-brèche calcaire, gréseuse glauconieuse et phosphatée (PBP) . . . . . | 0,76 mm |

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

Il s'agit uniquement de biotite. Présente en faible quantité dans les calcaires récifaux à faciès urgonien, elle disparaît complètement dans les niveaux 3 à 5. La prédominance de la glauconie autochtone, exactement dans les mêmes niveaux, ne semble pas étrangère à cette absence. Nous avons vu que la glauconie provient en général dans ces séries de l'altération sous-marine de la biotite.

Fig. 2

Les courbes de fréquence des minéraux sont en trait pointillé.

Courbes No 1. *Diamètre et fréquence du quartz détritique.*

Courbes No 2. *Diamètre et fréquence de la glauconie détritique (niveaux 1, 2, 6 à 8) et autochtone (niveaux 3, 4, 5).* La présence de cette dernière est soulignée par un trait vertical épais.

Courbes No 3. *Diamètre et fréquence du mica détritique.*

Courbe No 4. *Diamètre et fréquence des grains de phosphate de chaux.*

Courbe No 5. *Fréquence du fer (pyrite).* La présence de limonite est marquée par un trait double. Le trait vertical épais indique la distribution de la pyrite liée à la glauconie autochtone.

Courbes No 6. *Diamètre et fréquence du zircon détritique.*

T : présence de tourmaline.

Courbe No 7. *Fréquence des débris d'Echinodermes.*

Courbe No 8. *Fréquence des Textularidés.*

● : présence de Stomiosphéridés et de Globigerina.

○ : présence d'Ostracocées.

\* : présence de débris de Spongaires.

Courbe No 9. *Fréquence des Lamellibranches.*

Courbe No 10. *Fréquence des Scaphopodes.*

Courbe No 11. *Fréquence des Bryozoaires.*

Courbe No 12. *Courbe bathymétrique relative.*

Les étages sont abrégés comme suit : AP : Aptien; AL : Albien, CE : Cénomanien.

Cette dernière ne réapparaît brusquement qu'à partir du niveau 6, sa clasticité et sa fréquence atteignant rapidement des valeurs assez élevées. Dans la partie supérieure de la coupe, on observe toujours de nombreuses paillettes en voie de glauconitisation.

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

Les grains de phosphate de chaux pur formés « *in situ* » et les galets de grès phosphatés n'apparaissent qu'au sommet de l'Albien dans le niveau 6, comme dans les autres coupes étudiées. La clasticité peut dépasser 1,5 mm.

e) *La courbe de fréquence du fer.*

La pyrite est omniprésente, tandis que la limonite ne joue qu'un rôle tout à fait secondaire dans la partie supérieure de la coupe. Pendant l'aire de prédominance de la glauconie autochtone, la courbe de fréquence de la pyrite suit celle de cette dernière, mettant en évidence une étroite liaison génétique entre les deux minéraux. Dès le moment où la variété détritique de la glauconie devient prépondérante, la courbe de fréquence de la pyrite se met à varier en accord avec celle du quartz détritique. Cela indique qu'à partir du niveau 6 les sulfures de fer proviennent d'une transformation directe d'oxydes de provenance continentale et non plus d'une évolution sous-marine complexe liée à la synthèse de la glauconie. En effet, le milieu générateur de cette dernière imprime ses caractères propres sur la courbe de fréquence de la pyrite en effaçant les traces de l'origine première du fer qui reste toujours continentale.

f) *Les courbes de clasticité et de fréquence des minéraux lourds.*

Le zircon est largement distribué dans toute la coupe et parfois quelques grains de tourmaline s'y ajoutent. Les deux courbes varient en général parallèlement et en accord avec le quartz détritique. Les amplitudes de variation sont assez fortes, ce qui est rarement le cas.

g) *Les courbes de fréquence des organismes benthiques.*

Seuls subsistent de la faune urgonienne, les Textularidés, les Echinodermes et les Lamellibranches qui trouvent dans les marno-calcaires microbréchiques du niveau 3 un milieu favorable à leur épanouissement. Il en est de même des Bryozoaires et des Scaphopodes qui apparaissent à ce moment. En montant dans la série, toutes les courbes de fréquence diminuent parallèlement à l'accroissement de clasticité, jusqu'au niveau 7 où les grès sont stériles. Cette anomalie de l'ensemble de la faune benthique semble trouver ses causes dans les apports clastiques trop brutaux.

h) *Les courbes de fréquence des organismes pélagiques.*

Ils sont strictement localisés dans la pseudo-brèche phosphatée 6 dont la structure témoigne d'importantes perturbations.

Il s'agit de tests de Stomiosphéridés très abondants mêlés à des Globigerina, des Ostracodes et des spicules de Spongiaires. Tous les débris témoignent d'une fragmentation et d'une usure très avancées. Ces faits indiquent un transport par les courants des débris de faune pélagique en milieu littoral ; phénomène assez rare, dont on connaît l'importance dans la genèse de certaines formations phosphatées (4,11).

Pour l'exemple à l'étude, cet apport aurait préludé à l'apparition du faciès pélagique calcaire du Cénomanien, si l'intense sédimentation clastique n'en avait empêché le développement.

i) *La courbe bathymétrique relative.*

Tous ces faits permettent de classer les différents termes lithologiques dans l'ordre suivant *par profondeur décroissante* :

1. Calcaire pseudo-oolithique gréseux (CO).
2. Marno-calcaire microbréchique (MC).
3. Calcaire microbréchique zoogène (CB).
4. Grès glauconieux à ciment calcaire (GG).
5. Pseudo-brèche calcaire phosphatée (PBP).

Dans la première partie de la coupe, la diminution graduelle de la profondeur fait se succéder tous les termes de la série à l'exception des grès qui ne sont pas réalisés dans ce milieu à prédominance calcaire. En revanche, dès le sommet de l'Albien, les faciès gréseux s'installent uniformes et très

épais. Ils débutent par un niveau riche en galets de quartz bien roulés, formant le sommet de la pseudo-brèche 6 et qui pourrait être interprété comme un conglomérat de base cénonmanien.

La clasticité très élevée du Crétacé moyen du Pont d'Entrèves a déjà été mise en évidence par E. Paréjas et A. Jayet (13) qui ont signalé dans cette formation des galets roulés de quartz filonien atteignant 1 cm. de diamètre. Nous reviendrons plus loin sur les importantes conséquences paléogéographiques qui ont été tirées de cette constatation.

## 2. Coupe de la Perte-du-Rhône, Jura, Ain, France

La série de l'Albien de la Perte-du-Rhône qui a fait l'objet de la monographie de A. Jayet (9) repose en continuité stratigraphique sur l'Aptien supérieur et comprend les termes lithologiques suivants de haut en bas (fig. 3) :

12. Sables glauconieux tendres à intercalations gréseuses jaunâtres : dents de Squale, Echinide indéterminable, cylindrites (Cénomanien?).
11. Grès glauconieux et micacé jaunâtre ; Mortoniceras sp.
10. Grès glauconieux rouge : Pervinquieria rostrata, etc.
9. Glauconite phosphatée brune : Hysteroeras varicosum, etc.
8. Glauconite phosphatée jaune à riche faune : Hysteroeras varicosum, etc.
7. Grès glauconieux, calcaire et marneux : Hoplites dentatus, etc.
6. Sable glauconieux marneux bleu : Hoplites dentatus, Beudanticeras Beudanti etc.
5. Sable glauconieux marneux à partie moyenne plus gréseuse : Macraster polygonus.
4. Grès glauconieux : Leymeriella tardefurcata, etc.
3. Grès glauconieux calcaire à nodules gréseux : Leymeriella tardefurcata.
2. Sable glauconieux marneux.
1. Grès glauconieux calcaire : Acanthoplites Bigoureti, etc.

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 (SG) . . . . .	0,40 mm.
2. Glauconites phosphatées (GP) . . . . .	0,45 mm.
3. Grès glauconieux (GG) . . . . .	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 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.

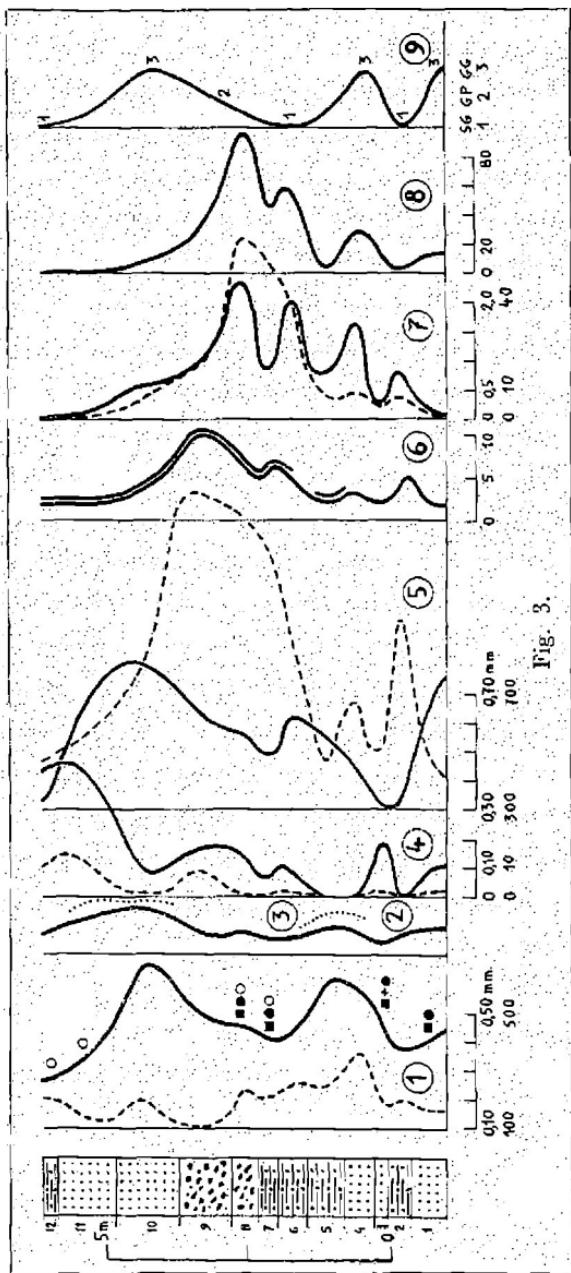


Fig. 3.

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.

Lorsque le mica est abondant, il montre tous les stades de glauconisation ; 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 intimement liée à celle de la glauconie, les deux courbes de fréquence étant semblables.

La production autochtone des sulfures indique un milieu calme, anaérobie et réducteur qui est aussi celui favorable à la

Fig. 3

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 trait pointillé.

Courbes No 1. *Diamètre et fréquence du quartz détritique.*

+ : Miliolidés

■ : Echinodermes

● : Textularidés

○ : Globigerinidés

Courbe No 2. *Diamètre du zircon détritique.*

Courbe No 3. *Diamètre de la tourmaline détritique.*

Courbes No 4. *Diamètre et fréquence du mica détritique.*

Courbes No 5. *Diamètre et fréquence de la glauconie autochtone.*

Courbe No 6. *Fréquence du fer (pyrite).* La présence de limonite est marquée par un trait double.

Courbes No 7. *Diamètre et fréquence des grains de phosphate de chaux.*

Courbe No 8. *Richesse de la faune*, exprimée par la somme de tous les genres et espèces fossiles décrits dans chaque niveau.

Courbe No 9. *Courbe bathymétrique relative.*

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 (9) que la plus grande partie (56 %) du phosphate de l'Albien de la Perte-du-Rhône provient des moules phosphatées de fossiles, les grains ne représentant que le 4 à 5 %. Ad. Jayet (9) 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, provoquées par les éléments formés « *in situ* » et par une ébauche de classement mécanique due aux courants, 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 (SG).
2. Glauconites gréseuses et phosphatées (GP).
3. Grès glauconieux (GG).

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

#### LE FACIES NOIR

##### 1. Coupe du Col de Taine (Petit Bornand), Autochtone, Haute-Savoie, France

L'Aptien supérieur et l'Albien du Col de Taine sont formés par des séries essentiellement détritiques et très semblables, dont la première repose sans intermédiaires sur les calcaires récifaux de type urgonien.

La série lithologique est la suivante de haut en bas (fig. 4) :

##### *Turonien*

10. Calcaire sublithographique gris à silex.

##### *Cénomanien*

9. Calcaire grumeleux gréseux et glauconieux.
8. Grès glauconieux clair.
7. Calcaire gréseux et glauconieux à gros galets de quartz.

##### *Albien*

6. Pseudo-conglomérat calcaire, gréseux et glauconieux à riche faune phosphatée : *Mortoniceras inflatum*, *Hystericeras varicosum* (Albien supérieur).

(Albien supérieur).

5. Grès noir glauconieux en gros bancs avec ou sans intercalations marneuses : *Douvilleiceras mammillatum* (Albien moyen).
4. Marnes schisteuses noires gréseuses et glauconieuses : *Leymeriella tardefurcata*, *Rhynchonella* (Albien inférieur).

### *Aptien*

3. Pseudo-conglomérat marno-calcaire gréseux, glauconieux et phosphaté : *Rhynchonella*.

2. Grès glauconieux verdâtre.

1. Calcaire gris pseudo-oolithique à faciès urgonien.

L'Albien de cette coupe peut être considéré, d'après H. Bütler et A. Jayet (1,10) comme la série caractéristique de l'étage dans la région de Genève.

Le terme de pseudo-conglomérat désigne un faciès très variable dont la composition peut aller des calcaires glauconieux très gréseux aux grès glauconieux à ciment calcaire largement développé. L'abondance de fossiles à l'état de moules phosphatés noirs et l'irrégularité de composition lithologique simulent des galets et conduisent à l'aspect pseudo-bréchique ou pseudo-conglomératique.

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

Les faciès étant littoraux, les deux courbes varient en sens inverse. Ce phénomène est particulièrement frappant aux limites d'étage (niveaux 3 et 6) où les clasticités maximales correspondent aux plus faibles fréquences. Une seule exception est représentée par le passage des marnes noires schisteuses (niveau 4) aux grès noirs glauconieux (niveau 5). Ce changement de faciès exige en effet une augmentation de fréquence indépendamment de toute notion de clasticité. Mais, dès que les faciès gréseux se développent, les variations à leur intérieur entre clasticité et fréquence sont à nouveau inverses.

Dans le tableau ci-dessous sont réunis, afin de faciliter les comparaisons, les indices de clasticité en mm. des trois principaux composants minéraux.

No des niveaux		Quartz	Glauconie	Phosphate de chaux
Turonien	10	0,22	0,15	—
Cénomanien	9	1,26	0,30	1,52
	8	0,38	0,40	0,72
	7	3,50	0,60	3,42
Albien	6	0,49	0,60	25,00
	5	0,44	0,41	0,60
	4	0,38	0,30	0,30
Aptien	3	0,53	0,34	3,66
	2	0,38	0,26	0,26
Urgonien	1	0,17	0,12	—

Les séries aptienne et albienne montrent une augmentation graduelle des clasticités minérales vers le haut. Elles atteignent leur maximum dans les niveaux phosphatés et fossilifères du sommet de chaque étage. Cependant, les valeurs générales sont un peu plus élevées dans l'Albien que dans l'Aptien.

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

A l'exception de quelques grains dans l'Aptien offrant des caractères d'autochtonie, la glauconie est d'origine détritique, comme le témoigne le comportement de ses courbes de clasticité et de fréquence semblable à celles du quartz détritique. Une seule exception se remarque dans le niveau 9 où la glauconie n'a pas enregistré le maximum inscrit dans les courbes des autres minéraux.

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

Il s'agit principalement de grains de phosphate de chaux pur formés « *in situ* ». Ce n'est que dans les niveaux conglomératiques du sommet de chaque étage que l'on rencontre des

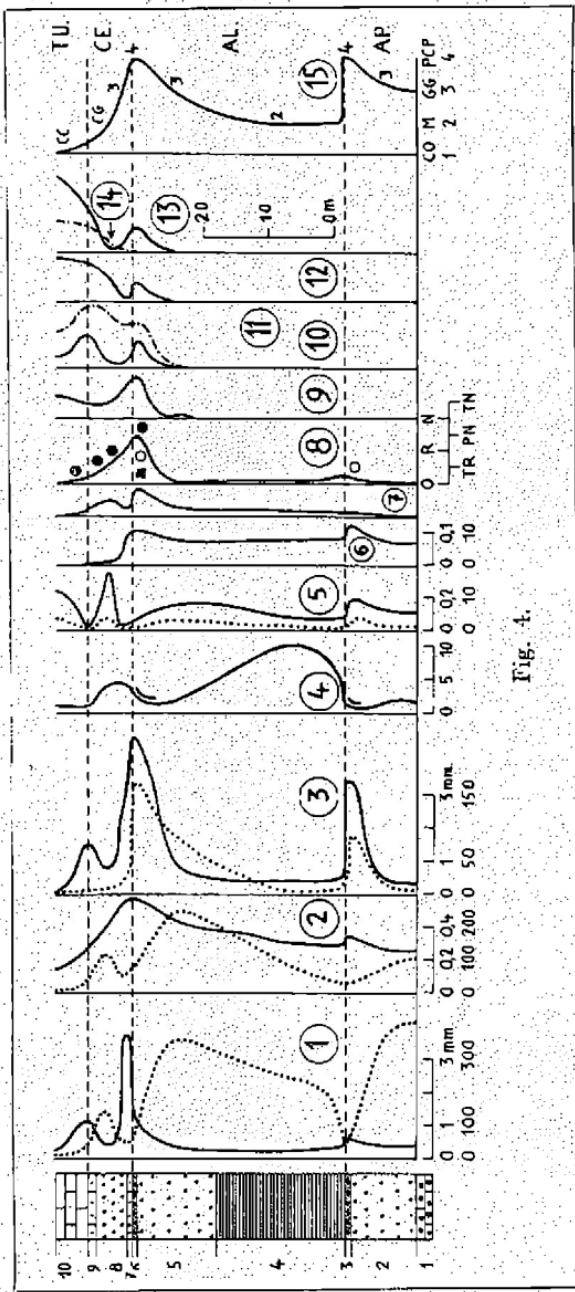


Fig. 4.

galets polygéniques formés de grès glauconieux et phosphatés très hétérogènes.

La clasticité avec des valeurs toujours plus élevées que celles des autres minéraux en grains suit leurs courbes ; en revanche la fréquence reste toujours parallèle à la clasticité indiquant que des conditions normales d'apport des phosphates ont régné pendant toute la durée du dépôt de la série.

d) *La courbe de fréquence du fer.*

Le fer est à l'état de pyrite, accompagnée de limonite au sommet des étages où du reste la teneur en fer diminue. La courbe suit en tous points la fréquence des autres minéraux, exception faite des niveaux 4 et 5 où la fréquence du quarrz et de la glauconie augmentent en donnant lieu au changement de faciès marnes-grès, tandis que la fréquence du fer diminue après avoir atteint son maximum dans le niveau 4. En effet, la majorité des particules ferrugineuses va se déposer en milieu argi-

Fig. 4

Les courbes de fréquence des minéraux sont en trait pointillé.

Courbes No 1. *Diamètre et fréquence du quartz détritique.*

Courbes No 2. *Diamètre et fréquence de la glauconie détritique.*

Courbes No 3. *Diamètre et fréquence des grains de phosphate de chaux.*

Dans la colonne stratigraphique, les niveaux phosphatés sont hachures obliquement.

Courbe No 4. *Fréquence du fer (pyrite).* La présence de limonite est marquée par un trait double.

Courbes No 5. *Diamètre et fréquence du mica détritique.*

Courbe No 6. *Diamètre du zircon et de la tourmaline détritiques.*

Courbe No 7. *Fréquence des débris d'Echinodermes.*

Courbe No 8. *Fréquence des Textularidés.*

○ : présence d'Ostracodes

● : présence de Rotalidés

■ : présence de Miliolidés

Courbe No 9. *Fréquence des prismes d'Inocérames.*

Courbe No 10. *Fréquence des débris de Spongiaires.*

Courbe No 11. *Fréquence des Stomiosphéridés.*

Courbe No 12. *Fréquence des Globigerina.*

Courbe No 13. *Fréquence des Gümbelina.*

Courbe No 14. *Fréquence des Globotruncana.*

Courbe No 15. *Courbe bathymétrique relative.*

Les étages sont abrégés comme suit : AP : Aptien, AL : Albien, CE : Cénomanien, TU : Turonien.

leux calme à faible clasticité où les conditions réductrices les transforment en pyrite. Le reste se sédimente en milieu gréseux à forte clasticité où les conditions oxydantes les conservent en partie à l'état de limonite.

e) *Les courbes de clasticité et de fréquence du mica.*

Le mica est représenté dans cette coupe presque uniquement par de la biotite. Dans plusieurs niveaux (2 et 5 principalement) elle est en voie de transformation en glauconie. Le comportement de la biotite suit les lois des minéraux en paillettes définies dans la première partie de ce travail. Dans l'Aptien supérieur où l'apport détritique n'est pas encore trop irrégulier, les courbes suivent celles du quartz avec une clasticité plus faible, fait normal pour les minéraux en paillettes. Dans l'Albien nous avons vu que l'irrégularité des apports clastiques donne lieu à de fortes variations en sens inverse des deux courbes du quartz détritique. Dans ces conditions, il se produit un lessivage des grandes paillettes à mesure que croît l'intensité des courants. Il s'ensuit une chute parallèle des courbes de fréquence et de clasticité de la biotite en montant dans la série albienne. Dans le Cénomanien, les grosses paillettes s'accumulent dans le niveau 8 où la clasticité du quartz est minimale.

f) *Les courbes de clasticité des minéraux lourds.*

Il s'agit de zircon et de tourmaline, du reste si peu abondants qu'il n'est pas possible d'en tracer les courbes de fréquence. Quant aux courbes de clasticité, elles suivent celle du quartz, mais les deux minéraux s'éteignent au Cénomanien inférieur.

g) *Les courbes de fréquence des organismes benthiques.*

Les Echinodermes et les Textularidés sont les seuls organismes benthiques existant dans l'Aptien supérieur et l'Albien, sauf quelques débris d'Ostracodes, de Rotalidés et de Miliolidés apparaissant au sommet des deux étages. La fréquence des Echinodermes et des Textularidés croît régulièrement de la base au sommet de chacun des étages, mais atteint cependant sa valeur maximale au sommet de l'Albien. Pendant le Cénoma-

nien, les fréquences diminuent peu à peu, la faune benthique se réduisant pour faire place aux faciès calcaires pélagiques du Turonien.

Les autres organismes n'apparaissent qu'au sommet de l'Albien. Toutes les courbes de fréquence des formes benthiques et pélagiques, montrent des maxima dans le pseudo-conglomérat phosphaté. C'est seulement dans le Cénomanien que les cîvers comportements s'individualisent. Un premier groupe benthique, formé par les Echinodermes, Textularidés, Inocérames, est en baisse générale et tend à disparaître vers la base du Turonien. Un second groupe benthique constitué par les Spongiaires et les Stomiosphéridés, étroitement lié à la clasticité des minéraux, montre un maximum au niveau 9, avant de diminuer à son tour. Cette relation semble due à la plus grande sensibilité du mode de vie de ces formes par rapport à celui des Echinodermes et des Inocérames en particulier.

h) *Les courbes de fréquence des organismes pélagiques.*

Il s'agit de l'ensemble faunistique formé par les Globigerina, Gumbelina et Globotruncana. Les deux premiers genres apparaissent déjà à l'Albien supérieur où leur fréquence accuse immédiatement un maximum. A la base du Cénomanien, les valeurs sont devenues plus faibles, tandis que les Globotruncana font leur apparition<sup>1</sup>. Puis, graduellement les trois courbes s'élèvent en montant dans la série vers les faciès pélagiques où les Foraminifères vont prédominer sur la faune benthique qui décroît parallèlement.

i) *La courbe bathymétrique relative.*

Les indications minérales et faunistiques montrent que les rythmes formant l'Aptien et l'Albien correspondent à des diminutions graduelles de profondeur vers le haut. En effet, les différents termes lithologiques classés par profondeur décroissante sont les suivants :

<sup>1</sup> Nous avons pu déterminer les espèces suivantes :  
niveau 8 : Globotruncana alpina BOLLI (Cénomanien moyen),  
niveau 9 : Globotruncana helvetica BOLLI (Cénomanien supérieur),  
Globotruncana renzi GANDOLFI,  
niveau 10 : Globotruncana lapparenti inflata BOLLI (Turonien inférieur).

1. Marnes schisteuses noires (M).
2. Grès glauconieux (GG).
3. Pseudo-conglomérat calcaire, gréseux glauconieux et phosphaté (PCP).

L'Albien est constitué par la série complète, tandis que le premier terme manque dans l'Aptien. Dans cette série, où les apports calcaires ne sont pas aussi abondants que dans la coupe de Vormy (voir plus loin), ces derniers ne s'intercalent pas entre les marnes et les grès, mais sont localisés dans les zones tout à fait littorales. Les calcaires conglomératiques gréseux et phosphatés ont pris ici la place des grès phosphatés à ciment calcaire.

Si les soulèvements se traduisent par une succession bien développée de termes, on sait depuis longtemps que les subsidences sont caractérisées par des niveaux d'épaisseur réduite exprimant une sédimentation très lente. La limite Aptien-Albien est ainsi formée par une couche très fine gréso-calcaire, glauconieuse et phosphatée pouvant faire place, dans certains cas, à une surface de contact avec ou sans traces d'érosion.

En revanche, le Cénomanien entier représente une série de subsidence d'épaisseur maximum entre l'Albien et le Turonien. Ce passage est encore accidenté par une petite oscillation supplémentaire au sommet de l'étage déjà observée dans d'autres coupes. Les termes lithologiques sont les suivants par *profondeur croissante* :

3. Calcaire glauconieux gréseux ou grès glauconieux à ciment calcaire (GG).
2. Calcaire grumeleux glauconieux (CG).
1. Calcaire sublithographique (CC).

La forte clasticité de la base du Cénomanien, la plus élevée de toute la série provient de la transgression caractéristique de cet étage qui a repris les minéraux détritiques du sommet de l'Albien où nous savons que la clasticité du quartz détritique peut atteindre dans certains cas 10 mm. (12).

## 2. Coupe de Vormy, Nappe de Morcles, Haute-Savoie, France

La série albienne repose directement sur les calcaires gréseux pseudo-oolithiques rapportés à l'Aptien de faciès urgonien. Elle

passe vers le haut, par un niveau de fausses-brèches phosphatées aux calcaires sublithographiques gris de la base du Cénomanien.

Les débris organiques sont variés mais peu abondants. Il n'a pas été possible dans ces conditions d'en tracer les courbes de fréquence ; nous les énumérerons simplement dans la description stratigraphique.

La succession lithologique est la suivante de haut en bas (fig. 5) :

13. Calcaire sublithographique gris : *Globigerina*, *Globotruncana alpina* BOLLI, *Gümbelina*, *Stomiosphéridés*, *Rotalidés*, *Ostracodes*, prismes d'*Inocérames*, *Echinodermes*, *Spongiaires* (Cénomanien inférieur).
12. Pseudo-brèche calcaire, gréseuse, glauconieuse et phosphatée : *Mortoniceras inflatum*, *Globigerina*, *Gümbelina*, *Stomiosphéridés*, *Rotalidés*, *Echinodermes* (Albien supérieur).
11. Grès glauconieux noir phosphaté à ciment calcaire.
10. Grès très glauconieux noir phosphaté à ciment calcaire.
9. Grès glauconieux noir faiblement phosphaté à *Parahoplites*.
8. Grès très glauconieux vert faiblement phosphaté à ciment calcaire.
7. Grès glauconieux blanc à ciment calcaire.
6. Grès glauconieux clair à ciment calcaire (Albien moyen).
5. Grès glauconieux clair à ciment calcaire passant localement à un calcaire spathique gréseux et glauconieux noir, vert ou jaune : *Lima*, *Serpules*, *Bryozoaires* (Albien moyen).
4. Grès glauconieux clair passant localement à un calcaire lumachellique gréseux et glauconieux : *Rhynchonella*, *Lamellibranches*, *Echinodermes* (Albien moyen).
3. Calcaire spathique gréseux et glauconieux : *Textularidés*, *Rotalidés*, *Ostracodes*, *Lamellibranches*, *Echinodermes*, *Serpules* (Albien moyen).
2. Marnes schisteuses gréseuses et glauconieuses noires : *Lima*, *Brachiopodes*, *Fucoïdes* (Albien inférieur).
1. Calcaire pseudo-oolithique gréseux à faune récifale urgonienne : *Textularidés*, *Miliolidés*, *Rotalidés*, *Orbito-*

linidés, Echinodermes, Lamellibranches, Bryozoaires, Algues vertes calcaires (Aptien).

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

L'allure des courbes permet de subdiviser la série albienne en deux parties bien distinctes. La première (niveaux 1 à 4) montre une augmentation générale de la clasticité vers le haut, mais avec variations en sens inverse des deux courbes.

La seconde partie comprend les niveaux 5 à 12 ; elle est séparée de la première par une chute de clasticité intermédiaire. Cette dernière augmente ensuite vers le haut, mais les deux courbes varient alors parallèlement.

Ces comportements indiquent qu'à un milieu à apport détritique insuffisant a succédé un autre à apport normal. La fréquence générale beaucoup plus élevée de la partie supérieure témoigne aussi dans ce sens. Les clasticités moyennes, par ordre croissant, sont les suivantes :

1. Calcaires pseudo-oolithiques gréseux (Aptien)	0,19 mm.
et calcaires sub-lithographiques (Cénomanien)	
2. Marnes schisteuses gréseuses et glauconieuses	0,26 mm.
noires	
3. Grès glauconieux clairs à ciment calcaire	0,30 mm.
4. Pseudo-brèche calcaire et phosphatée	0,34 mm.
5. Grès glauconieux et phosphatés noirs à ciment	
calcaire	0,45 mm.
6. Calcaires lumachelliques ou spathiques gré-	
seux et glauconieux	0,57 mm.

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

La glauconie détritique se rencontre dans tous les niveaux. Mais entre les niveaux 4 et 12, à savoir principalement dans le second terme constitutif de la série, la glauconie existe aussi en faible quantité à l'état autochtone. Elle se présente dans ce cas à l'état de ciment ou épigénisant des débris organiques. Sa proportion n'est cependant jamais suffisante pour modifier de façon appréciable les courbes de clasticité et de fréquence qui suivent en tous points celles du quartz détritique. Comme pour ce dernier, les apports sont insuffisants à la base de la

série où les courbes varient en sens inverse, et normaux au sommet où elles varient parallèlement. Les clasticités moyennes, par ordre croissant, sont les suivantes :

1. Calcaires pseudo-oolithiques gréseux (Aptien)	C,11 mm.
et calcaires sub-lithographiques (Cénomanien)	
2. Marnes schisteuses gréseuses et glauconieuses	C,20 mm.
noires	
3. Grès glauconieux clairs à ciment calcaire	C,25 mm.
4. Calcaires lumachelliques ou spathiques, gré-	
seux et glauconieux	C,40 mm.
5. Grès glauconieux et phosphatés noirs à ciment	
calcaire	0,70 mm.
6. Pseudo-brèche calcaire et phosphatée	0,72 mm.

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

Il s'agit de paillettes peu abondantes de muscovite et de biotite, ces dernières quelquefois en voie de glauconitisation. Les indications relatives aux deux types de mica ont été groupées dans les mêmes courbes. Elles varient parallèlement et en sens inverse de la clasticité des minéraux en grains, ce qui est conforme aux lois de comportement des minéraux en paillettes déjà décrites précédemment.

d) *La courbe de fréquence du fer.*

Il s'agit de pyrite en granules et pigmentations ne provenant du reste qu'accidentellement de l'altération de la glauconie. Il est donc normal de voir la courbe suivre la fréquence du quartz et de la glauconie. La limonite ne se présente qu'au sommet des deux termes constitutifs (niveaux 4, 8-9-10-11) où les conditions réductrices ont fait place à des conditions oxydantes. Cependant, dans les niveaux 4 et 8, une partie de la limonite provient de l'altération de la glauconie. Exception faite de ce cas, le milieu aéré engendrant la limonite encadre bien le milieu réducteur des niveaux 5 à 9 favorable à la genèse de la glauconie. Les zones où les deux phénomènes se superposent légèrement correspondent aux niveaux où l'on trouve la glauconie autochtone déjà associée à sa variante détritique.

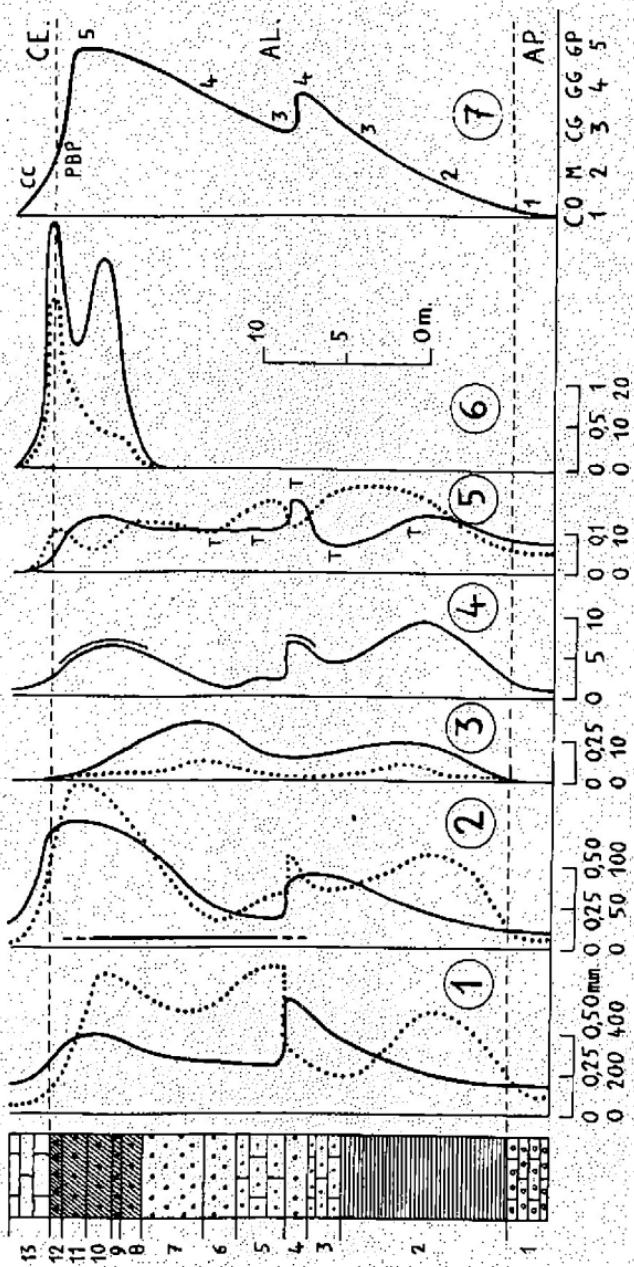


Fig. 5.

e) *Les courbes de clasticité et de fréquence des minéraux lourds.*

Le zircon est présent en très faible quantité dans la plupart des coupes minces et disparaît avant les fausses-brèches phosphatées du sommet de l'Albien. Quant à la tourmaline, elle n'a été rencontrée que dans deux niveaux de la partie inférieure de la série. La courbe de clasticité du zircon est semblable, à une exception près (niveau 2), à celle des autres minéraux en grains, tout en montrant des amplitudes de variation plus faibles. La courbe de fréquence varie toujours en sens inverse indiquant que l'apport de ce minéral est resté irrégulier pendant tout l'Albien.

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

Ils sont limités aux derniers niveaux de la série, il s'agit de grains de phosphate pur, engendrés « *in situ* », ou de galets de grès phosphatés assez hétérogènes. La courbe de clasticité montre deux maxima dont seul le dernier est marqué par la courbe de fréquence. Si l'aire maximale correspond bien à celle de tous les autres minéraux en grains, il n'est cependant pas

Fig. 5.

Les courbes de fréquence des minéraux sont en trait pointillé.

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

Courbes N° 2. *Diamètre et fréquence de la glauconie détritique (niveaux 1 à 4) et autochtone (niveaux 5 à 13).* La présence de cette dernière est soulignée par un trait vertical épais continu, les extrémités en pointillé indiquent les zones où les deux variétés coexistent.

Courbes N° 3. *Diamètre et fréquence du mica détritique.*

Courbe N° 4. *Fréquence du fer (pyrite).* La présence de limonite est marquée par un trait double.

Courbes N° 5. *Diamètre et fréquence du zircon détritique.*  
T : présence de tourmaline.

Courbes N° 6. *Diamètre et fréquence des grains de phosphate de chaux.*  
Dans la colonne stratigraphique, les niveaux phosphatés sont hachurés obliquement.

Courbe N° 7. *Courbe bathymétrique relative.*

Les étages sont abrégés comme suit : AP : Aptien, AL : Albien, CE : Cénomanien.

possible de déceler les causes du dédoublement observé qui provient vraisemblablement du mélange d'éléments autochtones et allochtones.

g) *La courbe bathymétrique relative.*

L'allure des courbes et les indices de clasticité des minéraux mettent en évidence que la série albienne se compose de deux rythmes, dont les termes sont les suivants par ordre de *projondeur décroissante* :

1. Calcaires pseudo-oolithiques gréseux (Aptien) : CO.
2. Marnes schisteuses gréseuses et glauconieuses noires : M.
3. Calcaires lumachelliques ou spathiques, gréseux et glauconieux : CG.
4. Grès glauconieux clairs à ciment calcaire : GG.
5. Grès glauconieux et phosphatés noirs à ciment calcaire : GP.

Le premier rythme essentiellement marno-calcaire (niveaux 1-2-3-4) tout en représentant la partie la plus profonde de la série, montre une diminution de la profondeur vers le haut. L'apport détritique y est insuffisant et les conditions réductrices, favorables à la genèse de la pyrite.

Une brève subsidence suit le sommet du premier rythme et inaugure, par un retour des calcaires gréseux et glauconieux, un nouveau soulèvement qui conduira aux grès phosphatés, terme le plus littoral de toute la série. Ce second rythme calcaréo-gréseux est caractérisé par un apport détritique normal. Le milieu est encore réducteur, mais plus faiblement. Il est dès lors favorable à la formation de la glauconie à laquelle vont succéder les phosphates dans les niveaux les plus littoraux déposés en eau aérée.

La pseudo-brèche phosphatée du niveau 12 (PBP) représente un faciès réduit de subsidence équivalent des termes 2-3-4 et qui conduit assez rapidement aux calcaires pélagiques du Cénomanien (CC).

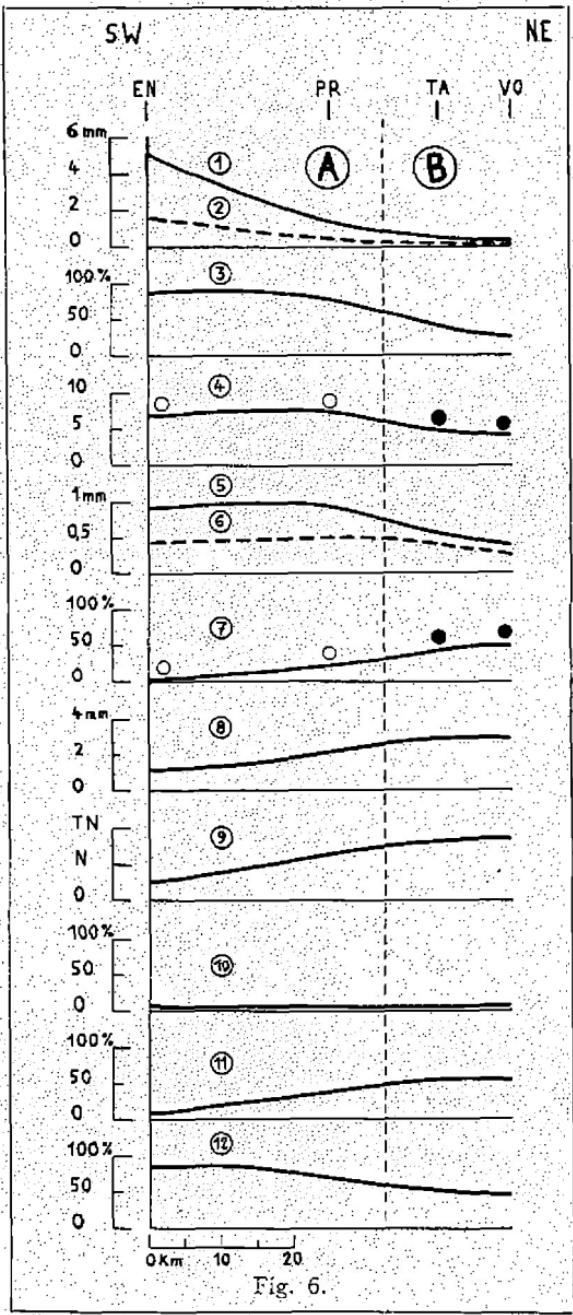
L'ensemble de la coupe met en évidence un milieu clastique riche en apports calcaires. Ces derniers, bien que présents partout à l'état de ciment, ne s'individualisent comme éléments constitutifs prédominants que dans des profondeurs moyennes,

lorsque l'apport clastique normal passe à un apport insuffisant. Les calcaires gréseux qui résultent de ces conditions s'intercalent ainsi entre les grès et les marnes.

## CHAPITRE IV

### CONCLUSIONS

Nous avons déjà vu que le faciès noir fossilifère, glauconieux et phosphaté, passe vers le S au faciès vert clair à sédimentation tumultueuse en général pauvre en fossiles (fig. 1). Cette évolution lithologique indique clairement que la profondeur générale de la mer albienne diminue dans cette direction où devaient se trouver les zones littorales. Ceci est confirmé par les variations à l'intérieur des deux faciès. En effet, déjà à l'Aptien les marnes à *Lima* qui renferment *Exogyra aquila* à Cenise, deviennent gréseuses vers le S (1), de même le faciès vert clair devient plus épais et plus grossier dans la direction du massif de Belledonne (13), source du matériel détritique. Il est évident que seul un massif ancien rapproché a pu fournir, à la série du Pont d'Entrèves des galets roulés de quartz filonien de un cm. de diamètre, car ainsi que l'a montré Ed. Paréjas (13), il n'existe pas dans la série mésozoïque, le Trias inférieur mis à part, de formation renfermant des éléments quartzeux de cette taille. Ces variations de sédimentation en fonction de la profondeur peuvent être mises en évidence de façon schématique dans un profil NE-SW, sur lequel sont projetées les coupes étudiées (fig. 6). Les clasticités maximale et moyenne du quartz détritique ainsi que sa fréquence diminuent vers le NE illustrant la distribution des apports détritiques telle qu'elle a été décrite plus haut. La courbe de fréquence du fer suit celle des apports clastiques, mais la proportion de pyrite varie en sens inverse de celle de la limonite et augmente peu à peu vers le NE, dans la direction du faciès noir déposé dans un milieu plus réducteur. Les clasticités maximale et moyenne de la glauconie suivent en gros les mêmes lois que celles du quartz, mais de façon plus atténuée car dans le domaine du faciès noir, la variété détritique est supplante par



la variété autochtone qui se développe largement dans ces conditions de sédimentation plus tranquille.

Ce phénomène est confirmé par l'allure de la courbe de fréquence de la glauconie qui indique une augmentation vers le NE et s'oppose ainsi à celle du quartz détritique.

Les phosphates de chaux augmentent de diamètre maximum et de fréquence parallèlement à la richesse de la faune, vers le faciès noir où les éléments formés « *in situ* » prédominent sur les galets de grès phosphatés remaniés.

A ce propos, il faut noter que la rareté des organismes dans les grès vert clair s'explique par le caractère trouble de la sédimentation littorale défavorable principalement aux Céphalopodes, si abondants en revanche dans le domaine de l'Albien noir.

La comparaison des coupes étudiées permet d'établir une échelle bathymétrique générale des différents faciès. Elle comprend les termes suivants par ordre de profondeur décroissante :

Fig. 6

Dans cette figure, la fréquence des minéraux et l'épaisseur des composants lithologiques sont exprimées en %.

A : domaine de l'Albien à faciès vert clair : EN = Entrèves.

PR = Perte-du-Rhône.

B : domaine de l'Albien à faciès noir : TA = Taine.

VO = Vormy.

Courbe N° 1. Diamètre maximum du quartz détritique.

Courbe N° 2. Diamètre moyen du quartz détritique.

Courbe N° 3. Fréquence du quartz détritique.

Courbe N° 4. Fréquence du fer.

● : pyrite prédominante.

○ : limonite prédominante.

Courbe N° 5. Diamètre maximum de la glauconie.

Courbe N° 6. Diamètre moyen de la glauconie.

Courbe N° 7. Fréquence de la glauconie.

● : variété authigène prédominante.

○ : variété détritique prédominante.

Courbe N° 8. Diamètre maximum des éléments phosphatés.

Courbe N° 9. Fréquence des éléments phosphatés et richesse de la faune.

Courbe N° 10. Epaisseur des calcaires gréseux (CG).

Courbe N° 11. Epaisseur des marnes schisteuses (MS).

Courbe N° 12. Epaisseur des grès glauconieux, phosphatés g. p. (GG).

1. *Faciès marneux* : marnes schisteuses gréseuses et glauconieuses noires (Taine, Vormy), marno-calcaires gréseux et clauconieux (Entrèves), sables marneux et glauconieux (Perte-du-Rhône).
2. *Faciès calcaire* : calcaires gréseux glauconieux (Entrèves, Vormy), glauconites gréseuses à ciment calcaire (Perte-du-Rhône).
3. *Faciès gréseux* : grès glauconieux (Taine, Perte-du-Rhône et Vormy).
4. *Faciès phosphaté* : grès glauconieux et phosphatés (Vormy), pseudo-brèches (conglomérats) calcaires gréseuses glauconieuses et phosphatées (Entrèves, Taine).

À des fins comparatives (fig. 6), les termes lithologiques peuvent être ramenés à trois types principaux : marnes schisteuses (MS), calcaires gréseux (CG) et grès glauconieux, phosphatés p.p. (GG). Les épaisseurs moyennes en % sont les suivantes pour les deux domaines de sédimentation :

Types lithologiques	Albien vert clair	Albien noir
MS	20	47
CG	10	10
GG	70	43

La courbe du composant calcaire (CG) est pratiquement constante dans les deux domaines, en revanche les courbes des grès glauconieux et des marnes schisteuses s'opposent nettement. Les premiers sont caractéristiques du faciès vert clair agité, les seconds prédominent dans le faciès noir à sédimentation tranquille et plus profonde où peuvent se déposer les fines particules argileuses.

La succession verticale des faciès dans les coupes étudiées met en évidence une diminution générale de la profondeur pendant l'Albien. Elle s'est effectuée de façon progressive dans les coupes du Col de Taine et d'Entrèves. En revanche, deux oscil-

lations sont inscrites à Vormy et à la Perte-du-Rhône, où du reste l'amplitude des variations est plus faible, sans doute à cause de la position péri-alpine de cette série.

Il est encore prématué, dans l'état actuel des connaissances stratigraphiques de l'Albien de nos régions, d'attribuer une quelconque signification à ces variantes des mouvements du fond marin.

Université de Genève.  
Institut de Géologie.

\* \* \*

## BIBLIOGRAPHIE

1. BUTLER H. et JAYET A. — *Notes stratigraphiques sur le Crétacé moyen du Genevois (Haute-Savoie)*. Ecl. Geol. Helv. 21, 63, 1928.
2. CAROZZI A. — *Contribution à l'étude des rythmes de sédimentation*. Archives Sciences, 3, 17, 1950, Genève.
3. — *Glauconitisation de la biotite dans le Crétacé moyen des chaînes subalpines et du Jura*. Cahiers Géol. de Thoiry, 4, 33, 1951.
4. CAYEUX L. — *Causes anciennes et causes actuelles en géologie*, Masson, Paris, 1941.
5. COLLET L. W. — *La Nappe de Morges entre Arve et Rhône*. Mat. carte géol. Suisse, N. S. 79, 1943, Berne.
6. FICHTER H. — *Die Gesetzmässigkeiten der zyklischen Gliederung der helvetischen Unterkreide und ihre Anwendung auf die Stratigraphie des Helvetischen Albien*. Ecl. Geol. Helv. 26, 198, 1933.
7. GALLIHER E. W. — *Geology of Glauconite*, Bull. Am. Assoc. Petr. Geol. 19, 1569, 1935.
8. — *Glauconite genesis*, Bull. Soc. Geol. Am. 46, 1351, 1935.
9. JAYET A. — *Etude stratigraphique de la Perte-du-Rhône*. Ecl. Geol. Helv. 20, 161, 1926.
10. JAYET A. et BUTLER H. — *Sur la stratigraphie du Crétacé moyen du Genevois*. C. R. Soc. Phys. Hist. Nat. 43, 152, 1926, Genève.
11. LAFFITTE R. — *Sédimentation et orogenèse*. Annales Hébert et Haug, Livre jubilaire Charles Jacob, 7, 239, 1949, Paris.
12. MORET L. — *Géologie du Massif des Bornes et des Klippes pré-alpines des Annes et de Sulens*. Mém. Soc. Géol. France, N. S. 22, 1934.
13. PAREJAS Ed. — *Essai sur la géographie ancienne de la région de Genève*. Publ. Inst. Géol. Univ. Istanbul N. S. 2, 1938.