

# Bulletin de la Société d'histoire naturelle du Doubs

# **BULLETIN 45**

Per. 6036

BULLETIN  
DE LA  
**SOCIÉTÉ D'HISTOIRE NATURELLE**  
**DU DOUBS**

FONDÉE EN 1899

*Approuvée par arrêté préfectoral du 26 Août 1899.*

---

N° 45

**ANNÉE 1935**

*Prix du Bulletin : 15 francs*

---

MÉMOIRE : LES MARNES DU LIAS DE FRANCHE-COMTÉ

par MAURICE DREYFUSS



BESANÇON

IMPRIMERIE DE L'EST

—  
1935



Per. 6036

# ÉTUDES

sur les

Sédiments Argileux et Argilocalcaires

---

# LES MARNES DU LIAS DE FRANCHE-COMTÉ

PAR

**Maurice DREYFUSS**

*Docteur ès Sciences*

*Boursier de Recherches à la Faculté des Sciences de Besançon  
Collaborateur auxiliaire au Service de la Carte Géologique de France*



BESANÇON  
IMPRIMERIE DE L'EST

—  
1935



## INTRODUCTION

---

Ce travail constitue seulement une première tentative concernant l'étude pétrographique des marnes : certaines questions, telles que celle de leur matière argileuse par exemple, ne peuvent être traitées d'une façon complète dans le cadre restreint d'une étude limitée non seulement à une seule région, mais à une seule série stratigraphique. Mais j'ai choisi ce sujet d'étude, afin de poser dès maintenant quelques problèmes, et de me rendre compte si vraiment les marnes sont des formations aussi monotones, aussi dénuées d'intérêt pétrographique que le laisserait supposer le petit nombre de travaux qui leur a été consacré.

Les traités classiques, en effet, donnent bien peu de renseignements sur les marnes : ce sont, lit-on généralement, des roches intermédiaires entre les argiles et les calcaires : définition bien vague, on en conviendra, et qui ne permet guère de se faire une idée de leur structure, ni du rôle joué par leurs différents composants.

Les différentes études sur les marnes parues jusqu'à présent, ne donnent pas beaucoup plus de renseignements de cet ordre, car ce sont toutes des recherches trop spéciales.

Les unes, comme celles de Terquem [48] ont eu simplement pour but l'étude de la microfaune.

D'autres, beaucoup plus nombreuses, d'ailleurs, sont exclusivement chimiques : c'est ainsi que l'on trouve, dans le Bulletin N° 591 de l'U. S. geological Survey [11], un certain nombre d'analyses globales de marnes. Des analyses semblables, bien que beaucoup moins détaillées, ont été données par le Fr. Ogérien [41] en même temps que pour les autres roches du Jura.

Les analyses de marnes publiées par M. Thiébaud [49] ont une tout autre signification, car elles ont été faites dans le but de donner une idée de la composition minéralogique des marnes.

J. Deprat, d'autre part, dans une étude d'ensemble sur le Jurassique [15] donne une description sommaire des

marnes oxfordiennes; c'est, à ma connaissance, le seul travail contenant la description pétrographique d'une marne.

Il serait donc intéressant d'essayer de combler cette lacune : grâce au Comité de la Caisse nationale des Sciences, qui a bien voulu m'attribuer une bourse de recherches ; grâce à M. L. Cayeux, qui a suivi mes travaux et m'a aidé des conseils éclairés que lui donne sa longue expérience, en pétrographie, des roches sédimentaires, et à mon Maître, M. E. Fournier, qui a mis à ma disposition les ressources du Laboratoire de Géologie et de Minéralogie de Besançon, j'ai pu réaliser ce premier pas vers le but que je me propose d'atteindre.

Ce travail, limité à l'étude des sédiments marneux et argileux du Lias de Franche-Comté, est divisé de la façon suivante :

Les subdivisions du Lias seront d'abord brièvement rappelées ;

Un deuxième chapitre comprendra un exposé des méthodes employées, et une description des divers éléments des marnes ;

Un troisième chapitre sera consacré à la description des échantillons étudiés ;

Dans un quatrième chapitre, on comparera les différents niveaux, afin de voir s'il est possible de les identifier au moyen d'études pétrographiques ;

Enfin, un dernier chapitre sera consacré à des conclusions d'ordre paléogéographique.

---

## CHAPITRE PREMIER

---

### La série liasique dans le Jura

---

La stratigraphie du Lias de Franche-Comté a fait l'objet de nombreux travaux : il ne saurait être question ici d'en faire une énumération complète, l'essentiel pour nous étant de pouvoir rapporter les échantillons dont nous faisons l'étude pétrographique à des niveaux bien définis.

L'un des plus anciens ouvrages sur la stratigraphie du Jura est celui du Fr. Ogérian [41]. Les différents terrains y sont divisés en zones, qui correspondent généralement à une unité lithologique, ce qui est particulièrement intéressant : le Lias, tel qu'il est défini actuellement, correspond aux zones 56 à 71 du Fr. Ogérian : nous en reproduisons la liste ci-dessous, en indiquant la correspondance de ces zones avec les étages généralement admis :

56 <sup>e</sup> zone :	Calcaire ferrugineux à <i>Ammonites primordialis</i> .		
57 <sup>e</sup> —	Marnes à <i>Turbo suduplicatus</i> .	} Marnes de Pimperdu	} TOARCIEN
58 <sup>e</sup> —	— à <i>Amm. Germaini</i> et <i>A. touarcensis</i> .		
59 <sup>e</sup> —	Marnes à <i>Amm. mucronatus</i> .		
60 <sup>e</sup> —	Schistes à <i>Posidonomya Bronnii</i> .	} CHARMOUTH IEN	
61 <sup>e</sup> —	Marnes à <i>Plicatula Spinosa</i> .		
62 <sup>e</sup> —	— à <i>Amm. Margaritatus</i> .		
63 <sup>e</sup> —	— à <i>Belemn. acutus</i> et <i>Amm. Davoei</i> .	} SINÉMURIEN	
64 <sup>e</sup> —	Marnes à <i>Amm. raricostatus</i> (Marnes de Balingen).		
65 <sup>e</sup> —	— à <i>Amm. planicosta</i> .	} Calc. à Gryphées	
66 <sup>e</sup> —	Calcaire à <i>Penlacrinus tuberculatus</i> .		
67 <sup>e</sup> —	Calcaire à <i>Ostrea arcuata</i> .	} HETTANGIEN	
68 <sup>e</sup> —	Calcaires siliceux à <i>Amm. angulatus</i> .		
69 <sup>e</sup> —	Argiles. et grès à <i>Pecten valoniensis</i> .	} RHÉTIEN	
70 <sup>e</sup> —	Schistes bitumeux à débris de Poissons.		
71 <sup>e</sup> —	Marnes et grès à <i>Avicula contorta</i> .		

Pour la Franche-Comté septentrionale, Girardot [29] indique la série suivante :

Grès supraliasique et dépôts ferrugineux.	} TOARCIEN
Marnes à Trochus.	
Schistes à Posidonomyes.	

Marnes à Plicatules. M. à <i>Amm. margaritatus</i> avec septaria. Calcaire à Bélemnites.	} CHARMOUTHIEN
Marno-calcaires à <i>Ophioceras raricostatum</i> . Marnes à <i>Belemn. Oppeli</i> et <i>Deroceras planicosta</i> . Calcaire à Gryphées.	} SINÉMURIEN
Zone à <i>Schlotheimia angulata</i> : calcaires plus ou moins marneux passant insensiblement aux étages supérieurs. Zone à <i>Psiloceras planorbis</i> : brèche	} HETTANGIEN
Argiles. Grès à <i>Avicula contorta</i> . Bone bed.	} RHÉTIEN

Ces deux séries sont à peu près identiques. Il y a lieu toutefois de leur adjoindre l'Aalénien, représenté [31] par des marno-calcaires à *Pecten pumilus*, surmontant des marnes sableuses et plaquettes gréseuses à mica blanc (zone à *Lioceras opalinum*).

Certains niveaux du Lias forment une unité bien tranchée, comme par exemple les schistes à Posidonomyes, les grès à *Avicula contorta*, etc... D'autres, au contraire, passent insensiblement aux formations supérieure ou inférieure : c'est le cas du Calcaire à Gryphées qui, comme l'indiquent les légendes des feuilles de Gray et

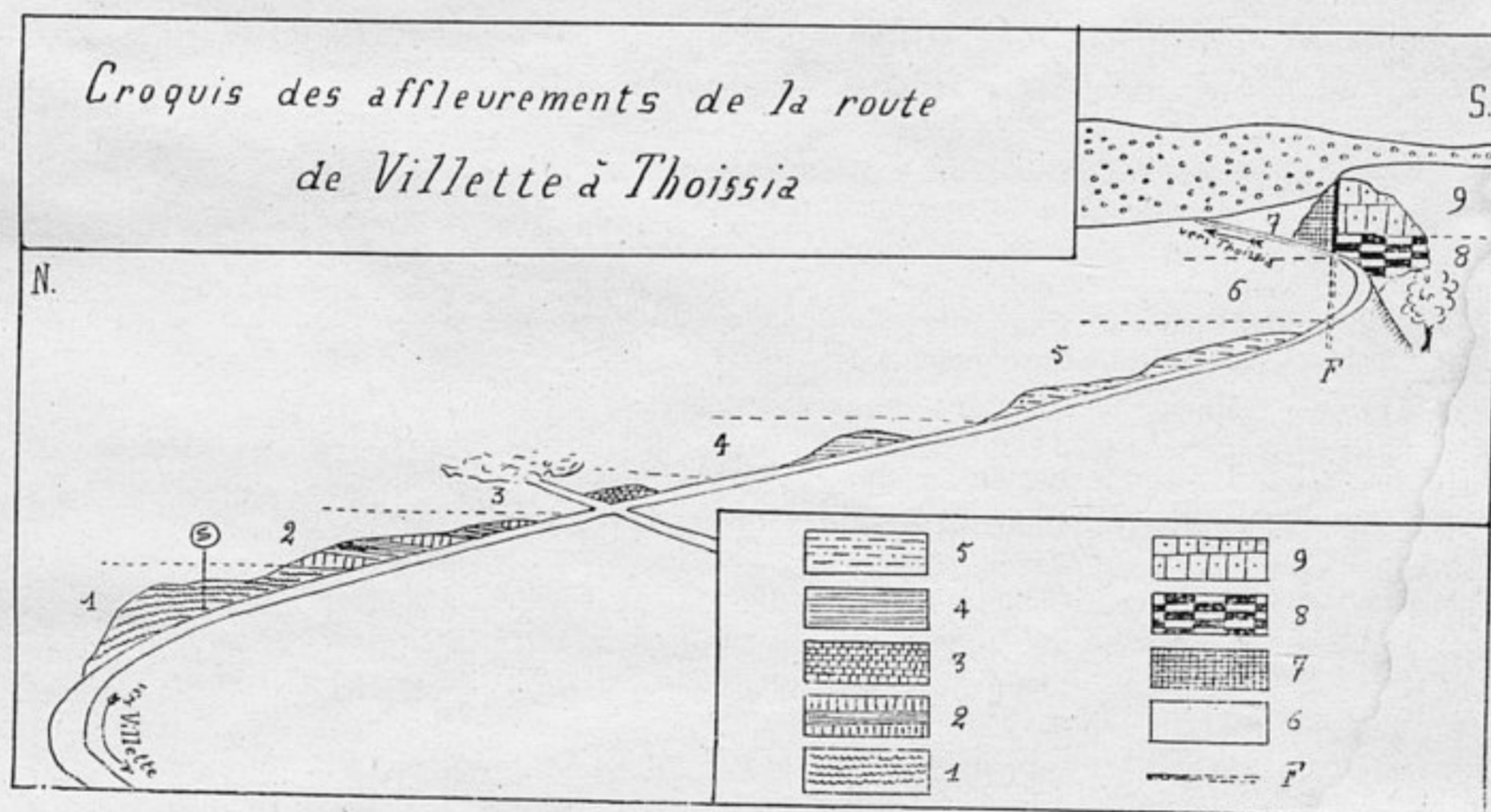


FIG. 1. — Croquis des affleurements situés le long de la route de Vilette-les-Saint-Amour à Thoissia

Légende. — 1 : Couches inférieures au Calcaire à Gryphées (Hettangien). 2 : Calcaire à Gryphées. 3 : Marnes de Balingen. 4 : Charmouthien inférieur (marneux et marnocalcaire). 5 : Charmouthien supérieur (marnes, marnes gréseuses et lumachelles). 6 : Schistes à Posidonomyes (cachés). 7 : Marnes toarciennes dites de Pimperdu. 8 : Marnes gréseuses de l'Aalénien. 9 : Bajocien. F faille.



Besançon [32], contient à sa base des *Cardinies*, *Pecten Valoniensis* et même *Schlotheimia angulata* ; les bancs inférieurs du calcaire à Gryphées appartiennent donc à l'Hettangien. De même, il est à peu près impossible de déterminer la limite des marnes charmouthiennes à *Amaltheus margaritatus*, et à *Plicatules*.

Dans le département du Jura, nous avons pu recueillir des échantillons de la plupart des niveaux le long de la route allant de Villetteles-Saint-Amour à Thoissia. La figure 1 est un croquis schématique des affleurements situés le long de cette route ; on peut constater que la série est complète à l'exception des schistes à Posidonomyes, qui sont cachés. Lors de la description des échantillons, ceux provenant de cet endroit seront désignés d'une façon abrégée comme provenant de Villette. Cette coupe des environs de Villette nous servira de repère stratigraphique pour les échantillons provenant d'autres localités du Jura.

Dans le Doubs et la Haute-Saône, une coupe analogue, pouvant servir d'échelle stratigraphique, est visible dans les tranchées du chemin de fer vicinal de Vesoul à Besançon, entre les stations de Miserey et d'École. La figure 2 montre qu'il manque dans cette

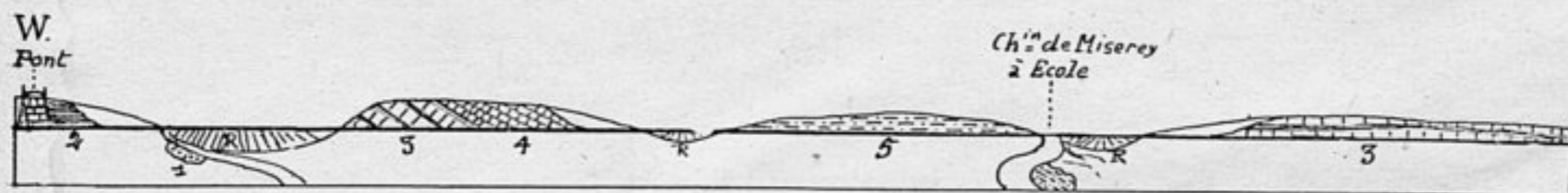


FIG. 2. — Croquis des affleurements visibles dans les tranchées du chemin de fer vicinal près de Miserey

Légende. — 1 : Grès rhétiens. 2 : Schistes rhétiens. 3 : Calcaire à gryphées. 4 : Marnes de Balingen. 5 : Charmouthien supérieur. R : Remblais de la voie ferrée.

série la base du Charmouthien et la totalité du Toarcien. Les affleurements de Toarcien sont d'ailleurs nombreux dans les deux départements.

D'une façon générale l'échelle stratigraphique à laquelle nous rapportons nos échantillons, est la suivante :

AALÉNIEN	{ Couches à <i>Pecten pumilus</i> et marne sableuse.
TOARCIEN	{ Supérieur : Marnes de Pimperdu. Inférieur { Marnes directement superposées aux schistes. Schistes à Posidonomyes.
CHARMOUTHIEN	{ Supérieur : Marnes à <i>Plicatules</i> et à <i>Amaltheus margaritatus</i> . Inférieur : Marnocalcaires et Marnes à <i>Deroceras Davoii</i> et <i>Pachitheutis acutus</i> .

SINÉMURIEN	{ Supérieur : Marnes de Balingen. Inférieur : Calcaire à Gryphées, avec intercalations marneuses.
HETTANGIEN	{ Calcaire faisant suite aux calcaires à Gryphées devenant d'abord plus marneux, plus gréseux.
RHÉTIEN	{ Schistes noirs, Grès à <i>Avicula contorta</i> .

Nous avons étudié uniquement les niveaux argileux, marneux et marnocalcaires. Les calcaires ont été laissés de côté, ainsi que les diverses concrétions des marnes (miches, nodules phosphatés, etc...) qui méritent une place à part, ainsi que nous avons pu nous en rendre compte en en étudiant quelques-unes (1).

---

(1) Voir [20], et : les Miches du Toarcien de Créveney. *Bull. de la Soc. d'Hist. Nat. du Doubs*, n° 41, p. 90, 1933.

## CHAPITRE II

### Généralités sur les roches étudiées

---

#### A. Méthodes d'étude

Pour chaque affleurement, nous avons en général prélevé plusieurs échantillons, qui ont été étudiés séparément. Mais comme la plupart du temps les échantillons provenant d'un même gisement ont donné des résultats comparables, ils ne sont décrits séparément dans ce travail que lorsqu'il se manifeste entre eux des différences trop importantes.

Tous les échantillons ont été étudiés :

- 1° A l'aide de lames minces et, dans certains cas, par examen de surfaces polies au microscope métallographique.
- 2° Par divers procédés de séparation des minéraux.

#### 1° Lames minces et surfaces polies

Les méthodes classiques, consistant à user la roche sur de l'émeri humide, et à utiliser comme colle le baume du Canada sont inapplicables pour les marnes : elles se délitent dans l'eau, et s'écrasent lorsqu'on les use après les avoir collées au baume.

Après d'assez longs tâtonnements, nous avons pu mettre au point une méthode grâce à laquelle il est facile de préparer les lames minces de marnes : cette opération est ainsi plus rapide et aussi sûre que la préparation de lames minces de roches dures par les procédés classiques. Notre méthode d'exécution des lames minces ayant fait l'objet d'une note détaillée [22], nous en rappellerons seulement les principes :

a) L'usure et le polissage de la roche sont faits à sec, sur une meule de carborundum et des disques de cuivre recouverts de papier émeri ;

b) Le collage de la première face s'effectue directement sur une lame porte-objet, de façon à éviter tout transport de la préparation ;

c) Les colles qui donnent les meilleurs résultats sont les solutions de silicate de sodium ou de potassium : pratiquement, nous avons utilisé une colle commerciale, vendue en tubes sous le nom de « Pégavil ».

Le procédé de collage au silicate présente en outre l'avantage qu'il n'est pas nécessaire de chauffer les préparations : aussi les matières organiques sont-elles bien conservées ; il pourrait en être de même éventuellement du gypse, qui est généralement deshydraté pendant la cuisson, lors du collage au baume.

Il présente par contre quelques inconvénients : en particulier, l'indice de réfraction est plus faible qu'on pourrait le souhaiter (1,42). Et, d'autre part, le silicate diminue de volume en se solidifiant, ce qui a pour conséquence la formation de bulles, qui sont parfois gênantes, lorsqu'elles sont trop nombreuses (ce qui, heureusement, n'est pas trop fréquent), et qui nuisent à l'esthétique des préparations, ce dont on peut se rendre compte sur certaines de nos microphotographies.

Pour l'examen de certains minéraux, et pour l'étude des algues des schistes bitumineux, nous avons eu recours à des surfaces polies examinées au microscope métallographique. Il y a avantage généralement à faire précéder l'examen au microscope d'une légère attaque à l'acide chlorhydrique dilué.

### 2<sup>o</sup> Séparation des minéraux

Les différents procédés utilisés habituellement pour la séparation des minéraux sont d'un emploi très délicat en ce qui concerne les marnes, en raison de l'extrême finesse de la plupart de leurs éléments ; parfois, même, ils sont absolument inutilisables : on sait en effet que l'emploi des liqueurs lourdes ou de la lévigation, dans le but de séparer les minéraux suivant leur densité, n'est plus applicable lorsqu'il s'agit de petits éléments, dont la séparation s'effectue suivant la valeur de leur surface, quelle que soit leur densité.

Quoi qu'il en soit, lorsqu'on dissocie une marne dans de l'eau, on peut constater qu'une partie des matériaux tombe au fond, tandis que l'eau reste trouble pendant un temps parfois fort long, par suite des particules qui restent en suspension.

Si on met sur une lame le dépôt formé au fond de l'eau, on constate qu'il est constitué par des restes organiques et des minéraux plus ou moins enrobés dans une pâte, qui est composée en grande partie d'argile et de produits ferrugineux, et qui gêne beaucoup les observations. On peut se débarrasser assez facilement de l'argile, soit en lavant dans un courant d'eau d'une violence convenable, soit en agitant et en décantant plusieurs fois de suite après avoir laissé reposer.

Mais ces procédés ne permettent généralement pas d'éliminer l'enduit ferrugineux qui recouvre maints cristaux : pour s'en débarrasser, il faut, ainsi que nous avons pu le constater, une, ou même parfois plusieurs attaques successives par l'acide chlorhydrique. Ces attaques détruisent évidemment la plupart des organismes, et certains minéraux, parmi lesquels la calcite. L'élimination de ces éléments ne présente pas de grave inconvénient : le rôle des organismes est beaucoup mieux mis en évidence dans les lames minces que dans le produit de dissociation ; la calcite serait plutôt gênante, et, d'autre part, il n'est pas possible de déterminer convenablement sous le microscope les minéraux trop petits [47]. Toutefois pour l'étude de certains organismes, nous avons simplement dissocié la marne, sans l'attaquer.

Après avoir fait de nombreux essais, la séparation par décantation nous a paru plus pratique que la séparation par un courant d'eau, qui exige un réglage assez délicat de la vitesse du courant. Et nous avons adopté la technique suivante :

a) Un morceau de marne d'environ 1 cm<sup>3</sup> est placé au fond d'un tube à essai avec de l'eau, afin de le dissocier.

b) On traite par l'acide chlorhydrique à froid pour se débarrasser des carbonates ;

c) Quand l'effervescence est terminée, on ajoute de l'eau jusqu'à 1 cm. du bord du tube ; on agite vivement, pour tout mettre en suspension, puis on laisse décanter pendant au moins un quart d'heure, et on vide l'eau plus ou moins trouble de la partie supérieure du tube ; on recommence l'opération cinq ou six fois.

d) On traite par l'acide chlorhydrique à chaud, afin d'enlever la plupart des produits ferrugineux. En général, il suffit de faire bouillir quelques instants pour obtenir un résultat satisfaisant. Mais, quelques fois, il faut attaquer une troisième ou même une quatrième fois, après avoir éliminé, entre chaque opération, par une décantation, les sels de fer qui ont été dissous par l'acide.

e) On procède à de nouvelles décantations, dans les mêmes conditions qu'au paragraphe c). Puis on diminue le temps de décantation : pour ne pas avoir de produits gênants, le temps des deux ou trois dernières décantations doit être compris entre une et deux minutes ; les minéraux restant en suspension plus d'une minute sont en effet très difficilement déterminables, ainsi que l'indique M. Strow [47].

f) Lorsque l'eau redevient claire après une à deux minutes, on la vide une dernière fois, et le résidu resté au fond du tube est mis dans un verre de montre. Avec un pinceau on en étale un peu

sur une lame porte-objet ; on évapore lentement sur une platine du Dr Malassez, et on monte au baume.

Quant à la fraction de la marne qui reste en suspension dans l'eau, nous verrons plus loin (p. 18 et suiv.), comment on peut l'étudier.

### B. Composition générale des marnes

L'examen des lames minces montre que les éléments des marnes peuvent être groupés de la façon suivante :

- 1° des organismes.
- 2° des minéraux d'assez grosses dimensions, dont les uns sont d'origine détritique, alors que les autres se sont formés *in situ*.
- 3° un ensemble dont l'étude est difficile, en raison de l'extrême ténuité des éléments qui le constituent : nous désignerons cet ensemble sous le nom de *pâte*. Dès à présent, nous indiquerons que l'on peut distinguer dans cette pâte des éléments cristallisés et des éléments amorphes.

En étudiant les marnes par les divers procédés de décantation et d'attaque précédents, on peut distinguer :

- 1° des organismes, dont la plupart sont calcaires, tandis que quelques-uns résistent à l'acide chlorhydrique.
- 2° des minéraux tombant rapidement dans l'eau, comprenant des éléments attaquables par l'acide, tels que la calcite, et des éléments inattaquables, parmi lesquels les uns sont détritiques, les autres de néoformation.
- 3° des éléments très fins, restant en suspension dans l'eau, et parmi lesquels les uns sont cristallisés et d'autres amorphes.

L'étude d'une marne par les deux méthodes conduit donc à classer ses éléments d'une façon analogue, résumée dans le tableau suivant :

Organismes.									
Minéraux	<table style="border-collapse: collapse; vertical-align: middle;"> <tr> <td rowspan="2" style="font-size: 2em; padding-right: 5px;">}</td> <td style="padding-right: 5px;">Attaquables par HCl (secondaires, <i>max. pars</i>).</td> </tr> <tr> <td style="padding-right: 5px;">inattaquables</td> <td style="padding-left: 5px;"> <table style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="font-size: 1.5em; padding-right: 5px;">{</td> <td style="padding-left: 5px;">détritiques,</td> </tr> <tr> <td style="font-size: 1.5em; padding-right: 5px;">{</td> <td style="padding-left: 5px;">secondaires.</td> </tr> </table> </td> </tr> </table>	}	Attaquables par HCl (secondaires, <i>max. pars</i> ).	inattaquables	<table style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="font-size: 1.5em; padding-right: 5px;">{</td> <td style="padding-left: 5px;">détritiques,</td> </tr> <tr> <td style="font-size: 1.5em; padding-right: 5px;">{</td> <td style="padding-left: 5px;">secondaires.</td> </tr> </table>	{	détritiques,	{	secondaires.
}			Attaquables par HCl (secondaires, <i>max. pars</i> ).						
	inattaquables	<table style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="font-size: 1.5em; padding-right: 5px;">{</td> <td style="padding-left: 5px;">détritiques,</td> </tr> <tr> <td style="font-size: 1.5em; padding-right: 5px;">{</td> <td style="padding-left: 5px;">secondaires.</td> </tr> </table>	{	détritiques,	{	secondaires.			
{	détritiques,								
{	secondaires.								
Minéraux restant en suspension (= pâte)	<table style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td rowspan="2" style="font-size: 1.5em; padding-right: 5px;">}</td> <td style="padding-left: 5px;">cristallisés,</td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 5px;">amorphes.</td> </tr> </table>	}	cristallisés,	amorphes.					
}	cristallisés,								
	amorphes.								

Nous allons étudier successivement ces différents constituants des marnes :

#### a) Organismes

Il est assez rare que les marnes du Lias de Franche-Comté soient totalement dépourvues d'organismes ; mais les restes organiques

sont parfois mal conservés, partiellement détruits, ou brisés, ce qui rend les déterminations difficiles ou même impossibles : c'est ainsi qu'un grand nombre d'échantillons montrent en plaques minces des bâtonnets calcaires larges de 10 à 20 $\mu$  et longs de 75 à 100 $\mu$  : ce sont peut-être des débris de spicules calcifiés, ou un remplissage par la calcite de vides laissés par la disparition d'algues dont nous verrons plus loin la description (p. 49) : mais il est impossible de se prononcer à cet égard. D'autres organismes problématiques seront décrits plus loin, en même temps que les échantillons où ils ont été rencontrés.

Parmi les organismes déterminables, les groupes zoologiques suivants sont bien représentés :

Les FORAMINIFÈRES : parmi ceux-ci dominant les formes uniloculaires ; les formes *Nodosaria*, constituées par plusieurs loges placées en ligne droite, sont également assez communes. Les autres Foraminifères (composés de deux séries de loges : formes *Textularia* ; et formes enroulées) sont plus rares. Le test des Foraminifères observés est généralement calcaire. Il est parfois digéré, par suite d'une recristallisation partielle de la roche, ou plus rarement épigénisé, en particulier par de la pyrite. L'intérieur des loges est rempli plus ou moins complètement par de la calcite, de la pyrite, de la glauconie, ou enfin par de la limonite, dont une partie peut provenir de l'altération des deux précédents minéraux. Plus rarement, les loges sont occupées par de la calcédoine.

Les SPONGIAIRES sont sans doute présents : nous n'avons observé qu'un seul type de spicule calcifié identifiable avec quelque certitude ; une partie des bâtonnets calcaires dont il a été question plus haut appartient peut-être à ce groupe.

Parmi les ÉCHINODERMES, les Crinoïdes et les Échinides jouent un rôle pétrographique important, mais sont très localisés :

Les CRINOÏDES (Pl. II, fig. 4) sont particulièrement répandus dans les marnes intercalées entre les bancs du Calcaire à Gryphées ; ils sont la plupart du temps calcaires et bien conservés, mais peuvent être recristallisés en calcite ; leur réseau est parfois occupé par de la limonite ou par de la glauconie. Ce dernier minéral épigénise parfois tout ou partie des fragments de Crinoïdes. La présence de la glauconie dans les Crinoïdes, est un fait assez exceptionnel, ces fossiles étant généralement calcaires ou chloriteux (1) : mais l'étude chimique du minéral, qui a été faite par M. Barlot, ne laisse pas de doute quant à sa détermination, non plus que son

(1) L. Cayeux [10], p. 259. M. Cayeux [10a] a cependant signalé des Échinodermes épigénisés par la glauconie dans le Lutétien de Conflans-Sainte-Honorine

examen au microscope : il présente en effet toujours la polarisation d'agrégat, ce qui ne se produit pas avec les chlorites. On trouve également des Crinoïdes dans certains bancs du Charmouthien et de l'Aalénien.

L'existence de couches à ÉCHINIDES a été signalée par M. Dubar [24] sur la bordure du Massif Central, où il ne semble pas toutefois qu'ils jouent un rôle pétrographique aussi important que dans le Jura. Nous avons trouvé en effet des marnes et marnocalcaires hettangiens, dans lesquels des radioles d'Oursin occupent une place prépondérante et constituent un élément essentiel de la roche [19]. Une description de ces radioles sera donnée à propos des formations qui les contiennent (p. 30).

Les BRYOZOAIRES sont représentés d'une façon très sporadique. Aussi leur rôle pétrographique n'est-il pas bien important.

Il est en de même des BRACHIOPODES dont on peut reconnaître des fragments à différents niveaux.

Quelques marnes du Charmouthien contiennent des SERPULES qui donnent dans les coupes d'assez nombreuses sections.

Les LAMELLIBRANCHES sont assez abondants à plusieurs niveaux. Ils sont souvent brisés, mais peuvent aussi être entiers.

Enfin, on peut parfois observer des sections d'AMMONITES dont le test est calcaire ou partiellement épigénisé par de la pyrite. Les Ammonites sont d'ailleurs beaucoup plus communes dans les concrétions calcaires (miches) ou phosphatées, que dans les marnes elles-mêmes [20].

C'est peut-être également au voisinage des Ammonites, dont ce seraient sans doute (?) les œufs, qu'il faut placer les « corps discoïdes » que l'on rencontre dans les schistes bitumineux à Posidonomyes, et que nous décrirons en détail, à propos de ces roches (p. 86).

Dans les schistes à Posidonomyes, ainsi que dans différents autres niveaux, on trouve des algues, paraissant formées d'une substance carbonneuse ou bitumineuse, et dont la structure est visible dans certaines coupes et dans les surfaces polies ([21] et p. 49).

#### b) *Minéraux*

Les minéraux détritiques sont très difficiles à étudier dans les lames minces, car ils sont souvent enrobés dans la pâte, ou entourés d'un dépôt de limonite : seuls le quartz, et parfois le mica lorsqu'il est assez abondant, peuvent être mis en évidence. Exceptionnellement, il est possible d'observer dans les lames minces, ici un feldspath, là un zircon.



Le résidu de décantation et d'attaque à l'acide chlorhydrique permet de les étudier beaucoup mieux :

Le QUARTZ est toujours le plus abondant des minéraux détritiques : il est souvent bien roulé (1, fig. 3), quelquefois subanguleux (2, fig. 3). On observe aussi des grains bien roulés qui ont été brisés (3, fig. 3). Il est fréquent de constater des extinctions roulantes.

Les FELDSPATHS sont assez répandus : tous ceux que nous avons observés paraissent détritiques. L'orthose (4 et 5, fig. 3) est plus commune que les plagioclases ; elle a généralement un aspect sale, et les clivages sont bien visibles.

Les MICAS sont représentés par la muscovite et la biotite. La muscovite (6, fig. 3) est souvent commune, et se présente en général, ainsi que le fait remarquer M. H.-B. Milner ([38], p. 214), en éléments d'une taille trois fois plus grande que les grains de quartz. La biotite paraît plus rare, mais, comme elle est partiellement attaquable par l'acide chlorhydrique, il est difficile de préciser son rôle. Elle se présente d'ailleurs souvent en lamelles corrodées et déchiquetées (7, fig. 3).

Le ZIRCON est un élément ubiquiste, comme l'a fait remarquer M. A.-B. Dick [16], mais toujours peu abondant : on l'observe en grains roulés (9, fig. 3) et en cristaux, dont les angles sont plus ou moins arrondis (8, 10 et 11, fig. 3). Les dimensions des grains comme des cristaux sont toujours très réduites.

La TOURMALINE est assez souvent présente, mais constitue un élément rare. Nous avons observé des tourmalines vertes et brunes : ce sont des grains, ou des prismes généralement brisés (12-13, fig. 3).

Le RUTILE est exceptionnel, ainsi que le DISTHÈNE, dont nous n'avons rencontré qu'un seul cristal.

Enfin, un minéral fibreux, présent dans la plupart des marnes, en petite quantité, il est vrai, a les caractères suivants : fibres allongées, souvent courbes, portant des stries longitudinales irrégulièrement distribuées, terminées en pointe ou brisées aux extrémités, dont les dimensions moyennes sont les suivantes : longueur,  $100\mu$  ; diamètre,  $20\mu$ . Ces dimensions extrêmement réduites rendent les mesures très difficiles, et on en est réduit à quelques propriétés optiques : indice nettement plus élevé que celui du baume ; couleur en lumière naturelle légèrement jaunâtre ; teintes de polarisation vives, formant des bandes de teintes différentes disposées parallèlement à l'allongement des fibres et donnant dans leur ensemble un aspect irisé ; extinction droite (14 à 17, fig. 3). Ce minéral, que nous avons tout d'abord cru être de la sillimanite, est, de l'avis de M. Cayeux, une phyllite, se rapprochant beaucoup des

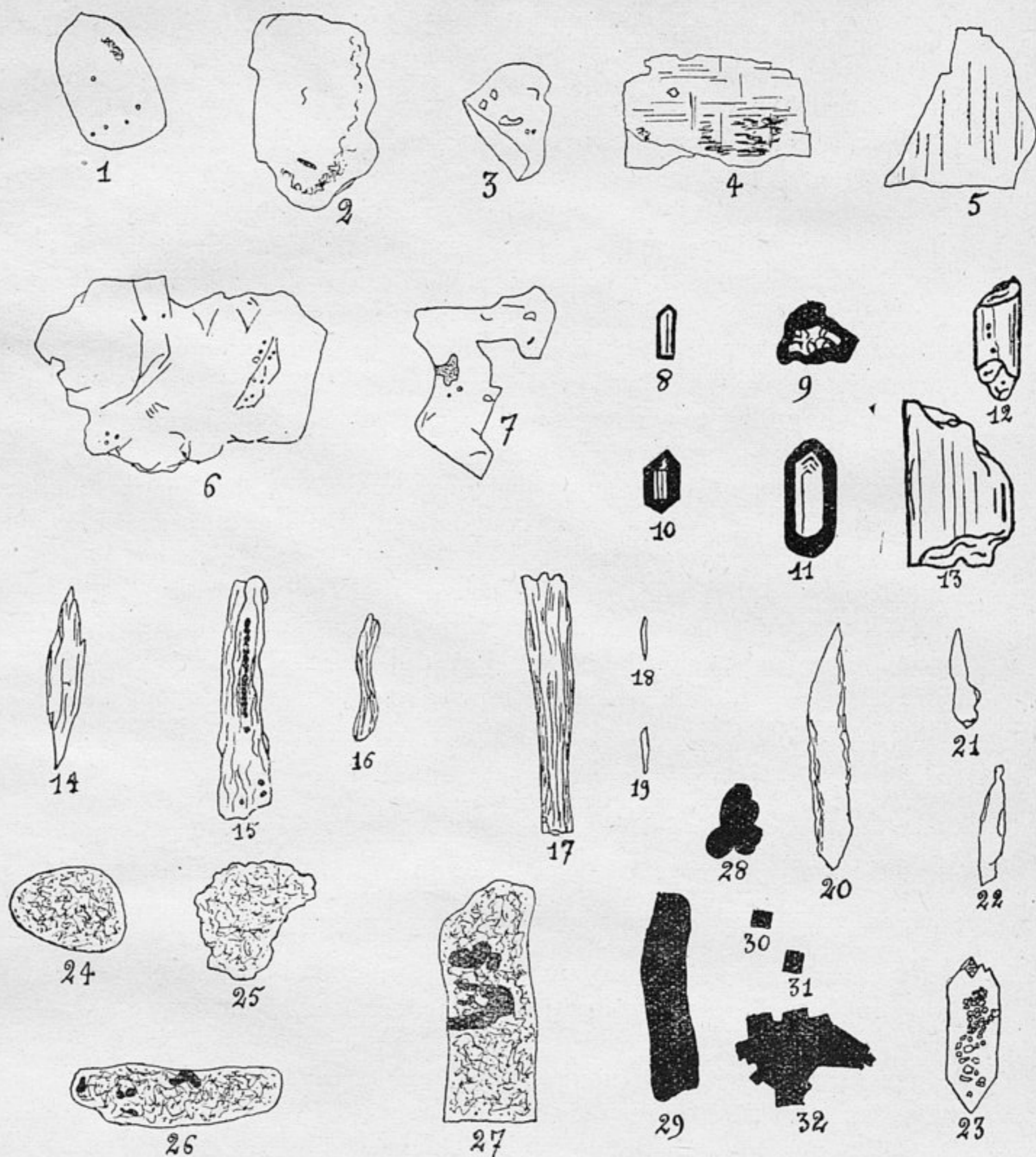


FIG. 3. — Choix de minéraux des marnes du Lias

*Explication de la figure 3*

- 1 à 3. Quartz détritique : 1, grain bien roulé (Toarcien, Belfort). 2, grain subanguleux, (Charmouthien, Varessia). 3, grain roulé et brisé (Charmouthien, Busy).
- 4-5. Orthose : 4, Toarcien de Morre. 5, Charmouthien de Miserey.
6. Muscovite (Charmouthien, Varessia).
7. Biotite (Charmouthien, Busy).
- 8 à 11. Zircon. 8, prisme non usé (Toarcien, Belfort). 9, grain très usé, (Charmouthien, Miserey). 10, prisme non usé (Charmouthien, Miserey). 11 prisme usé (Charmouthien, Chapelle-des-Buis).
- 12-13. Tourmaline : prismes brisés (Charmouthien, Chapelle-des-Buis).
- 14 à 17. Phyllite indéterminée : 14, Fibre fusiforme (Charmouthien, Busy). 15, fibre massive avec inclusions (Toarcien, Belfort). 16, fibre courbe (Charmouthien, Rosay). 17, fibre massive (Charmouthien, Rosay).
- 18 à 23. Silice secondaire : 18, fibre (Calcédoine ?) faisant partie de la pâte (Charmouthien, Villette). 19, fibre (Charmouthien, Busy). 20, lame ayant deux bords tranchants (Charmouthien, Villette). 21, fragment irrégulier (Toarcien, Belfort). 22, fragment irrégulier (Charmouthien, Rosay). 23, quartz avec inclusions (Charmouthien, Rosay).
- 24 à 27. Glauconie : 24, grain régulier (Charmouthien, Miserey). 25, grain irrégulier (Charmouthien, Chapelle-des-Buis). 26 et 27, grains allongés (Charmouthien, Miserey).
- 28-32. Pyrite : 28, concrétion mamelonnée (Charmouthien, Chapelle-des-Buis). 29, concrétion allongée (Charmouthien, Busy). 30 à 32 : cubes et concrétion à pointements cubiques (Charmouthien, Chapelle-des-Buis). Grossissement : le n° 4 est grossi 120 fois ; tous les autres minéraux sont grossis 210 fois.

micas, mais absolument indéterminable en raison de la petitesse des éléments.

Parmi les minéraux secondaires, la CALCITE joue un rôle prédominant : elle se présente dans des lames minces en grains de dimensions variables et en plages provenant d'une recristallisation de la roche : ces plages peuvent avoir une orientation optique unique ; mais, en général, ce n'est pas le cas, ce qui semble montrer que la recristallisation s'est faite à partir de plusieurs centres. La calcite occupe en outre des fentes dans les marnes fissurées ; elle constitue le test de nombreux organismes et parfois remplit leurs cavités. Enfin, comme nous le verrons plus loin (p. 18), elle fait partie de la pâte sous forme de menus rhomboédres.

On peut observer également dans les lames minces d'autres minéraux secondaires :

La DOLOMIE existe en petits rhomboédres dans une marne toarcienne (Pl. I, fig. 2).

La CALCÉDOINE est représentée par de rares débris organiques, ainsi que par des plages où elle forme des fibres très courtes ; de fines aiguilles et fibres incolores, difficiles à distinguer dans la pâte et donnant les teintes de polarisation du quartz, doivent être également en calcédoine, mais leurs dimensions ne permettent pas de faire de vérification (Pl. I, fig. 4).

Dans les schistes bitumineux, la silice secondaire se présente sous forme d'OPALE, dont les globules peuvent être groupés en amas muriformes, ou isolés.

Enfin, les minéraux ferrugineux sont très répandus : quelques marnes du Charmouthien contiennent de la SIDÉROSE (Pl. I, fig. 1), sous forme de rhomboédres de très petite taille, de teinte jaunâtre, dichroïques et entourés d'un liseré de limonite provenant de leur altération. Des concrétions sont constituées par de la PYRITE (28-29, fig. 3) ; ce minéral remplit parfois les loges des Foraminifères et les cavités d'autres organismes, telles que les radioles d'Oursin ; on le trouve associé à la matière organique des algues (voir p. 49) ; enfin, la pyrite se présente aussi, bien que plus rarement, en cubes isolés ou groupés (30-31-32, fig. 3).

L'HÉMATITE rouge n'est pas très commune ; elle remplit les canaux de certaines radioles d'Oursin, et forme quelques concrétions. Il n'en est pas de même de la LIMONITE, qui est certainement, après la calcite, le minéral le plus commun des marnes : elle constitue des concrétions de forme variable (globuleuses, allongées, etc...) dont certaines ont une limite nette, tandis que d'autres ont des bords estompés. Elle occupe les cavités de nombreux organismes, et provient souvent de l'altération d'autres minéraux, tels que

pyrite, sidérose et surtout glauconie. Enfin, elle est souvent diffuse et colore la pâte en brun plus ou moins foncé.

La GLAUCONIE est présente dans plusieurs niveaux, où elle est plus ou moins abondante. Elle est en grains, ou associée à des organismes : nous l'avons observée associée à des Crinoïdes, ce qui constitue un fait assez exceptionnel. La glauconie des marues liasiques de Franche-Comté présente toujours la polarisation d'agrégat. Sa teinte varie du jaune verdâtre au vert olive clair.

Contrairement à ce qui s'observe pour les minéraux détritiques, le résidu de décantation et d'attaque ne montre pas grand'chose de plus que les plaques minces, en ce qui concerne les minéraux secondaires. La silice seule offre un intérêt particulier dans ces conditions, car elle est beaucoup plus facile à étudier : elle se présente sous quatre formes différentes :

1° Fines aiguilles, probablement de calcédoine (18-19, fig. 3) ;

2° Quartz secondaire, avec formes cristallines et montrant de nombreuses inclusions ; très rare (23, fig. 3) ;

3° Fragments assez gros (20-21-22, fig. 3), ayant souvent la forme d'une lame tranchante sur un bord ou sur les deux bords, et terminée par des extrémités effilées. Ces lames sont formées d'un cristal unique s'éteignant en long : il est probable que ce sont des lames de quartz secondaire, dont la cristallisation s'est effectuée dans les vides de la roche en voie de consolidation ou même déjà consolidée.

4° Remplissage, ou, plus rarement, épigénie d'organismes divers.

### c) *La pâte*

La pâte est un élément essentiel des marnes ; elle en est également la partie caractéristique, car c'est de son abondance et de sa nature que dépendent la couleur, la compacité, l'onctuosité, en somme les différentes propriétés des marnes. Et c'est précisément cette pâte qui est la partie des marnes la plus difficile à étudier, et, pour cela, la moins étudiée.

Nous avons vu plus haut (p. 12) que la pâte comprend une partie microcristalline et une partie amorphe. Les plaques minces permettent seulement de se rendre compte qu'elle contient généralement de la calcite et de fines aiguilles à extinction longitudinale, qui sont probablement de la calcédoine. Le reste de la pâte correspond à la « partie argileuse » de la marne.

La calcite de la pâte mérite une mention spéciale, car elle est cristallisée en rhomboèdres. Il est généralement admis que la calcite ayant des formes cristallines est exceptionnelle dans les roches

sédimentaires ([10], p. 213 et [38], p. 146). Toutefois, J. Deprat signale de la calcite en rhomboédres dans les marnes à *Creniceras Renggeri* de l'Oxfordien de Franche-Comté : « Les minéraux formés « par voie chimique sont la calcite, dont les rhomboédres micros-  
« copiques forment le quart de la roche... » ([15], p. 31).

Il est en général difficile de se rendre compte dans les lames minces de la présence des rhomboédres de calcite, en raison de leurs très petites dimensions : aussi ne signalerons-nous cette forme de la calcite, au cours de la description des échantillons, que lorsqu'elle sera particulièrement visible. Mais la calcite rhomboédrique existe dans toutes les marnes étudiées : le meilleur procédé pour la mettre en évidence consiste à déliter une marne dans l'eau ; on agite, de façon à mettre la marne en suspension ; après avoir laissé reposer pendant au moins cinq heures, on prélève, à l'aide d'une pipette, de l'eau trouble qui surmonte le dépôt, et on l'examine : il n'y a dans cette eau que quelques particules amorphes, accompagnant une quantité considérable de rhomboédres fortement biréfringents ; leurs dimensions généralement inférieures à  $5\mu$  leur font avoir des teintes de polarisation jaunes et non pas irisées. La mesure des angles d'extinction et l'analyse chimique permettent d'être certain que c'est bien de la calcite.

Il est probable que cette cristallisation, considérée comme un fait exceptionnel dans l'ensemble des roches sédimentaires, est un phénomène normal dans les marnes en raison du grand développement qu'y prennent les substances douées de propriétés colloïdales.

La question de « l'argile » des marnes est particulièrement délicate ; elle ne peut d'ailleurs être traitée isolément en ce qui concerne les marnes, et il nous semble utile de faire ici une mise au point des questions concernant les différentes argiles.

Le groupe des argiles est en effet fort mal défini : dans les traités classiques de minéralogie, on considère les argiles comme des silicates d'alumine hydratés ; dans les industries céramiques, on appelle argile toute matière plastique susceptible de se mouler et de durcir à la cuisson. En pétrographie, on pourrait donner des « matières argileuses » une définition analogue : ce serait la portion des roches qui leur donne leur plasticité et leur onctuosité : c'est ainsi que les marnes sont considérées comme un mélange de calcaire et d'« argile », auquel s'ajoutent différents minéraux détritiques et secondaires en quantité plus ou moins grande.

Quelle que soit d'ailleurs la définition adoptée, il faut remarquer que les argiles, au sens général du mot, peuvent être divisées en deux catégories : dans la conception minéralogique, on sépare les

argiles cristallines des argiles amorphes ; le critérium de la fusibilité permet de séparer les argiles réfractaires des argiles à poteries non réfractaires. Les premières correspondent à peu près aux argiles cristallisées : on les a désignées aussi sous le nom d'argiles pures, de kaolin, d'argiles feldspathiques. Nous les désignerons d'une façon générale sous le nom d'argiles kaoliniques. — Le second groupe, qui est d'ailleurs, comme nous le verrons, le plus complexe, a été désigné sous le nom d'argiles allophaniques. On pourrait appeler les argiles de ce second groupe « argiles sédimentaires », car elles dominent dans les roches sédimentaires, alors que les argiles kaoliniques sont surtout répandues dans les produits de décomposition. Alors que les argiles kaoliniques ont fait l'objet de nombreuses études, les argiles sédimentaires ont été un peu délaissées jusqu'à ces dernières années.

Tout en s'en tenant à la conception classique, suivant laquelle les argiles seraient des composés hydratés de la silice et de l'alumine, certains auteurs pensent qu'il y a évolution générale des argiles de l'état colloïdal vers des états de plus en plus cristallins : M. P. Urbain [57] admet même que les argiles colloïdales peuvent être considérées comme des mélanges de gels de silice et d'alumine,

ce qui expliquerait les variations du rapport  $\frac{\text{Si O}^2}{\text{Al}^2\text{O}^3}$  qu'ont mises

en évidence de nombreuses analyses. Mais, pour M. J. Thugutt [54], il ne saurait être question d'un mélange de gels, car les colorants n'agissent pas de la même façon sur les différentes argiles.

Quoi qu'il en soit des opinions précédentes, il y a lieu de remarquer que, sauf pour quelques argiles du groupe kaolinique, et quelques autres recueillies dans des gisements privilégiés, où on les trouve à l'état de pureté, les chimistes ne sont pas d'accord avec les minéralogistes et déclarent *ne pouvoir identifier la plupart des produits qu'ils ont étudiés avec les argiles telles que les définissent les minéralogistes.*

C'est ainsi que H. Stremme [46] distingue deux groupes d'argiles : les unes, qu'il désigne sous le nom d'argiles feldspathiques, sont des produits de décomposition des feldspaths ; les autres ne sont pas cristallines, sont facilement solubles dans l'acide chlorhydrique

et contiennent une quantité variable de silice, le rapport  $\frac{\text{Si O}^2}{\text{Al}^2\text{O}^3}$

pouvant aller de 0,4 à 8 : ce sont les argiles allophanoïdes, qui se rapprochent, d'après l'auteur, des zéolithes.

Quelques années avant H. Stremme, M. Le Chatelier [36] avait rapproché certaines argiles de la bravaisite. Ce rapprochement a

été fait plus récemment par M. Thiébaud, dans un ouvrage d'une importance considérable pour nous, puisqu'il a trait à des formations comparables à celles qui font l'objet de cette étude.

M. Thiébaud [49] a effectué un grand nombre d'analyses de marnes et d'argiles diverses, dont il a séparé les éléments par des méthodes exclusivement chimiques :

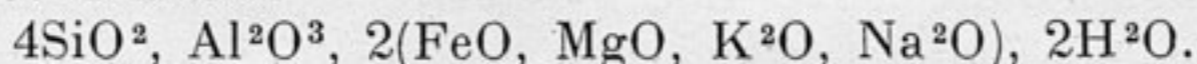
1° Attaque à l'acide chlorhydrique au 1/20, afin d'attaquer seulement les carbonates.

2° Attaque à l'acide chlorhydrique au 1/2 et à chaud, par laquelle M. Thiébaud prétend attaquer intégralement ce qu'il appelle la « phyllite » de la roche (c'est-à-dire l'argile, telle que nous l'avons définie plus haut) : c'est ce qui est dissous qu'il désigne dans ses analyses sous le nom de portion B.

3° Une attaque du résidu à l'acide sulfurique dissout un certain nombre de corps, tels que la muscovite, le rutile, l'halloysite, l'illménite : c'est la portion C.

4° Un résidu insoluble (portion D) est également analysé.

Du résultat des analyses concernant la portion B, M. Thiébaud conclut que la « phyllite » des marnes marines et saumâtres a une composition voisine de celle de la bravaisite, et qui peut s'exprimer par la formule :



Mais il importe de remarquer que la méthode de séparation de l'argile est ici une méthode exclusivement chimique : et on se demande s'il est possible que l'acide chlorhydrique au 1/2 attaque la phyllite, seule et intégralement, comme M. Thiébaud semble l'admettre implicitement dans ses analyses, alors que ses essais préliminaires ont montré que les corps suivants sont attaqués par l'acide :

Orthose, dans la proportion de 2,93 à 4,54 % ;

Muscovite, dans la proportion de 5,04 à 32,56 %, suivant la grosseur ;

Biotite et phlogopite, en totalité ;

Kaolinite, dans la proportion de 9,44 à 15,85 % ;

Montmorillonite, 62,5 % ;

Pyrite, 2,20 % ;

Illménite, 39,60 % ; etc...

La partie dissoute de ces corps doit être souvent suffisante pour venir troubler considérablement les analyses de la portion B.

De même, il semble que la première attaque, faite avec l'acide au 1/20, dans le but de se débarrasser des carbonates, doive déjà attaquer une portion de la phyllite ; l'eau distillée dissout en effet, 0,035 % de silice dans une argile d'après M. Demolon ([13], p. 34),

et l'eau saturée de gaz carbonique, pourtant beaucoup moins acide que l'acide chlorhydrique au 1/20, en met en liberté de 0,090 à 0,110 %. Et pourtant, les argiles étudiées par M. Demolon sont des argiles de décalcification, certainement beaucoup plus stables que l'argile des marnes.

Bien des points de l'interprétation des analyses sont également critiquables dans ce travail.

Ainsi, il y a lieu de se demander pourquoi M. Thiébaud considère tout le fer comme divalent dans la portion B et comme trivalent dans la portion C ; il est fort possible que la plus grande partie du fer, dans ces sédiments marins, soit du fer ferrique. Ceci conduit d'ailleurs M. Thiébaud à tenir compte de tout le fer parmi les bases,

lorsqu'il calcule le rapport  $\frac{\text{bases}}{\text{Al}^2\text{O}^2}$  ; alors qu'une partie du fer doit

remplacer isomorphiquement l'aluminium : M. Thiébaud lui-même admet ce remplacement dans la glauconie ([49], p. 158), qu'il compare cependant à la « phyllite » des marnes.

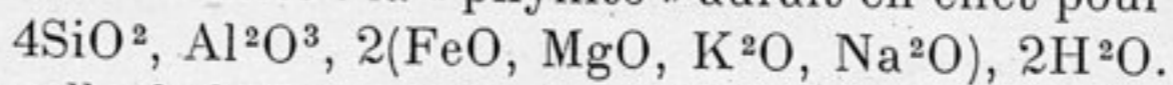
D'autre part, les rapports  $\frac{\text{SiO}^2}{\text{Al}^2\text{O}^3}$  calculés par M. Thiébaud sont

très variables d'un échantillon à l'autre, ainsi que le montre le graphique de la figure 4 : ils varient de 3 à 5,79 ; aussi, il n'est sans doute pas justifié de prendre la moyenne des différentes analyses pour établir une « formule de la phyllite. » Il est d'ailleurs curieux

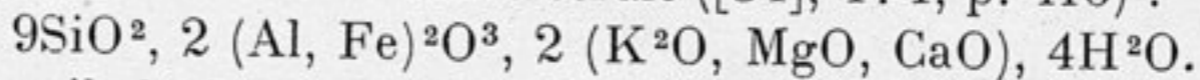
de constater que le rapport  $\frac{\text{SiO}^2}{\text{Al}^2\text{O}^3}$  est beaucoup plus constant pour

la portion C (voir fig. 4), considérée par M. Thiébaud comme formée d'un mélange de différents minéraux, que pour la portion B, qui serait formée d'un seul et même corps !

Enfin, la formule calculée par M. Thiébaud ne correspond pas à celle de la bravaisite : la « phyllite » aurait en effet pour formule :



alors que celle de la Bravaisite serait ([34], T. I, p. 416) :



Le travail de M. Thiébaud a néanmoins démontré d'une façon certaine que les argiles sédimentaires diffèrent totalement de la kaolinite ; les analyses montrent en outre que, contrairement aux conclusions de l'auteur, la composition de la partie argileuse des marnes est très variable, au moins en ce qui concerne la teneur en  $\text{SiO}^2$ . Enfin, on peut en conclure que l'argile des marnes n'est pas formée de silicates d'alumine, mais d'aluminosilicates de différentes bases.



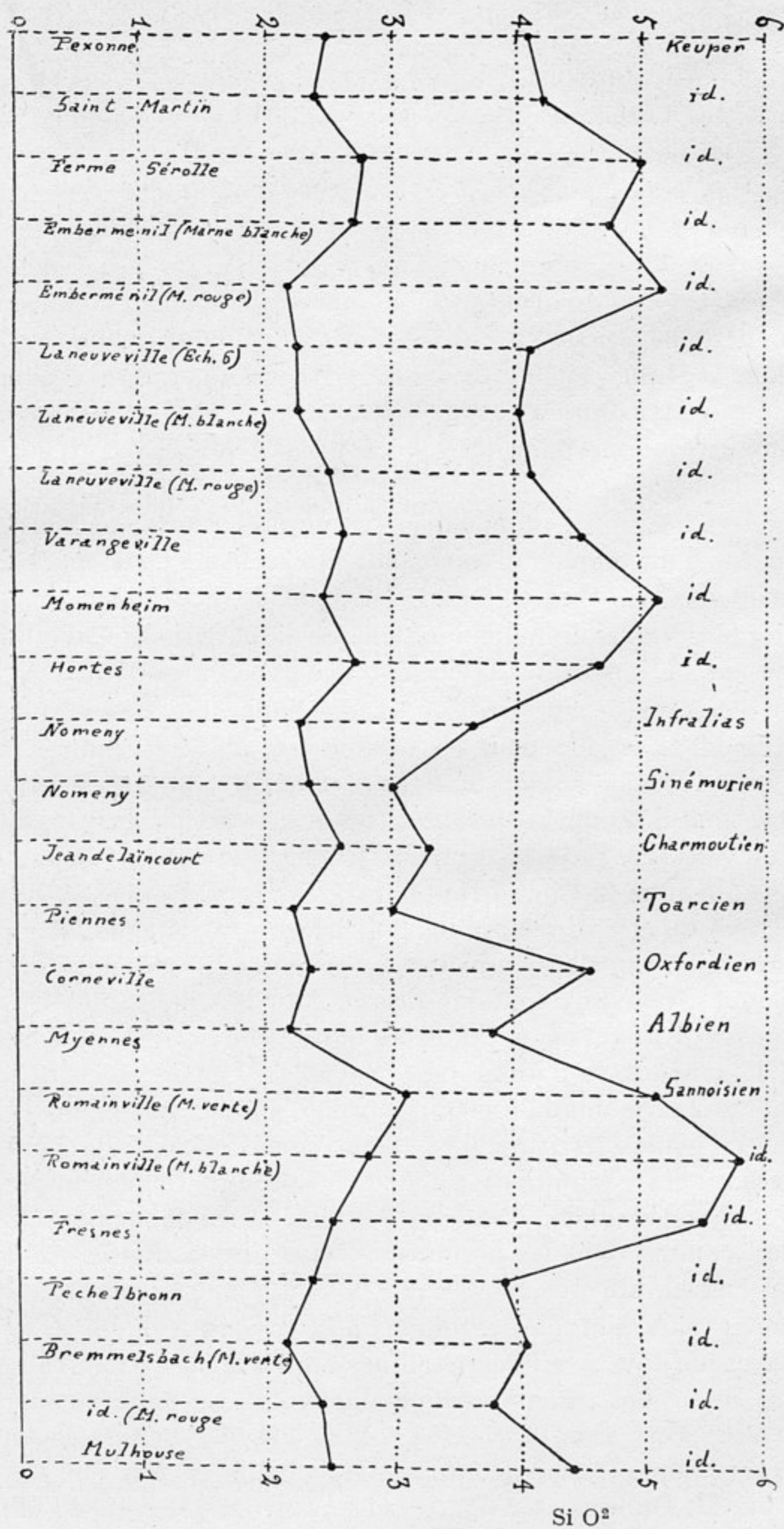


FIG. 4. — Graphique des variations du rapport  $\frac{\text{Si O}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$  dans les marnes du Bassin de Paris, d'après les résultats trouvés par M. Thiébaud. La courbe supérieure indique les variations de ce rapport pour la portion B ; la courbe inférieure pour la portion C.

Ce sont des conclusions assez analogues à celles-ci que formule M. Demolon, à la suite de ses *Recherches physicochimiques sur la terre à briques* [13] :

« Les aluminosilicates qui en constituent la fraction essentielle, n'ont pu être identifiés ni avec la kaolinite, ni avec aucune des argiles dont la constitution a été définie par les minéralogistes. Pour ces argiles amorphes, l'état physique paraît conditionner notamment la teneur en eau et son évolution. L'étude des phénomènes d'absorption et d'échanges d'ions conduit à ranger ces aluminosilicates dans la catégorie des silicates zéolithiques (p. 93) ».

Nous retrouvons donc ici l'opinion citée plus haut (p. 20) de M. H. Stremme [46].

D'autres faits militent encore en faveur d'un rapprochement entre les argiles, d'une part, et d'autre part, les zéolithes et les permutites (qui sont des zéolithes colloïdales de synthèse) :

L'argile des grands fonds contient de la christianite, dont il est intéressant de remarquer la coexistence avec l'argile [39].

Les réactions de substitution et d'échange des bases, qui sont maintenant classiques pour les permutites, ont été étudiées également pour les argiles ; sans avoir la prétention de donner une bibliographie complète de la question, nous signalerons les travaux de Ungerer [56], N. Held [33] et G. Wiegner [58].

Dans une note fort importante [44], MM. C. S. Ross et P.-F. Kerr ont essayé de classer les argiles d'une façon rationnelle, et montré que les argiles sont très variées et correspondent à des acides aluminosiliciques, pouvant contenir jusqu'à 15  $\text{SiO}_2$  pour 1  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , et à différents sels de ces acides, dont les bases principales sont le magnésium, le calcium, le potassium, le sodium et même, bien que plus rarement, l'ammonium. Certains argiles sont, d'après ces auteurs, des sels d'acides ferrisiliciques. Dans tous les cas, sauf peut-être pour les argiles kaoliniques qui sont des produits de décomposition ou d'origine thermique, les bases semblent être facilement échangeables, comme dans les permutites, sans que la molécule d'argile en soit en rien affectée.

D'autre part, l'étude des argiles aux rayons X montre qu'elles sont presque toutes microcristallines : les argiles paraissant absolument amorphes au microscope donnent, en effet, presque toujours des spectres de diffraction ([43], [44], [25]). Mais cependant ces argiles sont douées de propriétés colloïdales, qui ont été étudiées par M. Dubrisay ([25], [26]) et par M. Demolon ([13], [14]).

Nous voici loin de la conception classique selon laquelle les argiles seraient de simples silicates d'alumine hydratés, correspondant à

des types bien définis, et dont les unes seraient amorphes et d'autres cristallisées.

Il faut actuellement considérer les argiles comme un groupe très complexe d'acides alumino et ferrisiliciques, et de sels de ces acides, constituant plusieurs séries isomorphes. Certains de ces corps sont nettement cristallisés ; la plupart sont doués de propriétés colloïdales, mais donnent cependant des spectres de diffraction aux rayons X. Les argiles ont certainement des affinités avec les permittites, avec lesquelles elles partagent les propriétés d'échanges des bases. Enfin, leur stabilité aux différentes températures et vis-à-vis des différents acides est très variable.

Mais la plupart des argiles étudiées d'une façon complète étaient, à l'état naturel, à peu près pures ; alors que les travaux entrepris jusqu'à présent dans le but d'élucider la question de l'argile des marnes, n'ont donné que des résultats d'ordre chimique, sans même qu'une précision satisfaisante ait pu être obtenue.

On peut toutefois grouper les résultats concernant la valeur du rapport  $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$  dans les différentes argiles, pour essayer de les interpréter au point de vue géologique : en effet, malgré les erreurs d'analyse fréquentes, dont nous avons expliqué quelques-unes, il semble que *dans les roches de même catégorie, l'ordre de grandeur du rapport  $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$  ait une certaine constance* : ainsi, il a une valeur voisine de

2 pour les produits de décomposition des roches éruptives, dans lesquelles il est généralement bien supérieur à ce nombre ; dans les sédiments marins et saumâtres, il varie de 3 à plus de 5 ; dans les produits de décomposition des roches sédimentaires et dans les sédiments lacustres, on trouve des valeurs comprises entre 2 et 3.

Il y a donc généralement une diminution du rapport de la silice à l'alumine lors de la décomposition des roches éruptives.

Il y a d'autre part un enrichissement en silice dans les sédiments marins, qui proviennent en majeure partie, directement ou indirectement, des produits de décomposition précédents (1).

(1) En effet, les argiles marines peuvent s'être formées :

1° aux dépens d'apports, par les eaux ou par le vent, d'argiles de décomposition ;

2° par précipitation en milieu marin de la portion des argiles de décomposition dissoute par les eaux douces ;

3° par décomposition de minéraux en milieu marin (ce mode de formation des argiles marines étant sans doute le moins important, au moins lorsqu'on s'éloigne du littoral).

Les dépôts lacustres, au contraire, ont une proportion de silice comparable à celle des produits de décomposition.

Enfin, les argiles de décalcification se rapprochent des argiles de décomposition des roches éruptives, quelle que soit leur origine.

Il y a là une série de faits extrêmement curieux qui, lorsqu'on les rapproche, font penser à la possibilité d'une évolution, d'un véritable *cycle* des argiles, dont les différentes variétés seraient conditionnées par les propriétés du milieu où elles se forment, et surtout, sans doute, par le pH de ce milieu : on sait en effet que les eaux douces ont une réaction acide, tandis que les eaux marines sont basiques [50] ; comme d'autre part la majorité des argiles est douée de propriétés colloïdales, les variations d'acidité du milieu où elles se forment peuvent avoir pour conséquence la modification de certaines de leurs propriétés, et notamment de leur composition.

Il y aurait lieu d'entreprendre, pour élucider cette importante question, des recherches beaucoup plus étendues que ne l'aurait permis le cadre de cette étude sur les marnes du Lias. Si vraiment les différentes argiles se forment dans des conditions bien définies, l'étude de ces conditions pourrait donner d'intéressantes précisions au point de vue paléogéographique.

Nous avons donc laissé de côté provisoirement l'étude de l'argile des marnes, nous proposant de reprendre cette question avec plus de détails.

Enfin, pour en terminer avec les généralités sur les marnes, nous dirons que des essais tentés sur plusieurs d'entre elles, nous ont permis d'y retrouver, en beaucoup moins grande quantité il est vrai, des composés organiques analogues à ceux que nous aurons l'occasion de décrire plus loin (p. 54), à propos des schistes bitumineux à Posidonomyes : ces composés constituent un véritable kérogène, puisqu'ils comprennent surtout des combinaisons oxygénées, susceptibles de donner des hydrocarbures par pyrogénéation : les marnes fournissent donc un important argument à la théorie de l'origine organique des pétroles, puisqu'elles se comportent comme des roches-mères plus ou moins riches.

---

## CHAPITRE III

### Description des échantillons

---

Pour chacun des groupes d'échantillons étudiés, nous donnerons d'abord quelques indications sur le gisement où ils ont été recueillis, sauf lorsqu'ils proviendront des affleurements déjà décrits de Villette ou de Miserey (p. 7). Puis nous décrirons leurs caractères macroscopiques : une remarque s'impose à ce sujet : la couleur indiquée dans le texte est celle de la *roche sèche*, qui diffère parfois assez de celle de la roche humide.

La description pétrographique sera divisée de la façon suivante :

1° Étude des lames minces :

- pâte ;
- minéraux détritiques ;
- minéraux secondaires ;
- organismes.

Pour un certain nombre d'éléments, nous avons essayé d'évaluer la surface qu'ils occupent dans les préparations. Il est évident toutefois que les chiffres donnés ne correspondent qu'à un ordre de grandeur, bien que les résultats aient généralement été les mêmes au cours de plusieurs évaluations.

Dans quelques cas, l'étude des organismes en lames minces est insuffisante, et nous avons eu recours à d'autres procédés, qui seront décrits au cours du même paragraphe.

2° Liste des minéraux obtenus suivant la technique décrite page 11 : pour abrégé, nous indiquerons ce paragraphe par le titre : *résidu d'attaque*.

Le nom de chaque minéral est suivi d'un chiffre entre parenthèses, qui a pour but d'indiquer sa fréquence d'après les notations suivantes (1) : très commun, 9 ; commun, 8 ; assez commun, 7-6 ; assez rare, 5-4 ; rare, 3 ; très rare, 2-1.

Il ne sera ajouté de remarques relatives aux différents minéraux qu'autant qu'ils seront exceptionnels, ou présenteront des caractères différents de ceux énumérés dans le chapitre précédent (p. 14 à 18).

(1) Méthode indiquée par M. H. B. Milner [38], p. 386.

Les échantillons seront décrits dans l'ordre suivant :

- A) Couches inférieures au calcaire à Gryphées.
- B) Sinémurien.
- C) Charmouthien des environs de Besançon.
- D) Charmouthien du Jura.
- E) Schistes à Posidonomyes et marnes s'y rattachant.
- F) Marnes du Toarcien supérieur.
- G) Aalénien.

#### A. Couches inférieures au Calcaire à Gryphées

Dans la région de Besançon, nous avons seulement étudié quelques *schistes rhétiens* provenant de Miserey :

Ce sont des schistes noirs, absolument dépourvus de calcaire. Entre les feuillets du schiste, on observe souvent un enduit brun, provenant de l'oxydation des produits ferrugineux qu'il contient. Quelques nodules ferrugineux, de forme aplatie, sont pris dans l'épaisseur de la roche, qui est assez friable et ne se débite pas en grandes plaques, mais en petits fragments ayant au maximum 10 cm. de côté.

#### *Étude des lames minces.*

La pâte de cette roche occupe 50 à 60 % de la surface des préparations. Elle est brune, fine, régulièrement répartie, sauf suivant quelques plages de contour à peu près circulaire, où elle est beaucoup plus développée et ne contient que quelques concrétions pyriteuses de très petites dimensions.

Le quartz est très abondant, et se présente en grains bien arrondis, ou, plus rarement, un peu anguleux : il occupe 35 à 45 % des préparations. La taille des grains de quartz est assez variable et atteint au maximum 50 à 60 $\mu$ . Parmi les éléments détritiques que l'on peut observer dans les lames minces, il faut noter aussi le mica, d'ailleurs assez peu abondant, puisqu'il occupe toujours moins de 1 % de la surface des préparations.

Les minéraux secondaires sont représentés dans la pâte par de fines aiguilles que nous considérons comme une calcédoine (Pl. I, fig. 4), (voir page 17) ; la pyrite forme d'assez nombreuses concrétions et des grains de petites dimensions, qui contribuent à donner à la roche sa teinte foncée, et sont souvent plus ou moins altérés en limonite. La pyrite est aussi associée à la matière organique dans des algues.

Ces algues, très abondantes, sont identiques à celles des schistes à Posidonomyes du Toarcien : nous les décrivons à propos de ces formations (page 49) ; ce sont les seuls microorganismes de ces schistes rhétiens.

*Résidu d'attaque.*

Quartz (9) ; Silice secondaire (voir, p. 18), (4) ; Muscovite (1) ; Feldspaths (1) (orthose et plagioclases) ; Tourmaline brune (1) ; Algues (6).

\*  
\* \*

Dans le Jura, les niveaux les plus anciens que nous ayons étudiés appartiennent aux couches de passage de l'*Hellangien* au Sinémurien de Villette-les-Saint-Amour (p. 6) : on n'y trouve pas encore de Gryphées, et la faune est constituée à la fois par des formes de l'Hettangien, telles que *Pecten cf. valoniensis*, *Cardinia sp.*, et des espèces du Sinémurien, telles que *Arietites Kridion*, *A. conybeari*, *Zeileria cf. cornuta*, *Spiriferina pinguis*.

La roche se présente comme un marne blanche assez compacte, avec quelques intercalations de bancs d'une teinte gris clair, un peu plus friables et mieux stratifiés.

*Étude des lames minces*

L'examen en lames minces ne fait pas apparaître de différences entre les deux variétés : aussi les décrivons-nous ensemble :

La pâte, très calcaire, occupe 60 à 80 % de la surface des préparations. Elle est fine, régulière, parfois légèrement ferrugineuse.

Les minéraux détritiques sont représentés par de très rares grains de quartz, dont les dimensions sont généralement inférieures à 20 $\mu$ .

La calcite bien individualisée occupe à elle seule environ 20 % de la surface des lames minces. Elle se présente en grains de petite taille, ou en plages provenant d'une recristallisation de la roche : ces plages peuvent avoir plus d'un millimètre. La calcite fait également partie de la pâte, où elle est cristallisée en petits rhomboèdres (voir page 18). La Pyrite forme quelques concrétions et occupe l'intérieur de certains organismes. Il en est de même de l'hématite, dont les concrétions sont toutefois plus abondantes, irrégulières ou allongées. Dans plusieurs échantillons, la limonite remplace l'hématite. Enfin, les parties compactes de la roche mon-

trent de nombreuses et fines aiguilles, de calcédoine probablement (p. 17).

Les organismes sont très abondants : en premier lieu viennent les radioles d'Oursin (Pl. III, fig. 1 et 3), qui ont déjà fait l'objet d'une description [19] : nous rappellerons que les sections transversales présentent un canal central, sensiblement circulaire, et huit canaux allongés situés entre les saillies correspondant aux côtes. Les coupes longitudinales montrent un canal axial, relié à deux canaux latéraux par des anastomoses obliques et irrégulières (fig. 5). La fossilisation de ces radioles est légèrement différente suivant les bancs : tantôt elles sont complètement épigénisées par la calcite, tantôt les canaux sont remplis d'hématite rouge, ou de

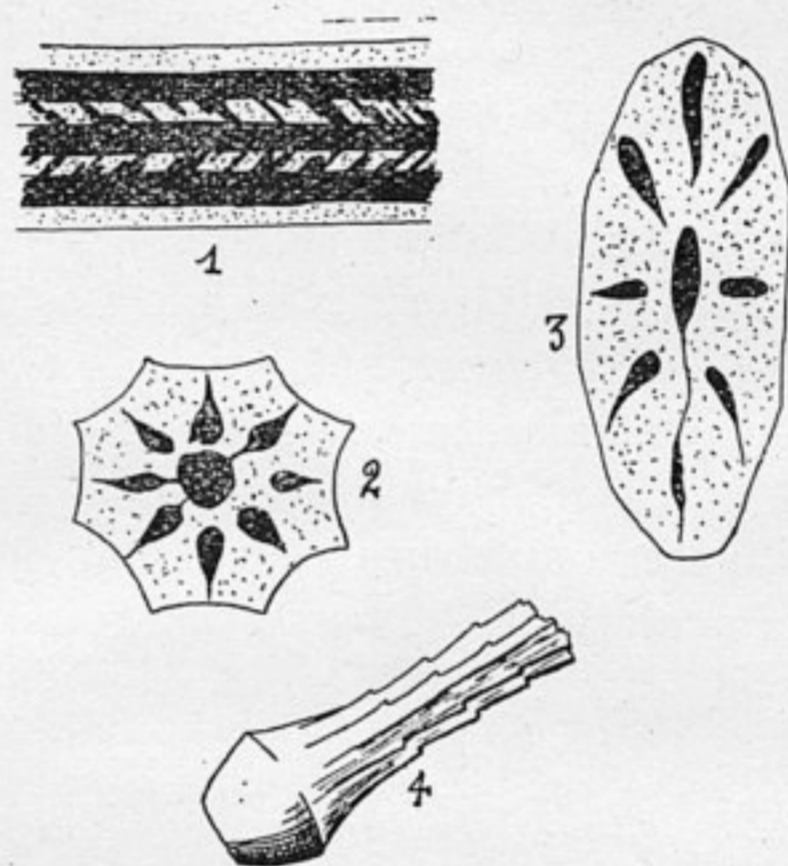


FIG. 5. — Radioles d'oursin de l'Hettangien

1. Schéma d'une section longitudinale. — 2. Schéma d'une section transversale. — 3. Section oblique. — 4. Croquis d'un fragment de radiole isolé.

pyrite plus ou moins altérée en limonite. Mais dans tous les cas, la partie calcaire se comporte comme un cristal unique de calcite, s'éteignant parallèlement à l'allongement des radioles.

Les Foraminifères sont surtout abondants dans les parties les plus friables : les formes uniloculaires dominant, et sont accompagnées de quelques Foraminifères de type *Nodosaria*. Ils sont souvent partiellement digérés par voie chimique, la roche ayant dans son ensemble une tendance très nette à la recristallisation.

Les autres organismes sont rares : quelques débris de Lamelli-branches, quelques spicules d'Éponge calcifiés et de rares colonies de Bryozoaires.



*Résidu d'attaque.*

Les résidus d'attaque sont légèrement différents suivant qu'on s'adresse à la marne compacte ou à ses intercalations feuilletées : les résultats de leur étude sont consignés dans le tableau suivant :

MINÉRAUX	MARNE FEUILLETÉE	MARNE COMPACTE
Quartz	(8)	(9)
Silice secondaire (aiguilles)	(9)	(5)
Muscovite	—	(4)
Biotite	—	(2)
Phyllite (1)	(1)	(1)
Zircon	(2)	(2)
Pyrite	(5)	(5)

**B. Sinémurien**

Des intercalations marneuses entre les bancs compacts du *Calcaire à Gryphées* ont été recueillies à Miserey. Ce sont des marnes feuilletées, de couleur gris brunâtre, dont l'aspect est légèrement gréseux. Elles sont très friables, et il est difficile d'en obtenir des échantillons d'une taille suffisante pour pouvoir faire des lames minces. Les débris de fossiles y sont très abondants. On y trouve en particulier *Gryphaea arcuata* et des Crinoïdes.

*Études des lames minces*

La pâte occupe 10 à 20 % de la surface des préparations. Ce chiffre est seulement une moyenne : certaines régions présentent un développement plus important de la pâte ; d'autres, au contraire, sont occupées presque exclusivement par des organismes, accompagnés de minéraux. Cette pâte est très ferrugineuse : sa teinte est d'un brun foncé (Pl. III, fig. 2).

Le quartz est le seul élément détritique visible ; encore est-il peu abondant (moins de 1 %) et réparti d'une façon très irrégulière. Il se présente en grains bien roulés, d'assez grandes dimensions.

(1) Voir p. 15.

Parmi les minéraux secondaires, il faut citer en premier lieu la glauconie, qui est un élément essentiel de la roche. Elle se présente sous trois formes principales :

1° En grains arrondis disséminés dans la pâte ;

2° En grains de forme irrégulière inclus dans les coquilles de Lamellibranches ;

3° Comme remplissage du canal axial et du réseau de Crinoïdes, qu'elle épigénise parfois complètement.

La limonite est abondante ; elle provient en partie de l'altération de la glauconie.

Les organismes sont très nombreux : les plus abondants sont les Lamellibranches et les Crinoïdes.

Les Lamellibranches sont soit entiers, soit fragmentaires. Certaines sections complètes, de grandes dimensions, doivent appartenir à la *Gryphaea arcuata*, qui est particulièrement commune dans ces couches. Les fragments sont indéterminables ; on peut distinguer parmi eux des portions de couche lamelleuse ; des prismes réguliers accolés constituent d'autres fragments ; on trouve aussi des prismes isolés. Tous ces débris sont calcaires ; ils sont parfois incrustés de rares grains de glauconie.

Les Crinoïdes sont représentés par de nombreuses sections de tiges d'orientation diverse. Quelques sections calcifiées ont conservé leur structure ; d'autres sont partiellement ou complètement recristallisées : dans ce dernier cas, l'orientation optique de la calcite est la même dans toute l'étendue d'une section déterminée. D'autres exemplaires de ces Crinoïdes ont les parois de leurs cellules formées de calcite, tandis qu'une partie au moins de ce réseau est occupée par de la glauconie ; enfin, la glauconie peut épigéniser le fossile d'une façon plus ou moins complète, tout en conservant la structure. Dans ce dernier cas, on peut souvent constater que la glauconie est partiellement altérée en limonite.

A part les Lamellibranches et Crinoïdes, nous n'avons observé en fait d'organismes dans ces marnes que quelques Bryozoaires fragmentaires et indéterminables.

#### *Résidu d'attaque*

Le résidu d'attaque montre seulement quelques grains de quartz bien roulé, au milieu d'une grande quantité de glauconie, à laquelle le traitement par l'acide chlorhydrique a redonné, même dans les parties altérées, une belle teinte verte : on peut observer des grains de glauconie et des débris de Crinoïdes épigénisés montrant leur structure.

\*  
\* \*

Les couches marneuses intercalées entre les bancs du *Calcaire à Gryphées* à Vilette-les-Saint-Amour, ont un aspect assez analogue à celui des marnes de Miserey : elles ont une teinte beige clair et contiennent moins d'organismes visibles à l'œil nu.

#### *Étude des lames minces*

Les lames minces montrent de notables différences avec celles des marnes de Miserey. La pâte est y également brune, mais présente un développement beaucoup plus considérable, occupant jusqu'à 60 % des préparations ; elle est irrégulière, grumeleuse.

Le quartz est le seul minéral détritique visible dans les lames minces. Il est peu abondant (1 %) et de petites dimensions (20 $\mu$ ).

La calcite forme quelques grains irrégulièrement disséminés dans la pâte. Il y a un assez grand nombre de grains de glauconie, et quelques concrétions de pyrite ; ces deux minéraux sont souvent plus ou moins altérés en limonite.

Comme dans les marnes de Miserey, les organismes constituent une partie importante de la roche (25 %), mais ce ne sont pas les mêmes groupes qui prédominent : ici, ce sont les Foraminifères qui viennent en première ligne : on observe en particulier un grand nombre de Foraminifères uniloculaires à section circulaire, dont le test est généralement en calcite, l'intérieur de la loge étant occupé par de la calcite, de la pyrite, ou plus rarement par une calcédoine. Quelquefois, il semble que la pyrite ait également épigénisé le test de ces Protozoaires : dans certains cas, on peut être certain de la réalité de cette transformation par le fait qu'il subsiste quelques témoins calcaires du test ; dans d'autres cas, on a affaire à une boule de pyrite, et rien ne permet de dire si ce n'est pas une simple concrétion sphérique. Les Foraminifères formés d'une rangée rectiligne de loges (type *Nodosaria*) sont également assez communs, bien que moins fréquents que les précédents. Tous les exemplaires observés ont un test calcaire, et l'intérieur des loges est occupé par de la calcite, de la calcédoine, de la glauconie ou de la pyrite.

Les Crinoïdes sont représentés par quelques rares sections de tiges. Un débris assez grand présentant la structure des Échinodermes a été observé dans une coupe et peut provenir soit d'un Oursin, soit plutôt d'un calice de Crinoïde.

Les Lamellibranches sont peu abondants et représentés par

quelques débris comprenant une couche lamelleuse et une couche prismatique ayant à peu près la même épaisseur.

Il y a en outre dans les préparations de nombreux débris d'organismes calcaires indéterminables.

#### *Résidu d'attaque*

Le résidu d'attaque montre davantage de minéraux que celui de Miserey : Quartz (8) ; Silice secondaire (9) ; Muscovite (1) ; Zircon (2) ; Pyrite (3) ; Glauconie (3).

\*

\* \*

Au-dessus du Calcaire à Gryphées, viennent des marnes de Balingen. Dans la région de Besançon, ces marnes affleurent dans la tranchée de Miserey. Nous y avons recueilli deux échantillons : l'un prélevé à 3 mètres environ au-dessus des derniers bancs de Calcaire à Gryphées ; l'autre à 10 mètres.

La marne prélevée à 3 mètres au-dessus du Calcaire à Gryphées est grise, fine, feuilletée, onctueuse, et se délite assez mal dans l'eau.

#### *Étude des lames minces*

La plus grande partie des préparations (les 2/3 environ) est occupée par une pâte très fine, homogène, fortement calcaire, contenant d'assez nombreuses fibres de calcédoine, et teintée en brun par de la limonite.

Les minéraux détritiques sont peu abondants : le quartz est représenté par des grains de très petites dimensions (10 à 20 $\mu$ ), régulièrement disséminés dans la pâte, et occupant moins de 30 % de la surface des préparations. Le mica est représenté seulement par quelques paillettes.

Les minéraux secondaires sont représentés par de la calcite, en grains et en plages recristallisées de petites dimensions ; la calcite fait d'autre part partie de la pâte ; la limonite colore la pâte ; elle est en outre représentée par des concrétions ayant généralement un contour imprécis. Des fibres, dans la pâte, sont vraisemblablement en calcédoine.

Les organismes sont peu abondants : on peut reconnaître de rares algues charbonneuses analogues à celles des Schistes à Posidonomyes ; quelques bâtonnets calcaires doivent être d'origine organique. Enfin, on peut observer de longs filaments irrégulièrement ramifiés : ces filaments sont en calcite ; leur origine nous échappe totalement.

*Résidu d'attaque*

Quartz (7); Silice secondaire (6); Muscovite (2); Zircon (1); Pyrite (4); Limonite (9).

\*

\* \*

Le second échantillon des marnes de Balingen de Miserey présente beaucoup d'analogies avec le précédent. Les différences suivantes méritent toutefois d'être signalées.

Le quartz y est un peu moins abondant (20 %).

En plus des concrétions de limonite, on observe dans cet échantillon des concrétions de pyrite assez curieuses : elles sont arrondies ou elliptiques et ont 1 à 2<sup>mm</sup> ce diamètre. Au milieu de quelques-unes d'entre elles existe une plage de calcite ayant dans toute son étendue la même orientation optique. La pyrite est plus ou moins altérée en limonite sur ses bords et est entourée par une bande claire de 2<sup>mm</sup> environ de largeur, occupée par une grande quantité de calcite très disséminée.

*Résidu d'attaque*

Quartz (5); Silice secondaire (8); Muscovite (3); Zircon (1); Pyrite (9); Limonite (6).

\*

\* \*

Un échantillon provenant du même niveau a été recueilli près de Villette-les-Saint-Amour : c'est une marne très fissile, onctueuse, d'une teinte bleue presque noire. Lorsqu'on la chauffe, elle dégage une odeur caractéristique d'huile de schiste, moins forte toutefois que celle des schistes bitumineux du Toarcien.

*Étude des lames minces*

L'examen des lames minces montre une pâte très irrégulière, parsemée de taches noires dues à de la pyrite, à des matières organiques, et, plus rarement, à de la limonite. Pâte et taches réunies occupent environ 60 % de la surface des préparations.

Le quartz est peu abondant (10 %) et de dimensions moyennes (20 à 30 $\mu$ ).

Outre les minéraux secondaires cités plus haut (pyrite et limonite), il faut signaler la présence d'une assez grande quantité de grains de calcite (20 % de la surface des lames minces), dont les dimensions peuvent aller jusqu'à 200 $\mu$ .

Des algues analogues à celles des schistes toarciens peuvent être observées à raison d'une dizaine par préparation. Il n'y a à part cela, en fait d'organismes, que des bâtonnets calcaires.

#### *Résidu d'attaque*

Le résidu d'attaque montre peu de minéraux ; la pyrite et la limonite gênent d'ailleurs beaucoup les observations. A part ces deux minéraux, voici ceux qu'on peut observer :

Quartz (7) ; Silice secondaire (2) ; Zircon (1), toujours de très petites dimensions ; Phyllite (1).

Le résidu d'attaque montre en outre des algues.

### **C. Charmouthien des environs de Besançon**

Un premier échantillon provenant de la partie tout à fait inférieure du Charmouthien, a été recueilli dans la tranchée du chemin de fer vicinal de Besançon à Amathay-Vésigneux, à environ un kilomètre de la gare de Busy-Larnod, près d'un pont sur lequel passe un chemin allant de Busy à Larnod.

C'est une marne feuilletée et onctueuse, d'un gris bleuté.

#### *Étude des lames minces*

La pâte, très fine, occupe 70 à 80 % de la surface des préparations ; elle contient beaucoup de calcite.

Le quartz est peu abondant (10 %) et de très petites dimensions ; la plupart des grains ont moins de 20 $\mu$  ; toutefois, ils peuvent exceptionnellement atteindre 30 $\mu$ . Le mica est très inégalement réparti, et relativement rare.

La calcite se présente en plages recristallisées de dimensions variables, ainsi qu'en petits rhomboèdres dans la pâte ; la calcédoine est représentée par des fibres assez abondantes ; la pyrite et la limonite forment des concrétions à contour généralement bien limité.

Les organismes sont assez abondants, mais peu déterminables : ainsi, les bâtonnets de calcite (voir p. 13) sont fréquents. Des Foraminifères de type *Nodosaria* sont représentés par des rares moules pyriteux, leur test étant presque entièrement digéré. Enfin, un

organisme calcaire formé de trois bâtonnets assemblés, faisant entre eux des angles de  $120^{\circ}$ , peut être considéré comme un spicule d'Eponge calcifié.

*Résidu d'attaque*

Quartz (5) ; Silice secondaire (8) ; Muscovite (3) ; Phyllite (1) ; Zircon (2) ; Pyrite (4) ; Limonite (9).

\*  
\* \*

Un second échantillon appartient à un niveau très légèrement supérieur au précédent ; il a été prélevé à 50 mètres de celui-ci. C'est une marne feuilletée, qui est bleutée lorsqu'elle est humide, et d'une teinte brun verdâtre à sec. On y trouve de nombreuses Bélemnites et quelques Plicatules.

*Études des lames minces*

La pâte, aussi fine que dans l'échantillon précédent, est moins développée (65 %).

Le quartz est par contre plus abondant (30 %), mais est également très fin (moins de  $20\mu$ ) : il constitue le seul élément détritique visible dans les lames minces.

La calcite recristallisée est en moins grandes plages que dans la marne recueillie sous le pont. La limonite forme de nombreux concrétions, qui généralement sont bien limitées, mais peuvent aussi avoir des bords estompés. On observe en outre des grains de glauconie.

Des bâtonnets calcaires sont les seuls organismes que nous ayons vus dans cette roche.

*Résidu d'attaque*

Quartz (9) ; Muscovite (6) ; Biotite (6) ; Phyllite (3) ; Zircon (1) ; Glauconie (2).

\*  
\* \*

Un échantillon d'un niveau un peu plus élevé a été recueilli dans une petite marnière située à 200 mètres environ du hameau de La Chapelle des Buis, à droite du chemin allant de La Chapelle des Buis au village de Morre. C'est une marne compacte, mal stra-

tifiée, dont la teinte beige est ponctuée de quelques taches ferrugineuses. Cette marne, qui renferme des nodules calcaires (*miches*), contient de nombreux fossiles, parmi lesquels les Ammonites sont particulièrement abondantes.

#### *Études des lames minces*

La pâte occupe à elle seule environ 80 % de la surface des préparations. Elle est très calcaire et ressemble à celle de l'Hettangien de Villette, dont elle diffère par sa teinte, qui est légèrement plus brune.

Les minéraux détritiques sont très peu abondants : le quartz occupe seulement 1 à 2 % de la surface des préparations. Il est généralement en très petits éléments (moins de  $10\mu$ ), mais on rencontre cependant des grains de quartz ayant jusqu'à 50 ou  $60\mu$ . Le mica est très rare.

Parmi les éléments secondaires, la calcite est représentée, indépendamment des rhomboèdres de la pâte, par quelques grains bien individualisés, de petites dimensions. La limonite colore la pâte et forme en outre des concrétions, ainsi que la pyrite, qui est d'ailleurs plus rare. La glauconie existe également dans cette marne : elle revêt quelquefois l'aspect de bâtonnets, sans doute d'origine organique ; mais c'est surtout en grains qu'on peut l'observer ; elle est en partie transformée en limonite ; lorsqu'elle est intacte, elle a une teinte assez pâle, d'un vert jaunâtre, et donne la polarisation d'agrégat. Elle est d'ailleurs assez peu abondante.

Les organismes sont relativement nombreux : des Foraminifères uniloculaires, ayant une section circulaire, peuvent être observés au nombre de 10 à 15 par préparation. Leur test est calcaire ; ils sont remplis de calcite, ou, plus rarement, de limonite. Les formes *Nodosaria* sont moins répandues (2 à 3 par préparation). Nous avons observé un seul exemplaire d'une forme enroulée. Des fragments calcaires assez minces, recristallisés, semblent devoir être rapportés à des Mollusques : ce sont sans doute des débris d'Ammonites. Enfin, on observe à peu près dans chaque coupe une ou plusieurs sections de *Serpula quinquedulcata* MUNSTER : l'intérieur du tube est rempli par la pâte de la roche. Le tube lui-même présente deux couches : l'une, interne, est régulièrement annulaire : elle est très finement cristallisée ; sa teinte, gris clair en lumière naturelle, reste la même entre nicols croisés, quelle que soit l'orientation de la coupe. La deuxième couche, dont le contour extérieur a la forme d'une étoile à 5 branches, est en calcite, et possède une structure analogue à celle de la couche lamelleuse des



Lamellibranches. Les deux couches sont d'ailleurs figurées par Goldfuss (1).

*Résidu d'attaque*

Quartz (9), généralement bien roulé; Silice secondaire (6); Zircon (4); Pyrite (5); Glauconie (4).

\*  
\* \*

Un second échantillon provient de la même manière que le précédent, et a été recueilli dans des couches un peu supérieures : c'est une marne grumeleuse, irrégulière, d'une teinte jaune roux, qui contient de nombreux fossiles, parmi lesquels dominant, non plus les Ammonites, mais les Bélemnites.

*Étude des lames minces*

La pâte est très développée (75 % environ de la surface des préparations). Elle est très calcaire et assez homogène. Examinée à un fort grossissement, elle montre de petits rhomboèdres de calcite.

Le quartz, quoique peu abondant, l'est cependant plus que dans l'échantillon précédent (5 % environ); il est également très ténu, mais peut atteindre exceptionnellement 50 à 60 $\mu$ . Le mica, bien que toujours assez rare, est généralement visible dans les lames minces.

Parmi les minéraux secondaires, la calcite se présente en grains ayant en moyenne 20 $\mu$  et en plages recristallisées de plus grandes dimensions. La limonite colore la pâte, et forme des concrétions relativement peu abondantes.

Il y a fort peu d'organismes : les Foraminifères de type *Nodosaria* sont rares. Des débris calcaires en partie recristallisés paraissent appartenir à des Brachiopodes (?). La plupart de ces débris seraient des sections perpendiculaires au test. L'un de ceux que nous avons observé doit être une section tangentielle de *Zeilleria*.

*Résidu d'attaque*

Les minéraux observés dans le résidu d'attaque sont sensiblement les mêmes que dans l'échantillon de marnes à Ammonites du même gisement; mais la glauconie est très rare (2); il y a par contre de la muscovite (6) et un nombre assez considérable de grains roulés de tourmaline (5).

(1) *Petrefacta Germaniae*, Pl. 67, fig. 8.

\*

\* \*

Un échantillon de Charmouthien supérieur a été recueilli sous une « miche » dans une des tranchées de Miserey. C'est une marne grise, mal stratifiée, peu compacte et légèrement gréseuse.

*Étude des lames minces*

A la différence de ce qui se passe pour les échantillons de Charmouthien inférieur, la pâte joue un rôle très restreint dans cette marne ; elle est d'ailleurs irrégulièrement répartie : certaines régions des lames minces donnent l'impression d'un grès, tant la pâte est peu développée ; elle occupe en moyenne 20 % de la surface des préparations ; elle a une texture irrégulière et est colorée d'une façon capricieuse par de la limonite, ce qui lui donne un aspect caractéristique, que l'on pourrait qualifier de « nuageux ».

Les minéraux détritiques sont très abondants : en premier lieu vient le quartz, qui occupe à lui seul environ 60 % des préparations ; les éléments de quartz sont assez gros : 50 à 60 $\mu$ , rarement moins. Le mica est assez rare. On peut voir un certain nombre de grains d'orthose, dont les contours arrondis font penser à une origine détritique. Enfin, il nous a été donné d'observer dans les coupes quelques cristaux de zircon.

La calcite est le plus important des minéraux secondaires (10 %) ; elle se présente en grains ayant des dimensions voisines de celles des grains de quartz. La silice secondaire est représentée par des aiguilles, quelquefois courbes, dont les dimensions très réduites ne permettent pas de faire des mesures. La pyrite existe sous deux formes :

1° Des concrétions irrégulières sont réparties un peu partout dans les coupes ;

2° Dans certaines régions, on peut observer un certain nombre de petits cubes, ayant 20 $\mu$  de côté environ, et qui sont souvent partiellement altérés en limonite.

Enfin, détail particulièrement intéressant, on trouve en petite quantité, dans les régions où la pâte est particulièrement développée, des rhomboèdres de teinte jaunâtre, présentant un léger polychroïsme, et dont les bords sont altérés en limonite : ces rhomboèdres, qui ont en moyenne une cinquantaine de microns, sont de la sidérose.

Nous n'avons observé dans ces marnes aucun microorganisme déterminable, mais seulement quelques bâtonnets calcaires (voir p. 13).

*Résidu d'attaque*

Quartz (9) ; Silice secondaire (7) ; Muscovite (4) ; Biotite (2) ; Phyllite (2) ; Orthose (3) ; Plagioclases (3) ; Zircon (1) ; Pyrite (4) ; Glauconie ? (1).

\*  
\* \*

Un second échantillon de Charmouthien supérieur provient de Miserey. Ses caractères sont très voisins de ceux de l'échantillon précédent, bien qu'il provienne d'un niveau supérieur (Marnes à Plicatules). C'est une marne feuilletée, de teinte jaunâtre, légèrement gréseuse.

*Étude des lames minces*

La pâte, un peu plus développée que dans l'échantillon précédent (30 à 40 %), est fine, calcaire, colorée en brun par de la limonite ; elle est irrégulièrement répartie, et les régions où elle est peu abondante rappellent la texture d'un grès, mais sont caractérisées par une abondance presque aussi grande des grains de calcite que des grains de quartz.

Le quartz est en effet beaucoup moins abondant que dans l'échantillon du niveau des miches, occupant suivant les régions des préparations 30 à 40 % de la surface. Ses éléments sont assez gros (50 $\mu$  en moyenne). Par contre, les marnes à Plicatules contiennent davantage de mica. Les feldspaths (représentés principalement par de l'orthose) y sont rares.

La calcite existe dans la pâte ; elle est en outre représentée par des grains de même ordre de grandeur que ceux de quartz : cette calcite en grains occupe environ 25 % de la surface des préparations ; elle contribue, avec le quartz, à donner à la roche un faux aspect de grès. Des aiguilles droites ou courbes semblent être une calcédoine. Les concrétions de pyrite et de limonite sont assez abondantes. Quelques rares grains verts présentant la polarisation d'agrégat doivent être rapportés à la glauconie. La sidérose paraît représentée par quelques rares rhomboèdres, dont les caractères sont d'ailleurs beaucoup moins nets que dans l'échantillon précédent.

Les Foraminifères sont rares : on peut en observer 1 à 6 par préparation : ce sont des Foraminifères uniloculaires, plus ou moins digérés par voie chimique ou remplis de pyrite. A part cela, les bâtonnets calcaires que nous avons déjà signalés sont les seules traces d'organismes de ces marnes ; il y en a environ une dizaine par préparation.

*Résidu d'attaque*

Quartz (9) ; Silice secondaire (5) ; Muscovite (6) ; Phyllite (2) ; Orthose (4) ; Plagioclases (1) ; Tourmaline verte (1) ; Sphène (??) très roulé (1) ; Pyrite et limonite (6) ; Glauconie (1).

**D. Charmouthien du Jura**

Un échantillon correspondant à la base du Charmouthien (sensiblement le même niveau que les échantillons de Busy), a été recueilli à Villette-les-Saint-Amour ; c'est une marne compacte, rugueuse au toucher et finement stratifiée ; elle a une teinte blanche et est parsemée de taches bleues pâles et beiges. On y trouve de nombreuses Bélemnites.

*Étude des lames minces*

La pâte occupe la plus grande partie des préparations (70 %) : elle est très calcaire et de teinte claire.

Le quartz est rare (moins de 1 %), et de petites dimensions (20 à 30 $\mu$ ).

Les minéraux secondaires sont les suivants : la calcite et de fines aiguilles de calcédoine sont disséminées dans la pâte. La limonite et la pyrite forment des concrétions. L'une de ces concrétions est extrêmement curieuse (fig. 6) ; elle consiste en une masse de pyrite de 2<sup>m</sup>/m environ suivant sa plus grande dimension, partiellement altérée en limonite ; autour de cette concrétion s'étend, sur une surface atteignant près d'un centimètre carré, un réseau de limonite. La glauconie est présente à ce niveau : elle remplit les loges des Foraminifères.

Les Organismes sont très abondants : les Foraminifères dominant, et, parmi eux, les formes uniloculaires. Les Foraminifères de type *Nodosaria* sont assez communs ; les formes enroulées sont présentes, mais très rares. L'intérieur des loges est occupé par de la calcite, ou, plus rarement, par de la glauconie. Nous avons pu observer quelques fragments de Lamellibranches et quelques débris appartenant sans doute à des Brachiopodes.

De plus, deux catégories d'organismes calcaires présentent l'aspect suivant : les premiers (1 et 4, fig. 7) ont la forme d'un anneau de 0<sup>mm</sup>2, de diamètre en moyenne ; le bord interne de l'anneau est lisse ; le bord externe présente dix renflements analogues à ceux qui correspondent aux côtes dans les sections transversales des

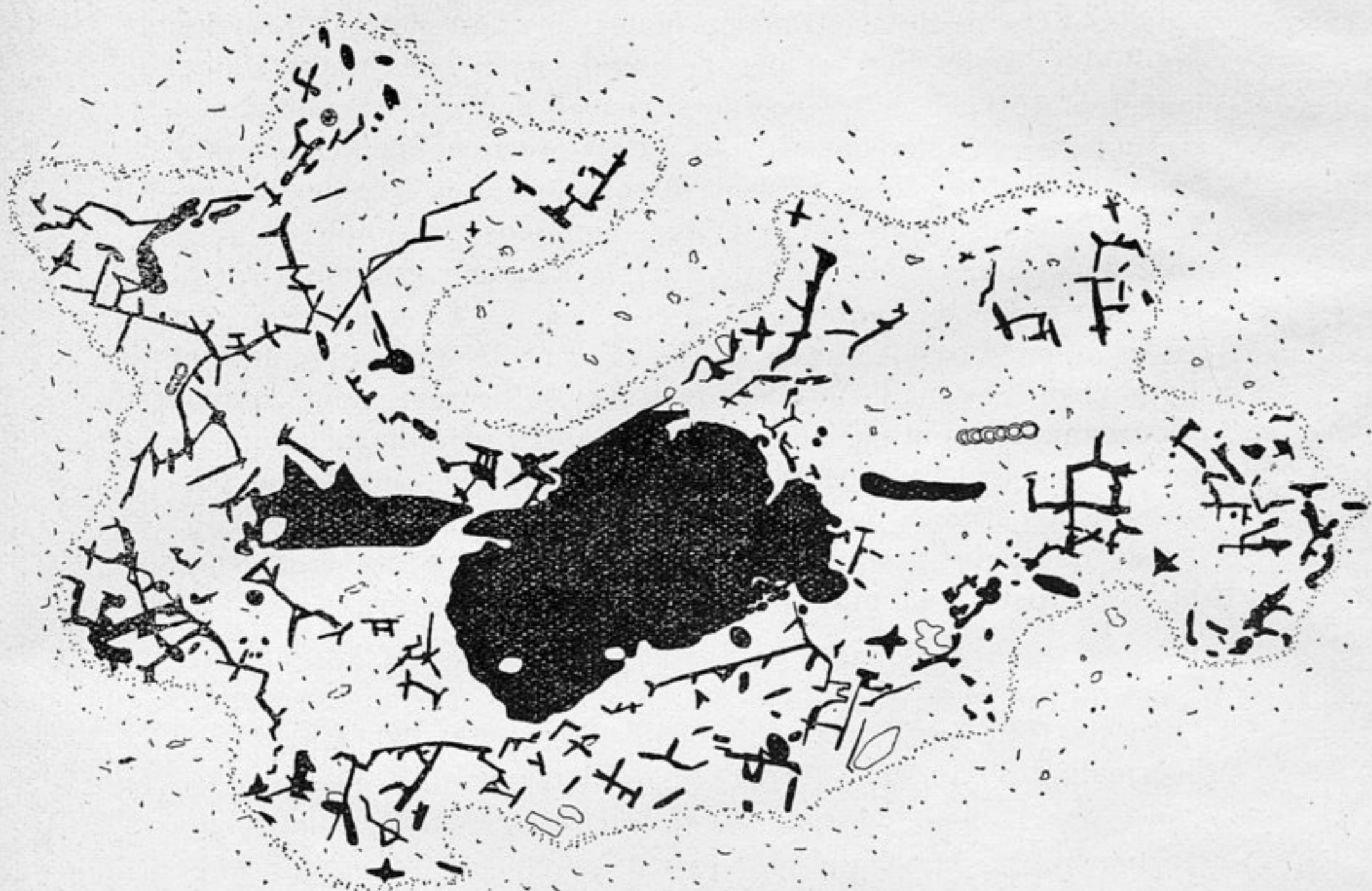


FIG. 6. — Concrétion de pyrite entourée d'un réseau de limonite, dans le Charmouthien inférieur de Villette-les-Saint-Amour.

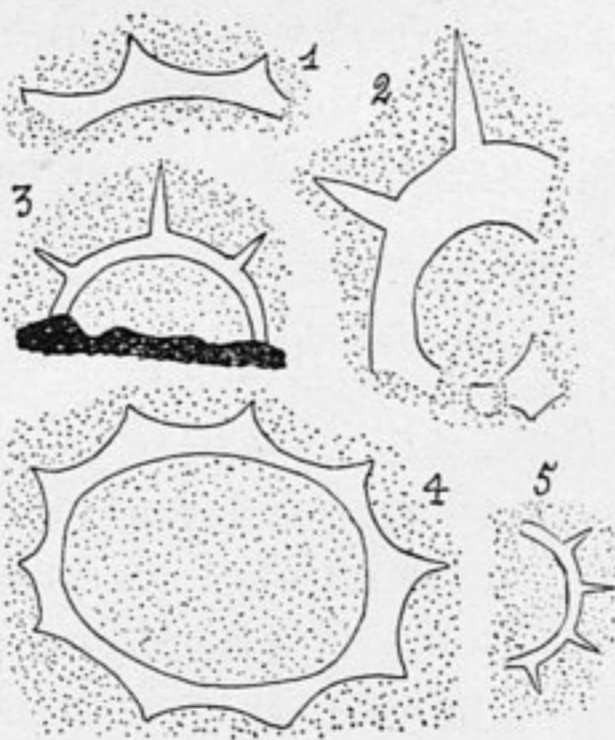


FIG. 7. — Organismes problématiques, probablement tubulaires, du Charmouthien de Villette-les-Saint-Amour.  
1 et 4. Organismes paraissant munis de côtes. — 2, 3 et 5. Organismes ayant des prolongements étroits. — La calcite est figurée en blanc, la pâte de la roche en pointillé. La pyrite en noir.

radioles d'Oursin de l'Hettangien. Mais il ne s'agit pas là de radioles, car l'intérieur du test est occupé par la pâte de la roche : aussi faut-il plutôt penser que ces organismes doivent être tubulaires (Serpules ou Scaphopodes ?). Les autres organismes sont généralement incomplets ; ils se présentent sous forme de fragments d'anneau ; ils sont munis à l'extérieur, non plus de simples saillies, mais de prolongements étroits, dont la longueur est sensiblement égale au rayon de l'anneau (2, 3 et 5, fig. 7). Le nombre de ces prolongements paraît être de 8. Il s'agit encore vraisemblablement d'organismes ayant la forme d'un tube. Malheureusement, comme ces organismes sont calcaires et que, d'autre part, la roche qui les contient ne se délite que dans l'eau acidulée, il ne semble pas possible de les étudier autrement qu'en lames minces.

Une remarque s'impose au sujet de l'ensemble des organismes de cette roche : la plupart paraissent avoir été brisés.

#### *Résidu d'attaque*

Quartz (9) ; Silice secondaire (6) ; Muscovite (3) ; Zircon (4) ;  
Tourmaline verte (1) ; Pyrite (4) ; Glauconie (5).

\*  
\* \*

Une marne charmouthienne provenant des environs de Varessia paraît correspondre aux niveaux de la Chapelle des Buis ; toutefois, nous ne sommes pas absolument certain de sa position stratigraphique, en raison de l'absence de fossiles et de repères précis. C'est une marne onctueuse, bien stratifiée, d'une teinte d'un brun tirant sur le gris.

#### *Étude des lames minces*

Les lames minces montrent une pâte assez abondante (60 %). Cette pâte, qui est peu calcaire, est fine et d'un grain homogène. Sa couleur est assez variable suivant les points.

Les minéraux détritiques sont abondants : le quartz est représenté par de nombreux grains de très petites dimensions (une dizaine de microns) occupant environ 30 % de la surface des préparations, ainsi que par des éléments beaucoup plus gros (jusqu'à 60 $\mu$ ), mais moins abondants (5 %). Le mica est assez commun (2 à 3 %). Nous avons observé en outre dans les coupes de l'orthose et quelques zircons.

Les minéraux secondaires sont représentés par de la silice formant des amas fibreux et des fibres isolées. La limonite constitue de nombreuses concrétions dont les bords sont estompés.

Les seuls organismes visibles dans ces marnes sont des algues analogues à celles que nous décrirons plus loin dans les Schistes à Posidonomyes.

#### *Résidu d'attaque*

Quartz (7); Silice secondaire (8); Muscovite (4); Phyllite (2); Orthose (3); Zircon (1); Limonite (8).

\*  
\* \*

La partie supérieure du Charmouthien est représentée dans le Jura par des marnes gréseuses, généralement dépourvues d'organismes. Certains échantillons en contiennent cependant, et l'on trouve même parfois des bancs, assez minces, il est vrai, qui constituent presque des lumachelles. Nous avons étudié plusieurs de ces formations : nous les décrirons suivant l'ordre croissant de l'importance des organismes.

Une marne gréseuse, feuilletée, de teinte gris-beige, provenant de Villette-les-Saint-Amour, est le premier terme de cette série.

#### *Étude des lames minces*

La pâte est irrégulièrement répartie : par endroits, elle est si peu développée qu'on dirait un grès (Pl. III, fig. 4); en d'autres points d'une même préparation, elle occupe jusqu'à 50 % de la surface. Cette pâte est très calcaire; elle est colorée irrégulièrement, mais souvent d'une manière intense, par des produits ferrugineux.

Le quartz est très inégalement réparti et peut occuper suivant les points de moins de 30 à plus de 60 % de la surface. Ses dimensions sont également très variables : ses éléments ont de 10 à 50 $\mu$  dans les régions où il est le moins abondant, et peuvent atteindre jusqu'à 100 $\mu$  dans les régions gréseuses.

Les micas sont représentés surtout par de la muscovite, qu'accompagne parfois quelques paillettes de biotite. Ils sont surtout abondants dans les régions gréseuses.

Les minéraux secondaires sont représentés par de la silice, d'ailleurs peu abondante, et par des concrétions de limonite.

Cet échantillon ne nous a pas montré d'organismes.

*Résidu d'attaque*

Quartz (9) ; Silice secondaire (5) ; Muscovite (7) ; Phyllite (5) ; Biotite (2) ; Tourmaline (1) ; Zircon (2) ; Rutile (1) ; Pyrite (2).

\*  
\* \*

Un second échantillon, dont l'aspect macroscopique est le même, provient de Rosay, et présente les caractères suivants :

*Étude des lames minces*

La pâte est plus régulièrement répartie que dans l'échantillon de Villette : sa texture grossière et sa teinte, qui varie d'intensité d'un point à l'autre, lui donnent un aspect grumeleux. Elle occupe environ 60 % de la surface des préparations.

Le quartz est moins abondant qu'à Villette (en moyenne 25 %) ; ses dimensions ne dépassent pas 50 $\mu$ . De même, le mica est moins abondant.

Les minéraux secondaires sont : la limonite, qui forme de nombreuses concrétions ; la pyrite, qui est plus rare et est généralement associée à la limonite ; la silice, qui se présente sous forme de fines aiguilles.

Bien que peu abondants et peu déterminables, les organismes sont présents dans cette marne : des bâtonnets formés d'une matière carbonneuse doivent être rapprochés des Algues du Toarcien : mais il est impossible d'y discerner aucune structure. On observe en outre d'assez rares bâtonnets calcaires. Une coupe nous a montré le moule interne en limonite d'un Foraminifère de type *Nodosaria*, dont le test est entièrement digéré.

*Résidu d'attaque*

Quartz (9) ; Silice secondaire (2) ; Muscovite (7) ; Phyllite (6) ; Plagioclases (3) ; Tourmalines verte et brune (3) ; Zircon (1), de très petites dimensions ; Limonite (9).

\*  
\* \*

Une marne gréseuse récoltée entre Saint-Laurent-la-Roche et Cesancey est plus fossilifère : on y rencontre, outre les microorganismes, de nombreuses Bélemnites. La teinte de cette marne est le brun-roux.



*Étude des lames minces*

La pâte, comme dans le premier échantillon, est très inégalement développée : mais les régions où elle est peu abondante ne sont pas toujours gréseuses, car les organismes y sont souvent prédominants. Elle occupe d'ailleurs rarement plus de 20 % de la surface des lames minces, et présente toujours une très vive coloration ferrugineuse.

Le quartz, qui est irrégulièrement réparti, ne forme jamais plus de 50 % de la roche. Il est assez grossier (50 à 100 $\mu$ ). Le mica n'est pas très commun.

La limonite est le principal minéral secondaire : elle est si abondante qu'elle gêne beaucoup les observations, car elle enrobe tous les minéraux et cache presque complètement les plus petits d'entre eux. La pyrite est fréquente dans les loges des Foraminifères.

Les organismes les plus communs sont des Lamellibranches, représentés par de nombreux débris, dans lesquels la couche lamelleuse est souvent seule visible, et des Crinoïdes, dont les uns ont une structure bien conservée grâce à la limonite qui les épigénise, tandis que d'autres sont complètement calcifiés : ces derniers organismes sont souvent roulés (Pl. II, fig. 4).

Les Foraminifères jouent également un rôle important dans cette roche, où on les trouve généralement brisés : nous citerons : les formes *Nodosaria* et *Textularia*, qui sont, les premières très communes, les secondes moins courantes. Les Foraminifères uniloculaires sont rares. Les formes enroulées le sont encore davantage.

Enfin, nous avons observé un organisme analogue à ceux signalés dans les couches inférieures du Charmouthien (p. 42).

*Résidu d'attaque*

Quartz (9) ; Silice secondaire (6) ; Muscovite (4) ; Phyllite (3) ; Zircon (1) ; Pyrite (4) ; Limonite (9).

\*

\* \*

Enfin, le long de la route de Villette à Thoissia, on trouve dans les marnes des bancs compacts qui se rapprochent des lumachelles : on y distingue de nombreux débris de Lamellibranches réunis par un ciment d'un brun rougeâtre. La cassure de cette roche, qui n'est pas stratifiée, est esquilleuse.

### *Étude des lames minces*

Les lames minces montrent un très faible développement de la pâte (20 % au maximum) qui est très calcaire et très ferrugineuse.

Le quartz est le seul élément détritique visible dans les préparations : encore est-il peu abondant (2 %), et de petites dimensions (10 à 20 $\mu$ ).

La calcite est le principal minéral secondaire : elle se présente en grains de grosseur variable, dont les plus petits font corps avec la pâte. La limonite est également très abondante : elle forme des concrétions à contours plus ou moins bien limités, et donne à la pâte sa teinte brune. La pyrite est commune dans les loges des Foraminifères.

Les Lamellibranches sont les organismes les plus communs de cette roche : les uns sont entiers et représentés dans les lames minces par des sections complètes ; d'autres sont brisés et représentés principalement par des fragments de couche prismatique ou par des prismes isolés. Les Crinoïdes sont également très communs : ils sont représentés exclusivement par des débris *roulés* de tiges. Les Foraminifères sont rares : nous n'avons d'ailleurs trouvé que des formes *Textularia*. Enfin, on peut observer de rares débris de Brachiopodes.

### *Résidu d'attaque*

Quartz (4) ; Silice secondaire (9) ; Muscovite (4) ; Phyllite (4) ; Zircon (3) ; Disthène (1) ; Limonite (9).

### **E. Schistes à Posidonomyes et marnes s'y rattachant**

Les Schistes à Posidonomyes constituent le niveau du Lias de Franche-Comté le plus constant au point de vue pétrographique : nous avons étudié des échantillons provenant de Morre et Lods (Doubs), de Revigny (Jura) et de Créveney (Haute-Saône) ; tous nous ont donné des résultats sensiblement identiques. Aussi jugeons-nous préférable de faire de ces échantillons une description commune.

Les Schistes à Posidonomyes se présentent comme une roche très fissile, se débitant en grandes lames : ce sont les « schistes cartons » de Lorraine. Le schiste frais a une teinte bleutée, mais devient brun à la suite d'une longue exposition à l'air. Les fossiles y sont rares, et toujours fort écrasés. Lorsqu'on chauffe un fragment de schiste avec une allumette ou une bougie, il donne une forte odeur

caractéristique d'huile de schiste. Si l'on chauffe avec une flamme plus chaude (un bec Bunsen par exemple), la roche éclate en menus fragments.

*Étude des lames minces* (Pl. II, fig. 1, 2 et 3)

Le schiste est une roche à éléments extrêmement fins : la pâte occupe à elle seule 85 % de la surface des préparations : elle est fine et régulière, légèrement teintée en brun. Cette coloration est due à des matières organiques : ce dont on peut facilement se rendre compte en chauffant une préparation dépourvue de couvre-objet : la pâte devient gris clair après cette opération. La calcite microcristalline constitue à elle seule la moitié de la pâte, et les coupes très minces de schiste sont des préparations de choix pour l'observation des petits rhomboèdres de calcite.

Le quartz est le seul élément détritique visible : il est d'ailleurs souvent difficile à identifier, en raison de ses dimensions, qui sont généralement inférieures à  $10\mu$ . On peut évaluer son importance à moins de 5 %.

L'opale, qui est un minéral exceptionnel dans les marnes, est fréquente dans les schistes : elle se présente sous forme de globules isolés ou groupés en amas muriformes. Les globules d'opale, qui peuvent avoir 20 à  $30\mu$  de diamètre, occupent jusqu'à 5 % de la surface des préparations. La pyrite est également un élément constant des schistes : on observe surtout de petites concrétions distribuées irrégulièrement et donnant aux lames minces un aspect moucheté. La pyrite est également associée à la matière organique des algues que nous décrivons ci-dessous. Elle occupe aussi les loges de quelques rares Foraminifères, et la cavité des organismes que nous avons appelés les « corps discoïdes ».

Les organismes les plus fréquents dans les schistes sont des algues, qui se présentent dans les lames minces de la façon suivante : ce sont des filaments noirs, ayant une largeur de 10 à  $40\mu$  et dont les fragments sont longs de  $0^m/m5$  à  $1^m/m$ . Certains de ces filaments sont bifurqués. Dans quelques préparations particulièrement bien réussies, on peut constater que la structure des Algues est conservée : les parois des cellules sont formées par une substance noire, opaque ; en lumière réfléchie, cette substance présente un aspect mat ; elle est plus ou moins incrustée de petits grains de pyrite. L'intérieur des cellules est occupé par une matière translucide et amorphe, de teinte brun foncé. Les cellules sont réparties en files longitudinales ; elles sont environ trois fois plus longues que larges. Lorsqu'on chauffe une préparation dépourvue

de couvre-objet, toutes les Algues disparaissent, ce qui semble indiquer que les substances qui les constituent sont des bitumes ou des charbons très volatils, analogues à ceux qui accompagnent les plantes silicifiées localisées dans les miches ([2], [23]).

La structure des algues, comme on vient de le voir, ne peut pas être étudiée en lames minces d'une façon satisfaisante : nous avons eu recours, pour compléter cette étude, à des surfaces polies, puis

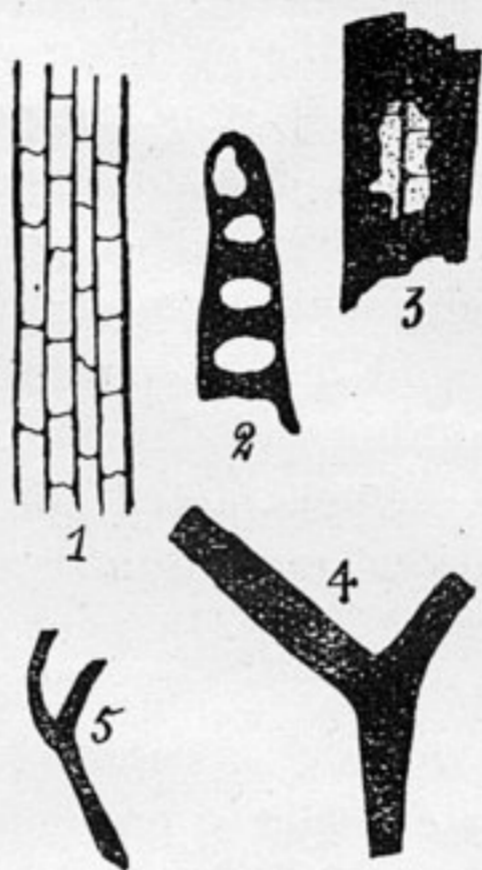


FIG. 8. — Algues des Schistes à Posidonomyes

1. Schéma de la structure d'un filament, telle qu'elle apparaît au microscope métallographique. — 2. Extrémité (?) d'un filament vue dans les mêmes conditions. — 3. Quelques cellules d'une algue vues dans une lame mince. — 4 et 5. Algues bifurquées observées en lame mince.

soumises à une très brève attaque à l'acide chlorhydrique dilué. Ces surfaces polies, examinées au microscope métallographique, permettent d'observer de nombreuses sections d'Algues : sections longitudinales, lorsque le plan de polissage est parallèle à la schistosité ; sections transversales, obliques ou longitudinales quand il lui est perpendiculaire. La plupart des Algues sont constituées par plusieurs files longitudinales de cellules, qui paraissent d'autant plus allongées dans le sens du filament que le nombre de files est plus grand, et que le filament est plus large ; ainsi, un fragment qui a  $38\mu$  de large comporte 3 files de cellules, dont la longueur est en moyenne de  $19\mu$  (3 fois plus longues que larges), alors qu'un fragment ayant 5 files a des cellules 4 à 5 fois plus longues que larges. Les parois séparant les files de cellules sont plus épaisses que les parois transversales. Certains fragments paraissent être les extrémités du thalle filamenteux de ces Algues : on n'y voit

qu'une rangée de cellules elliptiques dont la plus grande dimension est perpendiculaire à l'allongement du filament. Les sections transversales sont plus rares et plus difficiles à interpréter. Il semble qu'il y ait, dans certains filaments au moins, une sorte d'écorce formée de cellules beaucoup plus petites que celles de la partie centrale, ce qui rappellerait la structure de *Chorda filum*, qui est une phæophycée actuelle de beaucoup plus grande taille. Mais le fait que les organes reproducteurs des Algues des schistes ne sont pas connus ne permet pas de leur assigner une place dans la classification.

Une deuxième catégorie d'organismes constitue ce que nous avons appelé les « corps discoïdes », en raison de leur forme [21] ; ils sont beaucoup moins abondants que les algues, mais sont néanmoins assez répandus pour constituer un élément caractéristique des schistes, qui ne se retrouve dans d'autres formations que d'une façon tout à fait sporadique : dans les lames minces taillées parallèlement à la stratification, les « corps discoïdes » se présentent comme des organismes à contour circulaire, formés d'une substance isotrope d'une belle teinte jaune. Leur diamètre est en moyenne d'une centaine de microns. Dans les lames perpendiculaires à la stratification, ils ont un contour elliptique, et on peut constater que ce sont des sphères déformées par un aplatissement dans le sens de la stratification : en effet (fig. 9, a-d), la substance jaune isotrope qui constitue leur enveloppe a une épaisseur à peu près

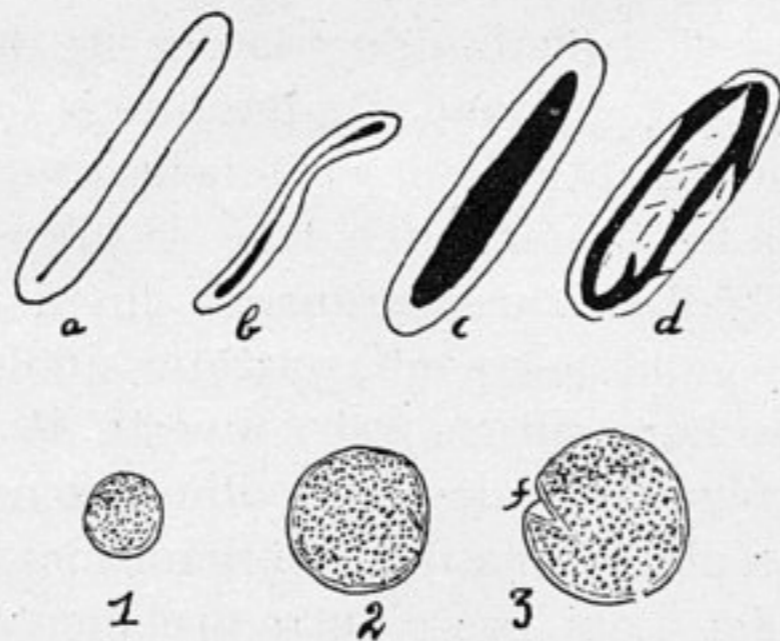


FIG. 9. — « Corps discoïdes » des Schistes à Posidonomyes ; a à d : Sections de ces organismes observées dans des lames minces taillées perpendiculairement à la stratification ; a, exemplaire très aplati dont la cavité est réduite à une ligne noire de pyrite ; b, c, exemplaires moins aplatis, dont la cavité est occupée par de la pyrite ; d, exemplaire peu aplati, dont la cavité est occupée par de la calcite et de la pyrite. Grossissement. 1, 2, 3, trois « corps discoïdes » de taille différente, observés de la façon indiquée p. 52 : le n° 1 (dimensions :  $70\mu$ ) est régulièrement orné. Le n° 2 montre un épaississement qui correspond à la fente f du n° 3, qui a  $130\mu$  de diamètre.

constante d'une dizaine de microns : lorsque l'aplatissement n'est pas complet, on voit à l'intérieur de cette enveloppe un espace occupé soit par de la pyrite seule (c fig. 9), soit par de la pyrite et de la calcite (d fig. 9) ; lorsque l'aplatissement est plus accentué, les bords opposés de l'enveloppe sont presque en contact, et séparés seulement par une mince bande de pyrite.

L'examen en lames minces ne donne donc que quelques renseignements concernant la forme de ces corps : aussi avons-nous cherché un procédé permettant de dissocier le schiste et de concentrer ces organismes :

1° La dissociation du schiste est obtenue grâce à une attaque à l'acide chlorhydrique ; il est nécessaire de remuer avec un agitateur pendant l'attaque, car sans cela la dissociation serait très incomplète, et le produit obtenu serait formé de nombreux débris en forme de lamelles. En remuant ainsi, on dissocie une partie de ces lamelles, et on obtient un produit qu'on lave sur un filtre et qu'on sèche dans le vide en présence d'acide sulfurique.

2° La concentration des organismes se fait à l'aide de tétrachlorure de carbone, liquide dont la densité est supérieure à celle des algues et des corps discoïdes : en principe, seuls ces organismes devraient flotter à la surface du liquide. En réalité, une fraction de la partie minérale de la roche flotte également, soit en raison des faibles dimensions des particules, soit par suite de la présence de bulles d'air susceptibles de les alléger. Néanmoins, on obtient ainsi un enrichissement considérable en organismes. Pour les étudier, on décante le tétrachlorure de carbone, auquel on ajoute de la benzine, ce qui a pour effet de diminuer la densité du liquide : tout ce qui flottait tombe alors au fond. On décante le liquide qui surnage et le résidu est monté entre lame et lamelle.

Examinés ainsi, les « corps discoïdes » se présentent de la façon suivante (Pl. I, fig. 3) : leur contour est circulaire, et, en faisant varier la mise au point, on peut constater qu'ils sont légèrement bombés au centre. Leur surface est couverte de fines granulations circulaires ou irrégulières dont les dimensions sont comprises entre 1 et  $2\mu$ . Les plus petits de ces organismes, dont le diamètre est inférieur à  $100\mu$  n'ont pas d'autre ornementation ; à partir de cette dimension, ils portent en outre un épaissement lisse, qui doit être un mécanisme de déhiscence, car, sur les plus gros échantillons ( $130\mu$  environ), une fente suit ce renflement.

En ce qui concerne la nature chimique de l'enveloppe des « corps discoïdes », nous avons pu établir les faits suivants : c'est une substance isotrope, que la calcination détruit en donnant une cendre grise. Insoluble dans la liqueur cuproammoniacale de Schweizer,

elle noircit sous l'action prolongée de l'acide sulfurique et est partiellement dissoute par l'eau de Javel : c'est donc probablement une *chitine*, bien que l'insolubilité dans la liqueur de Schweizer, et le résultat, négatif également, d'un essai de coloration au chloroiodure de zinc, ne permettent pas d'affirmer que ce ne soit pas une cellulose (1) : dans ce dernier cas, les « corps discoïdes » pourraient être des zygotes d'algues, ou des spores de végétaux plus élevés en organisation ; si, comme nous le croyons, ce sont des organismes chitineux, il y a de fortes chances pour que ce soient des œufs d'animaux.

Or, nous avons trouvé dans des nodules phosphatés de Créveney des organismes analogues aux « corps discoïdes », dont ils diffèrent seulement en ce qu'ils ne sont pas déformés et conservent leur forme sphérique. Nous avons émis l'hypothèse que ces sphères seraient fort probablement des œufs d'Ammonites [20]. N'y aurait-il pas lieu d'étendre cette interprétation aux « corps discoïdes » des schistes ? Aucun argument sérieux ne permet de trancher la question à l'aide des données que nous possédons : il existe une analogie certaine avec les sphères chitineuses des nodules à Ammonites ; les schistes sont des dépôts de mers largement ouvertes, qui ont pu, d'après le peu qu'on sait de la biologie des Ammonites, constituer un milieu de choix pour leur développement : ce sont là évidemment des arguments bien insuffisants pour que notre interprétation soit autre chose qu'une hypothèse ; nous croyons cependant utile de la formuler, malgré toute l'incertitude qu'elle comporte.

Indépendamment des précédents organismes, on trouve encore dans les schistes de très rares Foraminifères, dont les loges sont occupées par de la pyrite.

Enfin, il faut peut-être considérer comme des organismes des filaments formés d'une matière anisotrope et inattaquables par les acides : ces filaments sont, les uns roses, les autres incolores :

Les filaments roses seuls se rencontrent dans les lames minces : ils ont 15 à 20 $\mu$  de large et comprennent des bandes transversales absolument lisses, longues d'environ 18 $\mu$ , séparées par d'étroites bandes dont l'aspect est granuleux.

Nous n'avons observé de filaments incolores que dans les préparations destinées à l'étude des « corps discoïdes » : peut-être ne sont-ce là que des corps étrangers introduits au cours des manipulations

(1) Certaines celluloses sont susceptibles de se polymériser et de donner ainsi des produits insolubles dans la liqueur de Schweizer. Il est possible que la fossilisation produise une telle transformation.

nécessaires à la confection des préparations ? Nous ne le croyons pas, car, malgré les très grandes précautions prises, nous les avons constamment retrouvés. Les dimensions de ces filaments sont assez variables (leur diamètre varie de 15 à 30 $\mu$ ) ; il semble que quelques-uns d'entre eux montrent des traces de cloisons. Pour le moment, nous nous contentons de signaler leur présence, sans pouvoir formuler une opinion quelconque concernant leur origine, ni même leur nature chimique, difficiles à étudier en raison de leur rareté et de leurs faibles dimensions.

Les matières organiques, actuellement exploitées industriellement à Créveney pour la fabrication d'hydrocarbures, ont été étudiées de différentes façons : pendant assez longtemps, on a effectué simplement des *distillations* avec ou sans entraînement par la vapeur d'eau, ([17], [18], [28]), ce qui ne donnait aucun renseignement sur la nature des produits contenus dans la roche, mais *seulement sur quelques-uns de ceux qu'elle permet d'obtenir*. Les longues recherches de M. Barlot, qui ont abouti à de nouvelles méthodes d'exploitation des schistes, utilisées actuellement à Créveney, ont montré que les schistes bitumineux ne peuvent pas être considérées comme des roches pétrolifères, mais comme des roches contenant des matières organiques capables de donner par *pyrogénéation* des hydrocarbures, comme des roches « pétroligènes » [1] : il ne s'agit donc plus de distillation, mais de pyrogénéation ; et, suivant les conditions dans lesquelles on effectue cette opération, les produits obtenus sont différents.

D'autre part, les solvants n'enlèvent rien au schiste brut. Mais nous avons pu constater que si l'on traite le schiste par l'acide chlorhydrique, et qu'on l'épuise ensuite par des solvants (pyridine, tétrachlorure de carbone, etc.), on obtient un produit brunâtre dont l'odeur, entièrement différente de celle des huiles de schiste et des hydrocarbures, rappelle celle des huiles de graissage. Mais la quantité de substance ainsi obtenue est beaucoup plus petite que ce qu'on pourrait attendre d'après la teneur des schistes.

Le résultat de cette expérience a été soumis à M. Barlot, et nous avons en commun conçu une méthode qui permet d'analyser quantitativement les matières organiques contenues dans les schistes ; le principe qui nous a guidé a été le suivant : éliminer la plus grande quantité possible de matière minérale en opérant à basse température, de façon à éviter de distiller ou de transformer les matières organiques. M. Barlot a attaqué les schistes successivement par l'acide chlorhydrique et par l'acide fluorhydrique [3] : il a obtenu ainsi une poudre brune très foncée, dont le poids était seulement égal à 33 % de celui du schiste utilisé, et dans laquelle le résidu



minéral n'était que de 4 à 5 %. La composition centésimale des matières organiques contenues dans ce produit est la suivante :

Carbone, 63,35 ;  
Hydrogène, 13,41 ;  
Azote, 12,15.  
Soufre, 1,92.  
Oxygène, 9,94 (1).

Les matières organiques des schistes ne sont donc pas des hydrocarbures : ce sont des substances oxygénées susceptibles de donner, par pyrogénéation, des hydrocarbures. Elles correspondent donc à ces produits, inconnus jusqu'à ces derniers temps, désignés sous le nom de *kérogène*, que l'on considère comme ayant fourni par distillation naturelle les hydrocarbures des gisements d'imprégnation. Comme le dit M. Barlot [4], leur nature même montre que les schistes bitumineux du Toarcien ne sont pas des roches-magasin, ni même, comme le pense M. Nicolesco [40], des « roches-mères-magasin », mais des *roches-mères* de pétrole : ce qui est un argument d'une valeur considérable en faveur de l'origine organique des pétroles.

Nous ajouterons que la plupart des marnes abandonnent aux solvants, après attaque à l'acide, des substances analogues à celles des schistes : les Schistes à Posidonomyes ne constituent donc pas une exception : ils sont simplement une marne beaucoup plus riche que les autres en matières organiques.

#### *Résidu d'attaque*

Les schistes sont très difficiles à dissocier : aussi peut-on mal apprécier la proportion des différents éléments visibles dans le résidu d'attaque : on peut observer une quantité notable de quartz en très petits grains, de nombreuses Algues, et quelques « corps discoïdes ». Le reste du résidu d'attaque est constitué par des lamelles de substance non dissociée.

(1) Une série d'analyses a, d'autre part, montré à M. Barlot, que les schistes ont la composition moyenne suivante [4] :

Matières organiques .....	13 à 27 %
Calcaire .....	35 à 45 %
Magnésie .....	0,5 à 2 %
Silice totale .....	35 à 40 %
Fe <sup>2</sup> O <sup>3</sup> et Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup> .....	13 à 18 %
Pyrite .....	1,5 à 3 %

\*  
\* \*

A Créveney, où les schistes bitumineux sont exploités, on peut observer, au-dessus des schistes proprement dits, deux niveaux marneux très fossilifères, qui, aux points de vue paléontologique et stratigraphique, en sont inséparables : nous les désignons, d'après le fossile qui y est le plus commun, sous le nom de marnes à *Posidonomyes* et de marnes à *Inocérames*.

Les marnes à *Posidonomyes* ont un aspect très voisin de celui des schistes : elles sont finement feuilletées, ont une teinte d'un gris bleuté, et on voit, suivant les plans de schistosité, de très nombreuses *Posidonomyes*. Elles ne contiennent qu'une quantité insignifiante de matières organiques.

#### *Étude des lames minces*

En lames minces, les marnes à *Posidonomyes* présentent également de nombreuses analogies avec les schistes : la pâte a une texture identique à celles des schistes et un développement à peu près équivalent (80 %); sa teinte est toutefois un peu plus claire.

Le quartz occupe, comme dans le schiste, environ 5 % de la surface des préparations : la plupart des grains ont, à peu près, les mêmes dimensions ; certains sont plus gros et atteignent environ 30 $\mu$ .

Les minéraux secondaires sont plus abondants que dans les schistes : l'opale globulaire est également présente : les globules sont généralement isolés. D'assez nombreuses plages sont occupées par de la calcédoine : ces plages ont un contour irrégulier ; leurs dimensions sont assez variables, et peuvent atteindre 1<sup>m</sup>/m ; mais les fibres de calcédoine sont toujours extrêmement courtes, et les régions calcédonieuses ont entre nicols croisés l'aspect d'une fine mosaïque. Parfois, dans la calcédoine, apparaissent de petits grains de quartz : est-ce du quartz secondaire ? Les dimensions trop petites des éléments ne permettent pas de trancher cette question. Toutefois, comme il ne semble pas que les grains de quartz soient limités par des faces cristallines, on est en droit de penser qu'il s'agit seulement de quartz détritique, autour duquel seraient venues se grouper les fibres de calcédoine. La pyrite est représentée, comme dans le schiste, par d'assez nombreuses concrétions de petite taille. Enfin, un certain nombre de fissures de la roche sont occupées par de la calcite.

Parmi les organismes, les uns, tels que les Algues et les « corps discoïdes », sont communs aux schistes et aux marnes à Posidonomyes ; d'autres n'existent que dans ces dernières formations : ce sont des sections nombreuses de Lamellibranches à test mince, de Posidonomyes probablement.

#### *Résidu d'attaque*

Difficiles à désagréger comme les schistes, les marnes à Posidonomyes ont un résidu d'attaque difficile à étudier ; on y observe, mêlés à de nombreux débris lamelleux non dissociés, les minéraux suivants : Quartz (6) ; Silice secondaire (3) ; Zircon (1).

D'assez nombreuses algues sont associées à ces minéraux.

\*  
\* \*

Les marnes à Inocérames sont assez différentes des marnes à Posidonomyes : elles ne sont pas schisteuses, leur stratification est peu visible, confuse et irrégulière. La roche a une teinte bleu-tée ; on y distingue de nombreux cristaux de pyrite. Les fossiles, nombreux, sont représentés, outre les Inocérames, par de nombreuses Ammonites pyriteuses. C'est dans ces marnes que l'on rencontre les nodules phosphatés à jeunes Ammonites [20].

#### *Étude des lames minces*

La pâte occupe seulement 40 % de la surface des préparations : elle a une teinte brun clair.

Les éléments détritiques paraissent fort rares, et nous n'avons observé que quelques lamelles de mica.

Les minéraux secondaires sont au contraire abondants, mais représentés seulement par la calcite, la dolomie et la pyrite. Des grains de calcite d'environ 20 à 30 $\mu$  sont répartis assez uniformément dans la pâte, et occupent environ 30 % de la surface des préparations. La dolomie est moins abondante : elle se présente en rhomboèdres ayant les mêmes dimensions que les grains de calcite, dont elle se distingue à la fois par ses formes cristallines et par un relief plus marqué. La pyrite constitue des plages opaques, irrégulièrement réparties, dont les plus grandes ont plusieurs millimètres ; elle existe en outre sous forme de minuscules concrétions et de cubes répartis dans toute la roche. On peut évaluer à 20 % au moins la surface occupée par la pyrite.

Contrairement aux schistes et aux marnes à Posidonomyes, les marnes à Inocérames ne contiennent pas d'Algues. On y observe d'assez nombreux prismes de Lamellibranches, appartenant vraisemblablement à des Inocérames, des débris calcaires d'origine probablement organique, mais indéterminables, et de très rares Foraminifères de type *Nodosaria*, dont les loges sont occupées par de la calcite et de la pyrite.

#### *Résidu d'attaque*

Ici encore, la roche est difficile à désagréger : le résidu d'attaque montre de nombreux fragments non dissociés, quelques rares grains de quartz, quelques fibres de silice secondaire, et une quantité importante de pyrite, qui se présente en concrétions plus ou moins informes, en boules, en cubes et également en octaèdres.

#### F. Marnes du Toarcien supérieur

Une série de trois échantillons a été recueillie dans une marnière exploitée pour une tuilerie, située à une centaine de mètres au sud du chemin de Miserey à École, non loin de ce dernier village.

Le premier de ces échantillons provient de la partie inférieure de la marnière, niveau où on trouve quelques fossiles : *Littorina duplicata* Sow., *Leda rostralis* LMK., *Nucula Hammeri* GOLDF., etc. : c'est une marne compacte, onctueuse, ayant une teinte gris bleuté, et marbrée de taches brunes.

#### *Étude des lames minces*

La pâte de cette marne est prédominante (70 %). La calcite en petits rhomboèdres est répartie d'une façon irrégulière : il en résulte que la pâte paraît homogène en lumière naturelle, alors qu'elle a un aspect irrégulier et grumeleux entre nicols croisés, les régions où la calcite est moins abondante étant moins éclairées que les autres.

Le quartz est assez peu abondant (10 à 20 %) et de petites dimensions (10 à 50 $\mu$ ). On peut observer en outre dans les lames minces quelques lamelles de mica.

La limonite est le principal des minéraux secondaires : elle se présente en grains et en concrétions de petite taille, elle colore également certaines régions de la roche, donnant les taches brunes que l'on peut observer à l'œil nu. On voit en outre de petits grains de calcite répartis assez irrégulièrement.

Les organismes sont rares : nous n'avons observé que quelques algues charbonneuses et des bâtonnets calcaires.

*Résidu d'attaque*

Quartz (9) ; Silice secondaire (4) ; Muscovite (4) ; Phyllite (1) ; Zircon (2) ; Glauconie ? (1).

\*  
\* \*

Un second échantillon, provenant du niveau moyen de la marnière, est une marne de teinte gris clair, bien stratifiée.

*Étude des lames minces*

La pâte est encore plus abondante que dans l'échantillon précédent, et occupe presque toute la surface des préparations (95 %) : elle est fine et absolument régulière, la calcite y étant régulièrement répartie.

Le seul élément détritique que nous ayons observé est le quartz : encore est-il peu abondant (3 % environ) et très ténu (20 $\mu$ ).

Quelques concrétions de limonite et de petits grains de calcite représentent les minéraux secondaires.

Les organismes sont rares : nous n'avons observé que quelques Foraminifères de type *Nodosaria* et des bâtonnets calcaires.

*Résidu d'attaque*

Quartz (9) ; Silice secondaire (3) ; Muscovite (2) ; Zircon (1).

\*  
\* \*

La marne de la partie supérieure de la marnière de Miserey présente davantage d'analogies avec celle de la partie inférieure qu'avec l'échantillon précédent : à l'œil nu, elle présente le même aspect.

*Étude des lames minces*

La pâte présente les mêmes caractères et le même développement que dans l'échantillon de la partie inférieure de la marnière.

Le quartz a la même abondance et les mêmes dimensions. Le mica est toutefois un peu plus fréquent.

D'autre part, aux minéraux secondaires de la marne de la partie inférieure de la marnière, viennent s'ajouter quelques petites concrétions de pyrite.

Enfin, les seuls organismes que nous y ayons observé sont des Algues charbonneuses.

*Résidu d'attaque*

Quartz (9) ; Silice secondaire (4) ; Muscovite (4) ; Phyllite (1) ; Zircon (1) ; Pyrite (2).

\*

\* \*

Nous avons étudié aussi une marne du Toarcien provenant des environs du village de Morre : cet échantillon a été récolté dans une fouille abandonnée depuis quelques années : aussi y a-t-il lieu de ne pas attacher une trop grande importance aux caractères de la pâte, à la nature des produits ferrugineux et aux matières organiques, qui peuvent avoir été modifiés par des altérations ; il nous a semblé toutefois utile de la décrire ici, en raison du développement qu'y prend le quartz.

Cette marne a une teinte d'un brun rouge, due sans doute en partie à l'oxydation des sels de fer. Elle est bien stratifiée, et parcourue en outre par des fissures verticales, qui font qu'elle se débite en petits parallépipèdes.

*Étude des lames minces*

La pâte est assez abondante (60 %) : son grain est irrégulier et sa teinte d'un brun assez vif.

Le quartz est beaucoup plus commun que dans les marnes de Miserey (30 %). Ses dimensions peuvent aller de moins de  $10\mu$  à  $150\mu$ . On peut observer en outre quelques paillettes de mica.

Les minéraux secondaires sont représentés par la calcite, qui forme des grains peu nombreux, et par quelques petites concrétions de pyrite.

Nous n'avons observé aucun organisme, mais seulement des traces d'une matière organique noire, provenant dans doute de débris végétaux en voie de décomposition.

*Résidu d'attaque*

Quartz (9) toujours très bien roulé ; Silice secondaire (1) ; Muscovite (3) ; Phyllite (1) ; Orthose (3) ; Zircon (1) ; Glauconie (2) ; Limonite (7).

\*  
\* \*

Les échantillons de Toarcien supérieur du Jura que nous avons étudiés proviennent de Villette-les-Saint-Amour et de Montigny-les-Arsure.

L'échantillon de Villette est une marne de teinte gris bleutée, compacte, dont le niveau, précisé par de nombreux fossiles, correspond à la base de la marnière de Miserey.

#### *Étude des lames minces*

Les caractères de cette marne sont identiques à ceux des schistes à Posidonomyes, sauf en ce qui concerne les organismes : nous n'y avons pas observé d'Algues, mais seulement de très rares Foraminifères et un seul fragment de Bryozoaires.

#### *Résidu d'attaque*

Quartz (6) ; Silice secondaire (9) ; Zircon (1) ; Limonite (9).

\*  
\* \*

La marne de Montigny-les-Arsure a été récoltée dans une tranchée creusée pour des recherches d'eau au dessus du village. Sa teinte est gris bleutée ; elle est onctueuse et mal stratifiée.

#### *Étude des lames minces*

La pâte, fine et très calcaire, occupe à peu près la moitié de la surface des préparations.

Le quartz est généralement en très fins éléments, mais quelques grains ont cependant jusqu'à  $30\mu$ . Son importance est de l'ordre de 10 %.

La calcite est le plus abondant des minéraux secondaires ; elle occupe environ 30 % des préparations : elle se présente en plages ayant jusqu'à  $100\mu$  et même davantage ; dans certains cas, l'orientation du minéral est la même dans toute l'étendue d'une plage, mais, la plupart du temps, chacune des plages est formée d'un grand nombre de petits grains de calcite d'orientation différente, accolés les uns aux autres. La pyrite est également abondante et forme de nombreuses concrétions ; on peut parfois observer de

petits cubes de pyrite. La calcédoine est assez rare ; elle est en fibres très courtes groupées d'une façon capricieuse en plages ayant à peu près le même développement que celles de calcite.

Les organismes sont représentés par quelques Algues et par d'assez nombreux bâtonnets calcaires. Nous avons observé en outre quelques Foraminifères uniloculaires, dont la loge est occupée par de la pyrite ; et un organisme qui est probablement un spicule d'éponge calcifié : cet organisme est constitué par trois minces bâtonnets divergeant à partir d'un même point suivant des angles de 120°.

#### *Résidu d'attaque*

Quartz (9) ; Silice secondaire (4) ; Tourmaline (1) ; Zircon (2) ; Glauconie (2) ; Pyrite (6).

\*  
\* \*

Enfin, nous avons étudié une marne toarcienne des environs de Belfort : elle provient d'une marnière située à environ 2 km, au N.-W. de la ville, à peu près à mi-distance de Belfort et de Cravanche.

C'est une marne ressemblant à l'œil nu à celle de Montigny-les-Arsure.

#### *Étude des lames minces*

Les lames minces montrent, au contraire, des analogies avec les échantillons de Miserey et, en particulier, avec celui de la base de la marnière, dont il ne diffère que par quelques caractères :

1° La calcite rhomboédrique de la pâte est régulièrement distribuée : aussi la pâte présente-t-elle un aspect homogène entre nicols croisés, comme en lumière naturelle.

2° La pâte a uniformément la teinte brune (due à la présence de Limonite) que la marne de Miserey ne présente que suivant certaines zones, d'ailleurs marquées par des différences de coloration visibles à l'œil nu et que ne présente pas la marne de Belfort.

3° Les seuls organismes que nous ayons observés sont des bâtonnets calcaires.

#### *Résidu d'attaque*

Quartz (9) ; Silice secondaire (7) ; Muscovite (4) ; Phyllite (1) ; Pyrite (4) ; Limonite (9).



### G. Aalénien

Les niveaux marneux de l'Aalénien sont rarement visibles, car ils sont généralement recouverts par de puissants éboulis provenant des couches à *Pecten pumilus* et du Bajocien. Nous avons pu néanmoins en recueillir deux échantillons près de Montfaucon, aux environs de Besançon.

Le premier de ces échantillons provient d'une fouille déjà ancienne, près de la croix qui se trouve à l'intersection du chemin allant au château ruiné de Montfaucon, et de la route allant de Montfaucon à Morre. Cette marne paraît constituer la partie inférieure de l'Aalénien ; elle a encore de nombreux caractères communs avec les marnes toarciennes. Elle se présente comme une roche légèrement gréseuse, feuilletée, de teinte jaunâtre.

#### *Étude des lames minces*

La pâte est inégalement fine suivant les points des préparations ; elle a un aspect grumeleux. Sa répartition irrégulière fait que les coupes rappellent un peu certaines marnes du Charmouthien avec leurs régions à pâte dominante et leurs régions subgréseuses : ce caractère est toutefois moins accentué, et la pâte est plus abondante que dans la majorité de ces formations (50 % en moyenne).

Le quartz, dont les grains sont plus serrés dans certaines régions que dans d'autres, a des dimensions qui varient dans d'assez larges proportions (de 5 à 30 $\mu$ ). Il est plus abondant que dans le Toarcien (40 % en moyenne). Le mica est représenté par quelques paillettes.

Les minéraux secondaires sont peu nombreux : des cristaux de calcite tapissent quelques fissures de la roche ; les concrétions, de pyrite, et surtout de limonite, sont abondantes, mais de petite taille. On observe en outre quelques aiguilles de calcédoine.

Des Algues charbonneuses et des bâtonnets calcaires, très rares les uns et les autres, sont les seuls organismes de ces marnes.

#### *Résidu d'attaque*

Quartz (9) ; Silice secondaire (2) ; Muscovite (4) ; Zircon (1) ; Pyrite (2).

\*  
\* \*

Un second échantillon provient de la base des escarpements situés sous le fort de Montfaucon. C'est une marne gréseuse, fissile et friable, de teinte grise. Elle contient de nombreux fossiles, dont la plupart sont brisés, ou même roulés. Des fossiles constituent à

eux seuls presque tout le carbonate de chaux de la roche, qui ne contient par ailleurs que peu de calcaire.

#### *Étude des lames minces*

La pâte est encore plus inégalement répartie que dans l'échantillon précédent, et les lames minces montrent des régions gréseuses analogues à celles du Charmouthien. Dans les régions où les minéraux sont peu abondants, elle occupe environ 50 % de la surface des préparations. La coloration de la pâte est variable : mais, lorsqu'elle est très colorée, elle se distingue facilement de la pâte des marnes gréseuses du Charmouthien : elle a en effet une teinte grise ou même presque noire, due à la présence de nombreux petits grains de pyrite, alors que la pâte du Charmouthien est colorée par de la limonite ; d'autre part, elle est peu calcaire.

Le quartz est grossier et mal roulé ; sa taille moyenne est de 60 à 70 $\mu$ , certains éléments pouvant atteindre 100 $\mu$ . Distribué irrégulièrement, il occupe environ 30 % de la surface des lames minces. Le mica est réparti irrégulièrement. Sa fréquence peut aller jusqu'à 5 % dans certaines régions.

Les minéraux secondaires sont essentiellement ferrugineux : la pyrite, qui est finement disséminée dans la pâte, peut se concentrer en donnant de petites plages opaques. La limonite forme quelques concrétions. Enfin, on peut observer dans les préparations quelques grains de glauconie.

Les organismes sont presque tous à l'état de débris ou de fragments roulés : débris assez nombreux de couche lamelleuse ou prismatique de Lamellibranches, et fragments calcaires beaucoup plus rares montrant la structure du tissu des Échinodermes (Crinoïdes ?). Exceptionnellement, on peut observer des Foraminifères enroulés, dont les loges sont occupées par de la pyrite.

#### *Résidu d'attaque*

Quartz (9) ; Silice secondaire (3) ; Muscovite (6) ; Phyllite (3) ; Plagioclases (1) ; Zircon (1) ; Pyrite (4) ; Glauconie (1).

\*  
\* \*

Dans le Jura, nos récoltes d'Aalénien sont encore plus pauvres, puisque nous n'avons qu'un échantillon, provenant de Villette-les-Saint-Amour. C'est une marne très gréseuse, bien stratifiée, de teinte gris beige, et dans laquelle nous n'avons pas trouvé de fossiles.

*Étude des lames minces*

La pâte, teintée assez vivement en brun, est grossière. Elle occupe 60 % de la surface des préparations.

Le quartz est en éléments assez gros (50 à 80 $\mu$ ; exceptionnellement 100 $\mu$ ). Contrairement à ce qui se produit dans les marnes gréseuses précédentes, il est régulièrement réparti et constitue environ 35 à 40% de la roche. Le mica est présent, mais peu abondant.

La calcite existe sous forme de quelques grains ayant des dimensions comparables à celles du quartz. La calcédoine est assez commune : elle constitue des ensembles, où sont groupées des fibres très courtes, et ayant un contour soit irrégulier, soit circulaire. On observe en outre d'assez nombreuses concrétions de limonite, et quelques grains de glauconie.

Nous n'avons vu dans les lames minces de l'Aalénien de Villette qu'un seul organisme vraiment déterminable : c'est un Foraminifère uniloculaire. Mais il est probable que les microorganismes étaient à l'origine assez nombreux dans ce sédiment : ainsi, les plages circulaires de calcédoine peuvent être interprétées comme provenant de l'épigénie de Foraminifères. De même, des concrétions de limonite, dont certaines forment des ensembles réguliers, proviennent peut-être d'une épigénie, ou d'un remplissage d'organismes qui auraient été digérés par la suite, et qui sont pratiquement indéterminables (fig. 10).



FIG. 10. — Concrétions de limonite régulièrement groupées de l'Aalénien de Villette-les-Saint-Amour.

*Résidu d'attaque*

Quartz (7) ; Silice secondaire (9) : nous avons observé un cristal bipyramidé de quartz secondaire ; Muscovite (3) ; Biotite (2) ; Tourmaline verte, toujours roulée (1) ; Zircon (1) ; Pyrite (4) ; Glauconie (1).

## CHAPITRE IV

### Comparaison des différents niveaux

---

Le but que nous nous proposons est de nous rendre compte, au cours de ce chapitre, si les marnes d'un même étage ont des caractères communs, utilisables pour la détermination des formations liasiques de Franche-Comté à l'aide de lames minces. Pour cela, nous allons passer en revue les différents caractères de ces roches, dans l'ordre même où ils ont été décrits lors de l'étude des différents échantillons.

#### A. Faciès des préparations

Alors que certaines marnes ont une texture régulière, plus ou moins fine, ou plus ou moins grossière, d'autres sont beaucoup moins homogènes, et quelques-uns de leurs éléments sont groupés dans une région des préparations, tandis qu'ils sont plus clairsemés dans d'autres. Cet aspect général, ce *faciès* des préparations, nous permet déjà d'établir quelques subdivisions dans l'ensemble des marnes étudiées :

Plusieurs marnes ne sont pas homogènes : ainsi, les marnes du Charmouthien supérieur montrent pour la plupart des régions subgréseuses, où le quartz est groupé (Pl. III, fig. 4), alors que d'autres parties des préparations, où la pâte a un développement plus grand, ne présentent pas ce caractère (région de Besançon : marnes de Miserey ; Jura : marnes de Villette, de Rosay, de la route de Saint-Laurent-la-Roche à Cesancey). Ce même caractère se retrouve dans l'Aalénien des environs de Besançon.

D'autres marnes ont également un faciès hétérogène, mais, ici, ce n'est plus le groupement du quartz qui crée ces différences ; ce sont les organismes (Pl. III, fig. 2) : telles sont les intercalations marneuses dans le Calcaire à Gryphées de la région de Besançon, et à un degré moins prononcé, dans le Jura ; telles sont également les marnes tendant au lumachelle, du Charmouthien de Villette.

Par contre, certains des sédiments étudiés ont une texture particulièrement fine et régulière : les schistes bitumineux à Posidonomyes en sont un exemple.

### B. Nature et constitution de la pâte

La pâte peut nous fournir également des caractères de différenciation :

Elle peut être complètement dépourvue de calcaire, comme c'est le cas pour les schistes rhétiens de Miserey.

Lorsqu'il existe de la calcite dans la pâte, celle-ci est le plus souvent régulièrement répartie ; mais elle est parfois plus abondante en certains points qu'en d'autres, ce qui se traduit dans les plaques minces de la façon suivante : la pâte paraît homogène en lumière naturelle, alors qu'entre nicols croisés les régions où abonde la calcite restent éclairées, les autres devenant sombres : ce type de pâte est visible dans les échantillons provenant des niveaux supérieur et inférieur de la marnière toarcienne de Miserey.

D'autre part, la pâte peut avoir une teinte claire (Hettangien de Villette) ou être colorée de différentes façons : la coloration due à la pyrite est grise : on la rencontre dans un des échantillons du Toarcien de Miserey, et dans l'Aalénien de Montfaucon. La plupart des autres échantillons ont une teinte brune, due généralement à de la limonite, ou plus rarement (schistes à Posidonomyes) à des matières organiques : la teinte peut être uniforme dans toute la surface des préparations, ou être plus ou moins intense suivant les points : la plupart des échantillons du Toarcien ont une pâte uniformément colorée, ce qui n'est généralement pas le cas pour les étages inférieurs : toutefois, ce caractère a une valeur très faible dans le diagnostic des différents niveaux, car il n'est pas suffisamment constant dans une même formation.

### C. Minéraux détritiques

a) *Quartz* : Le quartz est le principal minéral détritique, toujours visible dans les lames minces : aussi est-ce un élément très intéressant à envisager ici. Il y a lieu d'envisager séparément son abondance et les variations dans la grosseur des grains.

Le graphique de la figure 11 résume les résultats obtenus, concernant l'abondance du quartz pour les différents niveaux : ce graphique donne lieu aux remarques suivantes :

1° Le quartz est presque toujours *plus abondant dans la région de Besançon que dans le Jura*. Un seul niveau semble constituer une exception à cette règle, c'est le Charmouthien de Varessia : encore y a-t-il lieu de remarquer que cet échantillon est le seul dont nous n'avons pu, faute de fossiles ou de repères exacts, préciser le niveau d'une façon satisfaisante.

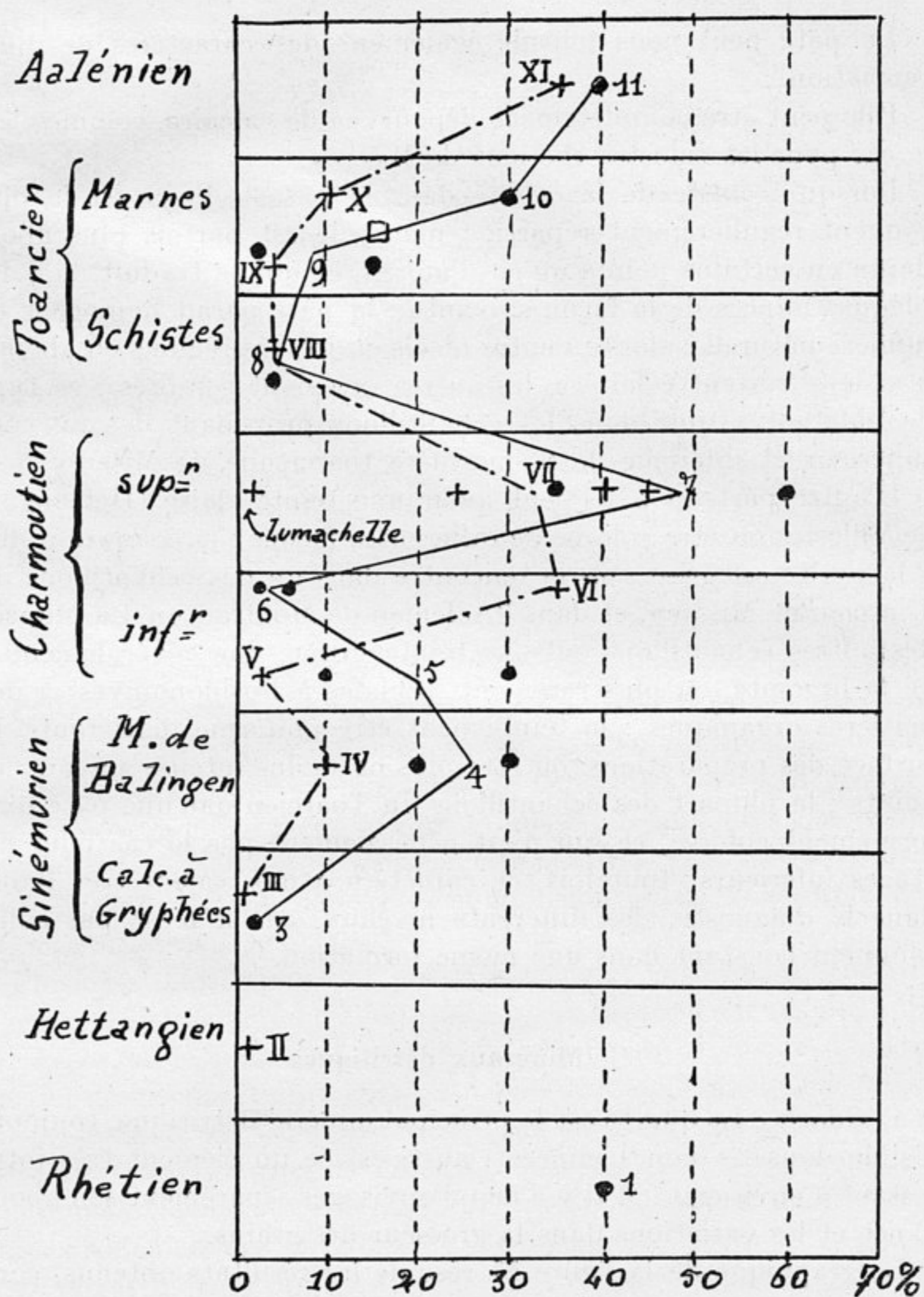


FIG. 11. — Graphique de la fréquence du quartz dans les lames minces, dans le Lias de Franche-Comté.

Les points noirs correspondent aux échantillons provenant de la région de Besançon ; les croix à ceux du Jura ; le carré dans le Toarcien correspond à l'échantillon provenant de Belfort.

Pour la signification des points numérotés, voir dans le texte, p. 69.

2° Si l'on fait la moyenne du pourcentage du quartz pour chaque niveau, on obtient une série de points, qui, sur la figure 11, sont numérotés de 1 à 11 pour la région de Besançon, et de I à IX pour le Jura. Si on met à part l'anomalie due au Charmouthien de Varesia, on constate qu'en joignant les points successifs d'une même série, on obtient deux courbes sensiblement parallèles : *les variations de la fréquence du quartz se font donc dans le même sens* dans la région de Besançon et dans le Jura. L'abondance du quartz est donc un caractère utilisable pour la détermination stratigraphique des échantillons :

Les formations suivantes contiennent 10 % ou moins de quartz :

Toarcien : marnes du Jura, certaines marnes des environs de Besançon, schistes à Posidonomyes.

Charmouthien supérieur : lumachelles intercalées dans les marnes du Jura.

Charmouthien inférieur : quelques marnes seulement du Jura et du Doubs.

Sinemurien : marnes intercalées dans le Calcaire à Gryphées (Jura et Doubs).

Hettangien de Villette.

Les niveaux suivants donnent des lames minces dans lesquelles on trouve plus de 30 % de quartz :

Aalénien : Doubs et Jura.

Charmouthien supérieur : la plupart des marnes du Doubs et du Jura.

Rhétien : schistes de Miserey.

Les autres formations montrent dans les préparations des quantités de quartz comprises entre 10 et 30 %.

La grosseur maxima des grains de quartz, comme l'indique le graphique de la figure 12, est moins significative : toutefois, on peut faire les constatations suivantes :

1° Les seules formations dont tous les grains de quartz soient plus petits que  $10\mu$  sont : les schistes bitumineux à Posidonomyes et quelques marnes toarciennes du Jura.

2° La grosseur des grains de quartz n'atteint ou ne dépasse  $70\mu$  que dans quelques formations : la plupart des dépôts aaléniens et partie tout à fait supérieure du Toarcien ; quelques marnes du Charmouthien supérieur ; marnes du Calcaire à Gryphées du Doubs ; schistes rhétiens de Miserey.

b) *Autres minéraux détritiques* : Les minéraux détritiques autres que le quartz ne sont pas d'un grand intérêt en ce qui concerne la détermination du niveau des sédiments à l'aide des lames minces : ils sont en effet pour la plupart tellement clairsemés que c'est un

hasard de les rencontrer dans les préparations. Seul le mica est parfois assez commun ; mais il est susceptible d'être arraché pendant l'exécution des lames minces ou d'être en partie caché par des concrétions ferrugineuses. Aussi, est-ce un élément de détermination lorsqu'on l'observe, mais on ne peut généralement rien con-

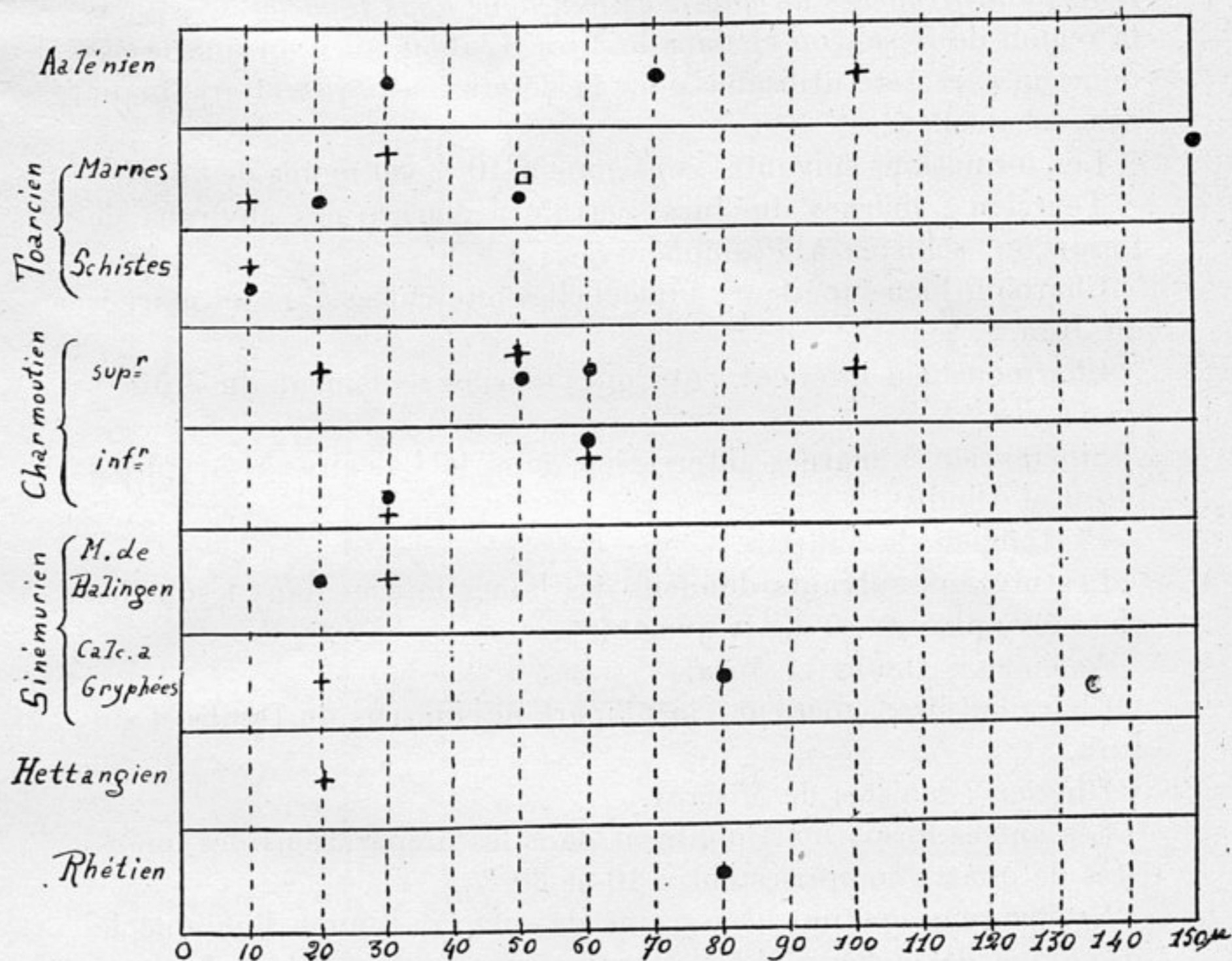


FIG. 12. — Graphique de la grosseur maximale des grains de quartz dans les divers niveaux du Lias de Franche-Comté. Les différents signes ont les mêmes significations que sur le graphique de la fig. 11.

clure lorsque les lames minces ne semblent pas en contenir.

Les marnes dans les lames minces desquelles nous avons observé du mica sont les suivantes :

Aalénien : tous les échantillons.

Toarcien : la plupart des marnes de la région de Besançon.

Charmouthien : la plupart des échantillons.

Sinémurien : marnes de Ballingen de Miserey.

Rhétien : schistes de Miserey.



#### D. Minéraux secondaires

a) *Silice secondaire* : La calcédoine, qui existe dans la plupart des marnes sous forme de fines aiguilles disséminées dans la pâte, constitue en outre des ensembles plus volumineux, de petites plages où des fibres très courtes sont orientées d'une façon irrégulière : on peut observer de telles plages de calcédoine dans quelques marnes du Toarcien et de l'Aalénien du Jura.

L'opale existe, en petits globules, dans les schistes à Posidonomyes et dans les marnes toarciennes du Jura (marnes de Villette).

b) *Carbonates* : La calcite est présente dans la plupart des formations, soit dans la pâte, où elle est en menus rhomboèdres, soit en grains bien visibles. La répartition assez capricieuse des grains de calcite dans les différents niveaux ne permet qu'exceptionnellement de l'utiliser pour les déterminer. Toutefois, les schistes rhétiens se sont montrés dépourvus de calcite.

Nous n'avons trouvé de dolomie que dans les marnes à Inocérames de Créveney.

Quant à la sidérose, il semble n'y en avoir que dans les marnes du Charmouthien supérieur du Doubs.

c) *Glauconie* : La glauconie est un élément relativement fréquent dans les marnes liasiques. Son altération en limonite est parfois assez considérable pour qu'elle passe inaperçue dans les lames minces : il faudra donc généralement, pour ce minéral, examiner le résidu d'attaque par l'acide chlorhydrique, qui constitue un excellent contrôle, puisque la glauconie altérée est régénérée par l'acide.

La glauconie est présente dans les niveaux suivants :

Aalénien : Doubs et Jura.

Charmouthien supérieur : région de Besançon.

Charmouthien inférieur : région de Besançon et Jura.

Sinémurien : marnes de Balingen et, surtout, marnes intercalées entre les bancs de Calcaire à Gryphées, où elle est particulièrement abondante.

Cette distribution de la glauconie est comparable à celle signalée sur la bordure orientale du Plateau Central par M. E. Lacroix [35]. L'abondance de la glauconie est toutefois maxima à un niveau inférieur : Sinémurien et non zone à *Deroceras Davoei*. De plus, il n'y en a plus, sur la bordure du Plateau Central et dans le Jura, dans les formations supérieures à cette zone ; alors qu'on en trouve encore dans le Charmouthien supérieur aux environs de Besançon. Enfin, M. E. Lacroix n'en signale pas dans l'Aalénien.

d) *Pyrite et oxydes de fer* : Nous n'avons observé d'hématite

rouge que dans quelques échantillons des marnes à radioles d'Our-sin de l'Hettangien de Villette.

La pyrite et la limonite, au contraire, sont des minéraux très communs dans toutes les marnes. Les marnes à Inocérames de Créveney sont toutefois remarquables par le grand développement qu'y prend la pyrite, qui occupe environ 20 % de la surface des lames minces.

### E. Organismes

Nous n'envisagerons, bien entendu, au cours de ce paragraphe que les organismes apparaissant comme une caractéristique de la roche, laissant de côté, même dans les groupes importants, ceux qui n'apparaissent pas dans les marnes du Lias avec une abondance suffisante.

Les marnes absolument dépourvues d'organismes sont rares : il en existe néanmoins dans le Charmouthien et dans le Toarcien.

Les groupes suivants ont une distribution intéressante :

a) *Foraminifères* : Le tableau de la page 73 indique à la fois leur répartition et leurs caractéristiques. On voit qu'il n'y a pas de Foraminifères dans les marnes de Balingen, dans les bancs marneux du Calcaire à Gryphées de Miserey, ainsi que dans les schistes rhétiens. Seuls quelques niveaux peuvent en contenir une quantité importante ; ce sont : le Charmouthien, les marnes du Calcaire à Gryphées du Jura et l'Hettangien du Jura. Les autres formations n'en contiennent que quelques rares exemplaires.

b) *Échinodermes* : Les Crinoïdes sont communs dans les marnes intercalées dans le Calcaire à Gryphées, et dans les marnes tendant au lumachelle du Charmouthien du Jura. Ils sont représentés également dans l'Aalénien de Montfaucon. Dans le Sinémurien du Doubs, les Crinoïdes sont assez souvent épigénisés par de la glauconie. Dans les autres couches, ils sont calcaires, ou plus ou moins épigénisés par la limonite. Notons de plus que, dans le Charmouthien du Jura et dans l'Aalénien de Montfaucon, ils sont roulés.

Les Échinides sont représentés par des radioles localisées dans l'Hettangien de Villette.

c) *Mollusques* : On ne rencontre de Lamellibranches en quantité importante que dans l'Aalénien de Montfaucon, où ils sont généralement roulés, dans les marnes à Posidonomyes et à Inocérames de Créveney, les lumachelles charmouthiens du Jura, les marnes du Calcaire à Gryphées et l'Hettangien. Ils sont d'ailleurs souvent brisés, et même représentés seulement soit par des débris de couche lamelleuse, soit par des prismes isolés ou groupés. On ne trouve des Lamellibranches entiers que dans le Sinémurien et dans le Charmouthien.

Nous avons observé des fragments de test d'Ammonites dans le Charmoutien inférieur, à la Chapelle des Buis.

d) *Serpules* : Les serpules sont représentées par quelques sections dans les marnes de la Chapelle des Buis. Des organismes probablement tubulaires, se rapprochant des Serpules par leur section, ont été trouvés dans le Charmouthien inférieur de Villette-les-Saint-Amour.

TABLEAU DE LA RÉPARTITION DES FORAMINIFÈRES (1)

Niveau	Région	Uniloculaires	Nodosaria	Textularia	Enroulés	Test	Remplissage	Observations
Aalénien	Doubs	O	O	O	O à RR	calcite	calcite	
	Jura	O à RR	O	O	O	calcédoine ?	calcédoine	
Marnes du Toarcien supérieur	Doubs	O	O à RR	O	O	calcite	calcite, pyrite	
	Jura	O à RR	O	O	O	id.	pyrite	
Schistes à Posidonomyes	Doubs et Jura	O	O à RR	O	O	id.	id.	
Charmouthien	Doubs	O à RR	O	O	O	plus ou moins digéré	calcite, pyrite	
	Jura	O à RR	O à CC	O à AC	O à RR	quelquefois digéré	id.	Quelquefois brisés. (Route de St-Laurent à Cesancey).
	Doubs	O à C	RR	O	O à RR	plus ou moins digéré	calcite, limonite, pyrite	Les uniloculaires ne sont présents qu'à la Chapelle des Buis.
infér.	Jura	O à CC	O à AC	O	O à RR	calcite	calcite, glauconie	Absents à Varesia.
Marnes de Balingen	Doubs et Jura	O	O	O	O			
Calcaire à Gryphées	Doubs	O	O	O	O			
	Jura	CC	AC	O	O	calcite pyrite	calcite, pyrite, calcédoine, glauconie	
Hettan-gien	Jura	AC	AR	O	O	plus ou moins digéré	calcite, plus rarement pyrite	Surtout abondants dans les parties friables.
Rhétien	Doubs	O	O	O	O			

(1) Abréviations employées dans ce tableau : O : pas de Foraminifères de la catégorie indiquée en tête de colonne ; RR : très rares ; R : rares ; AR : assez rares ; AC : assez communs ; C : communs ; CC : très communs.

e) *Algues et « corps discoïdes »* : Les algues charbonneuses, qui constituent un élément essentiel dans les schistes à Posidonomyes et les schistes rhétiens de Miserey, sont présentes à d'autres niveaux : on les rencontre d'une façon sporadique dans les divers échantillons de Toarcien et d'Aalénien, dans les Marnes de Balingen, et, plus rarement, dans le Charmouthien du Jura.

Les « corps discoïdes », au contraire, paraissent localisés dans les schistes à Posidonomyes et les marnes qui les surmontent.

f) *Bâtonnets calcaires problématiques* : Les bâtonnets calcaires sont représentés d'une façon sporadique dans la plupart des niveaux, à l'exception des schistes à Posidonomyes et des couches inférieures aux marnes de Balingen. Ils semblent d'ailleurs être plus nombreux dans les échantillons où la microfaune est peu abondante ou mal conservée.

Les considérations précédentes montrent qu'on dispose, malgré la monotonie apparente des formations marneuses du Lias, d'un certain nombre de caractères permettant de les identifier en lames minces.

---

## CHAPITRE V

### Résultats paléogéographiques de l'étude des marnes du Lias

---

Il nous a paru intéressant de rechercher si l'étude pétrographique des marnes liasiques permet à elle seule de reconstituer certains traits paléogéographiques : nous allons, au cours de la première partie de ce chapitre, voir dans quelles mesures les éléments des marnes sont susceptibles de nous renseigner à ce sujet, et, dans une deuxième partie, nous envisagerons séparément les différents niveaux.

Les zones marines, en ce qui concerne la profondeur des eaux, seront désignées ainsi :

Zone littorale : zone de balancement des marées.

Zone néritique : { Partie supérieure : jusqu'à 20 m. environ.  
jusqu'à 200 m. { Partie moyenne : de 20 à 80 m. environ.  
Partie profonde : de 80 à 200 m. environ.

Zone bathyale : { Partie supérieure : de 200 à 500 m. environ  
de 200 à 2.000 m. { Partie profonde : de 500 à 2.000 m. env.

Zone abyssale : plus de 2.000 m.

#### A. Les éléments des marnes envisagées au point de vue paléogéographique

a) *Pâte* : L'étude de la pâte, telle qu'elle est connue actuellement, ne présente pas d'intérêt au point de vue paléogéographique. Toutefois, un élément important de la pâte fournira sans doute, lorsqu'il sera mieux étudié, des renseignements d'une certaine impor-

tance : c'est l'élément argileux. Il est en effet fort probable, d'après ce qu'on sait actuellement des minéraux argileux (p. 19 à 26) que chacun de ces minéraux se forme dans des conditions différentes :

rappelons à ce sujet que les argiles dont le rapport  $\frac{\text{SiO}^2}{\text{Al}^2\text{O}^3}$  est voi-

sin de 2, sont surtout des produits de décomposition ; alors que, pour les argiles sédimentaires, ce même rapport dépasse généralement 3, et varie dans des conditions qui n'ont pas été étudiées jusqu'à présent, mais parmi lesquelles il semble qu'il faille compter dès maintenant la valeur du pH de l'eau où se forme le dépôt.

L'étude de ces conditions fournira donc peut-être d'intéressantes précisions d'ordre paléogéographique, mais les données actuelles ne permettent pas de tirer parti des minéraux argileux.

b) *Minéraux détritiques* : Dans la plupart des roches sédimentaires, les minéraux détritiques, et en particulier le quartz, cet élément si fréquent et dont l'abondance, la forme et la grosseur sont si variables, donnent d'intéressants résultats.

En ce qui concerne les marnes, nous avons vu que le quartz est toujours de très petites dimensions (en général moins de  $100\mu$  ; exceptionnellement  $150\mu$ ) : aussi y a-t-il lieu de se demander si la plus grande partie du quartz n'est pas d'origine éolienne. Les études sur le transport des particules minérales par le vent montrent que des éléments de  $60$  à  $70\mu$  sont transportés par le vent presque aussi facilement que par les eaux ([7], [55]). M. Thoulet [51] a même trouvé sur différents clochers des poussières contenant des grains de quartz de  $300\mu$ .

Nous admettrons donc que les particules dont les dimensions sont plus grandes que  $60-70\mu$  peuvent avoir été amenées par des courants marins, les autres étant, en majorité au moins, le résultat d'apports éoliens.

Toutefois, que le transport ait été effectué par le vent ou par la mer, il n'en reste pas moins que les éléments les plus gros doivent s'être déposés les premiers, et que l'abondance des matériaux transportés doit diminuer en s'éloignant de l'origine du courant : ces lois très générales peuvent sans doute trouver ici une application : et, en effet, nous avons vu plus haut (p. 67 et fig. 11) que le quartz est plus abondant dans les sédiments du Doubs que dans ceux du même âge du département du Jura : on pourrait en conclure que les vents ou courants qui apportaient des minéraux détritiques dans ces couches venaient de terres émergées situées en direction du nord. Les variations de la grosseur du quartz sont moins significatives (fig. 12, p. 70) : toutefois, à part quelques

exceptions, notamment dans le Charmouthien supérieur et l'Aalénien, le quartz est de même taille ou plus petit dans le Jura que dans le Doubs, ce qui semble confirmer l'existence de courants marins ou éoliens venant du Nord.

Les minéraux détritiques autres que le quartz ne donnent d'autres renseignements que lorsque leur provenance exacte est connue, ce qui n'est pas le cas ici.

c) *Minéraux secondaires* : Un des minéraux les plus intéressants à envisager est la glauconie : la glauconie, minéral essentiellement marin, a un développement maximum dans les mers actuelles dans la zone bathyale, où elle contribue à la formation des boues et sables verts, par des fonds variant de 500 à 1.300 m. Elle est loin toutefois d'être aussi localisée, et se trouve notamment dans des dépôts moins profonds.

La pyrite est également un minéral répandu dans la zone bathyale (boues bleues, contenant en outre des matières organiques).

La calcite indique des sédiments relativement peu profonds : en effet, on ne trouve pas de dépôts calcaires par plus de 5.000 mètres de fond ; et les boues à Globigérines et à Ptéropodes, qui sont les seules formations abyssales calcaires, sont des dépôts très spéciaux, essentiellement organogènes, et auxquels des marnes ne sauraient être comparées.

d) *Organismes* : Les Foraminifères benthoniques ont une répartition bathymétrique assez étendue. De nos jours, ils semblent particulièrement abondants dans la zone bathyale. Mais d'autre part, beaucoup de Foraminifères sont planktoniques.

Les Crinoïdes actuels forment d'immenses prairies entre 100 et 200 mètres (zone néritique profonde). Les Oursins paraissent localisés dans les profondeurs inférieures à 200 mètres (zones littorale et néritique).

Les Lamelibranches sont assez largement répartis ; les Huîtres sont surtout communes par des fonds inférieurs à 20 mètres ; on en trouve cependant jusqu'à une centaine de mètres. Les Posidonomyes semblent être des mollusques bathyaux.

Les Brachyopodes sont surtout abondants dans les mers actuelles entre 200 et 500 mètres (Partie supérieure de la zone bathyale).

Les Céphalopodes (Ammonites et Bélemnites) sont pélagiques : ce qui ne veut pas dire que ce soient des animaux de mer profonde, comme on l'a prétendu quelquefois : il semble seulement qu'ils aient vécu dans des mers largement ouvertes. On admet d'ailleurs maintenant que les coquilles des Ammonites ont pu flotter longtemps avant de tomber sur le fond pour y être fossilisées : ce qui explique

la présence d'Ammonites dans des sédiments néritiques, ou même littoraux.

Nous avons vu que dans plusieurs marnes certains organismes sont brisés ou même roulés : il est donc intéressant de se rendre compte quelle est la profondeur maxima à laquelle peut correspondre cette fragmentation et cette usure des organismes : le mouvement des plus fortes vagues ne se fait pas sentir au-delà de 200 mètres ; quant aux courants, ils peuvent être encore sensibles à de plus grandes profondeurs : mais leur force, peut-être suffisante pour entraîner de petites particules, ne doit guère leur permettre de briser ou d'user des coquilles. Lorsque nous trouverons des coquilles brisées ou roulées, nous pourrons donc admettre en principe que la profondeur de la mer où s'effectuait le dépôt n'excédait pas 200 mètres.

#### B. Paléogéographie des marnes du Lias

*Rhétien* : Les schistes rhétiens des environs de Miserey contiennent des grains de quartz dont les dimensions sont assez grandes ( $60\mu$ ) pour qu'on puisse penser qu'ils proviennent en partie d'un transport par les eaux marines. La présence d'une grande quantité de pyrite et de nombreuses algues charbonneuses, que nous verrons plus loin exister dans des dépôts assez profonds (schistes à Posidonomyes) permettent de penser que les schistes rhétiens sont des sédiments appartenant à la zone bathyale, sans toutefois qu'on puisse avoir une certitude à cet égard.

*Hettangien* : La rareté et les faibles dimensions du quartz dans l'Hettangien de Villette-les-Saint-Amour montrent qu'il y a dans ces formations fort peu d'éléments terrigènes ; ces quelques éléments détritiques peuvent être interprétés comme provenant d'apports éoliens. La faune visible dans les lames minces comprend des Oursins et des Lamellibranches : il s'agit donc d'un dépôt relativement peu profond. Les Lamellibranches sont d'ailleurs souvent brisés, ce qui correspond approximativement à une profondeur maxima de 200 mètres : toutefois, la rareté du quartz ne permet pas d'admettre la proximité d'une côte : il s'agit donc vraisemblablement d'un dépôt qui se serait formé loin du rivage, à une profondeur comparable à celle de la partie profonde de la zone néritique.

*Sinémurien* : Dans les marnes intercalées entre les bancs du Cal-



caire à Gryphées, le quartz est rare ; il est très fin à Villette, mais assez gros à Miserey. Il y a donc peut-être à Miserey du quartz entraîné par les eaux. Les Lamellibranches y sont abondants, et, en particulier, les Huitres (*Gryphaea arcuata*), ce qui ferait croire que la profondeur était au maximum d'une centaine de mètres. Les Crinoïdes, s'ils étaient seuls, indiqueraient une profondeur un peu supérieure. Mais comme, d'autre part, les Lamellibranches sont souvent brisés, il faut s'en tenir à une profondeur correspondant à la partie moyenne de la zone néritique.

A Villette, les marnes du Calcaire à Gryphées sont moins riches en Crinoïdes et en Lamellibranches : peut-être n'est-ce là qu'une localisation des fossiles d'ordre purement biologique ; mais les caractères du quartz nous font penser qu'il y a plutôt, soit une profondeur plus grande qu'à Miserey, soit un éloignement plus considérable des côtes.

Les Marnes de Balingen sont caractérisées par une quantité très faible ou moyenne de quartz de petites dimensions, provenant sans doute d'un transport éolien. La Glauconie, bien que beaucoup moins fréquente que dans les marnes du Calcaire à Gryphées, est présente dans ces couches. Mais il n'y a, en fait d'organismes déterminables, que de rares algues charbonneuses : bien qu'il n'y ait rien de bien probant parmi les faits qui précèdent, il paraît normal de considérer ces marnes comme des sédiments qui se seraient déposés dans une région assez profonde de la zone bathyale, et relativement loin des côtes.

*Charmouthien inférieur* : Le quartz, dont les dimensions ne dépassent pas  $30\mu$  à Busy et à Villette, est moyennement abondant dans la première de ces localités, et rare dans la seconde. Il semble donc que la région de Busy était plus proche du continent ou moins profonde. Cette première hypothèse paraît plus exacte si l'on s'en réfère aux documents paléontologiques fournis par les lames minces : la faune de Busy est extrêmement pauvre, alors que celle de Villette consiste en Foraminifères et en Lamellibranches brisés les uns et les autres : ce qui doit impliquer une profondeur inférieure à 200 mètres. Les couches de Busy seraient donc peut-être au contraire plus profondes que celles de Villette : on peut considérer les unes et les autres comme néritiques profondes, la région de Busy étant sans doute plus proche du continent.

Les niveaux de la Chapelle des Buis contiennent du quartz dont les dimensions atteignent  $60\mu$ , mais qui est toujours peu abondant :

il y a donc peut-être quelques apports d'éléments détritiques par les courants marins. Mais la faune, qui comprend des Brachiopodes et des Ammonites, est caractéristique d'une mer assez profonde et largement ouverte. Toutefois, la présence de Serpules montre qu'il ne faut pas s'exagérer la profondeur à laquelle se sont formés ces dépôts, qu'on peut considérer comme formés à la limite des zones bathyale et néritique.

Les couches de Varessia contiennent davantage de quartz que les précédentes, ce qui pourrait faire penser à des formations moins profondes ou plus proches des côtes. Mais les algues charbonneuses, qui sont les seuls organismes qu'elles contiennent, ne permettent pas de trancher la question.

*Charmouthien supérieur* : Le Charmouthien supérieur comprend, d'une part des marnes gréseuses pauvres en organismes, et, d'autre part, des dépôts beaucoup plus fossilifères passant à des lumachelles.

Les premières formations contiennent d'abondants grains de quartz, dont les dimensions peuvent varier de 50 à 100 $\mu$ . Il est probable qu'une partie au moins du quartz a été apportée par des courants marins. L'absence presque complète de microfaune (il y a seulement quelques Foraminifères et des bâtonnets calcaires) ne permet pas d'évaluer la profondeur à laquelle s'est produit le dépôt.

Les seconds dépôts, que nous n'avons rencontré que dans le Jura, contiennent une quantité de quartz généralement moins importante, et de dimensions équivalentes ou inférieures à celui des marnes gréseuses. La microfaune est constituée principalement par des Foraminifères, des Lamellibranches et des Crinoïdes : les deux premiers groupes sont représentés généralement par des individus brisés ou par des fragments de test ; les Crinoïdes eux-mêmes sont parfois roulés, ce qui indique une agitation considérable de l'eau, correspondant certainement à une mer n'ayant pas plus d'une centaine de mètres de profondeur. Les Lumachelles de la région de Villette sont donc des formations qui ont dû se déposer dans la partie moyenne ou supérieure de la zone néritique.

*Toarcien* : Les Schistes à Posidonomyes sont, parmi les marnes liasiques, une de celles où le quartz est le plus fin et le plus régulièrement réparti : il est certainement d'origine éolienne : il s'agit donc là, sinon d'un dépôt très profond, du moins d'une formation de mer largement ouverte et très étendue. La présence des algues

ne doit pas être considérée comme la preuve d'une profondeur assez faible pour que la lumière ait pu pénétrer jusqu'au fond : ces algues flottaient peut-être à la surface ou entre deux eaux, et seraient tombées sur le fond après leur mort : l'état fragmentaire sous lequel on les rencontre semble en tous cas indiquer qu'elles n'ont pas été fossilisées sur les lieux mêmes où elles ont vécu. Par contre, la présence d'une importante quantité de calcaire dans la roche montre qu'on n'a pas affaire à des sédiments abyssaux. Enfin, si les « corps discoïdes » sont bien, comme nous le pensons, des œufs d'Ammonites, ils constitueraient un argument en faveur de la large étendue marine, d'ailleurs mise en évidence par des considérations indépendantes de la pétrographie. En somme, les schistes à Posidonomyes paraissent des dépôts pélagiques formés dans la partie profonde de la zone bathyale.

Les marnes à Posidonomyes semblent s'être déposées dans des conditions analogues ; en raison du développement important qu'y prend la pyrite, les marnes à Inocérames sont peut-être un peu moins profondes.

Les marnes du Toarcien supérieur (Marnes de Pimperdu) dont le quartz, qui atteint  $50\mu$ , est plus abondant que dans les schistes, reçoivent peut-être quelques apports terrigènes des courants marins, bien que la majorité des grains de quartz doive encore être d'origine éolienne. Elles seraient, sans doute, un peu moins profondes, et se seraient déposées à la limite des zones bathyale et néritique.

Le Toarcien de Morre est beaucoup plus riche en quartz que la généralité des autres marnes du même étage ; les grains de quartz y ont jusqu'à  $150\mu$  ; aussi semble-t-il normal de considérer cet échantillon comme moins profond (région moyenne de la zone néritique vraisemblablement ?) ou comme plus proche des côtes.

*Aalénien* : C'est à peu près aux mêmes profondeurs que le Toarcien de Morre qu'ont dû se déposer les marnes de l'Aalénien que nous avons étudiées. Toutefois, l'échantillon provenant de Montfaucon, qui montre des débris roulés de Lamellibranches et quelques Crinoïdes également roulés, doit être un dépôt de mer agitée et peu profonde, formé dans une région comparable à la partie supérieure de la zone néritique.

TABLEAU RÉSUMANT  
LA PALÉOGÉOGRAPHIE DU LIAS FRANC-COMTOIS

Etages	Formations	Résultats concernant :	
		le Doubs et la Haute-Saône	le Jura
Aalénien	Marnes gréseuses	Z. néritique moyenne, assez loin des côtes ; mer très agitée	Z. néritique moyenne ? assez loin des côtes.
Toarcien	Niveau de Morre	Moins profond que les autres marnes toarciennes (Z. néritique moyenne ?) ou plus proche des côtes ?	
	Marnes de Pimperdu	Z. néritique profonde ou Z. bathyale supérieure ? loin des côtes.	Z. néritique profonde ou Z. bathyale supérieure ? loin des côtes.
	Marnes à Inocérames	Moins profond que les schistes ?	
	Marnes à Posidonomyes	Comme les schistes à Posidonomyes.	
	Schistes à Posidonomyes	Z. bathyale, partie profonde,	Très loin des côtes.
		Sans fossiles	Profondeur ?
Charmouthien	Avec fossiles		Z. néritique moyenne ou supérieure ; assez loin des côtes ? Mer agitée.
	Niveau de Chapelle des Buis et Varessia	Limite des Z. bathyale et néritique ; assez loin des côtes.	Moins profond ou plus proche des côtes que dans le Doubs.
Sinémurien	Niveau de Busy et Villette	Z. néritique profonde ; plus proche des côtes que dans le Jura ?	Z. néritique profonde ; loin des côtes ; mer agitée.
	Marnes de Balingen	Z. bathyale, assez profonde ? loin des côtes.	Z. bathyale, assez profonde ? loin des côtes.
	Marnes de Calcaire à Gryphées	Z. néritique moyenne ; assez loin des côtes ? mer probablement agitée.	Plus profond que dans le Doubs, ou plus loin des côtes.
Hettangien	Marnes		Z. néritique profonde ; très loin des côtes.
Rhétien	Schistes	Zone bathyale ? assez loin des côtes.	

Le tableau de la page 82 résume les discussions précédentes :

On remarquera que dans l'ensemble les résultats correspondent à peu près à ce que l'on connaît actuellement de la paléogéographie du Lias en Franche-Comté, en ce qui concerne l'*étendue* des mers et les *variations de leur profondeur*, mais non relativement à la *valeur absolue de cette profondeur*. Nous avons en effet été amené à admettre que la plupart des dépôts se sont formés à la fois loin des côtes, et dans des mers relativement peu profondes (zone néritique ou bathyale) ; ce qui pourrait sembler une contradiction. Et pourtant, si l'on discutait les conditions de formation de ces sédiments, à l'aide de la seule paléontologie, on constaterait dans presque tous les étages la présence d'Ammonites et de Bélemnites, mollusques pélagiques ; le reste de la faune étant constitué par des groupes vivant à des profondeurs relativement faibles, tels que Brachiopodes, Lamellibranches (genre *Gryphaea* en particulier), Crinoïdes, Annélides, etc. (1).

L'abondance des Céphalopodes pélagiques dans les sédiments liasiques a été souvent considérée comme prouvant que ce sont des dépôts de mer profonde ; l'étude pétrographique, comme d'ailleurs l'étude paléontologique complète, montre que c'est là une erreur, provenant d'une conception spéciale suivant laquelle des sédiments pélagiques seraient forcément abyssaux. D'autre part, les océanographes considèrent les zones néritique et bathyale comme correspondant à la plateforme continentale et à sa bordure : les sédiments liasiques se seraient donc déposés dans des mers *que tout permet de considérer comme très étendues, mais dont les profondeurs auraient été comparables non à celles des aires océaniques, mais à celles des plateformes continentales*. S'agit-il de véritables plateformes continentales, dont les dimensions seraient incomparablement plus vastes que celles des plateformes actuelles ?

Seules, des études ayant trait à des régions beaucoup plus étendues permettraient de le contrôler. Mais, si on apportait la preuve de l'existence de telles plateformes continentales, on aurait là un argument considérable en faveur des théories selon lesquelles on admet la permanence de l'extension des continents, puisque les plateformes continentales sont considérées, à juste titre semble-t-il, comme faisant partie intégrante des masses continentales.

---

(1) Comparer avec les résultats paléogéographiques obtenus en Lorraine, par MM. CORROY ET CH. GÉRARD : le Toarcien de Lorraine et du Bassigny. B. S. G. F. V. 3. p. 224, 1933.

## CONCLUSIONS

---

1° Cette étude des marnes du Lias franc-comtois nous a permis de constater que les marnes sont des roches *de nature et de texture assez variées*, dans lesquelles on rencontre, non seulement les constituants classiques des marnes — calcite et « argile », — mais encore divers minéraux et des organismes.

2° Nous avons pu mettre en évidence et préciser dans une certaine mesure la nature et les relations réciproques des différents constituants des marnes : ces constituants peuvent être groupés en quatre catégories :

a) Une fraction généralement importante de la roche, dont les éléments sont *amorphes ou cristallins*, mais toujours *de très petites dimensions* (en général moins de  $5\mu$ ) : c'est ce que nous avons désigné sous le nom de *pâte*. La partie cristalline de la pâte consiste en menus rhomboèdres de calcite et en fines aiguilles que nous considérons comme une calcédoine ; la partie amorphe, plus ou moins colorée par des sels de fer, constitue l'« argile » de la marne. La nature exacte de cette argile est encore loin d'être bien connue : on peut cependant la considérer comme un aluminosilicate hydraté, doué de propriétés colloïdales, présentant des affinités avec les permittites, et dans lequel le rapport de la silice à l'alumine est supérieur à 3.

b) Des *minéraux détritiques*, souvent abondants, mais toujours d'assez petite taille (de 10 à  $150\mu$ ), dont deux seulement — le quartz et le mica — peuvent être observés en quantité plus ou moins grande dans les lames minces, où les autres éléments détritiques passent la plupart du temps inaperçus. Les résidus d'attaque à l'acide chlorhydrique nous ont montré les minéraux suivants, parmi lesquels certains sont, il est vrai, exceptionnels : quartz, muscovite, biotite, orthose, plagioclases, tourmaline, zircon, rutile, sphène (?), disthène, et une phyllite se rapprochant des micas.

c) Des *minéraux secondaires*, parmi lesquels il faut citer en premier lieu la calcite, — qui forme des grains ou des plages plus ou moins importantes, — et les minéraux ferrugineux : pyrite et limonite, qui sont très communs, et glauconie, présente en plus ou moins grande abondance dans la plupart des niveaux. Acces-

soirement, nous avons observé dans certaines marnes les minéraux suivants : dolomie rhomboédrique, sidérose (également en rhomboèdres, mais de plus petites dimensions), opale globulaire, calcédoine en plages formées de fibres très courtes.

d) Des *organismes*, qui assez souvent sont peu abondants, mais peuvent aussi jouer un rôle important dans la constitution des marnes.

Parmi les représentants du règne animal, nous citerons : les Foraminifères, présents en plus ou moins grande quantité dans plusieurs niveaux. Les Crinoïdes, qui occupent dans certaines marnes une place presque aussi importante que dans les calcaires à entroques, et que nous avons trouvés dans le Sinémurien épigénisés par de la glauconie. Les Oursins, dont les radioles sont un élément caractéristique dans les marnes de l'Hettangien de Vilette, qui constituent ainsi un type de roche exceptionnel. Les Lamelibranches, parfois fort abondants.

Les autres groupes d'animaux sont représentés çà et là, mais tiennent un rôle de second plan au point de vue pétrographique. Toutefois, nous considérons à plus ou moins juste titre comme devant être des œufs d'Ammonites des organismes probablement chitineux que nous avons appelés « corps discoïdes », que l'on rencontre en particulier dans les schistes à Posidonomyes, et qui semblent n'avoir jamais été signalés dans des formations analogues.

Le règne végétal est représenté par des Algues charbonneuses, abondantes dans les schistes rhétiens et toarciens et moins communes dans divers autres niveaux, qui paraissent être un nouvel élément de ces roches.

2° Nous avons constaté que la plupart des marnes liasiques contiennent des *composés organiques*. M. Barlot, qui a étudié ces substances dans les schistes à Posidonomyes où elles sont très abondantes, a montré que ce sont des substances oxygénées : on est donc en droit d'assimiler ces corps, susceptibles de donner des hydrocarbures par pyrogénéation, à un kérogène : ce qui conduit à considérer la plupart des marnes liasiques et en particulier les schistes à Posidonomyes, comme des *roches-mères de pétrole*.

4° L'étude pétrographique des marnes du Lias de Franche-Comté permet dans une certaine mesure la détermination de leur niveau stratigraphique.

5° Les marnes liasiques donnent en outre d'intéressants renseignements concernant la paléogéographie. Ces renseignements concordent d'une façon satisfaisante pour la plupart des étages avec ceux déduits des études paléontologiques. De leur ensemble se dégagent quelques notions générales : ainsi, l'opinion de M. Thou-

let, qui considère que la plus grande partie des éléments détritiques pélagiques est d'origine éolienne, semble confirmée; d'autre part, bien que la plupart des dépôts liasiques soient pélagiques, ils se sont formés à des profondeurs correspondant aux zones bathyale et néritique et non à la zone abyssale : ils se seraient donc déposés sur une très vaste plateforme littorale, ce qui est un argument en faveur de la permanence des masses continentales, et vient également s'ajouter aux faits signalés par M. Pruvost concernant la subsidence.

(Extrait du Bulletin  
de la Société d'Histoire Naturelle du Doubs.)

---



## BIBLIOGRAPHIE

---

1. BARLOT (J.) L'industrie des schistes hydrocarburés en Franche-Comté. *C. R. congrès des Soc. Sav. de Paris et des départements à Besançon, 1932. Section des Sciences*, pp. 73-77.
2. — Une inclusion charbonneuse du Toarcien de Créveney. *Bull. Soc. d'Hist. Nat. du Doubs* n° 41, p. 24, 1933.
3. — Nouvelle méthode d'analyse des schistes bitumineux. *C. R.* 196, p. 1116, 1933.
4. — La pyrogénéation des schistes bitumineux du Jura franc-comtois. *C. R.* 197, p. 850, 1933.
5. BISCHOF (CARL). Les argiles réfractaires. *Trad. A. Schubert. Dunod*, 1926.
6. BOSWELL (P. G. H.) On the mineralogy of sedimentary rocks. *London. Thomas Murby and Co*, 1933.
7. BOURCART (J.) L'action du vent à la surface de la terre. Deux notes in *Revue de Géographie physique et de Géologie dynamique*. T. I, 1928.
8. BOUTARIC (A.) et M<sup>lle</sup> M. ROY. Recherches sur la sédimentation des suspensions argileuses. *C. R.* 190, p. 272, 1930.
9. BRAZIER (J. S.) Deep sea deposits. *Challenger report*, p. 198-1891.
10. CAYEUX (L.) Introduction à l'étude pétrographique des roches sédimentaires. *Mem. Carte geol. de Fr.*, 1916.
- 10 a. — Les manières d'être de la glauconie en milieu calcaire. *C. R.* 195, 2<sup>e</sup> sem. p. 1050, 1932.
11. CLARKE (G. W.) Analyses of rocks and minerals. *U. S. Geol. Survey. Bull. n° 591*, 1915.
12. — The data of geochemistry. *U. S. Geol. Survey. Bull. n° 616*, 1916.
13. DEMOLON. Recherches physicochimiques sur la terre à brique *Thèse Paris*, 1926.
14. — et BASTISSE. Influence des anions sur la floculation de l'argile colloïdale par les sels de potassium. *C. R.* 195, p. 790, 1932.
15. DEPRAT (J.). Etudes micrographiques sur le Jura septentrional. *Bull. Soc. d'Hist. Nat. du Doubs*, n° 1, pp. 21-52, 6 pl. 1899.
16. DICK (A. B.) *Nature*, xxxvi, p. 91, 1887.
17. DOBBS (CAREY C.) Les schistes bitumineux du Toarcien de la Haute-Saône, les huiles lourdes qu'ils renferment. *Thèse univ. Besançon*, 1927.
18. DOSIOS (M.) Les schistes bitumineux du département du Jura. *Thèse univ. Besançon*, 1924.

19. DREYFUSS (Maurice). Sur une roche à radioles d'Oursin. *C. R. somm. S. G. F.*, p. 174-175, 1933.
20. DREYFUSS (Maurice). Découverte de nodules phosphatés à jeunes Ammonites dans le Toarcien de Créveney. *C. R. somm. S. G. F.*, pp. 224-226, 1933.
21. — Les schistes bitumineux du Toarcien de Franche-Comté. *Congrès des Soc. Sav. de Franche-Comté à Lure 1933*, et *Bull. Soc. d'Hist. Nat. du Doubs*, n° 43, pp. 46-48, 1934.
22. — Une méthode simple pour l'exécution des plaques minces de marnes. *Bull. Soc. d'Hist. Nat. du Doubs*, n° 43, pp. 52-53, 1934.
23. — Végétaux fossiles du Toarcien de Créveney. *Rev. de Géogr. phys. et de Géol. dynam.* Vol. VII. Fasc. 3, pp. 247-252. Pl. XVI et XVII, 1934.
24. DUBAR. Présence d'un niveau de schistes à Échinides dans l'Infra-lias de Sirac (Ariège). *C. R. somm. S. G. F.*, pp. 116-117, 1920.
25. DUBRISAY (R.). Recherches sur les suspensions argileuses. *C. R. 10<sup>e</sup> Congr. Chim. Industr. Chimie et Industrie*, 1930.
26. — et J. J. TRILLAT. Recherches sur les suspensions argileuses. *Rev. générale des colloïdes*, 8<sup>e</sup> année, n° 73, p. 1, 1930.
27. EBELMEN. Recherches sur les produits de décomposition des roches silicatées. *Ann. des mines*. 4<sup>e</sup> sér., t. VII, p. 1, 1845 et *C. R.* 20, p. 1415, 1845.
28. GROSJEAN. Etude sur les schistes bitumineux du Lias supérieur du département du Doubs et les huiles lourdes qu'ils renferment. *Thèse univ. Besançon*, 1924.
29. GIRARDOT (D<sup>r</sup> A.). Géologie stratigraphique de la Franche-Comté septentrionale. *Besançon, Marion*, 1922.
30. GUIGNET ET TELLES. Composition chimique des eaux de la baie de Rio de Janeiro. *C. R.* 83, p. 919, 1876.
31. FALLOT (P.) et CORROY. Données stratigraphiques et tectoniques nouvelles sur la feuille de Montbéliard. *Bull. Serv. Carte*, n° 181, t. XXXIV, 1931-32.
32. FOURNIER (E.). Légende des feuilles de Gray et de Besançon au 1/80.000. 2<sup>e</sup> édition.
33. HELD (N.). Adsorption du chlorure d'aluminium et du chlorure de thorium sur les argiles et les kaolins. *Journ. Soc. Chim. Russe*, t. LXII, p. 1553-1570, 1930.
34. LACROIX (A.). Minéralogie de la France et des Colonies.
35. LACROIX (E.). Glauconie du Lias moyen de la bordure orientale du Plateau Central. *B. S. G. F.* (4) XXII, pp. 18-23, 1 pl. 1932.
36. LE CHATELIER. Constitution des calcaires marneux. *C. R.* 118, p. 262, 1894.
37. MARSHALL (C. E.). Clays as minerals and as colloids, *Trans. Ceram. Soc.* XXX, pp. 81-96, 1931.

38. MILNER (Henry B.). Sedimentary petrography. London. Murby and Co. 1929.
  39. MURRAY ET RENARD. *Bull. du Musée royal d'Hist. Nat. de Belgique*, t. III, p. 35, 1884.
  40. NICOLESCO. Des roches bitumineuses et de leurs gisements en France. *La revue pétrolifère. N° spécial. Sans date.*
  41. OGÉRIEN. Histoire naturelle du Jura. T. I. *Géologie*, 1867.
  - 41 a. PRUVOST (Pierre). Sédimentation et subsidence. *Livre jubilaire S. G. F.*, pp. 545-564, 1930.
  42. ROSS (CLARENCE S.) et PAUL F. KERR. Dickite, a kaolin mineral. *American Mineralogist. Vol. 15, n° 1*; janv. 1930.
  43. — The kaolin minerals. *U. S. Geol. Survey. Professional paper. 165-E.* 1931.
  44. — The clay minerals and their identity. *Journ. of sedimentary petrology. Vol. 1 n° 1*, mai 1931.
  45. SOMERS (R. E.). Microscopic examination of clays. *Journ. Washington Acad. Sc. IX*, pp. 113-126, 1919.
  46. STREMME (H.). Au sujet des résidus de feldspaths et allophanes *Zeitsch. d. Geol. Ges. Col. 62*, pp. 122-124, 1910.
  47. STROW (M. H.). Washing sediments to obtain most desirable size of grains for microscopic study. *Amer. Miner. XVI*, p. 226, 1931.
  48. TERQUEM. Six mémoires sur les Foraminifères du Lias. Metz. 1862-66.
  49. THIEBAUT (J. L.). Contribution à l'étude des sédiments argilo-calcaires du bassin de Paris. *Thèse, Paris*, 1925.
  50. THOULET (J.). L'océan, ses lois, ses problèmes. Paris. Hachette, 1904.
  51. — Sédiments marins d'origine éolienne. *C. R. 150*, p. 947, 1910.
  52. — Notes de lithologie sous-marine. *Ann. Inst. Océan. Fasc. 9.* 1913.
  53. — Le comblement de la mer et notes relatives à l'Océan Atlantique. *Ann. Inst. Océan. X.*, p. 149, 1931.
  54. THUGUTT. Notes in *Centralb. f. Min. N° 4*, p. 97, 1911.
  55. TWENHOFEL (W. H.). Treatise on sedimentation. Williams and Wilkins Co. Baltimore, 1926.
  56. UNGERER. Réaction de substitution des phosphates alcalino-terreux avec les permutites et les argiles. *Koll. Zeit. t. XLVIII*, p. 237-241, 1927.
  57. URBAIN (PIERRE). Les sciences géologiques et la notion d'état colloïdal. *Actualités scientifiques et industrielles. Paris, Hermann*, 1933.
  58. WIEGNER (G.). Quelques propriétés physicochimiques des argiles. I. Échange de bases ou échange ionique. *Chem. and ind. t. L.*, pp. 67-71, 1931.
-

## LISTE DES FIGURES

---

	Pages
Fig. 1. Croquis des affleurements situés le long de la route de Vilette-les-Saint-Amour à Thoissia .....	6
— 2. Croquis des affleurements visibles dans les tranchées du Chemin de fer vicinal près de Miserey .....	7
— 3. Choix de minéraux des marnes du Lias.....	16
— 4. Graphique des variations du rapport $\frac{\text{SiO}^2}{\text{Al}^2\text{O}^3}$ dans les marnes du Bassin de Paris, d'après les résultats trouvés par M. Thiébaud .....	23
— 5. Radioles d'Oursin de l'Hettangien .....	30
— 6. Concrétion de pyrite entourée d'un réseau de Limonite .....	43
— 7. Organismes problématiques, probablement tubulaires, du Charmouthien de Vilette .....	43
— 8. Algues des Schistes à Posidonomyes .....	50
— 9. « Corps discoïdes » des Schistes à Posidonomyes .....	51
— 10. Concrétions de limonite régulièrement groupées de l'Aalénien de Vilette .....	65
— 11. Graphique de la fréquence du quartz .....	68
— 12. Graphique de la grosseur maxima des grains de quartz.	70

---

PLANCHE I

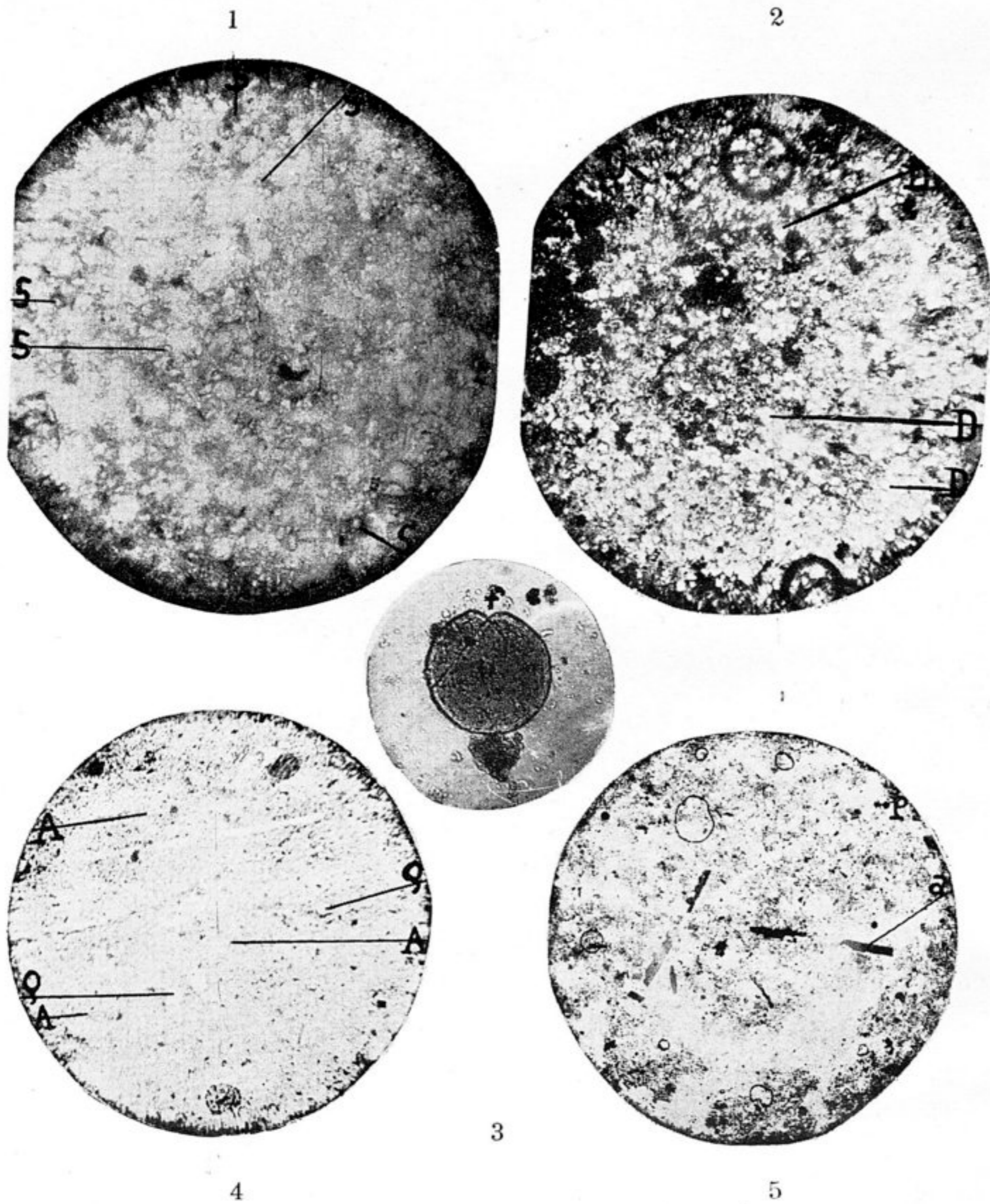


FIG. 1. — Section d'une marne charmouthienne de Miserey, montrant d'assez nombreux rhomboèdres de sidérose (S), dont quelques-uns sont entourés d'un liseré d'altération très visible. *Lumière naturelle. Gr. 22.*

FIG. 2. — Section d'une marne à Inocérames de Créveney, montrant des plages et de petites concrétions de pyrite, et des rhomboèdres de dolomie, dont les plus visibles sont indiqués (D). *Lumière naturelle. Gr. 14*

FIG. 3. — Un « corps discoïde » isolé. Gr. 145.

FIG. 4. — Section d'un schiste rhétien montrant, au milieu d'une pâte très fine, quelques fines aiguilles (A) que nous considérons comme une calcédoine, et des grains de quartz (Q). On distingue en outre de très petites concrétions de pyrite. *Lumière naturelle. Gr. 43.*

FIG. 5. — Section d'un échantillon de marnes à Posidonomyes de Créveney montrant des algues (a) et des concrétions de pyrite (P). *Lumière naturelle. Gr. 22.*

PLANCHE II

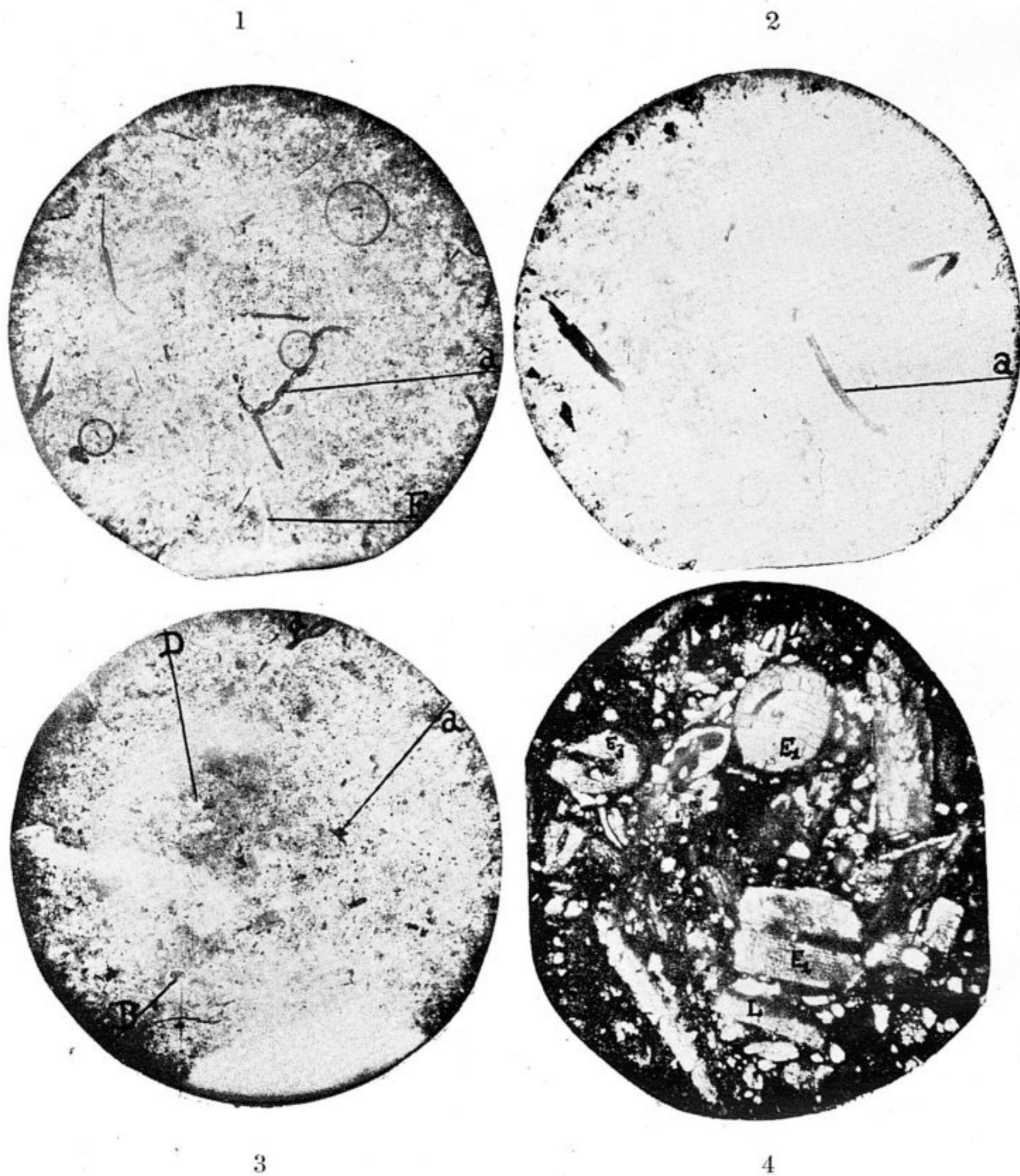


FIG. 1. — Section d'un schiste à Posidonomyes de Morre, montrant des algues (a) et un filament rose (F). *Lumière naturelle. Gr. 14.*

FIG. 2. — Section d'une schiste de Créveney, avec une algue dont la structure est visible (a). *Lumière naturelle. Gr. 22.*

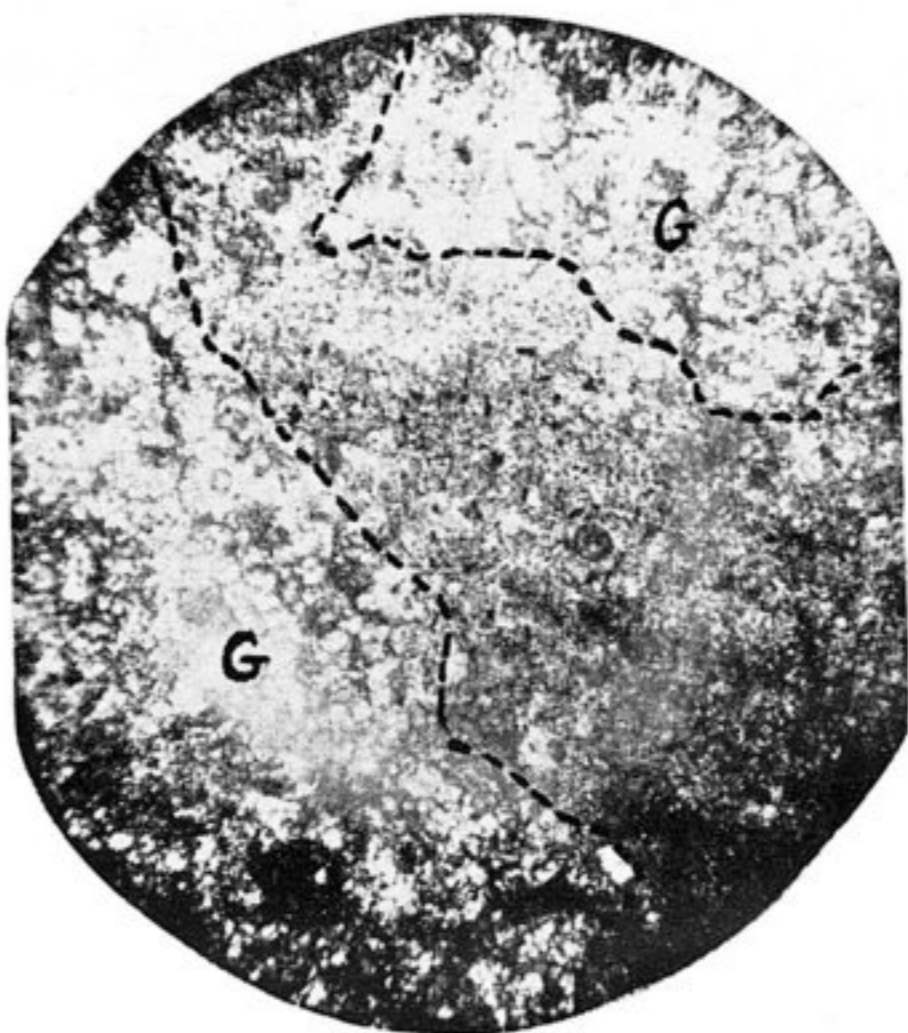
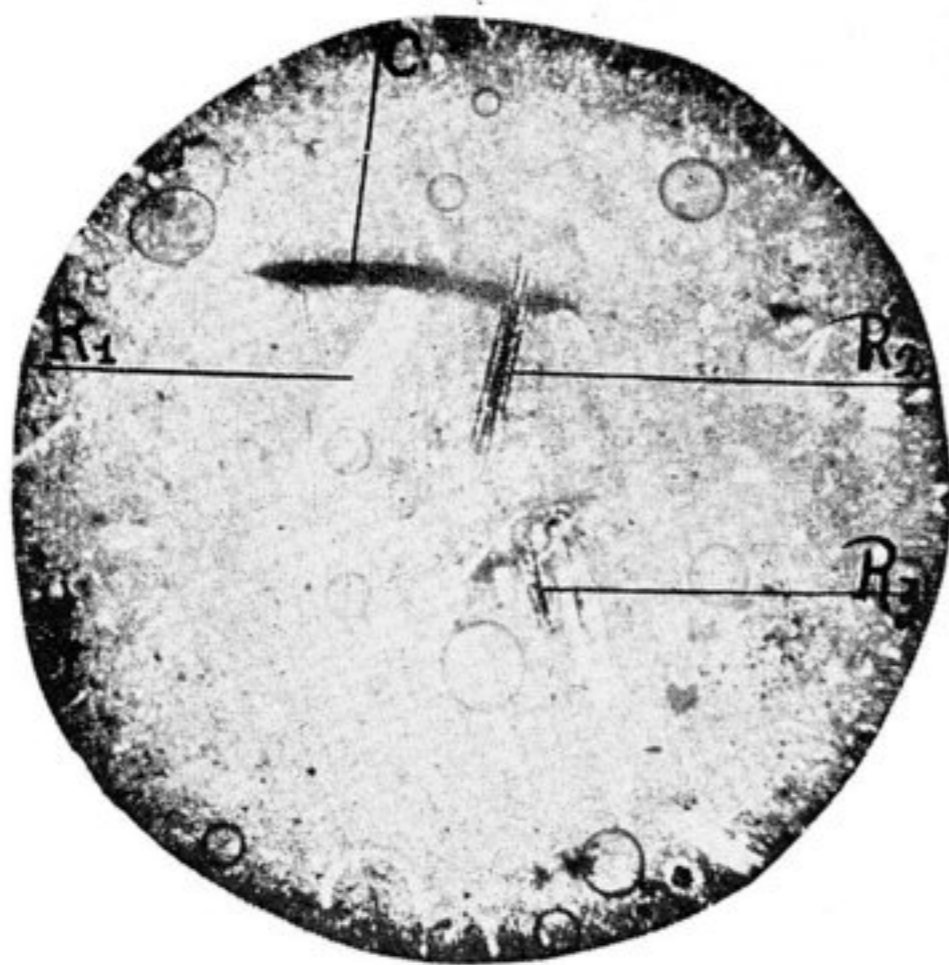
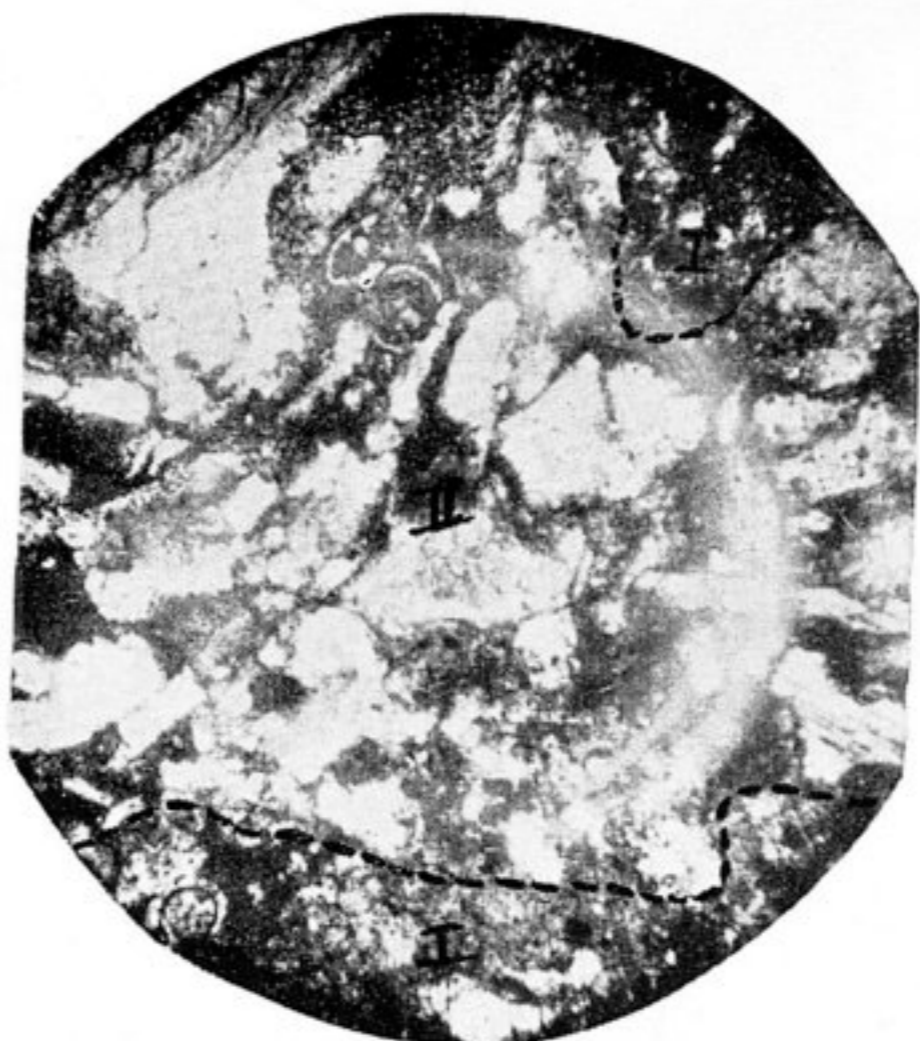
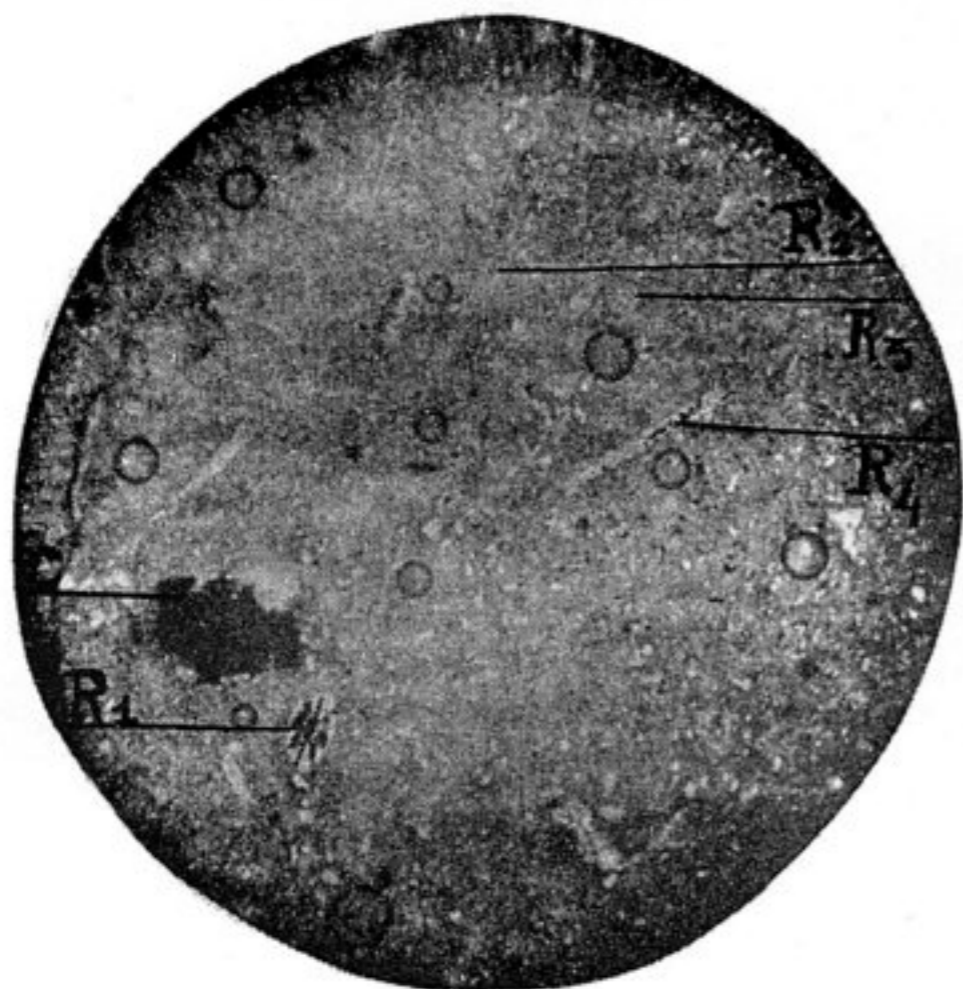
FIG. 3. — Section d'un schiste à Posidonomyes de Morre, avec des algues (a) et des « corps discoïdes » (D). *Lumière naturelle. Gr. 14.*

FIG. 4. — Section d'une marne du Charmouthien du Jura (route de Saint-Laurent-la-Roche à Cresancey), montrant des organismes roulés : on distingue de nombreux grains de calcite, un fragment de test de Lamellibranche (L), et des sections de Crinoïdes : E, section transversale ; E<sub>1</sub>, section longitudinale dont les angles sont émoussés ; E<sub>2</sub>, section longitudinale très roulée. *Lumière naturelle. Gr. 14.*

PLANCHE III

1

2



3

4

FIG. 1. — Section des marnes à Radioles de l'Hettangien de Villette : C, concrétion de limonite. R<sub>1</sub> à R<sub>4</sub>, quelques sections de radioles : R<sub>1</sub>, section transversale dont la structure est visible grâce à un remplissage de limonite ; R<sub>2</sub> et R<sub>3</sub>, sections longitudinale et transversale complètement calcifiées ; R<sub>4</sub>, section longitudinale presque complètement calcaire. *Lumière naturelle, Gr. 14.*

FIG. 2. — Section d'une marne intercalée entre les bancs du Calcaire à Gryphées de Miserey, montrant des régions pauvres en organismes (I, I) et des régions où prédominent les organismes (II). *Lumière naturelle, Gr. 14.*

FIG. 3. — Section de la même marne que fig. 1 ; C, concrétion allongée en forme de pseudospicule. R<sub>1</sub> à R<sub>3</sub>, sections de radioles : R<sub>2</sub> a une structure bien visible ; R<sub>1</sub> est mal conservé ; R<sub>3</sub> est entièrement recristallisé. *Lumière naturelle, Gr. 14.*

FIG. 4. — Section du Charmouthien de Villette, montrant des régions subgréseuses (G, G) et une plage à structure fine. *Lumière naturelle, Gr. 14.*

## TABLE DES MATIÈRES

---

	Pages
Introduction .....	3
CHAPITRE I. — La série liasique dans le Jura .....	5
CHAPITRE II. — Généralités sur les roches étudiées .....	9
A) Méthodes d'étude .....	9
1° Lames minces et surfaces polies.....	9
2° Séparation des minéraux.....	10
B. Composition générale des marnes .....	12
a) Organismes .....	12
b) Minéraux .....	14
c) Pâte.....	18
CHAPITRE III. — Description des échantillons .....	27
A. Couches inférieures au Sinémurien .....	28
B. Sinémurien .....	31
C. Charmouthien des environs de Besançon .....	36
D. Charmouthien du Jura .....	42
E. Schistes à Posidonomyes et marnes s'y rattachant.....	48
F. Marnes du Toarcien supérieur .....	58
G. Aalénien .....	63
CHAPITRE IV. — Comparaison des différents niveaux.....	66
CHAPITRE V. — Résultat paléogéographique de l'étude des marnes du Lias .....	75
A. Les éléments des marnes envisagés au point de vue paléo- géographique .....	75
B. Paléogéographie des marnes du Lias .....	78
Conclusions .....	84
Bibliographie .....	87