N° D ORDRE : 13

THÈSES

PRESENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE LILLE

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS-SCIENCES NATURELLES

PAR

Lucien CAYEUX

Préparateur aux Écoles nationales des Mines et des Ponts et Chaussées.
Collaborateur au Service de la Carte géologique détaillée de la France.

1re THÈSE : CONTRIBUTION A L'ÉTUDE MICROGRAPHIQUE DES TERRAINS SÉDIMENTAIRES.

I. Étude de quelques dépôts siliceux secondaires et tertiaires du Bassin de Paris et de la Belgique.
II. Craie du Bassin de Paris.

2me THÈSE : PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le 27 Avril 1897, devant la Commission d'examen.

MM. GOSSELET . . . . . *Président*
HALLEZ . . . . . } *Examinateurs*
BARROIS (Charles . . . . . }

LILLE
IMPRIMERIE TYPOGRAPHIQUE ET LITHOGRAPHIQUE LE BIGOT FRÈRES
Rue Nationale, 68 et rue Nicolas-Leblanc, 25.

1897

Extrait des *Mémoires de la Société Géologique du Nord*

TOME IV. — MÉMOIRE N° 2

N° D'ORDRE : 13

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE LILLE

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS-SCIENCES NATURELLES

PAR

Lucien CAYEUX

Préparateur aux Écoles nationales des Mines et des Ponts et Chaussées.
Collaborateur au Service de la Carte géologique détaillée de la France.

1re THÈSE : CONTRIBUTION A L'ÉTUDE MICROGRAPHIQUE DES TERRAINS SÉDIMENTAIRES.

I. Étude de quelques dépôts siliceux secondaires et tertiaires du Bassin de Paris et de la Belgique.
II. Craie du Bassin de Paris.

2me THÈSE : PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le 27 Avril 1897, devant la Commission d'examen.

MM. GOSSELET . . . . . *Président*
HALLEZ . . . . . } *Examinateurs*
BARROIS (Charles) . . . . . }

LILLE
IMPRIMERIE TYPOGRAPHIQUE ET LITHOGRAPHIQUE LE BIGOT FRÈRES
Rue Nationale, 68 et rue Nicolas-Leblanc, 25.

1897

UNIVERSITÉ DE LILLE

FACULTÉ DES SCIENCES

	MM.	
DOYEN	GOSSELET	Géologie et Minéralogie.
DOYENS HONORAIRES	VIOLLETTE.	
	DEMARTRES	Calcul différentiel et intégral.
PROFESSEUR HONORAIRE	HANRIOT.	
PROFESSEURS	SOUILLART	Astronomie.
	WILLM	Chimie générale.
	BERTRAND	Botanique.
	DAMIEN	Physique.
	HALLEZ	Zoologie.
	PETOT	Mécanique rationnelle et appliquée.
	BUISINE	Chimie appliquée.
PROFESSEURS ADJOINTS	BARROIS	Géologie et minéralogie.
	PROUHO	Zoologie.
MAITRES DE CONFÉRENCES	MATIGNON	Chimie.
	PADÉ	Mathématiques.
	QUEVA	Botanique.
	CAMICHEL	Physique.
	SWYNGHEDAUW	Id.
CHARGÉS DE CONFÉRENCES	DELASSUS	Mathématiques.
	PÉLABON	Chimie.
SECRÉTAIRE	LABORDE.	

A MES MAÎTRES

Monsieur J. GOSSELET

MEMBRE CORRESPONDANT DE L'INSTITUT

MEMBRE ASSOCIÉ DE L'ACADÉMIE ROYALE DE BELGIQUE.

DOYEN DE LA FACULTÉ DES SCIENCES DE LILLE

Monsieur Ch. BARROIS

PROFESSEUR A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE LILLE

PRÉSIDENT DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE FRANCE

ET

Monsieur Marcel BERTRAND

MEMBRE DE L'INSTITUT

INGÉNIEUR EN CHEF DES MINES

PROFESSEUR A L'ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DES MINES

Lucien CAYEUX

INTRODUCTION

Tandis que la science des roches cristallines est devenue, en un quart de siècle, l'une des plus cultivées et des mieux connues de l'Histoire naturelle, l'étude des roches sédimentaires est restée, pour ainsi dire, une sorte d'appendice de la Lithologie. Depuis que les récentes explorations sous-marines ont fait connaître la composition, le mode de répartition et l'origine des sédiments actuels, la pénurie de nos connaissances sur les formations sédimentaires anciennes est apparue dans toute son évidence. C'est en m'inspirant de la nécessité d'étudier systématiquement les dépôts stratifiés que j'ai abordé l'examen micrographique de quelques terrains, tenant une large place dans la série des couches crétacées et tertiaires du Nord de la France et de la Belgique.

Je n'ai pas essayé de faire une étude *pétrographique* de ces terrains. C'est leur *histoire naturelle* que j'ai tenté d'écrire. Il n'est pas inutile de faire remarquer qu'une telle étude relève directement de la géologie : Si elle fait appel à la minéralogie pour la reconnaissance des minéraux qui prennent part à la formation des roches; si elle s'adresse à la chimie pour la détermination des principales substances qui les composent, elle attache surtout une grande importance à tout ce qui dérive de l'activité organique. Ainsi comprise, *l'étude micrographique des dépôts sédimentaires a pour but la recherche du rôle qu'il convient d'attribuer aux agents mécaniques, chimiques et physiologiques qui concourent à leur formation.* C'est en définitive un chapitre de la dynamique externe du globe aux époques passées.

Un de nos meilleurs géologues disait récemment, en substance, que la tectonique couronne l'édifice des sciences géologiques, et qu'elle est le but vers lequel doivent tendre nos travaux. La connaissance d'un terrain resterait toujours incomplète, si la géologie n'assignait pas à nos efforts un objectif plus éloigné qui est de connaître l'état d'un sédiment *avant* que les phénomènes tectoniques et chimiques ne l'aient effleuré. Fixer l'*état initial* d'un dépôt, après avoir montré ce qu'il est aujourd'hui, et partant calculer la somme des modifications qu'il a subies dans le temps et dans l'espace, telle

est la tâche du géologue qui veut écrire l'histoire complète des formations sédimentaires anciennes.

J'ai suivi dans l'élaboration de ce mémoire le précepte de Buffon : « *Cherchons des faits pour nous donner des idées* ». J'en ai réuni un très grand nombre avec la constante préoccupation de leur laisser exclusivement la parole. Si je me suis parfois aventuré au-delà de leurs conséquences immédiates, il sera toujours facile à ceux qui trouveront mon induction trop hardie, d'extraire de mon travail les faits escortés par les idées qui s'y rattachent et de les interpréter à leur convenance.

J'ai étudié dans ce volume :

1° Des roches siliceuses (gaize, meule, tuffeau, etc.) du Nord de la France et de la Belgique ;

2° La craie du Bassin de Paris.

Quand j'ai entrepris mes recherches, les roches siliceuses auxquelles j'ai consacré la première partie de ce mémoire étaient inconnues au point de vue micrographique. La craie du Bassin de Paris n'avait fait l'objet d'aucune étude conforme au programme que j'ai tracé plus haut; les conditions qui ont présidé à la genèse de ce dépôt et sa comparaison avec les vases océaniques soulevaient encore d'importants problèmes. L'opportunité de ce travail se trouve ainsi justifiée.

Je me suis attaché en étudiant chaque formation à déterminer sa composition minérale, organique et chimique actuelle. J'ai essayé de suivre les agents chimiques dans leurs diverses manifestations, depuis que le phénomène sédimentaire a pris fin jusqu'à nos jours. J'ai été ainsi amené à remonter à la composition première des dépôts considérés et à retracer les métamorphoses successives qui en ont fait des terrains de physionomie si variée.

J'avais espéré décrire, en même temps que la craie, ses accidents minéralogiques et lithologiques. L'ampleur que comporte un pareil sujet m'a mis dans la nécessité d'y renoncer. On ne trouvera dans ce volume que l'étude de la craie même. Ce n'est qu'incidemment que je parlerai des silex, du phosphate de chaux, etc. Les nombreux matériaux que j'ai déjà réunis, en vue de leur description monographique, prendront place dans un second mémoire qui sera la suite et le complément de celui-ci.

J'ai commencé cette étude au laboratoire de géologie de la Faculté des Sciences de Lille et je l'ai achevée à l'Ecole des Mines de Paris. La publication de travaux étrangers à ce sujet, des recherches inédites poursuivies dans d'autres directions concurremment avec celles-ci et d'autres raisons en ont retardé l'achèvement.

C'est un bonheur pour moi de placer en tête de ce volume les noms des trois maîtres éminents dont je m'honore d'être l'élève ; je les prie d'accepter la dédicace de cet ouvrage.

Je suis très heureux d'exprimer ici ma gratitude à mes maîtres de Lille, MM. J. Gosselet et Ch. Barrois, pour les marques d'estime et d'affectueuse bienveillance qu'ils m'ont prodiguées. Je leur dois une grande partie de mon éducation scientifique. Je n'oublierai jamais leurs savantes leçons que j'ai suivies pendant cinq années, et je leur garde une profonde reconnaissance pour la direction qu'ils ont donnée à mes études.

Je suis non moins heureux de dire à mon maître, M. Marcel Bertrand, combien j'apprécie l'honneur qu'il m'a fait en m'appelant à l'Ecole des Mines de Paris. J'ai retrouvé chez lui la bienveillance et l'esprit libéral qui m'avaient tant attaché à mes maîtres de Lille. L'intérêt qu'il ne cesse de porter à mes travaux, les nombreux conseils dont il veut bien m'honorer et la sollicitude dont il m'a donné beaucoup de preuves sont d'autres titres à ma reconnaissance.

A côté de ces noms, je désire inscrire celui de M. C.-Eg. Bertrand, professeur à la Faculté des Sciences de Lille. Le séjour que j'ai fait dans son laboratoire a laissé chez moi d'autres traces que des connaissances de botanique. J'ai appris sous sa direction à observer au microscope, et je reconnais avec plaisir que les travaux d'anatomie végétale que j'ai poursuivis, tous les jours et pendant deux ans, m'ont préparé à l'étude des roches sédimentaires. Il m'est particulièrement agréable de voir en lui l'un de mes initiateurs et de l'en remercier.

Je veux aussi assurer de ma reconnaissance MM. A. Giard, P. Hallez et Boutan, qui furent mes maîtres en zoologie. Je n'ai garde d'oublier d'adresser ici un affectueux souvenir à mon ami, M. D. Piérart, qui fut mon premier guide en géologie.

Je me fais un devoir et un plaisir de remercier M. Nivoit, ingénieur en chef des Mines, pour le témoignage de confiance dont il m'a honoré en me désignant pour remplir les fonctions de préparateur à l'Ecole des Ponts et Chaussées.

J'ai contracté beaucoup de dettes en élaborant ce travail. Je tiens à m'acquitter tout d'abord de la plus lourde en exprimant ma gratitude à la Société géologique du Nord, pour le généreux concours qu'elle m'a prêté, en imprimant cette étude dans ses Mémoires et en prenant à sa charge une partie des frais de sa publication.

Je remercie tout particulièrement :

MM. Fouqué et Lacroix, pour le bienveillant accueil que j'ai toujours reçu dans leur laboratoire.

MM. Buisine, de Lille, qui m'ont appris l'analyse chimique des roches.

M. Klément, de Bruxelles, qui m'a enseigné l'analyse microchimique.

M. Ad. Carnot, qui m'a autorisé à faire analyser un assez grand nombre de roches siliceuses au laboratoire d'essais de l'Ecole des Mines.

M. V. Vaillant, qui m'a analysé plusieurs échantillons de craie.

M. Michel-Lévy, directeur du service de la Carte géologique détaillée de la France, qui, en me chargeant de la revision de feuilles du Nord de la France avec mon maître

M. Gosselet, m'a permis de réunir une partie des matériaux qui m'ont servi à préparer ce mémoire.

MM. Potier, Douvillé et Wallerant, pour l'intérêt qu'ils témoignent à mes recherches.

M. Maurice Hovelacque, pour les nombreux essais de microphotographie qu'il a faits, en vue de la préparation des planches de ce travail.

Beaucoup de naturalistes ont répondu aux demandes d'échantillons ou de renseignements que je leur avais adressées avec une obligeance pour laquelle je leur offre mes plus vifs remerciements. Je signalerai en France MM. R. Crespel, V. Gauthier, de Grossouvre, J. Lambert, Le Marchand, de Mercey, Parent, Peron; en Belgique, MM. Dollo, Rutot et Van den Brœck, et en Angleterre MM. A.-J. Jukes-Browne et A. Smith Woodward.

J'ai déjà fait connaître, sous une forme très sommaire, quelques-uns des résultats obtenus en préparant ce mémoire. Ils ont provoqué des controverses qui n'ont pas été sans profit pour la géologie. Mon plus ardent souhait est que l'exposé détaillé des faits et des conclusions qui en découlent laisse entrevoir les nombreux et importants problèmes que soulève l'étude micrographique des formations sédimentaires, et qu'il fasse naître en France le désir d'en pénétrer le secret.

Paris, Novembre 1896.

PREMIÈRE PARTIE

DÉPÔTS SILICEUX

ÉTUDE DE QUELQUES DÉPÔTS SILICEUX SECONDAIRES ET TERTIAIRES

DU BASSIN DE PARIS ET DE LA BELGIQUE

La première partie de ce travail est consacrée à l'étude des dépôts siliceux dont les plus importants sont connus sous les noms de *gaize* et de *tuffeau*. Elle comprendra cinq chapitres :

I. Gaizes jurassiques et crétacées du Bassin de Paris.

II. Étude de quelques formations siliceuses du Crétacé de Belgique (meule, têtes de chat, rabots et smectique).

III. Tuffeaux éocènes du Nord de la France et de la Belgique. Aperçu général sur les roches siliceuses ; rôle des organismes siliceux dans la nature.

IV. Étude de la glauconie des roches siliceuses.

V. Appendice paléontologique. Description des Radiolaires de la smectique de Herve (Belgique).

CHAPITRE PREMIER

GAIZES JURASSIQUES ET CRÉTACÉES DU BASSIN DE PARIS

Sommaire. — Définition de la gaize ; Ses propriétés, 14. Répartition stratigraphique et géographique, 15.

I. Gaize oxfordienne a *Cardioceras Mariæ*, 16. 1° et 2°. Gaize siliceuse et gaize calcifiée, 18. — 3. Calcaire du niveau de la gaize, 25 ; Conclusions, 25.

II. Gaize a *Acanthoceras mamillare* et *Hoplites interruptus*, 26. Nodules siliceux, 30 ; Résumé, 31.

III. Gaize a *Schlœnbachia inflata*, 31. — Distribution géographique et caractères stratigraphiques, 31. — 1. Gaize de l'Argonne, 33 ; Nodules siliceux, 39 ; Conclusions, 39. — 2. Gaize du massif de Marlemont, 39 ; Résumé, 44. — 3. Gaize du Pays de Bray et du Cap de La Hève, 44 ; A. Gaize siliceuse à débris de Spongiaires, 45 ; Conclusions, 47. B. Gaize calcarifère à Foraminifères, 47 ; Noyaux cornés de la gaize d'Octeville, 49 ; Conclusions, 50. — 4. Gaize de l'Yonne, 50.

IV. Gaize a *Acanthoceras Mantelli* du Cher, 52. — 1. Gaize siliceuse, 53. — 2. Gaizes calcaires, 56 ; Conclusions, 57.

V. Résultats généraux de l'étude des Gaizes albiennes et cénomaniennes. — 1. *Minéraux.* Degré de fréquence, 57 ; Minéraux détritiques, 57 ; Minéraux secondaires (Glauconie), 58. — 2. *Organismes.* Spongiaires, 58 ; Radiolaires, 60 ; Foraminifères, 60 ; Diatomées, 60 ; Diatomées calcifiées 61. — 3. *Ciment.* Composition minérale du ciment, 62 ; Structure du ciment, 62. — *a.* Silice. Opale et ses variétés ; Structure globulaire de l'opale, 63 ; Calcédoine, chert et silex, 64. — *b.* Matière argileuse, 66. — 4. *Composition chimique des gaizes*, 68. Silice, 68 ; Alumine et Carbonate de chaux, 70.

VI. Conclusions ; Origines de la silice du ciment des gaizes. — Définition et caractères de la gaize typique, 70 ; De la nécessité d'introduire définitivement le terme gaize dans la nomenclature des roches sédimentaires, 71 ; Variétés de gaizes représentées dans le Bassin de Paris, 72 ; *Origines de la silice minérale des gaizes*, 72. Première source de silice : Dissolution des spicules sur le fond de la mer, 73. Deuxième source : Dissolution des spicules à l'intérieur du sédiment, 74. Troisième source : Intervention des dépôts supérieurs à la gaize, 75. Quatrième source : Destruction de la matière argileuse, 76 ; Conclusions 77 ; Durée de la métamorphose de la gaize 77 ; Période de différenciation de l'opale et de genèse de la calcédoine ; chert, 78 ; Etat initial de la gaize ; Somme de ses métamorphoses, 79.

Définition de la Gaize. Ses propriétés. On a donné le nom de *gaize* (= *Grès vert, craie tufau, pierre morte, pouzzolane*) à une roche siliceuse, argileuse, poreuse et tendre, renfermant une forte proportion de silice soluble dans les alcalis. Elle a son principal développement dans l'Est du Bassin de Paris, entre le Gault et les couches à *Pecten asper*, ainsi que l'a établi le premier M. Raulin [1]. C'est à Sauvage et Buvignier qu'on

1. Raulin. Note sur la position géognostique de la gaize, etc., in *B. S. G. F.*, 2e S., vol 1 (1844).

doit la première description de la gaize crétacée [1]. Elle a été complétée plus tard par d'Archiac [2], Meugy, MM. Nivoit [3] et Ch. Barrois [4].

La gaize est gris sale, jaunâtre quand elle est sèche, et verdâtre quand elle est mouillée. Sa capacité d'absorption de l'eau est considérable. La texture en est sableuse, à grain généralement fin. Elle est toujours un peu rude au toucher et parsemée de nombreux points verts. Elle montre en outre des taches ferrugineuses résultant de la décomposition des pyrites, et des parties nuageuses bleuâtres qui se fondent avec la masse environnante. Ces taches nuageuses sont très dures et fortement siliceuses ; elles représentent des sortes de noyaux siliceux intercalés dans la gaize, comme le silex l'est dans la craie, « avec cette différence qu'il y a un passage insensible du globule siliceux à la roche qui l'enveloppe et qu'il est impossible de l'en détacher nettement. » (Sauvage et Buvignier.)

La teneur en silice soluble est loin d'être constante. Elle varie d'une couche à l'autre et d'un point à l'autre de la même couche. A la silice qui forme la masse fondamentale de la gaize, il faut ajouter la matière argileuse qui ne manque jamais, le carbonate de chaux qui fait le plus souvent défaut et dont le rôle est toujours accessoire. La gaize est très facilement altérable sous l'influence des agents atmosphériques et surtout très gélive ; aussi est-elle généralement très fendillée dans ses affleurements ; elle se divise en fragments d'un petit volume.

Elle est exploitée pour la construction et l'empierrement, mais elle ne fournit que des matériaux médiocres, sutout pour les bâtisses exposées aux intempéries. Vicat lui ayant reconnu les propriétés de la pouzzolane, elle a été employée pour la fabrication de la dynamite [5]. La grande proportion de silice que renferme cette roche la rend réfractaire jusqu'à un certain point.

Sa densité est variable et oscille autour de 1,5. Elle descend à 1,4 après dessiccation.

Répartition stratigraphique et géographique. On ne distingue généralement que trois niveaux de gaize se répartissant comme il suit :

I. OXFORDIEN. Assise à *Cardioceras Lamberti* (Ardennes).

II. ALBIEN. Assise à *Acanthoceras mamillare* et *Hoplites interruptus* (Ardennes).

III. CÉNOMANIEN. Assise à *Schlœnbachia inflata* (Argonne et Bray). C'est également le niveau de la « Meule de Bracquegnies » (Belgique), que j'étudierai à part.

IV. Je ne puis séparer de cette formation un dépôt relevant de l'assise à *Acantho-*

---

1. SAUVAGE et BUVIGNIER. Stat. min. et géol. du département des Ardennes, pp. 358 et suiv. (1842). BUVIGNIER. Stat. géol. du départ. de la Meuse, pp. 531 et suiv. (1852).

2. D'ARCHIAC. Histoire des progrès de la géologie de 1834-50, vol. 4. Formation crétacée (1851).

3. MEUGY et NIVOIT. Stat. agron. de l'arr. de Vouziers, pp. 111 et suiv. (1873). — Expl. de la carte géol. et agron. de l'arr. de Rethel, p. 28 (1878).

4. CH. BARROIS. Mém. sur le Ter. crét. du N. de la Fr. *Ann. Soc. G. N.*, vol. 5, pp. 227-488 (1878).

5. VICAT. Sur la découverte d'une pouzzolane, etc., *Ann. des Min.*, 4e S., vol. 8, pp. 527-529 (1845).

ceras Mantelli du Cher et qui est doué de la plupart des propriétés de la gaize. Je l'étudierai à la suite des précédents.

Je terminerai ce chapitre par l'exposé des résultats généraux de l'étude des gaizes albiennes et cénomaniennes (V), et des conclusions qui en découlent, et enfin, par la recherche des différentes sources de la silice minérale des gaizes (VI).

I. GAIZE A *CARDIOCERAS MARIÆ*

(J^{2a}, *de la Carte géologique détaillée de la France*)

(Pl. I, fig. 1)

Position stratigraphique et géographique. La gaize oxfordienne à *Cardioceras Mariæ* est connue sous les noms de : 1° Roche siliceuse (Sauvage et Buvignier [1], Meugy et Nivoit [2]); 2° Calcaire siliceux (Sauvage et Buvignier [1]); 3° Gaize à *Ammonites Lamberti* (J. Gosselet [3] et Ch. Barrois [4]); 4° Gaize oxfordienne (de Lapparent, Douvillé [5] et Nivoit [6]); 5° Gaize à *Am. Mariæ* (Douvillé [5] et Wohlgemuth [7]).

La gaize à *Cardioceras Mariæ* est comprise entre un étage argileux à *Gryphea dilatata* (zone à *C. Lamberti*) et l'oolithe ferrugineuse de Neuvizy à *C. cordatum*. Elle a été mise à nu dans toute la région qui domine Rethel au nord, où elle est directement recouverte par le Gault en une foule de points.

On ne la connaît qu'en Ardenne. Elle forme une bande apparaissant au nord, dans le canton de Signy-l'Abbaye, où elle présente une largeur maximum d'environ 8 km. Elle coupe le département, suivant une direction voisine de N.O.-S.E. et disparaît au nord de Buzancy, près de Sommanthe. La gaize oxfordienne est un facteur important du relief de l'Ardenne jurassique ; elle forme une ligne d'escarpements connus sous le nom de « Chaîne des Crêtes », presque partout couverts de forêts.

Composition minéralogique de l'assise et caractères lithologiques de la gaize. La gaize à *C. Mariæ* ne forme pas toute l'assise à laquelle elle a donné son nom. Elle est associée à des bancs de marnes avec lesquelles elle alterne; l'élément argileux perd de son importance au fur et à mesure qu'on se rapproche du sommet de la formation. La proportion de silice, au contraire, augmente de la base au sommet. Sa puissance est estimée à une cinquantaine de mètres. Elle est remplacée latéralement par des marnes sableuses ; dans la Meuse, la place en est occupée par des argiles.

---

1. SAUVAGE et BUVIGNIER. Op. cit., p. 290 (1842).
2. MEUGY et NIVOIT. Stat. etc., pp. 57 et 117 (1873).
3. J. GOSSELET. Esquisse géologique; Terrains secondaires, p. 197 (1881).
4. CH. BARROIS. Légende de la feuille de Rethel (1880).
5. DOUVILLÉ et DE LAPPARENT. Sur la part. moy. du Terr. jur., etc. *B. S. G. F.*, 3e S., vol. 9, p. 457 (1881).
6. NIVOIT. Légende de la feuille de Mézières (1888).
7. WOHLGEMUTH. Rech. sur le Jur. moyen à l'E. du Bas. de Paris, p. 210 (1883).

Dès 1842, Sauvage et Buvignier faisaient remarquer l'analogie de ce qu'ils appelaient la « roche siliceuse oxfordienne », avec la « craie tufau » ou gaize de l'Argonne. Les traits de ressemblance entre ces deux dépôts sont en effet multiples.

La gaize à *C. Mariæ* est tantôt une roche grise ou jaunâtre, légère, sans consistance et de texture sableuse, tantôt une sorte de grès argileux légèrement bleuâtre et d'une grande dureté. Les parties dures recherchées pour l'empierrement et même pour la construction constituent des sortes de nodules intimement soudés à la gaize tendre, et dont ils semblent n'être qu'une différenciation. Elles sont parfois tellement abondantes qu'elles l'emportent sur les parties tendres. La gaize oxfordienne fait presque toujours effervescence aux acides ; elle est très gélive. La plupart des fossiles sont siliceux.

Composition chimique. Sauvage et Buvignier ont publié l'analyse suivante en 1842, en insistant sur le fait que la roche étudiée renferme plus de la moitié de son poids de silice soluble dans les alcalis (op. cit., p. 290).

Eau		7.
Silice soluble dans la potasse		56.2
Sable siliceux		20
Argile		7.5
Glauconie.	Silice	5
	Protoxyde de fer	1.5
	Alumine	1
	Chaux	1 2
	Magnésie et alcalis	0.6
	Total.	100.0

Un échantillon que j'ai recueilli à Osches, analysé au laboratoire d'essais de l'Ecole des Mines, renferme :

Silice soluble dans la potasse	9
Silice insoluble	72
Alumine	4.6
Peroxyde de fer	2
Chaux	3.33
Perte par calcination	8.6
Total.	99.53

Ces chiffres révèlent une importante différence dans la teneur en silice soluble des deux échantillons étudiés. L'analyse micrographique va mettre en relief des dissemblances d'un autre ordre, et montrer que sous la rubrique « gaize oxfordienne », on englobe des roches bien distinctes au double point de vue organique et chimique.

ÉTUDE MICROGRAPHIQUE. La gaize à *C. Mariæ* n'a été l'objet d'aucune recherche micrographique. Sauvage et Buvignier ont émis l'hypothèse suivante, également exprimée pour les gaizes crétacées, que « cette substance pourrait avoir eu une formation semblable à celle du tripoli, et peut-être la trouverait-on composée de carapaces d'infusoires si on l'examinait avec un microscope puissant. » (Op. cit., pp. 290-291).

De toutes les roches siliceuses que j'ai étudiées dans ce travail, la gaize oxfordienne est sans conteste la plus singulière et celle qui offre le plus de difficultés. Les variétés en sont nombreuses. On peut les grouper autour de trois types principaux : Le premier est siliceux, — c'est le seul qu'il convient d'appeler gaize ; — le deuxième est une gaize *calcifiée* ; le troisième est un calcaire. Je parlerai incidemment d'une autre variété siliceuse et ne dirai qu'un mot de celles qui sont calcaires, leur étude sortant du cadre de la première partie de ce mémoire.

I et II. **Gaize siliceuse et gaize calcifiée.** Les échantillons étudiés proviennent des localités suivantes : Lalobbe, Launois, Neuvizy et Osches [1]. Comme dans toutes les descriptions qui vont suivre, j'examinerai successivement : 1° les minéraux, 2° les organismes, 3° le magma qui réunit les minéraux et les organismes et que j'appelle ciment. Je répartirai les minéraux en deux groupes, en appelant *détritiques* ceux qui dérivent de la destruction de formations préexistantes, et *secondaires* ceux qui ont pris naissance dans le dépôt, soit au cours de la sédimentation, soit pendant la période de consolidation de la roche.

1° **Minéraux.** Ils représentent une fraction de la roche qui varie entre un tiers et un dixième environ.

A. *Minéraux détritiques.* Le premier rôle appartient au quartz. Il forme des grains anguleux dont les arêtes sont émoussées (Pl. I., fig. 1, *a*). Diamètre moyen 0^{mm} 12 environ. L'orthose et le feldspath plagioclase existent en assez faible quantité. Ils sont accompagnés de tout un cortège de minéraux incomparablement moins répandus, et que j'étudierai plus loin dans les roches faciles à désagréger. Les principaux sont : tourmaline, zircon, rutile, magnétite, etc.

B. *Minéraux secondaires.* Je n'appellerai l'attention que sur la *glauconie.* C'est toujours un élément accessoire ou rare, ne représentant guère qu'un dixième de la roche, quand il est à son maximum de fréquence (Launois). Elle donne naissance à des grains de forme générale arrondie (fig. 1, *b*) dont le diamètre se tient un peu au-dessus de celui des grains de quartz. Elle épigénise incomplètement quelques spicules d'Eponges (Osches) et montre exceptionnellement un commencement de pseudomorphose des corps globuleux siliceux dont il va être question. L'emploi de forts grossissements permet de reconnaître que la diffusion de cette substance est beaucoup plus grande qu'on ne pouvait le supposer de prime abord. On trouve disséminés dans toute la masse de ciment siliceux, une infinité de petits granules plus ou moins réguliers, de couleur vert jaunâtre, qui ont une tendance très marquée à se grouper. Parfois, ils sont coalescents. Ils se montrent cryptocristallins entre les nicols croisés, avec la structure d'agrégat si caractéristique de la

1. Je les ai recueillis moi-même pour la plupart. J'en dois quelques-uns à l'obligeance de mon éminent maître, M. J. Gosselet.

grande majorité des grains de glauconie. Par places, le ciment est littéralement taché de matière glauconieuse.

2° **Organismes.** Ils sont peu variés, mais ils jouent un rôle prépondérant dans la plupart des gaizes à *C. Mariæ* que j'ai étudiées. Ce sont :

Spongiaires. Ils n'ont laissé comme débris que des spicules fusiformes de grande taille brisés pour la plupart, et des tronçons cylindriques. Les uns et les autres sont assez rares. La plupart des sections minces en renferment une dizaine d'individus. L'état originel de la silice qui les forme s'est considérablement modifié. J'en dirai un mot dans le paragraphe suivant.

Corps globuleux. Il existe dans presque tous les spécimens que j'ai étudiés des corps globuleux répandus à profusion. La figure 1 (Pl. I) donne une idée de leur fréquence. Ils forment communément de un tiers à la moitié de la gaize. La détermination certaine de la plupart d'entre eux présente des difficultés insurmontables. Leurs sections sont rigoureusement circulaires ou elliptiques. Quelques-uns sont légèrement réniformes. La structure de ces corps est des plus complexes; ils affectent trois manières d'être essentielles.

A. Le plus grand nombre montrent au pourtour une zone d'opale très claire, assez large, d'égale épaisseur, se décomposant en *deux lames siliceuses concentriques rattachées par des rayons souvent équidistants*. Beaucoup de sphérules de la fig. 1 montrent cette structure. Cette particularité — des plus apparentes — fait songer immédiatement aux Radiolaires. Tout le reste du globule présente un ou plusieurs, parfois un grand nombre, de zones concentriques d'opale colorées en gris, également reliées par de fins rayons siliceux. Il reste au centre un espace d'étendue variable, occupé par de la calcédoine comme le montrent beaucoup de globules de la figure 1 (ceux cont le centre est blanc). Cette substance est d'ailleurs interposée entre les différentes lames siliceuses, sauf entre les deux externes. Quand le globule est coupé tangentiellement à cette chambre centrale, on reconnaît que la zone d'opale qui la limite est nettement *réticulée* et qu'elle présente des *mailles polygonales* irrégulières. Ce caractère complète le diagnostic des Radiolaires, et il semble que l'existence de ces organismes ne puisse être mise en doute. Les corps globuleux siliceux agissent sur la lumière polarisée en raison de la présence d'une quantité de calcédoine toujours notable. Tantôt cette substance existe sous forme de petites lamelles disposées confusément; tantôt elles figurent des fibres rayonnant d'un seul point de la surface de la sphérule; tantôt enfin, le corps globuleux donne naissance à une croix noire centrée.

B. Une deuxième catégorie de globules comporte des corps de mêmes dimensions que ceux dont il vient d'être question. Leurs sections sont pareillement circulaires ou elliptiques, mais leur structure est tout autre. On n'observe en aucun cas des lames concentriques soudées par des rayons siliceux, mais la surface montre, chez ceux qui

ont été le plus épargnés par les métamorphoses de la roche, une structure réticulée avec des mailles séparées par de fines lames siliceuses rayonnantes qui ne sont conservées que dans la portion externe. Ce qui rend l'étude de cette deuxième catégorie de globules particulièrement malaisée, c'est que leur fossilisation a fait apparaître à l'intérieur un grand nombre de corpuscules siliceux identiques à ceux que M. Hinde a reconnus dans les spicules de Spongiaires dont l'opale a déjà subi un commencement de différenciation.[1] On y reconnaît notamment des couronnes complètes, des croissants et d'autres formes variées. N'était la structure réticulée qui fait immédiatement songer aux Radiolaires, on pourrait rapporter à des Spongiaires cette seconde catégorie de corps globuleux.

C. Un dernier groupe ne comprend qu'un nombre infime de représentants. Ils se résolvent en une coquille siliceuse (en opale) pourvue d'une structure réticulée très apparente, à grandes mailles polygonales régulières. On est ici en présence de Radiolaires bien caractérisés.

Je reviens maintenant aux globules de la première catégorie, sur lesquels il me reste beaucoup à dire. J'ai signalé l'existence à leur pourtour de deux lames siliceuses concentriques rattachées par des rayons d'opale. Cette structure apparaîtra pour ceux qui sont un peu familiers avec les Radiolaires comme éminemment caractéristique de ce groupe. Il n'en est rien cependant. Il est hors de doute qu'elle est *secondaire*, et qu'elle résulte d'une métamorphose bien singulière de la silice. Les preuves en sont aussi nombreuses que convaincantes. Voici les trois principales :

a. Certaines sphérules ne montrent une double lame que sur une partie de leur contour.

b. Les spicules d'Eponges associés aux corps globuleux sont également pourvus de la double lame siliceuse présentant les mêmes caractères : épaisseur, couleur, rayons, rien n'y manque.

c. Quand les corps globuleux sont en contact ou seulement très rapprochés, il est de règle que les deux lames siliceuses externes se soudent et se raccordent, et que les deux sphérules s'ouvrent l'une dans l'autre.

En conséquence, la couronne d'opale claire qui entoure les globules et qui conduit tout naturellement à identifier ces corps à des Radiolaires n'est pas leur propriété exclusive. Elle se comporte de telle façon qu'il faut y voir un produit de la différenciation de la silice.

Je suis arrivé à la même conclusion pour la structure réticulée observée chez un grand nombre de sphérules du même groupe :

a. Comme conséquence de la fossilisation si particulière des sphérules, on trouve souvent de petits globules d'opale, incomplets, interrompant la double lame siliceuse externe

1. G. J. HINDE. On Beds of Sponge-remains, etc., *Phil. Tr. Roy. Soc.*, part. II, p. 429; Pl. 40, fig. 8 et 9 (1885).

et faisant hernie à l'intérieur des sphérules. Leur surface est réticulée comme celle des corps globuleux et le réseau y montre les mêmes dessins.

b. Les spicules monoaxes différenciés à leur pourtour, comme je l'ai dit plus haut, ont parfois leur région axiale occupée par de l'opale grise, marquant l'emplacement du canal irrégulièrement élargi. Une section de spicule, à la fois longitudinale et tangentielle à la zone d'opale grise, met en évidence la même réticulation.

c. Enfin, l'étude d'une gaize siliceuse de Launois, presque entièrement dépourvue de restes organiques, m'a révélé un fait très curieux. Cette roche, formée de quartz (1/3) et de glauconie (1/10 environ) possède un ciment jaune très abondant. Examiné avec un assez fort grossissement, ce ciment présente un aspect spongieux très particulier, et dont je ne connais aucun autre exemple. Il est doué à son tour d'une structure réticulée des mieux caractérisée qui se poursuit sans interruption à travers toute la roche. Le ciment n'est ici qu'un véritable squelette de silice. Quant aux mailles, leurs dimensions et leur forme sont exactement celles constatées à la surface des sphérules, sur les petits globules qui leur sont attachés, et à l'intérieur des spicules. Si, maintenant, on parcourt avec la plus grande attention les préparations renfermant les corps globuleux du groupe A, on retrouve dans le ciment des traces de la même structure.

Voici donc une seconde propriété de ces corps conduisant tout droit au diagnostic de Radiolaires qu'il convient d'éliminer parce qu'elle ne leur appartient pas en propre, et qu'elle est le produit des métamorphoses de la silice.

Avant de poser nettement la question, que sont ces corps globuleux, il importe de bien mettre en relief une autre particularité de leur état de conservation que j'ai intentionnellement passée sous silence. Dans certains échantillons, il existe au centre des sphérules un *vide* de dimensions variables occupé par une matière pigmentaire qui paraît être de la pyrite (fig. 1, *c*). La lame siliceuse interne est réticulée. La conclusion qui paraît s'imposer, c'est que ces corps comportaient, à l'origine, une cavité centrale incomplètement remplie par la silice et comblée ensuite par la matière pyriteuse. L'existence de la calcédoine au centre des sphérules paraît favorable à la même opinion.

Si l'existence de couches concentriques reliées par des rayons, si la structure réticulée sont des *caractères acquis* par les corps globuleux au cours de leur fossilisation, que reste-t-il comme éléments de détermination ? On ne peut faire entrer en ligne de compte que la forme, les dimensions et l'existence probable d'une cavité centrale. L'insuffisance de ces données est notoire. Les deux premières — forme et dimensions — se retrouvent, sans différence, chez les sphérules du groupe B, mais je n'ai jamais observé de passage bien net de la structure des corps B à celle des sphérules A. Quoi qu'il en soit, il semble bien probable qu'ils procèdent de la même origine et que leurs différences d'aspect et de structure sont *secondaires*.

Il est également très difficile de dire ce que sont les corps globuleux du groupe B

qui présentent le double caractère d'être pourvus d'une structure réticulée — originelle et non acquise — et de montrer le même mode de différenciation de l'opale que les spicules d'Eponges. Ce dernier trait peut d'autant mieux faire songer aux Spongiaires qu'il existe dans ce groupe des corpuscules épais, sphériques, réniformes, stelliformes, etc., et que certaines familles comme les *Ancorinides* et les *Geodinides* ont leur zone corticale bourrée de sphérules et d'étoiles siliceuses [1]. Mais comment expliquer dans cette hypothèse que la masse puissante de la gaize à *C. Mariæ* soit généralement pauvre en « spicules du squelette », si par exemple, les corps globuleux représentent des « spicules dermiques » de Spongiaires. Cela ne se comprend pas. On devrait trouver avec les sphérules une prodigieuse quantité de spicules monoaxes et polyaxes. Mes recherches en vue de les exhumer de quelque point du massif gaizeux sont restées sans résultat. Bien qu'appuyée par une assez grande vraisemblance, la solution qui rattacherait toutes les sphérules aux Spongiaires se heurterait à ces objections : Où sont les spicules qui concouraient avec elles à former le squelette des Eponges dont elles dérivent? Comment les débris de Spongiaires qui sont susceptibles d'une si grande variété, même dans une seule espèce, seraient-ils restés identiques à eux-mêmes durant tout le dépôt de la gaize? Il en est une autre qui n'est pas dénuée d'importance, c'est qu'il paraît difficile que des « spicules dermiques » massifs se soient transformés en sphères, plus ou moins creuses, comme celles qui renferment de la matière pyriteuse.

On peut faire appel à une troisième hypothèse. Ces corps globuleux ne sont-ils pas simplement des *oolithes silicifiées*? J'ai comparé la gaize oxfordienne à toute une série de calcaires oolithiques jurassiques dont les oolithes ont été pseudomorphosées par la silice et je n'ai rien observé qui justifiât une pareille supposition. D'autre part, l'examen des calcaires associés à la gaize ne fournit pas la moindre donnée qui lui soit favorable.

L'opinion que ces corps pourraient être de simples concrétions siliceuses paraît encore moins fondée que les précédentes.

En résumé, par suite des modifications profondes qui ont affecté la gaize à *C. Mariæ* après son dépôt, un grand nombre des éléments qui la composent ne sont plus susceptibles de détermination dans l'état actuel de nos connaissances. *L'existence du groupe des Radiolaires reste hors de doute.* Mais si on ne leur rapporte que les formes qui en ont conservé *tous* les caractères, le nombre en est extrêmement restreint et la très grande majorité des corps globuleux visibles dans les sections minces (comme dans la figure 1) restent sans attribution précise. Les complications de structure de ces corps m'étaient inconnues en 1891, lorsque je publiai ma note préliminaire sur l'existence de Radiolaires dans la gaize oxfordienne [2]. Elles n'infirment pas le diagnostic Radiolaire

1. K. A. ZITTEL. Traité de Paléontologie, vol. I, p. 151, Traduction (1883).
2. L. CAYEUX. De l'existence de nombreux Radiolaires, etc., *Ann. Soc. G. N.*, vol. 19, pp. 309-315 (1891).

que j'ai étendu à cette époque à un grand nombre de formes mal conservées, mais elles le rendent incertain pour celles de la deuxième catégorie (B). Quant aux corps du groupe A, je n'ai pour le moment aucune idée sur leurs affinités.

M. Sorby a étudié en Angleterre une roche qui me paraît correspondre à la gaize à *C. Mariæ*, c'est le « Calcareous Grit » de la côte du Yorkshire [1]. Il y a distingué des corps réniformes et globuleux. L'éminent naturaliste a fait de multiples hypothèses pour en expliquer l'origine. Il les a notamment comparés à des *spicules globuleux*, puis à de petites coquilles dont l'intérieur aurait été rempli par des infiltrations siliceuses. Cette dernière explication lui a paru la plus satisfaisante. Il a exprimé l'opinion que s'ils dérivent réellement de coquilles, ils ont pu être des *Foraminifères*, bien qu'on n'observe aucune division en chambres, et qu'il ne soit pas démontré que ces corps correspondent à des loges détachées. L'attribution aux Foraminifères est inadmissible pour les éléments indéterminés que je viens de décrire.

3° **Ciment.** Il est formé de trois éléments inégalement répandus : *silice*, *argile* et *carbonate de chaux*.

Cette dernière substance est de la calcite à l'état de menues particules de toutes dimensions, fortement rongées et séparées par les autres éléments du ciment. Elles ne sont que les vestiges d'une formation beaucoup plus étendue en voie de destruction. Il arrive même que le carbonate de chaux soit entièrement détruit. C'est ainsi que l'échantillon analysé par Sauvage (p. 17) ne renferme que 1,2 % de carbonate de chaux.

La silice est de l'opale presque toujours indifférenciée. Par exception, elle tend à se découper en gros globules qui ne s'isolent jamais complètement.

On voit entre les nicols croisés une infinité de très petites taches blanc bleuâtre qui rappellent beaucoup l'aspect des lamelles de calcédoine examinées en lumière polarisée parallèle. Elles appartiennent soit à la calcédoine, soit à la matière argileuse et peut-être aux deux. Les dimensions de ces particules sont telles qu'il est impossible de s'arrêter à une opinion ferme. L'argile de la gaize oxfordienne revêt entre les nicols croisés la physionomie de certaines pâtes felsitiques qui agissent vaguement sur la lumière polarisée, sans qu'il soit possible de les décomposer en leurs éléments constituants. Certaines plages sont nettement cryptocristallines. Elles s'illuminent entre les nicols croisés d'une teinte blanc jaunâtre, ou même d'un jaune très vif, qu'il est le plus souvent impossible de rapporter à des éléments de forme bien arrêtée. Parfois même, j'ai observé un commencement d'orientation autour des corps globuleux siliceux et la trace d'une croix noire en lumière polarisée. Les forts grossissements mettent en évidence l'existence dans le ciment de paillettes allongées, étroites et quelquefois clivées. On ne peut les distinguer de celles que l'on trouve dans les argiles sédimentaires : elles

1. H. C. SORBY. On the microsc. structure, etc. *Quart. Journ Geol. Soc.*, vol. 6, pp. 1-6 (1850).

appartiennent à une *argile cristallisée. L'argile semble presque complètement exclue des variétés les plus siliceuses* ; c'est ainsi que l'échantillon analysé par Sauvage n'accuse que 1 °/o d'alumine.

D'après les données qui précèdent, il est évident que le ciment des gaizes a été originellement en partie calcaire ; certains spécimens où la destruction du carbonate de chaux est moins avancée démontrent que cette matière était très répandue. L'élément *secondaire* du ciment est la *silice* qui a pris la place du calcaire. Je crois qu'elle se trouve également sur l'emplacement de l'*argile* [1]. En résumé, je considère le ciment de cette roche comme ayant été *calcaréo-argileux* dès le principe.

Calcification de la gaize à corps globuleux siliceux. Des échantillons de Launois qui m'ont été procurés par M. Gosselet correspondent exactement à la composition organique des gaizes précédentes, mais avec cette différence essentielle que presque tous les éléments sont *calcifiés* : Spicules de Spongiaires, sphérules, ciment, tout est calcaire, sauf les corps globuleux du groupe B qui sont en opale. Les sphérules à facies de Radiolaires (A) sont entièrement transformées en calcite, à l'exception de la zone externe correspondant à la double lame siliceuse qui ne l'est que partiellement ou pas du tout. En général, le calcite qui occupe la place d'une sphérule ne présente qu'une seule et même orientation optique.

Le ciment est lui-même en calcite largement cristallisée ; mais ses éléments s'arrêtent à la rencontre des corps globuleux dont la forme est intacte. Le phénomène de la calcification générale de la roche, très intéressant en lui-même, l'est surtout parce qu'il est possible de démontrer que *la gaize a été calcifiée après avoir été préalablement silicifiée.*

J'ai mentionné le fait que les sphérules siliceuses du premier groupe montrent parfois des sortes de renflements globuleux en opale, attachés à leur pourtour, et se projetant vers l'intérieur. J'ai également noté cette particularité que la silicification avait déterminé à la surface de ces renflements une structure réticulée que l'on retrouve dans tout le ciment d'une certaine gaize de Launois,et sur les globules d'opale de toutes les gaizes siliceuses oxfordiennes. Or, les globules du ciment et ceux qui font hernie à l'intérieur des sphérules existent dans la gaize calcifiée avec tous leurs caractères : formes, dimensions, structure réticulée et fréquence. Mais ils sont eux-mêmes calcifiés. L'état globulaire de la silice étant — toujours et sans exception — secondaire dans les roches que j'ai étudiées dans ce mémoire, je crois pouvoir conclure que la métamorphose subie par la gaize en question s'est faite en deux temps :

1° *Silicification* d'une roche à corps globuleux siliceux, agglutinés par un ciment calcaréo-argileux. Destruction du calcaire et genèse de la structure globulaire de l'opale du ciment. Cet état correspond à celui de la gaize que j'ai précédemment décrite.

2° *Calcification* de la roche secondairement silicifiée et originellement calcaire.

---

1. J'en ferai la preuve plus loin en étudiant les gaizes crétacées.

En négligeant les traits secondaires, on peut exprimer cette curieuse succession de phénomènes, en disant qu'*une roche calcarifère est devenue siliceuse et finalement un calcaire cristallin.* Il importe de remarquer qu'au cours de cette métamorphose complexe *l'argile a disparu de la gaize.* Toute idée d'élimination *mécanique* des particules de cette substance doit être écartée. Elle n'a pu quitter la roche qu'après *décomposition.*

Dans plusieurs échantillons, les modifications de la gaize sont encore plus prononcées. L'emplacement des corps globuleux est à peine marqué. Toute la roche se décompose en rhomboèdres plus ou moins réguliers, présentant les mêmes caractères pour le ciment et les sphérules.

Que la transformation de ce calcaire fasse un pas de plus, en effaçant complètement la trace des sphérules, et il ne restera absolument rien comme témoin des principaux faits qui ont illustré l'histoire de cette roche. Elle parviendra au terme de son évolution, sous la forme d'un calcaire cristallin inorganique. C'est le type stable vers lequel convergent, par des voies diverses, une infinité de sédiments très différents, à l'origine, au double point de vue organique et chimique.

III. **Calcaire du niveau de la gaize.** Cette roche, subordonnée au massif de la gaize oxfordienne, est absolument différente de la gaize proprement dite. L'échantillon que j'en ai étudié est originaire de Givron. Quelques grains de glauconie sont remarquables par la différenciation d'une étroite zone externe à structure fibro-radiée. Cette roche est surtout intéressante au point de vue organique. Elle renferme de volumineux prismes calcaires à section polygonale, d'inégale épaisseur, droits ou flexueux et à extrémités plus ou moins pointues. Ils sont clivés perpendiculairement à l'allongement et souvent tronçonnés. Ces corps sont tellement abondants qu'ils forment au moins la *moitié* de la roche. Ils résultent de la désagrégation de prismes de coquilles de Lamellibranches. Comme ils se signalent par des dimensions exceptionnellement grandes, et que le genre *Pinna*, fossile à ce niveau, possède des prismes très développés, je considère le test de ce Mollusque comme la source des corps en question.

Les organismes à squelette siliceux étaient représentés par des Spongiaires qui n'ont laissé que de rares spicules siliceux ou pseudomorphosés par la glauconie et la calcite.

Le ciment de ces roches est calcaréo-siliceux. La silice, sous forme d'opale indifférenciée ou globulaire, s'est substituée à du carbonate de chaux dont il reste encore de grandes plages à l'état de calcite très largement cristallisée.

Conclusions. Le groupe de la gaize oxfordienne est en réalité un complexe de roches de composition organique et chimique très variée. Il se sépare à presque tous les points de vue de celui des gaizes crétacées. Les trois termes que j'y ai distingués présentent entre eux de grandes différences dont les unes sont originelles et les autres secondaires : 1° La variété siliceuse était calcaire par son ciment ; c'est elle qui s'écarte le moins de la gaize typique. 2° La gaize calcifiée correspond au terme précédent dont la plus

grande partie de la silice a été remplacée par du carbonate de chaux. 3° La « gaize » à prismes de *Pinna* est une roche calcaire dont le ciment est en voie de silicification.

On verra plus loin, lorsque que j'aurai pu déterminer ce qui constitue le caractère fondamental de la gaize proprement dite, que seule la première variété peut, à la rigueur, être rattachée à cette famille de roches, mais à titre de formation aberrante.

II. GAIZE A *ACANTHOCERAS MAMILLARE* ET *HOPLITES INTERRUPTUS*

Syn. Gaize de Draize.

[C^1 (*pars*), *de la carte géologique détaillée de la France*]

(Pl. I, fig. 2).

Particularités stratigraphiques et répartition géographique. On désignait autrefois sous le nom de *gaize de Rethel*, un petit massif de gaize situé dans la Thiérache, à la limite des départements des Ardennes et de l'Aisne. On trouve dans cette région des sables verts argileux contenant des bancs et des nodules de gaize, le tout ayant une épaisseur d'environ 15 mètres. M. Ch. Barrois a reconnu que cette gaize, assimilée à celle de l'Argonne, comporte deux niveaux distincts : Le supérieur, renfermant les fossiles de l'assise à *Sch. inflata* et qui correspond à la gaize de l'Argonne ; l'inférieur, avec *Inoceramus sulcatus*, *H. interruptus*, etc., appartenant au Gault. M. Ch. Barrois [1] a réservé le nom de *Gaize de Marlemont* à la division supérieure, et il a appelé *Gaize de Draize* celle qui renferme les fossiles du Gault.

La gaize de Draize passe latéralement aux sables verts du Gault. Elle est cantonnée au nord du Rethélois entre Novion-Porcien et Wassigny ; on la voit en beaucoup de points, notamment à Wagnon, Grandchamp, Draize, Lalobbe, La Romagne et Rocquigny. Elle ne dépasse pas Maranwez. Elle disparaît au nord du Rethélois au point même où cesse d'exister la gaize oxfordienne à *C. Mariæ*.

La gaize de Draize (C^1) est surmontée directement par le Cénomanien (C^3), sans interposition des argiles du Gault (C^2). Les Sables de la Hardoye (C^{4b}) recouvrent même directement la gaize à *Ac. mamillare* et la ravinent profondément. Les parties les plus résistantes (fossiles, nodules de phosphate de chaux) se trouvent remaniés à la base des Sables de La Hardoye à Memphis, La Romagne, etc. (observation de M. Ch. Barrois). Il y a donc une lacune importante entre la gaize albienne et les couches qui la surmontent.

Caractères macroscopiques. La gaize du massif de Draize comporte deux variétés bien distinctes : 1° Une gaize typique légère et poreuse rentrant dans le groupe de celle de Vouziers et de Grandpré (Draize et Memphis) ; 2° une sorte de grès grossier,

1. CH. BARROIS. Mém. sur le terr. crét. des Ard. *Ann. Soc. G. N.*, vol. 5, pp. 283 et 313 (1878).

très glauconieux, à facies de tuffeau éocène (Liart et La Reupette). Certains échantillons de Liart par exemple sont identiques d'aspect aux tuffeaux de Baisieux, Malincourt, Angre, Bouchavesnes, etc. On y distingue fréquemment sur la cassure des parties plus siliceuses, très dures, lustrées et teintées en gris bleuâtre; elles passent insensiblement à la roche normale fortement colorée en vert par la glauconie.

Composition chimique. Un échantillon de la gaize de La Reupette, analysé au laboratoire d'essais de l'École des Mines, a donné les résultats suivants :

Silice soluble dans la potasse	28.3
Silice insoluble	50.6
Alumine	4.4
Peroxyde de fer	6.6
Chaux	1.6
Perte par calcination	8
Total	99.5

ÉTUDE MICROGRAPHIQUE. 1° **Minéraux.** La part qu'ils prennent à la constitution du dépôt varie beaucoup suivant la nature de la roche. Elle est considérable dans la variété à facies de tuffeau où ils représentent (quartz et glauconie) jusqu'aux 4/5 de la gaize (Liart). Cette proportion n'est pas celle des plages où les minéraux sont accumulés en quantité exceptionnelle; c'est la moyenne de toute la roche. Dans les gaizes proprement dites (Draize et Memphis), ils viennent au second rang après les organismes.

A. *Minéraux détritiques.* Le quartz est très répandu dans les gaizes de La Reupette et surtout de Liart. A son maximum de fréquence (Liart), il ne forme guère moins de la moitié du dépôt. Cette fraction descend à 1/20 au plus dans la gaize de Memphis. Le diamètre des éléments est aussi très variable. Il est de $0^{mm}1$ dans les gaizes typiques; il monte à $0^{mm}15$ pour La Reupette et à $0^{mm}23$ pour Liart. Quelques éléments atteignent presque 1^{mm} dans les deux dernières localités.

Le quartz est accompagné d'autres particules minérales telles que zircon, tourmaline, rutile, feldspath, etc.

B. *Minéraux secondaires. Glauconie.* La glauconie forme le tiers de la gaize de La Reupette et la moitié de celle de Liart; elle ne représente guère qu'un quinzième de celle de Draize et de Memphis, où le diamètre de ses éléments est de $0^{mm}1$ en moyenne.

Presque toutes les manières d'être que revêt ce minéral dans la gaize à *Sch. inflata* existe dans la « Gaize de Draize ». Comme je me propose de les étudier en détail dans la gaize de l'Argonne, je me bornerai à mentionner plusieurs d'entre elles. On trouve la glauconie à l'état de grains homogènes et de forme générale arrondie (Pl. I, fig. 2, *b*), d'enveloppes de minéraux clastiques, de grains clivés, de petits granules indépendants des organismes et de taches servant en quelque sorte de pigment au ciment. Cette substance pseudomorphose parfois les spicules de Spongiaires.

Les gaizes de Liart et de La Reupette fournissent des documents nouveaux sur

l'histoire de ce minéral. Celle de La Reupette montre des grains de grande taille, mesurant en moyenne $0^{mm}25$, mais pouvant atteindre $1/2^{mm}$ et plus. Un rapide examen permet de classer ces grains en deux catégories à peu près également représentées: La première comprend des grains à contours arrondis et d'une parfaite homogénéité (Pl. I, fig. 2, *b*, et Pl. VI, 1). La seconde est caractérisée par des grains à structure granuleuse, d'aspect botryoïde (Pl. I, fig. 2, *c*, et Pl. VI, 1) à contours profondément découpés et hérissés de tubercules. Il s'agit, comme on le voit, de différences des plus tranchées.

J'aurai plusieurs fois l'occasion de signaler des grains d'aspect verruqueux comme ceux de la seconde catégorie, soit dans d'autres gaizes, soit dans les tuffeaux. Nulle part, ils ne sont mieux caractérisés que dans la gaize de La Reupette. On en trouve qui se décomposent en granules et en petits globules presque juxtaposés et séparés par un peu d'opale. Il arrive même que de grands espaces enveloppés de toutes parts de glauconie granuleuse ne soient occupés que par le ciment avec ses microorganismes. *Ce sont des grains en voie de formation et comme frappés d'arrêt de développement.* Tel est celui de la Pl. VI, fig. 28, observé dans la gaize de Draize. *Les grains inachevés* sont surtout communs dans la gaize de Liart.

Les éléments entre lesquels ils se décomposent sont très vraisemblablement de même origine que ceux que l'on rencontre partout isolés dans le ciment ou groupés au voisinage des grains volumineux. Ces petits éléments glauconieux du ciment ont pris naissance *par une sorte de concrétionnement direct. Les grains composés* qui résultent de leur groupement ou de leur juxtaposition plus ou moins complète *sont le fruit d'une précipitation directe de la glauconie en dehors des organismes.*

Un grand intérêt s'attache à une autre manière d'être de la glauconie de la gaize de La Reupette. Elle est réalisée par des grains pourvus d'une zone externe à structure fibro-radiée, légèrement polychroïque et présentant le phénomène de la croix noire incomplète. J'en ai signalé l'existence dans la gaize à *C. Mariæ*. Je l'étudierai en détail au chapitre IV, exclusivement réservé à la glauconie.

Phosphate de chaux. J'en ai reconnu quelques éléments entièrement amorphes mesurant environ 1^{mm}.

2° **Organismes.** *Spongiaires*. Les débris de Spongiaires se répartissent entre les groupes suivants :

A. *Spicules monoaxes*. Ils se présentent sous la forme de bâtonnets fragmentaires, robustes et de grande taille, que je considère comme des tronçons de spicules quadriradiés ou comme des fragments de spicules monoaxes appartenant, pour une partie au moins, aux *Tetractinellidæ*. On trouve en outre des spicules simples, droits ou curvilignes, pointus ou arrondis aux extrémités et beaucoup plus grêles que les précédents. Ils sont nombreux dans la planche I, figure 2.

B. *Tetractinellidæ*. Quelques spicules de *Pachastrella* et de *Geodites* et quelques formes

indéterminées sont à rapporter à cet ordre, ainsi que beaucoup de spicules monoaxes.

C. *Lithistidæ*. J'ai reconnu des représentants de *Megamorina* et de *Rhizomorina*. Ce sont des formes de très grande taille dont le nombre est très limité.

D. *Hexactinellidæ*. Je n'en ai trouvé qu'un seul spicule (Draize).

Les restes de Spongiaires de ce niveau sont presque toujours fragmentaires. Leur état de conservation est très varié. Ceux qui sont en opale ont conservé un canal relativement étroit : on y observe le curieux mode de différenciation de la silice sur lequel M. Hinde [1] a appelé l'attention. On distingue à l'intérieur des spicules une multitude de corpuscules à forme de croissants et de couronnes. La transformation en calcédoine est la règle dans la gaize de La Reupette. (Le corps *a* de la figure 2 est un fragment de spicule calcédonieux ; les lettres *d* se rapportent également à des formes transformées en calcédoine.) Un commencement d'épigénie par la glauconie s'observe dans toutes les gaizes du niveau. La taille des spicules augmente au fur et à mesure que la gaize devient plus grossière; les plus grands et les plus volumineux se rencontrent dans la gaize de Liart.

La fréquence maxima des débris de Spongiaires correspond à 1/5 (La Reupette). Elle est beaucoup moindre dans les autres localités où *beaucoup de spicules ont disparu en laissant des vides*, rappelant plus ou moins exactement la forme détruite. On peut évaluer à 1/4 ou 1/5 la surface totale occupée par les vides dans la gaize de Memphis.

Radiolaires. Quelques corps à sections circulaires ou elliptiques, entièrement transformés en calcédoine, sont peut-être à rapporter à ce groupe ; mais comme aucun caractère de structure n'est apparent, je considère leur attribution aux Radiolaires comme incertaine. Il n'est pas impossible qu'ils représentent des spicules globuleux de Spongiaires.

Foraminifères. Ils manquent complètement ou ne sont représentés que par deux ou trois individus par préparation. Ils sont silicifiés et pourvus d'un test généralement mince.

Diatomées. Le nombre des individus qui présentent les caractères de Diatomées est très restreint. En réduisant en poudre les parties les plus friables de la gaize, on reconnaît parmi les éléments dissociés quelques carapaces siliceuses de forme naviculaire, courtes et larges, avec des côtes transversales très espacées. Les sections minces montrent dans le ciment une infinité de petits corpuscules parmi lesquels on distingue aux plus forts grossissements quelques formes assez analogues à celles des Diatomées. La ressemblance avec les valves de ces organismes est limitée aux traits morphologiques. Ces corps sont cristallins et présentent des teintes qui rappellent celles de la calcédoine.

3° **Ciment**. La silice seule, additionnée de matière argileuse, constitue le ciment. Elle est monoréfringente, sauf en quelques points des gaizes de La Reupette et de Liart, où la calcédonie est abondante. La calcite manque dans les coupes minces, bien que

1. G. J. HINDE. Op. cit., p. 429, Pl. 40, fig. 8 et 9 (1885).

l'analyse chimique en révèle des traces (1,6 °/₀ de chaux). Le ciment est jaune (La Reupette et Liart) ou gris pâle (Memphis et Draize). Vu l'abondance des minéraux dans les gaizes de Liart et de La Reupette, le ciment y est pour ainsi dire un élément accessoire. Il est très prépondérant à Memphis et à Draize. Plus les particules détritiques sont nombreuses et plus la distribution du ciment est irrégulière. La même préparation de Liart montre les minéraux juxtaposés en un point, et tout à côté un grand îlot de ciment jaunâtre, d'où le quartz est souvent exclu. C'est un des caractères essentiels des gaizes grossières de n'être jamais homogènes.

J'ai dit plus haut que l'emploi des plus forts grossissements met en évidence l'existence, dans le ciment, d'une infinité de corpuscules d'une extrême petitesse. Ils présentent leur maximum de fréquence dans les gaizes proprement dites. Beaucoup de ces menus éléments se résolvent en très minces paillettes incolores ou très faiblement jaunâtres, dont les plus volumineuses montrent des amorces de clivages. Je ne puis affirmer que toutes agissent sur la lumière polarisée, mais le fait est incontestable pour un grand nombre. Les plus grandes se parent de couleurs blanc jaunâtre, orangée, rouge, quelquefois violacée. Les plus ténues ne dépassent pas le gris bleu. De sorte qu'en examinant ces gaizes, entre les nicols croisés et avec de puissants objectifs, on voit les ciments les plus amorphes en apparence s'émailler des couleurs précédentes, mais avec une très grande prédominance de gris blanc.

L'extrême petitesse de ces lamelles ne permet pas qu'on les soumette à une étude détaillée. Il faut, je crois, les rapporter à une variété cristalline des silicates d'alumine groupés en minéralogie sous la rubrique « *Argiles* ». *Elles ne peuvent d'ailleurs être distinguées des paillettes cristallines des argiles sédimentaires* (argile plastique) *que l'on considère comme kaolinite.*

La *structure globulaire* du ciment d'opale dont j'aurai à parler maintes fois dans la suite n'existe que d'une façon très sporadique dans les gaizes à *Ac. mamillare.* Elle est en relation manifeste avec le développement de la calcédoine et la production des noyaux siliceux et lustrés (Liart). Très souvent le ciment a subi un commencement de différenciation que l'on peut considérer comme un état transitoire entre l'état rigoureusement amorphe et l'état globulaire. Le ciment siliceux de la gaize de Draize, par exemple, ne réagit pas encore sur la lumière polarisée, mais il est déjà découpé en petites sphérules très imcomplètement individualisées qui lui donnent un aspect quasi framboisé. Cette structure n'est visible qu'à un assez fort grossissement.

Nodules siliceux. Les sections minces pratiquées dans les noyaux siliceux de la gaize montrent qu'en ces points la roche a subi une transformation des éléments préexistants. Les spicules y sont le plus souvent calcédonieux, mais il en reste beaucoup qui, bien que noyés dans des plages de calcédoine, en sont restés à leur premier stade de fossilisation, c'est-à-dire qu'ils sont en opale partiellement transformée en croissants et couronnes. Le ciment est plus ou moins calcédonieux. La structure globulaire de

l'opale reçoit son expression la plus nette dans les parties où la calcédoine est le plus répandue. Les portions les plus siliceuses et les plus lustrées des noyaux correspondent au plus grand développement de la calcédoine ; tout le ciment y est cristallin, mais il reste une mince couronne d'opale plus ou moins globulaire autour des minéraux et des organismes. Il importe de remarquer que les *plages calcédonieuses* dont la composition initiale ne différait en rien de celles qui ne sont pas cristallisées *ne renferment plus de trace de matière argileuse.* Cette substance en a été éliminée. Les nodules siliceux ne se comportent pas comme des corps étrangers inclus dans la gaize. Ils en procèdent, en partie, *par différenciation d'éléments répandus dans toute la roche avec la même fréquence.* Et comme ce phénomène se produit sans aucune régularité, s'interrompant en un point pour réapparaître un peu plus loin, on s'explique la soudure particulièrement intime des parties siliceuses avec la masse de la gaize. Elles s'étendent d'ailleurs au-delà des limites qui leur sont assignées par l'œil nu. Ces nodules rentrent dans la catégorie des corps que les géologues anglais appellent *cherts.*

Résumé. La gaize à *Ac. mamillare* comporte deux types pétrographiques distincts : l'un riche en minéraux de transport et en glauconie, l'autre pauvre en particules détritiques. Le premier passe à une roche tertiaire dont il peut réaliser parfaitement le type (Liart) et que je décrirai sous le nom de tuffeau. Le second est une gaize typique comme celle de l'Argonne. La caractéristique organique de ces roches est surtout fournie par les débris de Spongiaires siliceux. Aux points de vue chimique et minéral la présence d'une forte proportion de silice soluble dans la potasse (28.3 °/₀) et celle d'argile biréfringente sont leurs traits dominants.

III. GAIZE A *SCHLŒNBACHIA INFLATA*

(C³, *de la Carte géologique de la France*).

(Pl. I, fig. 3 et 4 ; Pl. II, fig. 1).

Distribution géographique et caractères stratigraphiques. La gaize à *Sch. inflata* forme une bande curviligne qui commence au nord du département de l'Aisne, traverse les Ardennes, la Meuse et s'interrompt dans la Marne pour réapparaître dans l'Yonne. Le bombement du Pays de Bray l'a ramenée au jour à l'intérieur du Bassin de Paris. On la connaît encore au Cap de la Hève et sous Paris.

Les travaux déjà cités de Sauvage et de Buvignier, Meugy et M. Nivoit, puis de M. Ch. Barrois, ont fait connaître un massif puissant de gaize désigné sous le nom de *Gaize de l'Argonne.* Il débute au N. de Vouziers, près d'Attigny, et va en augmentant graduellement d'épaisseur vers le sud. Dans le canton de Grandpré, la gaize est connue sur une épaisseur de 80ᵐ (Ch. Barrois) ; elle atteint sa puissance maxima (105ᵐ) à Montblainville (canton de Varennes) en même temps qu'elle se développe sur une

largeur de près de 20 kilom. (région de Clermont). Elle constitue le sous-sol des grandes forêts de l'Argonne et des Ardennes et forme des escarpements qui dépassent 300^{m} dans le canton de Varennes. Le profond défilé des Islettes est ouvert dans la gaize de l'Argonne. Au sud de Clermont, la bande se rétrécit rapidement, la proportion d'argile augmente, la puissance de l'étage diminue, le relief du sol s'atténue et la gaize passe à la craie glauconieuse d'une part, et au Gault de l'autre (Bettancourt, Marne). Bientôt la place de la gaize n'est plus marquée que par une argile sableuse micacée, mesurant 25^{m} d'épaisseur [1] (région du Der). La gaize de l'Argonne se coince et disparaît aussi rapidement vers le nord que vers le sud ; ce n'est pas une formation spéciale à faune propre, mais un dépôt de forme lenticulaire subordonné à une masse argileuse dont il renferme les fossiles. Aux environs du grand massif de l'Argonne, la gaize donne naissance à quelques lambeaux isolés. Ses caractères lithologiques y sont notablement modifiés ; elle est plus dure et plus siliceuse, et ressemble quelquefois à un « grès » blanc à points verts.

La gaize de l'Argonne (C^{3}) repose partout sur l'argile du Gault (C^{2}). M. Ch. Barrois a reconnu qu'elle est surmontée directement par le niveau des Sables de La Hardoye (C^{4b}) sans interposition de la Marne de Givron (C^{4a}) qui fait défaut partout dans l'Argonne.

Après une courte interruption dans la région de Rethel, la gaize réapparaît à la limite des départements des Ardennes et de l'Aisne. Elle y forme le petit massif autrefois désigné sous le nom de *Gaize de Rethel*, et dans lequel M. Ch. Barrois a reconnu deux divisions : la gaize albienne ou *Gaize de Draize* et la *Gaize de Marlemont*, qui est seule synchronique de celle de l'Argonne. La gaize de Marlemont apparaît au-delà de Rethel, atteint son plus beau développement à Marlemont et ne dépasse pas la latitude d'Hirson. Dans le canton d'Aubenton, elle n'est déjà plus qu'à l'état de nodules noyés dans un sable argileux grisâtre représentant la partie dominante de l'assise. Il est très remarquable qu'à Maranwez même se trouvent représentées la gaize oxfordienne et les deux gaizes crétacées.

Dans la région du Rethélois, comprise entre les massifs de Marlemont et de l'Argonne, la place de la gaize est marquée par un lit de marnes argileuses gris noir, et le plus souvent par des nodules de phosphate de chaux remaniés à la base de la Marne de Givron (C^{4a}). La gaize de Marlemont (C^{3}) est recouverte directement par les Sables de La Hardoye (C^{4b}) sans interposition de la Marne de Givron (C^{4a}). Il y a donc une lacune entre les deux dépôts comme dans l'Argonne.

On doit à M. de Lapparent la connaissance de la gaize dans le Pays de Bray. Elle y forme un étage dont le développement est de 40 à 45 m. Il passe au Gault à sa partie

1. FUCHS, Légende de la feuille de Vassy (1883).

inférieure; les 10 ou 15 mètres supérieurs sont formés d'une roche qui a tous les caractères de la gaize [1].

M. de Lapparent a rapporté à la gaize 2 mètres d'une roche grise très dure, rude au toucher, formant le substratum de la craie glauconieuse au Cap de la Hève [2].

Le sondage artésien de la place Hébert, à Paris, a traversé une gaize bleue, absolument identique à celle de la partie septentrionale du Bray, et semblable à la gaize qui forme la base du massif de l'Argonne dans les vallées des Ardennes et de l'Argonne [3].

Je considèrerai successivement la gaize : 1° dans l'Argonne, 2° dans la Thiérache (massif de Marlemont), 3° dans le Bray et au Cap de la Hève et 4° dans l'Yonne.

1° GAIZE DE L'ARGONNE A *Schlœnbachia inflata*

(Pl. 1, fig. 3 et 4)

Les échantillons soumis à l'analyse micrographique sont presque tous originaires de Grandpré, Vouziers et Montblainville. La description que j'ai donnée de la gaize (p. 15) est celle de la roche de l'Argonne. Il n'y a donc pas lieu d'en examiner ici les caractères et les propriétés.

Composition chimique. Un échantillon de gaize de Vouziers, analysé au laboratoire d'essais de l'École des Mines, a donné les résultats suivants :

Silice soluble dans la potasse	11.3
Silice insoluble	64.8
Alumine	7.2
Peroxyde de fer	5
Chaux	2.6
Perte par calcination	8.6
Total	99.5

Dans toute son épaisseur et partout où on peut l'examiner, cette roche offre des caractères identiques. D'après Sauvage et Buvignier [4], elle est un peu plus argileuse et un peu plus grise à la partie inférieure et se charge de matière calcaire à la partie supérieure de l'étage.

La première analyse de la gaize de l'Argonne remonte à 1842. Un échantillon prélevé à la partie moyenne de l'étage a fourni à Sauvage et Buvignier 56 % de silice gélatineuse et 7 % d'argile sans trace de carbonate de chaux. Une gaize de Sommeille (Meuse), analysée en 1852 [5], a fourni 8 % de silice gélatineuse, 17,78 % d'argile. Un troisième échantillon, originaire de Grandpré, contient, d'après Meugy et M. Nivoit [6], 25,65 % de silice soluble et 16,5 % d'alumine sans carbonate de chaux. Meugy et M. Nivoit ont

1, 2 et 3. DE LAPPARENT Le Pays de Bray. *Mém. Cart. Géol. détail. de la Fr*, pp. 67 et 70 (1879).

4. SAUVAGE et BUVIGNIER. Stat. min. et géol. du dép. des Ardennes, p 359 (1842).

5. BUVIGNIER. Stat. géol. du départ. de la Meuse, p. 537 (1852).

6. MEUGY et NIVOIT. Stat. agr. de l'arr. de Vouziers, p. 115 (1873).

appelé l'attention sur le fait que la teneur en silice gélatineuse est loin d'être constante. Suivant eux, elle varie « sans paraître liée à aucun caractère minéralogique » (p. 114). Ils ont cité à l'appui de la première proposition l'analyse de quatre gaizes dont les teneurs en silice gélatineuse sont comprises entre 5,4 et 26.65 %.

ÉTUDE MICROGRAPHIQUE. 1° **Minéraux.** *M. détritiques.* Les minéraux clastiques entrent dans la composition de la gaize de l'Argonne dans la proportion de 1/2 à 1/10. Ce sont, par ordre de fréquence, le quartz (Pl. I, fig. 3 et 4, *a*), mica blanc, orthose, feldspath plagioclase, magnétite, tourmaline, zircon, rutile, etc. Le diamètre moyen des éléments de quartz est d'environ 1/10 de millimètre. La distribution des minéraux est sujette à de grandes inégalités, non-seulement du haut en bas de l'assise, et suivant la localité considérée, mais encore dans un échantillon déterminé. La proportion un demi qui exprime leur fréquence maxima n'est vraie que pour les plages d'une section où les éléments de transport sont le plus nombreux ; c'est par exception qu'elle peut être considérée comme moyenne de tout un échantillon.

Minéraux secondaires. Les principaux sont la glauconie, la pyrite et la limonite.

Glauconie. Ce minéral revêt plusieurs formes.

A. Grains homogènes, plus ou moins arrondis (fig. 3, *b*), dont quelques-uns présentent vaguement des contours de Foraminifères. La plus grande partie de la glauconie de la gaize de l'Argonne rentre dans cette catégorie.

B. Grains parcourus par des clivages plus ou moins réguliers, parallèles ou non. Ils se font remarquer par leur polychroïsme et les teintes très vives de biréfringence dont ils se parent entre les nicols croisés. Je décrirai les remarquables propriétés de cette variété de glauconie très rare, dans le chapitre IV consacré à l'étude monographique de ce minéral.

C. Glauconie encroûtant les grains de quartz et de feldspath et pénétrant dans les clivages de ces derniers.

D. Glauconie homogène en grains moulant les éléments de transport. Tel est celui de la planche VI, n° 31, soudé à deux grains de quartz dont il épouse rigoureusement une partie de leurs contours irréguliers. Cette manière d'être est exceptionnelle.

E. Grains excessivement rares, très remarquables par la présence de fines inclusions indéterminées, sous forme de bâtonnets simples ou maclés (Pl. VI, n° 14).

F. Le ciment montre, de-ci, de-là, des taches glauconieuses qui se distinguent des grains proprement dits, en ce qu'ils ne sont pas comme ces derniers des éléments nettement limités et indépendants du ciment. Il n'est guère possible de dire où commencent ces taches et où elles finissent. La glauconie qui les forme se comporte comme un pigment inséparable du ciment.

Le degré de fréquence de la glauconie est plus variable encore que celui des particules de transport. Il est au maximum de 1/8, et parfois il est inférieur à 1/20 (Vouziers).

Pyrite. Certaines gaizes admettent *l'existence de la pyrite en notable proportion marquant l'emplacement de spicules siliceux disparus* (Grandpré), ou existant pour son propre compte à l'état de particules de toutes dimensions et de forme irrégulière (Vouziers).

Limonite. Elle teinte accidentellement le ciment comme en *c*, fig. 3. Ce minéral peut être associé à la pyrite comme en *e*, fig. 4.

2° **Organismes.** La répartition des débris d'organismes est irrégulière. Pour une même localité, il existe d'énormes différences suivant les échantillons : telle gaize de Vouziers est formée de débris de Spongiaires dans la proportion de 1/2 environ ; telle autre en renferme à peine 1/15.

Spongiaires. Leur existence a été signalée dans les gaizes de Montblainville et de Grandpré par M. Hinde en 1885 [1].

Les spicules d'Eponges forment jusqu'à la moitié de la gaize (Vouziers, Grandpré et Montblainville), mais en général leur rôle est plus effacé, et dans quelques cas ils sont à peine représentés. Les figures 3 et 4 de la Pl. I donnent une idée de leur fréquence moyenne. Les formes que j'ai observées et dont quelques-unes sont représentées sur la fig. 1 ci-contre se répartissent entre les groupes suivants :

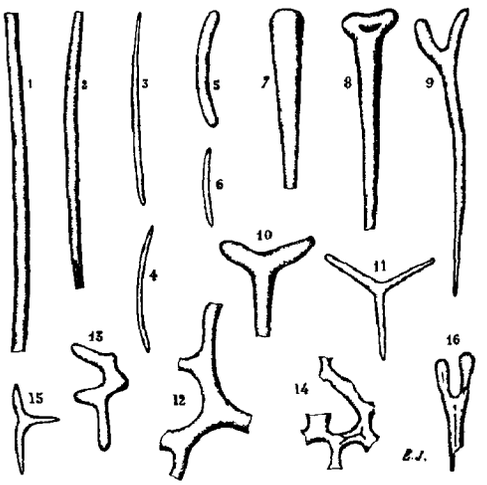


Fig. 1. Spicules de la gaize de l'Argonne (Grossissement 35 diamètres)

A. *Spicules monoaxes.* Ils prédominent de beaucoup et sont de grande taille, très robustes, ou petits et plus ou moins grêles. Les spicules monoaxes sont :

a. cylindriques, droits ou arqués (1 et 5).
b. fusiformes, droits ou courbes avec extrémités plus ou moins effilées (2, 4 et 6).
c. coniques (7).

Une partie de ces formes relèvent probablement des *Tetractinellidæ.*

B. *Tetractinellidæ.* Les spicules à quatre rayons sont en général peu répandus (8-11). J'ai reconnu quelques représentants du genre *Pachastrella* (Pl. I, fig. 4, *b*) et notamment un individu qu'il faut probablement rapporter à *Pachastrella Haldonensis* Carter. Cette espèce est selon M. Hinde répandue dans le Greensand inférieur et supérieur d'Angleterre. Il existe dans presque toutes les sections minces et surtout dans celles qui renferment beaucoup de vestiges de Spongiaires des masses sphériques ou réniformes

1. G. J. HINDE. On Beds of Sponge-remains, etc. *Ph. Trans. of Roy. Soc.*, part. II (1885).

généralement calcédonieuses qui rappellent les corps massifs réunis en grand nombre dans la zone corticale de certaines *Tetractinellidæ*.

C. *Lithistidæ*. Sauf quelques exceptions, cet ordre comporte peu de représentants dans les échantillons étudiés ; ils se répartissent entre les familles des *Tetracladina* (12 et 14) et des *Megamorina* (15 ?). Beaucoup de formes de ce groupe n'ont pas été figurées [1].

D. *Hexactinellidæ*. Je n'en ai reconnu que de très rares vestiges très incomplets et très robustes.

La très grande variété des formes monoaxes est le trait essentiel et caractéristique de l'ensemble des restes de Spongiaires des gaizes de l'Argonne.

Mode de fossilisation des spicules. A. Le canal est légèrement élargi, continu ou interrompu. Il est occupé par de l'opale, plus rarement par de la glauconie et quelquefois par un mélange des deux substances. Parfois de petites perles d'opale sont légèrement attachées au canal rempli par de la silice isotrope. Plus rarement le canal est jalonné par de petites boules ou cylindres de pyrite. La matière même du spicule est toujours de l'opale différenciée avec croissants et couronnes (Pl. I, fig. 4, *c*). Le cas de spicules transformés en calcédoine avec fin canal d'opale et de glauconie est rare (on en voit plusieurs en section transversale dans la fig. 4, *d*).

B. Le canal est fortement élargi avec le même remplissage que dans le cas précédent ; il envahit plus ou moins le spicule (fig. 3, *d*). Quant au spicule, il est presque toujours calcédonieux ; dans le cas de grande extension du canal, la zone calcédonieuse est réduite à une mince couronne.

C. Tout le spicule est calcédonieux (fig. 3, *e*, section transversale). Les contours en sont nets et limités par de l'opale globulaire dont les éléments s'avancent plus ou moins à l'intérieur du spicule en lobant finement ses bords. Beaucoup d'individus sont en cet état dans la fig. 4 (voir notamment *b*).

D. Les restes de Spongiaires, siliceux à l'origine, sont parfois transformés en pyrite. Les *spicules pyriteux* sont très fréquents dans plusieurs gaizes de Grandpré. Un échantillon très riche en débris d'Éponges en montre au moins la moitié à l'état pyriteux ; et comme on trouve des individus intacts à côté d'autres partiellement ou complètement transformés, il n'y a pas l'ombre d'un doute que les bâtonnets pyriteux ne dérivent des Spongiaires.

E. La destruction totale ou partielle des spicules dont l'emplacement est aujourd'hui marqué par des *vides* s'observe dans des échantillons de Grandpré, Montblainville et Vouziers. M. Hinde en avait constaté la présence dans la gaize de Grandpré.

Tels sont les états de conservation des spicules en les réduisant aux plus essentiels. Il importe de remarquer que les terminaisons tronquées des individus polyaxes de la

1. 15 et 16 sont indéterminées.

figure 1 sont loin d'être toutes d'origine fragmentaire. La plupart résultent de la section de formes complètes en confectionnant les préparations.

Radiolaires. Leur nombre est restreint. J'ai reconnu des formes appartenant à deux ordres : *Sphæroida* et *Discoidea*. Au premier se rapportent les formes sphériques ayant conservé leurs pores. Ce sont des *Liosphærida* (G. *Cenosphæra*). Les *Discoidea* sont représentés par quelques *Porodiscus*, caractérisés par l'existence d'un très grand nombre de lames concentriques, qui sont le plus souvent équidistantes. La coquille des *Porodiscus* est en opale comme celle des *Liosphærida*.

Il est à remarquer que si les *Cenosphæra* étaient remplis de calcédoine et transformés eux-mêmes en cette matière, ils se présenteraient comme maints globules calcédonieux qui les accompagnent, et dont j'ai parlé à propos des Spongiaires. Il se peut donc que le nombre de Radiolaires ait été originellement moins restreint que ne l'indiquent les individus intacts.

Foraminifères. Les gaizes exclusivement siliceuses en sont complètement dépourvues. Ils apparaissent et se multiplient rapidement dans les variétés un peu calcaires et au fur et à mesure que la teneur en carbonate de chaux augmente. Leur test est en carbonate de chaux et exceptionnellement en opale. Ces organismes sont petits, à coquille mince; ils n'ont aucune relation avec la glauconie développée dans la même roche. J'ai reconnu *Textularia, Globigerina*, etc.

Diatomées. Je pourrais répéter, à propos de ces Algues, ce que j'ai dit en étudiant la gaize à *Ac. mamillare*. Le nombre des corps qui présentent la structure des valves de Diatomées est très limité et beaucoup de sections minces en paraissent dépourvues. On ne peut bien montrer leur existence qu'en dissociant les éléments de la roche. Celles que j'ai reconnues sont siliceuses. Comme dans la gaize albienne, il existe dans le ciment quantité de particules cristallisées de dimensions très exiguës dont la forme, vue en section mince, rappelle celle de certaines Diatomées, mais qu'on ne peut en aucune façon rattacher à ces organismes, par suite de l'absence de toute structure.

3°. **Ciment.** Le ciment est gris jaunâtre et souvent d'aspect argileux sale. Quand on examine les préparations de gaize avec un grossissement de 50 diamètres, par exemple, on voit les éléments de la roche réunis par un ciment généralement abondant, quoique d'importance variable, en raison de la proportion si changeante des minéraux et des organismes. Ce ciment est souvent très inégalement distribué. Ici, il occupe les espaces étroits que laissent entre eux les minéraux et organismes; là, il se développe brusquement et donne naissance à de larges îlots, pauvres en quartz et en spicules de Spongiaires. Une même préparation fournit tous les exemples de pareils changements.

A Grandpré et Montblainville, le ciment est formé d'opale gélatinoïde et d'argile, du moins pour les échantillons que j'ai étudiés. C'est à peine si l'on peut reconnaître de-ci, de-là quelques particules calcaires extrêmement ténues. A Vouziers, un seul et

même bloc de gaize fournit des préparations à ciment exclusivement siliceux et argileux ou calcaréo-siliceux et argileux. Dans ce dernier cas, on voit la calcite à l'état d'éléments à contours *rongés*, longs de quelques μ, répartis très uniformément au sein du ciment. La trame de la roche reste siliceuse et argileuse. En quelques points les particules calcaires se multiplent et donnent naissance à de petites plages plus calcaires que siliceuses. C'est dans ces milieux que les Foraminifères se rencontrent de préférence. Leur test est toujours intact et l'intérieur des loges est occupé par du calcaire ou par un mélange de cette substance et de silice.

Avec l'aide de forts objectifs, on reconnaît que le ciment renferme une prodigieuse quantité de corpuscules, pour la plupart invisibles aux faibles grossissements; ils présentent les mêmes caractères que dans les gaizes oxfordiennes et albiennes. L'échantillon de Vouziers, dont j'ai indiqué plus haut la composition, accuse une teneur de 7,2 % d'alumine correspondant à une très notable proportion d'argile. Sauvage et Buvignier ont trouvé 17,78 % d'argile dans une gaize de Sommeille. Meugy et M. Nivoit ont signalé 16,5 % d'alumine dans un échantillon de Grandpré. Ces chiffres prouvent qu'un rôle important peut être dévolu à l'argile. Or le nombre des corpuscules en question est d'autant plus grand que la gaize est plus argileuse. Vient-on à examiner entre les nicols croisés les préparations des échantillons les plus riches en matière argileuse, on est frappé de *l'identité que présentent les plages dépourvues de minéraux avec les sections minces d'argile plastique.* Le phénomène de polarisation chromatique y est très apparent. L'ensemble se résout en un magma imprégné de matière amorphe qui, pour une rotation complète des nicols se pare quatre fois d'une teinte gris bleu ou gris blanc, d'aspect nuageux. Cette teinte sert pour ainsi dire de fond à d'innombrables paillettes cristallines dont il a été question plus haut et qui polarisent avec des couleurs parfaitement tranchées. Il y a probablement association dans cette roche, comme dans les argiles sédimentaires proprement dites, de différentes espèces de silicate d'alumine hydraté, l'un à l'état de paillettes nettement cristallisées, l'autre ne se laissant pas décomposer en ses éléments constituants, et agissant sur la lumière polarisée comme une matière cristalline imprégnée d'une substance colloïdale, ou si l'on veut comme un corps placé dans un état intermédiaire entre l'état cristallin et l'état amorphe.

Lorsque les spicules sont tous ou presque tous calcédonieux comme à certains niveaux de la gaize de Vouziers et de Grandpré, leurs contours sont mamelonnés ou lobés; des renflements figurant une demi-sphérule font hernie en grand nombre dans la calcédoine du spicule; on trouve par places des globules nettement formés. Dans ce cas, l'opale tient une grande place dans le ciment.

Le ciment de certains échantillons, vu à de forts grossissements, montre l'esquisse d'une infinité de formes globulaires qui n'ont encore acquis aucune individualité. Il n'y a là que l'amorce d'une différenciation, ailleurs poussée très loin. L'état globulaire est

parfois nettement réalisé (Pl. I, fig. 3 et 4), mais il ne s'étend à de grandes plages que par exception.

En résumé, le ciment est formé de silice monoréfringente toujours intimement associée à l'argile, additionnée dans certains cas de carbonate de chaux peu abondant (Vouziers) ou de calcédoine (Grandpré).

Nodules siliceux. L'existence de la calcédoine indépendante des microorganismes n'est évidente que dans les gaizes riches en spicules transformés en calcédoine. Les points calcédonieux correspondent aux nuages bleuâtres qui passent à des rognons siliceux d'un gris bleu, fondus dans la masse encaissante et qu'il est impossible d'en détacher par le choc. Ces nodules sont en grande partie le résultat de la transformation totale en calcédoine de nombreux restes organiques originellement siliceux, et de la cristallisation plus ou moins complète du ciment dont la composition initiale sera déterminée plus loin. Si les rognons n'ont pas de limite bien arrêtée quand on les examine à l'œil nu, leur soudure avec la roche apparaît infiniment plus intime encore dans les plaques minces ; ils passent à la gaize par les transitions les plus insensibles. Le nodule siliceux a trouvé en place une grande portion de la matière dont il est formé. Il diffère en cela de la plupart des silex qui résultent presque dans leur totalité de la concentration par places de silice disséminée partout dans un sédiment calcaire.

On ne trouve plus trace d'argile dans les plages envahies par la calcédoine.

Conclusions. Les principales variétés à distinguer dans les gaizes de l'Argonne sont les suivantes :

1° *Gaize normale.* Elle est pauvre en minéraux clastiques et renferme seulement quelques unités % d'alumine et de chaux.

2° *Gaize argileuse.* Ex.: gaize à *Sch. inflata* de Vouziers renfermant 76,1 de silice totale, 7,2 d'alumine et 2,6 de chaux ; gaize de Sommeille (Meuse) qui, d'après Sauvage et Buvignier, renferme 17,78 % d'argile ; une gaize de Grandpré qui contient d'après Meugy et M. Nivoit 16,5 % d'alumine et aucune trace de carbonate de chaux.

3° *Gaize calcarifère.* Ex. : certaines gaizes à Foraminifères de Vouziers.

Les variétés les plus riches en quartz forment des termes de passage à la *gaize quartzeuse* que j'étudierai plus loin.

En pratique, il est parfois difficile d'enfermer ces variétés dans des limites précises. Au point de vue organique, les différences tiennent à la plus ou moins grande fréquence de débris de Spongiaires.

2° GAIZE DU MASSIF DE MARLEMONT, A *Schlœnbachia inflata*

Les échantillons qui m'ont servi à préparer cette étude sont tirés des localités suivantes : Marlemont, La Houssoye et La Canogne (Ardennes) ; Foigny et La Cloperie (Aisne).

Conditions de gisement. C'est dans les rues de Marlemont et dans les chemins creux

des environs que la gaize dite de Marlemont s'offre avec son plus beau développement. Elle est « formée par des sables verts argileux, contenant des bancs et des nodules de grès tuberculeux, léger, très siliceux, lustré, gris blanchâtre ou bleuâtre et ne renfermant que de très petits grains de glauconie [1] » ; leur épaisseur moyenne est de 15 m. Plus au nord, dans le canton d'Aubenton, « un sable argileux, grisâtre devient la roche dominante : la gaize n'est plus qu'à l'état de nodules qui sont même de véritables *cherts* » (Ch. Barrois, p. 315.)

Caractères lithologiques. Les caractères que j'ai donnés pour la gaize en général s'appliquent à celle de Marlemont ; mais, tandis que dans le massif même de l'Argonne, la gaize présente des caractères pétrographiques assez constants, malgré l'importance et l'étendue du dépôt, il en est ici tout autrement. Les différentes variétés lithologiques que l'on peut distinguer dans celui de Marlemont se groupent autour de deux termes bien distincts, comme c'est le cas pour la gaize à *Ac. mamillare* de la même région. L'un est le type gaize proprement dit, que réalisent parfaitement des échantillons de La Cloperie, de La Guinguette et d'Aubenton, recueillis par MM. Gosselet et Ch. Barrois : c'est la roche relativement fine, légère, poreuse et tendre de l'Argonne. L'autre s'en écarte complètement par la grosseur de son grain, par l'existence de nombreux éléments glauconieux de grande taille, par une dureté, une compacité et une densité beaucoup plus grandes (Foigny et La Houssoye). J'ai signalé l'analogie frappante de certaines gaizes albiennes (La Reupette et surtout Liart) avec des tuffeaux landéniens. La parenté des gaizes grossières à *Sch. inflata* du massif de Marlemont avec les mêmes tuffeaux est également des plus manifeste. On verra bientôt dans quelle mesure les caractères microscopiques confirment ce rapprochement.

Composition chimique. Un échantillon analysé au laboratoire d'essais de l'École des Mines a donné les résultats suivants :

Silice soluble dans la potasse	20,6
Silice insoluble	68,4
Alumine	1
Peroxyde de fer	3
Chaux	1,3
Perte par calcination	5,6
Total. . . .	99.9

ÉTUDE MICROGRAPHIQUE. 1° **Minéraux.** *M. détritiques.* La proportion de minéraux clastiques est de 1/4 à 1/12. Leurs dimensions sont sujettes à de grandes variations. A La Houssoye, le quartz mesure en moyenne $0^{mm}22$; le diamètre moyen descend à $0^{mm}13$, à La Canogne, La Cloperie et Marlemont. La gaize de Marlemont, et surtout celle d'Aubenton se signalent tout spécialement par leurs grains de quartz non calibrés. On observe, par exemple, un élément mesurant $0^{mm}7$ à côté d'un autre n'ayant que $0^{mm}08$. Toutes Les

1. Ch. BARROIS. Mém. sur le terrain crét. des Ardennes, *Ann. Soc. G. N.*, vol. 5, p. 314 (1878).

espèces minérales signalées dans la gaize de l'Argonne sont représentées dans celle de Marlemont.

Minéraux secondaires. Glauconie. On rencontre ce minéral aux différents états déjà signalés dans la gaize de l'Argonne, tels que grains homogènes de forme générale arrondie, grains clivés et enduit sur les minéraux. A côté de ces manières d'être, il convient de signaler plus particulièrement les suivantes :

A. On trouve dans les gaizes de La Canogne et de Foigny de volumineux grains d'aspect concrétionné, à contours très irréguliers, se décomposant parfois en petites particules de dimensions inégales entre lesquelles s'interpose l'opale du ciment. J'en ai signalé de semblables dans la gaize à *Ac. mamillare* de La Reupette (p. 28). Les grains de cette catégorie prédominent dans la gaize de La Canogne.

B. La plupart des grains de La Houssoye montrent une zone externe très mince, continue ou interrompue, à structure fibro-radiée, comme certains éléments glauconieux de la gaize de La Reupette. Les grains chez lesquels on observe cette différenciation sont très sensiblement polychroïques dans la portion clivée, et montrent, entre les nicols croisés, les amorces de quatre branches d'une croix noire interrompue dans le grain.

C. La glauconie affecte encore dans ces roches la forme de petits granules plus ou moins réguliers, distribués au hasard dans le ciment, et celles de taches à limites indécises faisant corps avec le ciment. Mais il y a ici un terme de complication de plus que dans les gaizes précédemment étudiées, par suite de la structure globulaire qui envahit le ciment, comme à La Cloperie par exemple. Les taches glauconieuses qui, dans une préparation de gaize de cette dernière localité, se montrent avec leurs caractères ordinaires, dans les plages non modifiées, se mamelonnent plus ou moins complètement, dans celles où la structure globulaire est esquissée ou largement développée. Parfois même la glauconie pigmente les globules d'opale.

D. La glauconie de la gaize du massif de Marlemont est très remarquable par les minéraux étrangers qu'elle renferme. Les inclusions quartzeuses sont assez communes. Quelques-unes sont remarquables par la grosseur des enclaves aussi volumineuses que les grains de quartz libres dans le ciment. On voit exceptionnellement le cas de grains de quartz entourés d'une mince auréole de glauconie, dilatée en un point, de façon à donner une apophyse glauconieuse aussi volumineuse que les grains libres. Beaucoup d'éléments de glauconie de la gaize de Foigny renferment un ou plusieurs cubes de pyrite cubique (Pl. VI, fig. 11 et 12).

Le maximum de fréquence de la glauconie est atteint dans la gaize de La Houssoye et de Foigny, où elle forme de 1/3 à 1/4 de la roche. Cette proportion se réduit à 1/5 pour Marlemont et diminue encore pour La Cloperie; enfin ce minéral n'est plus représenté que par quelques grains à La Canogne. Les dimensions de ses éléments sont liées à celles du quartz qui lui est associé.

2° **Organismes.** *Spongiaires.* Quelques-unes des formes que j'ai observées sont réunies sur la figure 2. Les groupes représentés sont les suivants :

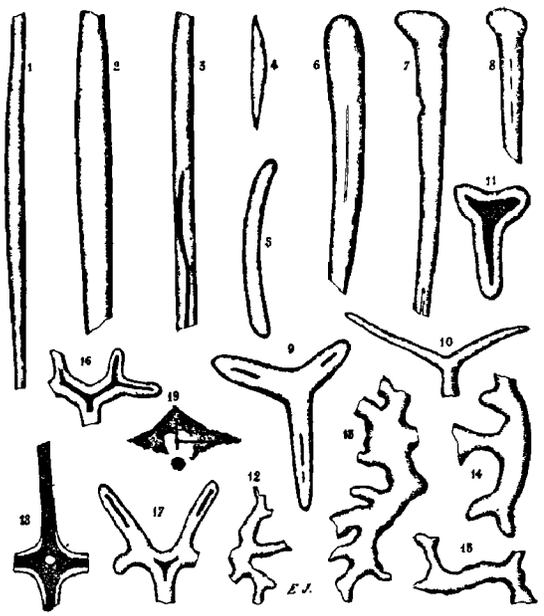


Fig. 2 Spicules de la gaize du massif de Marlemont (1)
(Grossissement 40 diam.)

A. *Spicules monoaxes.* On trouve dans les gaizes du massif de Marlemont l'association de grands spicules monoaxes et de petites baguettes que j'ai signalées dans celles de l'Argonne. La figure 2 ne montre guère que les premiers en forme de cylindres, de fuseaux, d'épingles, les uns droits, les autres arqués (1-8). Le nombre des formes monoaxes est très grand ; elles appartiennent aux *Monactinellidæ* et aux *Tetractinellidæ*. Je n'ai pu faire le départ de ce qui revient à chacun de ces ordres.

B. *Tetractinellidæ.* Les spicules tétraradiés (9-11) sont toujours peu nombreux, parfois même d'une grande rareté. J'ai reconnu le genre *Pachastrella.* (Les formes 16 et 17 se rapportent aux *Tetractinellidæ* ou aux *Lithistidæ*.

C. *Lithistidæ.* Étant donné le grand nombre de formes polyaxes qui se rapportent à ce groupe, on peut affirmer que les *Lithistidæ* ont été prépondérants dans la région de Marlemont. Trois familles sont représentées : les *Rhizomorina*, les *Megamorina* et les *Tetracladina*. A la première, je rapporte les formes 12, 13 et 15 (?). Le spicule 14 appartient à la seconde. Les *Tetracladina* comportent quelques spicules dermiques de forme très compliquée (La Cloperie).

D. *Hexactinellidæ.* La proportion de spicules de ce groupe reste aussi faible que dans la gaize de l'Argonne. Il est exceptionnel qu'on en trouve deux dans la même préparation. La gaize d'Aubenton fournit au contraire quelques sections minces remarquables par la fréquence des formes hexaradiées. L'une d'elles montre un grand treillis à grandes mailles, composé par de nombreux spicules soudés remarquables par leur grande taille et leur forme massive. Ils dérivent d'*Hexactinellidæ* à squelette continu (*Dictyonina*). L'état de conservation des spicules de ce groupe est généralement très défectueux ainsi qu'en témoigne la figure 2 (18 et 19).

Les débris de Spongiaires de la gaize du massif de Marlemont sont remarquables à deux points de vue:

(1) La place du canal élargi est marquée par un trait double, quand elle est occupée par de la silice ; elle est teintée en noir, pour la glauconie.

a. Ils sont toujours très répandus et représentent souvent à eux seuls le tiers de la roche (La Cloperie, etc.); la portion peut descendre à 1/6 et même au-dessous.

b. Dans les gaizes de l'Argonne les spicules monoaxes sont au premier rang et les formes tétraradiées viennent ensuite mais avec un degré de fréquence beaucoup moindre. Les spicules de *Lithistidæ* sont des éléments accessoires. Ici les *Lithistidæ* prédominent souvent et fournissent la meilleure caractéristique du massif; les individus tétraradiés sont généralement plus clairsemés que dans la gaize de l'Argonne.

Le volume et la taille des spicules sont d'autant plus grands que la roche est plus grossière. Leurs différents états de conservation sont ceux que j'ai notés avec quelque détail à propos de la gaize de l'Argonne. Ils sont le plus souvent calcédonieux et leur cristallisation a fréquemment entraîné celle du ciment ambiant (Foigny, etc.). Parmi les formes à canal glauconieux, je désire mentionner plus spécialement celle de la figure 2, n° 3; la glauconie occupe une partie du canal et s'avance ensuite dans le corps même du spicule. L'élargissement du canal, occupé par la glauconie, peut être poussé très loin ainsi que le montre la forme 18.

Les *vides* dus à la disparition des spicules sont rares, sauf pour quelques gaizes comme celle d'Aubenton qui en est criblée, et de La Houssoye où ils sont très clairsemés.

Radiolaires. L'existence de ce groupe est incertaine.

Foraminifères. Ils manquent complètement dans beaucoup de préparations et sont représentés par un ou deux individus dans les autres. La part qu'ils prennent à la composition de la roche est pour ainsi dire nulle. Leur test est toujours siliceux et parfois calcédonieux, alors que la silice du ciment est de l'opale.

Diatomées. Ce que j'ai dit au sujet de ces organismes dans la gaize de l'Argonne est applicable sans restriction aucune à la gaize du massif de Marlemont.

3° **Ciment.** Dans les gaizes typiques (Aubenton) il présente tous les caractères du ciment de la gaize de l'Argonne. Chez les autres, il rappelle celui des gaizes de Liart et de La Reupette à *Ac. mamillare*. En aucun cas, le carbonate de chaux ne prend part à sa formation. La silice, sous toutes ses formes, en est avec l'argile, l'élément fondamental. Dans maints échantillons (La Cloperie, La Guinguette, Marlemont, Foigny), le ciment montre l'association, non accidentelle mais étendue à toute la roche, d'opale indifférenciée, d'opale globulaire et de calcédoine qui donnent naissance aux nodules siliceux des autres gaizes. Cette particularité s'accorde très bien avec la description lithologique que M. Ch. Barrois a donnée de ce niveau. La transformation en *chert* est ici amorcée sur une vaste échelle.

La gaize de La Cloperie se signale tout spécialement par son opale découpée en une infinité de petits globules de même diamètre. Ceux qui sont isolés réalisent une forme sphérique souvent parfaite. Les autres sont plus ou moins soudés et déterminent par leur coalescence la formation de masses botryoïdes de complication variable. Comme dans

les gaizes albiennes de la même région, *beaucoup de spicules sont restés en opale dans un ciment calcédonieux*.

La matière argileuse se présente comme dans les gaizes de l'Argonne.

Résumé. La gaize du massif de Marlemont, comme celle à *Ac. mamillare* de la même région, comporte deux termes distincts au point de vue pétrographique. L'un est une gaize typique comme celle de l'Argonne ; l'autre réalise le type tuffeau que j'étudierai plus loin.

La caractéristique organique est fournie, pour l'ensemble de la formation, par la grande fréquence des restes de Spongiaires de l'ordre des *Lithistidæ*. Le grand développement de la silice globulaire et la diffusion de la calcédoine sont les particularités essentielles du ciment de cette gaize.

3° GAIZE A *Schlœnbachia inflata* DU PAYS DE BRAY ET DU CAP DE LA HÈVE (Pl. II, fig. 1)

Conditions de gisement et caractères lithologiques. L'étage de la gaize forme dans le Pays de Bray une masse puissante de 40 ou 45 m., essentiellement composée de marne argileuse et de lentilles de gaize, comprise entre l'argile de Gault et la craie glauconieuse à *Sch. varians*, *Holaster subglobosus*, etc. La succession de ces terrains est continue.

D'après M. de Lapparent, à qui l'on est redevable d'une excellente description de cette formation, « quelquefois l'argile domine du haut en bas ; mais le plus souvent elle est concentrée à la partie inférieure de l'étage, et les assises supérieures, sur 10 ou 15 m. d'épaisseur, forment alors une roche très caractéristique grise et sans solidité quand elle est humide, blanc jaunâtre et dure quand elle est sèche, et remarquable à la fois par sa porosité, sa légèreté et la rudesse de son grain [1]. »

La gaize du Bray, comme celle de l'Argonne, renferme des noyaux de pyrite décomposée et des taches gris bleuâtre, plus dures que le reste de la roche et passant à des sortes de rognons siliceux gris bleu. Les caractères du dépôt ne sont pas constants dans tous les points où on l'observe. Depuis la pointe nord-ouest du Bray jusqu'à Sommery, il n'y a presque pas de couches dures dans la gaize, et le caractère argileux domine exclusivement. Au contraire, depuis Sommery jusqu'à la pointe du Tillard, la gaize se développe à la partie supérieure de l'étage, et d'après M. de Lapparent, elle forme moins des couches continues que des lentilles au milieu d'une masse marneuse. Elle se charge de glauconie dans la partie méridionale du Bray.

M. de Lapparent a rapporté à la gaize une roche épaisse de deux mètres et supportant la craie glauconieuse au cap de la Hève [2]. Elle est gris bleuâtre, très dure, rude au

1. DE LAPPARENT. Le Pays de Bray, *Mém. Carl. Géol. dét. de la Fr.*, p. 67 (1872).
2. DE LAPPARENT. Note sur la gaize du Pays de Bray. *B. S. G. F.*, 2e S., vol 25, p 868 (1868)

toucher et très sonore. Elle contient des taches et des veinules cornées analogues au silex. Les fossiles sont transformés en calcédoine.

Malgré le peu d'étendue occupée par la gaize, dans le Pays de Bray et au cap de la Hève, elle se présente au microscope avec deux aspects bien différents, et l'on peut distinguer : A. *une gaize siliceuse à débris de Spongiaires* (Ernemont); B. *une gaize calcarifère à Foraminifères* (Sommery, Mt-Bernier, Octeville).

A. Gaize siliceuse à débris de Spongiaires

C'est le représentant de la gaize proprement dite des massifs de l'Argonne et de Marlemont.

ÉTUDE MICROGRAPHIQUE. 1° **Minéraux.** *M. détritiques.* Le quartz forme une fraction de la roche équivalente au plus à 1/10 ; ses grains mesurent en moyenne $0^{mm}1$ de diamètre.

Minéraux secondaires. Glauconie. Son existence est souvent liée à celle des spicules d'Eponges qu'elle pseudomorphose plus ou moins complètement. Elle est très répandue à cet état. Les spicules 3, 10 et 11 de la figure 3, ont leur canal très élargi et occupé par ce minéral.

On rencontre encore la glauconie sous différentes formes, que je me borne à mentionner : grains arrondis mesurant en moyenne $0^{mm}12$ (le plus grand diamètre observé est $0^{mm}3$), glauconie clivée, revêtement du quartz et du feldspath, taches dans le ciment et *globules.* Elle existe dans quelques loges de Foraminifères.

2° **Organismes.** *Spongiaires.* Ils représentent à eux seuls presque la moitié du dépôt quand ils atteignent leur fréquence maxima (Ernemont). J'ai réuni dans la figure 3 quelques-unes des formes que l'on rencontre le plus communément.

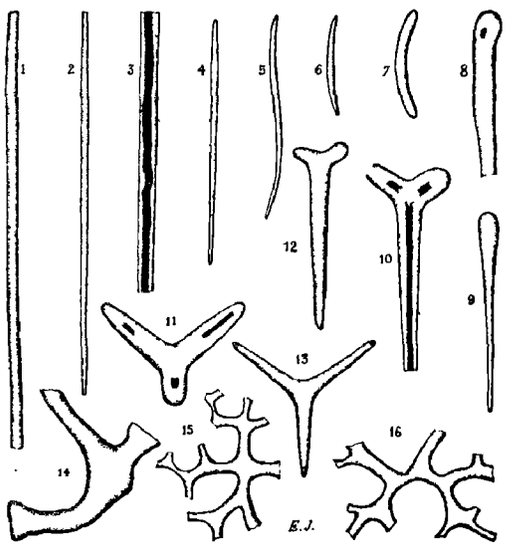


Fig. 3. Spicules de la gaize du Pays de Bray. (Gross. 40 diam.)

A. *Spicules monoaxes.* Les spicules monoaxes sont très répandus dans cette roche. Beaucoup sont de très grande taille; il en est dont les extrémités sont incomplètes qui atteignent 2^{mm}. Ces spicules sont cylindriques, fusiformes ou coniques, les uns droits, les autres arqués (1-9). Le genre *Reniera* représenté par plusieurs espèces à Blackdown est une forme également commune dans le Bray. Une fraction de ces bâtonnets monoaxes ne relèvent certainement pas des *Monactinellidæ* et doivent être rapportés aux ordres suivants, et surtout aux *Tetractinellidæ.*

B. *Tetractinellidæ.* Les spicules 4-radiés (10-13) sont les plus nombreux après les formes monoaxes. Comme les Eponges de cet ordre sont également très riches en spicules monoaxes, il est presque certain que les *Tetractinellidæ* occupent le premier rang dans la gaize siliceuse. Les genres *Pachastrella* et *Geodites* sont communs. Il faut encore rapporter à ce groupe des spicules massifs en boules.

C. *Lithistidæ.* Le nombre des restes en est très limité. La famille des *Megamorina* a quelques représentants (14). Les *Tetracladina* comportent quelques spicules dermiques de forme compliquée bien qu'incomplète (15-16).

D. *Hexactinellidæ.* Un ou deux spicules hexaradiés, réduits au point de croisement des rayons, sont les seuls vestiges de ce groupe dans chaque section mince.

En résumé, la faune des Spongiaires de cette région paraît, dans l'état actuel de nos connaissances, différente de celle de l'Est du Bassin de Paris : En Argonne, les spicules monoaxes sont très prépondérants ; dans le massif de Marlemont, la caractéristique de la faune est fournie par l'abondance des débris de *Lithistidæ ;* c'est dans les spicules tétraradiés qu'il convient de la chercher pour le Bray.

Beaucoup de spicules sont en opale, mais la plupart sont transformés en calcédoine ou épigénisés par la glauconie. Les spicules glauconieux sont très nombreux. La gaize d'Ernemont est, avec le tuffeau de Bouchavesnes, que j'étudierai plus loin, une des roches qui montrent le mieux le grand nombre et la variété des physionomies que peut revêtir une seule et même forme de spicule composé de silice et de glauconie

La destruction des spicules s'est faite à une très petite échelle dans les spécimens étudiés : Les *vides* sont relativement rares.

Radiolaires. Comme dans la plupart des gaizes de l'Est du Bassin de Paris, il y a indécision sur les affinités de certains corps globuleux, invariablement transformés en calcédoine et dont quelques-uns pourraient dériver de Radiolaires sphériques.

Foraminifères. On en trouve plusieurs dans chaque préparation. Le degré de fréquence est sensiblement le même que dans les échantillons légèrement calcarifères de Vouziers. Leur répartition est assez curieuse ; ils vont le plus souvent par groupes, formant des sortes de nids dans des plages à spicules. Ces Foraminifères sont de petite taille ; leur test est très mince et transformé en opale. Leur importance est tout à fait accessoire.

Diatomées. Je n'ai reconnu aucun individu présentant les caractères de structure des valves de Diatomées. Certains menus corpuscules inclus dans le ciment ont une forme qui rappelle celle des Diatomées, mais en l'absence de tout autre caractère, leurs affinités avec ces organismes sont des plus incertaines.

3° **Ciment.** Le carbonate de chaux est absolument exclu des échantillons d'Ernemont que j'ai étudiés. Quand il n'est pas différencié, le ciment se présente avec les mêmes caractères que dans les gaizes typiques de l'Argonne : il est alors formé d'un mélange intime d'opale et de matière argileuse. Dès que la structure globulaire de l'opale se

développe et que la calcédoine prend part à la composition du ciment, les petites paillettes biréfringentes disparaissent. Dans les échantillons abondamment pourvus de taches bleues, la roche est en grande partie composée d'opale globulaire et de calcédoine. La transformation en calcédoine qui frappe de nombreux spicules s'est souvent étendue à la matière du ciment qui a parfois subi de profondes modifications. Là, où sa métamorphose est le plus intense, il comporte de grandes plages de calcédoine, traversées par des chapelets de globules. Les petites perles siliceuses donnent naissance à des couronnes autour des minéraux détritiques et des grains de glauconie. La gaize d'Ernemont est, après celle de La Cloperie, le meilleur type de gaize à silice globulaire.

La distribution du ciment est très inégale en raison de la répartition très irrégulière des débris organiques. On voit côte à côte une plage où ces derniers sont presque juxtaposés et une autre uniquement constituée par le ciment. La roche est dépourvue d'homogénéité.

Les *noyaux cherteux* ont la même composition et la même origine que dans les gaizes de l'Est du Bassin de Paris.

Conclusions. La gaize siliceuse du Pays de Bray se rapproche de la gaize typique de l'Argonne et du massif de Marlemont au double point de vue minéral et organique. Le grand rôle dévolu aux vestiges d'Eponges du groupe des *Tetractinellidæ* est son trait essentiel et caractéristique.

B. Gaize calcarifère à Foraminifères

(Pl. II, fig. 1).

Cette roche se trouve sur le prolongement de la gaize siliceuse du Sud et du centre du Pays de Bray; elle est développée dans la partie septentrionale de cette région (Sommery, Mt-Bernier) et au Cap de La Hève (Octeville).

Composition chimique. M. de Lapparent a inscrit, au chapitre consacré à l'étude de la gaize du Pays de Bray (pp. 68 et 69), les résultats des deux analyses de gaize de Sommery faites à l'École des Mines. Je les reproduis dans le tableau ci-dessous qui donne en plus la composition d'un échantillon originaire de la même localité, analysé par M. V. Vaillant, préparateur à la Faculté des Sciences de Lille, et celle d'une gaize d'Octeville analysée au laboratoire d'essais de l'École des Mines.

1 et 3, gaize de Sommery; 2, gaize bleue de Sommery formant la base du système; 4, gaize d'Octeville.

	1	2	3	4
Silice soluble dans la potasse.	33	2.6	60.5	4.4
Silice insoluble.	42.5	55.65	14.25	80
Alumine	1.57	14.73	1.55	3.4
Peroxyde de fer.	1.4	5.8	2.05	1.2
Chaux.	7.2	3.92	9.15	3.6
Magnésie	3	2.3	0.02	»
Perte par calcination.	11.33	15	12.38	7
Totaux. . . .	100.00	100.00	99.90	99.6

On voit par ces chiffres quelles différences importantes peuvent présenter, dans leur teneur en silice soluble et dans la proportion d'alumine, des roches que l'on désigne sous le même nom et dont les caractères lithologiques sont assez peu variés. Le carbonate de chaux ne manque jamais.

ÉTUDE MICROGRAPHIQUE. 1° **Minéraux.** Les particules détritiques ne tiennent une place notable que dans la gaize d'Octeville, où elles forment 1/5 de la roche; leur proportion est de 1/25 au Mt-Bernier et de 1/30 à Sommery. Le diamètre moyen des grains de quartz (Pl. II, fig. 1, *a*) est de $0^{mm}08$. Le mica blanc est fréquent dans les échantillons d'Octeville.

La *glauconie* joue un rôle insignifiant dans ces roches et se montre (*b*) ou non en relation avec les Foraminifères.

2° **Organismes.** *Spongiaires.* Ils ne sont nombreux qu'à Octeville (Pl. II, fig. 1) où ils représentent au moins 1/5 de la roche.

Dans les autres localités, on n'en rencontre que quelques individus dans chaque section mince.

A. *Spicules monoaxes.* Ce sont les plus répandus; ils sont presque toujours fragmentaires.

B. *Tetractinellidæ.* Les formes 4-radiées sont fréquentes; les genres *Geodites* et *Pachastrella* sont représentés.

C. *Lithistidæ.* On trouve à Octeville quelques beaux spicules dermiques.

La gaize d'Octeville est particulièrement intéressante à étudier au point de vue de la métamorphose de la silice des spicules. La figure 1 (Pl. II) montre les particularités suivantes : *c.* spicule entièrement transformé en glauconie; *d.* spicule entièrement calcédonieux; *e.* spicule calcédonieux avec canal rempli d'opale. En général, les restes de Spongiaires sont calcédonieux à Octeville; ailleurs, ils sont en opale et en glauconie. Toutes les préparations montrent la trace de quelques spicules dissous.

Foraminifères. Ils interviennent pour une part très importante dans certains spécimens. Les Rhizopodes calcaires occupent environ le *quart* de la surface totale des sections de gaizes de Sommery et du Mont-Bernier et le *dixième* de celle d'Octeville. J'ai déterminé les genres *Textularia*, *Globigerina*, *Dentalina*, *Bulimina*, *Rotalia*, etc. Ces Foraminifères sont petits, à test mince le plus souvent intact, mais parfois un peu rongé et dépoli. Ils sont remplis de carbonate de chaux, d'opale, de calcédoine, ou du mélange de ces substances additionnées d'un peu de matière argileuse. La glauconie apparaît assez rarement dans les loges ; il est de règle qu'elle ne remplisse qu'incomplètement les coquilles. Le test des Foraminifères n'est jamais transformé en silice.

Des organismes calcaires autres que les Rhizopodes ont contribué à former ces dépôts ; on y trouve des fragments de test de Lamellibranches, des prismes, des bâtonnets, etc., qui occupent une place notable.

3° **Ciment.** L'étude du ciment prend ici une importance exceptionnelle en raison de la présence d'une forte proportion de carbonate de chaux. Il est formé de calcaire, d'opale, de calcédoine et de matière argileuse. L'opale prédomine à Sommery et au Mont-Bernier ; c'est au contraire la calcédoine qui l'emporte au Cap de la Hève. Sur le fond de silice monoréfringente et d'argile des gaizes de Sommery et du Mont-Bernier apparaissent des paillettes calcaires extrêmement ténues, déchiquetées, plus ou moins serrées, mais isolées au sein de la masse fondamentale du ciment. Par places, elles grandissent et donnent des éléments plus discernables pouvant atteindre ou même dépasser les dimensions des particules détritiques.

Le ciment de certaines gaizes de Sommery montre un véritable feutrage de paillettes d'argile colloïde ou biréfrigente. L'une des analyses publiées par M. de Lapparent accuse une forte proportion d'alumine.

Avec les gaizes plus siliceuses et riches en débris de Spongiaires, on passe à une autre physionomie de roche. La calcédoine est largement développée (Pl. II, fig. 1) ; ses lamelles sont de plus grande taille. La calcite a perdu beaucoup de son importance ; ses petits éléments sont non-seulement moins répandus, mais leur distribution est très irrégulière ; ils occupent certaines plages où ils sont très espacés et font défaut dans d'autres. L'opale indifférenciée est reléguée dans les plages émaillées de paillettes de calcite. L'opale globulaire pullule en tous points sous forme de sphérules isolées, d'élégants chapelets de perles siliceuses et d'agrégats mûriformes toujours associés à la calcédoine (Examiner avec une loupe la figure 1 de la Pl. II). En somme, la gaize d'Octeville passe au chert dans toute sa masse. Ses caractères physiques sont d'ailleurs exactement ceux des durcissements bleuâtres des gaizes. Quant à l'argile, elle est exclusivement cantonnée dans les plages calcaires ; *l'opale globulaire et surtout la calcédoine ne lui sont jamais associées.*

Noyaux cornés de la gaize d'Octeville. Les noyaux cornés dont la gaize d'Octeville est pourvue, ne correspondent à aucune des manières d'être affectées par les gaizes les plus métamorphosées. En section mince, on constate qu'ils sont formés de calcédoine et d'opale très accessoire. La calcite manque. L'opale donne naissance à des masses botryoïdes de forme très découpée et à de petits sphéroïdes isolés. La calcédoine est cristallisée en grandes lamelles enchevêtrées, en fibres groupées en pinceaux très aigus, en houppes très larges et en grands sphérolithes complets rappelant par leur beauté ceux qui ont été étudiés par MM. Michel-Lévy et Munier-Chalmas [1].

L'opale n'existe qu'à proximité de la soudure du noyau corné à la masse encaissante. Quand elle disparaît, les plages de calcédoine ne peuvent se distinguer de celles de certains silex où la structure sphérolithique a été constatée. A la zone de passage du noyau à la gaize, l'opale globulaire est abondante ; on y trouve *des spicules en silice*

1. MICHEL-LÉVY et MUNIER-CHALMAS. Mém. sur les div. formes, etc. *B. S. F. Minér.*, vol. 15 (1892).

monoréfringente, entourés de toutes parts de calcédoine largement cristallisée : *Le silex se relie à la gaize par l'intermédiaire d'une zone de chert.* Les plages à facies de silex sont le résultat d'une métamorphose plus complète que celle qui aboutit au chert; elles procèdent dans l'espèce d'une roche calcarifère très riche en débris de Spongiaires. Une grande partie de la silice qui leur a donné naissance a son origine *in situ.*

Conclusions. Il se dégage de l'examen des gaizes calcarifères plusieurs faits auxquels je réserve de plus amples commentaires pour la fin de cette étude.

1° On peut inférer de l'état de conservation des éléments calcaires, que dans toutes les gaizes calcarifères et surtout dans celles où la calcédoine abonde, la teneur en carbonate de chaux est plus faible qu'elle ne l'a été primitivement. La roche était à l'origine, soit un *calcaire à spicules d'Eponges* (Octeville), soit un *calcaire à Foraminifères* (Mt-Bernier et Sommery);

2° Le carbonate de chaux disparu a été remplacé par la silice;

3° Les roches que je viens d'étudier et qu'il est impossible de distinguer de la gaize typique sans un rapide essai chimique ou sans l'examen de sections minces, s'écartent considérablement de la gaize proprement dite du centre du Pays de Bray et de l'Argonne. Les différences sont à la fois organiques et chimiques. Elles sont *organiques* par les Foraminifères qui, pour la première fois, sont devenus caractéristiques par leur fréquence, et par les débris de Spongiaires relégués au second rang, sauf au Cap de la Hève. Elles sont *chimiques* par le carbonate de chaux dont l'existence est constante et non plus exceptionnelle comme en Argonne. Cette substance est d'ailleurs beaucoup plus répandue que ne l'indiquent les trois analyses que j'ai données.

4° GAIZE A *Schlœnbachia inflata* DE L'YONNE.

Conditions de gisement et caractères lithologiques. La gaize est inconnue le long de la bordure est du Bassin de Paris, depuis la Marne, où les derniers affleurements de la gaize de l'Argonne disparaissent au sud, jusqu'à l'Yonne, où son existence est essentiellement sporadique. On voit en particulier sur les bords du Tholon (affluent de l'Yonne se jetant dans cette rivière au N. d'Auxerre), au-dessous de la « craie de Rouen », une assise argileuse désignée sous le nom de *Marnes de Brienne* dans laquelle on a signalé *Sch. inflata.* Ces marnes montrent, à quelques kilomètres à l'ouest de Chassy, et au-dessus des sables de La Puisaye (C^3) « un grès argilo-sableux, tendre, léger, avec nombreux fossiles ». D'après M. Ch. Barrois, ce grès argilo-sableux un peu calcarifère, très léger, de couleur grisâtre, ne peut se distinguer par ses caractères pétrographiques de la gaize de l'Argonne. Il l'a désigné sous le nom de *Gaize de Chassy.* Les quelques échantillons que j'ai étudiés ont été recueillis en place, par M. Barrois. Tous font une vive effervescence aux acides. C'est la gaize de Chassy que j'aurai plus particulièrement en vue dans cette étude.

Composition chimique. L'analyse d'un échantillon, exécutée au laboratoire d'essais de l'Ecole des Mines, a donné les résultats suivants :

Silice soluble dans la potasse.	6.6
Silice insoluble.	57
Alumine	7.2
Peroxyde de fer	2.8
Chaux	11.3
Perte par calcination.	14.6
Total. . . .	99,5

ÉTUDE MICROGRAPHIQUE. 1° **Minéraux.** Les éléments détritiques concourent pour une part insignifiante à la formation de cette roche. Le quartz mesure $0^{mm}08$ et forme tout au plus le quinzième de la roche. La *glauconie* se montre parfois dans les loges de Foraminifères, mais elle existe plus fréquemment en dehors des organismes. Quelques grains sont clivés.

2° **Organismes.** La gaize de Chassy diffère des roches groupées jusqu'ici sous la rubrique « Gaize » par l'absence presque complète de restes de Spongiaires. Deux groupes d'organismes sollicitent seuls l'attention : ce sont les Foraminifères et les Diatomées.

Foraminifères. Ils représentent environ le tiers de la roche. Les formes sont moins variées que dans les gaizes à Foraminifères du Bray. Le genre *Textularia* vient en première ligne. On trouve ensuite *Rotalia, Globigerina, Bulimina* qui lui sont très subordonnés. Tous sont calcaires. Leur test n'a pas subi la moindre avarie au cours de la silicification de la roche dont je dirai un mot plus loin; comme dans le Bray, il est mince et la taille de la coquille est petite. Le remplissage est généralement en calcite. On y trouve encore la glauconie et assez fréquemment la silice à l'état d'opale ou de calcédoine.

Diatomées. Le nombre des formes qui ont conservé la structure caractéristique des carapaces de Diatomées est excessivement restreint; quelques-unes présentent un intérêt particulier en ce sens qu'elles sont de taille un peu au-dessus de la normale et qu'elles sont *calcifiées.* J'ai notamment reconnu quelques valves à forme naviculaire partagées en deux moitiés égales et suivant leur longueur par une « ligne » médiane et montrant des côtes transversales très fines et très serrées.

3° **Ciment.** Il se comporte comme celui des gaizes à Foraminifères du Pays de Bray. Sa masse fondamentale est de l'argile imprégnée d'un peu de silice et additionnée de carbonate de chaux sous forme de très petits éléments à contours corrodés. Bien qu'il soit en voie de destruction, le carbonate de chaux est encore largement représenté; les résultats de l'analyse, consignés plus haut, indiquent une proportion de 11,3 de chaux. Les fines paillettes d'argile cristallisée abondent. L'alumine est d'ailleurs un élément important de la roche (7,2 °/₀).

Résumé. La roche de l'Yonne, désignée sous le nom de Gaize de Chassy, est un

calcaire argileux en voie de silicification, caractérisé par l'existence de nombreux Foraminifères et de très rares Diatomées reconnaissables.

IV. GAIZE A *ACANTHOCERAS MANTELLI* DU CHER

(C^4, *de la carte géologique détaillée de la France*)

(Pl. II, fig. 2)

Conditions de gisement. La craie glauconieuse à *Ac. Mantelli* qui affleure sur les bords de la Loire, au sud de Gien, change de nature quand on se dirige vers l'ouest. La silice remplace peu à peu le calcaire. Le résultat de cette substitution est d'abord la formation de nodules siliceux (Cernoy), puis celle d'une roche à facies de *gaize*. Sa puissance est d'environ 20 mètres. Au sud de Villegenon (Cher), la gaize envahit presque toute la hauteur de l'étage. Cette transformation se poursuit vers l'ouest jusqu'au-delà du méridien de Bourges. La gaize est remplacée latéralement par une argile grise ou noirâtre [1]. Elle affecte une disposition lenticulaire comme celle des autres assises. L'étage de la craie glauconieuse avec gaize repose sur les Sables de la Puisaye (C^3) et supporte les Sables de Vierzon (C^{5a}).

Les échantillons qui m'ont servi pour cette étude sont originaires des localités suivantes : Allogny, Henrichemont, Humbligny, Vailly-sur-Sauldre, Villegenon (Cher) et Pierrefite (Nièvre). Quelques-uns ont été prélevés sur place par M. de Grossouvre. Les plus nombreux ont été recueillis par M. Douvillé au moment de la confection des cartes géologiques de Gien et de Bourges. J'ai pu m'en procurer plusieurs dans la collection de géologie stratigraphique de l'École des Mines.

Caractères lithologiques. Tous les caractères de la gaize typique se retrouvent dans celle du Cher. La roche est généralement plus claire que celle de l'Argonne : elle est blanc grisâtre quand elle est sèche et jaunâtre quand elle est imprégnée d'oxyde de fer. Les nuages bleuâtres fondus dans la masse encaissante et passant à de vrais rognons siliceux (cherts) sont également connus à ce niveau. A Humbligny, les durcissements cherteux donnent naissance à une roche gris bleu, très dure et sonore, à cassure fine, égale et d'une grande rudesse au toucher ; elle est très chargée de glauconie, parsemée de nombreuses paillettes de mica blanc et présente à première vue d'étroites analogies avec la gaize dure du Cap de la Hève (Octeville).

La gaize à *Ac. Mantelli* comporte deux types distincts : 1° une *gaize siliceuse* ; 2° une *gaize très chargée de calcaire.*

---

1. DOUVILLÉ. Légende de la feuille de Gien (1875). — Légende de la feuille de Bourges (1876).

1° GAIZE SILICEUSE A *Ac. Mantelli*

Cette variété est de beaucoup la plus importante de toute la masse. C'est à elle que s'applique la description précédente. On la rencontre presque à la naissance du massif de gaize dans le canton de Vailly ; elle existe dans toute son étendue.

Composition chimique. L'analyse de deux échantillons d'Humbligny, une gaize tendre (A) et une gaize cherteuse (B), exécutée au laboratoire d'essais de l'École des Mines, a donné les résultats suivants :

	A	B
Silice soluble dans la potasse	15.3	35
Silice insoluble	67	57.3
Alumine	6	2
Peroxyde de fer	3	2
Chaux	1.6	0.6
Perte par calcination	6.6	2.8
Totaux	99.5	99.7

ÉTUDE MICROGRAPHIQUE. 1° **Minéraux.** *M. détritiques.* Ils forment une fraction de la roche qui varie de 1/3 à 1/5 dans les gaizes riches en spicules d'Eponges et qui descend à 1/12 dans celles où les Foraminifères sont nombreux. Le quartz (Pl. II, fig. 2, *a*) mesure en moyenne $0^{mm}12$ dans les premières et $0^{mm}07$ dans les secondes. On trouve avec lui tout le cortège d'espèces minérales qui l'accompagnent dans l'Argonne, mais il est une espèce qui acquiert ici une grande importance, c'est le mica blanc.

Modifications subies par le mica blanc. Ce minéral donne naissance en section mince à de longs filaments étroits d'une grande ténuité, généralement parallèles comme les spicules qui les accompagnent. Ils sont rectilignes et souvent arqués. Il en est qui montrent une double courbure ou même qui présentent toute une série de petites ondulations. Je tiens cette déformation des cristaux comme *postérieure* à la sédimentation. Quelques-uns sont affectés de courbes brusques dont le résultat est une ligne brisée avec rupture des lamelles de clivage aux points d'inflexion.

Dans une foule de cas la matière du ciment — l'opale et la calcédoine — a pénétré au sein des éléments de mica. Tantôt, c'est un peu d'opale qui s'est introduite entre deux clivages et qui détermine soit une sorte de kyste très localisé, soit une boursouflure très étendue ; tantôt l'opale a pénétré dans plusieurs clivages et déterminé un écartement de plusieurs lamelles. Le phénomène peut être poussé très loin et provoquer une sorte de dilacération et l'isolement de toutes les lamelles de cristal, et finalement leur déchirure au point le plus éprouvé.

L'action du ciment sur le mica peut aboutir à un résultat différent. Le minéral reste intact ou à peu près dans toute son étendue et l'infiltration de l'opale se localise à ses extrémités. Lorsque le maximum de complication est atteint, dans ce cas particulier, les

terminaisons de la section sont pour ainsi dire effilochées et les fibres micacées divergent du point où s'arrête l'introduction du ciment. On ne peut mieux définir l'aspect de l'élément ainsi modifié qu'en le comparant à un double pinceau dont la hampe correspondrait à la portion intacte de la section du cristal de mica.

Minéraux secondaires. Glauconie. C'est un minéral très apparent à l'œil nu dans les gaizes durcies (Humbligny). On le trouve à l'état de grains de forme générale arrondie (Pl. II, fig. 2, *b*) mesurant en moyenne $0^{mm}15$ dans les variétés riches en spicules de Spongiaires et $0^{mm}1$ dans celles où dominent les Foraminifères. La glauconie sert d'enveloppe au quartz et au feldspath et pseudomorphose complètement une foule de spicules d'Eponges. Une grande partie de cette substance s'est concentrée à l'intérieur des Foraminifères, dans les gaizes où ces organismes sont nombreux. Les grains fibreux et la glauconie en tache sont largement représentés.

La glauconie sert encore de pigment au ciment lorsque celui-ci donne naissance par différenciation à des masses botryoïdes et à des globules *f*. Elle teinte des groupes de globules et rarement des sphérules isolées. Un échantillon de La Motte d'Humbligny montre une perle d'opale de la même dimension que les autres et *dont la zone externe est constituée par de la glauconie, le nucleus étant siliceux.* Le phénomène inverse s'observe également et quelques petits sphéroïdes à noyaux glauconieux ont une gaîne d'opale (Pl. VI, n° 33).

2° **Organismes.** *Spongiaires.* Il existe une sorte de balancement entre le nombre des spicules et celui des coquilles de Rhizopodes : Les gaizes où abondent les spicules sont pauvres en Foraminifères et réciproquement. Les débris de Spongiaires forment une portion de la roche qui varie de 1/8 à 1/10 dans les spécimens les plus riches.

A. *Spicules monoaxes.* Ils prédominent sous la forme de bâtonnets cylindriques ou fusiformes presque toujours fragmentaires. Comme dans toutes les gaizes précédemment étudiées, il y a lieu de rapporter une grande partie de ces spicules au groupe des *Tetractinellidæ*, tout en considérant comme certaine l'existence des *Monactinellidæ*.

B. *Tetractinellidæ.* Les formes tétraradiées sont rares dans les échantillons que j'ai étudiés et représentés par quelques spicules de *Geodia*.

C. *Lithistidæ.* Leurs restes sont les plus nombreux après les éléments monoaxes. Ils sont généralement de forme courte et robuste. Je n'ai reconnu en toute certitude que la famille des *Megamorina*.

D. *Hexactinellidæ.* Cet ordre qui manque dans la plupart des spécimens, et qui n'a laissé que de très rares vestiges dans les autres, compte dans un échantillon d'Humbligny de très beaux spicules soudés entre eux (*Dictyonina*) donnant naissance à un grand treillis interrompu par places. Conformément à ce que j'ai toujours observé dans les gaizes, les restes d'*Hexactinellidæ* sont robustes et de grande taille.

Comme dans la gaize d'Octeville, le mode de conservation des débris de Spongiaires

est des plus varié. La figure 2 (Pl. II) destinée à montrer l'état du ciment en fournit une excellente preuve : La plupart des spicules y sont en opale avec ou sans canal (*c*, section transversale). D'autres (*d*) montrent le canal considérablement élargi occupé par de l'opale mamelonnée ; sa partie externe est calcédonieuse et passe au ciment de calcédoine.

Au nombre des transformations variées que subissent les spicules au cours de la fossilisation, je dois mentionner la pseudomorphose par la *pyrite* dont j'ai reconnu beaucoup d'exemples.

Radiolaires. Le nombre des formes qui ont conservé les caractères de ce groupe est très restreint. J'ai reconnu quelques *Spumellaria* et *Nassellaria*. A la première légion se rapportent des *Sphæroidea* (G. *Cenosphæra*) et de très rares *Ellipsida* mal conservés, formés de deux coquilles concentriques. Les *Nassellaria* sont représentés par des *Stychocyrtida* à quatre loges.

Foraminifères. Ils sont très rares dans les gaizes à spicules. Leurs coquilles sont généralement petites et de faible épaisseur. Leur test a subi les transformations chimiques suivantes : Il est le plus souvent siliceux et à l'état d'opale ; dans quelques cas il est remplacé par une matière noire que je rapporte à la *pyrite*. Il est fréquent d'observer la coexistence de l'opale et de cette matière pigmentaire sur l'emplacement d'une seule coquille. Règle générale, l'intérieur des Foraminifères est occupé par de la silice revêtant tous les caractères de celle du ciment ; pourtant dans les plages à Foraminifères pyriteux, il arrive que les loges soient remplies par le même pigment qui remplace le test.

Diatomées. Leur existence est incertaine.

3° **Ciment.** Il présente un intérêt particulier en raison des métamorphoses qu'il a subies dans les parties durcies. La place qui lui est réservée est assez grande. Il est en majeure partie formé de silice. Cette substance est tantôt colloïde ; elle est alors à l'état d'opale indifférenciée (Villegenon, Pierrefite, Allogny, Humbligny et Henrichemont) ou globulaire (Humbligny, fig. 2) ; tantôt cristalline et à l'état de calcédoine (fig. 2, *e*). Dans les gaizes tendres, l'opale indifférenciée existe seule à l'exclusion de toutes les autres. Dans celles qui ont été modifiées ou durcies, la silice monoréfringente est généralement prépondérante ; elle est associée à la calcédoine.

La silice globulaire est remarquablement abondante dans les gaizes dures d'Humbligny (fig. 2). La liaison de la structure globulaire de l'opale aux durcissements cherteux est encore nettement exprimée dans ce cas, ainsi qu'on peut en juger par la figure 2.

On voit par la comparaison des figures 1 et 2 (Pl. II) que la parenté lithologique que je signalais au début entre la gaize d'Octeville et la gaize cherteuse d'Humbligny se poursuit jusque dans la composition et la structure intime de la roche, mais le carbonate de chaux qui est un élément important à Octeville fait défaut à Humbligny (dans les sections minces).

Les fines paillettes du groupe des argiles sont très nombreuses. *Elles sont exclues de toutes les plages formées d'opale nettement globulaire et surtout de calcédoine.* Ce fait est confirmé par l'analyse chimique qui accuse 6 % d'alumine dans la gaize tendre d'Humbligny caractérisée par l'existence exclusive de silice non différenciée, alors que la gaize cherteuse de la même localité n'en contient que 2 %.

Les *vides* tiennent une place notable dans les variétés légères. Il en est de nombreux qui sont en rapport manifeste avec des spicules détruits ; d'autres sont informes et il est impossible de dire ce qui en occupait la place primitivement.

2° GAIZES CALCAIRES

Particularités essentielles. Le carbonate de chaux forme la plus grande partie des roches recueillies à l'est du massif des gaizes proprement dites [Vailly et St-Satur (La Mivoye)]. A l'œil nu, elles revêtent l'aspect des gaizes gris clair, relativement denses et parsemées de grosses taches bleuâtres. Elles font effervescence aux acides.

Au microscope, elles se présentent comme des calcaires riches en Foraminifères à test assez épais, et pauvres en vestiges de Spongiaires. Elles sont en voie de silicification. Celle de St-Satur se montre entre les nicols croisés en majeure partie formée de carbonate de chaux interrompu en mille endroits par de petites plages finement calcédonieuses entourées d'opale mamelonnée. En réalité, la silice monoréfringente a pénétré partout. On l'observe au sein des parties les plus calcaires à l'état de globules plus ou moins bien formés et indépendants des plages calcédonieuses. Il est manifeste que cette transformation s'est faite sans le secours des restes de Spongiaires qui sont très clairsemés et presque intacts.

Le cas de la roche de Vailly est différent de celui-là. La silicification est beaucoup plus avancée. L'opale est la trame même de la roche. Au microscope, on voit tous les éléments de carbonate de chaux, particules informes et organismes ne formant plus une masse continue, mais séparés par de la silice colloïde. La place qu'occupe maintenant la silice l'était auparavant par du carbonate de chaux. De grandes plages calcaires sont restées intactes. Par comparaison, on peut établir que les particules calcaires plongées dans la silice ne sont plus que des sortes de squelettes d'éléments plus étendus et partiellement dissous. Ce qui au fond distingue surtout cette roche de la précédente, c'est l'état de sa silice. Ici, point de différenciation en globules, pas de calcédoine. Voici donc deux roches de composition initiale pour ainsi dire identique, et qui sont *inégalement* envahies par la silice. *La plus siliceuse montre une opale absolument indifférenciée au point de vue morphologique, et celle qui s'éloigne le moins de son état originel présente au contraire toutes les variétés de silice hydratée.*

Je n'ai appelé l'attention sur ces roches que pour bien souligner les manières d'être que peut revêtir la silice envahissant une roche calcaire, et parce qu'elles peuvent éclairer

l'origine des roches siliceuses. Mais en vérité, ce ne sont pas des gaizes. On doit les désigner sous le nom de *calcaires siliceux à Foraminifères*.

Conclusions. Les particularités de composition minérale et organique de la roche siliceuse à *Ac. Mantelli* du Cher justifient pleinement son rapprochement du groupe des gaizes. La composition chimique, la proportion de silice soluble et la présence de nombreux débris de Spongiaires sont tout en faveur de cette assimilation. Elle a plus d'affinités avec les gaizes du Nord du Bassin (Pays de Bray et La Hève) qu'avec celles de l'Argonne. Elle est caractérisée, au point de vue organique, par l'abondance des débris de Spongiaires et par l'existence presque constante de Foraminifères silicifiés.

Les variétés calcarifères ont été improprement désignées sous le nom de gaizes. Ce sont des calcaires à Foraminifères, pauvres en débris de Spongiaires et en voie de silicification.

V. RÉSULTATS GÉNÉRAUX DE L'ÉTUDE DES GAIZES ALBIENNES ET CÉNOMANIENNES

Je laisserai systématiquement de côté dans cette vue d'ensemble sur la gaize, la roche oxfordienne dont la physionomie est si particulière, et qu'on ne peut rattacher à la gaize typique, qu'à titre de variété très aberrante. Je considèrerai successivement la gaize dans ses minéraux, ses organismes, son ciment et sa composition chimique.

1° Minéraux

Degré de fréquence. On rencontre toutes les variétés de gaize depuis celles où les minéraux forment à eux seuls les 4/5 de la roche (Liart) jusqu'à celles où leur proportion n'est plus guère que de 1/30. En général, les minéraux détritiques et secondaires réunis représentent exceptionnellement une fraction de la roche égale ou supérieure à la moitié. Leur proportion descend jusqu'à 1/20 dans les gaizes typiques et 1/30 dans les variétés calcarifères.

A. **Minéraux détritiques**. Ils n'interviennent dans la formation de la gaize que pour la moitié au plus. Cette teneur en éléments détritiques est celle de la gaize de Liart. Partout ailleurs, elle est notablement plus faible et oscille généralement autour de 1/10 ; elle peut descendre à 1/20 et même au-dessous.

Le diamètre des grains de quartz est également sujet à de grandes variations. Il est de 1/10 de mm. environ dans les gaizes typiques ; il dépasse ce chiffre à Liart et La Houssoye. C'est dans les massifs de Draize et de Marlemont que les minéraux de transport atteignent leur plus grande fréquence, en même temps que leur diamètre maximum. Les variétés les plus calcarifères sont les plus pauvres en minéraux, et c'est également chez elles que les particules clastiques se présentent avec le plus faible volume (Sommery, Mont-Bernier, Chassy).

Le *quartz* est accompagné par de nombreuses espèces minérales, telles que *mica blanc*, *feldspath orthose* et *plagioclase*, *zircon*, *magnétite*, *tourmaline*, *rutile*, etc. Elles sont très accessoires sauf le mica blanc qui est abondant dans les gaizes d'Octeville et du Cher.

B. **Minéraux secondaires.** *Glauconie.* C'est le seul minéral vraiment intéressant de cette catégorie. Le nombre et le volume de ses éléments augmentent au fur et à mesure que le caractère littoral est plus marqué. C'est au nord de Rethel, dans les massifs de Draize et de Marlemont, qu'elle montre son plus beau développement.

Les principales manières d'être de la glauconie sont les suivantes :

a. Grains de forme générale arrondie, plus volumineux que les éléments de quartz qui les accompagnent et ne présentant rien, ni dans les contours, ni dans la structure qui rappelle une forme organique dont ils seraient issus.

b. Grains d'aspect concrétionné, de forme très irrégulière, à structure granulée comportant ou non des solutions de continuité. Cette variété est prépondérante dans les gaizes des massifs de Draize et de Marlemont, dont la physionomie rappelle beaucoup celle des tuffeaux.

c. Grains clivés peu répandus ;

d. Glauconie en forme de taches à contours mal définis et faisant corps avec le ciment;

e. Glauconie en grains renfermant des inclusions quartzeuses, ou en enduit sur le quartz et le feldspath ;

f. Cette substance est en relation immédiate avec les débris organiques tels que spicules d'Eponges et exceptionnellement avec les Foraminifères comme dans les variétés calcarifères.

J'en passe et des plus intéressantes, en renvoyant pour de plus amples détails au chapitre IV que je consacrerai en entier à l'étude de la glauconie des roches siliceuses.

Pyrite. Elle tient une place notable dans certains échantillons de l'Argonne. Dans le Cher et surtout à Grandpré, *elle occupe l'emplacement de nombreux spicules.*

2° ORGANISMES

Quelle que soit la part qui revienne aux minéraux dans la composition de la gaize, celle des organismes est toujours importante. Les principaux groupes dont j'ai noté la présence et précisé le rôle dans les pages qui précèdent sont les *Spongiaires*, les *Radiolaires*, les *Foraminifères* et les *Diatomées.*

A. **Spongiaires.** Ils fournissent la principale caractéristique organique des vraies gaizes. Les nombreux vestiges qu'ils ont laissés sont de forme excessivement variée. Ils se répartissent entre tous les groupes d'Eponges siliceuses.

Les spicules monoaxes sont prédominants. Il est impossible d'en fixer la proportion à rattacher aux *Monactinellidæ*, et celle qu'il convient de rapporter aux autres ordres ; mais on peut tenir comme certain qu'un très grand nombre de spicules monoaxes

appartiennent aux *Tetractinellidæ* et qu'un certain nombre relèvent du groupe des *Lithistidæ*. La série des spicules uniaxes est caractérisée par l'association d'individus de grande taille et de formes beaucoup plus petites et très grêles.

Les *Tetractinellidæ* et les *Lithistidæ* comprennent de nombreux représentants polyaxes. Les restes d'*Hexactinellidæ* sont généralement d'une grande rareté dans les préparations. On en trouve accidentellement des débris de réseau, formés d'un grand nombre de spicules hexaradiés soudés (*Dictyonina*). Leur présence dans des sédiments qui admettent jusqu'à 50 % d'éléments détritiques est d'un grand intérêt.

Parmi les formes multiradiées, les spicules de *Tetractinellidæ* et de *Lithistidæ* l'emportent tour à tour. C'est ainsi que dans la gaize du massif de l'Argonne les spicules quadriradiés prennent place immédiatement après les formes monoaxes, tandis que dans celle du massif de Marlemont, leur importance est subordonnée à celle des *Lithistidæ*. En général les spicules des trois derniers ordres sont de forme vigoureuse et de grande taille; ceux des *Hexactinellidæ* présentent ce double caractère très marqué.

Le degré de fréquence des spicules est sujet à de grandes variations. *Ils constituent un élément essentiel de la plupart des gaizes siliceuses.* Leur proportion s'élève au maximum à *un demi*. En général, elle est représentée par des fractions comprises entre *un demi* et *un dixième*. Dans les variétés calcaires — qui ne sont d'ailleurs plus des gaizes — les spicules sont rares ou absents. On trouve pêle-mêle les formes relevant des différents ordres; un certain nombre sont fragmentaires. Ce mélange ainsi que l'état de division des spicules sont l'œuvre de l'action mécanique de l'eau.

Il y aurait beaucoup à dire sur l'état de fossilisation des restes de Spongiaires. Je renvoie à l'étude monographique de chaque gaize pour tous les détails qui concernent cette question. La matière dont est formée le spicule ou qui en occupe la place est très variable. J'ai reconnu l'*opale*, la *calcédoine*, la *glauconie* et la *pyrite*. Les trois premières substances sont susceptibles de s'associer en toutes proportions dans un seul spicule. La présence de la *pyrite* est particulièrement intéressante, car elle correspond à la mise en liberté de la silice qui formait primitivement les spicules. Elle est loin d'être exceptionnelle. Je l'ai trouvée sous cette forme, en très notable proportion, dans plusieurs échantillons de la gaize de Grandpré et dans celle du Cher.

L'existence de *vides* correspondant à l'emplacement de spicules dissous est de la plus haute importance ainsi que je le ferai ressortir en retraçant l'histoire de la gaize à partir de son dépôt. Ils n'existent pas — il s'en faut de beaucoup — dans tous les spécimens examinés. Je ne les ai pas observés dans les variétés grossières riches en minéraux, comme le sont la plupart des gaizes des massifs de Draize et de Marlemont. On les trouve en grand nombre dans la gaize albienne de Memphis, où ils occupent le *quart* de la surface totale d'une préparation; ils sont également nombreux dans certains échantillons de Vouziers, Grandpré, etc.

B. **Radiolaires**. J'ai signalé pour la première fois, en 1892, la présence de ces organismes dans la gaize [1]. Les formes reconnues appartiennent soit aux *Sphæroidea* et *Discoidea*, comme dans le massif de l'Argonne, soit aux *Sphæroidea, Ellipsida* et *Stychocyrtida* comme dans la gaize du Cher. Dans presque tous les échantillons, on rencontre des corps de forme sphérique ou ellipsoïdale, complètement transformés en calcédoine, et dont les affinités sont difficiles à fixer. Un certain nombre — peut-être tous — sont à rapporter aux Spongiaires et doivent être considérés comme des spicules globuleux massifs; mais il n'est pas invraisemblable qu'il n'existe parmi eux des Radiolaires entièrement transformés en calcédoine, dans lesquels la structure du test serait complètement effacée. Si l'on ne tient compte que des formes dont l'identification aux Radiolaires ne peut laisser aucun doute, il faut admettre que le rôle de ces organismes a été des plus restreint.

C. **Foraminifères**. La place qu'ils occupent dans les gaizes siliceuses est pour ainsi dire nulle. Certaines préparations en sont complètement dépourvues; d'autres en renferment trois ou quatre. Ces chiffres représentent la fréquence maxima des Foraminifères dans la plupart des gaizes. Quand le carbonate de chaux apparaît dans le ciment, les dépouilles de Rhizopodes calcaires se multiplient (Vouziers, Octeville, Humbligny, etc.). Lorsque la roche passe au calcaire, comme à Sommery, au Mt-Bernier, à Chassy et à Vailly, les Foraminifères deviennent les organismes prépondérants, mais à la vérité, le dépôt dans lequel ils sont inclus n'est plus une gaize.

La taille des coquilles de Foraminifères ainsi que l'épaisseur du test sont d'autant plus accusées que le caractère littoral du sédiment est lui-même plus marqué. Les gaizes de Draize et de Marlemont montrent les plus grands Rhizopodes calcaires de la gaize. Dans celles de l'Argonne et dans les variétés calcarifères, les Foraminifères sont très petits et pourvus d'un test très mince. Dans les gaizes exclusivement siliceuses, le test de ces organismes est invariablement silicifié ; il est en opale et beaucoup plus rarement calcédonieux. J'ai observé dans le Cher le cas de Foraminifères dont la place du test est occupée par une matière pigmentaire qui paraît être de la *pyrite*.

D. **Diatomées**. Dans la note préliminaire que j'ai consacrée, en 1892, aux Diatomées des gaizes [2], j'ai considéré ces organismes comme généralement fréquents. Les recherches faites en vue d'une étude d'ensemble des gaizes et étendues à un très grand nombre d'échantillons ont confirmé leur existence, mais elles m'obligent à restreindre beaucoup l'importance que je leur avais attribuée à la suite de l'examen de spécimens où les Diatomées se présentaient avec une fréquence tout à fait anormale. Un très grand nombre de ces roches en sont dépourvues. Pour les mettre en évidence, il est toujours indispen-

1. L. CAYEUX. De l'existence de Radiolaires, etc. *Ann. Soc. G. N.*, vol. 20, pp. 57-60 (1892).
2. L. CAYEUX. Sur la présence, etc. *Ann. Soc. G. N.*, vol. 20, pp. 57-60 (1892).

sable de procéder à la séparation mécanique des différents éléments qui composent la gaize, de les placer dans la glycérine, sous le microscope, et de les faire rouler lentement au sein de ce liquide. L'emploi de ce procédé, aussi laborieux que délicat, en raison de l'exiguïté des formes à examiner, m'a permis de trouver des carapaces de Diatomées dans plusieurs échantillons de gaizes albiennes et cénomaniennes de l'Est du Bassin de Paris. J'ai pu en reconnaître directement dans les préparations de la gaize de Chassy, où leur taille est plus grande [1].

En résumé, l'existence de Diatomées est certaine dans la gaize ; mais si l'on envisage l'ensemble de cette formation dans le Bassin de Paris et non quelques échantillons isolés où elles se trouvent en proportion absolument anormale, il faut reconnaître que le rôle de ces organismes est insignifiant.

Diatomées calcifiées. Quelques Diatomées de la gaize de Chassy ont leur cuirasse calcifiée. J'ai montré, en étudiant la gaize oxfordienne, que pareille transformation s'y est effectuée sur une vaste échelle pour des corps globuleux qui étaient siliceux à l'origine et qui ont été calcifiés en grand nombre. Le phénomène de la transformation en calcaire des coquilles siliceuses est déjà illustré de très curieux exemples. Il a été reconnu pour les *Hexactinellidæ* et les *Lithistidæ* des calcaires à Spongiaires du Jurassique supérieur et du Pläner de Bohême, de Saxe, etc., dont le squelette est formé de calcite transparente, cristalline et entièrement soluble dans les acides ; en Franconie, ces mêmes Éponges calcifiées ont conservé une partie de leur squelette siliceux, de sorte que l'on assiste pour ainsi dire à leur métamorphose. Dans l'étude des roches crayeuses de la seconde partie de ce mémoire, j'aurai maintes fois l'occasion de signaler la calcification des spicules originellement siliceux. Tout récemment, j'ai reconnu le même phénomène développé sur une très grande échelle dans le Tithonique supérieur du Sud de l'Ardèche, où de nombreux Radiolaires sont calcifiés [2].

En ce qui concerne les Diatomées, MM. Brun et Tempère ont appelé l'attention sur un cas très curieux de pseudomorphose par la calcite [3]. Dans un calcaire de Sendaï (Japon) considéré comme pliocène par Fischer, on trouve une très riche flore de Diatomées marines. Toutes les valves, entières ou fragmentaires, sont transformées en carbonate de chaux. Malgré la cristallisation très large de cette substance, les dessins délicats et variés qui ornent la carapace de ces organismes sont presque toujours intacts.

---

1. J'ai renoncé après maints essais infructueux à faire le diagnostic de valves de Diatomées dans les coupes minces. Il existe, en effet, plongés dans le ciment des gaizes typiques une infinité de corpuscules extrêmement petits qui présentent fréquemment en section une forme naviculaire parcourue dans sa plus grande longueur par une sorte de raie axiale, figurant une ligne médiane de valve de Diatomée. Ces éléments polarisent comme des carapaces de Diatomées pseudomorphosées par la calcédoine. Presque toutes et probablement toutes, sont des paillettes cristallines dont je dirai quelques mots à propos du ciment.

2. L. CAYEUX. De l'existence de nomb. Radiolaires, etc. *C. R. Ac. Sc.*, t. 122, pp. 312 et 313 (1896).

3. BRUN et J. TEMPÈRE. Diatomées fossiles du Japon, *Mém. Soc. de Phys. et Hist. nat. de Genève*, vol. 30, n° 9 (1889).

M. Zittel explique de la façon suivante la pseudomorphose des Eponges siliceuses par la calcite : « Lorsque l'éponge se trouva ensevelie dans les sédiments, la première modification de son squelette fut la dissolution de la silice et il se forma de petites cavités à la place de ses spicules ; ces cavités furent les géodes où vint cristalliser la calcite des eaux d'infiltration » [1]. M. Hinde [2] ne croit pas davantage qu'il y ait eu substitution moléculaire et propose la même explication que M. Zittel. Il ne paraît pas vraisemblable que la pseudomorphose des Diatomées se fasse par le même processus. Comment expliquer que la microstructure ne soit pas altérée ou même complètement effacée et les fossiles impropres à l'étude microscopique, s'ils ont complètement disparu en ne laissant que des vides, ultérieurement remplis par la calcite. La substitution lente et progressive du carbonate de chaux à la silice peut seule expliquer l'état de conservation des Diatomées de Sendaï et de l'Yonne.

3° CIMENT

L'étude du ciment des gaizes soulève des problèmes aussi variés que compliqués. Il n'est pas exagéré de dire que presque tout l'intérêt qu'offre l'étude de ces roches réside dans la matière qui agglutine les minéraux et organismes. Le ciment peut être étudié au double point de vue de sa composition minérale et de sa structure.

A. **Composition minérale du ciment.** Je laisserai de côté les fausses gaizes à ciment exclusivement calcaire, et j'aurai particulièrement en vue les gaizes typiques de l'Est du Bassin parisien. Dans cette région les manières d'être de la composition du ciment peuvent se ramener à deux principales :

a. Le ciment est partiellement calcaire. Le carbonate de chaux est toujours l'élément accessoire du ciment. Il n'est que le témoin d'une formation plus étendue en voie de destruction. Le reste du ciment est formé d'un mélange intime de silice et de matière argileuse.

b. Le carbonate de chaux manque ou peu s'en faut et le ciment ne renferme que de la silice et de l'argile. C'est la composition du ciment de la grande majorité des gaizes de l'Argonne et des massifs de Draize et de Marlemont. Il faut la considérer comme typique pour la gaize proprement dite.

Partout ailleurs, dans le Bray, dans l'Yonne et dans le Cher, le carbonate de chaux est un élément constant et souvent important, mais il peut disparaître entièrement dans les points de concentration de la silice (parties cherteuses).

B. **Structure du ciment.** *a. Silice.* Des trois modalités que présente la silice libre dans les gaizes, l'*opale* est de beaucoup la plus répandue ; la *calcédoine* est un élément d'importance secondaire.

---

1. ZITTEL. Traité de Paléontologie (Trad. CH. BARROIS), vol. 1, p. 148 (1883).
2. G. J. HINDE. A Monogr. of the Brit. Fos. Sponges. *Pal. Soc.*, vol. 40, p. 58 (1887).

Opale et ses variétés ; structure globulaire de l'opale. L'opale montre trois manières d'être :

α. On la voit en masse homogène, grise, jaunâtre ou franchement jaune, associée à une petite quantité de matière argileuse. Le mélange des deux substances est très intime et lorsque la première ne subit aucune différenciation morphologique — ce qui est le cas général — il est extrêmement difficile de fixer au microscope, même approximativement, la part qui lui revient dans la composition du ciment. Cette variété de silice n'exerce aucune action sur la lumière polarisée. C'est l'*opale gélatinoïde* [syn. *Opale gélatineuse, silice gélatineuse, silice hydratée* (pars)].

β. Dans beaucoup de gaizes l'opale gélatinoïde apparaît homogène aux plus faibles grossissements, mais vient-on à l'examiner de près, on aperçoit une infinité de petites circonférences souvent incomplètes d'un diamètre maximum de $0^{mm}02$. C'est une ébauche de structure globulaire. Le dessin des globules est plus ou moins achevé, mais il n'y a pas à proprement parler de différenciation morphologique. A un deuxième stade, le ciment se découpe en petites perles qui restent soudées et prend dans son ensemble un aspect finement mamelonné. L'opale ainsi modifiée reproduit l'aspect perlitique de certains dépôts artificiels de silice [1]. La phase qui lui succède est marquée par l'apparition de la calcédoine. Le ciment d'opale gélatinoïde cesse de former une masse continue. Il est interrompu par des taches de *calcédoine.* Au contact de cette substance, la silice gélatinoïde revêt la forme globulaire, mais tous les petits sphéroïdes restent intimement soudés à la masse du ciment qui prend l'aspect d'un agrégat globuleux ou mûriforme, susceptible de varier à l'infini. Puis les globules s'isolent davantage ; ils s'alignent en séries moniliformes enveloppant les spicules de Spongiaires, et pénètrent dans les plages calcédonieuses. Les perles siliceuses se groupent de mille façons toutes plus élégantes les unes que les autres. Au dernier stade, les globules acquièrent une indépendance complète ; ils sont absolument libres dans la calcédoine. *L'opale gélatinoïde* passe ainsi à la variété qui a reçu le nom d'*opale hyalitique.*

Étudiées en elles-mêmes, les sphérules dont les dimensions sont toujours voisines de $0^{mm}02$ se comportent de plusieurs manières. Tantôt, ce sont des boules faites de la même opale du centre à la périphérie ; tantôt le sphéroïde présente un noyau et une enveloppe de couleurs et de réfringences différentes. Dans ces deux cas qui sont incomparablement les plus fréquents, les globules n'ont pas d'action sur la lumière polarisée. Tantôt enfin on y découvre une série d'enveloppes concentriques. Il se développe alors des tensions différentes du centre à la périphérie ainsi que l'ont expliqué MM. Fouqué et Michel-Lévy [1] ; la densité varie ainsi que l'élasticité optique pour les

1. H. J. Sclack. On certain beaded Silica, etc., *The Month. Mic. Journ.*, vol. II, pp. 237-241, pl. 63 et 64 (1874).

A. H. Church. Observations on Silica. *Journ. of the Chem. Soc. of London*, vol. 15, pp. 107-110 (1862).

différentes zones, et l'ensemble agit sur la lumière polarisée à la façon du verre comprimé. Chaque perle présente une croix noire dont les bras sont situés dans les plans principaux des nicols croisés. Comme l'existence de l'opale hyalitique est liée sans exception à celle de la calcédoine, et que le diamètre moyen des globules ($0^{mm}02$) est un peu inférieur à l'épaisseur de la préparation, il est toujours très difficile de séparer le phénomène de polarisation propre au magma calcédonieux de celui des sphérules qui y sont emprisonnées.

γ. L'opale des gaizes peut être *sphérolithique*. En ce cas les globules sont très finement radiés à partir de leur centre. D'après MM. Fouqué et Michel-Lévy, les fines radiations si régulières de l'opale sphérolithique des roches cristallines paraissent devoir être uniquement rapportées à un phénomène de contraction.

De ces différentes manières d'être de la silice colloïde, c'est l'opale gélatinoïde qui prédomine de beaucoup. Les variétés hyalitiques et sphérolitiques sont très accessoires.

Les figures 3 et 4 (Pl. I), 1 et 2 (Pl. II) montrent divers états de l'opale de la gaize. Les globules y sont exceptionnellement indépendants. Dans la fig. 4 (Pl. I) on assiste pour ainsi dire à la naissance de globules aux dépens de l'opale gélatinoïde. La structure globulaire de la fig. 3 (Pl. I) est à un stade plus avancé, mais la calcédoine est encore peu répandue. La fig. 2 (Pl. II) montre que la calcédoine (représentée par le fond blanc) est en progrès et qu'en même temps la différenciation de l'opale est beaucoup plus prononcée. La fig. 4 (Pl. IV) donne une excellente idée de l'opale hyalitique.

L'état globulaire de la silice est connu dans les roches cristallines et sédimentaires. Vogelsang [2] en a noté la présence dans les premières en 1872, et il a appelé *globulites* les sphéroïdes siliceux homogènes. M. Michel-Lévy en a signalé un beau développement dans le porphyre euritique rubané des Settons [3]; *tous les globules γ sont cristallisés*. L'éminent directeur du Service de la Carte les considère comme représentant des passages gradués entre la silice à l'état colloïde et le quartz cristallin. M. Hinde l'a reconnu, en 1885, dans le Greensand inférieur et supérieur du Sud de l'Angleterre [4]. MM. Jukes-Browne et W. Hill l'ont retrouvé dans le Cénomanien à *Sch. varians* du Berkshire et du Wiltshire [5]. Au sujet de cette différenciation morphologique si particulière de l'opale, ces savants ont soulevé plusieurs problèmes qui méritent de retenir longuement l'attention. J'aurai l'occasion d'en parler à la fin de ce chapitre, en essayant de déterminer l'origine de la silice minérale des gaizes.

Calcédoine, Chert et *Silex*. La seconde modalité de la silice non détritique des gaizes,

1. FOUQUÉ et MICHEL-LÉVY. Minéralogie microgr. pp. 180-181 (1879).
2. H. VOGELSANG. Sur les cristallites. etc., *Arch. néerl. des Sc. exactes et nat.*, vol. 7, p. 419 (1872).
3. A. MICHEL-LÉVY. Note sur div. états glob. de la silice. *B. S. G. F.*, 3e Sér., vol. 5 (1876).
4. G. J. HINDE. On Beds of Sponge-remains, etc. *Ph. Tr. of the R. Soc.*, part. II (1885).
5. A. J. JUKES-BROWNE et W. HILL. The occurence of colloïd Silica, etc. *Q. J. G. Soc.*, vol. 45, pp. 403-422 (1889).

c'est-à-dire la calcédoine, existe sur l'emplacement des débris de Spongiaires et fait également partie intégrante du ciment. C'est en tant qu'élément du ciment que je vais l'étudier. On la trouve indifféremment dans les gaizes exclusivement siliceuses et dans celles qui sont abondamment pourvues de carbonate de chaux. Toute apparition de calcédoine dans le ciment se traduit sur l'échantillon par le développement de taches nuageuses et dures qui ne sont autres que des points cherteux. Lorsque l'envahissement du ciment par la calcédoine se fait sur une plus grande échelle, le résultat est la formation de véritables nodules siliceux intimement soudés à la gaize normale à laquelle ils passent insensiblement. Ce sont des *cherts*.

Les plages de calcédoine sont formées aux dépens du ciment et des organismes siliceux. La participation des spicules de Spongiaires à la genèse de ces plages se fait de la façon la plus capricieuse : *on voit côte à côte un spicule entièrement calcédonieux et un autre en opale ayant conservé son canal.* Règle générale, les îlots calcédonieux sont très petits et fréquemment interrompus par des organismes intacts et des portions de ciment indifférencié.

La calcédoine prenant naissance aussi bien dans les gaizes siliceuses que dans celles qui admettent une forte proportion de carbonate de chaux (Octeville et Humbligny), il en résulte que le *chert est calcaire ou non, suivant la composition de la gaize dont il procède;* on peut observer des cherts privés de carbonate de chaux dans les gaizes qui en sont pourvues. Ce qu'il importe de bien remarquer, c'est que le chert n'est jamais une roche homogène. Il se décompose, en définitive, en deux portions d'importance très variable, la calcédoine d'une part, et de l'autre tous les éléments de la gaize ; elles sont très irrégulièrement enchevêtrées l'une dans l'autre. Sur les bords des cherts, la calcédoine disparaît graduellement pour laisser une place de plus en plus prépondérante aux organismes et au ciment non calcédonieux qui se relient, avec de courtes interruptions, à ceux qui sont plus éloignés de la périphérie des nodules. On peut dire que la gaize normale qui enveloppe le chert pénètre dans ses parties les plus profondes. Ainsi s'explique la soudure si intime des gaizes et de leurs nodules siliceux.

On peut ériger en principe que *les parties cherteuses correspondent aux points où les organismes siliceux présentent leur fréquence maxima,* mais le grand nombre de spicules dans un dépôt n'est pas nécessairement le point de départ de la formation des cherts. Si l'on compare deux gaizes différentes, il est assez fréquent que les nodules siliceux se rencontrent de préférence dans la gaize la moins riche en débris de Spongiaires. Cette particularité trouve son explication dans ce fait que la genèse du chert des gaizes se décompose en deux phénomènes : l'un qui n'est autre que *la transformation sur place d'une partie de la silice préexistante* ; l'autre qui correspond à un *enrichissement très marqué en silice* de tout l'espace occupé par le nodule. La présence de nombreux spicules en un point est bien une condition qui paraît nécessaire chez les gaizes pour la formation

des nodules cherteux ; mais elle n'est pas suffisante. Il faut qu'il y ait addition de silice ; et lorsque cette dernière condition n'est pas réalisée dans les gaizes riches en spicules, les cherts sont rares ou absents. J'essayerai de déterminer plus loin d'où vient la silice qui contribue ainsi à former le chert.

Je n'ai observé le *passage du chert au silex* que dans un seul cas. C'est la gaize du cap de la Hève qui m'a fourni cet unique exemple. La même préparation montre le passage de la gaize normale au chert et du chert au silex. Ce dernier ne se distingue en rien des silex les plus typiques et les plus largement cristallins, mais il est inséparable de la gaize par suite de la zone cherteuse qui l'y rattache.

b. Matière argileuse. L'analyse chimique accuse une proportion très variable et souvent très notable d'*alumine*. La plus grande partie de cette substance se trouve combinée à la silice sous forme d'*argile*. La silice gélatinoïde et la matière argileuse se pénètrent de la façon la plus intime pour former le ciment de la plupart des gaizes. Les séparer est souvent chose difficile ou impossible au microscope. Entre les nicols croisés, le ciment des gaizes siliceuses présente le phénomène de polarisation chromatique très apparent. L'ensemble se résout en un magna imprégné de matière amorphe qui, pour une rotation complète de la platine du microscope, se pare quatre fois d'une teinte gris bleu ou gris blanc, d'aspect nuageux et très inégale. Cette teinte sert pour ainsi dire de fond à d'innombrables paillettes cristallines qui polarisent avec des couleurs bien tranchées.

Une section mince de certaines argiles plastiques des environs de Paris et notamment de Montereau reproduit le même aspect. On y distingue de petites lamelles cristallines avec la même forme, la même structure et les mêmes couleurs que celles des gaizes. La ressemblance s'étend jusqu'aux moindres particularités. Ces paillettes rappellent celles que l'on observe dans les sections minces de feldspath orthose dont la limpidité est troublée par la présence d'une fine poussière argileuse due à la décomposition du cristal.

Il y a association dans le ciment des gaizes siliceuses, comme dans les argiles sédimentaires proprement dites, de différentes espèces de silicates d'alumine hydratés, l'une à l'état de paillettes nettement cristallines, l'autre ne se laissant pas décomposer en ses éléments constituants, mais présentant un phénomène optique évident.

Destruction de la matière argileuse. De même que l'élimination du carbonate de chaux est un phénomène consécutif de l'apparition de la structure globulaire et surtout de la calcédoine, de même la matière argileuse est détruite lorsque la silice de la gaize subit une différenciation morphologique prononcée ou qu'elle cristallise en calcédoine. Cette loi que j'ai soumise à un grand nombre de vérifications ne souffre aucune exception. Le développement de l'opale hyalitique correspond déjà à un appauvrissement en matière argileuse ; dans les plages calcédonieuses des cherts toute trace en a disparu. C'est ce que confirme l'analyse chimique. Peut-être songera-t-on à tourner la difficulté en supposant

qu'il n'y avait pas d'argile aux points où s'est concentrée la silice pour engendrer des nodules. Cette opinion est insoutenable. Les îlots d'opale à forme botryoïde enfermés dans les plages calcédonieuses, et représentant des portions de la gaize que la calcédoine ne s'est pas assimilées ont conservé un peu de matière argileuse. C'est pour cette raison que l'analyse chimique des nodules accuse toujours une faible teneur en alumine. Ils donnent une idée tout au moins approchée de la composition initiale de la gaize. On ne peut raisonnablement mettre en doute que la distribution de l'argile était uniforme. Il est inadmisible que les points d'élection, soit pour les métamorphoses de la silice, soit pour la silicification et la transformation en cherts, aient été marqués dès le principe par un groupement spécial des matériaux détritiques de la gaize. Le problème est d'ailleurs absolument identique à celui qui se pose pour le carbonate de chaux. Cette substance a été expulsée des plages de calcédoine comme on en a tant de preuves pour les gaizes d'Octeville et du Cher. Son élimination s'est faite par un processus purement chimique ; c'est à l'état de solution que les éléments de carbonate de chaux ont quitté la gaize.

La question est beaucoup plus complexe pour l'argile. L'eau est naturellement désignée pour servir de véhicule à toute substance qui émigre d'un dépôt. Dans l'espèce, il faut absolument renoncer à l'idée d'*élimination mécanique*. On ne se figure pas des particules argileuses, si ténues qu'elles soient, cheminant dans une roche où il n'existe d'autres vides que ceux qui correspondent à l'emplacement de spicules disparus. Si cette explication ne satisfait pas aux conditions du problème, il faut nécessairement recourir à un phénomène chimique. Toute la question est dominée par ce fait : en gros, *la quantité d'argile aux différents points d'une gaize qui passe au chert, varie en raison inverse des métamorphoses subies par la silice;* c'est-à-dire que *la distribution de l'argile est réglée en ces points par un phénomène essentiellement chimique.* Comment les conditions qui ont présidé à ces métamorphoses ont-elles pu agir ainsi sur la silice, si ce n'est en déterminant sa décomposition? Pour ma part, je ne vois qu'une solution, c'est d'admettre que l'argile n'a pu disparaître qu'après avoir été décomposée. Je suis convaincu qu'en y regardant de près, on trouvera d'autres exemples de ce phénomène. Maints calcaires argileux présentent de grandes plages uniquement formées de calcite pure, alors qu'il est bien évident que l'argile était uniformément répartie dans la roche avant sa transformation. Ici encore, il faut nécessairement demander à la chimie l'explication de l'élimination de l'argile.

J'en arrive à cette conclusion que, dans certaines conditions qu'il reste à fixer, *les silicates hydratés d'alumine des gaizes sont susceptibles de se décomposer in situ, et que le phénomène se passe surtout dans les points où il est notoire que la roche s'enrichit en silice.* Je reviendrai plus loin sur ce sujet en recherchant les différentes sources de la silice minérale des gaizes.

4° COMPOSITION CHIMIQUE DES GAIZES

J'ai fait connaître la composition chimique de plusieurs gaizes dans l'étude monographique que je leur ai consacrée Il me reste à comparer les résultats de leur analyse.

Le tableau suivant réunit les données afférentes à neuf gaizes. (Les analyses 5, 6 et 7 se rapportent à différents échantillons d'une même localité).

1. Gaize à *Cardioceras Mariæ* d'Osches (Ardennes); 2. Gaize à *Ac. mamillare* de La Reupette (Ardennes); 3. Gaize à *Sch. inflata* de Vouziers (Ardennes); 4. Gaize à *Sch. inflata* de Marlemont (Ardennes); 5-7. Gaize à *Sch. inflata* de Sommery (Seine-Inférieure); 8. Gaize cherteuse à *Sch. inflata* d'Octeville (Seine-Inférieure); 9 Gaize à *Sch. inflata* de Chassy (Yonne); 10. Gaize cherteuse à *Ac. Mantelli* d'Henrichemont (Cher); 11. Gaize tendre à *Ac. Mantelli* d'Henrichemont.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Silice soluble dans la potasse. . .	9	28.3	11.3	20.6	33	2.6	60.5	4.4	6.6	35	75.3
Silice insoluble. .	72 } 81	56 } 78.9	64.8 } 76.1	68.4 } 89	42.5 } 75.5	55.65 } 58.25	14.25 } 74.75	80 } 84.4	57 } 63.6	57.3 } 92.3	67 } 82.3
Alumine	4.6	4.4	7.2	1	1.57	14.73	1.55	3.4	7.2	2	6
Peroxyde de fer .	2	6.6	5	3	1.4	5.8	2.05	1.2	2.8	2	3
Chaux	3.33	1.6	2.6	1.3	7.2	3.92	9.15	3.6	11.3	0.6	1.6
Magnésie. . . .	» »	» »	» »	» »	3	2.3	0.02	» »	» »	» »	» »
Perte par calcination	8.6	8	8.6	5.6	11.33	15	12.38	7	14.6	2.8	6.6
Totaux . . .	99.53	99.5	99.5	99.9	100	100	99.9	99.6	99.5	99.7	99.5

Silice. La première particularité que ce tableau met en évidence c'est que la proportion de silice soluble dans la potasse est très variable. Meugy et M. Nivoit avaient déjà signalé ce fait en remarquant que la teneur en silice gélatineuse varie « sans paraître liée à aucun caractère minéralogique ». Les différences tiennent à trois causes:

A. Les analyses n'ont pas été faites dans les mêmes conditions, et il n'y a vraiment de comparables entre eux que les résultats de celles qui ont été exécutées au laboratoire d'essais de l'Ecole des Mines. Pour les autres, c'est-à-dire pour celles des échantillons 5-7, la durée de l'attaque, le titre et la température de la solution de potasse sont inconnus. Or, les travaux de M. Rammelsberg[1], puis ceux de MM. Renard et Klément[2] ont montré que l'attaque par la potasse caustique ne se borne pas seulement à la silice amorphe, mais que le quartz lui-même peut se dissoudre. La solubilité croît ou décroît suivant les conditions de l'expérience. Ainsi un silex noir dont on a traité la poudre fine par une solution de potasse caustique à 20 °/₀ au bain-marie s'est dissous jusqu'à 51 °/₀ pendant 3 heures; l'expérience ayant été ensuite prolongée pendant 9 heures la solubilité s'est accrue jusqu'à 86 °/₀ (Renard et Klément). M. Rammelsberg avait déjà remarqué qu'une calcédoine de Hongrie et un silex soumis à une attaque prolongée de la potasse s'étaient dissous jusqu'à 94 °/₀ de leur masse. On ne doit donc

1. RAMMELSBERG. Ueber das Verhalten der aus Kieselsäure, etc. *Pog. Ann.*, vol. 112 (1861).

2. RENARD et KLÉMENT. Sur la nat. min. des silex, etc. *Bull. Ac. roy. Belg.*, 3ᵉ S., vol. 14, pp. 789-790.

attacher qu'une valeur relative aux indications fournies par les expériences, et comme l'a conclu M. Rammelsberg, la quantité de silice amorphe est toujours inférieure à celle qu'on déduirait de la somme de silice dissoute.

C'est sans doute l'explication des différences si marquées dans la teneur en silice soluble entre les anciennes analyses et celles que j'ai données plus haut. La première analyse de la gaize de l'Argonne publiée en 1842 par Sauvage et Buvignier accusait 56 °/₀ de silice gélatineuse alors que le maximum fourni par les deux analyses (3 et 4) de cette gaize n'est que 28,3. De même Sauvage et Buvignier ont indiqué une teneur de 56,2 de silice soluble dans l'alcali pour la gaize oxfordienne, alors que l'échantillon d'Osches n'en a fourni que 9 °/₀.

B. La deuxième raison des différences de teneur en silice soluble tient au choix des échantillons destinés à être analysés. L'examen micrographique des gaizes montre souvent des différences de composition d'un point à un autre d'une préparation. Je rappelle qu'un même bloc originaire de Vouziers m'a fourni des sections très riches en carbonate de chaux et d'autres où cette substance était rare.

C. Pour les échantillons analysés à l'Ecole des Mines, dans les mêmes conditions d'expérience [1], les écarts de teneur en silice gélatineuse sont dus à des différences réelles et non fictives. La considération des teneurs en silice soluble, en négligeant celles des échantillons 5-7, montre qu'il existe parfois des écarts considérables entre divers échantillons d'une même formation. Elle nous apprend qu'il y a plus de silice soluble dans une gaize que dans une autre, mais *la valeur absolue des chiffres qui servent à exprimer les teneurs ne correspond pas à une modalité déterminée de la silice que le microscope pourrait mettre en évidence.* L'opale gélatinoïde, l'opale hyalitique, l'opale sphérolithique, la calcédoine et jusqu'au quartz de la gaize, tous ont été mis à contribution simultanément pour fournir ces chiffres. Je dois avouer qu'après avoir beaucoup étudié les gaizes, j'ai peine à me figurer ce que peut être, au point de vue micrographique, un échantillon qui renferme une proportion donnée de silice gélatineuse. Dans ces conditions, il me paraît bien inutile de mettre l'existence de silice soluble dans la potasse, au premier rang des caractères de la gaize.

S'il faut renoncer à faire de la silice soluble un caractère primordial des gaizes, du moins peut-on tirer parti de la somme totale des différentes silices qui entrent dans leur formation. Si, du tableau précédent, on élimine les échantillons 5 et 6 dont l'analyse a été donnée par M. de Lapparent et qui me sont inconnus au point de vue micrographique; si l'on en supprime encore les spécimens 7 et 9 qui s'écartent considérablement de la gaize normale, ainsi que je l'ai fait remarquer en les décrivant, on voit que la

1. Les échantillons sont restés pendant 20 heures environ en présence d'une solution froide de potasse caustique à 20 °/₀, et pendant 4 heures à chaud, au bain de sable, entre 50° et 65°.

quantité de silice totale varie pour les autres gaizes entre 76 et 92 % [1]. Ces chiffres fixent les limites entre lesquelles peut varier la teneur des gaizes typiques en silice totale, en même temps que celles qui sont assignées à l'ensemble des autres matières qui s'ajoutent à la silice pour former la gaize.

Alumine. La proportion d'alumine est très changeante. On voit par exemple un échantillon de Marlemont qui en renferme 1 % et une gaize de Sommery qui en contient 14,673. D'après Meugy et M. Nivoit, la teneur en alumine s'élèverait à 16,5 % dans une gaize de Grandpré.

Carbonate de chaux. La question du carbonate de chaux des gaizes est très importante, cette substance étant souvent liée à une composition organique spéciale de la roche. Bien qu'on n'en puisse déceler la moindre trace dans beaucoup de sections minces, l'analyse chimique en démontre l'existence dans tous les échantillons. Les gaizes les plus typiques sont celles qui n'en renferment qu'une très faible quantité comme les échantillons de La Reupette, Vouziers et Marlemont (nos 2-4). Lorsqu'on arrive à des proportions de 7,2, 9,15, 11,3, de chaux, comme pour les gaizes de Sommery et de Chassy, on se trouve en réalité en présence de roches qui n'ont plus que de lointaines affinités avec les gaizes : les spicules de Spongiaires sont rares ou absents, les Foraminifères abondent ; bref le changement de composition chimique coïncide avec une modification profonde dans la composition organique de la roche.

VI. CONCLUSIONS. ORIGINES DE LA SILICE DU CIMENT DES GAIZES

Définition et caractères de la gaize typique. Qu'est-ce qu'une gaize et quels sont les caractères de la gaize typique ? Telles sont les questions auxquelles je vais maintenant répondre. Lorsque Sauvage et Buvignier ont introduit le vocable gaize dans la nomenclature des terrains sédimentaires, leur connaissance de cette roche était limitée à ses propriétés physiques (légèreté, etc.) et à la connaissance d'une forte proportion de silice gélatineuse. A l'aide des données qui précèdent, on peut fixer de la manière suivante les caractères qui servent de définition à la gaize typique, celle du massif de l'Argonne :

1° *Grande fréquence de débris de Spongiaires ;*

2° *Existence d'un ciment formé d'opale généralement prédominante, de matière argileuse, de calcédoine accidentelle et d'une faible proportion de carbonate de chaux ;*

3° *Prédominance de la somme des produits des activités organique et chimique sur celle des agents de transport.* Le quartz clastique représente au plus la moitié de la roche ;

4° *Proportion de silice totale comprise entre 76 et 92 %.*

1. La somme des silices est indiquée sur la seconde rangée de chaque colonne.

La notion de silice soluble dans la potasse est remplacée dans l'ensemble des caractères diagnostiques par celle de silice hydratée à ses différents états.

L'expérience m'ayant montré qu'au-delà de 3 à 4 °/₀ de chaux, toute augmentation notable dans la teneur en cette substance correspond à l'introduction de nombreux Foraminifères dans la roche, en même temps qu'à une diminution dans le nombre des débris de Spongiaires, c'est-à-dire à une profonde modification des caractères essentiels du dépôt, j'ai fixé à 10 °/₀ environ la proportion maxima de carbonate de chaux pouvant entrer dans une gaize. Lorsque cette teneur est atteinte, la roche s'écarte notablement du type gaize ; on peut l'appeler *gaize calcarifère*. Elle passe au *calcaire* lorsqu'elle est beaucoup plus élevée. Il est inutile de fixer une limite pour la teneur en matière argileuse ; l'augmentation disproportionnée de cette substance devenant imcompatible avec l'existence de nombreux restes d'organismes siliceux, et supprimant par le fait le caractère organique fondamental de la gaize.

Si l'on ne tient compte que de la composition actuelle de la gaize typique, on peut la définir *une roche siliceuse, très riche en débris d'organismes siliceux, renfermant du quartz* (quelques unités à 50 °/₀) *et de la glauconie, le tout agglutiné par un ciment d'opale additionnée d'argile, quelquefois de calcédoine, et comportant une très faible proportion de carbonate de chaux.*

De la nécessité d'introduire définitivement le terme gaize dans la nomenclature des roches sédimentaires. Le terme gaize était employé dès le principe pour désigner une formation d'un âge déterminé, celle de l'Argonne. La même composition de roche existant dans d'autres assises, on s'est servi du mot gaize pour la traduire, et l'on connaît aujourd'hui des gaizes oxfordiennes, albiennes et cénomaniennes. On verra plus loin qu'il en existe de plus récentes. Il est très désirable que ce vocable entre définitivement dans la nomenclature des terrains sédimentaires pour désigner des roches d'âge quelconque, répondant à la composition fixée plus haut. Je rattache à ce groupe, à titre de variétés, des roches que j'étudierai dans les chapitres suivants et dont la proportion de minéraux clastiques est parfois très supérieure à 50 °/₀. Ce sont des *gaizes quartzeuses*. Le terme grès qui s'applique aux roches siliceuses clastiques, en général, ne peut satisfaire convenablement à tous les emplois qu'on est amené à en faire, par suite de l'insuffisance de la terminologie. Ainsi il est inadmissible qu'on appelle également grès, une roche qui renferme par exemple 80 °/₀ et plus de silice sous la forme de quartz clastique, et un sédiment pourvu de la même quantité de silice dont une très faible partie (quelques unités pour cent, le plus souvent) est d'origine détritique. Il est absolument nécessaire, pour éviter une source permanente d'indécision, qu'un nom spécial soit réservé aux roches sédimentaires siliceuses dont la silice est non-clastique pour une bonne partie. Le terme gaize généralisé conviendrait à merveille, puisqu'il est appliqué à une roche bien définie au triple point de vue minéral, organique et chimique. Je propose donc d'admettre l'existence

d'un groupe de *gaizes* à côté de celui des *grès*, et d'y faire rentrer toutes les roches qui satisfont aux conditions de composition indiquées, sans considération de leur âge.

Suivant la nature des organismes siliceux qui prennent une part *prépondérante* à la formation de la gaize, on pourra distinguer les variétés suivantes : *gaize à Spongiaires*, *gaize à Radiolaires*, *gaize à Diatomées*. Celles que j'ai étudiées se rapportent au premier type. Les modifications dans la composition minérale peuvent être exprimées en distinguant des *gaizes quartzeuses*, *gaizes argileuses*, *gaizes calcarifères*, etc., lorsque le quartz deviendra un élément essentiel et que la proportion d'argile ou de carbonate de chaux cessera d'être réduite à quelques unités pour cent. Je reviendrai plus loin sur ce sujet.

Variétés de gaizes représentées dans le Bassin de Paris. Les conditions auxquelles doit satisfaire une roche pour être nommée gaize étant connues, il est nécessaire de passer rapidement en revue celles que j'ai décrites dans ce chapitre, et de s'assurer que quelques-unes d'entre elles n'ont pas été appelées indûment gaizes.

Oxfordien. La variété siliceuse, renfermant 81 % de silice totale, peut à la rigueur rentrer dans le groupe des gaizes. Elle en est toutefois une variété très aberrante en raison de l'existence des corps globuleux siliceux.

Albien. Les gaizes de La Reupette et de Liart passent aux gaizes quartzeuses ; les autres sont de vraies gaizes à Spongiaires.

Cénomanien. Assise à *Sch. inflata.* Dans le massif de l'Argonne, la gaize est normale, argileuse, quelquefois calcarifère (Vouziers). Dans celui de Marlemont, elle est quartzeuse (Foigny et La Houssoye), argileuse ou normale. Les gaizes du Bray et du Cap de la Hève sont normales (Ernemont), calcarifères (Octeville) ; celle de Sommery passe à un calcaire partiellement silicifié. La gaize de l'Yonne est un calcaire à Foraminifères en voie de silicification.

Assise à *Ac. Mantelli.* Les roches de ce niveau appelées gaizes sont des gaizes proprement dites ou des calcaires en partie silicifiés (Vailly et St-Satur).

ORIGINES DE LA SILICE DU CIMENT DES GAIZES

La silice qui prend une part si importante à la composition de la gaize typique (76-92 %), et qui lui imprime une physionomie si particulière a plusieurs origines. D'où vient la silice minérale du ciment et à quelle époque a-t-elle pris la place qu'elle occupe aujourd'hui ? telles sont les questions que je vais aborder.

Il faut convenir que malgré le grand nombre de travaux qui ont été consacrés à la silice des roches sédimentaires, l'histoire de ce minéral a été écrite avec autant d'hypothèses que de faits positifs. Cette réflexion n'est point faite pour diminuer le grand mérite des savants étrangers qui ont cherché et poursuivent encore la solution des problèmes que comporte l'étude de ce minéral. Ce sujet est si complexe, et il se présente avec tant d'aspects, qu'il est vraiment impossible d'éliminer les conjectures, dès que l'on

essaye de suivre la silice, dans toutes les phases de l'histoire des dépôts dans lesquels elle est incorporée.

On trouvera dans le mémoire de M. Gaudry : *Sur l'origine et la formation des silex de la craie et des meulières des terrains tertiaires*, un aperçu des travaux sur la silice, antérieurs à 1852, et dans celui de MM. Renard et Klément, *sur la nature minérale des silex de la craie de Nouvelles* [1], l'indication des études plus récentes dont ce minéral a été l'objet. Je laisserai de côté, dans la recherche des différentes sources de silice de la gaize, les hypothèses de la précipitation directe de la silice minérale en solution dans l'eau de mer et de l'intervention des sources. Elles ont perdu tout crédit dans la science ; leur examen serait sans bénéfice pour cette étude. Enfin je n'étudierai pas dans ce mémoire les conditions encore bien obscures qui président à la mise en solution de la silice des organismes siliceux et à sa précipitation dans les sédiments. On ne s'étonnera donc pas que je passe sous silence les remarquables travaux de G. Bischoff, Justus Roth, A. Julien, Wallich, J. Sollas, etc., susceptibles d'éclairer cette question.

PREMIÈRE SOURCE DE SILICE. **Dissolution des spicules sur le fond de la mer.** 1° M. Thoulet a établi, en 1884, que les spicules des Éponges vivantes sont très attaquables par les divers agents chimiques ayant une action sur la silice [2], de sorte qu'ils doivent être facilement dissous dans la mer après la mort de ces organismes. Et de fait, après la mort de l'Éponge, on observe un élargissement très notable du canal qui correspond à la mise en liberté d'une certaine quantité de silice. Carter [3], en étudiant des spicules recueillis à d'assez grandes profondeurs, avait déjà constaté qu'ils présentaient des traces manifestes de corrosion de la surface et d'élargissement du canal. Voici donc une première observation très importante, d'ailleurs mise à profit depuis longtemps par les géologues qui ont étudié l'origine du silex : *Les spicules fournissent de la silice sur le fond même de la mer avant qu'ils ne soient enfouis dans les sédiments.* MM. Murray et Irvine ont démontré par des expériences que l'eau de mer, agissant sur des boues composées de restes d'organismes calcaires et siliceux, met de l'acide silicique en liberté [4].

2° Que devient cette silice ? Personne ne l'a établi par une observation directe. Mais Gwyn-Jeffreys [5], dans une discussion qui eut lieu à la Société géologique de Londres, en 1873, à la suite d'une communication de M. Sollas, annonça que dans ses explorations de mer profonde, il avait trouvé des *Foraminifères dont l'intérieur était rempli de silice.* Cette observation est de la plus grande importance. On a vu plus haut que la silice organique des Spongiaires peut se dissoudre sur le fond de la mer. On constate ici que

1. RENARD et KLÉMENT. *Bull. Ac. roy. de Belg.* 3e S., vol. 14, pp. 775 et suiv. (1887).
2. J. THOULET. Sur les spic. silic. d'Epong. viv. *C. R. Ac. Sc.*, vol. 98, pp. 1000 et suiv. (1884).
3. CARTER in SOLLAS. On the Flints Nodules, etc. *Ann. and Mag. of N. Hist.*, 5e S., vol. 6, p. 444 (1880).
4. J. MURRAY and R. IRVINE. On Silica, etc. *Proc. roy. Soc. Edinb.* vol. 18, pp. 229-251 (1890-91).
5. GWYN-JEFFREYS in SOLLAS. On the Coprol., etc. *Quart. Journ. Geol. Soc.*, etc., 2e S., vol. 29, p. 80 (1873).

de la silice peut se précipiter avant que les coquilles de Rhizopodes ne soient ensevelies. Voici donc une première source susceptible d'intervenir au cours même de la sédimentation.

DEUXIÈME SOURCE DE SILICE. **Dissolution des spicules à l'intérieur du sédiment.** J'ai noté la présence dans beaucoup de gaizes de *vides* ayant rigoureusement conservé la forme de spicules de Spongiaires enlevés par dissolution. Plus rarement, j'ai observé le phénomène de remplacement de la silice des spicules par la pyrite. Dans les deux cas, il y a mise en liberté d'une quantité notable de silice. La proportion de spicules ainsi détruits correspond parfois à une fraction importante de la roche.

Dès 1885, M. Hinde appela l'attention sur la destruction des spicules dans le Greensand du Sud de l'Angleterre, et il formula la conclusion suivante que je reproduis in-extenso, en raison du grand intérêt qui s'y attache [1] :

« *The presence in the same beds of silica in an amorphous condition, with the siliceous spicules in a similar state, taken in connection with the fact that the beds are filled with empty spicular casts from which the spicules have been dissolved, and that many of the spicules are residuary forms which have lost all their soluble silica, points to the conclusion that the colloidal silica in the beds has been directly derived from the breaking up and dissolution of the sponge-remains.* »

La conclusion de M. Hinde fut confirmée, en 1889 par MM. Jukes-Browne et Hill [2], qui reconnurent le même phénomène dans l'assise à *Sch. varians* du Berkshire et du Wiltshire. Voici donc une seconde donnée qui n'a rien de conjectural, *la gaize elle-même peut être une source de silice par ses organismes.* Où va la silice ainsi mise en liberté ? MM. Hinde, Jukes-Browne et Hill admettent qu'elle reste dans la roche. Déjà en 1878, M. Sollas [3] avait fait remarquer que lorsque la fossilisation déplace la silice des spicules, cette substance ne se retrouve pas loin des points d'où elle a été enlevée. MM. Renard et Klément écrivaient en 1887, en parlant de la solution saturée de silice préparée dans le sédiment « Nous ne sommes pas dans le domaine de l'hypothèse, si nous affirmons que d'une solution saturée, la précipitation se fera généralement sur un corps solide et qu'elle se fera de préférence sur un corps de même nature chimique [4]. » Le phénomène se résumerait donc en ceci : un dissolvant de la silice, l'eau plus ou moins chargée de sels ou d'acides, s'introduit dans la gaize, se sature peu à peu d'acide silicique au contact de certains spicules ; la solution se transporte par capillarité en d'autres points où sont accumulés des débris de Spongiaires, et c'est là que se dépose la silice autour des spicules. Cet épisode de l'histoire de la roche ne serait en définitive qu'une simple migration de la silice sans sortie du dépôt. Mais quand on essaye d'analyser le phénomène par le menu, on rencontre maintes difficultés d'ordre chimique. Je n'en citerai

1. G. J. HINDE. On Beds of Sponge-remains, etc. *Phil. Tr. of the roy. Soc.*, part. II, p. 427 (1885).

2. J. JUKES-BROWNE and W. HILL. The occurence of colloïd Silica, etc. *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol. 45, p. 403-422 (1889).

3. J. SOLLAS. On the structure and affinities, etc. *Ann. and Mag. of Nat. Hist*, 5e S., vol. 2, p. 361 (1878).

4. RENARD et KLÉMENT. Sur la nat. minér. des silex. *Bull. Ac. roy. Belg.*, 3e S., vol. 14, p. 804 (1887).

qu'une. Comment la solution saturée de silice, en un point donné de la gaize, va-t-elle abandonner cette substance en un autre point de même composition que le premier ? Cet obstacle ne doit pourtant pas faire renoncer à la solution indiquée. L'étude attentive des roches sédimentaires nous apprend que les phénomènes qui ont présidé à leurs métamorphoses ont souvent considérablement varié en des points qui ne sont pas distants de plus d'un millimètre. Ici, c'est un spicule dont la silice a été remplacée par du carbonate de chaux, alors qu'un autre spicule presque en contact avec le premier est resté siliceux, à moins qu'il n'ait été transformé en glauconie. Là, ce sont deux spicules contigus dont l'un a conservé sa silice monoréfringente avec son canal, tandis que l'autre est pseudomorphosé par de la calcédoine largement cristallisée. Je pourrais multiplier à loisir les exemples d'une localisation aussi étroite et aussi inexplicable des phénomènes chimiques. Les difficultés auxquelles on peut s'arrêter chemin faisant dans l'application de l'idée de migration de la silice ne sont pas plus grandes que celles que je viens de mentionner. Le mécanisme même du déplacement de cette substance peut nous échapper dans plusieurs des phases de son fonctionnement, sans qu'il soit pour cela moins évident que la destruction des spicules à l'intérieur du dépôt est une source de silice pour la roche.

A quelle période de l'histoire de la gaize s'est effectuée la dissolution des spicules dont l'emplacement est marqué par des vides ? C'est *évidemment* lorsque ce dépôt était déjà dans un état de consolidation très avancée, puisque l'empreinte laissée par les spicules correspond le plus souvent à la forme rigoureusement exacte des débris de Spongiaires.

TROISIÈME SOURCE DE SILICE. **Intervention des dépôts supérieurs à la gaize.** J'ai été vivement frappé, en étudiant les rapports des gaizes les plus typiques avec les couches qui les surmontent, de constater, soit que la fin du dépôt de la gaize a été marquée par une émersion certainement accompagnée de tout un cortège de phénomènes continentaux, soit que les terrains qui les couronnent ont été le siège d'une grande activité chimique et de l'élaboration de solutions siliceuses susceptibles d'influencer la composition de la gaize.

1° La gaize oxfordienne (J^{2a}) a été mise à nu dans toute la région qui domine Rethel au nord, où elle est directement recouverte par le Gault en une foule de points. La gaize albienne de Draize (C^1) est surmontée directement par le Cénomanien (C^3), sans interposition des argiles du Gault (C^2) ; il y a donc une lacune importante entre la gaize albienne et les couches qui la surmontent. Les Sables de La Hardoye (C^{4b}) recouvrent même directement la gaize à *Ac. mamillare* (C^1) et la ravinent profondément. La gaize de l'Argonne (C^3) et celle du massif de Marlemont sont surmontées directement par les Sables de La Hardoye (C^{4b}) sans interposition de la Marne de Givron (C^{4a}) qui, suivant M. Ch. Barrois, fait partout défaut dans l'Argonne et ne s'est pas déposée au sud de la gaize de Marlemont.

Si, comme le pense M. Barrois, il y a eu émersion pour les massifs de Marlemont et de

l'Argonne pendant le dépôt de la Marne de Givron, les couches superficielles, aujourd'hui disparues et correspondant à la fin du dépôt de la gaize, ont été soumises à l'influence des eaux météoriques. La conséquence de ce phénomène a été la mise en solution de la silice de leurs organismes doués d'une grande solubilité par suite de la genèse récente du dépôt. Les eaux superficielles ainsi sursaturées de silice ont naturellement pénétré dans la gaize et par suite de la profusion des centres d'attraction disséminés dans la roche, la silice a pu se déposer comme celle qui a pris naissance ultérieurement dans le sédiment lui-même par dissolution des spicules.

Je pourrais répéter le même raisonnement pour le massif de Draize, où l'on trouve mieux marqués que partout ailleurs l'influence des phénomènes qui se sont passés à la surface des gaizes émergées. Quant à la gaize à *C. Mariæ*, elle a pu subir à son tour le contre-coup de phénomènes continentaux au nord de Rethel.

2° Le cas de la gaize du Cher est quelque peu différent. Le Cénomanien auquel elle est subordonnée est surmonté directement par l'*argile à silex* tertiaire, très développée dans cette région. Ce dépôt est formé de silex empâtés dans une argile plus ou moins siliceuse. Par places, la masse a été solidifiée par des imprégnations de calcédoine et transformée en poudingues d'une extrême dureté (ladères). La dissolution de la craie d'où sont issus les silex a dû mettre en liberté une masse énorme de silice empruntée aux spicules qui sont loin d'avoir été tous détruits pour former les silex. C'est l'origine du ciment qui agglutine les silex. Cette silice a profondément modifié les dépôts recouverts par l'argile à silex. C'est ainsi que les Sables du Perche et de Vierzon ont été transformés en *grès lustrés*. La gaize cénomanienne du Cher doit certainement une grande partie de sa silice à l'activité chimique qui a déterminé la formation de l'argile à silex. Je montrerai en étudiant le Crétacé du S.-O. du Bassin parisien que des terrains d'âge très différent ont subi une silicification très prononcée, parce qu'ils sont recouverts par la même argile à silex. C'est donc un phénomène mis en lumière par de nombreux exemples, et je ne crois pas émettre une hypothèse en admettant qu'une grande partie de la silice du ciment de la gaize du Cher dérive de terrains qui la surmontaient et qui ont été détruits par processus chimique.

On verra plus loin que les phénomènes continentaux dont j'ai parlé à propos des gaizes de l'Est du Bassin ne constituent pas une exception, et que d'importants dépôts siliceux qu'il me reste à étudier sont également en rapport avec un régime continental.

QUATRIÈME SOURCE DE SILICE. **Destruction de la matière argileuse.** J'ai fait remarquer en étudiant l'argile de la gaize qu'il y a destruction partielle ou complète de cette matière dans les points où la silice a subi une différenciation morphologique prononcée, et surtout dans ceux où elle est passée de l'état amorphe à l'état cristallin. *Tout se passe comme si la disparition de la matière argileuse avait pour corollaire inévitable un*

enrichissement en silice, et l'on peut dire que *le maximum de silicification subie par la roche correspond à la destruction maxima de l'argile.* Ainsi que je l'ai déjà fait remarquer, l'argile ne peut quitter la gaize qu'en se décomposant. Ce phénomène serait une source de silice. J'avoue que je suis dans l'impossibilité d'en faire la preuve directe; on reconnaîtra, je l'espère, que le degré de vraisemblance de cette hypothèse est très grand.

MM. Murray et Irvine ont établi, par des expériences décisives — culture de Diatomées dans les milieux de composition rigoureusement déterminée — que la faible proportion de silice en solution dans l'eau de mer (1 partie pour 2-500.000 d'eau) n'est nullement un obstacle à la multiplication rapide des Diatomées, et que ces organismes sont doués de la curieuse propriété de *décomposer* l'argile en suspension dans l'eau pour s'assimiler la silice [1]. Ces savants ont étendu leurs conclusions aux Radiolaires et aux Spongiaires, de sorte que l'argile devient ainsi, pour eux, la grande source de la silice des organismes siliceux. Par suite de quelle réaction la silice est-elle ainsi extraite par les Diatomées; est-ce un de ces phénomènes incompris que l'on appelle vitaux qui préside à la décomposition du silicate d'alumine ? On n'en sait rien ; mais le fait même de la *genèse d'acide silicique aux dépens de l'argile est hors de doute.* On voudra bien reconnaître qu'il prête un grand appui à mon hypothèse.

D'après MM. Murray et Irvine, la matière organique en décomposition dérivant des Spongiaires détermine la production de sulfures alcalins aux dépens des sulfates alcalins. Ces sulfates, agissant sur l'argile, peuvent la décomposer et mettre l'acide silicique en liberté. Il n'a manqué aux sédiments, d'où est issue la gaize, aucun des éléments nécessaires à cet enchaînement de phénomènes. La quantité de matière organique correspondant aux Spongiaires qui ont fourni les innombrables spicules de la gaize devait être considérable; l'argile était abondante; les sulfates alcalins ne font jamais défaut dans l'eau de mer.

Conclusions. En faisant dériver exclusivement des Spongiaires la silice du ciment des roches du Greensand et du Lower-Chalk d'Angleterre, MM. Hinde, Jukes-Browne et Hill ont admis *ipso facto* que la somme de toute la silice libre de la roche n'a pas varié depuis le dépôt et qu'il n'y a de changement que dans la répartition de cette substance. Pour plusieurs gaizes du Bassin de Paris, il y a eu *enrichissement* en silice au détriment des couches qui les surmontaient. Je considère comme infiniment probable que, pour *toutes* les gaizes étudiées, *la quantité de silice libre qu'elles renferment aujourd'hui est supérieure à celle qui a été introduite dans le dépôt, à l'origine, et qu'une proportion très variable doit en être rapportée à la décomposition de la matière argileuse.* Il serait du plus haut intérêt de fixer la part qui revient à chacune des différentes sources de silice ; pareil but est impossible à atteindre.

---

1. J. MURRAY and R. IRVINE. On Silica etc. *Proc. roy. Soc. Edinburgh,* pp. 229-251 (1890-91).

Durée de la métamorphose de la gaize. Les phénomènes qui ont déterminé la transformation de la boue dont dérive la gaize ont commencé sur le fond de la mer et se sont poursuivis avec ou sans interruption jusqu'après la consolidation de la roche. La période qui a suivi immédiatement le dépôt a dû être une phase très active d'élaboration de silice, en raison de l'existence dans le sédiment de l'eau de mer avec tous ses principes en solution, et d'une forte proportion de matière organique dont la présence est généralement tenue comme indispensable, pour faire passer la silice des organismes à l'état minéral dans les roches. On a vu que la consolidation était très avancée lorsque la silice résultant de la dissolution des spicules s'est répandue dans le ciment.

L'intervention comme source de silice des couches à silex du Crétacé supérieur surmontant la gaize du Cher, conduit à attribuer une durée énorme à la période de transformation de cette roche. Il y a eu comme des étapes successives dans la formation de la gaize, mais il est impossible de fixer ce qui appartient à chacune d'elles.

Période de différenciation de l'opale et de genèse de la calcédoine. Chert. Parmi les questions intéressantes qui se rattachent au problème de la métamorphose de la gaize, il en est une qui prime toutes les autres et qu'on peut ainsi poser : Quand la structure globulaire de la silice a-t-elle pris naissance, et y a-t-il une relation entre la genèse de cette structure et celle de la calcédoine ?

M. Hinde a supposé que dans le cas des Malmstones, la silice des spicules a été dissoute par les eaux traversant la roche et redéposée sous forme de silice globulaire. Le phénomène s'est passé *après* la consolidation [1].

MM. Jukes-Browne et W. Hill ont admis dans leur étude de la silice colloïde du Lower-Chalk [2] que la silice globulaire fut précipitée d'une solution et que cette précipitation eut lieu *avant* la consolidation des couches, et alors qu'elles étaient pénétrées par l'eau de mer ; ils ne voient aucune raison pour que la silice dérivant de la dissolution des spicules après la consolidation des dépôts ait pu former une partie de la silice globulaire disséminée dans la roche. En ce qui concerne la calcédoine du même terrain, ils sont d'avis que la précipitation de la silice calcédonieuse des nodules de chert est un phénomène secondaire, et que les conditions dans lesquelles elle a pris naissance sont très différentes de celles qui ont favorisé la précipitation de la silice colloïde.

Je ne puis exprimer d'opinion que pour les roches que j'ai étudiées, mais pour celles-ci je tiens comme évident que la genèse de la structure globulaire de l'opale et la naissance de la calcédoine appartiennent à une seule et même période. J'ai fait remarquer dans le cours de cette étude la liaison très intime qui existe entre l'opale hyalitique et la calcédoine. Je puis formuler en principe que toutes les fois que la structure globulaire est bien développée dans une gaize du Bassin de Paris, on y trouve de la calcédoine, et

1. G. J HINDE. Op. cit. (1885).
2 JUKES-BROWNE and W. HILL. Op. cit. (1889).

que les points où cette structure est le mieux réalisée sont également ceux où la calcédoine est le plus répandue. J'ai vu tant d'exemples conformes à cette loi d'association, même en dehors du groupe des gaizes, qu'il apparaît comme certain que les conditions qui ont été favorables à la formation de l'opale globulaire ont déterminé la genèse de la calcédoine.

MM. Jukes-Browne et Hill inclinent à considérer la disparition de la silice des spicules comme liée à la formation des nodules calcédonieux des roches qu'ils ont étudiées. Il est bien évident que la formation de la calcédoine et des cherts est un phénomène secondaire, au même titre que la destruction des spicules, et il est tout naturel d'admettre un rapport étroit entre les deux. Mais il est des cas, pour la gaize du Bassin de Paris, où la quantité de spicules disparus est insuffisante pour rendre compte de la présence de toute la calcédoine ; j'ajouterai qu'il y en a d'autres où l'on n'observe pas un seul vide marquant la place de spicules détruits. Il faut alors recourir à une autre source que celle des spicules pour trouver la silice d'où dérivent les cherts. La silice de ces nodules est alors en partie d'origine exogène par rapport à la gaize.

Etat initial de la gaize. Somme de ses métamorphoses. La silice du ciment étant secondaire, on peut se représenter l'état initial des gaizes comme une *boue calcarifère et argileuse,* chargée d'une quantité très variable d'éléments de transport, renfermant un grand nombre d'organismes siliceux et accidentellement des Foraminifères. La métamorphose de la roche s'est faite principalement aux dépens du carbonate de chaux qui a été remplacée par la silice. On a vu que la matière argileuse n'y est point restée étrangère.

Il est peu de dépôts parmi les terrains sédimentaires chez lesquels l'activité chimique ait aussi profondément marqué son empreinte. On lui doit dans le domaine organique : dissolution de spicules de Spongiaires, transformation de la silice des spicules conservés, formation de spicules glauconieux et pyriteux, silicification de Foraminifères et calcification de Diatomées ; et dans le domaine minéral : genèse des différents états de la silice hydratée, formation de nodules siliceux, destruction de la matière argileuse et du carbonate de chaux, genèse de la glauconie et de la pyrite et développement de carbonate de chaux secondaire. C'est une roche subordonnée au système de la gaize oxfordienne qui présente la plus grande somme de métamorphoses. J'ai démontré que cette *roche, calcarifère à l'origine, est devenue siliceuse et finalement transformée en calcaire cristallin* (p. 24).

CHAPITRE II

ÉTUDES DE QUELQUES FORMATIONS SILICEUSES DU CRÉTACÉ DE BELGIQUE

Sommaire. — I. Meule de Bracquegnies et de Thivencelles, 81. 1°. Meule siliceuse de Bracquegnies, 83; A. Meule quartzeuse, 83; Origine du ciment, 87. B. Meule presque uniquement formée de restes de Spongiaires, 89; Conclusions. C. « Silex » de la Meule, 90. — 2°. Meule de Thivencelles, 91. A. Meule calcaréo-siliceuse, 92. B. Meule calcaire silicifiée, 94. — 3°. Résultats de l'étude de la Meule ; Conclusions, 95 ; Remarques sur la composition chimique de la Meule, 96 ; Sa genèse, 96 ; Comparaison de la gaize et de la Meule de Bracquegnies, 98; Types pétrographiques à distinguer dans la Meule. Spongolithe, 99.

II. Têtes de chat de Maisières (As. à *I. labiatus*), 100 ; Comparaison avec les gaizes, 104.

III. Rabots de Saint-Denis. (As. à *T. gracilis*), 104 ; Genèse des rabots, 107 ; Origine intrinsèque de la silice, 107 ; Origine extrinsèque, 108 ; Conclusions, 109.

IV. Smectique de Herve (As. à *B. quadrata*), 110; Origine de la silice du ciment, 114 ; Place de la smectique dans la nomenclature des roches sédimentaires, 114.

V. Coup d'œil d'ensemble sur les roches étudiées dans ce chapitre, 115.

A l'époque cénomanienne la mer crétacée envahit pour la première fois la région du Hainaut où s'était accumulée une grande épaisseur de terrain aachénien. Les dépôts qui se sont effectués dans le « Bassin de Mons » aux époques cénomanienne et turonienne se font remarquer par une surabondance de matière siliceuse qui a doté l'ensemble des couches d'une physionomie très particulière, en même temps qu'elle y a singulièrement multiplié les types pétrographiques.

J'étudierai dans ce chapitre des terrains du « golfe de Mons » connus sous des noms locaux, et qui relèvent des assises suivantes :

I. Meule de Bracquegnies et de Thivencelles (Assise à *Schlœnbachia inflata*).

II. Têtes de chat (As. à *Inoceramus labiatus*).

III. Rabots (As. à *Terebratulina gracilis*).

IV. Je compléterai cette étude par l'examen d'une roche sénonienne à *Belemnitella quadrata* des environs de Liège, connue sous le nom de Smectique de Herve. Elle présente d'étroites affinités organiques et chimiques avec maintes formations siliceuses passées en revue dans ce travail.

V. Un aperçu d'ensemble sur ces différentes roches terminera ce chapitre.

I. MEULE DE BRACQUEGNIES ET DE THIVENCELLES.

(*Ab, de la carte géologique de Belgique*; C^3, *de la carte géologique détaillée de la France*).

(Pl. II, fig. 3 et 4, et Pl. III, fig. 1).

Les mineurs du Hainaut ont donné le nom de *meule* à un ensemble de sables et de « grès » glauconieux, riches en silice amorphe, qui affleurent en quelques points de la commune de Strépy-Bracquegnies, près de Mons. Cette roche a pris place dans la nomenclature des terrains des environs de Mons sous le nom de « *Meule de Bracquegnies* ». On doit à M. Dumont la première étude de la Meule, mais c'est à M. Briart et Cornet [1] qu'on est redevable du travail le plus complet sur cet horizon.

Caractères pétrographiques. Les deux savants belges ont consacré à la description minéralogique de la Meule un paragraphe qui est en tous points irréprochable et que je crois devoir transcrire à la lettre :

« La *Meule de Bracquegnies* commence à sa partie inférieure par une couche peu puissante de sables très argileux et très glauconifères renfermant de nombreux galets de phtanites et de quartz. Cette assise argileuse est recouverte par de grandes épaisseurs de grès, alternant avec des couches de sable.

Le *grès* est essentiellement composé de grains de quartz et de glauconie ordinairement très fins, agglutinés par de la silice gélatineuse soluble dans la potasse caustique. Il est non calcaire, verdâtre quand il est récemment extrait, d'un blanc bleuâtre quand il est resté longtemps exposé à un air sec qui lui enlève la plus grande partie de son eau de carrière. Il est alors léger, sonore, happant fortement à la langue et peut absorber jusqu'à 30 % de son poids d'eau. Les proportions relatives de quartz, de glauconie et de silice gélatineuse sont très variables pour les diverses assises de cette roche. La silice gélatineuse est quelquefois tellement abondante que les grains de quartz et de glauconie y sont comme empâtés; la roche est alors très tenace et très résistante; si la quantité de silice est faible, le grès est tendre et se désagrège facilement.

La silice gélatineuse est souvent remplacée dans la meule par un ciment de calcédoine translucide qui donne à la roche une dureté très grande et un aspect vitreux remarquable. La silice gélatineuse et la calcédoine se rencontrent dans la meule en lits minces, en veinules et en rognons isolés; elles remplissent en certains points toutes les fissures de la roche et les joints de stratification. La silice a une teinte blanchâtre quand elle est imprégnée d'eau ; elle devient blanche et happe fortement à la langue quand elle est sèche. La calcédoine à une teinte gris de fumée ou noire plus ou moins foncée. Elle constitue, avec la silice gélatineuse, le test de nombreux fossiles qu'on trouve dans la meule. L'intérieur des coquilles d'univalves ou d'acéphales, quand les

1. BRIART et CORNET. Descript. min., géol. et pal. de la Meule, etc. *Mém. cour. Ac. Belg.*, vol. 34 (1868).

deux valves sont réunies, est souvent rempli par de la silice gélatineuse presque pure. D'autres fois elles sont vides et tapissées intérieurement de belles cristallisations en prismes pyramidés. On trouve aussi, en certains points, de nombreux fragments de bois changés en calcédoine ou en silice gélatineuse et percés de trous de tarets remplis de sable ou de calcédoine. En certains endroits, et sur une grande partie de son épaisseur, la meule revêt une teinte rouge et ferrugineuse, par suite de l'altération de sa glauconie. »

Distribution géographique. La Meule de Bracquegnies forme dans le Hainaut une bande lenticulaire étroite, allongée de l'est à l'ouest. Elle s'étend souterrainement depuis Bracquegnies (Belgique) jusque près d'Anzin (France). Elle affleurait autrefois en quelques endroits de la commune de Strépy-Bracquegnies. Dans les environs de Valenciennes, du côté de Thivencelles, on rencontre sous le tourtia (As. à *Pecten asper*) un grès très dur à aspect lustré qui représente cette formation.

Puissance de l'étage. La Meule de Bracquegnies atteint son maximum de développement à Harchies, où elle a été traversée au puits n° 18 de la Société de Blaton sur une épaisseur de 183 m. Le tableau des épaisseurs rencontrées par les différents puits accuse des différences souvent considérables pour une localité donnée ; dans son ensemble, c'est une bande lenticulaire dont l'épaisseur moyenne est d'une quarantaine de mètres.

Position stratigraphique. La Meule repose partout dans le Hainaut sur le système aachénien ou sur le terrain houiller. On s'accorde pour en faire un dépôt synchronique des couches à *Sch. inflata* du Bassin de Paris. Sa faune est presque identique à celle du Greensand de Blackdown. Sur 51 espèces réunies par MM. Briart et Cornet, 42 se retrouvent à Blackdown.

Elle est recouverte en stratification discordante, tantôt par les couches à *Pecten asper*, tantôt par les dièves à *Inoceramus labiatus*, tantôt enfin par les *Fortes Toises* (à *I. labiatus*) et les *Verts à Têtes de chat* (à *T. gracilis*).

Composition chimique. La Meule qui, à Bracquegnies, est exclusivement siliceuse, se charge de calcaire vers l'ouest. Elle en renferme une certaine quantité du côté de Bernissart, de Baudour et de Ghlin. C'est pour cette raison que M. Mourlon a distingué la *meule de Bracquegnies* à silice gélatineuse de la *meule de Bernissart* à ciment de silice gélatineuse et de calcaire [1]. D'après M. Mourlon, la roche de Bernissart passe au « macigno glauconifère » et renferme quelques bancs exclusivement composés de calcaire glauconifère à texture grossière. Dès 1868, M. Dewalque fit remarquer que la composition de la Meule de Bracquegnies est identique à celle de la gaize du département des Ardennes [2]. Ces roches ont le caractère commun de renfermer une assez forte proportion de silice soluble. D'après M. Dewalque, elle peut être de 55 % pour la meule.

---

1. MOURLON. Géol. de la Belgique, vol. I, p. 154 (1880).
2. DELWAQUE. Prodrome d'une descr. géol. de la Belg., p. 165 (1868).

Trois des échantillons de Bracquegnies que j'ai soumis à l'analyse micrographique ont été analysés au laboratoire d'essais de l'Ecole des Mines. Ce sont :

1. Meule à spicules de Spongiaires et à Radiolaires ; 2. Meule uniquement formée de débris de Spongiaires ; 3. Meule quartzifère.

On voit par ces résultats que la teneur en silice soluble est beaucoup moins élevée dans ces échantillons que celle qui a été mentionnée par M. Dewalque. Il faut chercher la raison de cette différence dans la grande variabilité de la composition minéralogique de la Meule, et dans les conditions et la durée de l'attaque par la potasse qui ont probablement été tout autres dans les deux cas.

	1	2	3
Silice soluble dans la potasse	21	21	25
Silice insoluble	61.4 (82.4)	62 (83)	60.6 (85.6)
Alumine	4.2	3.6	» »
Peroxyde de fer	2.8	1.4	3.2
Chaux	» »	0.6	0.5
Perte par calcination	10.3	11	10.6
Totaux	99.7	99.6	99.4

J'étudierai la Meule en deux points : 1° à Bracquegnies même, où se trouve parfaitement réalisé le type de meule siliceuse ; 2° à Thivencelles (Nord), où elle est calcaréo-siliceuse. L'exposé des résultats et des conclusions de l'étude de ce terrain formera un troisième paragraphe.

1° MEULE SILICEUSE DE BRACQUEGNIES

On peut y distinguer plusieurs variétés passant les unes aux autres : A. Meule quartzeuse ; B. Meule presque uniquement formée de restes de Spongiaires ; C. « Silex » de la Meule.

A. Meule quartzeuse

(Pl. II, fig. 4, et Pl. III, fig. 1)

Ce groupe comprend des meules sans traces d'organismes, des meules avec nombreux spicules de Spongiaires et des Radiolaires (Pl. II, fig. 4), et enfin des meules à nombreux fossiles macroscopiques (Pl. III, fig. 1).

ETUDE MICROGRAPHIQUE. 1° **Minéraux.** *M. détritiques.* Le quartz (Pl. II, fig. 4, *a*, et Pl. III, fig. 1, *a*) est en grains anguleux ayant perdu le tranchant de leurs arêtes et parfaitement calibrés. Diam. moyen $0^{mm}12$. Il est accompagné de zircon, magnétite, tourmaline, rutile, etc., très répandus dans certains échantillons.

Minéraux secondaires. Glauconie. Ses caractères restent constants dans toute la masse. En voici les principaux :

A. Grains à forme générale arrondie ou elliptique ayant à peu près les mêmes dimensions que les éléments de quartz. Ils présentent la structure d'agrégat à très petits individus (Pl. II, fig. 4, *b*, et Pl. III, fig. 1, *b*);

B. Rares grains clivés très polychroïques à orientation optique presque une. Leur forme tend à devenir quadrangulaire ;

C. Elle sert d'enveloppe aux grains de quartz ;

D. Elle pseudomorphose les spicules de Spongiaires partiellement ou complètement.

E. La glauconie globulaire tient une place notable (Pl. II, fig. 4 *c*, et Pl. III, fig. 1, *c*). Je l'étudierai en détails au chapitre IV. Les fig. 23 et 27 de la planche VI représentent quelques-uns des nombreux aspects que peut revêtir cette variété de glauconie.

Ce minéral est toujours un élément important de la Meule.

2° **Organismes.** Les organismes microscopiques ont fourni par trituration des débris qui prennent part à la composition de la roche au même titre que les minéraux détritiques. Ils sont parfois nombreux et toujours silicifiés.

Spongiaires. L'existence de spicules a été indiquée par M. Hinde [1]. Quatre ordres sont représentés.

A. *Spicules monoaxes.* Il faut leur rapporter la très grande majorité des spicules. En raison de la rareté des formes 4-radiées et 6-radiées, on est autorisé à considérer une partie de ces spicules comme appartenant aux *Monactinellidæ*. Ils sont cylindriques ou fusiformes, droits ou arqués. Il en existe en forme d'épingles très allongées relevant des *Tetractinellidæ*. Le genre *Reniera*, représenté à Blackdown par plusieurs espèces, est ici d'une certaine fréquence. On y trouve aussi le genre *Monilites*, également connu à Blackdown.

B. *Tetractinellidæ*. Les spicules tétraradiés sont incomparablement plus rares que les précédents. J'ai reconnu *Geodites*, *Pachastrella* et en particulier *Pachastrella* (*Monilifera*) *quadriradiata* Carter, qui est une espèce de Blackdown.

C. *Lithistidæ*. Je n'ai trouvé que de très rares représentants de *Megamorina*.

D. *Hexactinellidæ*. Ce groupe ne compte que de très rares spicules réduits au point de croisement des rayons. Leur présence n'en est pas moins très importante en raison du caractère essentiellement littoral du dépôt qui les renferme.

A côté de ces éléments du squelette des Spongiaires dont l'attribution à ces organismes ne laisse place à aucun doute, il en existait d'innombrables — *aujourd'hui représentés par des vides* — qu'il convient de mentionner à leur suite. Leurs sections sont circulaires elliptiques, quelquefois réniformes (Pl. II, fig. 4). Elles font penser aux corps globuleux ou sphérules dont la zone corticale de certaines *Tetractinellidæ (Ancorinidæ, Geodinites)* est si abondamment pourvue. Mais il ne faut pas perdre de vue que la destruction de Radiolaires *Sphæroidea* et *Prunoidea* ne laisserait pour toute trace que des sections circulaires ou elliptiques de même dimension. Quoi qu'il en soit, je n'hésiste pas à rapporter aux Spongiaires un grand nombre de ces corps. Les vides réniformes d'une part, et l'existence dans

1. G. J. HINDE. On Beds of Sponge-remains, etc. *Ph. Tr. of the roy. Soc.*, Partie II, p. 424 (1885).

la Meule de formes de Spongiaires qui comportent l'existence de corps siliceux massifs conduisent à cette solution.

Il ressort de ce rapide examen que la parenté des faunes de Bracquegnies et de Blackdown, mise en lumière avec tant de netteté par la comparaison des Mollusques, se poursuit jusque dans les Spongiaires.

Bien que la Meule soit douée d'une grande uniformité de caractères quand on l'examine en échantillon, elle doit aux microorganismes et notamment aux spicules d'Eponges une grande diversité d'aspect dans les sections minces. Tantôt les spicules font complètement défaut, tantôt ils sont très répandus et représentent une importante fraction de la roche (quelquefois plus de la moitié). Ces différences sont très accusées d'un échantillon à l'autre et peuvent même exister pour des points distincts d'un même spécimen. Cette distribution inégale est l'œuvre des courants. Leur état fragmentaire ainsi que l'état de division des coquilles de Mollusques témoignent d'ailleurs d'une grande agitation des eaux.

Mode de conservation des spicules. Trois cas principaux sont à considérer :

A. Les spicules sont plongés dans un ciment d'opale blanc jaunâtre indifférenciée et douée d'une très faible réfringence. Si l'on examine les préparations avec le condenseur relevé, on n'aperçoit de spicules que ceux qui sont transformés en glauconie. Les autres, parfois très nombreux, ne peuvent être mis en évidence qu'en descendant fortement le condenseur. On voit alors qu'ils ont plus ou moins perdu leur individualité ; la silice qui les forme fait corps avec celle du ciment : elle est pour ainsi dire fondue avec cette dernière. Leurs contours ont disparu, ne laissant pour témoin qu'une traînée un peu plus foncée que l'opale ambiante ou même sans laisser de traces. Cette première manière d'être se caractérise donc par une *fusion du ciment et des spicules.*

B. Il est plus fréquent de voir le spicule avec des contours indemnes de toute altération, soulignés par un revêtement assez complexe d'opale très réfringente. Les états de fossilisation toujours très variés résultent de différentes associations d'opale et de glauconie ; ce n'est qu'exceptionnellement que la calcédoine y prend part.

C. Très souvent la forme seule du spicule est conservée et la matière dont il était composé a disparu en tout ou partie. Dans tous les cas, ses contours primitifs sont indiqués par une enveloppe d'opale qui recouvre tous les restes organiques et qui subsiste après leur destruction. Il se peut que le canal élargi et rempli de silice amorphe représente à lui seul le spicule dont il faisait partie : tout le reste a été dissous. Cette destruction s'étend sur une vaste échelle aux corps globuleux rapportés en partie aux Spongiaires. La fig. 4 (Pl. II) est un exemple de meule dont beaucoup de spicules sont détruits. Les formes *f* et *g* sont maintenant occupées par une matière brune qui paraît être de la pyrite. Toutes les sections circulaires ou elliptiques (*h*) tachées de noir sont dans ce cas. Dans certains échantillons les vides représentent presque un *tiers* de la surface totale des sections minces.

Radiolaires. Ces organismes étaient inconnus dans la Meule lorsque j'en ai entrepris l'étude micrographique. Il est extrêmement difficile de savoir dans quelle mesure ils ont pris part à sa composition, par suite de la grande indécision qui règne sur les affinités des corps globuleux — aujourd'hui dissous — qui sont répandus à profusion dans certains échantillons. Un certain nombre peuvent être des Radiolaires. J'ai reconnu des représentants certains de *Liosphærida* et *Cyrtoidea*. Ce dernier groupe n'en compte que de très rares, dont l'un est visible sur la fig. 4 de la planche II (*i*) ; ils rentrent dans la section des *Monocyrtida.*

Foraminifères. Il n'en existe pas un en moyenne par préparation. Le genre *Textularia* est prédominant. Leur test est toujours silicifié. Quelques formes indéterminées atteignent de grandes dimensions et sont pourvues d'une coquille très épaisse.

3° **Ciment.** Tantôt, les éléments de la roche sont maintenus en place par un simple encroûtement d'opale se décomposant généralement en plusieurs zones et les reliant les uns aux autres. Tous les espaces qui restent libres entre les minéraux et les organismes, par suite de leur juxtaposition incomplète, sont tapissés par un mince filet de silice, et il reste de nombreux vides qui contribuent à rendre la roche poreuse et apte à absorber de grandes quantités d'eau. La meule ainsi composée est friable. Tantôt la silice du ciment remplit tous les interstices et la roche est douée d'une plus grande cohérence. Si l'on soumet cette seconde manière d'être à un examen minutieux, on reconnaît qu'il y a en réalité deux sortes de ciment.

A. L'emploi des plus forts grossissements montre que le ciment d'opale incolore, dans lequel disparaissent les organismes siliceux, est doué d'une homogénéité parfaite. Il ne renferme pas de vestiges d'organismes et se différencie ou non autour des minéraux sous forme d'une gaine d'opale, simple ou composée.

B. Un second ciment d'opale est représenté d'une façon très sporadique ; il est coloré en gris jaunâtre, plus réfringent que le précédent et frappe immédiatement l'œil dans une préparation. Cette variété de ciment est rare. Il forme des îlots dans les points où les minéraux sont plus clairsemés et se rencontre de préférence dans les meules à nombreux fossiles macroscopiques (Pl. III, fig. 1, *g* et *h*). Il n'éprouve aucun changement au contact des minéraux qu'il agglutine, ou se différencie en une large couronne d'opale incolore homogène *(g)*. Il disparaît par places en se transformant en ciment d'opale beaucoup plus claire. Un grossissement de 150 diamètres permet d'y reconnaître des sortes de petits bâtonnets indéterminés, mesurant quelques μ de longueur. Tout ce qui précède s'applique à la meule dépourvue de débris de Mollusques ; celle qui en renferme présente un ciment calcédonieux, mais seulement au voisinage des coquilles siliceuses. En ce cas, les intervalles qui séparent les minéraux sont remplis de calcédoine qui ne s'applique sur les particules minérales que par l'intermédiaire d'une zone d'opale.

Silicification du test des Mollusques. J'ai noté plus haut que le test des Foraminifères

est toujours silicifié et à l'état d'opale [1]. Celui des Mollusques est également siliceux, mais la silice qui les forme est de la *calcédoine* et de la *quartzine*.

La *calcédoine* forme la plus grande partie ou la totalité des coquilles silicifiées. Les sections de ces dernières se décomposent en très grands sphérolithes complets ou non. On y observe avec la plus grande netteté les zones concentriques régulièrement éteintes qui ont été interprétées pour la première fois par MM. Michel-Lévy et Munier-Chalmas [2], et dont chaque fibre « présente une modification d'orientation en forme d'enroulement hélicoïdal ». Tous ces sphérolithes, examinés avec le polariseur seul et avec le condenseur fortement baissé, montrent de très nombreuses zones d'accroissement perpendiculaires aux fibres. Beaucoup d'entre eux sont coupés normalement à ces dernières et montrent alors la mosaïque si spéciale, dont MM. Michel-Lévy et Munier-Chalmas ont fait connaître toutes les particularités.

La *quartzine* est beaucoup plus rare. On la rencontre associée à la calcédoine et formant des bandes alternant avec des zones de calcédoine. Les agrégats ternaires de ce minéral font défaut.

Origine du ciment de la meule siliceuse quartzeuse. *Ciment incolore.* Il est de toute évidence que le ciment d'opale incolore qui enveloppe les minéraux, les organismes et même les plages de ciment gris, en se différenciant à leur pourtour, s'est déposé après ces différents éléments. Il importe de remarquer que, partout où il existe, les minéraux et les organismes se touchaient à l'origine et pouvaient tenir en place sans être agglutinés par un ciment. Si on le supprime par la pensée, il n'en résulte aucun changement dans la position respective des éléments. Ce ciment est *secondaire*.

Tous les phénomènes qui ont affecté la Meule après la période de sédimentation peuvent se réduire à trois : disparition d'une partie des spicules, consolidation par un ciment du sable, fossilifère ou non, représentant l'état initial du dépôt, et silicification des coquilles de Mollusques.

Cornet et M. Briart ont attribué une origine interne à la silice gélatineuse de la Meule. Ils écrivaient à propos des rabots dont il sera question plus loin : « La silice gélatineuse de la meule de Bracquegnies a probablement la même origine [3] » (par source thermale). Je considère les organismes de cette formation comme la source de la plus grande partie de la silice du ciment. L'examen des préparations de meule à spicules dissous n'est cependant pas fait pour appuyer cette manière de voir. Il montre invariablement que les contours des spicules étaient déjà soulignés par un mince filet de silice avant que ces corps ne soient dissous, de sorte que la forme en est tout aussi intacte que si la substance du bâtonnet

1. Il est remarquable que le test des Foraminifères ne se transforme pas en calcédoine avec la même facilité que celui des Mollusques. Je noterai le même fait dans les tuffeaux.

2. MICHEL-LÉVY et MUNIER-CHALMAS. Mém. sur div. form. etc. *Bull. Soc. Fr. de Minér.*, vol. 15, pp. 159-191 (1892).

3. L. CORNET et A. BRIART. Descr. min., pal. et géol. du Crét. de la prov. du Hainaut, p. 88 (1866).

n'avait pas été enlevée. Conséquemment, *tous les éléments étaient déjà reliés entre eux avant la mise en solution de la silice des spicules, et la consolidation du dépôt était certainement commencée.* Bien que cette observation ne soit pas en faveur de la genèse de la silice du ciment par dissolution de restes de Spongiaires, suivant l'opinion de MM. Hinde, Jukes-Browne et Hill, je crois cependant que ce phénomène seul peut rendre compte de l'origine du ciment incolore de la Meule. L'objection que j'ai formulée perd d'ailleurs une partie de sa force si l'on réfléchit à ce fait que le revêtement d'opale de spicules intacts ou dissous peut être rapporté à la silice des spicules détruits avant eux, en d'autres points ou dans des couches supérieures disparues. (Cette opale peut encore dériver partiellement de l'élargissement du canal des spicules, de la corrosion, voire même de la destruction complète de restes d'Eponges sur le fond de la mer). Je considère *la silice dérivée de la dissolution d'une partie des spicules de la Meule comme une source de ciment d'opale.* Malgré le grand nombre d'échantillons examinés, on conçoit qu'il soit impossible de démontrer si la quantité de silice disparue correspond ou non à celle du ciment de silice amorphe et incolore. Tout ce qu'on peut dire, c'est que la masse de silice mise en liberté a été énorme, si l'on en juge par la grande place qu'occupent les vides dans beaucoup d'échantillons étudiés. Comme le ciment est souvent réduit à un mince encroûtement des éléments, il en résulte que la disparition d'un seul spicule engendre une quantité de silice susceptible de relier entre elles un très grand nombre de particules minérales.

Ciment d'opale grise. La constitution actuelle des plages d'opale grise caractérisées par la non-juxtaposition des éléments qui y sont inclus implique l'existence d'un ciment quel qu'il soit, agglutinant les débris organiques et les minéraux, au fur et à mesure qu'ils tombaient au fond de la mer. S'il n'en avait pas été ainsi tous ces éléments seraient aujourd'hui empilés les uns sur les autres sans interposition d'opale grise. Quelle qu'ait été la composition de ce ciment à l'origine, on peut affirmer qu'il marque l'emplacement d'un *ciment primordial.* Tout autre est le précédent. Rien n'eût été changé dans l'agencement des particules de la roche, si les circonstances n'avaient pas provoqué le développement du ciment incolore. Ce dernier s'est borné à combler des *vides* après la sédimentation ; le ciment primordial date du dépôt même de la Meule. Je rappellerai à cette occasion que j'ai montré que le ciment de certaines gaizes originellement très riches en carbonate de chaux a pu se transformer en opale indifférenciée comme celle de la Meule. Il n'y a aucune raison qui s'oppose à considérer le ciment d'opale grise comme issue d'un même phénomène. La série des roches siliceuses de Belgique que j'étudierai plus loin me permettra d'ailleurs de saisir le phénomène sur le fait, et de montrer la formation d'un ciment à base de silice monoréfringente par silicification d'un ciment originellement calcaire. Je n'ai rencontré cette variété de ciment que dans les meules fossilifères ; elle est associée dans les coupes minces à de nombreux débris de coquilles primitivement calcaires et actuellement silicifiées. Il est infiniment probable que le produit ultime de la trituration du test des

Mollusques, c'est-à-dire une boue calcaire, s'est précipitée par places avec un peu de matière argileuse et a constitué le ciment primordial : Son développement maximum correspond à une notable réduction des éléments de transport indiquant des conditions de calme relatif, favorisant la chute des particules tenues en suspension dans l'eau.

B. Meule presque uniquement formée de restes de Spongiaires
(Pl. II, fig. 3)

ETUDE MICROGRAPHIQUE. Le rôle des particules minérales et organiques s'y trouve interverti et les débris de Spongiaires forment à eux seuls la plus grande partie de la roche. Cette meule est dure, compacte, très sonore et d'une densité supérieure à celle du groupe précédent. Elle est très nettement zonaire par places.

1° *Minéraux.* Le quartz (Pl. II fig. 3, *a*) et la glauconie (*b*) sont très rares. Le premier peut faire entièrement défaut dans une préparation donnée.

2° *Organismes.* A de rares exceptions près, ils appartiennent tous au groupe des Spongiaires. Les spicules sont tellement abondants qu'ils se touchent (voir fig. 3, Pl. II). *Cette meule procède presque exclusivement des Spongiaires.* On peut l'identifier aux roches que M. Hinde a appelées « *true Sponge-beds* » en raison de leur richesse en spicules.

Les débris de Spongiaires se font remarquer par un état fragmentaire poussé très loin et par des formes courtes et trapues. Tout ce qui reste de ces corps est très suffisant pour les identifier à des éléments du squelette d'Eponges, mais ils ont été trop éprouvés soit par les actions mécaniques, soit par le phénomène de la fossilisation pour en faire une étude complète. L'existence des *Monactinellidæ* est incertaine ; les spicules tétraradiés sont rares (fig. 3, *c.*), les *Lithistidæ* paraissent compter un grand nombre de représentants dont beaucoup appartiendraient aux *Megamorina.* Les formes d'*Hexactinellidæ* manquent. Quelques sphérules calcédonieuses sont à rapporter aux Spongiaires ou aux Radiolaires. Les Foraminifères sont représentés par deux ou trois Textulaires silicifiés, par préparation.

La figure 3 de la planche II donne une idée de la profusion de spicules d'Eponges à ce niveau. Beaucoup d'individus sont coupés transversalement (*d*, *e*, *g*, *h*), très peu le sont parallèlement à l'allongement (*c*, *f.*). Je ne connais aucune roche dont le mode de fossilisation des spicules soit aussi complexe. Tous les corps teintés en gris dans la figure 3 sont des spicules en opale ; les taches blanches circulaires avec trace ou non de canal axial sont des sections d'individus calcédonieux. Presque tous les spicules en opale montrent à l'intérieur les figures à forme de croissants et plus rarement de couronnes dont l'apparition marque une première différenciation morphologique de l'opale des débris de Spongiaires.

3° **Ciment.** En général, tous les espaces réservés au ciment dans la meule à spicules

sont occupés par la calcédoine. Cette substance n'est pas en contact direct avec les minéraux et les organismes. Les uns et les autres sont revêtus d'une gaîne de silice amorphe, simple ou comportant plusieurs couches de réfringence différente. Cette silice de revêtement joue un très grand rôle. J'ai dit plus haut qu'un certain nombre de spicules sont devenus calcédonieux ; la transformation est parfois poussée plus loin et le canal disparaît. En ce cas, il ne reste comme trace du spicule qu'un mince filet d'opale très apparente qui en est en quelque sorte le moule (fig. 3, *i*, *j*). Il arrive que le phénomène de cristallisation s'étende à la gaîne d'opale dont on ne voit bientôt plus que quelques vestiges au sein de la calcédoine. On assiste alors à la genèse de grandes plages calcédonieuses aux dépens de la silice des spicules et de celle qui les cimente.

Conclusions. L'histoire de la meule à Spongiaires comporte au moins trois phases successives. *A*. Amoncellement des spicules d'Eponges donnant naissance à une sorte de sable organique avec nombreux vides. *B*. Tous les éléments ont été enveloppés et reliés par un dépôt de silice gélatineuse. *C*. Les vides ont été comblés par de la calcédoine ; la silice des spicules a subi une métamorphose d'importance variable dont la plus prononcée correspond à sa transformation complète en calcédoine ; la silice isotrope appliquée sur les minéraux et les organismes a subi un commencement de cristallisation.

La silice du ciment est *secondaire* au même titre que celle du ciment incolore de la meule quartzeuse. Quant à son origine, il faut la chercher en dehors de la roche considérée. Il n'existe en effet aucun vide que l'on puisse imputer à la disparition d'un spicule.

C. « Silex » de la Meule

Caractères lithologiques. On a désigné sous le nom de « silex » de la Meule une roche qui ne diffère en rien du silex corné noirâtre de la craie dans les points où elle est pure, mais elle est fréquemment interrompue par des îlots gris blanchâtre d'importance variable qui peuvent représenter à eux seuls la masse principale du silex.

ETUDE MICROGRAPHIQUE. Les sections minces de cette roche la montrent presque entièrement dépourvue de tout débris clastique. Par contre les organismes y pullulent. Un rapide examen des préparations, en lumière naturelle, les décompose en deux parties très inégalement développées. La calcédoine tient le premier rang. Elle constitue de grandes plages incolores interrompues par des îlots gris à contours profondément découpés. Ces îlots sont formés de nombreux spicules non juxtaposés séparés et cimentés par de la silice gélatineuse fortement colorée en gris jaune, présentant tous les caractères du ciment primordial des meules précédemment étudiées. Les spicules plus ou moins transformés en calcédoine sont à rapporter aux *Lithistidæ* et aux *Tetractinellidæ* avec grande prédominance des premiers. Un ou deux Textulaires silicifiés accompagnent les spicules dans chaque préparation.

Le ciment gris examiné avec de forts grossissements montre quelques petits débris

organiques à facies de petits spicules, identiques d'ailleurs à ceux que j'ai mentionnés dans la meule quartzeuse. Tous les organismes placés sur la ligne de contact des îlots d'opale et de la calcédoine ne sont conservés que dans celles de leurs parties qui pénètrent dans l'opale ; la surface de séparation des deux substances est fortement corrodée. En descendant fortement le condenseur du microscope, on suit dans la calcédoine les prolongements des spicules brusquement interrompus à la limite des taches grises. On retrouve même assez nettement esquissés, au sein de la calcédoine, les contours d'une multitude de spicules dont l'individualité a été complètement détruite par la cristallisation de la plus grande partie de la roche. Il devient dès lors évident que l'état présent de ce « silex » a été précédé d'une manière d'être caractérisée par l'extension à toute la roche des îlots gris empâtant les nombreux spicules.

Le terme *chert* convient mieux que celui de silex pour désigner ces nodules, bien que leur composition et leur structure soient mixtes. Les grandes plages cristallines font songer bien plus au silex qu'au chert ; mais d'autre part les nodules passent insensiblement à la meule ambiante, et la silice isotrope tient encore une grande place dans la roche. Ce sont à proprement parler des *cherts à plages de silex*. Au point de vue de leur origine, ce qui distingue les « silex » de la Meule, des silex de la craie, c'est que les premiers ont trouvé *en place* la plus grande partie de la silice qui devait concourir à leur formation.

Comparaison de la meule presque uniquement formée de débris de Spongiaires et des « silex ». A première vue on ne peut faire de distinction essentielle entre la meule à spicules d'Eponges et les « silex ». Les éléments minéraux et organiques sont les mêmes dans les deux cas, et la première roche aurait pu se transformer en « silex » si la métamorphose de l'opale en calcédoine s'était étendue à de grandes plages au lieu de s'effectuer en une multitude de points. Il n'y a de différence apparente que dans la distribution des matières mises en présence. Au fond, la différence est très grande : Le ciment d'opale du « silex », ou du moins ce qu'il en reste, correspond au ciment *primordial ;* celui de la meule à spicules est un ciment de remplissage, *postérieur* à la sédimentation.

2° MEULE DE THIVENCELLES

Caractères macroscopiques. La roche qui représente la Meule de Bracquegnies, dans le département du Nord, est bien différente de celle que je viens de décrire. Elle est compacte, dure et dense ; sa couleur est d'un gris terne, très foncée dans les variétés les plus siliceuses. Elle fait toujours effervescence aux acides. Quand elle est très riche en carbonate de chaux, elle présente une cassure rugueuse, parsemée de petits points blancs de calcite ; lorsqu'elle est fortement imprégnée de silice, sa cassure est unie et sa sonorité très grande.

L'horizon de la Meule de Thivencelles admet l'intercalation de termes exclusivement calcaires que les ouvriers confondent sous la même rubrique, Meule. Je me bornerai à les mentionner. Dans l'exposé qui va suivre, j'étudierai : A. la meule calcaréo-siliceuse; B. la meule calcaire silicifiée.

A. Meule calcaréo-siliceuse

ETUDE MICROGRAPHIQUE. En raison de la composition très particulière de cette roche, je vais d'abord en considérer les organismes; les minéraux et le ciment seront étudiés en même temps.

1° **Organismes.** Les restes organiques microscopiques se répartissent entre les Spongiaires et les Foraminifères.

Spongiaires. A. *Spicules monoaxes*, représentés par des bâtonnets simples, trapus et de grande taille appartenant, selon toute vraisemblance, aux *Tetractinellidæ*.

B. *Tetractinellidæ*. Quelques spicules quadriradiés par préparation.

C. *Lithistidæ*. Cet ordre l'emporte avec d'assez nombreux spicules de *Megamorina*.

D. *Hexactinellidæ*. Je n'en ai reconnu qu'une seule forme dont il ne reste plus que le canal.

Sauf quelques exceptions, tous les vestiges de Spongiaires sont en opale. Cette meule est de toutes les roches siliceuses que j'ai étudiées celle qui renferme les spicules les plus massifs.

Foraminifères. Dans la Meule de Bracquegnies, ces organismes ne méritent qu'une simple mention de présence. Ils existent ici en nombre notable. *Rotalia* et *Textularia* prédominent de beaucoup avec une coquille non silicifiée assez épaisse.

2° **Minéraux et Ciment.** Les minéraux de transport, quartz, etc., se signalent par leur rareté. Ils ne sont pas calibrés. On voit côte à côte un grain mesurant $0^{mm}72$ et un autre $0^{mm}1$.

Glauconie. Ce minéral présente ici des particularités d'un grand intérêt qui jettent des clartés nouvelles sur son histoire, et dont je reporte l'étude au chapitre IV. Ses principaux états sont les suivants :

A. Elle forme de nombreux grains irréguliers et mamelonnés.

B. Elle remplit très rarement les coquilles de Foraminifères bien que ces organismes soient assez largement représentés à ce niveau.

C. Elle donne naissance à de petits globules libres dans le ciment ou en relations avec le test des Mollusques.

D. Elle épigénise des rhomboèdres de calcite, etc.

Une des principales conclusions que l'étude de la glauconie de la Meule de Thivencelles met en évidence, c'est que ce minéral s'y est développé, pour une large part, en dehors de l'influence des organismes.

Carbonate de chaux. Il se présente dans des conditions différentes selon qu'on examine les spécimens riches en silice ou ceux qui sont surtout calcaires. Les premiers montrent des éléments calcaires bien individualisés, prismes de Lamellibranches, bâtonnets indéterminés, Foraminifères, etc., accompagnant les restes de Spongiaires isolés au milieu de la silice. Les seconds montrent des plages calcaires homogènes sur une grande étendue ; la silice en est exclue. La carbonate de chaux dont il est question dans les deux cas est d'un gris terne en lumière naturelle. Entre les nicols croisés, ses teintes de biréfringence sont beaucoup moins pures que celles du calcaire spathique ordinaire. Il est une règle qui ne souffre aucune exception, c'est que ces éléments calcaires sont fortement corrodés. Très souvent même, ils ne sont plus représentés que par quelques linéaments de calcaire rappelant avec plus ou moins d'exactitude la forme générale du corps en voie de disparition. Sur de grandes surfaces teintées en gris et revêtant tous les caractères de plages de silice isotrope, on voit entre les nicols croisés une multitude de petites lamelles de carbonate de chaux dont les contours sont également très déchiquetés. A ce calcaire que l'on peut appeler *primordial,* j'opposerai une seconde manière d'être de la même substance : c'est de la *calcite* incolore et pure, affectant des formes pleines, à contours non corrodés, et doués d'une fraîcheur très vive en lumière polarisée parallèle. Cette calcite est postérieure au calcaire primordial ainsi que je vais l'établir. Elle se montre dans deux conditions différentes :

A. *Elle enveloppe des particules de carbonate de chaux primordial.* En lumière polarisée parallèle, on voit la calcite limpide emprisonner un noyau de calcaire impur et foncé. Considéré dans son ensemble, le nouvel élément y compris son enclave, affecte par exemple la forme d'un fuseau à faces courbes ou d'un grand rhomboèdre. Lorsque le nucleus de calcaire ancien présente un certain allongement, la calcite forme de larges aiguilles à pointements très nets disposées normalement à l'allongement du calcaire primordial. Le caractère secondaire de cette calcite est manifeste. Le calcaire de nouvelle formation s'oriente toujours comme le calcaire ancien, et le résultat est sans exception *un seul individu cristallin.*

B. *La calcite secondaire est indépendante du calcaire ancien.* Elle forme des fuseaux dépourvus de nucleus qui ont cristallisé séparément, ou plus rarement en s'accolant au nombre de trois ou quatre. En quelques points, la calcite secondaire donne naissance à des cristaux allongés, fibreux, groupés en affectant une disposition radiée.

En résumé, l'étude des particules calcaires de la Meule de Thivencelles prouve qu'une certaine proportion de calcaire ancien a disparu, et que cette perte a été compensée pour une faible partie par une production de calcite secondaire.

Silice. Elle prend part à la composition du ciment sous la forme de *calcédoine* parfois si abondante qu'elle constitue une forte proportion de la roche, d'*opale*, découpée en petits globules dans les variétés riches en calcédoine, simplement mamelonnée ou indifférenciée.

Rapports mutuels du carbonate de chaux et de la silice et rapports de ces éléments avec les autres minéraux de la Meule. Conclusions. L'étude détaillée que j'ai faite du carbonate de chaux n'a d'autre but que de faciliter l'examen des rapports de cette substance avec la silice distribuée dans la roche. Deux faits prouvent que des éléments de calcite ont préexisté à la silice.

A. La silice revêt les organismes et les minéraux ; autour de ces derniers elle forme une couronne de globules imparfaitement réalisés. Or, lorsque les minéraux se trouvent en contact avec une plage de calcite secondaire, le revêtement de silice est interrompu sur toute la partie de ce minéral qui touche à la calcite. Ce fait conduit à la notion de préexistence de la calcite secondaire à la silice.

B. Les globules d'opale s'appliquent sur quelques éléments de calcite et se déforment à leur contact.

A l'aide des observations qui précèdent, on peut esquisser l'histoire de la Meule de Thivencelles par les traits suivants : *a*. Genèse d'un dépôt calcaire avec spicules siliceux et Foraminifères calcaires ; *b*. Dissolution partielle du calcaire ; *c*. Développement de la calcite ; *d*. Silicification partielle du calcaire ancien. Les trois derniers phénomènes ont pu se suivre de très près, dans le temps. Peut-être même se sont-ils manifestés presque simultanément, et ne représentent-ils qu'une seule phase de l'histoire du dépôt. Le petit nombre d'échantillons que j'ai eus à ma disposition ne m'a pas permis de trouver le moindre document sur l'origine de la silice. Tous les spicules sont intacts. Mais il convient de ne pas perdre de vue le fait que beaucoup de spécimens de la meule quartzeuse sont dépourvus de vides dus à la disparition des spicules et que si on les étudiait isolément, il serait de toute impossibilité de remonter à l'origine du ciment. Cet exemple prouve surabondamment que l'absence de vides dans quelques échantillons ne peut être invoquée pour rejeter l'intervention des débris de Spongiaires dans la genèse de la silice du ciment.

La consolidation de cette variété de meule est le fruit de l'action combinée de deux phénomènes qu'on ne trouve jamais réunis dans les gaizes, où le développement de la silice se fait à l'exclusion de celui de la calcite. Cette particularité de la Meule de Thivencelles fait songer aux cristaux rhomboédriques isolés dans les plages siliceuses des phtanites du calcaire carbonifère, que M. Renard considère comme le produit de la cristallisation du résidu des carbonates qui composaient la roche transformée en phtanites [1].

B. Meule calcaire silicifiée (Meule cherteuse).

Elle diffère de la meule calcaréo-siliceuse par une silicification plus avancée. Cette roche est essentiellement formée de calcédoine enveloppant des îlots irréguliers d'opale

1. RENARD. Rech. lith. sur les pht. etc., *Bull. Ac. Roy. Bel.*, 2e S., vol. 46, pp. 18 et 23 (1878).

finement mamelonnée sur les bords et se découpant le plus souvent en globules à délimitation assez confuse. Les globules isolés et parfaitement conformés pullulent d'ailleurs dans toutes les plages calcédonieuses. Quelques rares spicules de Spongiaires, un ou deux grains de glauconie et du quartz très rare, tels sont les principaux éléments qui altèrent la grande homogénité de la meule.

Le carbonate de chaux est représenté par quelques rares lamelles déchiquetées. Ce ne sont que de rares vestiges d'une formation dont l'importance première est difficile à préciser, mais que l'on peut comparer à celle de la meule la moins imprégnée de silice. Non-seulement il y a eu silicification de la roche, mais encore disparition d'une partie des spicules; entre les nicols croisés, il est fréquent de voir les lamelles de calcédoine se grouper de manière à laisser voir la forme générale des spicules dont la trace a disparu en lumière naturelle. En somme la meule siliceuse n'est qu'un cas particulier de la meule calcaréo-siliceuse; c'est la même roche à un stade plus rapproché de la silicification complète mais dépourvue de calcite secondaire.

La circonstance dominante dans la genèse de cette meule, c'est l'apport d'une grande quantité de silice puisée en dehors de la roche silicifiée, et la substitution de cette substance au carbonate de chaux primitivement très développé dans la roche. C'est exactement ce qui se passe pour la formation du silex. L'élimination incomplète du carbonate de chaux assimile cette variété de meule au *chert*.

3° RÉSULTATS DE L'ÉTUDE DE LA MEULE. CONCLUSIONS

L'étude de la Meule conduit aux résultats suivants : Les agents mécaniques, organiques et chimiques ont tous laissé d'importantes traces de leur activité.

A. La prépondérance appartient aux premiers, dans le fond du golfe de Mons, où s'est déposée la Meule de Bracquegnies. Sauf dans la variété à débris de Spongiaires, les minéraux de transport représentent la masse fondamentale. En France (Thivencelles), la place qu'ils occupent est tout à fait secondaire; en revanche, le diamètre de beaucoup de grains de quartz y est notablement plus élevé qu'en Belgique. On doit également rapporter aux agents mécaniques, l'état fragmentaire des débris de Spongiaires et de nombreux restes de Mollusques.

B. L'activité physiologique est la seule qui n'ait pas marqué son empreinte à tous les niveaux; certaines meules en sont le produit presque exclusif. Les restes de *Spongiaires* associés à quelques *Radiolaires* existent seuls dans la meule siliceuse. On les retrouve beaucoup plus rares dans les meules calcarifères de France, où ils sont en grande partie remplacés par des *Foraminifères*.

C. L'origine de la glauconie et la genèse du ciment sont à rapporter aux agents chimiques. Le ciment est siliceux — ce qui est le cas général — ou calcaréo-siliceux,

comme dans le département du Nord. Quand il est siliceux, il se borne à remplir plus ou moins complètement les vides que laissent entre eux les minéraux et les organismes. Il est toujours en opale, sauf dans la meule à débris de Spongiaires où il est en grande partie calcédonieux, et dans celle à débris de Mollusques où la calcédoine est parfois associée à l'opale, mais avec prédominance de cette dernière. A part quelques exceptions, le ciment siliceux est *secondaire*, c'est-à-dire que les éléments minéraux et organiques n'ont été agglutinés qu'après leur dépôt et non au cours de la sédimentation. C'est, à proprement parler, un *ciment de remplissage* comblant les vides qui séparent les particules juxtaposées d'un sable exclusivement minéral, ou à la fois minéral et organique. L'autre variété de ciment, celui que j'ai appelé *primordial*, est un *ciment épigénique*. Il est primordial en ce sens qu'il s'est déposé en même temps que les éléments qu'il empâte, lesquels n'étaient pas en contact, et exigeaient une sorte de support pour rester en équilibre. On peut le qualifier d'*épigénique*, parce qu'il n'était pas siliceux dès le principe, et qu'il résulte, à mon avis, de l'épigénie d'un magma calcaire par de la silice circulant dans le dépôt à l'époque même où se précipitait l'opale gélatinoïde du ciment secondaire.

Les meules calcaréo-siliceuses comportent l'existence de carbonate de chaux ancien, de calcite secondaire toujours associée à de la silice secondaire : calcédoine, opale indifférenciée ou plus ou moins globulaire.

Remarques sur la composition chimique de la Meule. Les trois échantillons dont j'ai donné la composition à la page 83, renferment sensiblement les mêmes quantités de silice soluble dans la potasse et de silice totale. Or, *la composition minérale et organique de ces meules présente de profondes différences* : La première (21 °/₀ de silice soluble) est une meule dont les éléments de quartz l'emportent à peine sur les débris d'organismes siliceux qui les accompagnent. (Pl. II, fig. 4). La deuxième (21 °/₀) est une roche formée de spicules juxtaposés (Pl. II, fig. 3). La troisième (25 °/₀) est une meule à grains de quartz juxtaposés, cimentés par de l'opale et dépourvue d'organismes siliceux. On voit à l'aide de ces exemples, mieux encore que par ceux qui sont fournis par les gaizes, que la notion de silice soluble introduite dans la définition d'une roche ne sert pas le moins du monde à en préciser le diagnostic.

Si on compare les analyses de la meule à celles de la gaize qui ont été faites dans les mêmes conditions d'opérations, on voit que la teneur en silice soluble est sensiblement la même de part et d'autre, bien que ces roches soient loin d'être identiques. De même la proportion de silice totale correspond à la moyenne des gaizes normales.

Genèse de la Meule. Si l'on se reporte à l'époque de son dépôt, on peut se la représenter comme formée à l'orient du golfe de Mons, de sables purs (A), de sables à débris d'organismes siliceux (B), de sables pourvus par places d'un ciment calcarifère originel (C), de lits formés de restes de Spongiaires juxtaposés et sans ciment (D), et enfin de couches formées de débris de Spongiaires agglutinés par un ciment calcarifère (E), et à l'entrée du

golfe de Mons par un sédiment calcaire à Foraminifères accompagnés de quelques vestiges d'Éponges (F).

A. Les sables inorganiques sont restés des sables, ou ils ont été consolidés par un ciment d'opale élaborée en d'autres points du dépôt.

B. Les sables à débris d'organismes siliceux ont subi une double transformation : ils ont été agglutinés par de l'opale ; beaucoup d'entre eux ont été le point de départ de la formation du ciment par la mise en solution de la silice de leurs spicules dont la place est aujourd'hui marquée par des vides.

C. Les sables à ciment calcarifère originel ont été soumis à une silicification complète. Le carbonate de chaux a été remplacé par de la silice qui, en même temps, a comblé tous les vides de la roche.

D. Les lits à spicules d'Éponges ont acquis une grande cohérence par l'adjonction d'un ciment siliceux. Beaucoup de spicules sont transformés en calcédoine. Le ciment lui-même est en grande partie calcédonieux.

E. Les couches formées de débris de Spongiaires maintenus en place par un ciment calcarifère primordial ont subi une silicification comme celle du groupe C. Les spicules d'Éponges ont été transformés en calcédoine et le ciment est devenu en grande partie calcédonieux. Elles montrent le maximum de métamorphose et ressemblent extérieurement à des silex. Ce sont des *cherts à plages de silex.*

F. La boue calcaire à Foraminifères et à spicules de l'entrée du Bassin a subi une silicification partielle (variété calcaréo-siliceuse) et ce phénomène a été accompagné de production de calcite. La silicification a été parfois presque complète: dans ce cas la meule est un *chert.*

Les modifications si variées qui ont affecté la Meule sont en relation indirecte avec l'activité organique. Les spicules de Spongiaires en ont été le point de départ : les uns ont fourni de la silice ; les autres ont servi de centre d'attraction à cette substance. Autant que je puis en juger par le nombre d'échantillons que j'ai examinés, il ne paraît pas y avoir disproportion, entre l'énorme quantité de silice nécessaire pour déterminer la cohérence des diverses meules et celle que la destruction des spicules a mise en liberté.

L'étude de cette formation ne fournit que peu de données sur l'époque où se sont effectuées ses métamorphoses. Cette question est exactement la même que celle qui se pose pour la gaize. J'admets que la mise en mouvement de la silice destinée, soit à consolider les sables, soit à silicifier les parties calcaires, a commencé aussitôt après la sédimentation et que les couches inférieures se modifiaient pendant que s'effectuait le dépôt des strates qui les surmontent. Je ne puis que renvoyer au chapitre précédent pour l'exposé des raisons qui conduisent à cette manière de voir.

L'existence de silice gélatineuse dans des fissures de la roche prouve que la méta-

morphose a continué après l'émersion. J'ai dit au début de ce chapitre que la Meule est recouverte en stratification discordante dans la région de Mons, tantôt par l'assise à *Pecten asper*, tantôt par les couches à *I. labiatus* et même par celles à *T. gracilis*. Dans le Nord, les couches à *P. asper* sont rudimentaires ; il manque entre la Meule de Thivencelles et ce niveau le terme correspondant aux Marnes de Givron. Durant la période d'émersion qui a mis fin à son dépôt, la Meule a été soumise à l'action d'agents atmosphériques. Une partie de ses métamorphoses datent de cette époque. Si puissant que soit ce dépôt, il est probable qu'il est incomplet et que sa partie supérieure a été arasée pendant la période d'émersion et surtout au retour de la mer. Il y a de ce fait des couches qui échappent à nos investigations et qui ont pu fournir beaucoup de silice à celles qui constituent la Meule actuelle.

Les conditions qui ont présidé à la transformation des sédiments d'où est issue la meule présentent de frappantes analogies avec celles que j'ai fait connaître pour la gaize.

Comparaison de la gaize et de la Meule de Bracquegnies. La présence d'une forte proportion de silice soluble dans la gaize et dans la Meule de Bracquegnies, a fait admettre depuis longtemps la notion d'étroite parenté pétrographique de ces deux roches. L'existence de part et d'autre de nombreuses dépouilles d'organismes siliceux est tout en faveur de cette opinion.

Le type gaize tel qu'il existe dans le Bassin de Paris manque dans celui de Mons, où, règle générale, les agents de transport ont tenu le premier rôle, alors qu'ils n'ont pris qu'une part relativement faible à la formation de la gaize typique. Quand les organismes l'emportent comme dans la meule à spicules, le résultat est une roche, qui, au point de vue micrographique, s'écarte notablement de la gaize. Ce qui appartient en propre à cette dernière formation, c'est son ciment gris ou jaune généralement très abondant, formé à l'origine d'argile et de carbonate de chaux, et composé aujourd'hui de la première substance associée à la silice hydratée sous toutes ses formes. Le ciment de la gaize typique a été profondément modifié depuis le dépôt de cette formation, mais il date de son origine même. Il est à la fois *primordial* et *épigénique*. Celui de la Meule est presque toujours *secondaire*. Malgré cette différence l'existence dans ces deux formations de nombreux débris d'organismes siliceux et d'une forte proportion de silice hydratée établit entre elles un trait d'union tel, qu'il faut appeler gaizes un grand nombre d'échantillons de meules.

Les conditions qui ont présidé à la genèse de ces deux terrains sont différentes. La Meule de Bracquegnies est un sédiment essentiellement littoral. La gaize paraît correspondre à des eaux plus profondes et surtout plus calmes, sauf cependant pour la partie du dépôt qui s'est effectué au N. de Rethel. On pourrait s'attendre à ce que la meule passât à la gaize, au fur et à mesure que l'on s'avance des points les plus reculés du Bassin de Mons vers le Bassin de Paris. Il n'en est rien. Le dépôt synchronique de la Meule et

qui prolonge cette formation en France est une roche calcaire à Foraminifères, plus éloignée de la gaize que la Meule de Bracquegnies ; partout, dans toute la région qui s'étend entre le Sud du département du Nord et les derniers affleurements de la gaize de Marlemont, l'assise à *Sch. inflata* est essentiellement argileuse. Cette circonstance jointe aux profondes différences paléontologiques qui séparent les deux systèmes oblige à admettre qu'ils se sont déposés dans des bassins de sédimentation distincts. Les éléments détritiques de la Meule viennent du Nord ; ce dépôt existe avec le développement que l'on sait dans la partie septentrionale du Bassin et manque complètement vers le Sud.

On peut imaginer une communication avec l'Angleterre, et notamment avec Blackdown, — en dehors de la ligne qui réunit actuellement tous les gisements les plus septentrionaux de l'assise à *Sch. inflata*, — et supposer qu'une large zone littorale de dépôts arénacés où vivaient les Mollusques de Blackdown et de Bracquegnies a été complètement détruite. Il ne resterait entre le golfe de Mons et l'Angleterre que les vases argileuses qui se sont déposées loin de la côte. On pourrait encore s'arrêter à l'hypothèse d'un large bras de mer reliant Mons à l'Angleterre par le Nord, à travers la Belgique [1].

La composition si aberrante de la Meule de Thivencelles par rapport à l'argile à *Sch. inflata* de France, ses éléments de quartz non calibrés dont plusieurs ont un volume bien supérieur à ceux de la meule typique conduisent à penser que cette formation a dû prendre naissance à l'abri de quelque haut fond ou cap, empêchant toute communication directe avec la pleine mer du Bassin de Paris.

Types pétrographiques à distinguer dans la Meule. Les différentes roches cohérentes groupées sous la rubrique *Meule* doivent être désignées par les noms suivants : *grès*, *gaize*, *spongolithe*, *chert* et *calcaire*.

1° J'appelle *grès* les variétés de meule dépourvues de restes d'organismes siliceux. Leur ciment est toujours de la silice isotrope. Ce sont des *grès opalifères*.

2° La meule qui renferme des dépouilles d'organismes siliceux (Spongiaires et Radiolaires) est une *gaize*. La gaize du système de la Meule est presque toujours riche en quartz clastique. C'est une *gaize quartzeuse*.

Les roches décrites à la page 83 sous le nom de meules quartzeuses sont des grès opalifères et des gaizes quartzeuses.

3° Il n'existe dans la terminologie actuelle aucun vocable pour nommer les roches qui sont pour ainsi dire exclusivement formées de spicules de Spongiaires. Je propose de les désigner sous le nom de *Spongolithe* [2]. Les meules à spicules d'Eponges du type de la

1. Ces conditions ne sont pas absolument nécessaires pour expliquer la parenté étroite des faunes de Blackdown et de Bracquegnies. Des embryons de Mollusques ont pu être transportés par des courants de Blackdown à Bracquegnies.

2. Σπόγγος (éponge), λιθος (pierre).

roche décrite à la page 89 seraient des spongolithes. Ce terme a sa place marquée dans la nomenclature des roches siliceuses organogènes, à côté du *tripoli*.

4° Les nodules siliceux de la Meule sont des *cherts*. Les *silex* proprement dits ne paraissent pas représentés dans la Meule, mais il y a des *cherts à plages de silex*.

5° La meule calcaréo-siliceuse du Nord est un *calcaire opalifère et calcédonieux à Foraminifères et débris de Spongiaires*.

La Meule de Bracquegnies comporte l'existence de ces différents termes, sauf le dernier. Celle de Thivencelles ne renferme que des calcaires et des cherts.

Le terme *Meule* peut sans inconvénient servir à désigner l'ensemble de la formation comme l'usage s'en est depuis longtemps établi en Belgique. Appliquée à la roche même, au titre lithologique, il semble impliquer une uniformité de composition minérale, organique et chimique qui est loin d'exister. Aussi est-il nécessaire de le rayer de la nomenclature et de le remplacer par les différents vocables que je viens d'indiquer.

II. TÊTES DE CHAT DE MAISIÈRES (ASSISE A *INOCERAMUS LABIATUS*)

(Tr2a, de la Carte géologique de Belgique)

(Pl. III, fig. 2)

Particularités stratigraphiques. Les dépôts turoniens du département du Nord se continuent en Belgique et principalement dans le « golfe de Mons ». L'étage y est réduit aux assises à *Inoceramus labiatus* et à *Terebratulina gracilis* dont les caractères minéralogiques s'écartent complètement de ceux qu'elles présentent dans le Bassin de Paris et notamment dans le département du Nord ; ils vont se modifiant de plus en plus en pénétrant dans l'intérieur du golfe. Les couches à *I. labiatus* représentées dans le Nord par des marnes argileuses bleuâtres connues sous le nom de *Dièves*, formant un ensemble bien homogène, comportent deux niveaux à l'intérieur du Bassin de Mons :

1° Dièves proprement dites ou marnes bleuâtres, grisâtres ou verdâtres. Dans la partie occidentale du golfe, elles passent vers le haut à une marne légèrement glauconieuse, grisâtre ou bleuâtre chargée de concrétions siliceuses. Cet horizon a reçu le nom de *Fortes Toises*.

2° Au couchant de Mons, les dièves sont recouvertes de bancs de marnes bleues avec concrétions siliceuses, s'intercalant dans des couches qui en sont dépourvues. Au fur et à mesure que l'on s'élève dans l'assise, les couches marneuses diminuent en nombre et en puissance, les concrétions siliceuses deviennent plus abondantes et forment bientôt toute la masse de l'étage, en ne laissant entre elles que des vides peu importants remplis de marne bleue. C'est l'horizon des *Bleus* ou *Verts à Têtes de chat* des mineurs.

L'*Inoceramus labiatus* a été trouvé dans chacune des subdivisions. L'épaisseur de l'assise varie entre 4 et 10^{m}, sauf à Ville-Pommereul, où elle atteint 130^{m} [1]. Dans l'arrondissement de Valenciennes, en face de l'entrée du golfe de Mons, elle est d'une cinquantaine de mètres.

Ce sont uniquement les accidents siliceux de l'assise à *I. labiatus* que j'ai en vue ici ; ils sont désignés à la carte géologique de Belgique par le symbole *Tr 2 a*. J'ai soumis à l'étude microscopique quelques spécimens de *têtes de chat* prélevés sur le bord du ruisseau qui descend du nord-est et passe près des carrières de Maisières où l'on extrait les rabots. En remontant ce ruisseau, on voit affleurer l'assise à *I. labiatus* avec concrétions siliceuses de toutes dimensions.

Caractères lithologiques. La teinte bleuâtre que les têtes de chat présentent dans les puits de mines est remplacée dans les affleurements par une coloration jaune ou gris bleuâtre. Les concrétions sont légères, poreuses et happent fortement à la langue. La cassure est très irrégulière, fortement grenue et d'une grande rudesse au toucher. Parfois la roche est compacte, fine, à cassure presque unie et teintée en gris. On y observe l'amorce de taches plus foncées, dures et très compactes, qui se fondent insensiblement dans la pâte enveloppante comme les nuages bleuâtres de la gaize. Dans tous les cas, la roche est parsemée de fines mouchetures vertes et de quelques lamelles brillantes.

Composition chimique. Un échantillon analysé à l'Ecole des Mines a donné :

Silice soluble dans la potasse	22	82
Silice insoluble	60	
Alumine	3.2	
Peroxyde de fer	1.4	
Chaux	3	
Perte par calcination	10 3	
Total	99.9	

ETUDE MICROGRAPHIQUE. 1° **Minéraux.** Les minéraux détritiques jouent un rôle tout à fait accessoire. On ne trouve que quelques grains de quartz dans chaque préparation (Pl. III, fig. 2, *a*). Diam. moyen 0^{mm}08.

Glauconie. Elle est exceptionnellement en relation avec les coquilles de Rhizopodes. Ses manières d'être sont les suivantes :

A. Grains à fort relief, à contours très découpés et beaucoup plus volumineux que les Foraminifères inclus dans la roche (fig. 2, *b*). On retrouve chez la plupart d'entre eux l'aspect concrétionné que j'ai signalé dans les gaizes.

B. Granules microscopiques placés au voisinage des grains ou disséminés un peu partout. Quelques-uns sont nettement arrondis et de la dimension des globules d'opale.

C. La glauconie sert d'enveloppe aux éléments de transport et plus particulièrement au

1. J. GOSSELET. Esquisse géologique, Terr. second., p. 257 (1881).

quartz. On trouve notamment trois grains de ce minéral (dont l'un est assez volumineux), enfermés sous le même revêtement glauconieux.

D. Elle pseudomorphose plus ou moins complètement un grand nombre de spicules d'Eponges.

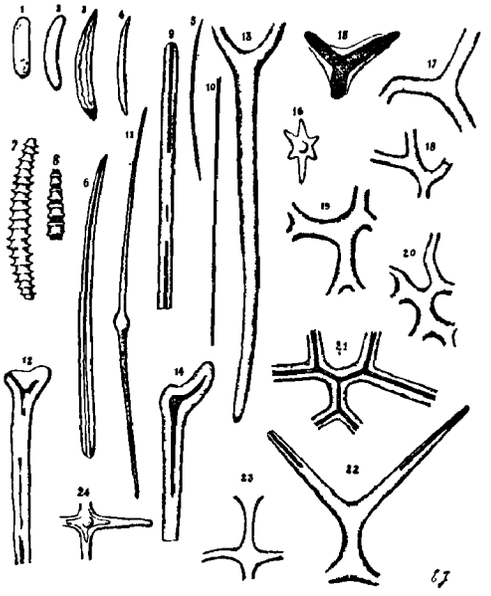


Fig. 4. Spicules des *Têtes de Chat* de Maisières [1] (Gross. 45 diam.)

2° **Organismes.** Ils présentent un intérêt tout spécial qu'ils doivent à leur abondance. La grande majorité sont des débris de Spongiaires.

Spongiaires. Leurs spicules se touchent, s'entrecroisent, se superposent en tous sens et pullulent partout (Pl. III, fig. 2). Je ne puis guère citer, comme dépôt plus riche en débris de Spongiaires, que le Spongolithe de Bracquegnies. Réunis, les spicules représentent au moins les trois quarts de la roche; ils sont presque tous de forme très déliée, élégante. La figure ci-contre ne donne qu'une idée tout à fait incomplète de l'ensemble des restes de Spongiaires du niveau. Ils se répartissent entre les quatre groupes suivants :

A. *Spicules monoaxes.* Ils représentent à eux seuls les 7/8 de la totalité des spicules. Les principales formes sont :

a. Spicules cylindriques droits et courts à terminaisons arrondies (1).
b — de même forme, mais arqués (2).
c. — fusiformes, droits ou arqués (3-6).
d. — crénelés (7-8).
e. — cylindriques, incomplets et de grande taille (9-10).
f. — fusiformes, dilatés vers le milieu (11).

Des spicules en épingle complètent la série. Les plus fréquents appartiennent aux catégories *a*, *b*, *c* et *f*.

On trouve dans une seule préparation de cette roche presque tous les types (génériques) de spicules monoaxes rencontrés par M. Hinde dans le Greensand du Sud de l'Angleterre. Je mentionnerai en particulier les *Reniera*, *Geodites*, *Axinella* ou *Spirastrella* et *Pachymatisma*? De ces genres, il en est un, *Geodites*, qui appartient aux *Tetractinellidæ*. En somme, l'ordre des *Monactinellidæ* est largement représenté et l'on peut dire qu'il est le plus caractéristique.

1. Les formes incomplètes de beaucoup d'individus de cette figure trouvent leur explication dans ce fait qu'elles ont été dessinées à l'aide de coupes minces et non d'après des spicules séparés de la roche. Ce n'est pas l'indication d'un état fragmentaire.

B. *Tetractinellidæ* (12-16). Les spicules de *Tetractinellidæ* se rangent en deux catégories : les uns ont les quatre rayons d'égale importance ; les autres appartiennent au genre *Geodites*. Comme les spicules monoaxes du même groupe, ils sont de grande taille. Il faut encore rapporter à cet ordre des formes globuleuses ou étoilées. Ils sont rares et transformés presque complètement en calcédoine.

C. *Lithistidæ* (17-20). Leurs spicules sont les plus abondants après les formes monoaxes. Ils appartiennent à trois familles : *Tetracladina*, *Megamorina* et *Rhizomorina*. Les *Rhizomorina* prédominent ; les *Tetracladina* ne comptent que quelques formes.

D. *Hexactinellidæ* (23-24). Ce groupe est représenté par de très rares spicules incomplets qui se répartissent entre les *Lyssakina* et les *Dictyonina*.

Outre ces spicules dont l'attribution à un ordre déterminé ne laisse place à aucune incertitude, il en existe quelques-uns dont les affinités sont plus difficiles à déterminer et que j'ai laissés hors cadre. De ce nombre sont les individus 21 (*Tetractinellidæ* ou *Lithistidæ*) et 22.

A part de rares exceptions, les débris de Spongiaires sont calcédonieux ou glauconieux. La première manière d'être est très prédominante.

Radiolaires. Quelques corps globuleux peuvent appartenir aux Radiolaires. Leur transformation en calcédoine ne permet pas d'en faire la preuve.

Foraminifères. Ils sont très rares dans certaines préparations et relativement fréquents dans d'autres. Leurs coquilles toujours silicifiées sont excessivement petites et minces. J'ai reconnu *Textularia*.

3° **Ciment.** Le ciment représente au plus le quart de la roche; il est gris jaunâtre et correspond au *ciment primordial* de la meule. Il est siliceux dans toutes les préparations que j'ai examinées. Le ciment est de l'opale additionnée d'un peu de calcédoine dans les variétés légères, tendres et gris jaunâtre. Dans celles qui sont compactes, il est formé presque par portions égales de silice isotrope et de calcédoine. Les plages calcédonieuses correspondent aux parties nuageuses comme dans les gaizes. Le ciment montre partout un commencement de différenciation morphologique ayant pour résultat la formation de globules. Ce n'est que dans la roche dure que la structure globulaire est bien réalisée. Ailleurs la différenciation est simplement esquissée et les sphérules de silice isotrope sont intimement soudées. Les échantillons les plus calcédonieux passent au chert.

Je considère ce ciment comme ayant été essentiellement calcaire à l'origine. Les Foraminifères qu'on y rencontre attestent qu'il y a eu silicification d'organismes calcaires. L'analyse chimique accuse 3 % de chaux. Je suis bien convaincu que l'étude d'un très grand nombre d'échantillons amènerait la découverte d'éléments calcaires dans les sections minces. On verra plus loin, en poursuivant l'étude des roches siliceuses de Belgique, qu'il existe dans ce pays un dépôt très riche en spicules d'Eponges dont le ciment est calcaire, calcaréo-siliceux ou presque exclusivement siliceux. Ces différentes compositions du ciment

correspondent à des stades de métamorphose dont le dernier serait marqué par la silicification complète. Les têtes de chat auraient passé par les mêmes phases.

Je n'ai pas observé de traces de dissolution de spicules dans les rognons étudiés. Il se peut que l'examen d'un grand nombre de spécimens en mette en évidence. Comme toute l'assise n'est pas prise en masse aux points où j'ai prélevé mes échantillons, il est bien probable que les parties qui sont restées marneuses ont fourni de la silice aux rognons. En tout cas, il est absolument inadmissible que la diffusion des spicules ait été strictement limitée à l'emplacement des nodules et qu'ils n'aient pas existé dans les parties non imprégnées de silice. En résumé, je crois qu'une portion de la silice du ciment a été empruntée aux débris de Spongiaires des couches auxquelles sont subordonnées les têtes de chat. Les phénomènes complexes qui ont présidé à la genèse des rabots que je vais étudier serviront à expliquer l'origine de l'autre partie.

Comparaison avec les gaizes. Les têtes de chat ne sont pas des concrétions au sens propre du mot. Elles ont comme caractéristique essentielle d'avoir été en grande partie siliceuses dès le principe. Les débris d'organismes y sont accumulés en telle proportion qu'ils étaient parfois susceptibles de se maintenir en équilibre en s'appuyant les uns sur les autres. Leur composition chimique les rapproche des gaizes. La silice totale correspond exactement à la moyenne observée dans cette formation. La teneur en silice soluble dans la potasse (22 %) y est même plus élevée que dans beaucoup de gaizes typiques. La fréquence du carbonate de chaux est celle que l'on observe dans beaucoup de ces roches. Les principales différences sont dues aux dépouilles d'organismes qui sont plus nombreuses que dans les gaizes, et à la constitution du ciment des têtes de chat où l'élément argileux joue un rôle qui n'a rien de comparable avec celui que j'ai signalé pour les gaizes. Cette dernière différence résulte peut-être pour les échantillons que j'ai étudiés de l'état plus ou moins globulaire du ciment, en même temps que de la présence de la calcédoine correspondant toujours dans la gaize typique à un grand appauvrissement en matière argileuse, voire même à l'exclusion de cette substance.

Les têtes de chat doivent prendre place dans la série des terrains des environs de Mons sous le nom de *gaize à Inoceramus labiatus*. Les échantillons les plus riches en vestiges de Spongiaires passent au *Spongolithe*.

III. RABOTS DE SAINT-DENIS (ASSISE A *TEREBRATULINA GRACILIS*) (*Tr2b, de la carte géologique de Belgique*).

Particularités du gisement. L'assise *T. gracilis* se modifie profondément dans le Bassin de Mons. Au-dessus des couches à *I. labiatus*, composées comme je l'ai indiqué à la page 100, les concrétions siliceuses sont moins nombreuses mais leur volume s'accroît ; puis elles forment de gros rognons de silex bruns, irréguliers, empâtés dans une marne

sableuse. A Maisières et à Saint-Denis, les silex forment des bancs continus très épais, exploités pour pavés ou meules. L'ensemble se décompose en bancs massifs alternant avec des bancs caverneux en rognons et des couches de marne sableuse grise, représentant la division inférieure de l'assise, épaisse de 10 à 12 mètres, et connue sous le nom de *Rabots* [1].

Les rabots sont recouverts par une « craie » grossière, gris verdâtre, friable et sableuse formant le niveau des *gris* des mineurs (1-8m). *Terebratulina gracilis* se trouve à la fois dans les rabots et dans les gris. De même que pour l'assise à *I. labiatus*, les caractères pétrographiques vont se modifiant de l'ouest vers l'est, par l'augmentation de la proportion de glauconie et de silice.

L'étage des rabots affleure d'Haine Saint-Paul à Maisières.

Ce qui frappe dans le mode de gisement de ce dépôt, c'est le passage brusque et suivant une ligne très sinueuse des parties siliceuses au calcaire ambiant. Cependant le rabot ne se comporte pas tout à fait comme une masse étrangère au sein de la « craie »; il y a adhérence très prononcée entre l'une et l'autre; lorsqu'on détache un échantillon du « silex » sur le bord des bancs, il emporte toujours avec lui un peu de la roche calcaire qui l'enveloppe.

Composition chimique. Un échantillon pris au milieu d'un banc et analysé au laboratoire d'essais de l'Ecole des Mines a donné :

Silice soluble dans la potasse	10.6
Silice insoluble	53
Alumine	3.6
Peroxyde de fer	1
Chaux	16.6
Magnésie	0.2
Perte par calcination	14 6
Total.	99.6

Etude micrographique. Les spécimens de rabots prélevés au sein des bancs sont toujours dépourvus d'homogénéité. En lumière polarisée parallèle leurs sections minces se décomposent en lamelles de calcédoine d'une extrême ténuité, entrelacées en tous sens, et paraissant très intimement associées à de la silice monoréfringente ; par places, la silice a cristallisé en noyaux quartzeux dont la structure rappelle celle du quartz microgranulitique. De-ci, de-là, on rencontre de rares plages calcaires de faibles dimensions à bords très déchiquetés, d'aspect rugueux et dépoli. On voit en plus une multitude de petites particules irisées à contours rongés et très irréguliers. Ce sont autant de preuves d'une plus grande extension du carbonate de chaux que ne l'indique la roche en son état actuel.

Les préparations faites sur la ligne de contact du rabot et du calcaire ambiant

1. Cornet et Briart. Descript. min., pal. et géol. des Ter. crét., etc., pp. 88 et 94 (1866).

montrent que la délimitation des parties siliceuses et calcaires, si nette sur les échantillons, n'est qu'apparente, et qu'il y a passage insensible des unes aux autres. Au pourtour du rabot, les plages calcaires sont plus étendues et plus nombreuses que vers le centre. Quant à la trame siliceuse, elle est également d'une texture très fine et formée de calcédoine additionnée d'opale. Si l'on franchit ce qui paraît être la ligne de suture des deux parties sur les échantillons, on passe à une zone très riche en calcaire d'où la silice n'est pas exclue. Les plages de carbonate de chaux sont ici sur le point de se souder, mais elle sont envahies par la calcédoine qui y dessine une infinité de petites mouchetures; ces plages ne laissent entre elles que de très faibles intervalles occupés par la calcédoine et l'opale. Si l'on s'écarte davantage du rabot, l'existence de la silice devient tout à fait accidentelle; les plages calcaires sont homogènes. La roche est un calcaire un peu marneux.

L'aspect de la « craie » des îlots qui troublent l'homogénéité des rabots rappelle exactement celui d'un calcaire soumis à l'action corrosive des acides faibles.

Organismes. *Spongiaires*. Les rabots les plus siliceux ne laissent reconnaître à première vue aucune trace d'organismes. En parcourant avec soin les grandes plages siliceuses à l'aide de faibles grossissements, on voit en lumière naturelle avec le condenseur fortement baissé des bandes rectangulaires très allongées et plus claires dont l'individualité est surtout accusée en lumière polarisée parallèle. Les lamelles de calcédoine qui les constituent sont un peu moins exiguës et pourvues d'une orientation différente des autres, de sorte qu'elles en soulignent la forme. Ces bandes ainsi composées correspondent à l'emplacement de spicules entièrement transformés en calcédoine. Les restes de Spongiaires des rabots présentent exceptionnellement les états de conservation suivants :

1° Spicules en opale intacts, bien que plongés dans la calcédoine.

2° Spicules incomplètement transformés en calcédoine et revêtant dans les parties calcédonieuses l'aspect des formes à silice entièrement cristallisée dont il a été question plus haut.

3° Spicules épigénisés par du carbonate de chaux, rencontrés au sein de larges plages calcédonieuses.

Il existe quelques *vides* correspondant à des individus dissous.

Presque tous les débris de Spongiaires observés sont des bâtonnets cylindriques allongés et de grande taille ; quelques-uns sont tétraradiés. *Les portions les plus siliceuses et les plus cristallines paraissent en relation avec la fréquence maxima des restes d'Eponges.* Ce fait est d'autant plus frappant que les spicules sont distribués de façon très inégale. Ici, ils sont très rares ou manquent totalement ; là, ils sont très répandus sans qu'ils se touchent cependant.

Foraminifères. Les organismes calcaires ont pour représentant d'assez nombreux Foraminifères. Ceux qui sont inclus dans la silice sont calcaires ou siliceux ; dans le premier

cas, ils sont en voie de destruction par dissolution ; dans le second, ils ne sont visibles qu'en lumière naturelle et disparaissent entre les nicols croisés parce qu'ils sont eux-mêmes calcédonieux. Le test de ces organismes est relativement mince. J'ai reconnu des formes monoloculaires, des Rotalines, Textulaires, Globigérines, etc.

Ainsi que le montre l'analyse chimique et microscopique, le rabot le plus typique renferme une forte proportion de chaux. Il est évident que le carbonate de chaux était beaucoup plus répandu dans les rabots à l'origine et que le dépôt dont ils dérivent était un calcaire comme celui qui les enveloppe, ou qu'on y trouve parfois emprisonné. *Les rabots résultent de l'épigénie en grand par la silice d'une craie renfermant un nombre très variable de spicules d'Eponges et de Foraminifères.*

Genèse des rabots. On a vu par la rapide esquisse des caractères microscopiques des rabots, combien la physionomie de ces roches est spéciale. Le grand développement de cette formation siliceuse, ses conditions de gisement si particulières, ainsi que ses propriétés physiques si spéciales, lui assignent une place tout à fait à part parmi les accidents siliceux des terrains crétacés de France et de Belgique. Les géologues qui ont essayé de pénétrer le mystère de sa genèse ont éprouvé quelque embarras, et comme jusque dans ces dernières années, il était de règle de faire venir de l'intérieur de la terre tout ce que l'activité organique et chimique de la surface paraissait impuissante à fournir, on a eu recours à des sources thermales. La silice des rabots fut donc attribuée à des sources siliceuses. C'était notamment l'opinion de Cornet et de M. Briart[1]. Il n'y avait pas d'autre explication possible à l'époque où elle fut formulée. Cette hypothèse ne repose sur aucun fait, mais il convient d'ajouter qu'il n'en est aucun qui la réduise à néant. L'activité physiologique a été pour quelque chose dans la formation des rabots. On en a la preuve dans la présence de spicules au sein des parties les plus siliceuses. Le problème qu'il s'agit de résoudre est exactement celui-ci : Un dépôt calcaire renfermant des spicules d'Eponges siliceuses a subi un phénomène de silicification revêtant une ampleur exceptionnelle. Ce phénomène, considéré dans son essence, est celui qui détermine la formation des silex. C'est une raison pour chercher en dehors de l'activité interne la source de la silice des rabots. Cette silice peut avoir deux provenances. Considérée par rapport à l'ensemble des terrains qui composent aujourd'hui l'assise à *T. gracilis*, elle peut être d'origine intrinsèque ou extrinsèque.

Origine intrinsèque. Une partie de la silice des rabots préexistait dans le calcaire dont ils procèdent. Les vides dont j'ai mentionné la présence témoignent de la mise en solution de la silice d'un certain nombre de spicules ; les formes calcifiées conduisent à la même conclusion. Bref, la boue calcaire d'où sont issus les rabots a été une source de silice, d'origine organique, au même titre que la craie qui a donné des silex. Mais il ne

1. Cornet et Briart. Op. cit., p. 88 (1866).

me semble pas possible de trouver l'explication intégrale des rabots dans l'intervention exclusive des débris de Spongiaires enfouis dans l'assise à *T. gracilis*, développée avec l'épaisseur qu'on lui connaît aujourd'hui. En effet, les dépouilles d'organismes siliceux accumulées dans le dépôt sont *en moyenne* peu nombreuses ; la masse de silice réunie sous forme de rabot est énorme et bien supérieure à celle qui résulterait de la concentration de celle des spicules.

L'intervention des couches calcaires qui surmontent les rabots est également impuissante à donner l'explication du phénomène. Les quelques échantillons de gris que j'ai examinés sont très pauvres en organismes siliceux. Ceux qu'on y rencontre sont intacts ou transformés sur place. Ils n'ont en aucune manière servi à enrichir en silice les eaux qui les traversaient. D'ailleurs l'épaisseur des rabots, là où ils présentent leur développement maximum, dépasse celle des gris. Le volume de silice que l'on pourrait extraire de cette dernière formation en prenant pour base du calcul la fréquence moyenne des spicules que j'ai observés, serait très inférieur à celui des rabots. Si par la pensée on répartit la silice des rabots dans une masse crayeuse, si on lui fait prendre la forme de débris de Spongiaires, etc., on est frappé de la puissance qu'il faudrait attribuer à ce dépôt, même en le supposant très riche en organismes. Si maintenant on tient compte de la pauvreté *originelle* en coquilles siliceuses, tant de la roche qui enveloppe les rabots que de celle qui les surmonte, l'épaisseur de calcaire à organismes siliceux qu'il faut imaginer prend des proportions invraisemblables. La conclusion qui s'impose, c'est que si le silex trouve dans le milieu qui l'entoure tout ce qui est nécessaire à sa formation, il n'en a pas été de même pour les rabots. Il est nécessaire de chercher un complément de silice en dehors de l'assise à *T. gracilis* envisagée avec sa puissance actuelle.

Origine extrinsèque. Après le dépôt de la craie à *T. gracilis*, le golfe de Mons a été soumis à un régime très particulier qui n'a pas affecté le Bassin de Paris. Il s'est fait une interruption dans la sédimentation, phénomène qui correspond à une lacune considérable dans les dépôts. Les premières couches crayeuses qui surmontent les *gris* des mineurs et qui marquent le retour de la mer dans le Bassin de Mons, forment la craie de Saint-Waast (As. à *Micraster cor anguinum*?). Cette craie ravine profondément les couches à *T. gracilis* sur lesquelles elle repose par l'intermédiaire d'un *dépôt de glauconie presque pure.* Pendant une très longue période, à l'époque crétacée supérieure, la région de Mons a donc été le théâtre de phénomènes continentaux. Les gris qui surmontent les rabots en portent la trace. Ils sont très éloignés du type craie. Ce sont des *calcaires très largement cristallisés.* La mer, en quittant le golfe de Mons, a dû laisser des dépôts de rivage, riches en quartz clastique et peut-être en organismes siliceux, comme la Meule de Bracquegnies et les tuffeaux tertiaires dont il sera question plus loin. Les eaux météoriques, circulant à travers ces sédiments destinés à disparaître

au retour des eaux marines, ont pu leur emprunter de grandes quantités de silice, pour la déposer dans les rabots sous l'influence de l'action attractive des spicules siliceux.

Bref, le problème de l'origine des rabots ne serait pas sans analogie avec celui des meulières tertiaires du Bassin parisien. Après avoir fait intervenir des sources pendant longtemps, on admet généralement aujourd'hui que la silice des meulières a été précipitée dans le mouvement *per descensum* d'eaux ayant traversé des couches sableuses, au contact desquelles elles se sont chargées de silice. De même que les terrains ayant fourni une partie de la silice des rabots auraient été détruits, de même les formations arénacées qui surmontaient la meulière de Beauce ont disparu.

Il y a plus que cette analogie entre les rabots et les meulières : 1° Il existe une grande ressemblance lithologique entre les rabots et certaines meulières ; 2° les rabots sont doués de propriétés assez voisines de celles des meulières, puisqu'ils servent également à confectionner des meules ; 3° les dimensions des lamelles de calcédoine des rabots et leur agencement sont sensiblement les mêmes que dans les meulières ; 4° la disposition des rabots soit en bancs massifs, soit en *bancs caverneux en rognons*, fait encore songer aux meulières.

La différence vraiment importante qui pourrait séparer ces deux roches s'est effacée avec le temps. Le rabot était plus ou moins siliceux par ses spicules avant le début du phénomène de silicification. On n'a rien signalé de pareil pour la meulière. C'est là une différence qui n'a d'intérêt que si l'on veut comparer l'état initial des rabots à celui des meulières, et qui n'empêche pas que deux sédiments, l'un marin, l'autre lacustre, aient abouti sensiblement au même type de roche, par voie de silicification subséquente. C'est avec la meulière ou à côté de cette roche, que les rabots devront prendre place dans la nomenclature des dépôts sédimentaires. Je propose de l'y inscrire sous le nom de *meulière calcarifère* à *T. gracilis,* en considération de la présence du carbonate de chaux en quantité très appréciable.

Conclusions. La silice des rabots aurait une double origine : Une première portion, dont il est impossible d'évaluer l'importance, dériverait de l'activité organique qui a laissé sur place des vestiges de Spongiaires. Une seconde, de provenance extrinsèque et inorganique ou mixte, serait venue s'ajouter à la première pendant la période d'émersion du golfe de Mons. *Le rabot serait une sorte de meulière dont l'origine remonterait à l'époque crétacée.*

Il est très vraisemblable que l'introduction dans le sédiment de silice d'origine étrangère, marquant la dernière phase de la production des rabots, a contribué à la métamorphose de l'assise inférieure à *I. labiatus*. On est amené à le penser, parce que c'est dans la même région, à l'est de Mons, que les deux assises ont été le plus profondément modifiées.

IV. SMECTIQUE DE HERVE (ASSISE A *BELEMNITELLA QUADRATA*)

(Cp2b, de la Carte géologique de Belgique)

(Pl. III, fig. 3)

Conditions de gisement et caractères lithologiques. Aux environs de Liège et dans le pays de Herve, l'assise à *B. quadrata* est principalement formée de marnes et de sables glauconifères épais de 20 à 30 mètres dont Dumont avait fait son système hervien. D'après la description qu'en donnent les auteurs belges, ce terrain est un complexe formé de sables, marnes, argiles, argilite, smectique, grès, psammites et macigno. La roche que j'ai spécialement en vue ici — la smectique — apparaît dans l'assise sous forme de bancs plus ou moins continus épais de 0^m20 à 0^m50. A Herve même, d'après M. Rutot, ils sont au nombre de 15 à 25 sur une hauteur d'une vingtaine de mètres.

Les caractères pétrographiques de la smectique la rapprochent de la gaize. Elle est légère, poreuse, tendre et d'une certaine rugosité au toucher. Sa couleur est d'un gris clair dans les parties superficielles des spécimens étudiés et d'un gris foncé dans les parties profondes. Elle est parsemée de petits points glauconieux et de petites lamelles de mica. Toutes les smectiques considérées dans ce travail font effervescence aux acides.

Les échantillons que j'ai étudiés ont deux provenances. Les uns ont été recueillis à Visé par M. Gosselet ; les autres sont originaires de Battice, près de Herve, et ont été mis obligeamment à ma disposition par M. Rutot. Les derniers portent des empreintes problématiques connues sous le nom de *Gyrolithes*.

Composition chimique. Un échantillon de Battice analysé à l'Ecole des Mines a donné :

Silice soluble dans la potasse	15
Silice insoluble	32.3
Alumine	6.2
Peroxyde de fer	4
Chaux	25.6
Perte par calcination	16.6
Total	99.7

ETUDE MICROGRAPHIQUE. 1° **Minéraux.** *M. détritiques.* Les minéraux de transport sont abondants. Le quartz (Pl. III, fig. 3, *a*) est très répandu par places en grains mesurant $0^{mm}08$. Il est accompagné de beaucoup d'autres espèces telles que magnétite, zircon, etc. Dans la roche de Visé, la proportion des minéraux clastiques varie de 1/2 à 1/4 et dans celles de Battice de 1/5 à 1/6.

Minéraux secondaires. Glauconie. (Fig. 3, *b* et *c*). Ce minéral affecte presque toutes les manières d'être que j'ai eu l'occasion de signaler dans les roches siliceuses précédemment examinées. Il épigénise incomplètement les spicules d'Eponges et se trouve rarement en

relations avec les Foraminifères qui sont assez nombreux dans le dépôt. Toutes les fois que son existence est liée à celle de ces derniers organismes, elle en remplit à peine les loges et ne s'étend pas en dehors de la coquille. La glauconie enfermée dans les Foraminifères présente une grande homogénéité de structure, et diffère beaucoup à ce point de vue d'une autre variété très répandue dont le caractère essentiel est d'être grenue. Chaque élément paraît se résoudre en petites concrétions de forme irrégulière, de dimensions inégales, presque toujours juxtaposées, mais pouvant laisser entre elles de petits intervalles occupés par la silice. De tels grains sont très irréguliers de contours. On trouve tous les intermédiaires entre de petites concrétions isolées existant pour leur propre compte et des grains volumineux qui semblent résulter de leur association. La glauconie se rencontre encore sous la forme d'une sorte de pigment colorant la silice du ciment et formant de petites taches à limites insaisissables. Un assez grand nombre de grains sont doués d'une orientation optique presque unique.

2° Organismes. *Spongiaires.* Le rôle des Spongiaires est différent suivant la localité d'où sont tirés les échantillons. Ceux de Battice en sont très riches. Une fraction de la roche variant de 1/3 à 1/5 en est formée (Pl. III, fig. 3). Ils sont moins répandus dans la roche de Visé qui se signale d'ailleurs par une très grande variabilité dans sa teneur en spicules. L'étude attentive des débris de Spongiaires de cette formation conduit à la notion de l'existence d'un nombre considérable de formes différentes dont quelques-unes sont réunies sur les fig. 5 et 6. Ils se répartissent entre les groupes suivants :

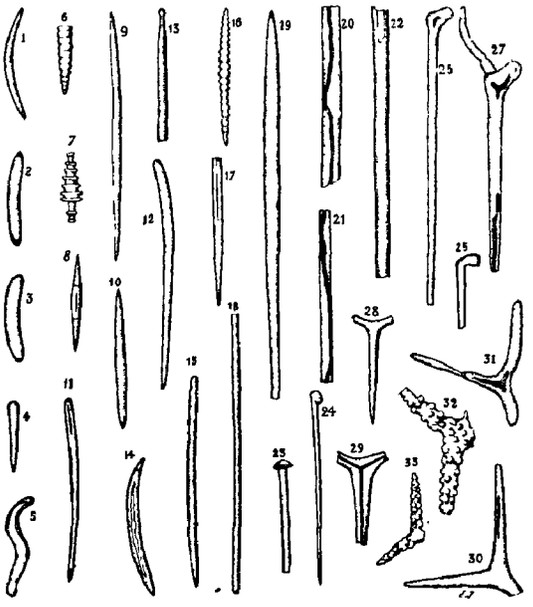


Fig. 5. Spicules monoaxes et tétraradiés de la smectique de Battice, près de Herve.
(Gross. 40 diam.)

A. *Spicules monoaxes.* Ils l'emportent à eux seuls sur tous les autres réunis. Leur forme est extrêmement variée. Leurs principales manières d'être sont :

a. spicules arqués à extrémités plus ou moins effilées (1-3 et 14).
b. — fusiformes et droits [8-10, 13 (?), 17 (?) et 19].
c. — en cône, plus ou moins allongés, droits ou arqués (4, 11, 12 et 15).
d. — à double courbure (5).
e. — cylindriques, droits et incomplets (18, 20, 21 et 22). Ce ne sont que des tronçons de spicules inconnus dans le dépôt, en tant que formes non fragmentaires. Les individus 20 et 21 sont très remarquables par l'existence d'un cordon glauconieux flexueux et vermiforme, dont le trajet est presque toujours différent de celui du canal qui a disparu.

f. spicules cylindriques ou coniques dont une extrémité est dilatée en ampoule (23 et 24) ou irrégulièrement (25 et 26).
g. — en forme de sceptre (7).
h. — annelés, de forme conique et droite (6).
i. — fusiformes, annelés (16).

J'ai décrit ensemble les formes monoaxes qui appartiennent aux *Monactinellidæ* et celles qui se rattachent aux ordres suivants et notamment aux *Tetractinellidæ*. Le premier groupe comprend certainement un grand nombre de représentants parmi lesquels je citerai des *Reniera*, *Axinella*, *Sceptrella*, etc.

B. *Tetractinellidæ*. Les spicules quadriradiés sont les plus rares (27-33) [1]. J'ai reconnu une forme de *Pachastrella*. Les individus globuleux et lisses (fig. 3, *f*), couverts de piquants ou étoilés (Fig. 6, nos 12-17) sont probablement encore des restes de *Tetractinellidæ*.

C. *Lithistidæ*. Leurs débris sont rares. Les formes incomplètes (Fig. 6, 1 et 2) se rattachent à ce groupe et sont des *Megamorina*. Le spicule *e* (Pl. III, fig. 3) se rapporte incontestablement à cette famille. Vu l'état incomplet des formes 3, 4 et 5, je les range à la suite des *Lithistidæ* sans me prononcer sur la place exacte qu'il conviendrait de leur donner. Il se peut qu'elles appartiennent aux *Tetractinellidæ*.

D. *Hexactinellidæ*. Tous les spicules hexaradiés que j'ai rencontrés sont des formes isolées (*Lyssakina*) de tailles très différentes (Fig. 6, nos 6-11). Les plus complets montrent un développement inégal des rayons. La smectique de Herve est de toutes les roches étudiées dans la première partie de ce travail celle qui est la moins pauvre en vestiges d'*Hexactinellidæ*.

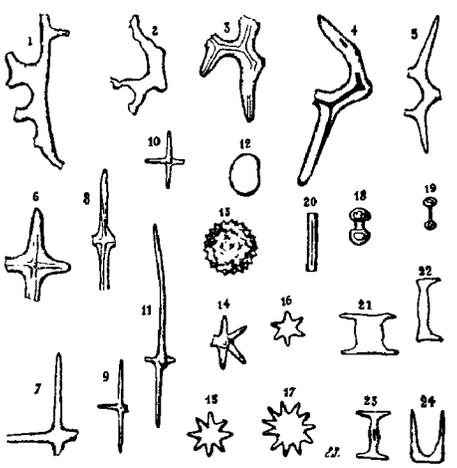


Fig. 6. Spicules (suite) et Diatomées de la smectique de Battice, près de Herve [2].

(Gross. 40 diam.)

La plupart des spicules sont entièrement calcédonieux ; un certain nombre le sont partiellement. Il existe également des spicules en opale et des formes plus ou moins glauconieuses. Le canal se retrouve peu élargi chez les individus en opale. (Le canal glauconieux est indiqué par un trait noir plein dans les fig. 5 et 6). Il n'y a guère que les petits spicules monoaxes qui ne soient pas fragmentaires.

Les échantillons de Visé que j'ai examinés présentent une particularité que je n'ai vue nulle part aussi accusée. Dans chaque préparation, tous les spicules à l'exception d'un tout petit nombre ont été *dissous* et leur

1. Les pustules que l'on voit à la surface des formes 32 et 33 sont secondaires et dues à la fossilisation. Les étranglements des spicules 27 et 31 sont également dus à la fossilisation.

2. Les formes 18 et 19 sont indéterminées. Elles relèvent peut-être des Spongiaires.

place est marquée par des *vides* à limite très nette correspondant rigoureusement aux formes disparues. On conçoit donc que, sous un très faible volume, une telle roche soit la source d'une grande quantité de silice organique destinée à déterminer des phénomènes de silicification.

Radiolaires. (Pl. VI et VII). Bien que le nombre d'individus se rapportant à ce groupe soit relativement faible, j'ai trouvé des représentants de 27 genres appartenant à 10 familles différentes. Cette faune présente un grand intérêt en raison de sa variété et de son âge. Un chapitre entier (V) sera consacré à son étude. Je n'ai trouvé aucun Radiolaire dans les échantillons de Visé.

Foraminifères. Leur nombre est variable suivant les spécimens examinés, mais il est toujours notable. Dans la roche de Visé, ils sont aussi abondants que les spicules; leur rôle est très secondaire dans celle de Battice. Les *Rotalia* et *Textularia* sont très répandus. Leur test est d'épaisseur moyenne. Il existe dans la smectique de Battice de très grands Rhizopodes calcaires à test très épais qui me sont inconnus.

Diatomées. Je rapporte à ce groupe les formes 20-24 (Fig. 6). Les numéros 22-23 se rapprochent beaucoup des *Hemiaulus.* J'ai observé plusieurs *Triceratium.* Le rôle des Diatomées est des plus accessoire. La rareté de ces organismes dans le Crétacé leur donne beaucoup d'intérêt.

3°. **Ciment.** Il forme à lui seul la moitié du dépôt. Il semble que des roches, composées comme on vient de le voir, doivent être pourvues d'un ciment siliceux. Or la masse fondamentale du ciment est calcaire, tant pour les échantillons de Visé que pour ceux de Battice. La proportion de carbonate de chaux peut être très élevée. L'analyse donnée plus haut accuse 25,6 de chaux. Il existe une trame siliceuse composée d'opale prédominante et d'un peu de calcédoine. Elle interrompt la continuité du ciment calcaire et le découpe en une multitude de petites lamelles irrégulières, plus ou moins séparées, suivant le degré de métamorphose du ciment. Deux préparations tirées d'un échantillon gros comme le poing peuvent être, l'une très riche en carbonate de chaux, l'autre presque complètement dépourvue de cette matière. Les parties siliceuses du ciment sont *secondaires;* elles ont pris la place du carbonate de chaux. L'état de conservation de maintes coquilles de Rhizopodes calcaires, la forme déchiquetée de beaucoup de particules de carbonate de chaux du ciment démontrent que cette substance est en régression.

L'analyse chimique a mis en évidence l'existence d'une quantité très notable d'alumine (6, 2 %) correspondant à une teneur en argile qui est loin d'être négligeable. Comme dans les gaizes les plus typiques de l'Argonne, chargées ou non d'un peu de carbonate de chaux, le ciment renferme de nombreuses paillettes cristallines très menues douées des mêmes propriétés que celles de la gaize rapportées au groupe argile.

Une roche comme la smectique aide à l'explication du *ciment primordial* des têtes de

chat et de la meule de Bracquegnies. La transformation en opale gélatinoïde d'un ciment en grande partie calcaire est ici saisie sur le fait.

Origine de la silice du ciment. La quantité de silice du ciment de la smectique de Visé est certainement inférieure à celle qui a été mise en liberté par la dissolution des spicules dont la place est marquée par des vides. Si la silice a simplement émigré des spicules pour imprégner le ciment calcaire ambiant, il en est resté une portion disponible. Dans le cas de la smectique de Battice, la roche a conservé toute la silice de ses organismes, et le ciment n'en a pas moins été partiellement silicifié. Il suffit qu'elle passe à sa partie supérieure à une roche comme celle de Visé — ce que je n'ai pu vérifier — pour qu'elle ait trouvé un appoint suffisant de silice dans l'assise même à laquelle elle appartient. D'autre part, les roches sableuses qui sont restées meubles sont nombreuses dans le système auquel la smectique est subordonnée. Elles ont pu renfermer des organismes, aujourd'hui détruits, qui ont été une source de silice pour les niveaux devenus cohérents.

D'après les renseignements que M. Rutot a bien voulu me communiquer, la craie blanche à *B. quadrata* repose sur le Hervien par l'intermédiaire d'un lit de gravier séparatif. Selon le même savant, les eaux de la craie ont dû raviner le Hervien et l'assise sableuse qui terminait le cycle de sédimentation correspondant à ce terrain a été détruite. On rentrerait donc dans le cas de la meule de Bracquegnies, de l'ensemble de la gaize à *I. labiatus* et de la meulière calcarifère à *T. gracilis* des environs de Mons, c'est-à-dire que le système hervien aurait été surmonté de dépôts susceptibles de fournir de la silice aux niveaux transformés en smectique.

En résumé, et pour conclure, *il y aurait dualité d'origine de la silice du ciment de la smectique*, comme c'est le cas pour la majorité des formations silicifiées précédemment étudiées : l'origine intrinsèque d'une partie de la silice paraît évidente en raison de l'existence de *vides* dus à la destruction de spicules ; bien que la preuve de l'origine extrinsèque de l'autre partie reste à faire, je n'hésite pas à voir dans ce second phénomène un des facteurs mis en jeu dans la genèse de la smectique.

Place de la smectique dans la nomenclature des roches sédimentaires. Comment faut-il nommer les roches que je viens de décrire ? Je dirai à propos des tuffeaux (Chap. III) quels sont les reproches que l'on peut formuler contre la nomenclature qui sert à désigner leurs nombreuses variétés. C'est la même terminologie qui est employée pour le Hervien où elle est sujette aux mêmes défectuosités. A mon avis, il est nécessaire de l'abandonner pour diverses raisons, et en particulier parce qu'elle donne une apparence de grande complexité à la composition lithologique de terrains qui, au fond, sont peu variés.

Il y a dans ces dépôts deux caractères qui les rapprochent des gaizes, c'est la présence d'un grand nombre de débris d'organismes siliceux et l'existence d'opale et de matière argileuse dans le ciment. Mais, pour la plupart des échantillons, il faut tenir

compte d'une proportion de carbonate de chaux telle que l'on ne peut songer à les assimiler à une gaize. Celui qui a fourni 25,6 % de chaux est un *calcaire quartzifère à Spongiaires et Radiolaires en voie de silicification*. Ceux dont le carbonate de chaux a été presque entièrement éliminé et remplacé par de la silice gélatinoïde passent à la gaize et peuvent être désignés sous le nom de *gaize calcarifère*. En somme, on trouve pour le système hervien une association de roches qui rappelle beaucoup celle que j'ai signalée pour la gaize du Bray, où j'ai distingué une *gaize normale*, une *gaize calcarifère* et un *calcaire en voie de silicification*.

V. COUP D'ŒIL D'ENSEMBLE SUR LES DÉPOTS SILICEUX ÉTUDIÉS DANS CE CHAPITRE

Les roches siliceuses que j'ai examinées dans ce chapitre sont trop dissemblables pour se prêter à une étude d'ensemble. Chaque terme est un type pétrographique à part et l'on trouve ainsi représentées dans la série étudiée, les familles du *grès*, de la *gaize*, de la *meulière* et du *calcaire*.

Les différences qui séparent actuellement ces roches tiennent avant tout à leur *état initial*.

La meule (= grès, gaize et spongolithe) était un sable organique ou non, le plus souvent dépourvu de ciment.

Les têtes de chat (= gaize) sont issues d'un dépôt essentiellement formé de dépouilles de Spongiaires réunies par un ciment calcaire.

Les rabots (= meulière) procèdent d'une boue calcaire renfermant un nombre variable de spicules ;

La smectique (= calcaire et gaize) dérive d'une boue calcaréo-argileuse très riche en débris d'organismes siliceux.

Si l'histoire de ces dépôts présente néanmoins de sérieuses analogies, c'est aux débris d'organismes siliceux qu'elle en est redevable. Les métamorphoses que ces derniers ont subies en même temps que celles dont ils ont été la cause première sont les mêmes. Je pourrais ajouter qu'elles sont exactement celles que j'ai étudiées avec plus de détails pour les gaizes.

Les principales *sources de silice* que l'on peut invoquer pour expliquer la composition actuelle du ciment sont au nombre de trois : 1° dissolution d'organismes siliceux sur le fond de la mer ; 2° dissolution des spicules lorsque le dépôt était déjà plus ou moins consolidé ; 3° silice empruntée à des terrains surmontant à l'origine les dépôts silicifiés, et dont il ne reste plus trace aujourd'hui. Une quatrième source peut entrer en ligne de compte pour les couches herviennes, c'est l'argile.

Je tiens à souligner d'une façon toute spéciale le fait que *la silicification particulièrement accusée des terrains cénomaniens et turoniens du Bassin de Mons paraît en rapport avec un régime continental qui a été imposé à chacune de ces formations après son dépôt.*

CHAPITRE III

TUFFEAUX ÉOCÈNES DU NORD DE LA FRANCE ET DE LA BELGIQUE

APERÇU GÉNÉRAL SUR LES ROCHES SILICEUSES ; ROLE DES ORGANISMES SILICEUX DANS LA NATURE

Sommaire. — Ce qu'on entend par tuffeau, 117 ; Terminologie employée pour désigner le tuffeau, 117 ; Allure stratigraphique, 117.

I. Tuffeaux landéniens a *Cyprina planata* (Thanétien) ; Distribution géographique, 118 ; Composition de l'étage, Puissance, 118 ; Caractères pétrographiques des tuffeaux, 118. — 1°. Tuffeaux siliceux. A. Tuffeaux quartzeux, 119. B. Tuffeau à Diatomées, 126. C Tuffeau à Spongiaires et à Radiolaires, 129. D. Tuffeau à Spongiaires, 132. — 2°. Tuffeaux calcaréo-siliceux, A. Tuffeau d'Orp-le-Grand (Belgique), 133. B. Tuffeau de Lincent (Belgique), 134.

II. Tuffeaux yprésiens, 135. 1°. Tuffeau du niveau des Sables de Mons-en-Pévèle, 135. — 2°. Tuffeau du niveau de la Glauconie du Mont-Panisel. A. Tuffeau du Mont-des-Cats. 137. B. Tuffeau (argilite) de Piéton (Belgique). 139. C. Grès lustré du Mont-Panisel (Belgique), 140.

III. Résultats généraux de l'étude des tuffeaux. Conclusions, 142. 1°. Minéraux, 142.— 2°. Organismes, 142. — 3°. Ciment, 144 ; Composition chimique, 145 ; Distinction d'un ciment primordial et d'un ciment secondaire, 145 ; Etat originel du ciment primordial des tuffeaux, 146 ; Pluralité d'origine de la silice du ciment des tuffeaux : 1re Source de silice : Genèse de la silice par dissolution des organismes siliceux sur le fond de la mer, 147 ; 2e Source : Décomposition de la matière argileuse, 147 ; 3e Source : Intervention des dépôts supérieurs aux tuffeaux. 148 ; Durée de la formation et de la métamorphose du ciment, 149 ; Silice globulaire et calcédoine, 149. Des réformes qu'il convient d'opérer dans la désignation des roches du groupe du tuffeau, 149. Répartition des roches étudiées dans ce chapitre entre les groupes grès, gaize et calcaire, 151. Résumé et Conclusions, 152. Comparaison du tuffeau avec la gaize et la Meule de Bracquegnies, 153.

IV. Aperçu général sur les roches siliceuses ; rôle des organismes siliceux dans la nature, 154 ; La gaize considérée comme type d'une famille naturelle de roches siliceuses, 154. Classification des roches siliceuses cohérentes, 155 ; Classification des gaizes, 157. Comparaison des roches siliceuses étudiées avec les dépôts actuels, 158. — Rôle des organismes siliceux dans la nature, 159.

Les roches étudiées dans ce travail sous le nom de tuffeaux jouent un rôle considérable dans la géologie des terrains tertiaires du Nord de la France et surtout de la Belgique. Elles appartiennent à l'Eocène inférieur et se rencontrent à plusieurs niveaux :

I. Tuffeaux landéniens à *Cyprina planata* (Thanétien de MM. Munier-Chalmas et de Lapparent ; e_v, *pars*, de la Carte géologique détaillée de la France).

II. Tuffeaux yprésiens (e_{II}, *pars*, de la Carte).

Ce qu'on entend par tuffeau. D'Omalius d'Halloy avait d'abord défini le *tuffeau* « un calcaire plus ou moins friable, d'une texture grenue passant à la texture grossière, non écrivant, ordinairement jaunâtre, quelquefois jaune verdâtre [1]. Plus tard il employa ce terme pour désigner une roche exploitée à Lincent (Belgique), qui « résiste au feu, propriété qu'elle doit sans doute à la texture poreuse et à la silice qui accompagne le carbonate calcique ; elle est ordinairement jaunâtre, mais elle est quelquefois mélangée de chlorite » [2]. Le tuffeau était donc pour d'Omalius une roche calcaire et siliceuse, quelquefois glauconieuse.

Ortlieb et Chellonneix [3] ont appliqué ce vocable à « une roche dure, argilo-calcaire, remplie de grains de glauconie ».

M. Gosselet appelle tuffeau « un grès à grains fins, argileux, souvent calcaire, toujours coloré en vert ou en gris par de la glauconie » [4]. Cette définition est restée celle de la plupart des géologues qui ont parlé de cette roche.

Terminologie employée pour désigner le tuffeau. Les géologues du Nord appliquent le terme tuffeau à toutes les roches cohérentes subordonnées aux sables glauconieux du Landénien inférieur (Thanétien) et de l'Yprésien. Les géologues belges disposent pour désigner les mêmes dépôts d'une terminologie très riche mais compliquée qui remonte à d'Omalius d'Halloy et à Dumont. D'Omalius opposait au terme tuffeau [5] celui d'argilite [6] tiré de Cordier [7], qu'il réservait aux roches, principalement composées de silice, d'alumine et d'eau » et dépourvue de calcaire. Il avait reconnu que le tuffeau passe à l'argilite et réciproquement. Dumont [8], qui avait beaucoup étudié le groupe des tuffeaux, y avait distingué les variétés suivantes : *Psammite* [9] *glauconifère, macigno* [10] *glauconifère, macigno simple, argilite* [11] *simple, argilite glauconifère.*

Allure stratigraphique. Un fait domine la stratigraphie de tous les tuffeaux éocènes, c'est que leur existence est liée à des sables glauconieux, quelquefois un peu argileux.

I. *Ils sont intercalés dans des sables.* On voit au sein d'une assise arénacée un ou plusieurs niveaux de sables se prendre en masse, passer à une roche cohérente qui est le tuffeau. L'observation montre qu'il passe insensiblement aux sables entre lesquels il est compris.

---

1. D'OMALIUS D'HALLOY. Abrégé de Géologie. 7e éd., p. 186 (1862).
2. D'OMALIUS D'HALLOY. Précis élém. de Géol., pp. 540-541 (1868).
3. ORTLIEB et CHELLONNEIX. Etude géol. des collines tert., etc., p. 8 (1870).
4. J. GOSSELET. Esquisse géologique, Terr. tert., p. 280 (1883).
5. D'OMALIUS D'HALLOY. Loc. cit., 8e éd., pp. 540-541 (1868).
6. D'OMALIUS D'HALLOY. Loc. cit., p. 180 (1862).
7. A. CORDIER. Description des roches composant l'écorce terrestre, par CH. D'ORBIGNY, p. 278 (1868).
8. DUMONT. Mém. sur les terr. crét. et tert., etc., édités par MOURLON, vol. 2, part. 1, p. 2 (1878).
9. Grès quartzeux argilifère.
10. Grès argilo-calcarifère.
11. Argile durcie et cimentée par de l'hydrate de silice.

II. *Ils occupent entièrement la place des sables.* Il y a passage latéral d'une assise de sables à un massif de tuffeau. Cette transformation ne se fait pas brusquement. On assiste à la naissance de bancs tuffacés comme dans le cas précédent, et on les voit acquérir progressivement une importance telle qu'ils envahissent tout le niveau des sables.

En résumé les tuffeaux passent aux sables, soit verticalement, soit latéralement, et on peut dire qu'ils ne constituent pas des dépôts autonomes.

Ce chapitre comprendra quatre divisions :

I. Etude du tuffeau landénien à *Cyprina planata* (Thanétien).

II. Etude des tuffeaux yprésiens.

III. Résultats généraux de l'étude des tuffeaux. Conclusions.

IV. Aperçu général sur les roches siliceuses et rôle des organismes siliceux dans la nature.

I. TUFFEAUX LANDÉNIENS à *CYPRINA PLANATA* (THANÉTIEN)

[e_V, (*pars*) *de la Carte géologique détaillée de la France*]

Distribution géographique. Le tuffeau landénien est de beaucoup le plus répandu de tous ceux que j'étudierai. En France, il est cantonné dans la région du Nord et subordonné à des sables glauconieux et fins dans les départements du Nord, du Pas-de-Calais et de l'Aisne. Il disparaît dans la Somme où je ne le connais que dans la partie septentrionale du département. Il s'étend en Belgique et forme d'importants dépôts dans le Hainaut, le Limbourg et la province de Liège.

Composition de l'étage. En Belgique où le Landénien (Thanétien) est très développé, la composition de l'étage a été schématisée de la façon suivante par le service de la Carte géologique [1].

Assise supérieure. (*L2*) (Période continentale suivant M. Rutot). Argile simple ou ligniteuse.
Sables blancs avec lignite, bois silicifiés et grès mamelonnés. Marne blanche.
Assise inférieure (*L1*) (Période marine suivant M. Rutot).
Sable vert, fin, glauconifère.
Grès argileux parfois très fossilifère (tuffeau).
Sable grossier, noir, glauconifère, parfois argileux.
Lit de silex corrodés et verdis.

Puissance. Elle est extrêmement variable. Dans le Nord de la France, le tuffeau présente toutes les épaisseurs comprises entre quelques centimètres et un maximum de trois ou quatre mètres. Dans le Hainaut, son épaisseur moyenne est plus grande. Il a été rencontré à Mons avec une puissance de 9 mètres. Il est épais d'environ 8 mètres à Calonne, près Tournay ; de 7 mètres à Quiévrain ; de 10 mètres à Lincent. A Hasselt, dans le Limbourg, on connaît 54 mètres de cette roche.

Caractères pétrographiques des tuffeaux. Les tuffeaux à *Cyprina planata* sont des

1. Légende de la carte géol. de Belgique, etc., p. 10 (1896).

roches tantôt cohérentes, dures, très tenaces et denses pouvant même être exploitées pour pierre de taille; tantôt tendres, friables, à texture sableuse, s'écrasant sous la pression des doigts ou même désagrégeables par l'eau. La cassure est inégale et sépare le plus souvent les grains sans les diviser. Ce sont toujours des roches grenues, à grain fin ou grossier, rudes au toucher et happant parfois fortement à la langue. Elles s'altèrent très rapidement sous l'influence des agents atmosphériques. La coloration est très variable suivant la teneur en glauconie et selon que l'on considère la roche sèche ou pourvue de son eau de carrière. Après avoir séjourné pendant quelque temps à l'air libre, le tuffeau est d'un gris clair, jaunâtre, bleuâtre ou terne, plus ou moins pointillé par la glauconie de vert foncé ou noirâtre. Ce minéral, presque absent dans certaines variétés, forme dans d'autres les quatre cinquièmes de la roche. Par les modifications qui les affectent soit dans leur nombre, soit dans leur volume, les grains de glauconie contribuent beaucoup à modifier la physionomie des tuffeaux. Dans la roche altérée la teinte normale vire au gris jaunâtre ou brunâtre ; le tuffeau est alors fréquemment parsemé de taches ferrugineuses dues en grande partie à la glauconie décomposée. En quelques points il revêt un facies inaccoutumé; il renferme des taches bleuâtres, très siliceuses, dures et sonores, se fondant avec la masse de la roche et présentant beaucoup d'analogie avec les silex.

Malgré une certaine uniformité d'aspect des tuffeaux, l'analyse microscopique permet de les grouper en plusieurs catégories pourvues de caractères différents :

1° Les uns sont exclusivement siliceux ; 2° Les autres sont calcaréo-siliceux ou même presque exclusivement calcaires. Les premiers, qui sont les plus nombreux, comportent un certain nombre de variétés dont la caractéristique essentielle est tirée soit des minéraux, soit des organismes. Ce sont :

A. Tuffeau quartzeux. B. Tuffeau à Diatomées. C. Tuffeau à Radiolaires et à Spongiaires. D. Tuffeau à Spongiaires.

1°. TUFFEAUX SILICEUX.

A. Tuffeaux quartzeux.

(Pl. III, fig. 4 et Pl. IV, fig. 1).

Tuffeaux de Lille, Douai, Radinghem (Nord), La Fère (Aisne), etc.

Caractères lithologiques. Ils sont subordonnés à des sables très fins et glauconieux. Ce sont des roches grises, ou gris verdâtre à grains fins, glauconieuses, souvent tendres et friables, mais parfois d'une grande dureté. Celui de Lille renferme des coquilles silicifiées de Mollusques. Ils correspondent aux psammites glauconifères à grains fins de Dumont.

ÉTUDE MICROGRAPHIQUE. Examinés en lames minces, les tuffeaux quartzeux se décomposent en trois parties distinctes que l'on observe dans toutes les roches de ce groupe,

mais auxquelles sont dévolus des rôles extrêmement variables. Ce sont tous les minéraux du sable d'où procède le tuffeau, des microorganismes et un ciment siliceux qui agglutine les minéraux et organismes.

1° **Minéraux.** Les minéraux sont presque toujours aussi nombreux que dans le sable du même niveau. Ils se touchent, mais comme les grains sont irréguliers et qu'ils ne peuvent s'appliquer rigoureusement les uns sur les autres, ils laissent entre eux des espaces occupés par le ciment. On peut s'assurer par la désagrégation des éléments des tuffeaux très friables qu'ils sont formés de sables identiques à ceux auxquels ils passent insensiblement.

L'examen des sections minces pratiquées dans les tuffeaux de Lille et des environs montre qu'il existe, en plus du quartz, des minéraux lourds, zircon, rutile, tourmaline, etc., qui sont parfois représentés avec une richesse surprenante. Une préparation tirée du tuffeau de Radinghem contient une plage très limitée où se trouvent réunis *quatre-vingt-neuf grains et cristaux de zircon, et quelques éléments de rutile et de magnétite* formant une sorte de traînée à travers la section [1] (Voir Pl. III, fig. 4).

J'ai conclu de ce fait que les tuffeaux, et partant les sables glauconieux auxquels ils sont associés, étaient très riches en minéraux rares et que la recherche de ces derniers méritait une attention toute particulière.

En soumettant à la liqueur de bi-iodure de mercure et de potassium des tuffeaux sableux pulvérisés et des sables glauconieux du même niveau, je pus isoler un assez grand nombre d'espèces minérales. En opérant sur une grande quantité, et en rapportant le résultat au mètre cube, je suis arrivé à cette conclusion que *chaque mètre cube de sable employé à Lille pour le pavage renferme environ 18 kgr. de minéraux de densité supérieure à 3*, tels que zircon *(b)*, rutile, etc.

L'attention sur les minéraux lourds des sables fut appelée pour la première fois par M. Michel-Lévy qui signala, en 1878, la présence du zircon dans les sables du Mesvrin, près d'Autun [2]. L'existence du zircon, du rutile et de la tourmaline fut reconnue en 1889 par M. Allan B. Dick [3], dans des sables tertiaires de la vallée de la Tamise.

On va voir que non-seulement la masse de ces minéraux est importante, mais encore que la série des espèces différentes que l'on peut réunir est très variée.

Minéraux détritiques. Quartz. La fig. 4 de la planche III qui représente le tuffeau de Radinghem donne une idée de la grande abondance du quartz. Ce minéral existe à l'état de grains de forme générale arrondie dont le diamètre varie de $0^{mm}01$ à $0^{mm}15$ *(a)*;

---

1. L. CAYEUX. Comp. min. des sables, etc. *Ann. Soc. G. N.*, vol. 19, pp. 264-265 (1891).

2. MICHEL LÉVY. Note sur quelques minéraux, etc., in *Bull. Soc. Fr. de Minér.*, vol. 1, pp. 39 et 40 (1878). Voir FOUQUÉ et MICHEL-LÉVY. Min. microg., pl. IV, fig. 1.

3. ALLAN B. DICK. The denser Miner. in Sands and Clays, in WHITAKER. Geol. of London, etc., *Mem. Geol. Surv.*, pp. 522 et suiv. (1889).

Orthose. Sa forme cristalline est très rarement respectée et on la trouve le plus souvent à l'état d'éléments irréguliers.

Magnétite. Très abondante en grains irréguliers et assez fréquemment en octaèdres intacts.

Zircon. Grains arrondis ou fragmentaires et cristaux toujours incolores. Ces derniers sont de forme très simple. Le prisme est généralement court. La longueur est environ le double de la largeur. Quelques éléments en baguettes ont cependant une longueur équivalente à 5 ou 6 fois la largeur. Quelques-uns présentent nettement le phénomène de l'emcapuchonnement, et un assez grand nombre montrent la structure zonaire. Certains cristaux ont leurs angles et leurs pointements émoussés, d'autres se font remarquer par une extrême fraîcheur. Quelques-unes des nombreuses formes reconnues sont figurées sur la planche X. Voici quels sont leurs principaux caractères :

Fig. 10 Individu montrant des zones reproduisant la forme du cristal. Les plus externes indiquent la face *p* (001). Inclusions en forme de bâtonnets rectilignes ou flexueux ; inclusions solides brunes, un pore liquide. Dim. 0,08 0,046 [1].

Fig. 13. Cristal cylindrique à terminaisons arrondies, montrant de nombreuses zones grossièrement distribuées parallèlement au contour du cristal, sauf à une extrémité, où elles dessinent nettement un pointement. Dim. 0,08-0,05.

Fig. 18. Cristal paraissant formé de deux individus emboîtés l'un dans l'autre, l'intérieur ne reproduisant qu'en partie les contours du plus grand ; gros pore digité. Dim. 0,08-0,036.

Fig. 19. Très beau cristal renfermant un microlithe incolore, trois bâtonnets noirs et de nombreux pores liquides et gazeux. Dim. 0,115-0,05.

Fig. 32. Cristal formé de *m* (110) h^1 (100) b^1 (112). Inclusions : un microlithe, trois inclusions solides arrondies et jaunes, deux inclusions vitreuses. Dim. 0,09-0,037.

Si l'on cherche à comparer les formes des cristaux de zircon à celles qui ont été trouvées par M. de Chrustschoff dans différentes roches cristallines, on est frappé de ce fait que *beaucoup de zircons des tuffeaux et des sables glauconieux appartiennent au type zonaire du gneiss et que d'autres, nombreux également, ne diffèrent pas des formes que le même auteur considère comme caractéristiques des granits.*

Tourmaline. Les tourmalines des tuffeaux sont ou magnésiennes, jaune brunâtre, quelquefois un peu violacées, ou ferro-magnésiennes, vertes, rarement bleues. La première variété est très répandue et la seconde rare. Les cristaux sont exceptionnellement intacts, et presque toujours la tourmaline est fragmentaire.

Le gisement favori de la tourmaline magnésienne est la pegmatite et le micaschiste ; on trouve l'autre variété surtout dans les pegmatites.

Feldspath plagioclase. Il est représenté par des cristaux incomplets presque toujours limpides, parmi lesquels j'ai reconnu le *labrador* et le *microcline*.

Rutile. Le rutile des tuffeaux forme des grains arrondis et des cristaux ; les premiers sont les plus abondants. Beaucoup de formes cristallines sont parfaites de conservation. Les suivantes, figurées sur la planche X, sont les plus intéressantes.

Fig. 54. Rutile jaune d'or formé de *m* (110) h^1 (100) b^1 (?) (112). Clivages *m* (110) ou h^1 (100) et a^1 (101). Macle b^1 (112). Dim. 0,06-0,019.

Fig. 57. Cristal jaune d'or, de conservation parfaite. Dim. 0,06-0,014.

Fig. 59. Cristal roulé jaune d'or ; clivages *m* (110) ou h^1 (100). Dim. 0,15-0,09.

Fig. 61. Deux individus de largeur différente maclés suivant b^1 (112) avec clivages a^1 (101). Dim. 0,12-0.09.

---

1 Les dimensions des cristaux seront toujours exprimées en prenant le millimètre pour unité.

2. K. VON CHRUSTSCHOFF. Beitrage zur Kennt. d. Zirkone in Gesteinen, *Min. u. Petrogr. Mitth.* Neue Folge, vol. 7, p. 423 et suiv. (1886).

Fig. 62. Cristal jaune d'or maclé suivant $b^{1/3}$ (332).

Fig. 64. Rutile brun café au lait, maclé suivant $b^{1/3}$ (332).

Fig. 65. Rutile jaune d'or maclé suivant $b^{1/3}$ (332) avec clivages. Dim. 0,04-0,02.

Mica blanc. Les sables glauconieux landéniens sont plus ou moins micacés ; le mica blanc s'y présente bien conservé, quelquefois un peu séricitique.

Disthène. Cristaux tabulaires très aplatis suivant h^1 (100) et souvent allongés suivant h^1g^1 (100)(010) : clivages p et g^1 très nets ; quelques cristaux en sont absolument dépourvus. Beaucoup d'individus sont maclés. Le disthène est incolore ; quelques éléments sont très faiblement verdâtres. Les cristaux 80 et 81 de la planche X sont originaires du tuffeau de Mons-en-Barœul. Le premier montre les clivages p (001) g^1 (010). Dim. 0,17-0,60. Le second montre le clivage p (001) ; macle transversale. Dim. 0,25 0,06.

Le disthène a son gisement dans les micaschistes, les leptynites et les schistes métamorphiques. C'est la première fois que l'on signale ce minéral en France en dehors des terrains primaires.

Staurotide. Elle est toujours fragmentaire. Un seul élément laisse soupçonner une forme prismatique allongée. Couleur jaune d'or pâle ; polychroïsme très net. Ce minéral est ici associé au disthène comme dans les schistes métamorphiques.

Anatase. Cristaux en tables carrées ou rectangulaires incolores ou jaunes. Les éléments incolores sont presque toujours piquetés de noir par suite de décomposition. Quelques individus ne réagissent même plus sur la lumière polarisée. Les formes suivantes figurées sur la planche X méritent d'être mentionnées à part.

Fig. 69. Cristal carré et presque noir par suite d'altération avancée.

Fig. 73. Cristal très faiblement jaunâtre, très altéré. Amorces de clivages ? Dim. 0,08-0,09.

Fig. 74. Individu incolore avec amorces de clivages ? Dim. 0,03-0,028.

Amphibole. Lamelles fibreuses, vert pâle, finement clivées, très déchiquetées aux extrémités. Angle d'extinction ne dépassant pas 15°. C'est à l'*actinote* que je rapporte ce minéral. Peut-être est-il secondaire. L'actinote abonde dans les schistes métamorphiques.

Brookite. Cristaux tabulaires jaune d'or, incomplets, aplatis suivant p (001), g^1 (010) mm (110) (110), h^1 (100) (notation de MM. Michel-Lévy et Lacroix). Un individu comprend les faces p (001), g^1 (010). Le cristal 77 (Pl. X) est originaire de Mons-en-Barœul. Dim. 0,1-0,066.

Grenat. Grains un peu arrondis, montrant encore des vestiges de faces. Ils sont rosés ou incolores.

Chlorite. Lamelles fibreuses très déchiquetées.

Corindon. Ne se trouve qu'en débris clastiques de couleur bleue.

Mica noir. Excessivement rare.

Le total des espèces minérales clastiques s'élève à *dix-huit*. Dans ce chiffre ne figurent pas les formes indéterminées.

Le *silex* prend part également à la composition de tous les tuffeaux quartzeux. Les sections minces de celui de Laon renferment un très grand nombre d'éléments anguleux, de même dimension que le quartz et estompés d'une légère teinte noire bleuâtre nuageuse. Vus en lumière polarisée, ces éléments se décomposent en très petites lamelles calcédonieuses, paraissant associées à un peu de silice isotrope comme dans les silex. Le tuffeau de Laon, vu à l'œil nu, montre une foule de points noirs que l'on rapporte à la glauconie et qui ne sont autre chose que de petits éclats de silex calibrés [1]. Ils sont rares dans les autres localités.

Conclusions à tirer de la présence de ces différents minéraux. Parmi les minéraux du tuffeau, il en est qui sont dépourvus de marque d'origine ; d'autres, à gisement très limité, nous renseignent sur la nature des roches auxquelles ils ont d'abord appartenu :

1. Sur une partie des côtes de la Manche, les sables sont formés de silex concassés.

tels sont le disthène, la staurotide, le grenat, le corindon. La présence de ces minéraux montre que *c'est dans les terrains primitifs qu'il faut chercher l'origine primordiale de beaucoup d'éléments constitutifs des sables glauconieux et des tuffeaux landéniens (thanétiens) du Nord de la France.*

Etant donnée la position de la mer à cette époque (voir les essais de reconstitution de Ortlieb et Chellonneix [1], MM. Gosselet [2], Dollfus [3] et Jukes-Browne [4]), les sables dont est formé le tuffeau ne peuvent venir que du Nord ou de l'Ouest. Comme le caractère littoral de la formation est moins prononcé au nord (Lincent, Orp-le-Grand), la direction ouest convient mieux pour expliquer la composition du dépôt. Il est d'ailleurs très remarquable que beaucoup de cristaux de zircon, tourmaline, rutile, disthène ne peuvent se distinguer de ceux que M. Harris Teall a extraits des Bagshots Sands (Hampstead Heath) et dont il a donné plusieurs figures dans sa British Petrography (Pl. 43 et 44, fig. 1-4). Les terrains primitifs de la Bretagne et des Cornouailles sont tout désignés comme la source du disthène, de la staurotide, etc.

Minéraux secondaires. Glauconie. Son étude présente un grand intérêt dans tous les tuffeaux quartzeux (voir Pl. III, fig. 4, *d*, et Pl. IV, fig. 1, *b*).

A. Elle constitue des grains arrondis de mêmes dimensions que les éléments de quartz.

B. Il est très fréquent qu'elle forme un revêtement à certains minéraux. *a*. Elle recouvre les grains de quartz d'une sorte d'enduit vert continu ou interrompu et ne déterminant alors que des taches vertes à la surface des grains (Pl. VI, fig. 15). Cet enduit est rarement assez épais pour que l'on puisse considérer le quartz comme une enclave d'un grain glauconieux. *b*. La glauconie recouvre également les grains de feldspath, orthose, microcline, etc. Elle en jalonne ou souligne complètement les clivages. Dans les sections montrant les deux clivages, on voit très nettement deux systèmes de lignes glauconieuses qui se coupent (Pl. VI, fig. 21).

C. Elle donne rarement naissance à des granules irréguliers isolés et le plus souvent groupés (fig. 4, *e*).

Il y aurait beaucoup à dire sur les diverses propriétés que présente la glauconie des tuffeaux quartzeux : polychroïsme, double réfraction, clivages, etc. Je réserve leur étude pour le chapitre que je consacrerai à ce minéral.

Phosphate de chaux. Il n'existe que sous la forme de volumineux débris de tissus osseux montrant le phénomène de la double réfraction.

2. **Organismes.** Les sections transversales de tuffeau quartzeux ne montrent guère

---

1. ORTLIEB et CHELLONNEIX. Op. cit., pl. I (1870).
2. J. GOSSELET. Esq. géol. Terr, tert. Pl. XI. A (1883).
3. G. DOLLFUS. Esq. des terr. tert. de la Normandie, *Bull. Soc. Géol. Normandie*, vol. 6. Pl. III (1879).
4. JUKES-BROWNE. The geogr. Evol of the Engl. Channel, *Contemporary Review*, p. 858 (1892).

de débris de microorganismes que dans les points où les minéraux cessent d'être en contact pour faire place à un ciment qui devient prépondérant. J'y ai reconnu des spicules de Spongiaires, des Radiolaires et des Diatomées.

Spongiaires. En général ils ne sont représentés dans chaque préparation que par deux ou trois spicules fragmentaires et monoaxes. Quand le ciment prend un grand développement en certains points, comme c'est parfois le cas pour le tuffeau de Lille, les spicules sont moins rares (Pl. IV, fig. 1, *c*). C'est dans le tuffeau de Laon que les débris de Spongiaires atteignent leur maximum de fréquence. Même dans ce cas, ils ne sont qu'un élément très accessoire de la roche. A côté des spicules monoaxes, il convient de mentionner des formes globuleuses, sphériques, ovoïdes, quelquefois réniformes que je rattache aux *Tetractinellidæ*. Elles sont relativement fréquentes. Les plages à ciment très prédominant renferment toujours des spicules monoaxes, de taille très exiguë, associés à des Diatomées (Pl. IV, fig. 1). Leur distribution est des plus irrégulière et leur attribution aux Spongiaires incertaine.

Les spicules sont presque tous en opale, rarement en partie glauconieux et exceptionnellement calcédonieux.

Radiolaires. J'ai signalé leur existence pour la première fois en 1889 [1]. Leurs sections sont tantôt circulaires, tantôt elliptiques. Je n'ai pu en examiner qu'un très petit nombre et de conservation trop imparfaite pour en donner une détermination générique. L'existence des *Prunoidea* est certaine. Celle des *Sphæroidea* est douteuse. Ils sont aussi rares que les spicules d'Eponges dans les parties les plus quartzeuses; ils se multiplient quand le ciment prend de l'extension. C'est dans les tuffeaux de Lille et de Laon qu'on les rencontre le moins rarement.

Diatomées. J'ai noté leur présence dans le tuffeau en 1891. Dans celui de Lille, en particulier, elles pullulent par places. J'ai reconnu *Triceratium* (Pl. IV, fig. 3, *d*) *Coscinodiscus Synedra*, c'est-à-dire des Diatomées marines. Plusieurs formes sont indéterminées.

3° **Ciment.** On conçoit qu'il tienne peu de place dans cette catégorie de roches caractérisée par la grande prédominance des éléments clastiques presque toujours juxtaposés (Pl. 3, fig. 4). Le ciment est en général d'un gris très clair. Il est jaunâtre dans certaines plages dont je parlerai plus loin, ou même dans toute l'étendue de la roche (La Fère). La silice gélatineuse qui le forme se différencie souvent autour des éléments qu'elle agglutine et donne naissance à une fine pellicule d'opale très claire. G. Klemm a signalé pareille différenciation de la silice isotrope autour de grains de quartz de grès avec « Opalcäment » [2]. Dans les tuffeaux très cohérents comme celui de Lille, le ciment est presque partout à l'état d'opale indifférenciée. Il ne subit de modification qu'au voisinage

1. L. CAYEUX. De l'existence de nomb. Radiolaires, etc *Ann. Soc. G. N.* vol. 19, pp. 309-315 (1891).
2. G. KLEMM. Mikr. Unters. üb. psam. Gest. *Zeits d. deuts. Geol. Ges.* vol. 34, p. 783 (1882).

de grandes coquilles silicifiées de Mollusques ; la silice isotrope se mamelonne au contact de la calcédoine qui les épigénise ; on la voit même se découper en petites sphérules libres et noyées dans la calcédoine.

Au sein des tuffeaux qui paraissent les plus homogènes, il existe de petites plages gris jaunâtre ou franchement jaunes constituées par du ciment à l'exclusion souvent absolue des minéraux clastiques. En ce cas, la silice du ciment est imprégnée d'un peu d'argile. Viennent-elles à prendre de l'extension, elles donnent alors naissance à de grands îlots dont la composition minérale et organique éveille l'idée d'une roche bien différente de celles dont elles font partie. Le tuffeau de Lille fournit un excellent exemple de cette manière d'être. La figure 1 de la planche IV est tirée d'un îlot visible à l'œil nu ; il est remarquable par la grande quantité de débris organiques qui y sont entassés. On peut se figurer le contraste que présente une pareille plage criblée de microorganismes avec le tuffeau quartzeux dont elle n'est qu'un accident, en comparant la figure 1 à celle du tuffeau de Radinghem (Pl. III, fig. 4). Celle-ci donne une idée exacte de la physionomie normale du tuffeau autour des îlots en question.

Seul le ciment jaunâtre réagit sur la lumière polarisée. On voit par exemple dans le tuffeau de La Fère, de grandes plages de ciment fortement colorées en jaune, s'illuminer très vaguement entre les nicols croisés ou se parer d'une teinte bleu foncé très apparente qui s'étend uniformément sur une plage donnée. Celle-ci s'éclaire et s'éteint d'un seul coup. Pareil phénomène s'observe dans certaines préparations d'argile de l'espèce *halloysite* et dans les argiles sédimentaires comme l'argile plastique des environs de Paris. Je l'ai signalé dans les gaizes. On rencontre également dans le ciment jaune de petites paillettes cristallisées comme celles qui abondent dans les gaizes.

L'examen attentif du ciment jaune du tuffeau de La Fère permet de relever la présence d'un élément dont l'existence est de première importance pour l'histoire des tuffeaux. On trouve en quelques points un grand nombre de petites lamelles de *calcite*. Toutes sont rongées ou profondément corrodées. Il n'est pas douteux qu'on ne se trouve là en présence de vestiges d'une formation calcaire plus étendue qui a presque entièrement disparu. Il arrive que les petites plages réservées au ciment se multiplient, qu'elles se touchent et que les minéraux s'isolent dans le ciment. On a de la sorte des termes de passage entre les tuffeaux à minéraux juxtaposés et ceux dont les particules minérales et organiques sont entourées de ciment de toutes parts.

Les tuffeaux quartzeux dérivent de sables glauconieux agglutinés par un ciment de silice gélatineuse dans la grande majorité des cas. La plus grande partie du ciment est *secondaire*. L'opale s'est d'abord déposée autour de tous les éléments en les enveloppant d'une sorte de gaîne servant pour ainsi dire de charpente à la roche, puis les vides ont été comblés par la même substance. En certains points, il existait à l'origine une boue qui maintenait en place les innombrables débris d'organismes qui y sont réunis. C'est

un ciment *primordial* aujourd'hui composé de silice gélatineuse additionnée de matière argileuse, et de traces de carbonate de chaux. Le ciment secondaire existe presque seul dans les tuffeaux de Lille, Radinghem, Douai, etc. Le ciment primordial est très prépondérant dans celui de La Fère.

B. Tuffeau à Diatomées
(Pl. IV, fig. 2).

Tuffeaux d'Angre, Tournay (Belgique), Baisieux et Malincourt (Nord).

Caractères lithologiques. Ce sont des roches grises à texture compacte ou grenue, d'un gris foncé lorsqu'elles sont fraîches, et devenant gris blanchâtre ou jaune ferrugineux par altération. Sur la cassure, on voit en saillie des grains arrondis de glauconie vert sombre, à surface cireuse. Ils sont nombreux, très inégalement distribués comme dans le tuffeau d'Angre, où ils atteignent en moyenne un millimètre de diamètre, ou rares et petits comme à Malincourt. Les psamnites glauconifères à gros grains et à grains moyens de Dumont, ainsi que ses macignos glauconifères faisant effervescence avec les acides, rentrent dans cette catégorie.

Composition chimique. Un échantillon de tuffeau d'Angre a donné à l'analyse :

Silice soluble dans la potasse	26
Silice insoluble	54.6
Alumine	5.2
Peroxyde de fer	7.2
Perte par calcination	6.6
Total	99.6

ETUDE MICROGRAPHIQUE. 1° **Minéraux.** *M. détritiques.* Les particularités qu'ils présentent dans cette variété de tuffeau sont exactement celles des minéraux des tuffeaux quartzeux. On y retrouve de petits fragments de silex. Par suite du grand développement du ciment et des organismes, les éléments de quartz clastique (fig. 2, *a*) sont moins nombreux que dans le tuffeau quartzeux. Leur volume est plus considérable. Diam. moyen, $0^{mm}16$; un certain nombre de grains dépassent $0^{mm}2$. La répartition des particules minérales est très irrégulière : dans les tuffeaux de Baisieux et surtout de Malincourt, ils sont nombreux et serrés par places, et disparaissent presque complètement sur de grandes plages.

Minéraux secondaires. Glauconie. Elle présente un intérêt exceptionnel et constitue des grains de toutes dimensions dont les plus nombreux et les plus caractéristiques mesurent un millimètre environ. La glauconie atteint son volume maximum dans les tuffeaux d'Angre et de Baisieux où ses éléments réunis représentent au moins la moitié de la roche. Ses principales manières d'être sont les suivantes :

A. Grains homogènes et de forme arrondie (Pl. IV, fig. 2). Quelques-uns renferment des Foraminifères entiers et de petite taille (Tournay). On trouve jusqu'à trois coquilles

dans un seul élément. Je n'ai observé qu'un seul cas de Radiolaire enfermé dans la glauconie. C'est dans cette catégorie que l'on observe des inclusions de quartz. Un grain renferme à lui seul trois particules de ce minéral. Chacune d'elles est presque aussi volumineuse qu'une loge des Foraminifères inclus dans les grains de glauconie. A ce groupe de grains volumineux et arrondis se rattachent des éléments renfermant une matière pigmentaire noire (Pl. IV, fig. 2, *b* et Pl. VI, n° 13) dont je parlerai en détail au chapitre IV.

B. Glauconie à structure granulée. Les grains ont un aspect craquelé et des contours très irréguliers. Ils se décomposent en une infinité d'éléments de forme plus ou moins arrondie, laissant parfois entre eux des espaces occupés par le ciment (Angre). La glauconie à structure granulée revêt la physionomie de véritables concrétions.

C. Ce minéral pseudomorphose des spicules d'Eponges dans le tuffeau de Malincourt. Plusieurs éléments qui m'ont servi à préparer l'étude monographique de la glauconie étant tirés de cette catégorie de tuffeaux, on en trouvera au chapitre IV la description très détaillée que je crois inutile de reproduire ici.

2° **Organismes.** Ils occupent déjà une place importante. Les débris de Spongiaires se sont multipliés, les Foraminifères apparaissent et les Diatomées sont nombreuses par places.

Spongiaires. Ils comptent peu de représentants à Baisieux et à Angre, mais leurs débris sont assez nombreux dans les tuffeaux de Tournay et de Malincourt. Ils se répartissent entre les groupes suivants :

A. *Spicules monoaxes.* Ce sont le plus souvent des bâtonnets cylindriques ayant appartenu à des spicules de grande taille aujourd'hui tronçonnés. Ils sont accompagnés de quelques spicules fusiformes, arqués, longs et grêles. J'ai reconnu le genre *Monilites*.

Il existe dans les tuffeaux de Baisieux et d'Angre de petits spicules fragmentaires, très différents comme dimensions des formes précédentes. Ils sont très répandus dans certains échantillons. Leur attribution aux Spongiaires est très incertaine.

B. *Tetractinellidæ.* Le genre *Geodites* est le seul dont l'existence soit bien établie. Des corps globuleux et ovoïdes dérivent probablement de la zone corticale de *Tetractinellidæ*. Ils sont calcédonieux et se rencontrent avec une certaine fréquence dans le tuffeau de Tournay et de Malincourt.

C. *Lithistidæ.* Le tuffeau de Malincourt renferme quelques spicules de *Megamorina*.

Les restes authentiques de Spongiaires sont presque toujours calcédonieux.

Radiolaires. Leur existence est certaine, mais il est bien difficile de préciser le rôle qu'ils ont joué. Les *Sphæroidea* et *Prunoidea* sont représentés. Parmi les corps calcédonieux dont un certain nombre paraissent appartenir aux Eponges, il en est peut-être qui sont des *Sphæroidea* et des *Prunoidea* dépourvus d'épines, remplis de silice et transformés en calcédoine.

Foraminifères. Ils apparaissent en nombre très restreint à Tournay et à Malincourt.

Ils sont de grande taille à test relativement épais et transformés en opale. L'intérieur de la coquille est occupé par cette même substance ou par de la calcédoine. Les rares sections observées sont indéterminables. *Les Foraminifères inclus dans les grains de glauconie sont beaucoup plus petits que les formes précédentes et leur test est beaucoup plus mince.* Il est probable que les éléments glauconieux qui les renferment n'ont pas pris naissance sur place.

Diatomées. J'ai observé les mêmes genres que dans les tuffeaux du groupe précédent : *Synedra, Triceratium* et *Coscinodiscus.* D'autres sont indéterminés. Leur existence est moins sporadique que dans les tuffeaux très quartzeux où ils ne sont représentés que dans les rares points de la roche où le ciment cesse d'être tout à fait accessoire. Elles sont particulièrement fréquentes dans certaines plages des tuffeaux de Baisieux et d'Angre.

3° **Ciment.** Le ciment est gris ou jaune, un peu ferrugineux au voisinage de la glauconie décomposée. Il correspond au ciment *primordial* des tuffeaux quartzeux. Il est composé de silice gélatineuse imprégnée d'un peu de matière argileuse. L'analyse d'un échantillon d'Angre accuse 5,2 % d'alumine qui, combinée à la silice, représenterait une quantité notable d'argile. Dans les variétés comme celles de Malincourt, où la place réservée au ciment est beaucoup plus grande, ce chiffre serait certainement plus élevé. Il convient de remarquer qu'une partie de cette alumine appartient à la glauconie. Les résultats de 28 analyses de ce minéral réunis par M. Gümbel montrent que l'alumine prend part à sa composition dans une proportion qui varie de 1,1 à 22,5 %[1]. Comme l'échantillon d'Angre soumis à l'analyse est très glauconieux, il est bien certain que les 5,2 % d'alumine qu'il renferme appartiennent à l'argile et à la glauconie.

Le ciment tient une place beaucoup plus grande dans ces roches que dans les tuffeaux quartzeux. Ceux de Malincourt et de Tournay en sont très riches Il ne subit presque jamais de différenciation en opale mamelonnée ou globulaire et s'applique sur les minéraux et organismes sans présenter la moindre modification. Vu entre les nicols croisés, il se comporte comme le ciment primordial des tuffeaux quartzeux : tantôt il n'exerce aucune action sur la lumière polarisée, tantôt il réagit très nettement. L'existence de la calcédoine paraît exceptionnelle. J'en ai noté la présence en très petite quantité dans un échantillon d'Angre.

Conclusions. Les tuffeaux de cette catégorie, comparés aux précédents, se signalent par la réduction des matériaux de transport au bénéfice des organismes qui se multiplient et s'enrichissent de représentants des Foraminifères.

---

1. GÜMBEL. Ueber die Natur und Bildungsweise, etc., *Sitz. d. k. Ak. Wiss. zu München*, p. 438 (1886).

C. Tuffeau à Spongiaires et à Radiolaires

(Pl. IV, fig. 3 et 4).

J'ai mis en évidence l'existence de cette variété de tuffeau en revisant la carte géologique des environs de Péronne. Elle n'est connue qu'en un seul point de la commune de Bouchavesnes (Somme).

Caractères lithologiques. C'est une roche grise, grenue, très dure, d'une grande rudesse au toucher et très finement pointillée de glauconie. Elle est pourvue de grandes taches lustrées d'une grande dureté, rappelant en tous points les durcissements cherteux des gaizes.

Composition chimique. Un échantillon analysé à l'Ecole des Mines renferme :

Silice soluble dans la potasse	18.7
Silice insoluble	75
Alumine	2.3
Peroxyde de fer	2.4
Perte par calcination	1
Total	99.4

1° **Minéraux.** Les minéraux détritiques sont abondants ; ils présentent les mêmes caractères que dans les tuffeaux précédemment étudiés. Les grains de quartz (fig. 3 et 4, *a*) mesurent ordinairement $0^{mm}15$.

La *glauconie* forme un nombre assez restreint de grains jaune verdâtre de même dimension que le quartz (fig. 3 et 4, *b*). Beaucoup de débris de Spongiaires sont plus ou moins transformés en glauconie : Cette substance ne pseudomorphose les Radiolaires que par exception. Lorsqu'elle est indépendante des spicules, elle laisse parfois reconnaître de rares éléments ayant conservé l'empreinte de Foraminifères, dans lesquels ils ont pris naissance.

2° **Organismes.** Le tuffeau de Bouchavesnes est au point de vue des organismes une des roches les plus curieuses que j'aie rencontrées. Les débris de Spongiaires et les Radiolaires en sont les éléments les plus caractéristiques.

Spongiaires. Leurs débris sont de grande taille. Ils appartiennent aux groupes suivants :

A. *Spicules monoaxes.* On doit leur rapporter presque tous les spicules de ce tuffeau. Ils sont représentés par des bâtonnets droits, cylindriques, très allongés (Pl. IV, fig. 3 et 4), ayant fait partie de longs spicules fusiformes dont on retrouve les extrémités. Un fragment mesure $2^{mm}25$ de long. Cette dimension permet d'assigner 3, 4^{mm} et plus aux formes intactes. La prédominance appartient aux spicules fusiformes. Il existe également quelques spicules en épingle. On peut tenir pour certain, qu'en raison de leur grande taille, les spicules monoaxes n'appartiennent pas aux *Monactinellidæ*, mais plutôt aux

Tetractinellidæ. Peut-être faut-il rapporter au premier groupe quelques formes grêles, fragmentaires, rassemblées dans les îlots de ciment (Pl. IV, fig. 3, *g*).

B. *Tetractinellidæ*. On ne trouve qu'un ou deux spicules tétraradiés dans chaque préparation.

C. *Hexactinellidæ*. Je n'ai reconnu qu'un seul représentant de ce groupe.

Il faut encore rattacher aux Spongiaires un nombre très notable de formes globuleuses.

Mode de conservation des spicules. Les spicules en opale munis d'un fin canal rempli de silice monoréfringente sont d'une grande rareté. Voici, rapidement esquissés, les différents états de fossilisation des spicules.

a. Le canal est faiblement élargi et l'opale des spicules a subi un commencement de différenciation : elle a donné naissance à un grand nombre de corps de formes diverses, telles que couronnes circulaires ou ovales, croissants, etc. ; elle est sans action sur la lumière polarisée.

b. Le canal s'élargit beaucoup d'une façon uniforme ou se dilate par places ; il en arrive à occuper la plus grande partie du spicule (bâtonnet près de la lettre *b*, fig. 3, Pl. IV).

c. Tout le spicule, sauf l'opale du canal élargi, se transforme en calcédoine (Pl. IV, fig. 3 et 4, *e*).

d. La transformation s'étend partiellement ou complètement au canal (fig. 3, *c*, et fig. 4, *d*, *e*, *f*, *g*).

e. Il y a épigénie par la glauconie avec divers degrés de complication (fig. 3, *d*).

Une seule forme peut se décomposer en plusieurs tronçons ayant subi des métamorphoses différentes. Tel est le spicule *c* de la figure 4 (Pl. IV). Il se divise en trois parties bien distinctes. La médiane revêt l'aspect des spicules presque intacts avec un canal pour ainsi dire réduit à un trait ; une extrémité est entièrement calcédonieuse et toute trace de canal a disparu ; l'autre bout est également calcédonieux, mais on y reconnaît encore quelque vestige de canal.

Radiolaires (fig. 3 et 4, *h* et *i*). J'en ai signalé l'existence, pour la première fois, en 1891 [1]. Ils se présentent comme les coupes minces sous la forme de sections circulaires rapportées aux *Monosphærida* dans ma note préliminaire ; un grand nombre sont elliptiques (Pl. IV, fig. 3 et 4).

La grande dureté de la roche m'ayant empêché d'isoler les organismes, je ne puis affirmer que toutes les sections se rapportent à des Radiolaires de forme ellipsoïdale. Plusieurs faits portent cependant à croire que les *Prunoidea* sont seuls représentés. A. Les sections elliptiques prédominent ; B. Le diamètre des sections circulaires correspond au plus petit axe des précédentes ; C. L'épaisseur du test est la même de part et d'autre. D. Les pores sont les mêmes dans les deux groupes de sections. Je conclus donc à l'existence exclusive

1. L. CAYEUX. De l'existence de nomb. Rad., etc. *Ann. Soc. G. N.*, vol. 19, pp. 309-315 (1891).

des *Prunoidea*. Toutes les formes que j'ai pu étudier sont des *Monoprunoidea* et appartiennent aux familles *Ellipsida* et *Druppulida*. Les données que j'ai recueillies sur les Radiolaires du tuffeau de Bouchavesnes sont très suffisantes pour déterminer les grands groupes auxquels ils appartiennent. Je ne pourrai en donner une description détaillée qu'après avoir réuni des formes moins éprouvées par la fossilisation que celles que j'ai examinées. La faune de Rhizopodes siliceux du tuffeau de Bouchavesnes présente le double caractère d'être très riche en individus mais très peu variée.

A part quelques exceptions, les *Ellipsida* sont remplis de calcédoine fibreuse rayonnant autour d'un centre coïncidant avec celui du squelette, ou placé sur la coquille et ne donnant alors en lumière polarisée que deux branches de la croix noire. Le test est toujours en opale, sauf dans les quelques cas où le Radiolaire se trouve engagé dans une plage de calcédoine, il devient alors en partie calcédonieux. Les *Druppulida* se comportent un peu différemment. Les rayons qui relient les deux coquilles disparaissent souvent en partie ou en totalité et le Radiolaire montre une large couronne de calcédoine entre les deux sphérules. Il arrive que la coquille interne soit atteinte par cette transformation et qu'elle disparaisse presque complètement.

Diatomées. Elles sont très rares. Je citerai notamment les formes *j* (fig. 3) et *k* (fig. 4) que la glauconie masque en partie. Elles rappellent les *Hemiaulus*. Il en existe de très petite taille dans les îlots de ciment et qui sont indéterminées.

3° **Ciment.** D'une manière générale les minéraux et les organismes sont contigus et le ciment n'occupe qu'une place très secondaire. Dans quelques spécimens, ils s'espacent un peu et le rôle dévolu au ciment est alors plus appréciable. Lorsque tous les éléments de la roche se touchent, les sections minces montrent en certains points des plages de ciment jaunâtre d'où les minéraux sont exclus, et où les débris de Spongiaires sont rares (Pl. IV, fig. 3, *k*).

C'est dans ces îlots que se montrent de préférence les petits spicules fragmentaires. Quant aux organismes qui y pénètrent, ils manifestent presque toujours une indépendance absolue. La partie engagée dans l'îlot ne diffère pas de celle qui en émerge. Il arrive cependant qu'un spicule y perde son individualité et qu'il ne se distingue plus de l'opale qui l'enveloppe.

Le ciment est formé soit de silice amorphe teintée de gris ou de jaune, soit d'un mélange de cette substance et de calcédoine. On ne trouve l'opale seule que dans les parties où les débris d'organismes siliceux se rencontrent avec leur minimum de fréquence ; la calcédoine prédomine dans les plages où ils abondent ; il arrive qu'elle forme seule tout le ciment.

Les taches lustrées qui passent insensiblement à la pâte enveloppante correspondent aux parties les plus riches en spicules, en Radiolaires et en ciment calcédonieux. Elles correspondent aux noyaux cherteux des gaizes. L'analyse chimique d'un tuffeau très

dur de Bouchavesnes met en relief un fait qu'il importe de souligner tout particulièrement, c'est la présence d'une faible proportion d'alumine (2,3 %). La matière argileuse apparaît dans la roche dès que le ciment cesse d'être cristallisé. *Elle a été complètement éliminée des plages calcédonieuses.* Les îlots de ciment amorphe sont sans action sur la lumière polarisée ou ne réagissent que très faiblement.

J'ai observé dans une seule préparation la présence d'une très petite quantité de carbonate de chaux sous forme de minuscules paillettes déchiquetées et isolées dans l'opale du ciment.

Conclusions. Le tuffeau de Bouchavesnes est en partie le produit de l'activité *physiologique*. Tous les groupes d'organismes à squelette siliceux ont concouru à sa formation. Il n'est qu'une manière d'être accidentelle d'un sable à caractère littoral manifeste et pourvu d'un ciment à l'origine.

D. Tuffeau à Spongiaires

Le seul spécimen qui représente le tuffeau à Spongiaires est originaire d'Orp-le-Grand (Belgique). Il fait partie du niveau *L 1 c* de la Carte géologique de Belgique. Je l'ai trouvé dans les collections de la Faculté des sciences de Lille. Les conditions de gisement me sont inconnues. Des échantillons de la même localité que je dois à l'obligeance de M. Rutot, laissent supposer que celui que j'ai examiné ne donne pas une idée de la composition moyenne de l'assise et qu'il n'en est qu'un accident. En parlant de cette formation, Dumont a dit qu'elle est extraordinairement grossière, quartzeuze, légèrement glauconifère et qu'elle passe au silex [1]. Le tuffeau que j'ai étudié présente ce dernier caractère.

Il ne renferme que de très rares éléments clastiques. Les minéraux secondaires tels que la glauconie sont presque absents. La roche se décompose en organismes et en ciment.

1° Organismes. Les spicules d'Eponges occupent la première place ; les Radiolaires sont exceptionnels et les Foraminifères très rares. Les Diatomées comptent quelques formes dans les points où le ciment n'a pas été modifié.

Spongiaires. Tous les spicules sont transformés en calcédoine et beaucoup ne sont plus représentés que par le remplissage en opale de leur canal. Cette partie du spicule est celle qui se détruit la dernière. Dans le tuffeau d'Orp-le-Grand, on voit de grandes plages de calcédoine, traversées par des sortes de filets d'opale, grêles et rectilignes, simples ou bifurqués qui sont restés comme les témoins du grand développement des spicules dans cette roche. L'état de conservation des restes de Spongiaires ne permet pas d'en dire bien long sur leurs formes. On reconnaît beaucoup de bâtonnets allongés, cylin-

1. DUMONT. Mém. sur les Ter. crét. et tert., édités par M. MOURLON, vol. IV, p. 286 (1878).

driques et fragmentaires dérivant probablement de spicules monoaxes et quelques individus se rapportant aux *Tetractinellidæ*. La présence des *Lithistidæ* est incertaine.

2° **Ciment.** Il est formé de silice monoréfringente chargée d'un peu de matière argileuse et de calcédoine prédominante. Cette dernière variété de silice existe seule sur de grandes étendues ; elle est souvent parsemée de taches irrégulières formées d'opale. La calcédoine a cristallisé largement en sphérolithes ou en pinceaux très ouverts.

Conclusions. L'absence presque complète de minéraux détritiques et la cristallisation de la silice donnent aux échantillons étudiés une physionomie à part. Elles permettent de les ranger au voisinage des silex sans cependant les confondre avec ces roches. Plusieurs traits les en séparent. A. La première différence tient à l'absence complète d'homogénéité : l'opale et la calcédoine ne sont pas intimement associées comme dans le silex mais disposées en plages séparées. B. La proportion de silice isotrope est beaucoup plus élevée que dans les silex. On peut définir cette roche *un chert avec plages de silex*. Elle rappelle beaucoup le chert de la Meule de Bracquegnies qui passe au silex par places.

2° TUFFEAUX CALCARÉO-SILICEUX.

(*L 1 c, de la Carte de Belgique*).

J'ai étudié deux échantillons de tuffeaux calcaréo-siliceux landéniens. Ils m'ont été procurés par M. Rutot. L'un est originaire d'Orp-le-Grand ; l'autre est de Lincent. Le premier renferme une forte proportion de silice, le second en est très pauvre.

A. Tuffeau d'Orp-le-Grand (Belgique).

Le mode de gisement du tuffeau est bien tel que je l'ai indiqué d'une façon générale : ce dépôt est subordonné à une assise sableuse [1]. Ainsi que je l'ai rappelé à propos du tuffeau à Spongiaires, Dumont définissait le tuffeau d'Orp-le-Grand, une roche ordinairement grossière, quartzeuse, légèrement glauconifère, passant au silex. D'après M. Rutot, la roche est tendre, marneuse, avec des bancs un peu durcis.

1° **Minéraux.** Ils sont réduits à un très petit nombre d'éléments, quartz, glauconie, etc., n'offrant rien de particulier.

2° **Organismes.** Les débris de Mollusques forment une importante fraction des organismes. Les Spongiaires étaient représentés à l'origine par de nombreux spicules dont très peu ont laissé de traces de leur existence. Presque tous ont disparu dans les plages de calcédoine. Les Foraminifères sont plus répandus que dans les tuffeaux siliceux ; ils n'ont pris qu'une part très secondaire à la formation du dépôt. Leurs coquilles sont de grande taille, très épaisses et exceptionnellement déterminables, en raison du commencement de dissolution qu'elles ont subi.

1. Voir la coupe du tuffeau d'Orp-le-Grand, in J. GOSSELET. Esq. géol., Terr. tert., p. 296 (1883).

3° **Ciment.** Il est en grande partie calcédonieux, mais on peut affirmer l'existence d'un ciment originel de nature calcaire. Il en reste de nombreux vestiges sous forme de plages calcaires interpénétrées de silice. La calcédoine s'est développée aux dépens de restes de Spongiaires, mais elle a pris la place d'une partie des organismes calcaires et du ciment. Au sein des plages calcédonieuses, il existe encore des particules calcaires, très déchiquetées. Les proportions de silice et de calcaire sont sensiblement égales dans les échantillons que j'ai étudiés.

Le tuffeau calcaréo-siliceux d'Orp-le-Grand est un calcaire dont l'origine première est en grande partie organique et qui a subi une silicification très avancée.

B. Tuffeau de Lincent (Belgique)

C'est une roche grise, légère, poreuse, finement grenue et faiblement pointillée de glauconie. Elle fait effervescence aux acides.

Composition chimique. Un échantillon soumis à l'analyse chimique au laboratoire d'essais de l'Ecole des Mines renferme :

Silice soluble dans la potasse	11
Silice insoluble	31
Alumine	5 4
Peroxyde de fer	3.2
Chaux	27.5
Perte par calcination	21.6
Total.	99.7

1° **Minéraux.** Ils viennent au second rang. Le quartz surtout est peu abondant. La glauconie est le plus souvent indépendante des Rhizopodes, bien que ceux-ci soient assez nombreux.

2° **Organismes.** Les débris de Mollusques sont assez répandus. Ce sont les restes de Spongiaires et de Foraminifères qui présentent le plus d'intérêt. Les éléments que l'on peut rapporter aux Spongiaires en toute certitude sont des plus rares ; ce ne sont que des sections de spicules très volumineux et trop incomplets pour qu'il soit possible de se prononcer sur leurs affinités. Un grand nombre de *vides* à section circulaire ou elliptique correspondent à l'emplacement soit de spicules globuleux, soit de Radiolaires enlevés par dissolution. Les Foraminifères sont nombreux, de grande taille et caractérisés par un test généralement très épais. Leurs formes sont très variées. Leur étude faite en coupe mince ne me permet que de mentionner le genre *Rotalia*.

3° **Ciment.** Il forme la plus grande partie de la roche. Le ciment est essentiellement calcaire — l'analyse chimique accuse 27,5 de chaux —. Il y a fréquemment interposition entre ses éléments d'un peu de silice isotrope qui, par places, a commencé à se substituer aux particules du ciment calcaire. Il est impossible d'établir si l'origine de ces dernières est organique ou non.

Le tuffeau de Lincent est un *calcaire caractérisé par l'existence de Foraminifères, de débris de Spongiaires et peut-être de Radiolaires* dont presque tous les organismes siliceux ont été dissous. Son ciment calcaire très développé renferme une très faible proportion de silice secondaire. Par ses organismes siliceux, ce dépôt a été une source importante de silice qui a émigré et qui a pu servir à silicifier des roches voisines.

II. TUFFEAUX YPRÉSIENS

[e 11 (*pars*), *de la carte géologique détaillée de la France*]

L'Yprésien du Nord comporte trois divisions [1] :

1° Argile d'Orchies.

2° Sables de Mons-en-Pévèle à *Nummulites planulata.*

3° Glauconie du Mont-Panisel (Panisélien).

Les tuffeaux que j'ai étudiés appartiennent aux deux dernières zones. Ce sont :

1° Tuffeau du niveau des Sables de Mons-en-Pévèle. Ex. : Argilite de Morlanwelz.

2° Tuffeaux du niveau de la Glauconie du Mont-Panisel. Ex. : Tuffeau du Mont-des-Cats ; tuffeau (argilite) de Piéton ; grès lustré du Mont-Panisel.

Les tuffeaux yprésiens sont subordonnés à un complexe de couches où les sables tiennent une grande place.

1° TUFFEAU DU NIVEAU DES SABLES DE MONS-EN-PÉVÈLE

(Yc et Yd, de la carte géologique de Belgique)

(Pl. V, fig. 1)

Caractères lithologiques. Le tuffeau de Morlanwelz, que j'ai plus particulièrement en vue ici, ne ressemble en rien aux autres roches désignées sous le même nom. Les géologues belges l'ont nommé *Argilite de Morlanwelz.*

Il est siliceux, peu cohérent et schistoïde. Il semble être formé d'innombrables débris coquilliers gris blanc dont la surface d'aplatissement est parallèle à la schistosité. L'emploi de la loupe permet d'y reconnaître quelques grands Foraminifères. La glauconie y est abondante. Elle est très inégalement distribuée et donne naissance à de petites veinules vertes qui soulignent la schistosité.

Selon Dumont, le tuffeau de Morlanwelz est intercalé dans des sables glauconifères.

Composition chimique. Un échantillon analysé à l'Ecole des Mines renferme :

Silice soluble dans la potasse	27
Silice insoluble	51.6
Alumine	6
Peroxyde de fer	5
Perte par calcination	10.2
Total	99.8

1. J. GOSSELET. Esq. géol., Terr. tert., p. 307 (1883).

1° **Minéraux**. Le tuffeau de Morlanwelz est pauvre en minéraux clastiques. Les grains de quartz sont de forme irrégulière (fig. 1, *a*) et mesurent en moyenne $0^{mm}2$.

Glauconie. C'est un des éléments les plus intéressants de cette roche. Elle pullule dans certaines plages et paraît alors former au moins la moitié du tuffeau. Ailleurs elle n'en représente que le tiers ou même une fraction beaucoup plus petite. La disposition en veinules est très apparente dans les sections pratiquées perpendiculairement aux feuillets. Les éléments glauconieux se groupent en plusieurs catégories dont les principales sont :

A. Grains homogènes de forme générale arrondie ou ovoïde, de couleur vert olive ou jaunâtre et mesurant $0^{mm}3$ (fig. 1, *b* et *c* ; tous les corps teintés en noir sur la figure 1 appartiennent à la glauconie sauf *g*). Ils prédominent de beaucoup. Un grand nombre présentent le phénomène de polarisation d'agrégat remarquable par les grandes dimensions des lamelles cristallines.

B. Glauconie clivée très répandue.

C. Glauconie en forme de taches à contours incertains (glauconie pigmentaire), irrégulièrement distribuée dans le ciment, ou de granules de dimensions variables se groupant de façon à donner des grains composés. Ces éléments sont remarquables par le grand nombre de solutions de continuité qu'ils présentent (Pl. VI, fig. 29).

D. Ainsi que je le dirai plus loin, les Foraminifères sont nombreux dans ce tuffeau ; ils sont représentés par une seule forme, *Nummulites planulata*. La glauconie est le plus souvent indépendante de ces organismes ; le remplissage de leurs loges est formé d'opale. Quand l'existence de ce minéral est liée à celles de ces Rhizopodes, voici ce qu'on observe : *a*. La glauconie y forme des grains remplissant incomplètement une seule chambre ; ce cas est rare. *b*. Par exception tout l'organisme est glauconieux, sauf le test qui est en opale. *c*. Des fragments de test de Nummulites ont leurs pores remplis de glauconie. *d*. Une partie du test est épigénisé par cette substance.

2° **Organismes**. Ils ont pour unique représentant *N. planulata*. Sa taille est exiguë. C'est surtout à l'état fragmentaire que ce fossile est représenté. Certaines préparations sont aux trois quarts formées de ses débris roulés se présentant comme l'élément *d* de la figure 1, lorsque le test est coupé transversalement, et comme *e* de la même figure lorsque la section est tangentielle ou à peu près.

Le test des Nummulites est toujours silicifié. Entre les nicols croisés, il se montre exclusivement calcédonieux ou formé d'une association de calcédoine et d'opale et plus rarement d'opale seule.

Les spicules d'Eponges et les Radiolaires font défaut ; l'existence des Diatomées est incertaine.

3° **Ciment**. La place qui lui est réservée est insignifiante ; les éléments minéraux et organiques sont généralement en contact. Il est formé d'opale grise ou incolore et de calcé-

doine (fig. 1, *f*). Les minéraux ainsi que les restes d'organismes sont entourés sur les parties de leur surface qui ne sont pas en contact d'un double revêtement d'opale incolore et d'opale gris jaunâtre très réfringente. Ce ciment correspond à celui que j'ai qualifié de *secondaire* dans les tuffeaux quartzeux landéniens. Il n'y a rien dans cette roche qui représente le ciment *primordial*.

Conclusions. Le tuffeau de Morlanwelz que j'ai étudié doit être considéré comme une roche essentiellement formée de Nummulites brisées et roulées, associées à de nombreux grains de glauconie. C'est un *calcaire glauconieux d'origine organique et silicifié*.

2° TUFFEAU DU NIVEAU DE LA GLAUCONIE DU MONT-PANISEL

A. Tuffeau du Mont-des-Cats (Nord)

(Pl. V, fig. 2)

Cette roche forme au Mont-des-Cats des sortes de cordons peu épais faisant saillie dans des sables glauconifères, à *Pinna margaritacea*. Ce tuffeau semble être le résultat de la prise en masse des sables auxquels il passe insensiblement.

Caractères lithologiques. Le tuffeau du Mont-des-Cats revêt tout à fait l'aspect de certaines gaizes de l'Argonne. C'est une roche grise qui devient gris jaunâtre par altération. Sa cassure est très grenue, très rugueuse quand le tuffeau atteint son maximum de cohérence. Elle happe fortement à la langue. La glauconie y forme des grains à peine déterminables à l'œil nu ; elle est accompagnée de quelques paillettes de mica blanc.

Composition chimique. Un échantillon analysé à l'Ecole des Mines renferme :

Silice soluble dans la potasse	18.4
Silice insoluble	66.6
Alumine	1.3
Peroxyde de fer	4.6
Perte par calcination	9
Total	99.9

ETUDE MICROGRAPHIQUE. 1° **Minéraux.** Ils occupent généralement plus d'espace que les organismes et le ciment réunis. Un même échantillon est susceptible de présenter à ce point de vue de notables différences suivant le point considéré.

A. *Minéraux détritiques.* Le quartz forme des grains irréguliers mesurant en moyenne $0^{mm}16$ de diamètre (fig. 2, *a*). Leur répartition est irrégulière. Les variétés les plus riches en minéraux sont comparables aux tuffeaux quartzeux ; le quartz y entre au moins pour les 4/5 du dépôt. Les feldspaths sont les plus remarquables des minéraux clastiques ; ils sont très abondants sous forme d'orthose, de microcline, etc.

B. *Minéraux secondaires. Glauconie.* Elle ne réalise guère de manière d'être que je n'aie déjà signalée dans les tuffeaux précédemment étudiés. Ses éléments, un peu plus volumineux que ceux du quartz, sont de forme générale arrondie (Pl. V, fig. 2, *b*), et plus souvent irréguliers. Cette substance est très répandue en tant que revêtement de grains de quartz

et de feldspath. La pellicule glauconieuse prend parfois un tel développement qu'elle donne naissance à un volumineux grain pourvu d'une grosse enclave quartzeuse (Pl. VI, fig. 18). La glauconie se présente encore sous la forme de petites taches sans contours appréciables intéressant le ciment et les menus organismes et toujours indépendantes des Foraminifères.

2° **Organismes.** Le tuffeau du Mont-des-Cats est d'une grande richesse en micro-organismes.

Spongiaires. Bien qu'elle ne puisse être rattachée à la catégorie des tuffeaux à Spongiaires, cette roche présente un assez grand nombre de spicules qui se répartissent entre les deux groupes suivants.

A. *Spicules monoaxes.* La grande majorité des débris de Spongiaires du niveau se rapportent à ce groupe. Les spicules sont cylindriques ou fusiformes, droits *(d)* ou arqués *(c)*. Ils sont toujours fragmentaires et mesurent jusqu'à $2^{mm}5$.

Comme dans les tuffeaux à Diatomées d'Angre, il existe des petits bâtonnets très grêles; ils pullulent dans les parties où les minéraux sont relégués au second plan, se superposent et s'entrecroisent dans tous les sens. Ils ne se rattachent par aucun intermédiaire aux gros spicules monoaxes. Ces formes sont droites ou arquées; parmi les premières, j'en ai reconnu quelques-unes dont l'extrémité est dilatée en ampoule. La figure 2 donne une idée de l'extraordinaire fréquence de ces corps. Leur parenté avec les Spongiaires reste incertaine.

B. *Tetractinellidæ.* Les spicules tétraradiés ne comportent que de très rares individus incomplets et indéterminables. Des formes sphériques calcédonieuses sont probablement des spicules massifs de ce groupe.

La plupart des restes d'Eponges du tuffeau sont transformés en calcédoine; le canal est détruit.

Radiolaires. J'ai observé un certain nombre d'individus de conservation parfaite se rapportant au genre *Cenosphæra*.

Foraminifères. Ils comptent un ou deux représentants par section. Leur test est en opale et mince. J'ai reconnu *Textularia*.

Diatomées (fig. 2, *e*). Elles sont très répandues par places. J'en ai signalé l'existence en 1891 [1]. Les principaux genres sont :

Coscinodiscus.	*Stephanopyxis.*
Melosira.	*Triceratium.*
Synedra.	*Trinacria ?*
Podosira.	

3° **Ciment.** Les minéraux et organismes sont irrégulièrement distribués (Pl. V, fig. 2),

1. L. CAYEUX. De l'existence des Diatomées, etc., *Ann. Soc. G. N.*, vol. 19, pp. 131 et 132 et *C. R. Ac. Sc.* vol. 107, p. 969 (1891).

et le rôle réservé au ciment est variable d'un point à un autre d'une même préparation. Quand on examine avec de faibles grossissements les sections minces de ce tuffeau, on est tenté de réserver une place importante au ciment. L'emploi de forts objectifs montre que cette portion de la roche est en réalité pétrie d'une infinité de petits organismes et que la silice doit être considérée comme un élément accessoire.

Le ciment est gris jaunâtre et cryptocristallin. Il correspond au ciment *primordial* modifié des autres tuffeaux. La présence d'une forte proportion de silice isotrope y est évidente. La matière qui polarise et qui donne au ciment une apparence cryptocristalline est en partie de la calcédoine occupant la place de menus organismes ; elle présente des teintes vives et tranchées. Mais on voit de grandes plages caractérisées par des traînées d'une matière nuageuse dont les propriétés optiques rappellent beaucoup celles des pâtes felsitiques. Elles reproduisent avec autant de fidélité l'aspect de sections d'argile (argile plastique) dont le phénomène optique est faible, entre les nicols croisés.

Conclusions. Le tuffeau du Mont-des-Cats est une roche en grande partie organogène, essentiellement caractérisée par les Diatomées. C'est de tous les tuffeaux étudiés celui qui renferme le plus grand nombre d'Algues siliceuses. On peut l'appeler provisoirement un *tuffeau à Diatomées*.

B. Tuffeau (Argilite) de Piéton [1] (Belgique)

(Pic, de la carte géologique de Belgique)

(Pl. V, fig. 3).

Caractères lithologiques. Le tuffeau de Piéton présente les caractères d'une gaize. Il est tendre, gris, taché de noir par la glauconie. Par altération, il devient gris jaunâtre et même jaune ferrugineux. Sur sa cassure très inégale, on voit briller de nombreuses paillettes de mica blanc. Il happe fortement à la langue. Sa densité est plus élevée que celle des gaizes.

Etude micrographique. 1° *Minéraux*. De tous ses éléments constituants, ce sont les minéraux qui offrent le plus d'intérêt. Ils constituent plus de la moitié de la roche.

A. *Minéraux détritiques.* Le quartz (fig. 3, *a*) forme des grains non calibrés dont le plus grand nombre ont un diamètre moyen de $0^{mm}17$; quelques-uns atteignent $1^{mm}5$.

B. *Minéraux secondaires. Glauconie.* Son étude présente ici un intérêt tout particulier. Je mentionne sans insister l'existence de ce minéral sous forme d'enveloppe du quartz et du feldspath, à l'état de grains clivés relativement nombreux. Les éléments qui méritent une attention toute particulière se signalent en général par une très grande irrégularité de contours. Les plus volumineux sont très mamelonnés, capricieusement découpés (fig. 3, *b*), souvent profondément entaillés et fréquemment interrompus par des lacunes, parfois

1. Piéton se trouve sur la ligne de Mons à Charleroy, près de Morlanwelz.

nombreuses, occupées par de l'opale (fig. 3, *c*). Cette irrégularité de forme arrive à s'exagérer de telle sorte que certains grains ne sont en réalité que des traînées glauconieuses informes dont l'individualité est mal esquissée. La fig. 3 de la planche V montre la glauconie du tuffeau de Piéton sous forme de taches noires, mais elle n'en souligne que très imparfaitement les caractères. On trouve tous les intermédiaires dans cette roche depuis le simple point ou globule glauconieux jusqu'aux formes mesurant un millimètre et plus comme *b*, fig. 3, qui semblent résulter de la coalescence très incomplète de petits granules très irréguliers. Je reviendrai sur ce sujet au chapitre IV.

2° **Organismes.** Les Spongiaires ne sont représentés que par quelques bâtonnets simples et incomplets. Il est des préparations qui n'en montrent pas un seul vestige. De volumineuses sphérules calcédonieuses sont à rapporter à ce groupe et peut-être aux Radiolaires. Les Foraminifères font entièrement défaut. Les Diatomées sont assez fréquentes. Je signalerai entre autres formes :

Synedra.

Nitzschia.

3° **Ciment.** Il est formé de silice monoréfringente indifférenciée, imprégnée de matière argileuse. Il rappelle beaucoup le ciment des gaizes.

Le tuffeau de Piéton diffère de celui du Mont-des-Cats par la physionomie très particulière qu'affectent ses éléments glauconieux et par ses débris d'organismes moins nombreux. On peut le placer à la limite des tuffeaux quartzeux et des tuffeaux à Diatomées.

C. Grès lustré du Mont-Panisel (près Mons, Belgique)

(Pid, de la carte géologique de Belgique).

Conditions de gisement. Cette variété de tuffeau s'observe surtout à la colline du bois de Mons, au sud du Mont-Panisel proprement dit. Elle est connue à plusieurs niveaux. Le plus inférieur observé par Ortlieb et Chellonneix [1] forme un banc continu de 30-40^{cm} intercalé dans un sable gris jaunâtre glauconifère à grains moyens. Un autre supérieur au précédent repose sur une argile sableuse glauconifère. Il est très fossilifère et renferme entre autres formes *Pinna margaritacea* et *N. planulata.*

C'est une roche lustrée, très dure, sonore, à cassure légèrement conchoïdale et faiblement écailleuse. On y voit de nombreux petits points glauconieux.

ETUDE MICROGRAPHIQUE. En section mince cette roche à apparence de grès se présente comme un tuffeau quartzeux (type de Radinghem, par exemple) dont le ciment aurait été partiellement transformé en calcédoine.

1° **Minéraux.** Ils se touchent presque toujours, ne laissant pour le ciment que les espaces qui résultent de leur juxtaposition incomplète.

---

1. ORTLIEB et CHELLONNEIX, Op. cit., p. 170 et 171 (1870).

A. *Minéraux détritiques.* A côté des grains de quartz ordinaires mesurant $0^{mm}18$, il existe un grand nombre d'éléments composés. Ce sont tantôt des grains paraissant simples en lumière naturelle, mais se comportant comme des agrégats de quelques individus d'orientation différente ; tantôt et le plus souvent des grains composés formés de la réunion d'un grand nombre de particules quartzeuses, de petites paillettes de mica blanc et de matière amorphe. En lumière naturelle ces particules se signalent par la présence d'impuretés qui les rendent troubles, et très souvent par l'existence de glauconie encroûtant les éléments quartzeux de l'agrégat. C'est avec les feldspaths en voie de kaolinisation qu'ils présentent le plus d'analogie. Une pareille assimilation ne peut convenir aux grains — les plus nombreux — qui sont presque uniquement quartzeux et surtout à ceux qui sont composés de deux, trois ou quatre grands individus. Leur origine reste à déterminer.

B. *Minéraux secondaires. Glauconie.* La ressemblance du grès lustré avec les tuffeaux quartzeux landéniens est surtout évidente pour la glauconie. Le volume, la forme et la structure de ce minéral sont les mêmes dans les deux dépôts. On y retrouve la glauconie clivée (Pl. VI, fig. 4, 5 et 6) très polychroïque, plus fréquente encore que dans les tuffeaux landéniens ; les revêtements glauconieux de minéraux y abondent également. Elle entoure les petits individus quartzeux des agrégats et dessine ainsi à la surface des grains un réseau glauconieux à mailles irrégulières et inégales.

Les organismes paraissent faire absolument défaut.

2° **Ciment.** Il est tout entier en silice. Il enveloppe tous les minéraux d'une couche d'opale grise. Le revêtement peut être double et comporter une couche d'opale incolore directement appliquée sur les minéraux et une zone d'opale grise beaucoup plus réfringente. Les grains de quartz et de feldspath encroûtés de glauconie sont également pourvus de la double gaîne d'opale. La couche d'opale grise est finement mamelonnée à son bord externe ; elle l'est assez régulièrement pour que chaque mamelon corresponde à un demi globule parfaitement dessiné. Le reste du ciment est calcédonieux. En beaucoup de points, la cristallisation de la silice est moins avancée et l'on observe des grappes de globules dans les espaces qui séparent les minéraux et au sein de la calcédoine. Il est bon de remarquer que cette différenciation de la silice en sphéroïdes est exceptionnelle pour les tuffeaux, et. que la roche du Mont-Panisel est la seule qui en montre un développement aussi étendu. La composition du ciment permet d'expliquer l'aspect particulier du tuffeau gréseux du Mont-Panisel : ce sont les lamelles de calcédoine appliquées sur les éléments clastiques qui ont déterminé l'état cristallin et l'apparence lustrée de la roche.

Le ciment du grès lustré est *secondaire* au même titre que celui de presque tous les tuffeaux quartzeux landéniens. Ce grès a son point de départ dans un sable privé à l'origine de toute espèce de ciment.

Le tuffeau du Mont-Panisel peut être défini *un grès à ciment siliceux formé d'opale et*

de calcédoine avec prédominance de cette dernière substance. Il rentre dans la catégorie des tuffeaux quartzeux.

III. RÉSULTATS GÉNÉRAUX DE L'ÉTUDE DES TUFFEAUX. CONCLUSIONS

Les faits généraux mis en évidence dans le cours de ce chapitre sont les suivants :

1° **Minéraux**. On rencontre toutes les variétés de tuffeau, depuis celle où les minéraux forment à eux seuls presque la totalité de la roche (Lille, Radinghem, Douai, Mont-Panisel, etc.), jusqu'aux spécimens où les microorganismes tiennent le premier rang. Le terme ultime de la série est réalisé par le tuffeau d'Orp-le-Grand, à facies de silex presque dépourvu d'éléments détritiques.

A. *Minéraux détritiques*. Le quartz vient en première ligne. On trouve ensuite par ordre de fréquence : Orthose, magnétite, zircon, tourmaline, rutile, feldspaths, mica blanc, disthène, staurotide, anatase, amphibole, brookite, grenat, chlorite, corindon et mica noir.

B. *Minéraux secondaires*. La *glauconie* est le seul minéral intéressant de cette catégorie. La présence du phosphate de chaux est exceptionnelle.

La glauconie est presque toujours un élément essentiel des tuffeaux. Ses manières d'être sont nombreuses. En voici les principales :

a. Grains de forme générale arrondie. Ils occupent de beaucoup la première place parmi les éléments glauconieux.

b. Grains clivés paraissant correspondre à la plus grande différenciation de la glauconie.

c. Grains mamelonnés, à contours très découpés, paraissant parfois se décomposer en particules élémentaires mal agrégées ou même indépendantes. Ils sont d'apparence concrétionnée (Angre, Piéton, etc.).

d. Elle forme une sorte d'encapuchonnement à de nombreux éléments de quartz et de feldspath et pénètre dans les clivages de ces derniers. Je fais rentrer dans cette catégorie la glauconie à inclusions quartzeuses.

e. Elle constitue des taches à contours mal définis faisant corps avec le ciment.

f. Elle est en relation fréquente avec les organismes tels que Spongiaires et exceptionnellement avec les Foraminifères (Tournay, Lincent).

Les différentes propriétés de ce minéral seront décrites avec tous les détails qu'elles comportent dans l'étude monographique de la glauconie (Chap. IV).

2° **Organismes**. De nul qu'il est dans les tuffeaux très quartzeux (grès lustrés du Mt-Panisel), le rôle des organismes devient quasi prépondérant dans les variétés où les éléments détritiques sont presque relégués au second plan.

Mollusques. Ils n'interviennent guère sous forme de débris microscopiques que dans les tuffeaux calcaréo-siliceux (Orp-le-Grand, Lincent).

Spongiaires. Les spicules d'Eponges ont eu tellement à souffrir de l'activité mécanique des eaux qu'il est impossible de pousser bien loin leur étude. Ce groupe est représenté dans la très grande majorité des tuffeaux. Les spicules ne manquent d'une façon absolue que dans ceux du Mt-Panisel et de Morlanwelz. Ils deviennent assez nombreux dans certaines variétés pour en être considérés comme caractéristiques. Les bâtonnets qui se réfèrent aux Spongiaires d'une façon certaine sont remarquables par leurs grandes dimensions et leur forme robuste. Les spicules monoaxes sont les plus fréquents. Les uns sont de taille considérable ; les autres sont de forme très exiguë et pullulent dans les tuffeaux à Diatomées (Baisieux, Mont-des-Cats). L'attribution de ces derniers aux Spongiaires ne peut se faire qu'avec réserve.

Les spicules multiradiés sont rares. Ce sont surtout des formes de *Tetractinellidæ*. Les *Lithistidæ* et les *Hexactinellidæ* ne peuvent être mentionnés que pour mémoire. L'existence de ce dernier groupe dans des dépôts littoraux mérite d'être particulièrement soulignée.

Vu l'état de conservation des spicules, il est impossible d'affirmer l'existence des *Monactinellidæ*, et encore moins de fixer le rôle qu'ils ont pu jouer.

Radiolaires. Ils existent dans plusieurs tuffeaux. Leurs formes se rapportent aux *Sphæroidea* et aux *Prunoidea*. Elles sont remarquables dans leur ensemble par le peu de variété qu'elles présentent.

Foraminifères. Si on laisse de côté les tuffeaux calcaréo-siliceux qui paraissent faire absolument défaut dans le Nord de la France, on peut dire que le rôle des Foraminifères est nul dans la série des échantillons étudiés. La grande majorité des sections minces n'en renferment pas un seul, et quand ces organismes atteignent leur maximum de fréquence, on ne les trouve qu'à raison de deux ou trois par préparation. Ils sont toujours silicifiés. Le tuffeau siliceux de Morlanwelz fait exception à cette règle, puisqu'il dérive en grande partie de Nummulites brisées, roulées et silicifiées.

Il semble que les Foraminifères n'apparaissent et ne se développent qu'en Belgique, en s'avançant du sud au nord : Ainsi, tandis qu'ils manquent dans les tuffeaux quartzeux du Nord et de Lille en particulier, on les trouve dans celui de Tournay. Dans les tuffeaux calcaréo-siliceux de Belgique, les Rhizopodes calcaires se multiplient notablement. En aucun cas, ils ne forment l'élément essentiel de la roche. Ce sont en général des organismes de grande taille et pourvus d'un test épais.

Diatomées. Le règne végétal a fourni une contribution assez importante à la faune microscopique de certains tuffeaux. J'ai signalé pour la première fois l'existence de ces Diatomées en 1891, en appelant particulièrement l'attention sur quelques genres — tous marins — tels que *Triceratium, Synedra* et *Coscinodiscus*. Comme ces Diatomées sont emprisonnées dans des roches siliceuses généralement assez dures et qu'elles n'ont pu être

isolées, les déterminations spécifiques sont rendues impossibles, et nombre de formes sont restées indéterminées. Les plus fréquentes sont :

Coscinodiscus	*Podosira*	*Melosira*	*Stephanopyxis*
Synedra	*Triceratium*	*Nitzschia*	*Trinacria?*

Ces genres sont marins et *vivent encore de nos jours. Ce sont les seules Diatomées marines fossiles qui soient connues en France* en dehors des rares formes que je signalerai plus loin dans la craie et de celles des gaizes.

La part que ces Algues prennent à la constitution des tuffeaux est très variable suivant la nature même de ces roches. Elles n'existent en toute certitude que dans les types exclusivement siliceux. Ceux qui sont très riches en éléments détritiques en sont complètement dépourvus ou n'en renferment que dans les plages réservées au ciment. Elles caractérisent au premier chef les tuffeaux d'Angre, de Baisieux et du Mont-des-Cats ; leur maximum de fréquence correspond à la plus grande extension du ciment siliceux.

3° **Ciment**. La place qu'il occupe varie naturellement en raison inverse du développement des minéraux et des organismes. Lorsqu'elle paraît très notable dans les tuffeaux siliceux, le rôle qui est dévolu, en réalité, aux éléments inorganiques est secondaire. Aux plus faibles grossissements, ces roches se décomposent en minéraux et en volumineux débris organiques agglutinés par une substance grise ou brunâtre qui est le ciment. Si l'on soumet celui-ci à une analyse microscopique minutieuse, on reconnaît qu'il comporte dans la majorité des cas une infinité de menus restes organiques tels que spicules, Diatomées qui ne peuvent être groupés sous la rubrique ciment proprement dit et qui diminuent considérablement l'importance de ce dernier. On peut dire que dans beaucoup de tuffeaux siliceux pauvres en minéraux, le rôle du ciment, restreint à la matière inorganique, n'est guère plus marqué que dans ceux où la silice se borne à combler les vides que laissent entre eux les minéraux incomplètement juxtaposés. Dans les variétés calcaréo-siliceuses le ciment ainsi compris peut devenir prépondérant (Lincent).

Considéré au point de vue de sa composition minérale, le ciment se présente de trois façons différentes. A. Il est exclusivement siliceux dans la plupart des tuffeaux quartzeux. B. Il est formé de silice additionnée de matière argileuse. C. Il est calcaréo-siliceux ou même presque exclusivement calcaire dans quelques échantillons de Belgique.

La variété de silice qui prédomine dans le tuffeau siliceux est l'*opale*. Elle ne présente aucune différenciation sauf pour le tuffeau quartzeux du Mont-Panisel, où j'ai signalé la présence de silice globulaire. La calcédoine est très rare. Elle est développée en grandes plages où elle existe à l'exclusion de la silice monoréfringente dans les tuffeaux de Bouchavesnes et d'Orp-le-Grand (« silex »). Elle y donne naissance

à des *cherts*. Elle est intimement associée à l'opale dans ceux du Mont-Panisel et de Morlanwelz.

La matière argileuse se présente avec les mêmes caractères que dans la gaize Elle n'existe pas dans tous les tuffeaux. Dans ceux où on la rencontre, elle joue un rôle qui est bien moins important que dans la gaize.

Dans les tuffeaux calcaréo-siliceux le ciment exclusivement calcaire à l'origine est interpénétré d'opale dans les plages où il reste du carbonate de chaux. Quand cette dernière substance a disparu, la place en est occupée par de la calcédoine (Orp-le-Grand). Enfin la roche a parfois conservé son ciment calcaire presque intact ; ses éléments ont subi un léger commencement de dissolution mais cette perte a été compensée par l'addition d'un peu d'opale qui sert pour ainsi dire de trame à la roche. C'est le cas du tuffeau de Lincent.

Composition chimique des tuffeaux. Le tableau suivant résume la composition chimique de cinq échantillons représentant plusieurs des catégories de tuffeaux que j'ai distinguées.

1. Tuffeau d'Angre ; 2. Tuffeau de Bouchavesnes ; 3. Tuffeau de Morlanwelz ; 4. Tuffeau de Lincent ; 5. Tuffeau du Mont-des-Cats.

	1	2	3	4	5
Silice soluble dans la potasse	26 } 80.6	18.7 } 93.7	27 } 78.6	11 } 42	18.4 } 85
Silice insoluble	54.6	75	51.6	31	66.6
Alumine	5.2	2.3	6	5.4	1.3
Peroxyde de fer	7.2	2.4	5	3.2	4.6
Chaux	» »	» »	» »	27.5	» »
Perte par calcination	6.6	1	10.2	21.6	9
Totaux.	99.6	99.4	99.8	99.7	99.90

Il ne figure dans ce tableau aucun spécimen des variétés très quartzeuses ; par cela même qu'elles confinent au grès, l'intérêt qui s'attache à leur composition chimique n'est que très médiocre.

L'étude comparée de ces résultats met en évidence plusieurs faits dont les principaux sont :

1° La chaux est absolument exclue des roches considérées, à l'exception de celle de Lincent, improprement désignée sous le nom de tuffeau.

2° La proportion de silice soluble dans les alcalis est très élevée ; dans les tuffeaux proprement dits elle est sensiblement la même que celle des gaizes typiques qui sont cependant plus pauvres en minéraux clastiques que tous les tuffeaux siliceux de ce tableau.

3° La quantité de silice totale varie sensiblement entre les mêmes limites que dans les gaizes typiques.

4° La teneur en alumine est parfois très notable.

Distinction d'un ciment primordial et d'un ciment secondaire. J'ai déjà fait pareille distinction à propos de la Meule de Bracquegnies. Elle est ici plus tranchée. La

plupart des tuffeaux quartzeux étaient dépourvus de ciment à l'origine. En ce cas particulier, la roche dérive d'un sable dont les éléments ont été agglutinés ultérieurement par un ciment exclusivement siliceux, que j'ai qualifié de *secondaire*. C'est un *ciment de remplissage* qui a comblé les vides des sables. Sa présence n'est nullement nécessaire pour assurer l'équilibre des minéraux et des organismes.

Tous les autres tuffeaux caractérisés par la non-juxtaposition de leurs éléments constitutifs ont été pourvus d'un ciment sur le fond même de la mer. J'ai donné à ce ciment, qui n'a jamais conservé sa composition originelle, le nom de ciment *primordial*. Contrairement au premier, sa présence était indispensable pour que les minéraux et organismes, séparés par des espaces plus ou moins grands, puissent conserver la position qu'ils ont maintenant dans la roche. C'est un *ciment de soutènement*. On verra plus loin qu'il est *épigénique*.

Le passage d'une catégorie de tuffeau à l'autre se fait par l'intermédiaire de tuffeaux quartzeux présentant de-ci, de-là des îlots microscopiques, ou visibles à l'œil nu, caractérisés par l'existence d'un ciment primordial, alors que tout le reste de la roche en était dépourvu.

Etat originel du ciment primordial des tuffeaux. La composition actuelle des tuffeaux à ciment primordial permet de les grouper en trois catégories : 1° tuffeaux dont le ciment calcaire à l'origine a conservé la même composition. Exemple : calcaire de Lincent; 2° tuffeaux dont le ciment calcaire à l'origine est en partie silicifié. Ex. : calcaire calcédonieux d'Orp-le-Grand; 3° tuffeaux exclusivement siliceux dont la composition primitive reste à fixer. Seule, la genèse du ciment siliceux ou calcaréo-siliceux va retenir notre attention.

Tuffeau calcaréo-siliceux (calcaire calcédonieux). Une partie de la silice qu'il renferme lui a été fournie par des organismes siliceux dont on trouve des vestiges dans la roche même. La silice s'est substituée aux organismes calcaires, et celle — beaucoup plus abondante — qui épigénise partiellement le calcaire a été apportée. J'ai noté la présence, dans le calcaire de Lincent, de nombreux vides correspondant à la disparition de restes de Spongiaires et de Radiolaires (?). Si ces vides se répètent avec la même fréquence sur une certaine épaisseur, les organismes qui les occupaient ont été une source considérable de silice. La silicification correspondrait au déplacement et à la concentration de la silice disséminée dans toute l'étendue du calcaire. Le phénomène a dû se produire longtemps après le dépôt de la roche, et lorsque celle-ci avait déjà acquis une assez grande cohérence, puisque l'empreinte des organismes détruits n'a pas subi la moindre déformation.

Tuffeaux à ciment de silice et d'argile. Le ciment de ces tuffeaux a-t-il toujours eu la même composition qu'aujourd'hui ou n'est-il que le produit d'une épigénie par la silice d'un ciment originellement en grande partie calcaire ? C'est la dernière hypothèse qui est la vraie. Il n'est pas rare qu'en multipliant les préparations de tuffeaux qui

paraissent absolument dépourvus de calcaire, on rencontre des traces de cette substance dans des conditions qui établissent, sans aucun doute, que le carbonate de chaux a été beaucoup plus répandu dans ces roches. J'ai noté deux exemples de cette manière d'être qui sont particulièrement instructifs. Le tuffeau de La Fère a conservé des vestiges de carbonate de chaux, et cependant il n'existe pas le moindre reste d'organisme calcaire dans le ciment. Celui de Bouchavesnes m'a fourni une seule préparation avec un peu de carbonate de chaux ; les autres sections en sont absolument dépourvues bien qu'elles soient composées de même façon, au point de vue minéral et organique. L'analyse chimique de ce tuffeau n'a révélé aucune trace de cette substance. Le calcaire n'existe donc que d'une façon tout à fait accidentelle. Les microorganismes à test calcaire n'ont pas un seul représentant dans ce dépôt.

On peut conclure de ces deux observations que l'absence absolue de restes organiques calcaires n'implique pas l'exclusion du carbonate de chaux dans le ciment des tuffeaux. Ce point étant établi et l'état de conservation et la distribution des paillettes calcaires démontrant qu'elles ne sont que des témoins d'une formation beaucoup plus étendue à l'origine, on peut admettre sans hésitation que *le ciment primordial des tuffeaux* comme celui de certains échantillons de Bracquegnies et des gaizes *était très riche en calcaire dès le principe, et que cette substance a disparu pour faire place à la silice.* Les preuves de ce phénomène de substitution ne manquent pas. Je mentionnerai notamment la silicification du test des Mollusques du tuffeau quartzeux de Lille et celle, beaucoup plus générale, des coquilles de Foraminifères (Tournay, etc.).

Pluralité d'origine de la silice du ciment des tuffeaux. Il reste maintenant à rechercher l'origine de la silice qui a déplacé le carbonate de chaux du ciment primordial et qui a donné naissance au ciment secondaire. Ce que j'ai dit à propos de la genèse du ciment des gaizes me dispense de consacrer de longs développements à cette question. J'admets que la silice du ciment du tuffeau peut avoir trois origines différentes :

Première source. Genèse de la silice par dissolution des organismes siliceux sur le fond de la mer. Les tuffeaux quartzeux issus d'un *sable inorganique* essentiellement littoral, n'ont probablement reçu aucune contribution de silice de cette source. Il est vrai qu'on peut toujours supposer que le dépôt renfermait des dépouilles d'organismes siliceux et qu'elles ont été entièrement détruites sur le fond de la mer. Pour les tuffeaux à spicules d'Eponges, Radiolaires et Diatomées, rien ne s'oppose à ce que la silicification ait commencé au cours de la sédimentation comme pour la gaize.

Deuxième source. Décomposition de la matière argileuse. Les preuves de la disparition de la matière argileuse avec différenciation et cristallisation de la silice sont beaucoup plus rares que dans les gaizes. C'est le tuffeau cherteux de Bouchavesnes qui en fournit la meilleure. L'argile fait partie intégrante de tous les tuffeaux à ciment primordial. Elle a probablement été mise à contribution par les Diatomées qui ont pu en extraire de la silice

pour former leurs cuirasses. Il se peut aussi, et conformément aux vues de MM. Murray et Irvine, que l'acide silicique en ait été séparé bien avant la consolidation de la roche, sous l'influence des sulfures alcalins formés aux dépens des sulfates alcalins par l'action de la matière organique en décomposition. Comme dans les gaizes *l'argile a toujours été éliminée des plages les plus siliceuses* et par conséquent des parties calcédonieuses. Il n'y a aucune exception à cette règle.

Troisième source. Intervention des dépôts supérieurs aux tuffeaux J'ai insisté tout particulièrement sur ce fait en décrivant le mode de gisement des tuffeaux qu'ils ne constituent pas des dépôts autonomes, mais qu'ils sont subordonnés à des sables dont ils ne sont qu'une manière d'être accidentelle. On peut s'assurer en se reportant à ce que j'ai dit de la composition des étages landénien (thanétien) et yprésien que les tuffeaux sont surmontés par des formations sableuses. Je considère comme infiniment probable que les sables supérieurs aux tuffeaux ont été une source de silice pour ces roches. Ils ont pu intervenir de deux façons soit par leurs organismes soit par leurs minéraux. On peut supposer qu'à l'origine les dépouilles d'organismes siliceux n'étaient pas exclusivement cantonnées aux niveaux marqués pour être tranformés en tuffeaux, et qu'il s'en trouvait au moins quelques-unes dans les sables. Or, la circulation des eaux a toujours été beaucoup plus active dans le sable que dans les zones destinées à devenir cohérentes, lesquelles zones étaient le plus souvent pourvues d'un ciment primordial calcaréo argileux faisant obstacle au mouvement rapide des eaux. Pour cette raison, je crois que la silice des organismes disséminés dans le sable a été mise en solution et précipitée ensuite dans les points où se trouvaient réunis d'innombrables organismes siliceux agglutinés par un ciment calcaréo-argileux relativement peu perméable.

Je crois également que les minéraux des sables ont contribué à la métamorphose du ciment primordial. Les eaux qui traversent les terrains arénacés dans lesquels on n'observe aucune trace de silice organique se chargent néanmoins de silice. Cette substance est susceptible de se précipiter dans un milieu minéral identique à celui dont elle est issue pour donner naissance à des *grès*. C'est l'origine de beaucoup de grès tertiaires du Bassin de Paris. Deux éléments interviennent comme source de silice. Ce sont le *quartz* et le *feldspath*. Le quartz fournit de la silice par corrosion superficielle et le feldspath par altération. Il n'y a pas de grains de quartz des sables landéniens et yprésiens dont dépendent les tuffeaux qui ne présentent de traces de dissolution, si faibles qu'elles soient. D'autre part, les feldspaths tiennent dans ces sables une place qui n'est nullement négligeable. L'altération qu'ils ont subie a été une source de silice.

Je rappellerai à ce sujet que M. J. Sollas a expliqué la silicification des coquilles des couches de Blackdown par l'action de la silice provenant de la dissolution de sables de cette formation sous l'influence de l'eau contenant de l'acide carbonique.

La silice ainsi empruntée soit aux organismes, soit aux minéraux, a rempli les vides

des sables qui ont été transformés en tuffeaux à ciment secondaire ; le plus souvent elle s'est substituée au carbonate de chaux de la boue calcaréo-argileuse qui reliait les minéraux et organismes.

En résumé, *la silicification des tuffeaux serait le résultat de la coopération des organismes et des minéraux siliceux*. Dans les cas des tuffeaux quartzeux à ciment secondaire qui forment minorité, rien ne prédestinait les sables dont ils procèdent à une silicification ultérieure. Il en est tout autrement pour les tuffeaux à ciment primordial qui dérivent de sables, riches en débris d'organismes siliceux, constituant de nombreux centres attractifs pour la silice en solution dans l'eau circulant dans le dépôt,

Je n'ai noté aucun exemple de dissolution d'organismes siliceux dans les tuffeaux siliceux. Ce n'est que dans le calcaire de Lincent que j'ai observé des vides dus à la disparition de vestiges d'organismes à squelette siliceux. J'ai examiné un assez grand nombre d'échantillons pour être autorisé à conclure que c'est le cas général. L'élaboration de toute la silice de ces tuffeaux se serait donc faite en dehors des couches transformées en tuffeau. Il y a de ce chef une notable différence avec les gaizes.

Durée de la formation et de la métamorphose du ciment. Il est toujours extrêmement difficile d'apporter quelque précision dans la solution d'une pareille question. Je fais commencer la silicification pendant le dépôt même des couches qui ont servi à former le tuffeau. J'admets comme pour la gaize qu'elle a dû se continuer pendant un temps très long et qu'elle s'est poursuivie après l'émersion du Tertiaire du Nord de la France.

Silice globulaire et calcédoine. J'ai déjà fait remarquer que ces deux formes de silice sont très rares dans le tuffeau. Le fait qu'elles sont *également* peu développées est à l'appui de l'opinion que j'ai formulée à propos des gaizes, c'est-à-dire que ce sont des productions datant de la même période de transformation du dépôt. Ici encore *la présence de l'opale mamelonnée implique celle de la calcédoine*. En aucun cas je n'ai observé d'opale hyalitique formée de perles siliceuses indépendantes. Je ne sais à quoi attribuer la rareté de ces éléments. Je rappelle que MM. Jukes-Browne et W. Hill inclinent à penser que la destruction des spicules du Lower-Chalk du Berkshire et du Wiltshire est liée à la formation des nodules calcédonieux. Cette vue serait ici corroborée par deux faits : grande rareté de la calcédoine et absence de vides dus à la disparition des spicules.

Des réformes qu'il convient d'opérer dans la désignation des roches du groupe du tuffeau. Le grand reproche que l'on peut élever contre l'emploi du vocable tuffeau, étendu à toutes les roches réunies sous cette rubrique, c'est qu'il s'applique à un groupe de termes qui ne constituent pas une famille naturelle. Telle de ces roches est un produit presque exclusif de l'activité mécanique, telle autre est en grande partie d'origine organique. Celle-ci ne renferme pas un atome de carbonate de chaux ; celle-là est un calcaire presque pur. On appelle donc également tuffeau des roches qui renferment plus de 90 % de silice ou qui sont essentiellement calcaires. Il est clair que cela prête à confusion.

Une autre raison milite avec non moins de force pour l'abandon de ce mot ; c'est qu'il est employé pour nommer des roches d'âge très différent qui sont loin de réaliser l'identité lithologique avec les roches tertiaires étudiées dans ce travail : le « tuffeau de Touraine » est calcaréo-siliceux ou calcaire et ne renferme qu'une très faible proportion d'éléments clastiques ; le « tuffeau de Maëstricht » et ceux du Crétacé supérieur des environs de Mons sont des dépôts éminemment calcaires. Ces terrains ne rappellent à aucun titre les formations tertiaires qui ont reçu le même nom.

La nomenclature employée par Dumont pour désigner les roches de la famille du tuffeau (*psammite, argilite, macigno* avec sous-divisions) tenait compte jusqu'à un certain point des différences de composition indiquées plus haut. Il ne serait peut-être pas impossible de conserver cette terminologie en précisant et complétant la définition de chacun des groupes par des données micrographiques. Il y a à cela de multiples inconvénients.

1° Certain de ces termes, *psammite*, est aujourd'hui employé dans un sens différent de celui de Dumont et beaucoup plus restreint que celui de Haüy. En France, on réserve le nom de psammite à des grès très micacés chez lesquels le mica est réparti sur des plans uniformes ; la roche est fissile et tabulaire. Haüy considérait le psammite comme une association de quartz (8-9/10 de la masse) avec de l'argile proprement dite, le tout consolidé par un ciment siliceux. C'est le *grès quartzeux argilifère* de Cordier (1). Ce terme avec son acception française actuelle a le rare mérite d'être d'une application facile ; on ne pourrait le faire servir à désigner d'autres roches — qui en sont très différentes à tous les points de vue — sans augmenter encore la confusion qui règne dans la nomenclature des roches sédimentaires.

2° *Argilite* et *Macigno* ont reçu une large application en Belgique. Malgré l'emploi aussi judicieux que possible qu'en ont fait nos confrères belges, il faut convenir qu'ils disent fort peu de chose à l'esprit des géologues qui n'ont pas l'habitude d'en user. Ce qui est plus grave à mes yeux, c'est que la définition de ces termes peut varier suivant les auteurs, et qu'on peut les utiliser pour nommer des roches bien différentes.

Cordier fait de l'*argilite* le synonyme d'*argile durcie* et la définit « Roche à pâte fine, ayant la même composition que l'argile, mais cimentée et endurcie par une surabondance d'hydrate de silice ». Il ajoute comme « parties accidentelles » le quartz, le mica et l'oxyde de fer [2].

Pour d'Omalius d'Halloy « l'argilite est une roche à base d'apparence simple, principalement composée de silice, d'alumine et d'eau dans des proportions variables ». Elle est « quelquefois *quartzifère, chloritée, ferrifère, calcarifère* [3] ».

Il importe de remarquer que l'argile considérée comme un élément caractéristique de

1. CORDIER. Op. cit., p. 222 (1868).
2. CORDIER. Op. cit., p. 278 (1868).
3. D'OMALIUS D'HALLOY. Abrégé de Géologie, 7e éd., p. 180 (1862).

l'argilite est tout à fait accessoire dans les tuffeaux dont j'ai donné la composition chimique, et notamment dans « l'argilite de Morlanwez ». (Voir les teneurs en alumine indiquées dans le tableau p. 145).

Argilite ne convient à aucune des roches précédemment étudiées. Il n'en est aucune qui soit à base d'argile.

D'Omalius considère le *macigno* comme « une roche à base composée de grès, d'argile et de calcaire ». Il est pour lui synonyme de *grès argilo-calcarifère* et de *molasse* [1]. Cordier donne au macigno un ciment de « marnolite » (marne durcie), et signale la présence du quartz (1/2 de la masse) et du feldspath (jusqu'à 1/4) [2]. Voici donc un élément, le feldspath, qui peut concourir à la formation du macigno dans la proportion de *un quart*, et que d'Omalius ne mentionne pas dans cette roche.

Je pourrais multiplier les définitions empruntées à des géologues différents et montrer mieux encore qu'il est préférable de renoncer à l'emploi de ces vocables, y compris tuffeau appliqué aux roches étudiées dans ce travail. Ils pèchent soit par le vague de leur définition, soit par le désaccord des auteurs sur l'extension qu'il convient de leur donner, soit enfin parce qu'ils ne sont intelligibles que pour un petit nombre de naturalistes. Ils surchargent, compliquent ou faussent la nomenclature des dépôts sédimentaires. On peut les en rayer sans qu'il soit nécessaire de créer de nouveaux noms pour en tenir la place. La terminologie actuelle privée de ces vocables offre assez de ressources pour définir, sans ambiguïté, les différents types pétrographiques auxquels ils correspondent.

Répartition des roches étudiées dans ce chapitre entre les groupes grès, gaize et calcaire. Les tuffeaux, psammites, argilites, macignos rentrent dans l'un des trois groupes de roches suivantes : *grès, gaize, calcaire.*

1° J'appelle *grès* tous les tuffeaux siliceux dépourvus d'organismes siliceux ou qui n'en renferment que de très rares vestiges.

Les grès équivalents des tuffeaux étudiés sont à ciment siliceux. Suivant la nature de la silice du ciment siliceux, on peut les diviser en grès *quartzeux*, grès *calcédonieux* et grès *opalifère*. La première catégorie est inconnue dans la série des dépôts considérés dans ce chapitre.

Les *grès opalifères* correspondent aux grès avec *isotropem Bindemettel* d'Otto Lang [3], aux grès avec *Opalcäment* ou *Opalbindemittel* de Klemm [4], aux grès à *Cäment amorphe Kieselsäure* de R. Pöhlmann [5] ou encore aux *Opalsandstein* de Zirkel [6].

---

1. D'OMALIUS d'HALLOY. Op. cit., p., 152 (1862).
2. CORDIER. Op. cit., p. 224 (1868).
3. OTTO LANG. Ueber Sedimentär-Gesteine etc., *Zeits. d. deutsch. Geol. Ges.*, vol. 33, pp. 234-235 (1881).
4. KLEMM. Mikr. Unters., etc., id., vol. 34, pp. 783 (1882).
5. R. PÖHLMANN. Gesteine aus Paraguay, *Neues Jahrb. für Min.*, vol. 1, p. 246 (1886).
6. F. ZIRKEL. Lehrb. d. Petrog., vol. 3, p. 724 (1894).

Je propose les équivalences suivantes :

Grès opalifère (Douai, Lille, Radinghem, etc.) = Tuffeau quartzifère.

Grès calcédonieux, lustré (Mt-Panisel) = Tuffeau, psammite, grès lustré.

2° Je réserve le nom de *gaize* aux tuffeaux siliceux qui renferment des dépouilles d'organismes siliceux en notable proportion. Tels sont les tuffeaux à Spongiaires, à Radiolaires et à Diatomées, c'est-à-dire la majorité des tuffeaux étudiés. Ces roches renfermant toujours plus de 50 % de minéraux détritiques sont toutes à rapporter à la variété de gaize que j'ai appelée *quartzeuse*.

Considérées au point de vue du ciment, les gaizes équivalentes aux tuffeaux sont :

A. *Opalifères*. C'est le plus grand nombre. Ex. : tuffeaux d'Angre, Baisieux, Bouchavesnes (*pars*), Malincourt, Mont-des-Cats et Tournay.

B. *Calcédonieuses*. Ex. : tuffeau de Bouchavesnes (*pars*).

3° Le tuffeau de Lincent et le tuffeau calcaréo-siliceux d'Orp-le-Grand sont des calcaires. Le dernier est un calcaire calcédonieux.

Les accidents siliceux de ces différents dépôts sont des *cherts*. Ils n'ont fourni jusqu'ici aucun silex proprement dit.

En résumé, je ramène toutes les roches landéniennes (thanétiennes) et yprésiennes connues sous les noms de tuffeaux, grès, psammites, macignos, argilites, à des modalités différentes des grès, des gaizes et des calcaires. On peut en multiplier à volonté les variétés suivant les particularités minérales et organiques qui les distinguent : Leur trait pétrographique dominant reste toujours en vedette.

La terminologie des roches siliceuses se trouve ainsi notablement simplifiée, ces roches reçoivent des appellations plus conformes à leur composition, ayant partout un sens nettement défini et qui leur servent en même temps de diagnostic sommaire.

Résumé et Conclusions. Des trois agents qui ont concouru à la formation des tuffeaux, l'*activité dynamique* a été généralement prépondérante dans les variétés siliceuses (grès et gaizes quartzeuses). On lui doit le transport de nombreux éléments détritiques et la fragmentation des débris organiques qui les accompagnent.

L'*activité physiologique* a laissé des traces dans tous les dépôts considérés. Les microorganismes siliceux ont pris une part variable et souvent très grande à leur élaboration.

Il faut rapporter à l'*activité chimique* la genèse du ciment siliceux, la destruction de la matière argileuse, les métamorphoses ou la dissolution de la silice des organismes, la silicification des coquilles calcaires, l'origine de la glauconie qui tient ordinairement une grande place dans ces roches et enfin la genèse des nodules cherteux.

La part qui revient aux agents de transport dans les tuffeaux calcaires est beaucoup moins importante. Les microorganismes calcaires se substituent aux organismes siliceux (Spongiaires non compris). Quant aux manifestations de l'activité chimique, elles sont

moins apparentes et ne revêtent le même degré de complexité que lorsque le ciment calcaire a subi un commencement de silicification.

Comparaison du tuffeau avec la gaize typique et la meule de Bracquegnies. 1° *Rapports avec la gaize typique.* J'ai noté plus haut le fait que certaines gaizes albiennes et cénomaniennes de la région de Rethel présentent une grande analogie *pétrographique* avec des tuffeaux à volumineux grains de glauconie. Cette analogie se retrouve dans les caractères microscopiques; le tuffeau de Tournay (= gaize quartzeuse opalifère à spicules d'Eponges) rappelle plus particulièrement les gaizes en question.

Au point de vue *minéral*, les tuffeaux siliceux se distinguent toujours des gaizes typiques par la plus grande richesse en éléments de transport. Chez ces dernières la somme des particules détritiques est au maximum de 50 %; dans les tuffeaux, cette proportion est toujours dépassée, même dans les échantillons les plus pauvres en minéraux de transport C'est pour cette raison que j'ai considéré comme *gaizes quartzeuses* tous les tuffeaux que je fais rentrer dans le groupe de la gaize.

Au point de vue *organique*, les tuffeaux essentiellement quartzeux s'écartent considérablement des gaizes typiques. Ce sont des grès. Toutes les autres variétés siliceuses — beaucoup plus répandues que les premières — s'en rapprochent beaucoup par leurs organismes à squelette siliceux et par la grande rareté des dépouilles de microorganismes calcaires.

En ce qui concerne le *ciment*, on ne peut comparer à la gaize typique que les tuffeaux à ciment originel. Ceux qui en sont abondamment pourvus, comme celui de Piéton, en sont très voisins. Les variétés qui correspondent à des sables agglutinés par un ciment secondaire sont très distantes de la gaize. Elles rentrent dans la famille du grès.

L'analyse chimique révèle une parenté étroite entre les deux groupes de roches. La proportion de silice soluble dans les alcalis est sensiblement la même dans les tuffeaux que dans les gaizes et la silice totale correspond à la proportion que l'on rencontre dans les gaizes qui en sont les plus riches.

En somme, l'histoire des tuffeaux siliceux présente beaucoup de traits communs avec celle des gaizes typiques. Les agents qui ont présidé à la genèse de ces dépôts sont en grande partie les mêmes. Les différences qui les séparent sont dues à des conditions plus littorales qui ont multiplié les éléments clastiques dans les tuffeaux siliceux, déterminé la formation de niveaux sableux et laissé moins de place à l'élément argileux. *La gaize procède d'une boue calcaréo-siliceuse et argileuse. Le tuffeau a souvent la même origine, mais il dérive parfois d'un sable pur.*

2° *Rapports avec la meule de Bracquegnies.* Considérée dans son ensemble, la meule de Bracquegnies rappelle trait pour trait certains tuffeaux siliceux : La meule quartzeuse est équivalente au tuffeau quartzeux. Les variétés spéciales à Spongiaires et à Radiolaires

correspondent aux tuffeaux qui présentent la même composition minérale et organique. Je les rattache au groupe de la gaize comme ces derniers. La proportion de minéraux détritiques de la meule de Bracquegnies est généralement très supérieure à 50 % comme dans les tuffeaux siliceux. Ces dépôts diffèrent dans beaucoup de cas, par le ciment qui est presque toujours secondaire dans la meule et le plus souvent primordial dans le tuffeau. Les conditions de formation de la meule de Bracquegnies sont beaucoup plus voisines de celle des tuffeaux siliceux que de celles de la gaize typique.

APERÇU GÉNÉRAL SUR LES ROCHES SILICEUSES ; ROLE DES ORGANISMES SILICEUX DANS LA NATURE

La gaize considérée comme type d'une famille naturelle de roches siliceuses. Avant de fixer les grands traits de la classification des roches étudiées dans la première partie de ce mémoire, je voudrais rappeler l'insuffisance notoire de la terminologie actuelle en ce qui touche les dépôts siliceux ; je voudrais surtout proposer l'adoption d'une famille nouvelle qui permettrait de donner à beaucoup de roches siliceuses des noms qui n'évoquent pas l'idée de compositions absolument différentes de celles qu'elles présentent.

1° Il n'existe aucun terme d'un *usage courant et général* pour nommer les dépôts siliceux répondant à la composition minérale, organique et chimique de la gaize. Si l'on fait appel aux seules ressources de la terminologie ordinairement employée, il faut les appeler *grès*. Or, le grès est par définition une roche éminemment clastique. Il est inadmissible, comme je l'ai déjà fait remarquer à la page 71, qu'on appelle également grès une roche qui renferme 80 % et plus de silice sous la forme détritique et un sédiment pourvu de la même quantité de silice dont une faible partie est d'origine clastique. Il est indispensable pour éviter une source permanente d'indécision, que l'on ne réunisse pas sous la même rubrique des terrains qui résultent de la mise en jeu d'activités essentiellement différentes, et qu'une roche qui doit son origine aux agents mécaniques (grès) ne soit pas confondue dans la nomenclature des formations sédimentaires avec des dépôts qui ont pour point de départ l'action combinée des agents mécaniques, physiologiques et chimiques, comme c'est le cas pour la très grande majorité de ceux que je viens d'étudier. D'où la nécessité de créer un groupe réunissant les roches comme les gaizes et autres dépôts de composition analogue, désignés par les différents noms que j'ai fait connaître et dont la silice a une triple origine — détritique, organique et chimique.

2° La composition minérale, organique et chimique de la gaize, considérée comme formation d'un âge déterminé, — la gaize de l'Argonne, — se retrouve avec des modifications d'importance secondaire dans un grand nombre de terrains d'âge différent. Elle donne aux roches qui la présentent un tel air de famille que partout elles ont été

distinguées des *grès* et des *calcaires*, malgré l'ignorance absolue de leur composition intime, et que l'on a créé une terminologie spéciale et locale pour les désigner.

Des roches très répandues dans les formations sédimentaires, caractérisées par une grande unité de composition, douées de propriétés physiques spéciales, marchant de pair avec une composition particulière définie et susceptibles d'être reconnues à première vue, réalisent toutes les conditions requises pour former une *famille* dite *naturelle*. Le type de ce groupe doit être pris dans le Bassin de Paris, en Argonne, où se trouve le gisement classique de la gaize. Les raisons de ce choix sont les suivantes : le massif de l'Argonne est d'une homogénéité relativement grande. Tous les échantillons qu'il fournit sont invariablement des gaizes. Chacun des systèmes de la meule, de la smectique, du tuffeau, comprend des termes relevant de familles différentes. Celui de la meule, par exemple, est formé de *sables*, de *grès*, de *spongolithe* et de *calcaire*. Dire d'une roche qu'elle est une meule n'est donc pas lui assigner une place déterminée dans la nomenclature. On peut faire le même reproche à la smectique, au tuffeau et à tous les termes mal définis dont j'ai parlé en étudiant les terrains siliceux de Belgique. Seul le vocable « gaize » ne prête à aucune ambiguïté. Je propose d'inscrire dans le tableau des dépôts siliceux une *famille de gaizes* à côté de celle des *grès*. Cette proposition trouve sa justification dans l'importance exceptionnelle de ce groupe que je crois avoir mise en lumière, aussi bien dans le temps que dans l'espace.

CLASSIFICATION DES ROCHES SILICEUSES COHÉRENTES. Le principe de la classification que je propose est fondé sur le nombre, la nature et l'importance des différentes activités qui concourent à la formation des roches siliceuses. Les dépôts siliceux cohérents que j'ai étudiés dans ce travail peuvent se répartir en quatre groupes [1].

1° **La silice est exclusivement ou en majeure partie détritique.** Type : *Grès*. La roche comporte des minéraux et un ciment. Elle est dépourvue d'organismes siliceux ou n'en renferme que de très rares vestiges. C'est un sable organique dont les éléments sont agglutinés par un ciment de composition variable. La silice est d'origine détritique et chimique lorsque le ciment est siliceux ; elle est exclusivement détritique dans tous les autres cas. La famille du grès comprend un très grand nombre de termes que je ne puis définir ici. Les grès des terrains étudiés ont un ciment de silice hydratée. Ils sont *opalifères* ou *calcédonieux*. Exemples :

Grès opalifères de Bracquegnies (= Meule, *pars*).

— de Lille, Douai, Radinghem (= tuffeau quartzeux).

Grès calcédonieux du Mont-Panisel (= psammite, tuffeau, grès lustré).

2° **La silice est détritique, organique et chimique.** Type : *Gaize*. Ce groupe correspond

1. Dans la classification des dépôts siliceux en général et non plus de ceux que j'ai étudiés dans ce travail, il y aura lieu de distinguer une famille de roches *à base de silice d'origine détritique et chimique*. Les calcaires quartzeux silicifiés prendront place dans ce groupe.

à la mise en jeu de toutes les activités susceptibles d'intervenir dans la formation d'une roche. On peut lui rapporter la grande majorité des dépôts siliceux étudiés dans ce travail. Il renferme :

A. *Minéraux clastiques.* Quelques unités à 50 % dans les gaizes typiques et davantage pour les variétés quartzeuses.

B. *Organismes.* Spicules d'Eponges, Radiolaires et Diatomées. Ces débris d'organismes coexistent on non dans la roche.

C. *Ciment.* Exclusivement siliceux, ou siliceux et argileux, ou formé de silice additionnée de quelques unités o/o d'argile et de chaux. La silice est de l'opale, exceptionnellement de la calcédoine. La proportion de silice totale varie entre environ 70 et 95 o/o [1].

J'énumérerai dans le paragraphe suivant les principales subdivisions de ce groupe.

3° **La silice est presque exclusivement organique.** Types : *Spongolithe* et *Tripoli.* Les spicules d'Eponges représentent l'élément essentiel du spongolithe; ce sont les Diatomées qui caractérisent le tripoli.

Ex. : Spongolithe de Bracquegnies (= Meule, *pars*).

4° **La silice est exclusivement ou en majeure partie chimique.** Types : *Chert, Silex, Meulière.* Ce groupe manque d'homogénéité. Il est possible qu'on soit obligé de le démembrer et d'admettre une famille de roches dont la silice est à la fois organique et chimique — il y a des cherts qui répondent parfaitement à cette composition — et une famille de roches à silice d'origine chimique comme les silex et les meulières.

Les nodules siliceux de la gaize, de la meule et du tuffeau qui sont des cherts proprement dits, ou des cherts à plages de silex font partie de ce quatrième groupe. La meulière à *T. gracilis* de Belgique (= Rabots) en est le représentant le plus typique [2].

J'appelle également *meulière* une roche comme la meulière des environs de Paris qui résulte de la transformation d'un calcaire d'eau douce et un dépôt comme les rabots qui dérivent d'un calcaire marin. C'est, je crois, un principe qu'il faudra faire prévaloir que toute roche épigénique doit être classée et nommée d'après sa composition minérale actuelle, et non d'après les conditions qui ont présidé à la genèse du sédiment dont elle procède par métamorphose, sous l'influence de phénomènes chimiques. Ainsi il n'y a pas lieu de distinguer les silex inclus dans des dépôts marins, des silex qui font partie des terrains lacustres. La distinction serait-elle très désirable au point de vue théorique qu'elle serait le plus souvent impossible au point de vue pratique.

Toutes les roches siliceuses que j'ai étudiées rentrent dans ces quatre divisions. On

---

1. Ces chiffres sont un peu différents de ceux concernant la gaize typique que j'ai donnés à la page 70. Ils s'appliquent à la famille de la gaize et non à la gaize typique.

2. Le tuffeau ou argilite de Morlanwelz avec Nummulites silicifiées rentre dans ce 4e groupe; c'est un calcaire pauvre en quartz mais entièrement silicifié. Je ne suis pas en mesure pour le moment de lui donner un nom en rapport avec sa composition très particulière.

voit donc que le complexe de terrains siliceux pour lesquels on a créé une terminologie spéciale, d'un usage local, d'un emploi très difficile, se résout en une association de quelques groupes naturels bien définis et susceptibles d'une détermination facile pour l'universalité des géologues.

En terminant cette esquisse de classification que j'espère achever prochainement, je tiens à faire remarquer que ces quatre groupes passent les uns aux autres par une foule d'intermédiaires, et qu'en les juxtaposant, on obtient une série continue de termes, un ensemble comparable, dans une certaine mesure, aux embranchements du règne animal dont les grandes divisions, comme les groupes en question, n'ont pas d'existence propre, mais correspondent à des conceptions systématiques reposant sur la considération d'objets semblables et qui ne sont que des abstractions de l'esprit. Gœthe a dit de l'expression de « système naturel » en parlant des classifications qu'elle est une expression contradictoire. On pourrait en dire autant de la rubrique « famille naturelle » appliquée aux catégories de roches siliceuses que j'ai distinguées plus haut. Le groupe du grès se rattache de la façon la plus intime à celui de la gaize. Certaines gaizes sont à la limite de la gaize proprement dite et du spongolithe. J'ai qualifié plusieurs gaizes de cherteuses montrant ainsi la tendance de ces roches à passer à celles du quatrième groupe. Bref aucune ligne de démarcation bien tranchée ne sépare ces familles.

Si maintenant on cherche comment se comporte l'ensemble de toutes les formations siliceuses étudiées vis-à-vis des terrains à base de calcaire ou d'argile, on constate que les dépôts siliceux et calcaires se relient par les gaizes chargées de carbonate de chaux et que j'ai appelées gaizes calcarifères. D'autre part les gaizes argileuses rattachent les formations siliceuses aux dépôts à base d'argile.

Cette propriété des gaizes, de servir de trait d'union aux trois grandes catégories de terrains entre lesquelles se répartissent tous les dépôts d'origine sédimentaire, est un argument de plus pour mettre ce groupe en relief, et le considérer comme une famille naturelle de l'importance de celle du grès.

Classification des gaizes. Le terme gaize convenablement escorté de qualificatifs et de compléments peut servir à nommer toutes les variétés de roches que j'ai rattachées à la famille de la gaize.

1° Au point de vue de la composition minérale, la gaize peut être normale, argileuse, calcarifère, opalifère, calcédonieuse et quartzeuse. Toutes ces subdivisions sont plus ou moins glauconieuses. Exemples:

Gaize normale. Beaucoup de gaizes de l'Argonne. Gaize à *Ac. Mantelli* d'Henrichemont (silice totale, 82.3; alumine, 6 [1]; chaux, 1,6). Gaize à *I. labiatus* de Maisières (Têtes de chat) (silice totale, 82; alumine, 3,2; chaux, 3).

1. Cette proportion d'alumine place cette gaize à la limite des gaizes normales et au voisinage des gaizes argileuses.

Gaize argileuse. Gaize à *Sch. inflata* de Vouziers (silice totale, 76,1 ; alumine, 7,2 ; chaux, 2,6). Gaize de Sommeille, Meuse, qui, d'après Sauvage et Buvignier, renferme 17,78 % d'argile. Gaize de Grandpré qui contient, d'après Meugy et M. Nivoit, 16,50 % d'alumine sans carbonate de chaux. Beaucoup de gaizes de l'Argonne sont argileuses.

Gaize calcarifère. Gaize à *Sch. inflata* de Sommery (silice totale, 75,5 ; alumine, 1,57 ; chaux, 7,2. Certains échantillons de gaize à *B. quadrata* (smectique). La gaize calcarifère renferme des Foraminifères.

Gaize opalifère. Gaize à *Sch. inflata* de Marlemont (silice totale, 89 ; alumine, 1 ; chaux, 1,3). Gaize de Bracquegnies (Meule quartzeuse à spicules d'Eponges et Radiolaires) (silice totale, 82,4 ; alumine, 4,2 ; pas de chaux).

Gaize calcédonieuse. Gaize à *Sch. inflata* d'Octeville (silice totale, 84,4 ; alumine, 3,4 ; chaux, 3,6). Gaize à *Ac. Mantelli* d'Henrichemont (silice totale, 92,3 ; alumine, 2 ; chaux, 0,6).

Gaize quartzeuse et opalifère. Gaizes landéniennes et yprésiennes à Diatomées (tuffeaux à Diatomées). Gaize à Spongiaires et à Radiolaires de Bouchavesnes *(pars)* (tuffeau).

Gaize quartzeuse et calcédonieuse. Gaize à Spongiaires et à Radiolaires de Bouchavesnes *(pars)* (tuffeau).

2° La composition organique est indiquée par des compléments. Exemples : Le tuffeau du Mont-des-Cats est un *grès quartzeux et opalifère à Diatomées*. Les têtes de chat à *I. labiatus* de Maisières sont *des gaizes normales à spicules d'Eponges*, etc.

Comparaison des dépôts siliceux étudiés avec les sédiments actuels. Si l'on cherche dans la série des sédiments actuels quels sont les termes qui correspondent — toute question de profondeur écartée — avec les dépôts étudiés dans les trois premiers chapitres de ce travail, on est amené à les comparer, d'une part avec des sables et boues d'eaux peu profondes (*Shallow-water deposits* du Challenger), que l'on trouve actuellement au-dessous de 100 brasses, et d'autre part avec les dépôts terrigènes (boues et sables) qui se forment au-delà de 100 brasses, à proximité des continents.

C'est avec les boues et sables verts que ces terrains siliceux présentent le plus d'analogies. Les particules minérales des boues vertes sont représentées dans la proportion de 1 à 80 % (moyenne 27,66) ; les organismes siliceux forment de 1 à 50 % du dépôt (moyenne 13,67). La teneur en carbonate de chaux y est excessivement variable ; certains échantillons n'en montrent que des traces ; elle est au maximum de 56,18 % ; la moyenne augmente avec la profondeur ; il forme le test des Foraminifères de surface et de fond et d'autres organismes. Ces différents chiffres pourraient servir à exprimer la composition de beaucoup des roches siliceuses que j'ai décrites. La proportion de silice totale n'est connue que pour des boues très calcarifères, de sorte qu'on ne peut guère la faire entrer en

ligne de compte pour la mise en parallèle des dépôts en question. En raison des métamorphoses nombreuses et souvent très accusées subies par les boues dont dérivent les roches de la famille de la gaize, etc., il est impossible de poursuivre dans le détail leur comparaison avec les sédiments actuels ; la composition minéralogique et organique de beaucoup d'entre elles était sensiblement la même que celle de certains dépôts rattachés aux boues et sables verts actuels. La fréquence des dépouilles d'organismes siliceux de part et d'autre est un trait commun de première importance. Le chiffre de 50 % qui marque la teneur maxima de la boue verte en organismes siliceux a parfois été dépassé pour les sédiments anciens qui lui correspondent. La proportion de carbonate de chaux devait également augmenter avec la profondeur, car les gaizes les plus calcarifères sont celles qui renferment le plus petit nombre de matériaux clastiques d'ailleurs caractérisés par le plus faible diamètre observé.

Les dépôts arénacés qui ont donné naissance à la plus grande partie de la Meule de Bracquegnies et aux tuffeaux les plus quartzeux se rattachent à la catégorie des « shallow-water deposits ».

L'analogie qui rapproche les terrains siliceux étudiés de ceux des mers actuelles n'implique nullement des conditions bathymétriques similaires pour les eaux qui ont engendré les uns et les autres. Le développement de cette idée m'entraînerait ici beaucoup trop loin. Pareil problème se posera pour la comparaison des dépôts crayeux avec la boue à Globigérines. Comme je l'ai généralisé et traité pour toutes les catégories de sédiments anciens rapprochés de ceux qui se forment de nos jours, on en trouvera la solution à la fin de l'étude de la craie. Les boues et sables verts se rencontrent entre 100 et 1270 brasses. Je suis porté à croire que la profondeur maxima, à laquelle s'est effectué le dépôt des roches du groupe de la gaize, correspond aux profondeurs les plus faibles auxquelles commence la zone des boues et sables verts.

Rôle des organismes siliceux dans la nature. Le principal résultat de cette étude est la mise en évidence d'une activité organique considérable dont l'existence n'était même pas soupçonnée en France et qui s'est exercée à maintes époques de l'histoire de nos terrains. Quant à l'activité chimique d'où est sorti le ciment des roches étudiées, elle n'est le plus souvent que le corollaire de la précédente. C'est en effet le propre des organismes siliceux de présider aux métamorphoses subséquentes du sédiment dans lequel ils sont inclus. Cette prérogative manque aux organismes à coquilles calcaires. Ces derniers subissent les modifications imposées aux dépôts dont ils font partie et ne les dirigent point. Les nombreuses étapes que beaucoup de sédiments siliceux doivent franchir pour atteindre les derniers degrés de leur évolution ont leur point de départ dans un phénomène vital. C'est ce que montre clairement l'étude des restes de Spongiaires et du

rôle qu'ils jouent dans les transformations des terrains qui les renferment. Par leur dissolution, ils fournissent de la silice à ces terrains (épigénie du ciment) et par leur présence ils attirent et fixent sur place la silice en solution qui circule dans le dépôt, qu'elle soit d'origine organique ou non. Au fur et à mesure que se développe dans les sédiments siliceux partiellement organogènes, l'activité chimique née pour ainsi dire de la vie, elle efface en partie les traces de cette dernière et les fait même disparaître tout à fait (chert à plage de silex) pour restituer au monde inorganique la silice des Spongiaires, Radiolaires et Diatomées. Là n'est pas encore le but final qui lui a été assigné. En continuant à s'exercer, elle doit conduire les différentes formes de silice hydratée vers un état définitif et plus stable, le quartz. On connaît des exemples de production de quartz aux dépens de la silice des Spongiaires. Il reste un long chemin à parcourir à toutes les roches que j'ai étudiées pour arriver à ce terme ultime, mais quand on mesure d'un coup d'œil la distance qui sépare les sables et les boues calcaires siliceuses, des roches étudiées dans ce travail, on est frappé de l'activité déployée dans le passé par les agents chimiques, et l'on est étonné de la somme de métamorphoses subies par des dépôts sédimentaires qui n'avaient jusqu'ici appelé l'attention que par leur teneur en silice soluble dans les alcalis.

Une seule fois, la métamorphose de la roche a été interrompue et le dépôt a subi une sorte d'évolution rétrograde. Tel est le cas de la gaize oxfordienne en partie calcaire à l'origine, ensuite silicifiée et finalement calcifiée. C'est presque le seul exemple où le carbonate de chaux n'ait pas été passif.

Les organismes siliceux jouent dans les dépôts sédimentaires un rôle qui n'est proportionné ni à leur importance numérique, ni à la masse de silice qu'ils représentent. Les formations sédimentaires siliceuses chargées de carbonate de chaux éliminent cette dernière substance au cours de leur évolution, et on n'en voit plus trace. Les dépôts calcaires se débarrassent plus difficilement de leur silice. Celle-ci, loin de quitter la roche d'où elle est, à un moment donné, chassée pour ainsi dire de tous les points, se concentre le plus souvent en de gros nodules visibles à l'œil nu comme pour mieux affirmer son existence, et sous un faible volume, elle contribue pour une grande part, à composer les traits d'ensemble du dépôt. Bref, des poids *égaux* de silice et de carbonate de chaux introduits dans un même sédiment à son origine sous la forme organique, influencent *inégalement* la physionomie qu'il doit revêtir ultérieurement; dans la grande majorité des cas, c'est la silice qui l'emporte.

Cela tient à plusieurs causes. La plus importante est la pluralité des formes que peut revêtir la silice issue des organismes. Le même corps étant doué de la propriété de se déguiser pour ainsi dire sous des aspects très différents est susceptible par contre-coup de communiquer aux roches une grande diversité d'apparence. Cette même silice, par ses

combinaisons et la formation de minéraux secondaires (glauconie), peut encore sous un faible volume modifier la physionomie propre des roches dont elle fait partie [1].

Tout autres sont les propriétés du carbonate de chaux. Lui aussi est polymorphe, mais il faut recourir à la physique ou à la chimie pour en distinguer les différentes manières d'être dans les sédiments, et qu'un dépôt calcaire renferme plus ou moins d'aragonite ou de calcite, son aspect ne traduit pas ces différences.

D'autre part, l'histoire d'une roche calcaire est particulièrement simple. Toute la métamorphose se ramène à la destruction des formes organiques par cristallisation plus large de la substance qui les constitue. L'état définitif et stable du carbonate de chaux n'est pas le résultat d'une longue évolution dont toutes les phases correspondent à des modalités particulières de l'élément. Il est atteint d'emblée.

La silice est le composé solide le plus répandu dans la nature. On estime à environ 28 % la quantité de *silicium* qui entre dans la composition des roches cristallines. Le *calcium* s'y trouve en proportion plus faible. Malgré cette prédominance de la silice, les organismes doués de la propriété d'élaborer cette substance ont été de tous temps incomparablement moins nombreux que ceux qui réclament de la chaux pour la confection de leur squelette. Cette infériorité numérique des organismes siliceux a un grand retentissement sur la composition des formations sédimentaires. Si l'on cherche quelle est la destinée des éléments qui dérivent directement de la décomposition des roches cristallines, on voit qu'elle est bien différente pour la silice et pour la chaux. Toute la chaux passe par *l'intermédiaire* des organismes, autrement dit elle est associée à des phénomènes vitaux avant de faire partie intégrante des formations sédimentaires. Il n'en est pas de même de la silice. Une masse énorme de matériaux à base de silice passe *directement* de la roche cristalline dans le dépôt sédimentaire et cela pour deux raisons : C'est d'abord la très faible solubilité de la silice dans l'eau de mer (1 partie pour 2-500.000 [2]) qui oblige des éléments comme le quartz à rester étrangers aux phénomènes physiologiques qui concourent à la genèse des sédiments et à figurer parmi les particules détritiques. C'est ensuite l'insuffisance de l'activité organique chargée de compliquer le cycle des transformations de la silice. On peut dire que la grande quantité d'*argile* incorporée aux terrains sédimentaires, ainsi que les dépôts qui en procèdent par métamorphisme, sont redevables de leur existence à la rareté relative des organismes siliceux, tant dans les mers anciennes qu'actuelles [3]. Alors que l'activité des organismes à squelette calcaire est *proportionnelle* à

---

1. On pourrait encore ajouter que la silice prête son concours aux organismes calcaires pour assurer la conservation parfaite de leur squelette (coquilles silicifiées de Blackdown, de Bracquegnies, Ostracodes et Foraminifères silicifiés de la craie, etc).

2. Celle du carbonate de chaux est de $\frac{1}{8.000}$

3. Cette proposition est fondée sur les expériences de MM. Murray et Irvine démontrant que les Diatomées décomposent la matière argileuse pour s'emparer de la silice.

la quantité de chaux disséminée dans la nature, celle des organismes siliceux est très *inférieure* à la quantité de silice. Cette disproportion, quelles qu'en soient les causes, est une des principales sources de la grande variété des roches sédimentaires à base de silice. Il semble que c'est pour compenser leur infériorité numérique que les organismes siliceux ont été doués de la remarquable propriété de tenir sous leur influence les sédiments dans lesquels ils sont incorporés en grand nombre, et de présider pour ainsi dire à leur évolution pétrographique.

CHAPITRE IV

ÉTUDE DE LA GLAUCONIE DES ROCHES SILICEUSES

(Planche VI)

Sommaire. — I. Description de la glauconie, 163 ; Caractères, 163 ; Structure, 164 ; Clivages, 165 ; Inclusions, 166 ; Propriétés optiques, 167 ; Polychroïsme, 167 ; Double réfraction, 167 ; Phénomènes d'altération, 168 ; Pyrite des grains de glauconie ; Cas particulier de sa genèse indépendante des phénomènes d'altération, 168.

II. Circonstances diverses de la genèse de la glauconie des roches siliceuses, 170 ; Aperçu bibliographique sur cette question, 170 ; Relations de la glauconie des roches siliceuses avec les organismes, 172 ; Association de la glauconie avec les minéraux terrigènes ; conséquences qui en découlent, 173 ; Glauconie considérée dans ses rapports avec les minéraux clastiques, 174 ; Glauconie pigmentaire, 175 ; Glauconie globulaire et genèse de grains composés sans intervention des organismes, 176 ; Grains incomplets limités par une enveloppe glauconieuse continue, 178 ; Genèse ou croissance de grains de glauconie après le dépôt de la roche, 178 ; Formation de la glauconie en plusieurs temps, 179 ; Autres preuves de la genèse de la glauconie postérieure au dépôt de la roche, 179 ; Glauconie contemporaine de sa consolidation, 179 ; Glauconie épigénique de la calcite, 181 ; De la part qui revient aux organismes dans la production de la glauconie, 182 ; Intervention de la matière organique dans la genèse de la glauconie, 183.

Ce chapitre est entièrement consacré à la *glauconie des roches siliceuses* qui ont fait la matière de la première partie de ce travail. Il est en grande partie le développement de la note préliminaire que j'ai publiée en 1892 dans les Annales de la Société géologique du Nord [1]. C'est aussi la synthèse des nombreuses observations éparses dans les pages qui précèdent. On y trouvera plusieurs faits nouveaux qui, tout en complétant l'histoire de ce curieux minéral, la rendent beaucoup plus complexe qu'on ne l'avait pensé jusqu'ici.

I. DESCRIPTION DE LA GLAUCONIE

Caractères. La *forme* des grains de glauconie des roches siliceuses n'offre rien de particulier. Quand ils n'ont pas conservé l'empreinte des restes organiques dont ils dérivent souvent, ils sont sphériques, ovoïdes, subcylindriques, irrégulièrement arrondis,

1. L. Cayeux. Notes sur la glauconie, *Ann. Soc. G. N.*, vol. 20, pp. 381-389 (1892).

mamelonnés, lobés, d'aspect papilliforme, ridés, sillonnés, quelquefois profondément échancrés et comme formés de plusieurs grains incomplètement soudés.

Les *contours* des grains sont parfaitement arrêtés ou indécis : les éléments glauconieux sont dans les deux cas intimement attachés à la roche. Une seule fois (Angre), j'ai observé des grains libres dans la cavité qu'ils occupent. Des échantillons cassés sous mes yeux ne montraient que des vides à la surface des cassures; sous l'influence du choc, toute la glauconie avait disparu. La surface des grains est souvent polie, luisante, cireuse (Angre). La *cassure* est grenue. En général, les grains se brisent en même temps que la roche dans laquelle ils sont inclus. Exceptionnellement, ils restent intacts et font hernie à la surface de la roche (Angre).

La *couleur* est vert olive sombre, quelquefois noire. En section mince, elle varie du vert jaune au vert sombre. La densité est de 2,2 à 2,83 (Lacroix).

Structure. Elle est *homogène*, *granulée*, *globulaire* ou *concrétionnée*, *radiée* et *pigmentaire*.

La glauconie *homogène* est dépourvue de toute trace de différenciation. Tel est le grain complet de la planche VI, fig. 1. La plupart des éléments de glauconie appartiennent à cette variété.

Celle que j'appelle *granulée* se présente comme les deux grains les plus volumineux de la fig. 1. Ces éléments semblent parcourus par une infinité de craquelures qui se croisent en tous sens et suivant lesquelles ils se désagrègent sous l'influence du choc. Lorsque cette structure est parfaitement réalisée, chaque grain paraît se décomposer en un grand nombre de particules élémentaires ou granules de dimensions assez voisines. Maints granules tendent vers la forme globulaire et concrétionnée. Une fusion incomplète de globules originellement distincts et juxtaposés donnerait des grains identiques d'aspect à ceux que je range dans cette catégorie. Certains tuffeaux landéniens — ceux du groupe de la gaize — fournissent de bons exemples de cette manière d'être. On en trouve la meilleure expression dans la gaize de Foigny.

J'ai donné le nom de glauconie *globulaire* à de petits grains globuleux libres ou plus ou moins coalescents. J'ai souvent signalé cette variété de glauconie dans les gaizes. Elle est très fréquente dans la Meule de Bracquegnies. On peut en prendre une bonne idée par les fig. 23 et 24. Ces globules sont autant de petites concrétions, et l'on pourrait qualifier de *concrétionnée* la glauconie qui revêt cette forme.

Je réserve le qualificatif *radiée* à de la glauconie qui n'a pas d'existence propre à ma connaissance. Celle que j'ai observée est une différenciation superficielle de la glauconie homogène ou granulée. On voit une zone de glauconie radiée au pourtour de presque tous les grains qui présentent la structure granulée dans la gaize de La Reupette et de Foigny. Elle existe sur toute la surface de ces éléments, ou sur une partie seulement. On la retrouve dans la gaize oxfordienne [et dans beaucoup de grains de glauconie homogène de la craie grise à *Micraster breviporus* de Lezennes (voir Pl. IX,

fig. 7, n° 6)]. Elle suit tous les contours des éléments quelle qu'en soit la forme. Son épaisseur, qui est d'environ $0^{mm}01$, n'est pas rigoureusement égale pour un même grain. Cette glauconie, à laquelle il convient de faire une place tout à fait à part, se reconnaît toujours à trois caractères : 1° Etudiée avec de forts grossissements, la bande clivée présente une multitude de petites divisions rayonnantes, qui sont comme autant de petits clivages qui s'arrêtent brusquement au contact de la partie non différenciée du grain; 2° En lumière polarisée parallèle, cette zone est douée d'une biréfringence beaucoup plus vive que tout le reste du minéral. Avec les nicols croisés, elle est très apparente même avec de très faibles grossissements ; 3° Elle ne présente pas la structure d'agrégat qui est éminemment caractéristique de la glauconie ordinaire.

Il est parfois impossible de séparer la glauconie d'un substratum de silice et d'argile qu'elle colore. Elle manque de contours propres. C'est une sorte de nuage vert enfermé dans le ciment différencié ou non. Sur les bords, la couleur verte disparaît insensiblement, et il est impossible de dire où finit la tache glauconieuse. Dans l'espèce, cette substance se comporte comme un *pigment*, en tous points comparable à la limonite qui teinte parfois le ciment des tuffeaux et des gaizes. J'appelle *pigmentaire*, la glauconie qui se présente avec ces caractères.

Clivages. J'ai démontré dans ma note préliminaire, en 1891, que la glauconie est parfois clivée. M. Lacroix a reconnu depuis dans ce minéral le clivage *p* (001) analogue à celui des micas et des chlorites [1].

Les clivages sont difficiles, fins ou grossiers, inégalement espacés et rares ou nombreux. Ils sont exceptionnellement rectilignes. Le plus souvent, ils se montrent légèrement sinueux ou onduleux. Enfin ils sont parallèles ou convergents ; ils se coupent même, quand ils sont très irréguliers. On peut voir toutes ces manières d'être réalisées dans la glauconie des figures 2 à 6.

L'observation montre que les grains clivés sont généralement réguliers de forme et que ceux qui présentent les clivages les mieux marqués en même temps que les plus nombreux sont souvent allongés suivant la direction perpendiculaire aux clivages. Parmi ces derniers, quelques-uns sont arqués (fig. 4 et 5) ; c'est dans ce cas que les clivages sont convergents. Un grain presque sphérique montre des clivages qui s'irradient d'un point unique placé à sa surface.

Les grains de glauconie franchement clivés se rattachent par de nombreuses formes intermédiaires à ceux qui ne le sont pas :

1° On trouve une amorce de clivages chez les grains pourvus de la zone externe à structure radiée, que j'ai mentionnée et décrite plus haut.

2° Le grain de la figure 2 comprend trois parties : l'une, médiane, clivée irrégulièrement ; les deux autres homogènes et ne différant pas de la glauconie ordinaire.

---

1. A. LACROIX. Minéralogie de la France et des colonies, t. I, p. 407 (1893-95).

3° J'ai observé un grain de quartz recouvert d'une mince pellicule glauconieuse sur tout son pourtour ; en un point, le revêtement glauconieux prend de l'extension et donne une volumineuse apophyse traversée par plusieurs clivages parallèles.

Toutes ces formes de transition relient très bien les grains clivés à la glauconie ordinaire. J'aurais d'ailleurs pu multiplier les exemples qui servent de trait d'union entre les deux catégories d'éléments.

Les micas verdis, la chlorite que l'on rencontre assez fréquemment dans les roches siliceuses, revêtent une tout autre allure que la glauconie. La confusion n'est pas possible.

Inclusions. Dès 1892, j'ai appelé l'attention sur l'inclusion de matières étrangères dans la glauconie. Cette particularité ne peut être regardée comme un phénomène bien fréquent. Mais en passant en revue une très grande quantité de grains, j'ai réussi à en noter de nombreux cas.

Les inclusions des grains de glauconie sont de deux sortes : les unes *minérales*, les autres *organiques*.

1° *Inclusions minérales.* Elles sont constituées par le *quartz*, le *feldspath* et la *calcite*. Les enclaves quartzeuses sont les plus fréquentes, Ce sont généralement des grains anguleux de toutes dimensions. Rarement l'inclusion atteint le diamètre du quartz clastique qui accompagne la glauconie. Le nombre d'individus inclus dans un seul élément de glauconie est très variable. Il est généralement faible (fig. 7 et 8). Il peut dépasser une dizaine comme pour le grain 10. Il est tellement considérable dans le grain de la fig. 9 que la glauconie est réduite à d'étroites bandes séparant les inclusions de quartz.

Les feldspaths sont très rares en inclusions, la calcite l'est moins. On la trouve notamment dans la glauconie de la Meule de Thivencelles.

Le grain de la fig. 14 est seul de son espèce. Les nombreuses inclusions qu'il renferme rappellent les fines aiguilles de rutile qui traversent les cristaux de quartz. Il y a même des apparences de macle dont je ne puis préciser la nature.

2° *Inclusions organiques.* Les seules enclaves organiques que j'ai observées sont des Foraminifères et des Radiolaires, excessivement rares. J'ai reconnu jusqu'à trois coquilles de Foraminifères dans le même élément (Tournay).

M. Sollas a signalé en 1876 des *Foraminifères*, des *Coccolithes*, des *Coccosphères* et des fragments de cristaux dans la glauconie du Greensand de Cambridge [1].

La glauconie qui se forme de nos jours peut également renfermer des matières étrangères. MM. J. Murray et Renard ont signalé dans des grains de glauconie recueillis par le *Challenger* des particules quartzeuses, des grains de magnétite et d'autres minéraux [2].

---

1. J. SOLLAS, On the glauconitic Granules, etc. *Geol. Mag.*, Déc. II, vol. 3, pp. 539-544 (1876).
2. J. MURRAY and A. F. RENARD. Deep-Sea Deposits., Chap. Glauconie, 381 (1891).

Propriétés optiques. Polychroïsme. J'ai signalé l'existence du phénomène de polychroïsme en 1892; il est très sensible chez tous les grains clivés. Comme pour le mica noir, le maximum d'absorption se produit lorsque les traces du clivage sont parallèles à la section principale de l'analyseur. Le minéral est alors d'un vert foncé. A angle droit de la position précédente sa couleur vire au jaune clair. Le même polychroïsme existe encore dans la zone externe à structure radiée des grains de glauconie des gaizes de Foigny et de La Reupette. Un grain mixte comme celui de la fig. 2 n'est polychroïque que dans sa portion clivée. Enfin tous les grains non clivés qui tendent vers une orientation optique unique sont également polychroïques.

Double réfraction. (Voir ma note préliminaire). La grande majorité des grains sont doués d'une structure cryptocristalline des plus caractéristique; ils se comportent en lumière polarisée parallèle comme une agrégation de très petits cristaux enchevêtrés en tous sens, superposés les uns aux autres et montrant entre les nicols croisés le phénomène de la polarisation dite d'agrégat.

La plupart des autres grains non clivés ne diffèrent des précédents que parce que les éléments de l'agrégat grandissent en même temps qu'ils diminuent en nombre. On passe ainsi insensiblement à des grains qui, vus avec de faibles grossissements, s'illuminent d'une teinte jaune verdâtre unique, s'éteignent en une seule fois et paraissent en un mot présenter l'unité d'orientation. Examinés avec de forts objectifs, lorsqu'ils sont placés dans la position de l'extinction, ces grains montrent de-ci de-là de petites facules colorées : l'orientation optique unique n'est donc qu'apparente. La glauconie clivée est douée d'une double réfraction très énergique; avec des préparations d'une épaisseur normale, elle se pare de couleurs très vives du deuxième ordre. L'extinction se fait suivant les clivages, mais elle n'est pas tout à fait complète. Cette forte biréfringence s'observe : 1° Dans les parties clivées des grains mixtes (fig. 2); 2° Dans la bande clivée et polychroïque qui entoure les grains de glauconie de la gaize de Foigny et de La Reupette.

Je disais en 1892, en parlant des éléments dont l'unité d'orientation est presque réalisée, qu'il est possible que de semblables grains permettent de déterminer les constantes optiques de la glauconie. Peu après, je reconnus chez plusieurs éléments l'existence de deux axes optiques. En 1894, MM. S. Calderon et Chaves écrivaient : « La glauconie nous paraît se comporter comme un minéral rhombique. » Cette question reçut de M. A. Lacroix[2] une solution beaucoup plus complète. Il démontra en 1893-95 que la glauconie est *biaxe*, quelquefois sensiblement *uniaxe* et que l'angle des axes optiques est de 30-40°. Il trouva 0,020 environ pour la valeur de n_g-n_p. Par analogie avec les micas et les chlorites, M. Lacroix suppose que la glauconie est *monoclinique*.

---

1. S. CALDERON et F. CHAVES. Contribuciones, etc. *Anales Soc. esp. Hist nat*, 2e S., vol. 23, p. 8 (1894).
2. LACROIX. Op cit., p. 407 (1893-95).

L'étude de la glauconie récente avait conduit MM. Murray et Renard à admettre que ce minéral ne présente pas de structure fibro-radiée ou concrétionnée, et qu'il est dépourvu de dicroscopisme sensible. J'ai établi en 1892, qu'en ce qui touche ce dernier point, la glauconie des roches siliceuses que j'ai étudiées se comporte autrement que celle recueillie par le *Challenger* Je pourrais en dire autant pour la structure fibro-radiée. J'ai rencontré de la glauconie en grains subsphériques présentant une croix noire très nette. C'est évidemment un cas particulier, mais le fait mérite d'autant plus d'être mentionné que le nombre de grains qui sont doués de cette propriété est plus restreint [1].

On reconnaît une amorce de croix noire dans la zone radiée de la glauconie de la gaize de Foigny et de La Reupette. Les branches de la croix sont interrompues dans la partie des grains, caractérisée par la structure d'agrégat et l'absence de clivages radiés.

Phénomènes d'altération. Les produits de décomposition de la glauconie sont des hydrates d'oxyde de fer et de la pyrite. Le plus souvent l'altération commence à se manifester à la périphérie et s'étend progressivement et irrégulièrement vers l'intérieur. Elle atteint également le centre des grains par des fentes qui les traversent en tous sens. Les produits de décomposition apparaissent non-seulement sur toute la région altérée, mais ils émigrent souvent de l'élément, soit pour teinter la pâte ambiante, soit pour incruster les minéraux voisins. La décomposition peut débuter par le centre des grains, comme dans la Meule de Thivencelles par exemple, où elle frappe un grand nombre d'éléments ; on y trouve des grains transformés en hydrate de fer, sauf sur une faible zone superficielle restée intacte. J'ai reconnu dans une gaize cénomanienne de Villegenon un grain de quartz entouré d'une épaisse couche de glauconie formée de deux zones concentriques : l'intérieure seule est altérée.

Pyrite des grains de glauconie ; cas particulier de sa genèse indépendante des phénomènes d'altération. 1° J'ai observé dans quelques échantillons du tuffeau d'Angre des éléments glauconieux que l'on pourrait considérer à première vue comme en voie d'altération, mais chez lesquels la matière noire pigmentaire a certainement une origine autre qu'un phénomène d'altération.

Lorsqu'on examine le tuffeau lui-même avec une forte loupe, on voit que les grains de glauconie ne sont pas soudés à la roche comme c'est le cas général, mais qu'ils sont libres dans les cavités qu'ils occupent ; un vide de largeur notable les sépare de leur gangue. Cette particularité est mieux marquée dans certaines parties que dans d'autres ; il arrive qu'il soit impossible de conserver la glauconie en place dans les préparations.

Dans les plages où le grain adhère au ciment, on voit un pigment noir concentré à la périphérie de l'élément et dessinant une couronne d'épaisseur régulière ; beaucoup de grains sont même traversés par plusieurs bandes de cette matière noire. En examinant

1. On en trouve un nombre beaucoup moins restreint dans la craie du Bassin de Paris.

à l'aide de forts grossissements la couronne externe, on voit qu'en réalité elle est elle-même revêtue d'un mince filet de glauconie (Pl. VI, fig. 13) qui reste attaché au ciment si le grain est enlevé en confectionnant la préparation : le pigment fait donc partie intégrante du grain. On voit dans quelques cas la bande noire sortir des éléments glauconieux, pénétrer dans le ciment et rentrer un peu plus loin dans la glauconie (fig. 13). Vu avec de forts objectifs, le pigment se résout en une fine poussière dont les éléments paraissent présenter une forme cristalline. En raison de leur extrême petitesse, je n'ai pu m'assurer s'ils appartiennent à la pyrite ou au fer magnétique. C'est la dislocation de la matière noire formant la couronne des grains qui met ces derniers en liberté.

Dans la planche annexée au mémoire de M. Gümbel [1] sur la glauconie, on voit plusieurs grains renfermant une matière noire répandue un peu partout : l'un d'eux présente le pigment concentré à la périphérie. L'auteur a reconnu la présence de la magnétite et de la pyrite de fer.

C'est vraisemblablement à cette dernière substance qu'il faut rapporter la plus grande partie ou peut-être la totalité de la poussière noire de la glauconie d'Angre. M. Gümbel explique l'origine de cette matière en faisant intervenir des phénomènes de réduction au cours de la genèse des grains. Cette hypothèse ne permet pas d'interpréter les bandes noires transversales, toutes de même épaisseur, ainsi que la pénétration de la couronne pigmentaire dans le ciment siliceux.

2° Beaucoup de grains de glauconie de la gaize de Foigny renferment un cristal de **pyrite** cubique (fig. 11), ou toute une série de cristaux accolés comme dans la fig. 12. Il arrive que le cristal unique ne soit qu'en partie enchassé dans la glauconie ; la forme cristalline n'est alors indiquée que du côté où la pyrite adhère à l'élément glauconieux. En d'autres cas, on voit un cristal placé sur la ligne de séparation de deux grains de glauconie juxtaposés dans lesquels ils pénètrent plus ou moins profondément.

La première idée qui se présente à l'esprit pour expliquer la présence de la pyrite cristallisée au sein de la matière glauconieuse est de supposer que cette substance est un produit de décomposition de la glauconie. Cette explication se concilie assez mal avec l'état de conservation des grains dont le pourtour n'offre pas la moindre trace d'altération ; elle ne s'accorde guère non plus avec la délimitation précise du cristal de pyrite. Il y a, en effet, passage presque brusque du cube de pyrite à la matière glauconieuse indemne de toute trace de décomposition. Je crois que la genèse de cette pyrite trouve une explication plus rationnelle dans les phénomènes de réduction dont j'ai parlé à propos de la glauconie d'Angre.

1. V. GÜMBEL. Ueber die Natur etc., *Sitz. d. k. Ak. Wiss. zu München* (1886).

II. CIRCONSTANCES DIVERSES DE LA GENÈSE DE LA GLAUCONIE DES ROCHES SILICEUSES

Aperçu bibliographique sur cette question. Mon intention n'est pas de passer en revue tous les mémoires où il est question de la glauconie. Je limiterai systématiquement cet aperçu bibliographique aux travaux qui se sont plus spécialement occupés de l'origine de ce minéral, et laisserai de côté le problème des réactions chimiques qui lui donnent naissance. Je ne pourrais que reproduire ou discuter des hypothèses. Cette question n'est guère à sa place que dans une étude de la glauconie en voie de formation dans les mers actuelles.

Ehrenberg [1] admit en 1855, que la formation de la glauconie consiste en un remplissage graduel, par une substance verte, de coquilles d'organismes microscopiques. L'oblitération des cavités de ces organismes est souvent si parfaite que les canaux les plus fins de la coquille sont injectés de glauconie.

Bailey [2], en 1856, constata la présence de la glauconie dans les coquilles de Rhizopodes et de Mollusques actuels. Il signala ce fait très important que beaucoup de grains verts qui accompagnent la glauconie dérivant manifestement du remplissage des coquilles, ont des formes qui ne rappellent en rien celles d'organismes ; qu'ils sont arrondis, craquelés, lobés et même d'apparence coprolithique. Selon Bailey, beaucoup de ces corps n'ont pas été formés dans les cavités de Foraminifères ou de Mollusques. Il était cependant d'avis qu'il y a une grande probabilité pour que l'origine de tous les éléments de cette substance, même de forme irrégulière, soit en rapport avec les corps organiques.

En 1860, Reuss [3] dit que la glauconie peut se former grâce aux Foraminifères, sans qu'on puisse en conclure que toute cette substance doive son origine à leur intervention. Il admet que la plus grande partie des grains ne présentent aucune trace d'origine organique et qu'ils revêtent les formes ordinaires des concrétions. En se fondant sur des caractères purement morphologiques, Reuss arrive donc à la notion de deux processus de genèse, l'un basé sur l'intervention des organismes, l'autre sur un phénomène de concrétionnement indépendant de toute participation organique.

M. Seely [4], en 1866, fit dériver les éléments glauconieux de roches plutoniennes détruites.

---

1. EHRENBERG. Ueber den Grünsand, etc. *Abhand. d k. Akad. Wiss. zu Berlin*, Phys.-Abth., pp. 85 et suiv. (1855).

2. BAILEY. On the Origin of Greensand, etc., *Proc. of the Boston Soc. of. Nat. Hist.*, vol. 5, pp. 364-368 (1854 56).

3. A. E. REUSS. Die Foraminiferen, etc., *Sitz. d. math.-nat. Cl. d. k. Ak. Wiss.*, Wien, vol. 40, p. 167 et suiv. (1860).

4. H. SEELY. The Rock of the Cambridge Greensand. *Geol. Mag.*, vol. 3, p. 305 (1866).

En 1869, Pourtalès [1] reconnut le phénomène de concentration de la glauconie dans les loges des Foraminifères des dépôts qui s'effectuent de nos jours. Il admit que les grains ainsi formés sont doués de la propriété de s'agglutiner, de se fusionner au détriment des caractères qui permettaient de remonter à leur origine première.

M. J. Sollas, en 1872 [2], 1873 [3] et 1876 [4], considère les grains verts comme provenant du remplissage des chambres de Rhizopodes calcaires. C'est aussi la manière de voir de M. Bonney, exprimée en 1872 [5]. En 1876, M. Sollas fait remarquer que partout les éléments étrangers inclus dans les grains irréguliers se retrouvent dans la glauconie des chambres de Foraminifères et dans la craie ambiante. Il formule cette conclusion que les caractères des grains irréguliers et de ceux qui occupent l'intérieur des Foraminifères sont ceux de la craie qui, en certains points, a été changée en glauconie. M. Sollas fait intervenir la matière organique dans la formation des grains quels qu'ils soient. Déjà Bailey avait dit, en 1876, que le dépôt de la glauconie est lié à la décomposition de la matière organique dans les cavités des organismes. Pour M. Sollas, la forme irrégulière des grains est déterminée par la répartition inégale de la matière organique dans la craie.

M. Gümbel [6] a consacré à la glauconie un important travail (1886) dans lequel il considère comme évident la formation de cette substance dans les chambres de Foraminifères, dans les petits Gastéropodes, les Ptéropodes, les Serpules et les Ostracodes. Il admet que beaucoup de grains ne paraissent pas avoir cette origine, soit en raison de leur taille, soit à cause de leur forme. Il est vrai, ajoute-t-il, que la soudure de plusieurs grains séparés peut donner naissance à des grains volumineux. Cette opinion avait déjà été émise par Pourtalès (voir ante). Quand il ne peut se rendre compte de la genèse des particules glauconieuses, soit par le moulage des cavités d'organismes, soit par la réunion de grains primitivement distincts, M. Gümbel explique leur formation par le phénomène des « *entoolithes* [7] » qui équivaut en somme à une précipitation directe de la glauconie.

MM. J. Murray et Renard [8] ont conclu de l'étude des sédiments dragués par le *Challenger* que la glauconie se développe surtout à l'intérieur des Foraminifères et autres organismes à coquille calcaire, et qu'on peut observer toutes les transitions entre les chambres remplies de glauconie et les grains qui ont presque perdu l'empreinte des organismes dans lesquels ils ont pris naissance. « *Il est incertain et vraiment peu probable*,

1. POURTALÈS. Report of the superintendant of the Un. States Coast Surv. for 1869, pp. 220-225, Washington (1872).

2. J. SOLLAS. Some Observations, etc., *Geol. Mag.* vol. 9, pp. 332 et 333 (1872).

3. J. SOLLAS. On the Foraminifera and Sponges, etc., *Geol. Mag.*, vol. 10, pp. 268-274 (1873).

4. J. SOLLAS. On the glauconitic Granules, etc., *Geol. Mag.*, Déc. II, vol. 3, pp., 539-544 (1876).

5. BONNEY in W. J. SOLLAS. Op. cit., *Geol. Mag.*, vol. 9, p. 333 (1872).

6. V. GÜMBEL, Op. cit., p. 434 (1886).

7. M. GÜMBEL a créé le nom d'*entoolithe* pour une variété d'oolithe formée d'une enveloppe vésiculaire vide ou remplie partiellement ou complètement de matière cristalline.

8. J. MURRAY et RENARD. Op. cit., pp. 378-391 (1891).

ont-ils écrit, *qu'il y ait de petits grains de glauconie formés à l'état libre dans la boue.* » Le fait que la glauconie des mers actuelles a sa formation initiale dans les cavités des organismes a conduit MM. J. Murray et Renard à admettre que la matière sarcodique de ces êtres concourt à la précipitation de ce minéral. On se rappelle que c'était la façon de voir de Bailey (1856) et que M. Sollas a exprimé plus tard la même opinion.

On voit que parmi les naturalistes cités, Reuss et M. Gümbel sont les seuls qui aient trouvé l'intervention des organismes insuffisante pour expliquer l'origine de tous ses éléments. Ils admettent deux processus de formation, l'un par l'intermédiaire des organismes et l'autre en dehors de leur influence. L'argument donné par ces savants en faveur du second mode de formation est une sorte d'impossibilité d'expliquer la forme et le volume de certains grains à l'aide du premier processus. Ce n'est pas une preuve très convaincante, il faut en convenir.

J'ai essayé en 1892 de prouver la genèse indépendante des organismes par certaines manières d'être de la glauconie. Je vais reprendre l'étude de cette question et consigner ici toutes les observations qui m'ont conduit à admettre la dualité d'origine de ce minéral.

Relations de la glauconie des roches siliceuses avec les organismes. Cette étude pourrait prêter à de très longs développements. Je ne retiendrai ici que les faits principaux. Les rapports de la glauconie sont à considérer avec : 1° les organismes siliceux ; 2° les organismes calcaires.

1° *Organismes siliceux.* La glauconie se substitue à la silice des débris organiques dont la forme reste intacte. Il est tout à fait exceptionnel qu'elle remplace la silice des *Radiolaires*. En aucun cas, je n'ai observé de substitution à celle des *Diatomées*.

Le phénomène de pseudomorphose des spicules d'Éponges par cette substance est au contraire très répandu, même dans les roches où les coquilles de Radiolaires et de Diatomées sont restées siliceuses. La transformation en glauconie des spicules d'Éponges commence par le canal ; elle s'étend progressivement et souvent irrégulièrement aux spicules eux-mêmes et finit par les envahir complètement. La glauconie est susceptible de s'associer à l'opale et à la calcédoine dans cette œuvre d'épigénie et de donner les aspects les plus variés à un simple bâtonnet cylindrique.

2° *Organismes calcaires.* Ici la glauconie joue un rôle de *remplissage* ou de *substitution*. Sauf quelques exceptions, les *Foraminifères* sont très rares ou même absents dans les roches siliceuses que j'ai étudiées. Dans les plus typiques, la glauconie reste presque toujours indépendante de ces organismes. Quand son existence est liée à celle de leur coquille, elle la remplit plus ou moins complètement ; il est excessivement rare qu'elle en déborde pour envahir le ciment ambiant.

La glauconie pénètre dans l'épaisseur même des coquilles de Mollusques, s'y développe sous la forme de petits granules arrondis ou irréguliers qui restent presque

toujours indépendants. Le test peut être criblé de ces corpuscules. Parfois ils se relient par de fins prolongements et donnent naissance à un réseau glauconieux irrégulier.

Association de la glauconie avec les minéraux terrigènes. Conséquences qui en découlent. MM. J. Murray et Renard ont constaté que la glauconie actuelle est toujours associée à des minéraux terrigènes, et en particulier avec de l'orthose plus ou moins kaolinisée et du mica blanc, fournissant de la potasse en se décomposant. Cette association existe également pour les tuffeaux (= grès et gaizes quartzeuses) et les gaizes. L'abondance des feldspaths et notamment de l'orthose, la présence fréquente du mica blanc dans ces roches permettent de remonter facilement à la source qui a fourni une partie des principes chimiques réunis dans la glauconie.

Non-seulement la glauconie de ces dépôts est toujours associée à de nombreux minéraux terrigènes, mais encore semble-t-il exister pour beaucoup d'entre eux une relation entre le volume des éléments détritiques et le diamètre des grains de glauconie. Ces caractères varient ensemble et dans le même sens. La glauconie est généralement de petite taille dans un grès ou une gaize à petits grains de quartz; elle forme des grains volumineux si les particules détritiques sont de grande dimension [1]. Voici comment j'explique cette particularité :

En présence du grand nombre d'exemples à l'appui de la loi énoncée plus haut, on est obligé d'admettre que la cause qui réglait le volume des particules minérales déposées en un point, affectait également celui des grains de glauconie. Pour ce qui est des minéraux détritiques, on ne peut faire appel qu'à des variations de puissance de l'agent de transport ; mais ces mêmes variations n'ont pu agir sur le volume des grains de glauconie que si ces derniers ont été soumis aux mêmes actions mécaniques, que les grains de quartz, etc.

On arrive à cette notion, que dans beaucoup de roches glauconieuses que j'ai étudiées, un certain nombre d'éléments de glauconie n'ont pas été formés sur place. Ils ont été transportés de leur lieu d'origine vers des points où ils se sont accumulés. C'est la seule manière d'expliquer la forte proportion de glauconie que renferment certains tuffeaux (relevant du groupe grès) et qui va jusqu'à représenter les quatre cinquièmes de la roche.

L'étude des sections minces des tuffeaux (grès) très glauconieux à grains fins corrobore d'ailleurs cette conclusion : Dans ces roches, le ciment joue un rôle très effacé et les minéraux se touchent ; les grains de glauconie de même dimension que les particules de quartz correspondent à peine au volume d'une loge de Foraminifère. Les intervalles laissés libres entre les minéraux étaient trop petits pour être occupés par ces organis-

1. MM. CALDERON et CHAVES ont observé une connexion constante entre la grandeur des cavités des organismes et le volume des grains de glauconie de la même roche (p. 13). J'ai observé pareille relation dans toutes les craies glauconieuses où beaucoup de grains de glauconie ont conservé l'empreinte des organismes dans lesquels ils ont pris naissance.

mes et pourtant les grains de glauconie pullulent dans ces roches. Il faut admettre qu'ils ont été enlevés de leur point d'origine avec les éléments détritiques qui les accompagnent.

Glauconie considérée dans ses rapports avec les minéraux clastiques. 1° *Glauconie sous la forme d'enduit sur les minéraux.* Dans les gaizes et surtout dans les tuffeaux à éléments détritiques nombreux (grès opalifère ou calcédonieux), il est très fréquent que la glauconie forme une sorte de couronne à certaines espèces minérales. Elle recouvre un nombre considérable de grains de quartz d'un enduit vert continu (fig. 15), ou interrompu, et se présentant sous la forme de taches isolées ou plus rarement de sortes de trabécules irrégulièrement anastomosés à la surface des grains (fig. 16). Dans plusieurs de ces roches la totalité de la glauconie que l'on rencontre sous cette forme l'emporte certainement sur celle des grains ordinaires. L'épaisseur de ce dépôt est très variable. On passe par une foule d'intermédiaires à des grains de quartz enveloppés d'une si grande épaisseur de glauconie que le quartz n'est plus la partie principale de l'élément composé qui en résulte : il représente une inclusion dans un grain de glauconie. Tel est par exemple celui de la figure 18. Tel est encore celui que j'ai signalé à propos de la glauconie clivée (p. 166). Cette dernière manière d'être doit être considérée comme rare.

Bien que ce phénomène soit d'une grande généralité dans les roches siliceuses que j'ai étudiées, il n'avait pas été signalé quand j'ai publié ma note préliminaire.

M. Gümbel a noté la présence, dans son mémoire, de grains de quartz d'Agulhas-Bank recouvert d'un dépôt vert, soluble dans l'acide chlorhydrique et se présentant comme de la glauconie, mais « *eine eigentliche Inkrustirung der Quarzkörner mit Glaukonit wurde nicht beobachtet* » (p. 429). MM. Murray et Renard ont dit en 1891, à propos de la glauconie qui se forme de nos jours, que quelques éléments pouvant être considérés comme glauconie apparaissent comme des fragments d'anciennes roches très altérées ou comme le résultat du revêtement de ces fragments de roche par la glauconie.

2° *Inclusions des grains de glauconie.* J'ai signalé (p. 166) la présence d'inclusions minérales parfois nombreuses dans les grains de glauconie. MM. Murray et Renard ont expliqué la présence de particules quartzeuses, de grains de magnétite et d'autres minéraux dans la glauconie qui se forme de nos jours en supposant que les inclusions existaient dans la coquille avant le développement de la glauconie. Cette opinion ne peut s'appliquer à la glauconie des roches siliceuses :

A. En aucun cas je n'ai observé d'enclaves dans la glauconie enfermée dans les chambres de Foraminifères ;

B. Il serait impossible de faire pénétrer dans les coquilles de Rhizopodes des particules de quartz aussi volumineuses que les minéraux détritiques des roches siliceuses. Dans le cas de trois ou quatre éléments de quartz plus petits que les grains libres et placés un peu partout dans un seul grain de glauconie, il faudrait supposer

que ces inclusions se sont introduites dans plusieurs loges d'un même Foraminifère. La conformation des coquilles de Rhizopodes calcaires ne se prête pas du tout à une semblable opération. Je crois plus rationnel de comparer les éléments de glauconie avec une ou plusieurs inclusions, aux grains de quartz revêtus d'une simple pellicule glauconieuse, et d'admettre que la gaîne de glauconie s'est développée au point d'englober des particules minérales voisines.

3° *Incrustation des feldspaths.* La glauconie recouvre également les cristaux de feldspath, orthose, microcline, etc. Le phénomène est plus complexe que pour le quartz, car il y a pénétration dans le minéral de la matière glauconieuse qui s'infiltre pour ainsi dire, suivant les clivages au cœur même des cristaux (Les éléments que j'ai fait figurer dans la planche VI sont des sections de feldspath et non des grains complets). La glauconie souligne les clivages soit par une infinité de points verts plus ou moins rapprochés, soit par des traits parallèles, continus, parfois très épais. Les figures 19 et 20 montrent des sections d'orthose dont la position et le nombre de lignes de clivages sont ainsi devenus très apparents. La figure 20 est celle d'une orthose avec clivages p g^1 (001) (010). La figure 22 montre encore les mêmes clivages marqués par des bandes glauconieuses très épaisses ; quelques lignes vertes supplémentaires troublent un peu la régularité de celles qui suivent les clivages. Ces faits ne comportent qu'une interprétation, c'est que la glauconie s'est déposée sur le quartz et dans les feldspaths comme une substance qui se précipite d'une solution (quartz) ou qui se développe sur place (feldspath) sans le secours des organismes.

Glauconie pigmentaire. La considération de la glauconie pigmentaire conduit au même résultat :

1° Dans les gaizes crétacées et tertiaires dont la silice est à l'état d'opale indifférenciée, soit dans toute la roche, soit dans de grandes plages passant graduellement à la calcédoine, la glauconie affecte deux manières d'être bien distinctes. Elle se présente en grains homogènes bien individualisés ou elle sert de pigment par places au ciment exclusivement siliceux ou formé d'opale et d'argile. Elle donne alors naissance à des taches vertes nuageuses qui s'effacent insensiblement sur les bords et disparaissent sans qu'il soit possible de dire où finit au juste la glauconie et où commence la matière du ciment non pigmenté. Ces taches n'ont pas d'individualité propre : elles colorent le ciment et n'en sont jamais séparables. La glauconie se présente donc ici comme un *pigment* en tous points comparable à la limonite qui teinte parfois le ciment des gaizes [1]. Les Foraminifères sont d'ailleurs presque toujours absents dans les roches ; ils ne peuvent servir à expliquer cet état si spécial de la glauconie.

1. La figure 35 était destinée à opposer cette manière d'être aux grains ordinaires ; malheureusement elle en fait à peine soupçonner le contraste toujours très accusé dans les sections minces. La glauconie en grain est représentée par l'élément de gauche et la glauconie pigmentaire par celle de droite dont la teinte verte n'est pas assez dégradée sur les bords.

2° Comme cas particulier du précédent on peut citer la glauconie des gaizes à structure globulaire (La Cloperie, etc.). On voit des masses siliceuses mamelonnées, d'aspect mûriforme, formées par des globules mal individualisés, isolées de toutes parts dans la calcédoine et teintées par de la glauconie. Comme plus haut, ce minéral affecte la forme de taches à contours insaisissables sans relation aucune avec des microorganismes calcaires. Les taches de glauconie, qui se présentent avec leurs caractères ordinaires dans les plages de ciment non modifié, se mamelonnent plus ou moins complètement dans celles où la structure globulaire est esquissée ou largement développée.

La glauconie pigmentaire est abondante dans les gaizes typiques, mais le rôle qu'elle y joue est loin d'être comparable à celui des grains proprement dit. Elle existe également dans les gaizes quartzeuses.

L'époque de la formation de cette variété de glauconie reste incertaine. Ce qui est bien établi, c'est qu'elle se comporte autrement que les grains ordinaires avec les corps siliceux qui datent de la période de consolidation de la roche. Ainsi dans une gaize où l'opale présente une structure globulaire très nette, les grains de glauconie proprement dits sont revêtus d'une gaîne formée de globules soudés. Les taches vertes indifférenciées ou mamelonnées sont dépourvues d'un semblable revêtement. Il se peut que cette particularité soit une conséquence du fait que les taches n'ont pas d'existence propre. Comme elles font en quelque sorte partie intégrante du ciment, il est impossible que celui-ci se différencie autour d'elles.

Glauconie globulaire et genèse des grains composés sans intervention des organismes. La structure globulaire ne reste pas l'apanage de l'opale. Elle s'observe aussi chez la glauconie. Les globules de cette substance sont de forme sphérique, ovoïde ou irrégulière (fig. 23 et 24). On les rencontre avec leurs différentes formes soit au sein de l'opale indifférenciée, soit à côté des globules d'opale, soit encore au milieu de la calcédoine. Ils sont isolés, répandus au hasard dans le ciment ou groupés sur une plage de faible étendue (fig. 23 et 24). Les sections minces de coquilles de Mollusques silicifiés, rencontrées dans la Meule de Thivencelles et dans le tuffeau de Lille (= grès opalifère) sont souvent pénétrées de matière glauconieuse, découpée en petits globules irréguliers et souvent entièrement isolés dans l'épaisseur du test.

Quand les globules glauconieux sont associés en assez grand nombre ils se touchent et s'accolent (fig. 23). Dans la Meule de Thivencelles, où les globules réalisent la forme sphérique parfaite, ils vont par groupes en restant libres ou en se soudant de manière à figurer de petites masses glauconieuses en grappes. Comme terme de complication plus avancée, on trouve avec ces sphéroïdes des éléments plus volumineux lobés. Des globules simples mis en contact et devenus coalescents donneraient exactement le même résultat. Chaque lobe correspondrait à un globule dont le contour serait conservé du côté opposé à la suture (fig. 23).

Lorsque la quantité de glauconie réservée à une plage est beaucoup plus grande, les nombreux vides qui séparaient les globules se comblent. L'aire occupée par cette substance est plus homogène ; on y distingue déjà de grandes taches glauconieuses continues et mamelonnées sur les bords (fig. 24).

Avec la figure 25, on passe à des grains qui se décomposent en une infinité de granules de forme irrégulière ne laissant entre eux que de très faibles intervalles occupés par le ciment. L'homogénéité du grain composé n'est réalisée que sur une faible étendue correspondant à une tache verte continue. On peut remarquer qu'un pareil grain est bien voisin des éléments à structure granulée et à apparence craquelée de la figure 1.

Il existe des stades plus rapprochés encore du grain complet. Tels sont ceux des figures 28 et 29. L'argilite de Piéton (gaize quartzeuse) en fournit de très bons exemples (Pl. V, fig. 3). On voit à côté d'un élément de grande taille, de forme irrégulière et capricieusement découpée, un grain qui rappelle celui de la fig. 25, en ce sens qu'il est comme lui parcouru par de nombreuses solutions de continuité ; mais les particules constituantes y sont de plus grande taille et les lacunes réduites à de petites bandes de silice amorphe. Ce grain est aussi rapproché que possible des éléments à structure granulée de la figure 1. La glauconie de la figure 27 est un cas particulier du précédent, je le mentionne à titre de singularité.

Certaines gaizes (La Reupette, etc.) fournissent de bons exemples de ce passage. Parmi les éléments glauconieux, il en est de forme irrégulière, profondément découpés, garnis de protubérances, et présentant parfois à leur intérieur des lacunes comblées par le ciment. Ces grains revêtent la physionomie de concrétions. Ils montrent une tendance très accusée à se découper en globules, et l'on voit presque toujours à une faible distance de leur pourtour de petits granules glauconieux réguliers, qui ne sont pas soudés au grain principal.

Vient-on à examiner avec de forts grossissements une gaize quartzeuse où la glauconie présente l'aspect que je viens de noter, on voit ce minéral répandu un peu partout dans la roche, sous la forme d'une sorte de poussière dont les éléments sont extrêmement ténus, isolés ou groupés.

J'aurais pu multiplier les figures de glauconie globulaire, et montrer que les termes de complication progressive sont très répandus dans les roches siliceuses. On peut se rendre compte, par la rapide analyse qui précède, qu'il est possible en partant du globule simple de passer par toute une série d'intermédiaires à des éléments qui diffèrent à peine de la glauconie granulaire.

Toutes les roches où la glauconie se comporte comme je viens de le montrer sont presque toujours dépourvues de Foraminifères. Quand il en existe, il est tout à fait exceptionnel que la glauconie ait choisi des loges pour s'y déposer. *La précipitation des*

globules et leur réunion en grains composés se sont effectuées en dehors des dépouilles d'organismes calcaires.

Grains incomplets limités par une enveloppe glauconieuse continue. La figure 26 montre un grain de glauconie dont la forme est parfaitement arrêtée et limitée par une bande glauconieuse ininterrompue. A l'intérieur de cette enveloppe continue on voit des particules de toutes dimensions et de forme irrégulière, réunies par une foule de trabécules qui se ramifient ou s'anastomosent, en laissant entre eux des vides où la matière glauconieuse manque. Dans l'espèce, la forme et les contours du grain ont été déterminés non lorsque le développement du grain a pris fin, comme c'est le cas pour les grains qui prennent naissance dans les cavités d'organismes, mais alors que l'élément n'existait pour ainsi dire que dans ses grandes lignes, à l'état de squelette si l'on veut. J'ai observé quelques cas analogues mais avec des lacunes plus importantes. Les gaizes albiennes de Liart en fournissent beaucoup d'exemples. De tels grains sont à proprement parler des exceptions.

Malgré le rôle négligeable qu'ils paraissent jouer dans les roches siliceuses, je crois bon de faire remarquer combien leur manière d'être rappelle celle de certains nodules siliceux et phosphatés où le développement de la matière siliceuse ou phosphatée est centripète. Je signalerai plus loin dans le calcaire à Bryozoaires de Touraine des nodules siliceux dont la teneur en silice diminue lorsqu'on s'avance de la périphérie des nodules vers le centre. La silicification n'est complète qu'au bord de ces corps. On connaît un phénomène du même ordre pour certains nodules de phosphate de chaux. J'ai appelé l'attention en 1889, avec M. Ladrière, sur des nodules cénomaniens de Pernes-en-Artois, plus riches en phosphate à l'extérieur que vers le centre [1].

Genèse ou croissance de grains de glauconie après le dépôt de la roche. Les preuves de cette propriété de la glauconie sont nombreuses :

1° Si, dans les tuffeaux à minéraux détritiques nombreux (= grès), on étudie les rapports des grains de glauconie et des particules de quartz, on observe que, dans la très grande majorité des cas, les deux catégories d'éléments sont absolument indépendantes. Quand il n'en est pas ainsi, on voit la glauconie s'appliquer sur le quartz et en épouser une partie des contours (fig. 30), même lorsque celui-ci présente des formes découpées. Dans le cas de la figure 31, l'élément glauconieux est soudé à deux grains de quartz clastique d'orientation différente. Le grain de la figure 32, sur lequel je reviendrai plus loin, est une des meilleures preuves de la déformation des grains de glauconie au contact des minéraux de transport.

2° Parfois les grains de glauconie se moulent sur les spicules d'éponges qu'ils laissent intacts, et comme forme et comme composition.

---

1. LADRIÈRE et L. CAYEUX. Compte-rendu, etc. *Ann. Soc. G. N.*, vol. 6, p. 201. (1888-89).

3° Dans les gaizes à volumineux grains de glauconie (Liart), deux éléments voisins peuvent influencer réciproquement ceux de leurs contours qui sont en regard. Qu'ils soient en contact — mais non fusionnés — ou placés à une très faible distance, le bord de l'un suit toutes les sinuosités du contour de l'autre.

4° Certains grains envoient dans le ciment des digitations longues et délicates qui n'auraient pu résister aux actions mécaniques qui ont présidé à l'accumulation des matériaux des dépôts dans lesquels ils sont inclus.

5° Des formes allongées et étroites, et présentant des étranglements comme ceux de la figure 3 (Pl. V), et incomparablement plus volumineuses que les minéraux détritiques qui les accompagnent, auraient été disloquées par le transport.

6° Au voisinage de grains volumineux et irréguliers, et principalement à côté de ceux dont la structure granulée est le plus accusée, il existe quelquefois des petits globules de la même substance en plus grand nombre que partout ailleurs. Ils sont indépendants du grain principal. Mais ce ne peut être que son influence qui a déterminé la production des granules en plus grand nombre dans son voisinage. Ces petits éléments glauconieux sont postérieurs à la sédimentation.

7° Les grains incomplets sont la meilleure preuve de la genèse ou de la croissance des grains de glauconie après le dépôt de la roche qui les renferme.

Les différentes particularités que je viens de mentionner établissent, je crois, que des grains de glauconie ont pris naissance ou ont continué à s'accroître, non sur le fond de la mer, mais lorsque tous les éléments du sédiment étaient en place, comme ils le sont dans le dépôt consolidé.

Formation de la glauconie en plusieurs temps. On voit dans la figure 3a un grain de quartz allongé recouvert d'une bande glauconieuse continue. A la couche verte fait suite vers l'extérieur une zone d'*opale*, puis un grain de glauconie dont le bord suit une grande partie du contour du quartz. Cette succession dans l'espace est aussi celle des zones dans le temps. Le revêtement glauconieux du quartz est le premier en date. Il est contemporain de la sédimentation, comme celui de tous les éléments de quartz du même dépôt. La zone d'opale lui est nettement postérieure. Quant au grain de glauconie, il ne peut mouler le quartz avec ses enveloppes glauconieuse et siliceuse que s'il a pris naissance *in situ*, et *après* tous les éléments qu'il circonscrit. *La gaîne glauconieuse et le grain de glauconie sont d'âge différent.*

Autres preuves de la genèse de la glauconie postérieure au dépôt de la roche ; Glauconie contemporaine de sa consolidation. Si l'on voulait tirer toutes les conséquences qui découlent de la considération des grains de glauconie qui se présentent dans les conditions de celui de la figure 3a, on serait certainement amené à conclure que ce minéral peut se former longtemps après le dépôt de la roche. Cette conclusion est imposée par les faits qui suivent :

1° La Meule la plus silicifiée de Thivencelles (Nord) présente, entre autres caractères particuliers, celui de renfermer une multitude de globules d'opale, remarquables par leur forme rigoureusement sphérique et l'uniformité de leur diamètre. Comme toujours cette structure globulaire n'est pas originelle, mais elle date de la période de consolidation de la roche. Parmi les petits sphéroïdes de la roche, il en est de verts qui sont doués de toutes les propriétés de la glauconie, qui vont par groupes soit en restant libres, soit en s'accolant de manière à figurer de petites masses en grappes. Bref, ils ne se distinguent des sphérules de silice que par leur coloration verte. Quelques-unes de ces sphérules ne sont pas entièrement glauconieuses et *leur centre est occupé par un peu d'opale*. Beaucoup d'entre elles se décomposent d'ailleurs en deux zones, l'une externe plus réfringente, l'autre interne figurant une sorte de nucleus d'opale incolore.

Le problème qui se pose est le suivant. Les sphérules de glauconie ne sont-elles pas des pseudomorphoses de globules de silice ? C'est la seule opinion soutenable pour les raisons suivantes :

A. Les perles de silice et de glauconie ont la même dimension et la même structure. Les premières ne comportent presque toujours qu'une seule couche de silice, et c'est par exception qu'elles renferment un noyau de silice incolore. De même les sphérules glauconieuses sont le plus souvent homogènes et lorsqu'elles perdent ce caractère, elles se décomposent en deux zones dont l'externe seule est verte. Cette particularité s'explique très bien si l'on admet que les sphérules entièrement glauconieuses correspondent aux globules siliceux simples, et que les sphéroïdes à noyau de silice résultent de la pseudomorphose de la couche externe de globules siliceux différenciés en un nucleus et une enveloppe.

B. La distribution de la silice et de ses globules est très irrégulière, et des portions entières de certaines préparations en sont presque dépourvues. On trouve les sphérules glauconieuses aux mêmes points que les siliceuses. Ce qui revient à dire qu'elles sont étroitement liées à des éléments qui datent de la période de métamorphose du sédiment.

2° Dans la gaize calcédonieuse d'Humbligny (Cher) où le ciment d'opale est découpé en une infinité de petits globules, j'ai observé les deux cas suivants :

A. Des globules sont formés d'un noyau sphérique de glauconie, présentant le même diamètre que le nucleus d'opale des globules ordinaires, et recouvert d'une enveloppe d'opale (Pl. VI, fig. 33).

B. Le noyau étant en opale, c'est l'enveloppe qui est glauconieuse.

En somme ces sphérules ont absolument la même structure que les globules exclusivement formés d'opale ; des deux parties entre lesquelles ils se décomposent, c'est tantôt l'interne et tantôt l'externe que la glauconie épigénise.

3° Pour compléter l'histoire de la glauconie et fournir une nouvelle preuve de son développement *in situ* pendant la consolidation des sédiments, j'emprunte l'exemple

suivant aux roches calcaires. On trouve dans la craie glauconieuse à *Micraster breviporus* de Lezennes des nodules de phosphate de chaux submicroscopiques. Ils résultent de l'imprégnation plus ou moins complète par la matière phosphatée d'une plage qui ne diffère en rien de la craie ambiante. On y retrouve les mêmes minéraux et les mêmes organismes. La glauconie recouvre ces nodules d'un enduit épais seulement développé par places. Bien plus elle remplit de larges fentes rectilignes en se raccordant avec la glauconie de la surface [1]. Or les nodules phosphatés en question jouent vis-à-vis de la craie le même rôle que les nodules siliceux. Comme eux ils se sont formés sur place, et dans le cas particulier envisagé ici, leur origine est nettement postérieure à celle de la craie. La glauconie qui s'est concrétionnée sur leur surface ou qui en remplit les solutions de continuité est elle-même plus récente que les nodules. La genèse sur place de ces noyaux phosphatés se rattache à la série des phénomènes multiples et de longue durée dont l'ensemble constitue la phase de consolidation du dépôt. La formation de la glauconie en dépend également.

Les relations de la glauconie avec les nodules phosphatés et surtout la considération des globules plus ou moins glauconieux démontrent que la glauconie a pu prendre naissance longtemps après l'accumulation des matériaux des roches considérées. La démonstration faite à l'aide des globules est surtout décisive. La structure globulaire de la silice étroitement liée à la présence de la calcédoine marque la dernière étape de la métamorphose des roches siliceuses. Il en résulte que l'apparition de la variété de glauconie en vue ici a été très tardive. Il convient de remarquer qu'elle s'est effectuée sur une échelle particulièrement réduite.

Glauconie épigénique de la calcite. J'ai observé dans la Meule de Thivencelles plusieurs cas très nets de rhomboèdres de calcite isolés, complètement transformés en glauconie. Ce stade d'épigénie intégrale est précédé d'un autre qui est réalisé par des rhomboèdres de calcite dont les contours sont nettement soulignés par une couronne glauconieuse peu épaisse. Des fragments de calcaires limités par des contours cristallins, sur une partie de leur pourtour, et parcourus par des clivages, présentent le même revêtement ou montrent un commencement de substitution. Il n'y a aucun doute sur l'identité de cette matière verte avec la glauconie.

La figure 34 montre au sein d'une grande plage plusieurs rhomboèdres vert jaunâtre qui montrent en lumière polarisée parallèle tous les caractères de la glauconie. Ils présentent un commencement d'altération. Au milieu d'eux on rencontre quelques rhomboèdres calcaires. Tout autour de la plage on voit des pointements rhombroédriques glauconieux dirigés vers l'intérieur et un peu de glauconie montrant des stries d'accroissement.

1. J'ai observé la glauconie dans des fentes de nodules de phosphate de chaux du Cap de la Hève. M. Sollas a signalé en 1873 la présence de la glauconie dans des fentes de nodules de l'Upper Greensand, d'Angleterre.

La même roche fournit encore l'exemple de volumineux grains ordinaires de glauconie renfermant de la calcite. Cette substance y constitue des taches irrégulières et le plus souvent affecte la forme de rhomboèdres. Certains éléments glauconieux laissent même reconnaître à l'intérieur, des formes de bâtonnets ou des grains irréguliers qui étaient originellement en calcite, mais qui sont complètement transformés en glauconie. Leur emplacement dans ces éléments est marqué par une teinte un peu plus foncée en lumière naturelle et se trouve encore parfaitement délimité en lumière polarisée parallèle.

Si l'on passe à l'examen des autres grains que rien ne signale à l'attention et si l'on utilise de forts grossissements, on reconnaît des sections de cristaux qui ne sont visibles qu'en descendant fortement le condenseur. La forme seule se retrouve, le calcite a disparu.

L'épigénie de la calcite par la glauconie, illustrée par de nombreux exemples dans la Meule de Thivencelles, est intéressante par elle-même. L'intérêt en serait beaucoup augmenté s'il était démontré que les rhomboèdres de calcite se sont développés sur place. Ici, la glauconie serait postérieure à la genèse des cristaux de calcite contemporains de la période de consolidation. La présence de calcite secondaire que j'ai signalée dans ce dépôt permet, dans une certaine mesure, de se ranger à cette opinion. Il importe de prendre en considération le fait que l'on trouve dans la même roche de la glauconie épigénique des globules siliceux et par conséquent de la glauconie secondaire. Pour ma part, je crois que la glauconie qui pseudomorphose des rhomboèdres s'est développée sur place et qu'elle est également secondaire.

De la part qui revient aux organismes dans la production de la glauconie. Les nombreuses observations que j'ai réunies dans ce chapitre démontrent que la genèse de la glauconie des roches siliceuses peut s'effectuer indépendamment des organismes. L'existence de la glauconie pigmentaire, la présence de cette substance, soit à la surface, soit à l'intérieur de minéraux clastiques, l'état globulaire de ce minéral, son origine après la sédimentation et sa substitution à la calcite sont autant de preuves que la glauconie peut prendre naissance indépendamment des dépouilles d'organismes. En dehors de ces différentes manières d'être, dont plusieurs sont très répandues dans les roches siliceuses, on retrouve cette substance en relation très fréquente avec les spicules d'éponges et beaucoup plus rarement avec les Foraminifères et les coquilles de Mollusques. Il existe donc deux catégories bien tranchées d'éléments glauconieux :

1° Une première comprenant ceux qui ont pris naissance en dehors des organismes.

2° Une seconde renfermant ceux qui ont conservé une empreinte organique bien apparente. Il est malheureusement impossible de faire une répartition motivée entre ces deux groupes de toute la glauconie des roches siliceuses. La grande majorité des grains sont dépourvus de marque d'origine. Je suis néanmoins porté à en rattacher un grand nombre à la seconde catégorie. Tout grain de glauconie qui prend naissance dans un Foraminifère cesse de trahir son origine par sa forme, dès que son volume a dépassé

celui du Foraminifère ; la croissance se fait irrégulièrement dans tous les sens. Il peut donc exister — et il existe certainement — parmi les grains dont la forme ne permet pas de les rattacher en toute sûreté à la seconde catégorie, beaucoup d'éléments dont l'origine est liée à l'existence de microorganismes. Je ne saurais pourtant admettre que ce soit le cas pour tous et tant s'en faut. En effet, quelles que soient la nature et l'intensité des modifications subies par les roches siliceuses, il y a deux faits qui n'en demeurent pas moins incontestables, c'est que les microorganismes calcaires y ont été mal représentés et souvent même très rares, et que dans les roches où ils se rencontrent avec quelque fréquence, il est de règle que la glauconie se développe de préférence partout ailleurs que dans leurs loges. Il est donc nécessaire de chercher l'explication de beaucoup de grains en dehors de toute intervention organique directe. Le départ rigoureux des éléments qui ont pris naissance par l'un ou l'autre des processus indiqués est impossible. Je n'essayerai donc pas d'apporter plus de précision dans une question qui n'en comporte pas.

Je ne saurais trop insister sur ce point qu'en restreignant beaucoup le rôle des organismes dans la formation de la glauconie, je n'ai en vue que les dépôts siliceux que j'ai étudiés. Mes conclusions ne portent aucune atteinte à l'opinion courante sur le mode de formation de la glauconie des sédiments actuels. Je désire pourtant ajouter que le fait de la genèse de la glauconie actuelle dans les cavités des organismes calcaires n'autorise pas à faire intervenir exclusivement les organismes dans la formation de la glauconie ancienne. On ne connaît de l'histoire des boues océaniques que la première des nombreuses phases qu'elles auront à parcourir pour revêtir le facies de sédiments anciens. On ignore absolument la nature et le nombre des réactions dont ces boues seront le théâtre — surtout celles qui renferment des organismes siliceux — dès qu'elles seront soustraites à nos investigations. Que la glauconie actuelle ait son existence subordonnée à celle des organismes, cela ne paraît faire aucun doute ; que ce minéral puisse se développer plus tard dans les mêmes formations sans le secours des organismes, il n'y a aucune raison qui s'y oppose. Ce que l'on sait de la glauconie des roches siliceuses étudiées donne beaucoup de vraisemblance à la seconde proposition. Dans ce cas, moins que dans tout autre, il ne faut pas perdre de vue que *la considération des sédiments océaniques n'éclaire qu'imparfaitement l'histoire des dépôts anciens.*

De l'intervention de la matière organique dans la genèse de la glauconie. Depuis que Bowerbank [1] a déclaré que la matière organique de l'éponge est la substance attractive de la silice des silex, on a fait jouer un rôle prépondérant à la matière organique dans la précipitation de diverses substances qui entrent dans la composition des formations sédimentaires et notamment de la glauconie. On admet que c'est elle qui provoque le

1. BOWERBANK. On the siliceous, etc., *Pr. of the Geol. Soc. of London*, vol. 3, pp. 278-281 (1839-40).

dépôt de la glauconie et qui règle l'extension de ses éléments. Je rappellerai que Bailey, le premier, l'a fait intervenir en 1856, et que M. J. Sollas écrivait, en 1876, que la glauconie occupe seulement la place de la substance organique. MM. J. Murray et Renard ont vu dans la présence de la glauconie à l'intérieur des chambres de Foraminifères précédemment occupées par la matière organique l'indication d'une relation de causalité entre les deux substances. La nécessité absolue de l'intervention d'une substance organique pour résoudre le problème obscur de l'origine de la glauconie a été proclamée tout récemment encore par MM. S. Calderon et Chaves [1]. C'est maintenant l'opinion courante, mais c'est quand même une hypothèse que personne n'a élevée au rang d'une vérité scientifique.

Les observations que j'ai relevées permettent de conclure que *la glauconie peut se former en des points où il n'y avait certainement pas de matière organique.* Ainsi j'estime que cette dernière n'a joué aucun rôle dans la genèse des manières d'être suivantes de ce minéral :

1° Pénétration de la glauconie dans les clivages du feldspath ; 2° glauconie secondaire (glauconie globulaire, *pars*); 3° glauconie épigénique de la calcite.

Pour la glauconie qui forme une couronne aux minéraux de transport et la variété que j'ai appelée pigmentaire, son intervention n'est évidemment pas impossible, mais j'insiste particulièrement sur ce point qu'elle est absolument hypothétique.

Je résumerai ma pensée en disant *qu'il se peut que la matière organique soit le plus souvent la condition primordiale de toute production de glauconie, mais qu'il est bien certain que dans plusieurs cas, cette substance n'a point présidé à la genèse de ce minéral* [2].

Il importera de tenir compte dans les essais de reproduction artificielle de la glauconie, de sa *dualité d'origine* dans la nature. MM. Calderon et Chaves croient avoir obtenu un sel analogue à ce minéral par des procédés de laboratoire. La grande diffusion de la glauconie dans les formations sédimentaires donne un grand intérêt aux recherches de ces savants, et il faut espérer que les diverses circonstances de la genèse de cette curieuse substance ne tarderont pas à être éclaircies.

1. S. CALDERON et CHAVES. Op. cit., p. 13 (1894).

2. L'histoire de la glauconie présente par certains côtés d'étroites analogies avec celle des silex ; la présence de la matière organique est généralement considérée comme indispensable à la formation des silex. Je montrerai plus loin que dans certains cas, ces corps prennent naissance très longtemps après le dépôt du sédiment, dans lequel ils sont inclus, et par conséquent en l'absence de toute trace de matière animale à la place qu'ils occupent. Il me paraît évident que la glauconie est douée de la même propriété, et que l'histoire de ces éléments compte un point commun de plus.

CHAPITRE V

APPENDICE PALÉONTOLOGIQUE

DESCRIPTION DES RADIOLAIRES DE LA SMECTIQUE DE HERVE (BELGIQUE)

ASSISE A BELEMNITELLA QUADRATA

(Cp2c, de la carte géologique de Belgique)

(Planches VII et VIII)

Bibliographie. Alors que le Jurassique supérieur, le Crétacé inférieur et le Tertiaire se signalent par le grand nombre de Radiolaires qu'ils renferment, le Crétacé supérieur s'est fait jusqu'ici remarquer par une extrême pauvreté en dépouilles de ces organismes. M. J. Sollas [1] en découvrit dans l'Upper Greensand de Cambridge en 1873. M. Zittel [2], en 1876, trouva dans le Sénonien supérieur du Nord de l'Allemagne six espèces de Radiolaires appartenant à 4 genres connus. M. Pantanelli [3], en 1880, a noté la présence d'une espèce dans le Crétacé de Toscane. Wallich [4] en reconnut 4 genres dans des cavités de silex creux dont l'âge exact m'est inconnu. Parmi les nombreuses formes observées par M. Rüst [5] figurent seulement deux espèces originaires du Crétacé supérieur d'Angleterre. M. A. Fritsch [6] mentionne dans ses études sur la Bohême (1893) 11 espèces, réparties en 9 genres, dans les couches marneuses de Priesen (Sénonien inférieur). M. Deecke [7] a découvert en

1. W. J. Sollas. On the Foraminifera, etc., *Geol. Mag.*, vol. 10, pp. 268-274 (1873).

2. K. Zittel. Ueber einige fos. Rad., etc., *Zeits. d. deutsch. Geol. Ges.*, vol. 28, pp. 75-86 (1876).

3. D. Pantanelli. I Diaspri della Toscana, etc., *Atti della R. Acc. dei Lincei*, vol. 8, p. 45 (1880).

4. Wallich. Note on the detection of Polycystina, etc., *Ann. and Mag. of Nat. Hist.*, 5e S. vol. 12, pp. 52-53 (1883).

5. Rüst. Beiträge zur Kenntniss, etc., *Palæontographica*, vol. 34 (1888).

6. A. Fritsch. Studien im Gebiete, etc., *Arch. d. Naturw. Landesdurchforschung von Böhmen*, vol. 9, n° 1 (1893). Ces formes ont été décrites en 1891 par M. Perner : O radiolariich z , etc., *Sitz. d. könig. Böhm. Ges. d. Wiss.*, 17 April.

7. W. Deecke. Die mesoz. Form. etc., *Mitth. d. naturw. Vereines für Neu-Vorpommern und Rügen*, Sep.-Abd., p. 62 (1894).

1894 des Radiolaires dans les silex de la craie de Rügen. Tout récemment MM. Hill et Jukes Browne [1] ont observé plusieurs formes dans le « Melbourn-Rock » (Turonien inférieur) d'Angleterre.

J'ai découvert, il y a plusieurs années déjà, dans la smectique de Battice, près de Herve (Belgique), relevant de l'assise à *B. quadrata*, toute une faune de Radiolaires dont je donne ci-après la description de ses représentants les mieux conservés. Ils proviennent tous d'échantillons que je dois à l'obligeance de M. Rutot et que j'ai classés comme *gaizes calcarifères* et *calcaires quartzifères en voie de silicification*.

Légion SPUMELLARIA

Ordre SPHÆRELLARIA. — Sous-Ordre SPHÆROIDEA

Famille PROTOSPHÆRIDA Cayeux, nov. fam.

J'ai créé cette famille pour des Radiolaires présentant à la fois des caractères du sous-ordre des *Beloidea* et de celui des *Sphæroidea*. Le squelette est formé d'une coquille sphérique comme chez beaucoup de *Sphæroidea* et de spicules isolés comme chez les *Beloidea* solitaires *(Thalassosphærida)*. Il faut voir dans ces nouvelles formes des termes de passage entre les deux grandes subdivisions des *Spumellaria*, c'est-à-dire entre les *Collodaria* et les *Sphærellaria*.

Genre **Protosphæra** Cayeux, nov. gen.

Squelette formé d'une sphère treillissée et de spicules isolés dans le sarcode. Les spicules sont simples ou branchus. La coquille est pourvue de piquants rudimentaires.

Protosphæra hexagonalis Cayeux, nov. sp., Pl. VII, fig. 1. Coquilles à mailles hexagonales avec petits renflements terminés en pointe, insérés à chaque point de croisement des mailles. Spicules de deux sortes et toujours pleins ; les uns sont simples et arqués ; les autres présentent plusieurs bifurcations.

Diam. de la coquille, 0,2 [2]; largeur des pores, 0,008. Plusieurs individus.

Protosphæra multifurca Cayeux, nov. sp., Pl. VII, fig. 2. Sphère treillissée connue seulement à l'état de section. Légers renflements aux points de croisement des mailles. A en juger par la coupe, ces dernières devaient être petites et nombreuses. Spicule de grande taille avec extrémités bi- ou trifurquées.

Diam. de la coquille, 0,084. Très rare.

---

1. W. HILL and A. J. JUKES-BROWNE. On the Occur. of Radiolaria in Chalk, *Quart. Journ. Geol. Soc.* vol. 51, pp. 600-608 (1895).

2. Le millimètre sera toujours pris pour unité.

Fam. LIOSPHÆRIDA. S.-Fam. ETHMOSPHÆRIDA

G. **Cenosphæra** Ehr.

Coquille formée d'une seule sphère creuse treillissée avec pores hexagonaux ou circulaires non prolongés en tubes.

Cenosphæra micropora Cayeux, nov. sp., Pl. VII, fig. 3. Sphère treillissée de grande taille avec pores très petits, nombreux et réguliers à raison de 20 par quadrant.

Diam. de la coquille, 0,33 ; diam. des pores, 0,005. Plusieurs individus.

Cenosphæra Rutoti Cayeux, nov. sp., Pl. VII, fig. 4. Sphère treillissée avec pores hexagonaux de mêmes dimensions à raison de 4 par quadrant.

Diam. de la coquille, 0,084; diam. des pores, 0,007. Rare.

S.-Fam. CARPOSPHÆRIDA

G. **Liosphæra** Hæckel

Coquille pourvue de deux sphères treillissées concentriques extracapsulaires et attachées ensemble par des bâtonnets radiaires. La distance qui les sépare est plus petite que le rayon de la sphère centrale.

Liosphæra sp. [1], Pl. VII, fig. 5. Les deux sphères possèdent un nombre différent de pores réguliers, ou de forme très variable et de dimensions inégales. La coquille externe brisée présente une très faible épaisseur. Rayons nombreux courts et épais. Surface de la coquille externe unie.

Diam. des deux sphères, 0,08 et 0,055 ; diamètre des pores oscillant autour de 0,005. Très rare.

Liosphæra sp., Pl. VII, fig. 6. Les deux coquilles ne paraissent pas rigoureusement sphériques. Pores inconnus. La figure montre 13 rayons complets placés sur un même plan ; quelques autres ne sont qu'amorcés. Ils se prolongent au-delà de la coquille externe et donnent naissance à de petits piquants ; d'autres piquants de même importance, indépendants des rayons, sont intercalés entre les premiers ; ils sont sensiblement équidistants. Le test des deux sphères est épais.

Diamètre des deux coquilles, 0,12 et 0,084. Quelques individus.

G. **Cromyosphæra** Hæckel

Coquille sphérique formée de quatre sphères treillissées concentriques dont deux intracapsulaires (médullaires) et deux extracapsulaires (corticales). Les premières sont réunies aux secondes par des bâtonnets radiaires.

Cromyosphæra sp., Pl. VII, fig. 7. Coquille subsphérique. Les diamètres des quatre

1. Je n'ai pas nommé cette espèce parce que le dessin en est défectueux.

sphères sont dans les rapports 1 : 3 : 5 : 7, c'est-à-dire que les sphères sont équidistantes et qu'elles sont séparées par un intervalle égal au diamètre de la sphérule centrale. Rayons très grêles ; les uns relient directement la sphère externe à l'interne, le plus grand nombre s'arrêtent à la plus grande des coquilles intracapsulaires. Plusieurs rayons réunissent les sphères extracapsulaires. Les coquilles sont d'une grande minceur; elles présentent des épaississements partout où elles sont rencontrées par les rayons. La sphère corticale externe possède également de petits renflements. Les uns sont des prolongements des rayons, ce sont en réalité des piquants rudimentaires; les plus nombreux en sont indépendants. Pores inconnus.

Diam. des quatre sphères, 0,13 — 0,093 — 0,056 — 0,02. Quelques individus.

Cromyosphæra sp., Pl. VII, fig. 8. Les diamètres des quatre sphères sont dans les rapports suivants 2 : 5 : 7,5 : 11. Elles sont d'inégale épaisseur. La corticale interne est d'une grande minceur, l'intra-capsulaire externe est au contraire très épaisse ; toutes portent des renflements aux points de passage des rayons. Ceux-ci sont très grêles. La moitié environ de ceux qui sont conservés relient la sphère externe à la coquille médullaire centrale ; les autres s'arrêtent à la sphère médullaire externe. Pores inconnus. La coquille externe est pourvue de nombreux petits piquants réduits à de simples aspérités ; les uns sont de simples prolongements des rayons, les autres en sont indépendants et intercalés entre les premiers.

Diam. des quatre sphères, 0,12 — 0,082 — 0,054 — 0,022. Rare.

Cromyosphæra sp., Pl. IX, fig. 9. Les diamètres des quatre sphères sont dans les rapports suivants 2 : 3,5 : 5,5 : 7. Sphères épaisses reliées par des rayons très grêles et nombreux. Le test est épaissi aux points de passage des rayons. La corticale externe est couverte de piquants rudimentaires correspondant tous à de faibles prolongements des rayons. Pores inconnus.

Diam. des quatre sphères, 0,063 — 0,049 — 0,024 — 0,018. Rare.

S.-Fam. CARYOSPHÆRIDA

G. **Caryosphæra** Hæckel

Radiolaire sphérique formé de deux coquilles intracapsulaires (médullaires) et de trois (ou plus) sphères extracapsulaires (corticales). Les coquilles médullaires et corticales sont attachées ensemble par des bâtonnets radiaires.

Caryosphæra sp., Pl. VII, fig. 10. Coquille composée de cinq sphères concentriques dont les diamètres présentent les rapports suivants 1 : 2 : 3 : 4 : 5. Test de chaque sphère extrêmement mince ; rayons grêles très nombreux s'étendant entre deux et exceptionnellement trois coquilles. La sphère externe montre d'imperceptibles renflements qui ne sont que les prolongements de tous les rayons qui aboutissent à la sphère corticale la plus

externe. A chaque point d'insertion des rayons sur les coquilles correspondent des épaississements qui sont surtout marqués sur toutes les sphères médullaires et sur la corticale interne. Pores inconnus.

Diam. des cinq coquilles, 0,067 — 0,053 — 0,037 — 0,027 — 0,013. Rare.

Caryosphæra sp., Pl. VII, fig. 11. Coquille composée de six sphères concentriques, dont les diamètres présentent les rapports suivants 2 : 3 : 5 : 6 : 9 : 12,5. Rayons grêles, incomplets dans l'individu figuré, ne dépassant pas l'intervalle compris entre deux coquilles successives, ou reliant trois ou quatre sphères consécutives. Épaississements très marqués pour toutes les sphérules aux points d'insertion des rayons, sauf pour la coquille corticale externe; un petit nombre sont conservés chez cette dernière; ils donnent naissance à des épines rudimentaires.

Diam. des sphères, 0,126 — 0,09 — 0,06 — 0,05 — 0,03 — 0,02. Un seul individu connu.

Fam. STYLOSPHÆRIDA

G. **Monostylus** Cayeux, nov. gen.

Coquille sphérique simple, munie d'une seule longue épine. Le genre *Monostylus* occupe dans la famille des *Stylosphærida* la même place que le genre *Lithapium* dans celle des *Ellipsida*. C'est un *Xiphostylus* avec une épine non développée.

Monostylus hirsutus Cayeux, nov. sp., Pl. VII, fig. 12. Coquille sphérique simple, portant une longue épine conique et recouverte de nombreux petits piquants équidistants, probablement insérés à chaque point de croisement des mailles. Pores inconnus.

Diam. de la coquille, 0,15; long. de l'épine, 0,21. Rare.

Sous-Ordre **PRUNOIDEA**

Fam. DRUPPULIDA

G. **Druppula** Hæckel

Radiolaire de forme ellipsoïdale comportant deux coquilles, l'une corticale, l'autre médullaire, sans épines ou tubes polaires.

Druppula sp., Pl. VII, fig. 13. Radiolaire composé de deux coquilles de forme ellipsoïdale, réunies par des rayons nombreux et épais. Aucun de ces rayons n'est entièrement conservé; on en voit seulement l'amorce sur le pourtour de la coquille médullaire. Pores inconnus. La coquille corticale ne porte ni piquants ni épines. Forme de conservation défectueuse.

Axes de la coquille extracapsulaire, 0,118 — 0,084; axes de la coquille intracapsulaire, 0,067 — 0,06. Très rare.

G. **Druppocarpus** Hæckel

Radiolaire de forme ellipsoïdale comprenant deux coquilles, l'une corticale, l'autre médullaire, réunies par des bâtonnets radiaires. La plus grande porte de nombreuses épines radiales, mais elle est dépourvue de tubes polaires.

Druppocarpus sp., Pl. VII, fig. 14. Coquille corticale très mince armée de piquants de deux ordres ; les plus forts correspondent aux prolongements des rayons ; les autres sont de petites éminences plus ou moins acérées. Pores inconnus. Coquille médullaire subsphérique, très mince et treillissée ; pores polygonaux irréguliers. Rayons très grêles sauf à leurs points d'attache aux coquilles. Le rapport des axes n'est pas le même pour les deux coquilles.

Axes de la coquille corticale, 0,014 — 0,11 ; coquille médullaire, 0,05 — 0,045 ; pores, 0,006. Rare.

G. **Druppastylus** Cayeux, nov. gen.

Radiolaire de forme ellipsoïdale comprenant une coquille corticale simple et une coquille médullaire double. Il se distingue des autres *Druppulida* par l'existence d'une seule épine polaire. Il se range à côté du genre *Xiphatractus* qui possède deux épines polaires inégales. Il doit occuper dans la famille des *Druppulida* une place correspondante à celle du genre *Lithapium* dans la famille des *Ellipsida*.

Druppastylus hirsutus Cayeux, nov. sp., Pl. VII, fig. 15. Coquille corticale subsphérique, montrant des vestiges de quelques rangées de pores très serrés, réguliers, circulaires ou faiblement elliptiques, recouverte de piquants très courts, mousses, équidistants, se prolongeant légèrement à l'intérieur de la coquille. L'un des pôles de l'axe principal porte une très longue épine anguleuse. Autour de son point d'insertion l'épine est accompagnée d'un faisceau de pointes acérées. Les coquilles médullaires sont sphériques et minces ; elles montrent de notables épaississements aux points où les rayons les rencontrent. Cinq rayons très grêles rattachent la sphérule centrale à la coquille corticale. Quatre d'entre eux sont sensiblement deux à deux dans le prolongement l'un de l'autre et disposés à angle droit. Il est très probable que le nombre en est incomplet.

Axes de la coquille corticale, 0,084 — 0,07 ; plus grand diamètre de ses pores, 0,005 ; rayons des sphères médullaires, 0,033 — 0,008 ; longueur de l'épine, 0,1. Très rare.

Fam. SPONGURIDA

G. **Spongurus** Hæckel

Radiolaire formé d'un squelette spongieux de forme ellipsoïdale ou cylindrique, dépourvu de cavité interne, de coquille médullaire et d'épines polaires.

Spongurus sp., Pl. VII, fig. 16. Coquille simple, cylindrique, à terminaisons hémisphé-

riques. Pores de forme grossièrement circulaire ou polygonale, nombreux, serrés et petits. La plupart sont détruits.

Long., 0,21 ; diam., 0,058. Assez fréquent.

G. **Spongoprunum** Hæckel

Radiolaire formé d'un squelette spongieux de forme ellipsoïdale ou cylindrique et de deux épines polaires.

Spongoprunum (?) sp., Pl. VII, fig. 17. Squelette spongieux, subcylindrique. Pores irréguliers, d'assez grande taille, serrés et en partie détruits. L'individu figuré montre une longue épine polaire qui ne se trouve pas dans le prolongement de l'axe principal. Un autre individu possède deux épines polaires brisées [1].

Long., 0,14 ; diam., 0,054 ; long. de l'épine, 0,18 ; diam. moyen des pores, 0,01. Assez rare.

Sous-Ordre **DISCOIDEA**

Fam. PORODISCIDA

G. **Porodiscus** Hæckel

Squelette en forme de disque lenticulaire biconvexe, dépourvu d'épines radiaires et d'appendices marginaux. Il est composé de deux à quatre (ou beaucoup plus) loges concentriques ou enroulées en spirale, traversées par des cloisons rayonnantes. M. Hæckel a subdivisé ce genre en cinq sous genres dont quatre sont représentés dans la Smectique de Herve.

S.-G. *Trematodiscus* Hæckel

Toutes les loges sont concentriques.

Porodiscus sp., Pl. VII, fig. 18. Disque subcirculaire comprenant trois loges concentriques de largeur à peu près égale, divisées en chambres par des cloisons qui alternent généralement d'une loge à l'autre. Chambres un peu plus grandes dans la loge externe que dans la moyenne. Surface de la coquille montrant de petits renflements aigus aux points où aboutissent les cloisons ; quelques-uns sont indépendants des cloisons. Pores inconnus.

Diam. du disque, 0,07 ; diam. des loges internes, 0,034 — 0,013. Assez rare.

Porodiscus sp., Pl. VII, fig. 19. Trois loges d'inégale largeur (l'externe presque entièrement détruite), loge moyenne subcirculaire ; lames rayonnantes très épaisses donnant naissance à des chambres de dimensions inégales dans un même tour. Elles

---

1. Les *Spongoprunum* sont par définition des *Spongurida* dépourvus de cavité interne. Les formes que je rapporte à ce genre sont de conservation défectueuse et en aucun cas, je n'ai pu m'assurer de l'existence de ce caractère. Je considère donc leur attribution au genre *Spongoprunum* comme *absolument* incertaine.

alternent avec celles de la loge voisine. Le squelette de la loge centrale montre des mailles polygonales très inégales.

Grand axe de chaque loge, 0,105 — 0,06 — 0,036; petit axe, 0,09 — 0,058 — 0,025; pores, environ 0,21. Rare.

Porodiscus sp., Pl. VII, fig. 20. Squelette biconvexe formé de trois loges concentriques dont la centrale montre quelques pores. Les deux externes sont d'égale largeur et traversées par des cloisons qui alternent d'une loge à l'autre ou qui sont placées dans le prolongement l'une de l'autre ; chambres d'égale largeur.

Grand axe des trois loges, 0,054 — 0,04 — 0,02; petit axe, 0,042 — 0,03 — 0,018. Rare.

Porodiscus sp., Pl. VII, fig. 21. Disque lenticulaire de forme générale subcirculaire, comprenant une loge centrale entourée de deux loges de forme irrégulière dont la largeur varie d'un point à un autre. D'épaisses cloisons rayonnantes inégalement réparties relient entre elles les lames concentriques ; elles alternent le plus souvent. Pores très irréguliers, polygonaux ou à contours arrondis, distribués sans aucun ordre à raison de deux rangées pour chacune des loges externes, la loge centrale en comporte un grand nombre disposés confusément.

Axe de la coquille, 0,105 — 0,084 ; distance des loges, en moyenne 0,02 ; diam. moyen des pores, 0,005. Très rare.

Porodiscus sp., Pl. VII, fig. 22. Coquille discoïde de forme générale subcirculaire, à contour polygonal avec nombreux angles rentrants. Les lames concentriques sont d'autant moins circulaires en section qu'elles sont plus éloignées du centre. Leur écartement augmente du centre vers la périphérie. Des cloisons alternantes ou se prolongeant à travers plusieurs loges divisent ces dernières en chambres qui grandissent en même temps que les loges. Les lames rayonnantes de la loge externe ont leurs points d'insertion au sommet des angles rentrants de la coquille externe. Tous les éléments du squelette sont massifs. La loge centrale montre trois mailles polygonales inégales. Les pores manquent partout ailleurs.

Axes de la coquille, 0,113 — 0,09; plus grand diamètre de la loge centrale, 0,013. Largeur respective de chacune des autres loges, 0,023 — 0,017 — 0,011. Très rare.

Porodiscus sp., Pl. VII, fig. 23. Coquille biconvexe, circulaire (vue sur la figure, suivant une section elliptique passant par l'axe d'aplatissement). Loge centrale sphérique revêtue de cinq tours concentriques de même largeur (forme circulaire ou elliptique suivant la direction de la section). Au voisinage des extrémités du petit axe, le dernier tour se rapproche progressivement de celui qui le précède, puis il y a interruption aux pôles du petit axe. Cloisons très nombreuses, alternant rarement, déterminant la formation de petites chambres sensiblement égales, sauf pour la dernière loge, et faisant légèrement hernie à l'extérieur. Tous les éléments du squelette sont très épais. Pores inconnus.

Axes de la coquille, 0,13 — 0,086 ; diamètre de la sphère centrale, 0,03 ; largeur des loges, 0,008. Assez répandu.

Porodiscus sp., Pl. VII, fig. 24. Coquille biconvexe (le dessin en représente une section elliptique). Les deux loges centrales sont sphériques. Celles qui leur font suite sont de plus en plus déformées et elliptiques (en section). Cinq tours de loges de largeur un peu différente enveloppent la sphère centrale. Cloisons grêles très nombreuses, presque toutes alternantes d'un tour à l'autre et déterminant de légers renflements à leurs points de suture aux lames siliceuses ; chambres inégales. Pores inconnus.

Axes de la coquille, 0,13 — 0,082. Diam. de la sphère centrale, 0,013. Assez abondant.

Porodiscus sp., Pl. VII, fig. 25 et 26. Coquille en forme de disque, vue suivant sa face aplatie et subcirculaire, comprenant huit tours de loges concentriques, d'égale largeur, coupées par un grand nombre de cloisons très grêles, alternant ou non (le dernier tour de l'individu 25 en compte plus de 80). Epaississements aux points où les rayons se soudent aux lames siliceuses. Chambres ayant à peu près la même largeur ; loge centrale légèrement elliptique. Pores inconnus. Assez fréquent.

Fig. 25 : axes, 0,12 — 0,11 ; largeur des tours, 0,005 ; grand axe de la chambre centrale, 0,032
Fig. 26 : id. 0,13 — 0,115 ; id. 0,005 ; id. 0,036

S.-G. *Perispira* Hæckel

Les lames siliceuses sont les unes concentriques (les internes), les autres disposées en spirale (les externes).

Porodiscus sp., Pl. VII, fig. 27. Squelette de forme générale elliptique (en section), composé de trois lames concentriques. Sur la plus externe s'insère une lame spirale interrompue au bout d'un seul tour. Lames sinueuses et équidistantes. Cloisons très grêles, rarement rectilignes, alternant presque toujours, séparant des chambres très inégales pour chaque tour (13 cloisons pour le dernier tour concentrique). Nœuds aux points d'insertion des cloisons rayonnantes et quelquefois en dehors sur la lame externe. Pores inconnus. La paroi de la chambre centrale paraît treillissée et pourvue de pores polygonaux irréguliers.

Axes de la coquille, 0,13 — 0,105 ; largeur des loges, 0,018. Très rare.

S.-G. *Centrospira* Hæckel

Lames internes disposées en spirale, les externes concentriques.

Porodiscus sp., Pl. VII, fig. 28. Le squelette de forme elliptique comprend, à partir du centre : une lame elliptique limitant la loge centrale ; une lame spirale effectuant près de deux tours et se soudant deux fois à elle-même ; deux lames concentriques et l'amorce d'une troisième.

Axes de la coquille, 0,11 — 0,07 ; axes de la loge centrale, 0,02 — 0,015. Très rare.

S.-G. *Discospira* Hæckel

Les loges qui entourent la chambre centrale sont enroulées autour d'elle suivant une spire.

Porodiscus sp., Pl. VII, fig. 29. Loge centrale elliptique, entourée d'une lame spirale décrivant un peu plus d'un tour ; 16 cloisons pour un tour complet. Chambres très inégales. Pores inconnus.

Axes de la coquille, 0,08 — 0,05 ; axes de la loge centrale, 0,06 — 0,036. Assez répandu.

Porodiscus sp., Pl. VII, fig. 30. Loge centrale elliptique entourée d'une lame spirale qui décrit un tour complet et qui s'en écarte progressivement. Sur cette lame s'en insère une autre enroulée dans le même sens. Cloisons assez nombreuses mais incomplètes, limitant des chambres de dimensions très variables et se prolongeant faiblement à l'extérieur. Amorces de pores sur la loge centrale.

Axes de la coquille, 0,105 — 0,084 ; axes de la loge centrale, 0,06 — 0,05. Très rare.

Porodiscus sp., Pl. VII, fig. 31. Loge centrale elliptique enveloppée de deux tours et demi de loges disposées en spirale ; largeur des loges variant d'un point à un autre. Paroi de la cavité centrale treillissée avec grands pores irréguliers. Cloisons très inégalement distantes, le plus souvent simples, quelquefois bifurquées, presque toujours alternantes (15 pour le dernier tour) ; courts piquants à la surface correspondant ou non aux lames rayonnantes. Pores inconnus. Eléments du squelette très massifs.

Axes de la coquille, 0,12 — 0,1 ; axes de la loge centrale, 0,03 — 0,017. Rare.

Porodiscus sp., Pl. VII, fig. 32. Loge centrale incomplète entourée de trois tours et demi de loges disposées en spirale. Lame spirale simple et régulière. Ecartement de la lame progressivement croissante à partir du centre. Cloisons nombreuses (24 pour le dernier tour), grêles, flexueuses, allant de la loge centrale à la périphérie ou ne traversant que deux tours de loges ou alternant d'un tour à l'autre. Nœuds aux points de rencontre de la lame spirale. Chambres de plus en plus grandes au fur et à mesure qu'on s'écarte du centre. Très courts piquants sur le dernier tour correspondant aux prolongements des cloisons et exceptionnellement indépendants de ces derniers. Pores inconnus.

Axes, 0,134 — 0,13 ; largeur du dernier tour à sa terminaison, 0,02. Assez abondant.

Porodiscus sp., Pl. VII, fig. 33 et 35. Loge centrale elliptique enveloppée de quatre ou de près de cinq tours de loges disposées en spirale. Lame spirale simple, régulière, d'écartement peu variable. Nombreuses cloisons rayonnantes (34 et 35 pour le dernier tour), rectilignes et très grêles, traversant le plus souvent toute la coquille, quelquefois deux ou trois tours, ou n'intéressant qu'un seul tour. Nœuds à leurs points de rencontre de la lame spirale. Prolongements en courts piquants sur le dernier tour. Les chambres ne sont pas rigoureusement égales, mais leurs dimensions varient peu d'un tour à l'autre. Pores inconnus. Assez abondant.

Fig. 33. Axes, 0,088 — 0,074; écartement des lames, 0,008.

Fig. 35. Axes, 0,126 — 0,12; id. 0,01.

Porodiscus sp., Pl. VII, fig. 34. Forme subcirculaire. Loge centrale circulaire enveloppée de quatre tours et demi de loges enroulées en spirale. Ligne spirale se dédoublant au quatrième tour; une partie continue le tracé régulier de la lame simple; l'autre se soude rapidement au tour suivant (après avoir traversé la largeur de trois chambres). Lame spirale très épaisse. Largeur des loges uniforme d'un bout à l'autre de la spire; cloisons nombreuses (41 pour le dernier tour) droites et épaisses alternant ou non. Chambres sensiblement d'égale largeur. Pores inconnus.

Dimensions de la coquille, 0,16. Ecartement de la lame, 0,01. Rare.

S.-Fam. STYLODICTYIDA

G. **Xiphodictya** Hæckel

Squelette en forme de disque lenticulaire biconvexe pourvu de deux épines, opposées, solides et radiaires.

S.-G. *Xiphodictyon* Hæckel

Loges disposées concentriquement.

Xiphodictya (?) ou *Staurodictya* (?) sp., Pl. VII, fig. 36. Squelette elliptique comprenant une loge centrale circulaire très exiguë et cinq tours de loges elliptiques concentriques de largeur égale dans la direction du petit axe. Cloisons rayonnantes nombreuses (28 pour le tour externe) droites et alternant ou non. Nœuds à leurs points de suture aux lames. Largeur des chambres assez peu variable d'un tour à l'autre. Pores inconnus. Chaque extrémité du grand axe porte une épine; l'une a la forme d'un fuseau incomplet avec une terminaison tronquée; elle est légèrement oblique par rapport à l'axe et traverse quatre tours; l'autre est conique et s'arrête au deuxième tour. La section étant perpendiculaire au disque, il se peut que la coquille complète possède quatre épines marginales, à angle droit.

Axes de la coquille, 0,126 — 0,09; largeur des loges dans la direction du petit axe, 0,01; longueur des épines (partie externe), 0,054 — 0,027. Rare.

Xiphodictya (?) sp., Pl. VIII, fig. 37. Squelette elliptique, irrégulier, comprenant quatre tours de loges concentriques autour d'une loge centrale très petite et subcirculaire. Ecartement des lames siliceuses variant d'un point à un autre. Lames rayonnantes très fines, rarement rectilignes, alternantes et très nombreuses (45 pour le dernier tour). Chambres très inégales. Nœuds aux points de rencontre des lames concentriques et des cloisons. Pores inconnus. Une grande épine fusiforme est fixée en dehors des pôles du grand axe. C'est le seul ornement de la coquille.

J'ai rangé dubitativement cette forme dans les *Xiphodictya* en raison de l'existence

d'une seule épine au lieu de deux. La seconde a été enlevée si elle ne se trouvait pas dans le plan de la préparation.

Axes de la coquille, 0,155 — 0,105 ; diam. de la loge centrale, 0,015 ; largeur moyenne des loges, 0,015 ; long. de l'épine, 0,135. Un seul individu connu.

Xiphodictya (?) sp., Pl. VIII, fig. 38. Squelette de forme elliptique, formé d'une loge centrale elliptique, treillissée, à pores nombreux, serrés et irréguliers. Quatre tours de loges elliptiques concentriques de largeur égale. Cloisons nombreuses (32 pour le dernier tour) rectilignes, grêles, alternant ou non. Chambres sensiblement égales. Épaississements aux points de rencontre des cloisons et des lames concentriques. L'un des pôles est occupé par une longue épine conique qui traverse les deux tours externes. C'est également avec doute que je rapporte cette forme aux *Xiphodictya*.

Axes de la coquille, 0,088 — 0,07 ; axes de la loge centrale, 0,039 — 0,024 ; longueur de l'épine (partie externe), 0,07. Un seul individu.

G. **Tripodictya** Hæckel

Porodiscida à squelette circulaire ou triangulaire, pourvu de trois épines radiaires.

Tripodictya (?) sp., Pl. VIII, fig. 39. Coquille de forme circulaire, comprenant une loge centrale enveloppée de quatre tours un quart de loges enroulées en spirale et de même largeur. Une lame siliceuse réunit le premier tour au troisième en traversant la deuxième loge sur près d'un quart de tour. Cloisons rayonnantes assez nombreuses (23 pour le dernier tour) traversant généralement plusieurs loges et les divisant en chambres à peu près égales. Pores inconnus. La coquille porte deux épines radiaires écartées d'environ 120°. Elles traversent deux loges et présentent une dilatation à leur point d'émergence de la coquille. L'épine supérieure a la forme d'un fuseau ; celle de gauche ne se prolonge pas au-delà de son renflement ; elle est probablement incomplète. Comme on le voit, tous les caractères du genre *Tripodictya* ne sont pas réalisés ; il manque l'une des trois épines.

Diam. de la coquille, 0,09 ; diam. de la loge centrale, 0,022 ; largeur des loges, 0,009 ; longueur de la plus grande épine (portion externe), 0,027. Un seul individu.

Tripodictya (?) sp., Pl. VIII, fig. 40. Squelette affectant la forme d'un triangle isocèle à côtés courbes ; loge centrale (mal délimitée sur le seul individu connu), entourée de trois tours de loges également triangulaires et concentriques. La largeur des tours augmente du centre à la périphérie. Pores polygonaux irréguliers groupés à raison d'une rangée par loge. Le sommet de l'angle du triangle opposé à la base, porte une très forte épine (à section triangulaire ou carrée ?). La base est de conservation imparfaite ; il est probable que les trois sommets portaient primitivement une épine (les trois épines ne pouvaient être équidistantes, comme c'est le cas général pour les *Tripodictya*.

Hauteur du triangle, 0,13; base, 0,11; longueur de l'épine (portion externe), 0,12; diam. moyen des pores, 0,004. Un seul individu.

G. **Staurodictya** Hæckel

Porodiscida à coquille circulaire ou quadrangulaire pourvue de quatre épines radiaires ordinairement disposées à angle droit.

Staurodictya sp., Pl. VIII, fig. 41. Coquille circulaire formée d'une petite loge centrale enveloppée de quatre tours de loges concentriques d'égale largeur, sauf pour le dernier. Cloisons rayonnantes assez nombreuses et droites (au nombre d'environ 28 pour le dernier tour), rarement alternantes d'un tour à l'autre, séparant des chambres inégales. Pores inconnus. Deux longues aiguilles marginales radiaires, disposées à angle droit, traversant deux loges. Petits piquants correspondant aux cloisons. Je considère cette forme comme un *Staurodictya* mal conservé, privé de deux de ses épines.

Diam. de la coquille, 0,105; diam. de la loge centrale, 0,02; longueur des aiguilles (portion externe), 0,095-0,057. Un seul individu.

G. **Stylodictya** Ehr.

Porodiscida à coquille circulaire ou polygonale, ornée d'une couronne marginale d'épines simples, disposées suivant le plan médian de la coquille.

S.-G. *Stylodictyon* Hæckel

Toutes les loges sont concentriques.

Stylodictya sp., Pl. VIII, fig. 42. Coquille subcirculaire formée d'une loge centrale entourée de deux tours de loges concentriques et d'inégale largeur. Fines cloisons rayonnantes alternant ou non (20 pour la tour externe, 12 pour l'interne); chambres de largeur variable pour chaque tour. Courtes épines marginales. Pores inconnus.

Diam. de la coquille, 0,07; diam. de la loge centrale, 0,025; largeur des loges externes, 0,014 — 0,009; long. des épines, 0,008. Rare.

Je range à la suite de la famille des *Stylodictyida* les trois formes suivantes, sans me prononcer sur leurs affinités.

Pl. VIII, fig. 43. Coquille elliptique (en section) formée de deux tours de loges concentriques et d'une chambre centrale elliptique. Nombreuses cloisons rayonnantes, épaisses (27 pour le tour interne et 32 environ pour la loge externe); presque toutes celles de la loge interne traversent le tour externe. Épines et petits piquants rayonnants (ou lames prolongeant les cloisons ?). Tous les éléments du squelette sont de forme robuste.

Axes de la coquille, 0,168 — 0,126; axes de la loge centrale, 0,084 — 0,063; long. des plus grandes épines, 0,028. Un seul individu.

Pl. VIII, fig. 44. Coquille subcirculaire; loge centrale très petite, polygonale, entourée de deux tours de loges irrégulières, grossièrement elliptiques, et d'un troisième tour disposé en spirale, tous de largeur inégale. Cloisons d'inégale épaisseur, droites ou flexueuses (5 pour la loge qui fait suite à la centrale, 13 pour la suivante, environ 22 pour l'externe), alternant ou non. Chambres très inégales. Épaississements aux points de suture des cloisons et des lames concentriques ou spirales. Quelques épines marginales. Pores inconnus.

Axes de la coquille, 0,12 — 0,105.

Pl. VIII, fig. 45. Squelette elliptique montrant une lame spirale simple, décrivant deux tours et demi; écartement variable de la lame. Cloisons rayonnantes nombreuses (28 pour le dernier tour), minces, souvent flexueuses; petites épines rayonnantes. Chambres de largeur variable. Pores inconnus.

Axes de la coquille, 0,15 — 0,105; long. des plus grandes épines, 0,016.

S.-Fam. EUCHITONIDA

G. **Amphibrachium** Hæckel

Porodiscida pourvus de deux bras simples disposés suivant le même axe. Pas de patagium.

S.-G. *Amphibrachella* Hæckel

Bras égaux de même forme; extrémités rétrécies, dépourvues d'épines.

Amphibrachium sp., Pl. VIII, fig. 46. Long disque treillissé, légèrement étranglé dans sa partie médiane. Extrémités arrondies. Pores polygonaux très nombreux.

Long. de la coquille, 0,22; larg. maxima, 0,055; larg. minima, 0,038; ouvertures des pores, 0,005. Très rare.

Pl. VIII, fig. 47. Je ne connais cette forme qu'à l'état de section. Si les deux appendices fixés aux deux extrémités du grand axe sont des bras, c'est bien dans les *Euchitonida* qu'il faut la faire rentrer. La coquille comporte une loge centrale elliptique dont la paroi est treillissée, entourée de trois tours de loges concentriques d'égale largeur et cloisonnées.

Long. de la coquille, 0,063; larg., 0,04; long. des appendices, 0,038; pores, 0,004. Deux individus.

G. **Dictyastrum** Ehr.

Porodiscida avec trois bras simples égaux et faisant entre eux des angles égaux. Pas de patagium.

S.-G. *Dictyastromma* Hæckel

Bras terminés par une épine.

Dictyastrum sp., Pl. VIII, fig. 49. Bras de même forme et de longueur à peu près

égale, faisant entre eux des angles sensiblement égaux. Leur diamètre croît lentement jusque vers les deux tiers externes et se rétrécit ensuite assez rapidement ; terminaisons arrondies. Pores polygonaux, irréguliers, inégaux et incomplètement conservés. Un seul bras est armé d'une forte épine conique se prolongeant presque jusqu'au centre de la coquille : deux autres bras ont été enlevés en confectionnant la section qui est moins épaisse que l'organisme entier.

Long. des trois bras à partir du centre de la coquille, 0,09—0,082—0,065 ; plus grande largeur, 0,045 — 0,0375 — 0,035 ; pores, 0,0025. Très rare.

Dictyastrum (?) ou *Rhopalostrum* (?) sp., Pl. VII, fig. 48. Squelette formé d'une loge centrale elliptique (en section) très petite, montrant quatre pores polygonaux irréguliers, entourée de cinq tours de loges concentriques d'égale largeur. Cloisons rayonnantes nombreuses (30 pour le dernier tour), le plus souvent alternant d'un tour à l'autre et divisant les loges en chambres égales. Pores inconnus. Un bras oblique par rapport au grand axe de la coquille, montrant de grands pores polygonaux allongés suivant le grand axe des bras. La forme du bras correspond à une demi-ellipse. Tous les éléments du squelette sont très épais. Il y a une grande incertitude dans l'attribution de cette forme aux *Dictyastrum* ou aux *Rhopalostrum* par suite de l'existence d'un seul bras. Comme il s'insère obliquement sur la coquille (vue en section), il laisse supposer l'existence d'autres appendices par raison de symétrie.

Axes de la coquille, 0,088—0,067 ; axes de la loge centrale, 0,014—0,009 ; largeur des loges, 0,0045 ; long. du bras, 0,03 ; larg., 0,042. Un seul individu.

Légion NASSELLARIA

Ordre CYRTELLARIA ; Sous-Ordre CYRTOIDEA

Section *MONOCYRTIDA*

Fam. TRIPOCALPIDA

Tous les *Tripocalpida* que j'ai étudiés appartiennent à la sous-famille des *Archipilida*, caractérisée par l'existence d'une bouche ouverte.

G. **Tripodiscium** Hæckel

Archipilida possédant trois pieds, dépourvu d'épine apicale et de côtes latérales.

Tripodiscium sp., Pl. VIII, fig. 50. Coquille urcéolée presque aussi large que haute. Le plus grand diamètre est réalisé au milieu de la hauteur. Pores réguliers, circulaires, à cadre hexagonal, disposés en séries verticales (6 par série). Un seul pied simple, rectiligne, subcylindrique.

Haut. de la coquille, 0,063; plus grand diamètre, 0,072; diamètre de l'ouverture buccale, 0,057; larg. de l'épine, 0,065; plus grande diagonale du cadre hexagonal des pores, 0,014; ouverture, 0,005. Rare.

Pl. VIII, fig. 51. Coquille en forme de cloche cylindrique beaucoup plus haute que large, pourvue d'une longue épine creuse oblique ; pores irréguliers en grande partie détruits. Cet individu se rapproche des *Trissopilium* Hæckel, en ce sens qu'il est dépourvu de pieds, mais il n'en montre pas les côtes latérales ; l'absence de côtes et l'existence d'une épine apicale lui donnent des affinités avec le genre *Tripilidium* Hæckel, mais il s'en écarte par l'absence de pieds. Son état de conservation ne permet pas d'affirmer si ces éléments faisaient défaut à l'origine.

Haut. de la coquille, 0,09; plus grand diam., 0,046; long. de l'épine, 0,074. Un seul individu.

Fam. CYRTOCALPIDA. S.-Fam. ARCHICORIDA

G. Cornutanna Hæckel

Coquille conique graduellement dilatée du sommet vers la bouche très largement ouverte. Pas d'appendices.

Cornutanna breviconus Cayeux, nov. sp., Pl. VIII, fig. 52. Coquille en forme de cloche, à sommet arrondi, progressivement dilatée vers la bouche. Le diamètre de cette dernière dépasse la hauteur totale de la coquille. Pores réguliers disposés en séries transversales concentriques alternantes, et figurant des hexagones allongés dans le sens vertical.

Hauteur, 0,022 ; diam. de la bouche, 0,052; ouvertures des pores, 0,008 sur 0,05. Assez rare.

G. Cyrtocalpis Hæckel

Coquille en forme de cloche rétrécie vers la bouche et dépourvue d'épine apicale.

Cyrtocalpis favosa Cayeux, nov. sp., Pl. VIII, fig. 53 et 54. Coquille à sommet arrondi présentant son plus grand diamètre un peu plus bas qu'à la moitié de la hauteur, et affectant alors une forme subcylindrique (53), ou aux trois cinquièmes de la hauteur à partir de la bouche (54). Dans le second cas, le diamètre de la bouche est égal à la moitié de la hauteur de la coquille; il lui est un peu supérieur dans le premier. Pores réguliers à grand cadre hexagonal allongé dans le sens de la hauteur, à ouverture circulaire très exiguë, et disposés en séries transversales alternantes au nombre de 9 ou 10. Abondant.

Fig. 53. Haut., 0,067 ; plus grand diamètre, 0,047 ; diam. de la bouche, 0,044; plus grande diagonale du cadre des pores, 0,007 ; ouverture, 0,002.

Fig. 54. Haut., 0,092 ; plus grand diamètre, 0,064 ; diam. de la bouche, 0,046 ; plus grande diagonale du cadre des pores, 0,011 ; ouverture, 0,003.

Cyrtocalpis sp., Pl. VIII, fig. 55. Coquille urcéolée presque aussi haute que large,

faiblement rétrécie vers la bouche. Plus grand diamètre vers le tiers inférieur. Pores subcirculaires d'inégale dimension, disposés en séries longitudinales ou distribués irrégulièrement. Nombreux piquants très courts [1].

Haut., 0,067 ; plus grand diamètre, 0,075 ; diam. de la bouche, 0,05 ; pores, 0,005 ; long. des piquants, 0,01. Rare.

Cyrtocalpis sp., Pl. VIII, fig. 56. Coquille urcéolée plus large que haute, subcylindrique à peine rétrécie à la bouche. Pores petits, irréguliers, inégaux. Petites pointes mousses très courtes entre les pores.

Haut., 0,067 ; plus grand diam., 0,08 ; diam. de la bouche, 0,067 ; pores, 0,005. Un seul individu.

Cyrtocalpis sp., Pl. VIII, fig. 57. Coquille globuleuse, subsphérique aussi haute que large. Pores très nombreux, petits, circulaires, disposés en séries longitudinales.

Haut. et plus grand diamètre, 0,058 ; ouverture de la bouche, 0,043 ; pores, 0,005. Rare.

Cyrtocalpis Gosseleti Cayeux, nov. sp., Pl. VIII, fig. 58. Coquille subhémisphérique, très rétrécie vers la bouche. Pores hexagonaux, allongés dans le sens transversal et disposés en séries longitudinales.

Hauteur de la coquille, 0,058 ; plus grand diamètre, 0,081 ; ouverture de la bouche, 0,04 ; pores, 0,01 — 0,005. Rare.

Section *DICYRTIDA*

Pl. VIII, fig. 59. Je ne connais cette forme qu'à l'état de section, et comme il est impossible de voir si l'individu complet possédait trois pieds ou plus, on ne peut fixer sa place avec certitude dans les Dicyrtida. Il appartient soit à la famille des *Tripocyrtida* soit à celle des *Anthocyrtida*.

Haut., 0,105 ; haut. de la tête, 0,026 ; haut. du thorax, 0,079 ; plus grand diam., 0,08 ; long. des pieds, 0,022. Un seul individu.

Fam. SETHOCYRTIDA. S.-Fam. SETHOCORIDA

G. Dictyocephalus Ehr.

Dicyrtida sans appendice (côtes, pieds) formé d'un thorax ovoïde ou subcylindrique avec bouche rétrécie et d'une tête arrondie dépourvue d'épine.

S.-G. *Dictyocryphalus* Hæckel

Bouche dépourvue de péristome. Tous les Dictyocephalus que j'ai examinés rentrent dans ce sous-genre.

Dictyocephalus sp., Pl. VIII, fig. 60. Les deux segments de la coquille sont très

1 La figure donne une idée inexacte de l'original ; j'évite pour cette raison de nommer cette espèce.

inégaux. Tête petite, aplatie, conique, à sommet arrondi, légèrement engagée dans le segment inférieur. Thorax subcylindrique. Le sillon transversal qui sépare les deux segments est très prononcé. Thorax tronqué à sa base. Bouche rétrécie d'une largeur égale au tiers du plus grand diamètre du segment inférieur. Pores inconnus.

Haut. totale, 0,054; tête, 0,016; thorax, 0,038 sur 0,054; bouche, 0,016. Assez répandu.

Dictyocephalus sp., Pl. VIII, fig. 61. Tête en forme de cône très obtus à sommet pointu; thorax en forme de tonneau; sillon transversal peu accusé. Bouche rétrécie, d'une largeur exactement égale au tiers du plus grand diamètre du thorax. Pores inconnus.

Haut. totale, 0,084; tête, 0,03 sur 0,038; thorax, 0,055 sur 0,067; bouche, 0,022. Assez abondant.

Dictyocephalus sp., Pl. VIII, fig. 62. Tête conique, obtuse, à sommet arrondi, de grande taille eu égard au segment inférieur. Thorax conique, petit; sillon transverse très accusé. Bouche très resserrée et très petite. Pores inconnus.

Haut. totale, 0,058; tête, 0,031 sur 0,029; thorax, 0,05 sur 0,031; bouche, 0,01. Rare.

S.-Fam. SETHOCAPSIDA

G. **Dicolocapsa** Hæckel

Tête libre dépourvue d'épine et bouche fermée par du tissu treillissé.

Dicolocapsa sp., Pl. VIII, fig. 63. Forme générale globuleuse. Tête très petite, subsphérique. Thorax sphérique de grande taille. Séparation des deux segments très prononcée. Quelques pores sur le thorax : ils sont réguliers et subcirculaires; faibles piquants à l'intersection des mailles.

Haut. totale, 0,084; tête, 0,015 sur 0,018; thorax, 0,07 sur 0,075; pores, 0,002. Rare.

Section *TRICYRTIDA*

Fam. THEOCYRTIDA. S.-Fam. THEOCORIDA

G. **Theocampe** Hæckel.

Tricyrtida pourvu d'un abdomen ovoïde; bouche rétrécie, pas d'épine apicale.

Theocampe sp., Pl. VIII, fig. 64. Tête conique, obtuse. Thorax subcylindrique. Abdomen plus petit que le thorax, très aplati en hauteur. Bouche rétrécie, décentrée. Pores détruits.

Haut. totale, 0,08; haut. de la tête, 0,025; thorax, 0,03; abdomen, 0,025; plus grand diamètre, 0,06; ouverture de la bouche, 0,025. Un seul individu.

Section *STICHOCYRTIDA*

Fam. LITHOCAMPIDA. S.-Fam. STICHOCORYDA

G. **Dictyomitra** Zittel

Coquille conique, graduellement dilatée du pôle apical à la bouche ; tête sans épine.

S.-G. *Dictyomitrella* Hæckel

Coquille unie avec segments de longueur presque égale.

Dictyomitra macrocephala Cayeux, nov. sp., Pl. VIII, fig. 65. Coquille conique assez obtuse, formée de cinq segments dessinant un cône à peine déprimé par les sillons transverses. Tête de grande taille. Thorax en tronc de cône plus court que la tête. Abdomen formé de trois segments inégaux dont le moyen est le plus petit et le basal le plus grand. Bouche non rétrécie. Pores réguliers hexagonaux, allongés dans le sens longitudinal, identiques pour tous les segments et disposés en séries transversales : 4 pour la tête, 2 pour le thorax, 3 pour les deux segments supérieurs de l'abdomen et 4 pour le segment basal.

Haut. totale, 0,126 ; long. de la tête, 0,025 ; thorax, 0,017 ; long. totale de l'abdomen, 0,083 ; diamètre de la bouche, 0,069 ; pores, 0,0043 sur 0,0025. Rare.

Dictyomitra gracilis Cayeux, nov. sp., Pl. VIII, fig. 67. Coquille en forme de cône très allongé et aigu, composé de 7 segments en tronc de cône (à génératrice courbe) et de longueur inégale. Tête semi-ovoïde très allongée. Thorax plus court que la tête. Le dernier article de l'abdomen est légèrement rétréci vers la bouche. Sillons transverses nets et peu profonds. Quelques pores circulaires visibles seulement sur la tête et le thorax.

Haut. totale, 0,063 ; plus grand diamètre, 0,022 ; haut. de la tête, 0,01 ; thorax, 0,008 ; long. totale de l'abdomen, 0,045 ; pores, 0,0013. Très rare.

S.-G. *Dictyomitroma* Hæckel

Coquille avec côtes et sillons longitudinaux ; segments de différente longueur.

Dictyomitra Barroisii Cayeux, nov. sp., Pl. VIII, fig. 66. Coquille conique costulée, composée de 7 segments de longueur régulièrement croissante du pôle apical à la bouche. Tête très petite en forme de cône aigu. Thorax petit, aussi court que la tête. Bouche non rétrécie. Côtes nombreuses serrées, longitudinales non tranchantes, se poursuivant généralement d'un bout à l'autre de la coquille. Pores inconnus.

Haut. totale, 0,142 ; plus grand diam., 0,06 ; long. de la tête, 0,01, du thorax, 0,01, de l'abdomen, 0,122. Très rare.

G. Stichomitra Cayeux, nov. gen.

Coquille composée de deux parties, l'une supérieure conique, l'autre inférieure cylindrique : segments presque égaux. Pas d'épine apicale. M. Hæckel a créé le genre *Stichocorys*, pour les *Stichocyrtida* conformés comme le type de ce genre, mais pourvus d'une épine apicale. Ce nouveau genre est donc aux *Stichocorys* ce que sont les *Dictyomitra* par rapport aux *Lithostrobus*.

Stichomitra costata Cayeux, nov. sp., Pl. VIII, fig. 68. L'ensemble de la tête et du thorax figure un cône; abdomen cylindrique. Tête en forme de cône obtus et allongé. Abdomen formé de trois segments dont le basal est incomplet; le supérieur n'est pas rigoureusement cylindrique, il dessine un tronc de cône dont le sommet serait beaucoup plus élevé que celui de la tête; les deux segments inférieurs subcylindriques figurant un tronc de cône à sommet diamétralement opposé à celui de la tête. Sillons transversaux très nets. Côtes longitudinales serrées (au nombre de 14 ou 15), séparées par des sillons très accusés. Bouche inconnue.

Hauteur totale, 0,092; haut de la tête, 0,021, du thorax, 0,02, de l'abdomen, 0,051; diam. maximum, 0,04. Rare.

Stichomitra Bertrandi[1] Cayeux, nov. sp., Pl. VIII, fig. 69. L'ensemble de la tête, du thorax et du premier segment de l'abdomen figure un cône aigu, le reste de l'abdomen est cylindrique. Tête semi-ovoïde à sommet arrondi. Thorax très allongé. Abdomen composé de quatre segments, dont le supérieur est en tronc de cône; les trois segments inférieurs sont cylindriques (avec génératrice courbe). Sillons transversaux peu marqués surtout dans la partie conique. Pores hexagonaux allongés dans le sens longitudinal et disposés en séries transversales (on ne les voit que dans la portion abdominale où ils sont partiellement détruits), au nombre de trois pour les segments inférieurs. La base de la coquille est tronquée. Bouche largement ouverte.

Haut. totale, 0,138; haut. de la tête, 0,018; du thorax, 0,022; de l'abdomen, 0,098; plus grand diamètre, 0,054; diamètre de base, 0,05; pores, 0,0057 — 0,0038. Rare.

Stichomitra microcephala Cayeux, nov. sp., Pl. VIII, fig. 70. L'ensemble de la tête et du thorax figure un cône. Abdomen cylindrique. Tête petite, semi-ovoïde. Thorax long. Abdomen composé de trois segments égaux, dont chacun d'eux a la forme d'un cylindre à génératrice courbe. Pores petits, circulaires, disposés en rangées transversales, au nombre de trois pour les deux segments inférieurs. Sillons transversaux bien marqués. Le segment basal est tronqué à sa terminaison. Bouche inconnue.

Hauteur totale, 0,1; hauteur de la tête, 0,01; du thorax, 0,025; de l'abdomen, 0,065; diam. maximum, 0,045; pores, 0,004. Rare.

G. Lithocampe Ehr.

Lithocampida ovoïde, fusiforme ou subconique, avec bouche non fermée par une plaque treillissée. Tête sans épine ou tube.

---

1. Dédié à M. Marcel Bertrand, professeur à l'Ecole des Mines.

S.-G. *Lithocampula* Hæckel

Tous les segments sont égaux ou presque égaux.

Lithocampe sp., Pl. VIII, fig. 71. Coquille conique aiguë, formée de quatre segments. Tête semi-ovoïde et petite. Thorax de même forme et de même longueur que les segments de l'abdomen. Bouche assez grande, quoique rétrécie. Sillons transverses peu marqués. Planchers séparant les segments mais avec large interruption axiale. Pores inconnus.

Hauteur totale, 0,084; haut. de la tête, 0,016; du thorax, 0,021; de l'abdomen, 0,047; plus grand diamètre, 0,059; ouverture de la bouche, 0,31. Rare.

Lithocampe sp., Pl. VIII, fig. 72. Coquille subconique formée de six segments. Tête arrondie, aplatie, subhémisphérique. Thorax de longueur sensiblement égale à chacun des articles de l'abdomen et affectant la forme d'un tronc de cône à génératrice très courbe. Abdomen composé de quatre segments égaux. Sillons transversaux très nets. Planchers séparant les segments et figurant des diaphragmes à ouverture centrale assez petite. Bouche probablement très petite (invisible sur l'individu figuré). Pores mal conservés.

Hauteur totale, 0,14; hauteur de la tête, 0,01; du thorax, 0,02; de l'abdomen, 0,11; plus grand diamètre, 0,075. Un seul individu connu.

Conclusions. La faune de Radiolaires de la Smectique de Herve comprend 27 genres. Je suis convaincu qu'elle ne donne qu'une idée imparfaite de l'ensemble de formes enfouies dans les dépôts siliceux sénoniens du Pays de Herve. J'ai d'ailleurs laissé de côté un certain nombre de types génériques, en raison de leur conservation défectueuse. Des recherches un peu persévérantes permettront de l'enrichir beaucoup. Elles sont nécessaires pour trouver des représentants mieux conservés que ceux que j'ai étudiés et pour caractériser les espèces de ce niveau. J'ai laissé innommées la grande majorité de celles que j'ai observées. Il leur manque soit des pores, soit des appendices. J'estime que des exemplaires incomplets doivent être écartés systématiquement dans le choix des types d'espèces. La faune en question présente les caractères essentiels suivants :

1. Grande variété de formes malgré le nombre restreint d'individus observés.

2. Grande prédominance des *Discoidea* et notamment de la famille des *Porodiscida* (dont un nombre notable n'ont pas été figurés).

3. Rôle important joué par les *Cyrtoidea*.

4. Existence de types synthétiques reliant les *Collodaria* aux *Sphærellaria*.

Je souligne tout particulièrement le fait que ces Radiolaires font partie d'un sédiment parfaitement caractérisé comme *dépôt terrigène*, renfermant d'autre part beaucoup de vestiges de *Spongiaires*, des *Foraminifères* et quelques *Diatomées*, et ne pouvant à aucun titre être rapproché des vases pélagiques actuelles.

Si l'on ajoute à cette faune les formes trouvées par les savants dont j'ai donné les

noms au début de ce chapitre, et si l'on tient compte de celles que j'ai exhumées de la craie blanche du Bassin de Paris (il en sera question plus loin), il apparaît comme évident que *le Crétacé supérieur renferme une faune de Rhizopodes siliceux, aussi riche que celle des terrains entre lesquels il est compris*, et l'on peut dire que la grande lacune dans l'histoire des Radiolaires correspondant à la période supra-crétacée se trouve comblée.

TABLEAU RÉCAPITULATIF DE LA FAUNE DE RADIOLAIRES

LÉGION	SOUS-ORDRE	SECTION	FAMILLE	GENRE	Terrains les plus anciens dans lesquels on connaît ces genres.	Distribution bathymétrique actuelle. — Profondeur maxima en brasses. (Chiffres du *Challenger*).
Spumellaria	SPHÆROIDEA		Protosphærida	*Protosphæra*	Sénonien	»
			Liosphærida	*Cenosphæra*	Précambrien	surface — 2900
				Liosphæra	Silurien	surface — 4475
				Cromyosphæra	Silurien	1950 — 2900
				Caryosphæra	Dévonien	2750 — 2900
				Monostylus	Sénonien	»
	PRUNOIDEA		Druppulida	*Druppula*	Silurien	surface — 4475
				Druppocarpus	Permien ?	surface — 2900
				Druppastylus	Sénonien	»
			Spongurida	*Spongurus*	Dévonien	surface — 2750
				Spongoprunum?	Carbonifère	surface — 4475
	DISCOIDEA		Porodiscida	*Porodiscus*	Silurien	surface — 2900
				Xiphodictya?	Permien	1500 — 3125
				Tripodictya?	Jurassique	2650 — 3125
				Staurodictya	Jurassique	surface — 2900
				Stylodictya	Dévonien	surface — 2965
				Amphibrachium	Dévonien	surface — 2900
				Dictyastrum	Permien	surface — 2100
Nassellaria	CYRTOIDEA	MONOCYRTIDA	Tripocalpida	*Tripodiscium*	Précambrien	1190 — 2900
			Cyrtocalpida	*Cornutanna*	Carbonifère	surface — 4475
				Cyrtocalpis	Précambrien	surface — 4475
		DICYRTIDA	Sethocyrtida	*Dictyocephalus*	Précambrien	En profondeur jusqu'à 4475
				Dicolocapsa	Précambrien	2600 — 4475
		TRICYRTIDA	Theocyrtida	*Theocampe*	Précambrien	surface — 2925
		STICHOCYRTIDA	Lithocampida	*Dictyomitra*	Dévonien	1500 — 3300
				Stichomitra	Sénonien	»
				Lithocampe	Dévonien	surface — 4475
2	4	4	10	27		

DEUXIÈME PARTIE

CRAIE DU BASSIN DE PARIS

La seconde partie de ce mémoire est consacrée à l'étude de la craie du Turonien et du Sénonien du Bassin de Paris.

J'ai soumis à une étude micrographique détaillée : les craies du département du Nord, du Pays de Bray, de la région de Rouen, de l'Yonne et la série turonienne et sénonienne du S.-O. et de l'O. du Bassin parisien.

Les trois derniers chapitres de ce travail sont respectivement consacrés à l'exposé des résultats généraux de l'étude de la craie, à l'examen comparatif de la craie et de la boue à Globigérines et à la détermination des diverses conditions qui ont présidé à son dépôt.

Le choix des points dont j'ai étudié le Crétacé m'a été dicté par les raisons suivantes : La craie du département du Nord se trouve à la limite septentrionale des affleurements du bassin, et la plupart des niveaux s'y présentent avec des facies qu'ils ne revêtent qu'en cette région. Le Pays de Bray occupe sensiblement le centre de l'ancienne mer crétacée anglo-parisienne. La craie de Rouen fournit une série placée dans le voisinage de la bordure occidentale du bassin. J'ai étudié la craie de l'Yonne en raison de son emplacement en face du détroit qui faisait communiquer la mer anglo-parisienne avec celle du Jura et des Alpes, et le Crétacé du S.-O. et de l'O. pour montrer comment s'effectue le passage latéral de dépôts littoraux et sublittoraux à la craie proprement dite du centre du bassin.

En plus des échantillons étudiés en série, j'ai examiné de nombreux spécimens pré-

levés en une foule de points, et notamment dans l'Est et le centre. Aucune description monographique ne leur a été consacrée, mais ils me serviront, au même titre que les premiers, à rédiger les trois derniers chapitres de ce mémoire.

L'étude complète d'une craie comporte une série d'opérations que je décrirai ultérieurement et que je me borne à indiquer ici.

L'analyse microscopique de la craie a été faite de deux manières : 1° par l'examen de sections minces; 2° par dissociation des éléments ensuite étudiés séparément dans l'eau, la glycérine et le baume de Canada.

La teneur en calcaire a été le plus souvent déterminée en dosant l'acide carbonique à l'aide de l'appareil de Geissler et Erdmann et en le rapportant en entier au carbonate de chaux. J'ai fait moi-même les analyses dont la provenance n'est pas indiquée.

Dans la méthode suivie, le résidu insoluble dans l'acide chlorhydrique est pesé, puis débarrassé de l'argile par décantation. Celle-ci est recueillie, séchée et pesée lorsqu'elle est un élément important de la craie. On peut aussi déterminer le poids du résidu total avant et après décantation, et calculer celui de l'argile par différence.

Dans le cas où le résidu minéral débarrassé de l'argile est abondant, les « minéraux lourds » en ont été séparés à l'aide du bi-iodure de mercure et de potassium (Liqueur de Thoulet).

Connaissant la proportion de carbonate de chaux, le résidu total et l'argile, il reste à déterminer la proportion d'organismes et de ciment. J'ai employé plusieurs procédés dont voici le plus expéditif. On prend un poids quelconque de craie; on en désagrège les éléments dans l'eau à l'aide d'une fine brosse et l'on obtient un liquide laiteux. Les organismes tels que Foraminifères, débris de Mollusques, Bryozoaires, etc., et les minéraux tombent rapidement au fond de la capsule. Les parties ténues correspondant au ciment restent en suspension. On décante plusieurs fois avec beaucoup de précautions. On recueille les produits de décantation qui sont ensuite séchés et pesés. On en fait autant pour les organismes et minéraux restés dans la première capsule. On a ainsi d'une part le poids des organismes et, d'autre part, celui du ciment. Ces poids sont rapportés à 100. On connaît déjà la proportion de minéraux qui, d'ailleurs, peut toujours être négligée dans la craie blanche. Avec une très grande habitude on arrive à fractionner le résidu organique.

Cette méthode très simple en apparence est assez difficile à appliquer. Elle nécessite plusieurs manipulations qui doivent être faites avec le plus grand soin pour arriver à des résultats identiques, à quelques unités près (pour les organismes et le ciment), en opérant plusieurs fois sur un même échantillon. Je laisse ici de côté les quelques cas particuliers que l'on rencontre dans son application.

Lorsque l'étude d'une craie n'est faite que sur des sections minces, on peut arriver à

estimer directement et avec une précision suffisante les proportions de ciment et d'organismes [1].

Les dimensions des éléments ont été mesurées à l'aide de l'oculaire-micromètre.

REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

La nature de mon sujet m'autorisait à passer sous silence les publications étrangères relatives à l'étude de la craie. Comme cette question a été délaissée en France, et que par contre elle a été l'occasion de travaux très remarquables en Angleterre, une revue bibliographique n'a de raison d'être à cette place, que si elle s'occupe de tout ce qui a été écrit sur la craie au point de vue microscopique.

Dès le XVIII[e] siècle, la craie était considérée comme un dépôt organogène. En 1745, Linné s'exprimait ainsi : « *Calcem ab animalibus Zoophytis creari patet ex testis cochlearum, concharum et similum, quæ ejusdem naturæ cum corallis sunt* » [2]. En 1748, le même auteur écrivait : « *Sic Petrificata non a calce, sed calx a Petrificatis ; sic Lapides ab animalibus nec vice versa. Sic rupes saxei non primævi, sed temporis filiæ* [3].

En 1749, Buffon [4] dit que la craie, la marne et le calcaire consistent en une fine poussière de Mollusques.

En 1804, Lamarck [5] reconnaît l'existence de trois espèces de Foraminifères dans la craie de Meudon.

Dans un travail présenté à l'Académie des Sciences en 1825, A. d'Orbigny [6] signale également des Foraminifères dans la même craie.

En 1827, Nilsson [7] nota également la présence de Foraminifères dans la craie.

En 1835, Lonsdale, étudiant à Londres de la craie blanche originaire de différents points d'Angleterre, remarqua en la délayant dans l'eau, des grains blancs visibles à l'œil nu. C'étaient des fossiles bien préservés. Il en compta jusqu'à *1000 dans une livre de craie.* Il reconnut de nombreux Foraminifères, des Bryozoaires (?) et des Entomostracés [8].

A partir de cette date, la connaissance de la craie fit de rapides progrès, grâce aux recherches de l'éminent micrographe Ehrenberg et d'Alcide d'Orbigny. En 1836, Ehrenberg [9] découvre les Coccolithes et leur

---

1. On examine une préparation donnée avec des grossissements différents et l'on évalue à l'œil les surfaces respectivement occupées par le ciment et par les Foraminifères par exemple. Chacun d'eux occupe telle fraction de la surface de la préparation que l'on note. On examine successivement un grand nombre de sections tirées de craies différentes. On les revoit trois ou quatre fois à plusieurs jours d'intervalle. Quand l'œil est bien habitué à cet exercice, on retrouve des chiffres très voisins pour la même préparation. On en prend la moyenne. Cette méthode qui peut paraître à première vue dépourvue de toute espèce de précision fournit des résultats que j'ai souvent contrôlés par l'analyse physique complète et que l'on peut considérer comme d'une approximation très suffisante. Les chiffres qui servent à exprimer la composition organique d'une craie varient toujours un peu et parfois notablement d'un échantillon à l'autre de la même craie, en raison de l'absence d'homogénéité absolue de ce terrain. Une erreur de quelques unités dans l'expression de cette composition est sans importance parce que dans la comparaison des craies on ne peut, en raison de ce défaut d'homogénéité, attacher d'intérêt qu'aux grandes différences de composition.

2. Linné. De Coralliis balticis, vol. 1, p. 85 (Itinera gothlandica), (1745).

3. Linné. Systema naturæ, p. 219 (1748).

4. Buffon. Histoire naturelle, p. 250 (1749).

5. Lamarck. Mém. sur les fossiles des environs de Paris (1804).

6. D'Orbigny. Tableau méthodique etc., *Ann. des Sc. nat.*, vol. 7, p. 246 (1826).

7. S. Nilsson. Petrificata suecana Formationis cretaceæ (1827).

8. Lonsdale, in Buckland. Geology and Mineralogy, 2[e] éd, vol. 1, p. 448 (1837).
Id. in Lyell's Elements of Geology, 2[e] éd., vol. 1, p. 56 (1841).

9. Ehrenberg. Ueber mikr. neue Char. der erdigen etc. *Ann. Pog.*, vol. 39, pp. 101-106 (1836).

attribue une origine inorganique. Il signale ensuite *Rotalites ornatus* et *Textularia globulosa* comme des formes de Polythalames très communes dans la craie. Il regarde ces Foraminifères et quelques autres comme représentant la partie prépondérante de ce terrain et considère les Coccolithes comme caractéristiques de la craie. En 1838, ce savant étudiant différentes craies, et notamment celle de Meudon, y rencontre un grand nombre de Foraminifères encore inconnus; il en trouve souvent *plus d'un million par pouce cube*. Il reconnaît notamment *Globigerina bulloïdes*. Ehrenberg signale des Bryozoaires dans la craie, et mentionne la présence d'Infusoires et de restes de Spongiaires dans les silex (Meudon [1], etc.).

En 1839, A. d'Orbigny présenta à la Société géologique de France un « mémoire sur les Foraminifères de la craie blanche du Bassin de Paris ». En parlant de ces organismes, D'Orbigny dit que « le nombre en est presqu'aussi considérable que dans les mers actuelles les plus riches » [2].

En 1839, Ehrenberg formule cette opinion que beaucoup de roches crayeuses d'Europe et probablement toutes dérivent de Polythalames. A cette époque il avait déjà trouvé dans la craie 71 espèces de coquilles microscopiques. Il considère Rotalia, Globigerina et Textularia comme caractéristiques de la craie [3].

La même année, Mantell [4] suppose que la craie blanche peut être le résultat d'un précipité de carbonate de chaux de l'eau de mer, mais il ajoute qu'une grande partie de la craie la plus pure paraît composée des restes de coquilles. Dans quelques carrières, des lits entiers de craie sont formés d'ossicules d'Astéries et de débris d'autres Radiaires avec des espèces microscopiques de Polypiers (Bryozoaires ?)

En 1844, Mantell dit qu'on doit regarder la craie comme un agrégat d'organismes excessivement petits et de particules inorganiques [5]. En étudiant en 1845 la composition organique de celle du S.-E. de l'Angleterre, il remarque que les craies ne renferment pas toujours un grand nombre de Foraminifères ainsi que l'avait dit Ehrenberg [6].

En 1846, W. C. Williamson reconnaît dans la craie d'Angleterre et notamment dans celle de Charing, des corps calcaires séparés qu'il considère comme des prismes de coquilles désagrégées, appartenant aux « Margaritacées ». Il fait nettement la distinction de ces corps et des spicules d'Eponges [7].

Dans son étude sur l'origine des silex (1850), Marcel de Serres donne plusieurs analyses de la craie. Il admet comme Ehrenberg que les Foraminifères sont répandus à profusion dans ce dépôt. Il estime qu'il en existe « *plus de dix millions dans 500 grammes de craie* [8]. »

L'opinion qu'il existe dans la craie, une forte proportion d'éléments d'origine inorganique était le corollaire nécessaire des vues d'Ehrenberg sur l'origine des cristalloïdes ou des morpholithes. Elle prévalut jusque vers 1860. Avec les explorations sous-marines commence une phase pendant laquelle on attribue à la craie une composition exclusivement organique.

En 1861, M. Sorby [9] déclare que Wallich et lui ont découvert simultanément que les Coccolithes [10] dérivent des Coccosphères. Or pour Wallich comme pour M. Sorby, les Coccosphères sont des organismes. La vraie nature des cristalloïdes étant connue, M. Sorby déclare qu'on ne peut pas douter plus longtemps de l'origine presque entièrement organique de la craie.

Si l'on place de la craie sous le microscope, dit Lyell [11] en 1865, on la voit remplie de fragments de

---

1. EHRENBERG. Ueber die Bildung der Kreidefelsen, etc. *Abh. Ak. Wiss. zu Berlin,* pp. 59-148 (1838).
2. A. d'ORBIGNY, *Mém. S. G. F.*, vol. 4, p. 2 (publié en 1840).
3. EHRENBERG. Ueber dem blos. Auge unsichtib. Kalkthierchen, etc., *Ann. Pog.*, vol. 47, p. 506 (1839).
4. MANTELL. The Wonders of Geology, vol. 1, 4e éd., p. 293 (1839).
5. MANTELL. The Medals of Creation, vol. 1, pp. 240-243 (1844).
6. MANTELL. Notes of a micr. Exam. of the Chalk and Flint, etc. *Ann. and Mag. of Nat. Hist.*, vol. 16, pp. 73-88 (1845).
7. W.C. WILLIAMSON. On the real nature of the min. bodies, etc., *Ann. and Mag. of Nat. Hist.*, vol. 17 (1846).
8. MARCEL DE SERRES. De l'origine des silex de la craie. *Actes Soc. lin. Bordeaux,* vol. 10, p. 27 (1857).
9. H. C. SORBY. On the organ. Origin of the so-called Crystalloids of the Chalk. *Ann. and Mag. of Nat. Hist.*, 3e S., vol. 8, pp. 193-201 (1861).
10. HUXLEY les avait rencontrés dans la mer dans son exploration du Cyclops en 1858.
11. CH. LYELL. Elements of Geology, 6e éd., p. 316 (1865).

Coraux, de Bryozoaires, d'Eponges, de valves d'Entomostracés, de Foraminifères et de petits Infusoires.

En 1870, Kaufmann démontre que la craie polarise ; elle se compose de Foraminifères et de particules calcaires cristallines. Il fait remarquer que si l'on met en présence des solutions de chlorure de calcium et de bicarbonate de soude, on obtient un précipité blanc formé de fines particules cristallines qui ne peuvent être distinguées de la boue crayeuse. Kaufmann est ainsi amené à donner une origine chimique à une grande partie de la craie [1].

La question de la composition de la craie fut longuement traitée par Prestwich dans un remarquable discours qu'il prononça devant la Société géologique de Londres en 1871 [2]. Les documents qu'il mit en valeur sont ceux que je viens de résumer.

Carpenter [3], en 1868, et W. Thomson [4], en 1872, en étudiant comparativement la craie et la boue à Globigérines, ont rappelé la composition du premier sédiment. Ils n'ont rien ajouté aux données fournies par les travaux antérieurs.

Pour la première fois, en 1869, il est question des éléments minéraux de la craie. W. Thomson [5] remarque qu'en dissolvant de la craie, on met en liberté des grains qui sont apparemment d'origine inorganique.

M. Zittel figure en 1876 les organismes de la craie de Meudon séparés par lavage. Il signale Textularia, Globigerina, Rotalia, débris de Bryozoaires, spicules et Coccolithes. Un dessin reproduit l'aspect du Pläner de Bohême examiné en coupe mince [6].

M. Rupert-Jones [7], en 1878, rappelle en détails la composition organique de la craie. Il parle de prismes d'Inocérames, d'ossicules d'Encrinites et de restes de Coraux qui, dans certains cas, ont contribué à la formation de la craie. Il reconnaît, en 1878, des grains de quartz dans une craie des Hébrides [8]. Il dit que M. Sorby estime que certains échantillons de craie renferment jusqu'à 90 °/₀ de Globigérines entières ou fragmentaires. Les Coccolithes et Rhabdolithes en forment la partie la plus fine. Les valves d'Entomostracés y sont quelquefois abondantes. M. Rupert-Jones signale l'absence de Polycystines (Radiolaires) dans la craie d'Angleterre.

En 1879, M. Sorby [9] fait connaître les résultats généraux de la craie d'Angleterre. Les Foraminifères plus ou moins brisés ne constituent qu'une petite fraction de la roche ; les Globigérines et les loges dissociées d'autres genres sont beaucoup plus abondantes. Il signale des débris d'Inocérames, d'Ostrea, de Pecten, d'Echinodermes, des Polyzoaires, des spicules simples ou branchus et accidentellement des fragments de Brachiopodes. M. Sorby établit que la structure de la craie est remarquablement uniforme du Nord au Sud de l'Angleterre. La principale différence tient aux variations dans la quantité de fragments de coquilles et de la matière finement grenue qui les enveloppe. Peu d'échantillons renferment des grains de quartz. Les Coccolithes abondent. Un très grand nombre de petits granules sont identiques en apparence à ceux qui dérivent de la décomposition des coquilles en aragonite et de Coraux. Quoique les Foraminifères soient nombreux, M. Sorby est d'avis que des organismes calcaires de plus grande taille ont probablement donné naissance à la plus grande partie de la craie.

En 1880, l'étude de la poudre renfermée dans un silex de la craie supérieure de Horstead (Norfolk) permet à M. Hinde [10] de reconnaître des Foraminifères, des Entomostracés, des fragments d'Echinides, de Cirrhipèdes, de Bryozoaires, de Lamellibranches, des débris de poissons et un nombre considérable de spicules d'Eponges.

---

1. KAUFMANN. Seekreide, Schreibkreide, etc. *Verh. d. k. k. Geol. Reichanstalt*, Wien, pp. 205-207 (1870).
2. J. PRESTWICH. Ann. Address, etc., *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol. 27., pp. XXX-LXXV (1871).
3. W. B. CARPENTER. Preliminary Report, etc. *Proc. Roy. Soc.*, vol. 17, pp. 168-201 (1868).
4. W. THOMSON. The Depths of the Sea (1872).
5. W. THOMSON. On the Depths of the Sea, *Ann. and Mag. of Nat. Hist*, vol. 4, 4e S., pp. 119 (1869).
6. K. ZITTEL. Handbuch der Palæontologie, vol. 1, p. 73 (1876).
7. DIXON. The Geol. of Sussex. New Edit., by RUPERT-JONES, pp. 123-125 (1878).
8. RUPERT-JONES. Note on the Foraminifera, etc. *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol. 34, pp. 739-741 (1878).
9. H. C. SORBY. Anniversary Address, Chapitre Chalk, *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol. 35, pp. 78-79 (1879).
10. G. J. HINDE. Fossil Sponge spicules from the Upper Chalk, etc., Munich (1880).

Wallich [1], en 1880, et Th. Fuchs [2], en 1883, ont rappelé la composition organique de la craie en étudiant les rapports et différences qu'elle présente avec le limon crayeux de l'Atlantique.

M. J. Gosselet [3] définit la craie en 1881 un sédiment « formé en partie de petites coquilles microscopiques d'Infusoires, en partie de petits globules dus à la précipitation du carbonate de chaux tenu en dissolution dans l'eau de mer ».

Otto Lang dit en 1881 qu'il n'est pas vraisemblable que la craie de Göttingen soit un précipité chimique de l'eau de mer, comme Kaufmann l'admettait pour la craie en général.

En 1882, Gardner [4] voit dans la craie un sédiment dépourvu d'éléments apportés de la terre ferme.

La même année, M. Geikie [5] définit la craie un calcaire pulvérulent composé de coquilles fragmentaires et de Foraminifères.

En 1884, MM. Munier-Chalmas et Schlumberger [6] considèrent les Foraminifères comme très disséminés et rares dans la craie blanche. L'année suivante, ils déclarent que la craie blanche est constituée par du carbonate de chaux pulvérulent qui résulte en général, soit de la précipitation du carbonate de chaux, soit de la destruction de Bryozoaires, etc.

Le quartz est le seul minéral clastique dont la présence ait été signalée dans la craie avant 1884. M. Thürach [7] reconnut en 1884 dans la craie de Champagne, la tourmaline, le rutile et le zircon.

M. Rupert-Jones [8] a consacré à l'origine et à la composition de la craie une note qui résume et condense la plupart des données que l'on possédait sur ce dépôt en 1885. Il indique comme faisant partie de la craie : fragments de coquilles et prismes d'Inocérames en particulier, ossicules de Crinoïdes, épines, plaques et fragments d'Echinoïdes, Ostracodes, Foraminifères, Radiolaires, fragments de squelettes et spicules d'Eponges; Coccolithes et Rhabdolithes dans quelques cas.

Prestwich revient sur la composition organique de la craie en 1886. Il rappelle qu'après M. Sorby, d'autres observateurs ont démontré l'origine organique d'une grande portion de la craie blanche. Il cite les principaux genres de Foraminifères et de Bryozoaires de cette roche et mentionne de rares Radiolaires et Diatomées. Prestwich fait remarquer que les micrographes qui étudient la craie se proposent avant tout d'en isoler les organismes et que le résidu inorganique a été rarement indiqué. Dès 1845, Mantell avait noté que s'il est facile de démontrer la présence de Foraminifères dans quelques masses de craie, il est au contraire difficile d'en mettre en évidence de bien nets dans beaucoup de couches crayeuses, et qu'il y existe souvent une grande proportion d'éléments sans trace de structure. Prestwich conclut de l'état des connaissances sur la craie à cette époque (1886) que « *la question de l'origine organique ou inorganique de la partie amorphe de la craie reste ouverte* [9] ».

Les figures données par Neumayr [10] en 1887 pour montrer la composition du résidu de lavage de différentes craies (Sussex, Lybie) y accusent l'existence d'un grand nombre de particules de quartz clastique.

Le quartz est signalé dans la craie par M. v. Gümbel en 1888, dans ses « Grundzüge der Geologie [11] ». M. Gümbel a figuré deux sections de craie de Kent et de Meudon montrant quelques fragments de test de Foraminifère et la place relativement faible que ces organismes occupent dans la craie.

---

1. WALLICH. A Contribution to the physic. Hist. etc. *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol. 36, pp. 68-92 (1880).

2. TH. FUCHS. Welche Ablagerungen haben wir als Tiefseebildungen zu betrachten ? *Neues Jahrb. für Min.*, Beilage-Band 2, pp. 487-584 (1883).

3. J. GOSSELET. Esquisse géologique. Terr. second. p. 217 (1881).

4. J. S. GARDNER. The Fallacy of the Theory, etc., in *Geol. Mag.*, N. S., Dec. II, vol 9, pp. 546-548 (1882).

5. A. GEIKIE. Text-book of Geol. 1re éd., p. 802 (1882).

6. MUNIER-CHALMAS et SCHLUMBERGER. Note sur les Miliolidées, etc. *B. S. G. F.*, 3e S., vol. 12, p. 629 (1884) et vol. 13, pp. 274-275 (1885).

7. THÜRACH. Ueber das Vorkommen, etc., *Verh. Phys.-med. Ges. zu Würzburg*, vol. 18, pp. 1-82 (1884).

8. RUPERT-JONES. The Origin and Constitution, etc. *Trans. of the Hertfordshire Nat. Hist. Soc.*, vol. 3., p. 152 (1885).

9. J. PRESTWICH. Geology chemical, phys. and strat., vol. 2, p. 318 (1886).

10. M. NEUMAYR. Erdgeschichte, vol. 2, p. 340 (1887).

11. v. GÜMBEL. Grundzüge der Geologie, pp. 202-203 (1888).

De 1886 à 1888, MM. Hill et Jukes-Browne [1] publièrent plusieurs notes stratigraphiques et paléontologiques sur divers terrains crétacés d'Angleterre. Dans chacune d'elles, un chapitre est consacré à une rapide étude micrographique des terrains qui font l'objet de la note. Le rôle des Foraminifères, la proportion de matière amorphe et l'existence de minéraux clastiques y sont indiqués.

D'après Nicholson et Lyddeker [2] (1889) la craie blanche consiste en « fragments » organiques innombrables *dont la plupart sont à rapporter aux Foraminifères; ils sont cimentés par une boue calcaire fine.*

L'année 1889 vit la publication en Angleterre d'un travail très important de M. W. Hill sur « The minute structure of the Chalk [3] ». Comme il en sera question plus loin à plusieurs reprises, je ne le soumettrai pas ici à une analyse détaillée. M. W. Hill reconnut, entre autres particularités, la grande variabilité dans la teneur en Foraminifères, ainsi que la présence de prismes d'Inocérames.

C'est à l'année 1891 que remonte la publication des premières recherches micrographiques sur la craie. Ce mémoire en est en partie le développement. J'arrête à cette date ma revue bibliographique pour cette raison que j'aurai, dans la suite, à parler longuement de tous les travaux qu'il me resterait à examiner. Les noms des auteurs qui se sont occupés de la craie, au point de vue micrographique, depuis 1891, sont par ordre de date : MM. Jukes-Browne [4], Munier-Chalmas [5], F. Hume [6] et Deecke [7].

Je désire mentionner plus particulièrement le très intéressant mémoire publié par M. Hume, en 1893, sur les zones du Crétacé supérieur du Sud de l'Angleterre [6]. L'auteur a porté tout spécialement son attention sur les minéraux, les Foraminifères et la composition chimique de la craie. L'étude des Foraminifères arénacés faite avec le concours de l'éminent spécialiste M. Chapman et leur comparaison avec les formes actuelles, conduisent à de très curieuses conclusions touchant la profondeur de la mer crétacée d'Angleterre. Je tiens à adresser mes plus vifs remerciements à M. Hume pour la très grande place qu'il a bien voulu me réserver dans son mémoire.

Cette rapide analyse met en évidence combien l'étude de la craie est en honneur chez les géologues anglais, et la large part qui leur revient dans la connaissance de ce terrain. La plupart des groupes d'organismes qui entrent dans la formation de la craie étaient connus avant 1891. Les éléments minéraux avaient à peine fixé l'attention; quant à leur importance, on peut dire qu'elle était absolument méconnue.

Lorsque j'ai commencé mes premières investigations, toute la craie de France était

---

1. W. HILL and JUKES-BROWNE. The Melbourn Rock, etc. *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol. 42, pp. 228-231 (1886)
W. HILL. On the Beds between the Upper, etc. Id., vol. 42, pp. 232-248 (1886).
J. JUKES-BROWNE and W. HILL. On the lower Part of the Upper, etc. Id. vol. 43, pp. 580 et suiv. (1887).
W. HILL. On the lower Beds, etc. Id., vol. 44, pp. 320-368 (1888).

2. H. A. NICHOLSON et R. LYDDEKER. Manual of Paleontology, 3e éd., vol. 1, pp. 18-19 (1889).

3. W. HILL in W. WHITAKER. The Geology of London, etc. Chapitre: The minute Structure, etc. *Mem. of the Geol. Surv.*, vol. 1, pp. 517 et suiv. (1889).

4. J. JUKES-BROWNE. The Geology of Devizes, *Proc. Geol. Ass.*, vol. 12, p. 112 (1891).
J. JUKES-BROWNE. The Building of the British Isles, 2e éd., pp. 436-439 (1892).

5. MUNIER-CHALMAS. Origine des phosph. *C. R. Soc. G. F.*, 3e S., vol. 20, pp. XLVIII-L (1892).

6. W. F. HUME. Chem. and micromineralogical Researches, etc. (1893).

7. W. DEECKE. Die mesoz. Form. der Provinz Pommern. *Mitth. d. nat. Vereines für Neu-Vorpommern und Rügen*, Sep.-Abd., p. 52 et suiv. (1894).

à étudier. Il restait à entreprendre une étude d'ensemble de ce terrain, à déterminer dans quelle mesure les agents mécaniques, physiologiques et chimiques ont concouru à sa formation, dans le temps et dans l'espace, et à rechercher les diverses conditions physiques qui ont présidé à son dépôt. Le problème de sa comparaison avec les sédiments qui couvrent le fond des océans actuels attendait une solution. L'étude qui va suivre montrera quel vaste champ on avait négligé d'explorer, et les multiples questions que soulève l'examen approfondi d'un dépôt qui se présente pourtant avec des caractères très uniformes.

CHAPITRE VI

CRAIE DU NORD

Sommaire. — 1°. Marnes à *Inoceramus labiatus*, 216; Elimination de la matière du ciment de l'intérieur des coquilles de Foraminifères, 219.

2°. Marnes à *Terebratulina gracilis*, 220.— Appendice : Marne à *T. gracilis* de Chercq, près Tournay, 223.

3°. Craie à *Micraster breviporus*. A. Craie à cornus, 224. B. Deuxième et troisième tuns, 228. C. Craie glauconieuse et phosphatée à *Micraster breviporus*, 230; Glauconie, 231; Phosphate de chaux, 232. D. Premier tun, 237; Phosphate de chaux, 237; Glauconie, 238; Rôle conservateur du phosphate en faveur des Rhizopodes; destruction *in situ* des Foraminifères de la craie, 241; Genèse des concrétions phosphatées du 1er Tun, 242. — Appendice : Craie phosphatée du Cambrésis, 242.

4°. Craie à *Micraster cor testudinarium*. A. « Banc du Tun », 243. B. « Banc des Roux », 247; Fragmentation des coquilles de Foraminifères par voie chimique et postérieurement à la sédimentation; Conséquences, 250. C. « Banc des Soies », 252.

5°. Craie d'Ennequin, 255.

6°. Résultats généraux de l'étude de la craie du département du Nord, 256. — *Minéraux :* Eléments détritiques, 256; Pluralité d'origine des éléments détritiques de la craie, 258. Minéraux secondaires, : Glauconie, 258; Orthose, 259; Phosphate de chaux, 260 — *Organismes*, 261. — *Ciment*, 263. Conclusions. 264.

J'ai soumis à l'examen micrographique des échantillons de craie originaires de plusieurs points des environs de Lille et notamment de Lezennes. J'ai étudié : 1° des marnes à *Inoceramus labiatus* (Cysoing); des marnes à *Terebratulina gracilis* (Cysoing, Bouvines et Chercq, près Tournay); la plupart des niveaux de craie turonienne et sénonienne de Lezennes ; la craie d'Ennequin représentant le sommet de l'assise à *Micraster cor testudinarium* ou la base de la craie à *Micraster cor anguinum*. Je reproduis ci-dessous la momenclature de différentes couches rencontrées dans les exploitations souterraines de Lezennes [1].

Assise à *M. c. testudinarium*	Craie à Inocérames (Banc des Soies).	6m30
	Craie grise — Banc des Roux	1,50
	Craie grise — Banc du Tun	1,50
Assise à *Micraster breviporus*	1er Tun	0,50
	Craie glauconieuse et phosphatée	1,70
	2e Tun (Tun blanc)	0,50
	Craie grise	0,10
	3e Tun.	0,50
	Craie gris blanchâtre. non phosphatée.	0,30
	Craie à cornus (C. à silex)	1,50

1. L. Cayeux. C. R. de l'excurs. de la Soc. géol. du N., etc. *Ann. Soc. G. N.*, vol. 14, pp. 241 et 242 (1887). L. Cayeux. La faune du Tun, etc., *Ann. Soc. G. N.* vol. 16, pp. 123-131 (1889).

1° MARNES A *Inoceramus labiatus*

Les marnes à *I. labiatus* ont été l'objet d'une étude monographique très détaillée que j'ai publiée en 1890 [1]. On les désigne généralement sous le nom de dièves.

Caractères lithologiques. Le sédiment en place est bleu verdâtre. Desséché à 110° pendant une heure, sa couleur vire au gris bleuâtre; par la calcination, il prend une teinte jaune de rouille. Les silex sont inconnus à ce niveau.

Les échantillons étudiés ont été recueillis à Cysoing, au fond de la carrière de M. Demesmay.

Composition chimique. Résidu insoluble 44,7 °/₀, dont 5,58 °/₀ de minéraux et organismes silicifiés et 39,12 °/₀ d'argile. Le résidu est bleu verdâtre comme le sédiment humide, grisâtre après dessiccation et jaune de rouille après calcination. Carbonate de chaux, 55,3 °/₀.

Savoye, qui a analysé un très grand nombre d'échantillons de dièves, a trouvé des résidus variant de 6,49 à 66,549, une proportion de carbonate de chaux de 28,07 à 92,16 et de 0,16 à 0,67 de SiO^2 [2].

ETUDE MICROGRAPHIQUE. 1° **Minéraux.** Je n'ai pas fait un départ absolument rigoureux des minéraux proprement dits et de la matière impalpable du ciment. Les premiers représentent de 1 à 2 °/₀ au plus de la roche.

A. *Minéraux détritiques.* Le *quartz* est représenté par des grains anguleux ou arrondis, des grains à contours sinueux et curvilignes, des cristaux et des agrégats microcristallins. On n'en trouve qu'un très petit nombre dans les coupes minces.

Les grains à contours irréguliers et curvilignes sont les éléments essentiels du résidu des minéraux. Ce sont des corps dépolis, à surface rongée, présentant parfois des dépressions en forme de golfes remplis d'argile. La plupart mesurent $0^{mm}06$-7. Les grains anguleux sont de véritables esquilles de quartz très limpide, sans la moindre trace d'usure ; leur diamètre atteint jusqu'à $1/2^{mm}$. Parmi les grains arrondis, il en est de rares qui sont d'une transparence et d'une limpidité telles qu'il est impossible d'admettre que la forme arrondie est due à une friction. Les cristaux de quartz sont également très frais ; ils sont isolés ou accolés deux à deux. Le quartz est également rare sous cette forme. De petits grains mesurant au plus $0^{mm}01$ se juxtaposent et s'ajustent de manière à donner des agrégats parfois formés d'un très grand nombre d'éléments (quelquefois plus de 40) et mesurant au plus $0^{mm}4$.

Les autres minéraux sont par ordre de fréquence :

Tourmaline verte, jaune brunâtre, noire, en cristaux quelquefois complets, mais souvent fragmentaires.

Zircon. Cristaux complets ou fragments. Les premiers se rapportent à deux types bien distincts : A forme raccourcie, à contours notablement arrondis et à structure zonaire. Tantôt le cristal a des pointements très nets et les zones sont arrondies, tantôt il présente des extrémités arrondies et les

1. L. CAYEUX. Etude microgr. de la craie etc., *Ann. Soc. G. N.*, vol. 17, pp. 342-381 (1890).
2. E. SAVOYE. Anal. comp., etc. *Mém. Soc. de Lille*, 3e S., vol. 8, p. 37 (1870).

zones dessinent un pointement anguleux. B. cristaux allongés et étroits de conservation parfaite et présentant un grand nombre de faces. M. de Krustschoff [1], à qui l'on doit une étude comparée des diverses formes de cristaux de zircon dans les différentes roches cristallines ou schisto-cristallines considèrent les cristaux de la première catégorie comme caractéristiques des gneiss ; la seconde manière d'être serait particulière aux microgranites et en particulier à celui d'Altenbach.

Rutile. Toujours fragmentaire et parfois muni de clivages.

Grenat et *chlorite*. Quelques éléments.

Orthose et *feldspath plagioclase*. Excessivement rares. Peut-être faut-il rapporter l'orthose aux minéraux secondaires.

B. *Minéraux secondaires.* Ils forment environ 0,75 % du sédiment. Ce sont par ordre d'importance :

Glauconie. Son existence est constante dans les dièves. Ses manières d'être sont les suivantes : A. Elle remplit des loges de Foraminifères et se trouve dans le résidu à l'état de petites sphérules isolées ou réunies au nombre de 2 ou 3 par de petits trabécules correspondant au canal faisant communiquer les diverses chambres. B. Outre ces formes portant avec elles une sorte d'étiquette d'origine, il en est qui sont irrégulièrement arrondies, mamelonnées, ovoïdes ou semi-lunaires, à surface quelquefois rugueuse et dentelée qui constituent la partie fondamentale du résidu de glauconie. Diam. moyen $0^{mm}1$; les plus volumineux atteignent à peine $0^{mm}2$. Ils ont le plus souvent des dimensions supérieures à celles des loges de Foraminifères. On les voit dans les coupes minces, plongés dans le ciment argileux et indépendants des organismes. C. La glauconie pseudomorphose très rarement des spicules d'Eponges. D. Elle commence à épigéniser les prismes d'Inocérames. E. Elle forme un enduit à bon nombre de grains de quartz.

Pyrite. La pyrite remplit fréquemment les loges des Foraminifères. Elle donne naissance à une multitude d'éléments de forme étroite, allongée, irrégulière, disposés parallèlement les uns aux autres dans les sections minces. Elle forme encore des concrétions à structure radiée dont la surface est hérissée de pointements comme dans les rognons de marcassite.

Phosphate de chaux. Très rare en grains jaune sale.

Orthose. Douteux comme minéral formé *in situ.*

2° **Organismes.** *Mollusques* et *Brachiopodes.* Les prismes d'Inocérames sont les restes de Mollusques les plus nombreux. Le résidu insoluble débarrassé de l'argile est principalement formé de prismes d'Inocérames *silicifiés* dont un certain nombre revêtent tout à fait l'aspect de grands spicules monoaxes et que j'ai primitivement confondus avec ces corps. On trouve quelques rares coquilles de *Gastéropodes* de la taille des plus grands Foraminifères. La faunule de Mollusques submicroscopiques et pyriteux des dièves du

1. K. von Krustschoff. Beitrag zur Kenntn. d. Zirkone, etc., *Min. and Petr. Mitth. von G. Tschermak*, vol. 7 (1886).

Nord de la France a été signalée pour la première fois par M. Ch. Barrois [1] ; elle n'est connue ailleurs que dans le Turonien de Bohême.

Crustacés. Quelques valves d'Ostracodes.

Echinodermes. Quelques radioles d'Oursins. Le résidu renferme des plaques polygonales siliceuses. Les polygones ont de quatre à neuf côtés inégaux, rectilignes ou légèrement convexes vers l'intérieur ; les formes pentagonales et hexagonales prédominent ; à part quelques exceptions, elles sont séparées et disséminées dans le sédiment ; rarement elles sont groupées par deux ou par trois. J'ai toutefois observé le cas de 28 plaques réunies dont l'ensemble présentait un diamètre d'un demi-millimètre. Les dimensions de ces plaques sont d'ailleurs très variables et leur plus grand diamètre ne descend guère au-dessous de $0^{mm}05$; il dépasse souvent $0^{mm}1$ et n'atteint que très rarement $0^{mm}18$. Quelques plaques isolées ont des caractères particuliers : l'une, limitée par sept côtés, présente une surface articulaire pour l'insertion d'un piquant ; une autre montre une ouverture marginale ; une troisième est creusée d'une ouverture occupant les deux tiers de son diamètre total. On trouvera le dessin de ces plaques dans mon étude monographique des dièves [2].

Quenstedt et Goldfuss ont rapporté au genre *Sphæraster* Quenst., du sous-ordre des *Asteriæ Veræ* Bronn, des plaques polygonales qui rappellent assez bien celles que je viens de décrire et que l'on trouve assez fréquemment dans le Jurassique supérieur du Jura, de Franconie et de Souabe. Ces mêmes plaques sont à rapprocher comme forme de celles qu'Ehrenberg [3] a reconnues dans des marnes d'eau douce de la Morée.

Spongiaires. Les seuls débris de Spongiaires authentiques sont glauconieux. Ce sont surtout des bâtonnets cylindriques à extrémités incomplètes. On peut les considérer, soit comme des spicules monoaxes fragmentaires, soit comme des formes tétraradiées à rayons dissociés. Les spicules qui se rapportent sans aucun doute aux *Tetractinellidæ* sont très rares ; ils ont des contours rugueux et rongés. Des corps à forme subsphéroïdale rappellent les spicules dermiques de *Geodia*. En résumé, les Spongiaires n'ont laissé de vestiges de leur squelette qu'en nombre tout à fait insignifiant.

Foraminifères (20 % du dépôt). Ils occupent le premier rang parmi les microorganismes calcaires des dièves. Les genres les plus importants sont par ordre d'abondance : *Textularia, Rotalia, Globigerina, Dimorphina, Lagena, Miliola, Dentalina, Nodosaria, Orbulina, Bulima, Frondicularia, Gaudryina, Sphæroïdina*, etc. Les *Textularia* ont un nombre de représentants sensiblement égal à celui des autres Foraminifères réunis. En outre de ces formes, il existe quelques individus de très grande taille, pourvus d'un test excessivement épais et presque toujours *brisé*. Ce sont des restes de Foraminifères

1. CH. BARROIS. Mém. sur le terr. crét. des Ardennes, etc., *Ann. Soc. G. N.*, vol. 5, p. 388 et suiv. (1878).
2. L. CAYEUX. Op. cit, p. 375 (1890).
3. EHRENBERG. Mikrogeologie, Taf. II, A (1854).

de fond. M. Ch. Barrois y a signalé des *Polyphragma* en 1878. Un grand nombre de Foraminifères de ce niveau sont fragmentaires.

Les Foraminifères entiers ou les loges séparées renferment diverses substances. C'est la calcite qui les remplit le plus souvent. Elle y forme de petits rhomboèdres parfaits, situés au centre des loges, des rhomboèdres incomplets ou des grains arrondis placés de préférence au bord interne de la coquille. On y trouve encore une substance argilo-calcaire identique au ciment, de la glauconie très rare et de la pyrite. Il y a parfois association de ces deux matières. On voit par exemple un grand cristal de calcite au centre d'une chambre et de l'argile ou de la pyrite au pourtour.

Tous les débris organiques dont il vient d'être question sont très inégalement répartis dans les dièves. Ils sont comme disposés en nids, en veinules où ils se pressent les uns contre les autres laissant une place insignifiante au ciment. Entre ces points où les débris organiques sont empilés, ils sont très clairsemés et la roche est en majeure partie constituée par le ciment argilo-calcaire. Tous les éléments pourvus d'un allongement marqué sont alignés dans le sens de la stratification. Les minéraux secondaires comme la pyrite participent à cet alignement. Aucune des craies que j'aurai l'occasion de passer en revue n'est aussi dépourvue d'homogénéité que les dièves.

3° **Ciment** (60 °/₀, en moyenne). La matière fondamentale du ciment est l'argile. L'analyse chimique en décèle l'existence en très forte proportion. L'examen micrographique la met facilement en évidence. Elle affecte la forme de particules d'une extrême ténuité que l'œil isole non sans peine, lorsque la section n'est pas très mince. Quand elles sont empilées en grand nombre, la préparation prend un aspect gris sale caractéristique, et le microscope ne réussit pas à décomposer le ciment en ses éléments constituants. Les particules organiques et minérales paraissent alors emprisonnées dans une trame colloïde continue. Examinées dans les meilleures conditions d'éclairage et avec un microscope Zeiss, les sections les plus minces permettent de reconnaître que *le ciment présente des phénomènes de polarisation. Chaque particule argileuse est douée de cristallinité.*

On trouve dans le ciment argileux de menus fragments de test de Foraminifères, des débris informes de coquilles, de nombreux *Coccolithes*, quelques *Rhabdolithes* et de la calcite. Cette dernière substance donne naissance à des rhomboèdres, isolés dans le ciment et absolument indépendants des organismes.

Élimination de la matière du ciment de l'intérieur des coquilles de Foraminifères. La matière argilo-calcaire qui forme le ciment remplissait toutes les coquilles de Foraminifères à l'origine; un grand nombre l'ont conservée intacte. Les Rhizopodes calcaires qui tombent au fond des mers actuelles ne renferment pas de carbonate de chaux largement cristallisé. La genèse des cristaux de calcite inclus dans les chambres de Foraminifères des dièves est un phénomène secondaire. Ces corps ont pris la place de la substance qui les occupait primitivement. Quand on observe des loges avec un seul rhomboèdre, entouré par de la

matière argilo-calcaire qui le moule parfaitement, il est nécessaire d'admettre que la calcite s'est fait place dans le produit de remplissage de l'organisme; dans le cas de l'existence exclusive de calcite à l'intérieur des coquilles de Foraminifères, la matière argilo-calcaire en aurait été complètement expulsée. On trouve une infinité de termes intermédiaires entre le Rhizopode calcaire, dont la cavité est oblitérée par la substance qui constitue le ciment, et celui qui ne renferme que de la calcite.

Le carbonate de chaux cristallisé est d'une limpidité parfaite. L'hypothèse de l'enlèvement mécanique du contenu argileux des loges se heurte à bien des difficultés; l'attention peut se porter vers celle de la destruction de l'argile par voie chimique, mais il faut convenir que le problème est ici tout autre que dans les roches siliceuses, où l'on observe invariablement un enrichissement en silice partout où l'argile a été détruite. Je me borne à constater le fait indéniable de l'élimination de l'argile des cavités des microorganismes sans proposer une explication de ce phénomène.

Résumé. La marne à *I. labiatus* présente les caractères suivants :

a. Importance exceptionnelle du résidu insoluble; *b*. abondance de la pyrite; *c*. existence de Gastéropodes microscopiques (Ch. Barrois); *d*. fréquence de prismes d'Inocérames; *e*. distribution très irrégulière des débris organiques; *f*. développement de la calcite dans les loges de Foraminifères avec élimination de l'argile; *g*. silicification des prismes d'Inocérames et de plaquettes d'Echinodermes; *h*. état cristallin de l'argile du ciment.

2° MARNE A *Terebratulina gracilis*

Les marnes à *T. gracilis* présentent quelques différences au point de vue micrographique, selon que l'on considère les couches les plus argileuses ou les plus calcaires. Ces dernières forment des bancs beaucoup plus cohérents que l'on suit dans toute l'étendue des carrières. La majeure partie de l'assise est argileuse ; les bancs calcarifères sont l'exception.

Caractères lithologiques. Marne gris verdâtre, quand elle est imprégnée d'eau de carrière et jaunâtre après dessiccation. Elle est tachée de rouille; cassure unie. A sa partie supérieure, elle renferme quelques bancs plus calcaires à cassure finement grenue et rugueuse. Échantillons recueillis à Bouvines.

Composition chimique. A. Marne calcarifère : Résidu insoluble, 43,25 %, dont 1,62 de minéraux ; carbonate de chaux, 54,55 % ; silice soluble dans HCl, 0,60 %. — B. Craie marneuse : Insoluble, 10,72 % ; carbonate de chaux, 83,47 %.

Savoye a trouvé de 13,67 à 35,7 d'insoluble, 60,63 à 83,85 de carbonate de chaux et 0,09 de silice [1].

1. SAVOYE. Op. cit., p. 37 (1870).

1° **Minéraux.** *M. détritiques.* Le *quartz* est très rare dans les sections minces. Il est représenté : A. par des grains anguleux, sans trace d'usure plus nombreux que dans les dièves ; diamètre variant depuis $0^{mm}03$-4 jusqu'à $0^{mm}5$. B. par des cristaux allongés et dépolis. C. par des agrégats enduits d'argile ; les éléments de ces agrégats ont dans beaucoup de cas les mêmes dimensions que beaucoup de grains isolés. D. par des grains libres à contours curvilignes, d'aspect dépoli et rugueux formant la partie essentielle du résidu de minéraux ; diam. moyen $0^{mm}07$-8 ; les plus volumineux mesurent $0^{mm}5$. Les éléments de quartz sont remarquables par le grand nombre d'inclusions de toute nature qu'on y observe ; je citerai en particulier le zircon, la tourmaline, la magnétite et le rutile. L'analogie des grains de quartz traversés par de fins bâtonnets de rutile avec le quartz des roches métamorphiques est très frappante. Les minéraux qui accompagnent le quartz sont :

Tourmaline. Verte, brune, bleue ou rose ; la première variété caractérisée par des cristaux longs et étroits est de beaucoup la plus fréquente.

Zircon. Presque aussi répandu que la tourmaline. Il est souvent fragmentaire. Il affecte la forme de grains arrondis, montrant fréquemment la structure zonaire, avec zones dessinant parfois un cristal différent de celui qui l'enclave. Les cristaux à contours argileux sont exceptionnels. Les formes suivantes sont les plus curieuses.

Pl. X, fig. 8. Cristal incolore, limpide, présentant la disposition encapuchonnée pour les extrémités seules. Inclusions vitreuses. Dim. 0,05-0,018.

Fig. 44. Cristal formé de *m* (110) *h* ^{1} (100) avec pointement indéterminé. Dim., 0,046-0,014.

Magnétite. Quelques octaèdres et nombreux éléments informes.

Rutile. Rarement à l'état de cristaux complets et allongés formés de *m* (110) *h*1 (100) *a*1 (101), presque toujours fragmentaire. Un individu (Pl. X, fig. 58) jaune brunâtre montre le clivage *a*1 (101) très net. Dim. 0,04-0,023.

Orthose et *Plagioclase.* A peine représentés. Comme dans les dièves, il y a indécision sur la place qu'il convient d'assigner à l'orthose. Peut-être est-elle secondaire.

Anatase. D'une grande rareté en cristaux complets et bien conservés. Les formes suivantes sont particulièrement intéressantes :

Pl. X, fig. 66. Cristal rapporté avec beaucoup de doute à l'anatase. Dim. 0,065-0,042.

Fig. 72. Cristal complet incolore avec taches noires d'altération. Dim. 0,05-0,02.

Fig. 76. Table incolore en voie d'altération, clivages ?. Dim. 0,028-0,02.

Brookite. Très beau cristal (Pl. X, fig. 78) formé de *p* (001) *g*1 (010) *mm* (110) ($1\bar{1}0$) *h*1 (100) ; face *p* (001) cannelée parallèlement à *g*1 (010). Dim. 0,05-0,026.

Apatite. Cristaux d'une grande rareté montrant le clivage *p* (0001)

Minéraux secondaires. Glauconie. En plus des manières d'être que j'ai signalées dans les dièves et qui sont toutes représentées dans les marnes à *T. gracilis*, on trouve la glauconie sous forme de grains clivés. Le nombre de spicules de Spongiaires transformés en glauconie est plus grand que dans les dièves.

La *pyrite*, la *limonite* et le *phosphate de chaux* ne manquent jamais ; la pyrite est fréquente dans les loges de Foraminifères des échantillons les plus argileux. Le phosphate de chaux présente les caractères des esquilles de tissu osseux. Peut-être l'*orthose* mentionnée plus haut a-t-elle sa place marquée ici.

2° **Organismes.** La proportion en est variable suivant que l'on considère les parties les plus marneuses des bancs calcaires cohérents. Elle est d'un tiers environ pour ces derniers ; elle descend à un quart et même au-dessous pour les marnes.

Mollusques et *Brachiopodes*. On trouve, avec de volumineux fragments de coquilles, des prismes d'Inocérames presque toujours tronçonnés ; ils sont rares dans la marne et assez répandus dans la craie marneuse.

Bryozoaires. Fragments de grandes colonies.

Spongiaires. A. *Spicules monoaxes*. Ils sont glauconieux et figurent des bâtonnets rectilignes quelquefois légèrement arqués, fragmentaires, presque toujours cylindriques et accidentellement coniques. Ces spicules sont parfois corrodés. Ils mesurent jusqu'à 1/4 de millimètre. Il est probable que ces formes doivent être rapportées en partie, peut-être même en totalité, au groupe des *Tetractinellidæ*. Elles sont beaucoup plus répandues que dans l'assise précédente.

B. *Tetractinellidæ*. Quelques spicules à quatre rayons gros et courts.

C. *Lithistidæ*. Je rapporte à ce groupe des éléments glauconieux en forme de champignon, à pédoncule court et renflé. Le genre *Ragadina* Zitt., de la famille des *Tetracladina* Zitt., possède des spicules irréguliers, ornés de proéminences en tous points semblables aux formes en question.

D. *Calcispongidæ*. Quelques spicules calcaires triradiés et très grêles appartiennent certainement à ce groupe. Peut-être doit-on leur rapporter quelques formes monoaxes calcaires de petite taille.

Tous les débris de Spongiaires à squelette siliceux sont glauconieux ; leur surface est toujours rongée.

Echinodermes. Plaques polygonales assez peu répandues.

Foraminifères (30-55 %). Les *Textularia* viennent en première ligne, puis les *Rotalia* qui sont assez fréquentes. Les *Globigerina* sont rares. C'est pourtant l'un des niveaux où elles sont le mieux représentées dans la série du Nord. Les formes monoloculaires (*Fissurina* et *Orbulina*) sont tout à fait accessoires. La coquille des Foraminifères est plus épaisse dans les zones marneuses que dans les bancs calcaires. Les Foraminifères arénacés sont représentés par quelques *Textularidæ* de très grande taille à test très épais.

L'état de conservation des coquilles est en relation avec la composition minéralogique de la roche; c'est dans les parties les plus calcaires qu'il laisse le plus à désirer. Beaucoup d'individus sont incomplets, cassés, et l'on trouve dans le ciment un nombre considérable de fragments de toutes dimensions, n'ayant subi aucune trace de corrosion et d'origine mécanique. On constate sans le moindre doute un commencement de destruction des coquilles *in situ*, par voie chimique.

La matière qui remplit les loges de Foraminifères est de composition variable. C'est tantôt un mélange d'argile et de calcite, tantôt, et le plus souvent, du carbonate de

chaux largement cristallisé, une loge pouvant être occupée par un volumineux rhomboèdre. La pyrite s'ajoute à ces éléments ; la glauconie y est rare.

Organismes indéterminés. Très rares bâtonnets comme ceux de la planche IX, fig. 4.

3° **Ciment** (35-75 %). Je n'ai étudié en sections minces que celles des marnes qui sont assez dures pour se laisser tailler en lames d'épaisseur conventionnelle. Elles ne correspondent déjà plus au type le plus argileux qui prédomine dans l'assise. Le ciment est dans tous les cas argilo-calcaire.

L'ensemble des éléments que je groupe sous la rubrique ciment occupe dans la marne étudiée en section mince une place très prépondérante (2/3 ou 3/4 du dépôt) et l'activité organique a été reléguée au second plan. Dans les variétés plus calcaires, la proportion s'élève à 2/3 environ.

Au microscope, ces marnes montrent une trame argileuse brunâtre enveloppant quelques minéraux et des débris organiques. Ciment, minéraux et vestiges d'organismes, tout polarise. Entre les nicols croisés, il est relativement facile de faire le départ des particules argileuses et des éléments calcaires. Les premières se parent de teintes qui sont à peu de choses près celles du quartz. Les couleurs irisées du calcaire en sont très différentes.

Les menus éléments calcaires qui prennent part à la constitution du ciment sont organiques ou non. Les premiers comprennent de petits fragments de coquilles et notamment de Foraminifères. Toutes les marnes à *T. gracilis*, quelle que soit leur teneur en carbonate de chaux, renferment un très grand nombre de *Coccolithes* et des *Rhabdolithes* assez fréquents. C'est dans les bancs calcaires que ces corps se développent avec leur maximum de fréquence. La considération des coupes minces permet de reconnaître d'innombrables particules inorganiques qui sont à rapporter à la calcite. Comme dans les chambres de Foraminifères, cette substance donne parfois naissance à des rhomboèdres parfaits.

Résumé. Les marnes à *Terebratulina gracilis* sont caractérisées par la grande place occupée par les matériaux de transport. Dans le domaine organique, plusieurs faits sont à retenir : *a.* Apparition des Bryozoaires ; *b.* multiplication des restes de Spongiaires ; *c.* existence de Foraminifères à test arénacé ; *d.* état fragmentaire des coquilles de Rhizopodes poussé à un haut degré et d'origine mécanique ; *e.* grande prédominance du ciment ; *f.* état cristallin de la matière argileuse.

Les bancs cohérents des marnières correspondent à des épisodes où l'activité organique a cessé d'être entravée par la grande masse de matière argileuse en suspension dans la mer. Ils sont comme la préface du régime éminemment calcaire qui doit s'établir d'une façon définitive dès la base de l'assise à *M. breviporus*.

APPENDICE. **Marne à *T. gracilis* de Chercq, près Tournai.** Dans les environs de Tournay, l'assise à *T. gracilis* repose directement sur les couches à *Act. plenus* remaniées,

réduites à un petit banc de cailloux. Les marnes à *I. labiatus* manquent [1]. L'existence du niveau à *Act. plenus* est très sporadique dans une même carrière, et la marne à *T. gracilis* repose parfois directement sur le *Tourtia*. L'assise débute par une craie marneuse (0^m25) formant un banc très riche en éléments remaniés : petits galets de quartz, fragments anguleux de calcaire carbonifère et fossiles de ce niveau. La marne proprement dite qui surmonte ce banc mesure 3 mètres [2].

Le banc de base est notablement différent de la marne à *T. gracilis* que je viens de décrire. Il est beaucoup plus riche en minéraux clastiques se signalant par un plus grand diamètre. Les minéraux secondaires comprennent la glauconie en grains volumineux et plus nombreux que dans la marne de Bouvines. Le *phosphate de chaux* y est relativement fréquent. Il y forme des grains jaune clair ou brunâtre, anguleux ou arrondis dont la plupart revêtent l'aspect de fragments de tissu osseux. Ces éléments sont volumineux. Les débris organiques se signalent par le grand nombre de prismes d'Inocérames qui forment à eux seuls *plus de la moitié* du dépôt. La distribution des éléments minéraux et organiques porte l'empreinte de l'action mécanique des eaux. Elle est très irrégulière. Certaines plages sont uniquement formées de restes organiques avec quelques minéraux à l'exclusion du ciment argileux. Cette roche est très riche en carbonate de chaux. C'est à proprement parler une craie marneuse.

L'étude d'un échantillon de marne recueilli à 2^m50 au-dessus du banc de base révèle de grandes différences avec ce dernier. Les minéraux détritiques et secondaires sont devenus rares en même temps que leur volume a subi une importante réduction. Les débris organiques et surtout les restes d'Inocérames sont très clairsemés. On est cette fois en présence d'une marne argileuse semblable d'aspect à celle de Bouvines.

Le voisinage très immédiat de la côte se traduit donc pour la base de l'assise par la présence d'une plus grande quantité de carbonate de chaux d'origine organique en même temps que par un plus grand développement des minéraux secondaires. *La grande proximité de la terre ferme n'a d'autre effet que d'accuser le caractère organique du dépôt.*

3° CRAIE A *Micraster breviporus*

A. Craie à cornus (Craie à silex)

Presque tous les horizons que j'ai distingués à la page 215 dans l'assise à *M. breviporus* de Lezennes seront soumis à une étude micrographique détaillée.

Caractères lithologiques. Craie blanc grisâtre, très finement grenue, à cassure rugueuse

---

1. Selon M. Munier-Chalmas le Turonien de Tournay serait complet. Je considère comme *remaniées* les rares Ammonites trouvées dans les marnes turoniennes qui ont fait conclure à l'existence de l'assise à *I. labiatus*.

2. L. CAYEUX, Note sur le Crét. de Chercq, près Tournay. *Ann. Soc. G. N.*, vol. 16, p. 143 et suiv. (1889).

et très légèrement piquetée de glauconie. Elle renferme d'énormes silex très nombreux caractérisés par des formes irrégulières, tuberculeuses, désignées par les exploitants tous le nom de *cornus*.

Composition chimique. Résidu insoluble, 4,42 %. Carbonate de chaux, 92,18; % silice soluble dans Hcl, 0,32 %. Savoye y a noté jusqu'à 95 % de carbonate de chaux.

1° **Minéraux**. L'étude des sections minces montre la faible place qu'occupent les minéraux de transport dans la craie à silex; on rencontre tout au plus une dizaine de grains de quartz par préparation.

A. *Minéraux détritiques.* Le *quartz* comprend les variétés suivantes : *a.* grains dépolis à forme générale arrondie, beaucoup plus nombreux que les autres réunis. Diam. moyen, $0^{mm}1$; quelques-uns atteignent $0^{mm}25$ et jusqu'à $0^{mm}7$. *b.* Grains anguleux sans trace d'usure mesurant de $0^{mm}08$ à $0^{mm}2$. *c.* Agrégats formés de petits éléments arrondis. *d.* Cristaux de quartz rongés d'origine exogène. Les autres particules minérales appartiennent aux espèces suivantes :

Zircon. Il se distingue de celui des niveaux inférieurs par une plus grande fréquence, mais surtout par une plus grande variété de formes. Je signalerai en particulier :

Pl. X, fig. 1. Grain ovoïde, forme arrondie probablement originelle. Dim. 0,067-0,04.

Fig. 4. Cristal pourvu d'une volumineuse inclusion noire en forme de croissant. Rentre dans le groupe des formes considérées par M. de Krustschoff comme caractéristiques du gneiss. Dim. 0,053-0,026.

Fig. 5. Cristal incolore très limpide en forme de bâtonnet à terminaisons arrondies. Dim. 0,05-0,01.

Fig. 11. Cristal incolore très limpide formé de *m* (110) *b*1 (112). Inclusions liquides. Forme de granit d'après M. de Krustschoff. Dim. 0,053-0,03.

Fig. 12. Cristal formé de *m* (110) *b*1 (112) présentant une structure zonale très développée. Les zones externes seules indiquent le face p (001). Dim. 0,07-0,05. Les formes zonées trouvées par M. de Krustschoff dans le gneiss granulitique sont du même type.

Fig. 37. Cristal formé de *m* (110) *h*1 (100); pointements usés. Inclusions solides et liquides. Dim. 0,09-0,038.

Grenat. Grenat almandin crevassé et à contours irréguliers; grenat grossulaire en cristaux entiers ou fragmentaires. Diam. maximum, 0,06.

Tourmaline. Cristaux verts, violacés et bruns. La variété verte signalée en première ligne dans les marnes à *T. gracilis* est ici tout à fait accessoire; la tourmaline jaune brunâtre en cristaux courts est très répandue.

Rutile. Cristaux simples ou maclés et fragments. Très rare en cristaux bien conservés; quelques-uns sont d'une fraîcheur remarquable; individus maclés à 114°.

Anatase. Cristaux intacts; tous les individus observés sont très aplatis suivant *p* (001). La forme dominante est réalisée par des cristaux dont les contours sont ornés de saillies rectangulaires; ils rappellent un cristal d'anatase altéré figuré par M. Thürach [1].

Magnétite et *Ilménite.* Quelques octaèdres mal conservés et surtout petits grains irréguliers. Ilménite rare.

Muscovite. Très rare, en lamelles déchiquetées aux extrémités.

Feldspath plagioclase et *Brookite.* Excessivement rares.

B. *Minéraux secondaires. Glauconie.* Elle n'est plus un élément accessoire du résidu. On trouve en moyenne un élément de cette substance pour trois de quartz. Elle est

1. H. THÜRACH. Ueber das Vorkommen mik. Zirkone, etc., *Verh. d. Phys-med zu Würzburg*, vol. 18, pl. 7 (1884).

surtout plus répandue sous forme de pseudomorphoses de spicules d'Eponges. Les grains rongés sont moins fréquents, les sphérules dérivant directement des Foraminifères paraissent plus rares que dans les niveaux inférieurs. On trouve de rares moules de *Textularia*. La glauconie épigénise partiellement quelques prismes d'Inocérames. Dim. moyenne des grains : 1/10 de mm. ; ceux qui atteignent $0^{mm}2$ ne sont pas rares.

Orthose. Le nombre des éléments appartenant à cette espèce a considérablement augmenté. La plupart des cristaux sont très frais avec arêtes tranchantes. Diam. moyen, $0^{mm}05$; je dirai au chapitre XII pour quelles raisons je ne les considère pas comme clastiques. Comme les caractères de ce minéral restent les mêmes dans toute la série crayeuse du Nord, j'en donnerai la description à la fin de ce chapitre.

Phosphate de chaux. Chaque section mince en montre au moins une dizaine d'éléments. Ils sont presque toujours indépendants des coquilles de Rhizopodes. Le phosphate de chaux forme des grains d'un jaune pur ; les uns allongés, anguleux, d'aspect esquilleux ; les autres arrondis et beaucoup plus volumineux que les microorganismes et débris clastiques ambiants. Sa présence est constante à ce niveau.

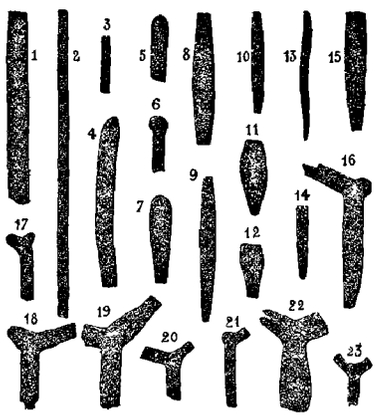


Fig. 7. Spicules de la craie à silex. (Gros. 40 diam.)

2° **Organismes.** Ils constituent à eux seuls une fraction de la roche qui varie de *trois quarts* à *quatre cinquièmes*.

Mollusques et *Brachiopodes*. Ils ont comme représentants des fragments irréguliers de coquilles. Des prismes d'Inocérames, le plus souvent tronçonnés, forment de *un cinquième* à *un sixième* de la craie.

Spongiaires. Malgré la rareté des spicules dans les coupes minces, les Spongiaires se sont beaucoup multipliés pendant le dépôt de la craie à silex. Le résidu insoluble en témoigne d'ailleurs par le très grand nombre d'individus qu'on y rencontre. Un certain nombre sont réunis sur la figure 7.

A. *Spicules monoaxes*. Ils sont de beaucoup les plus nombreux parmi les représentants des Eponges de ce niveau. Ce sont :

a. des bâtonnets de toutes dimensions, cylindriques ou fragmentaires, presque toujours droits, rarement arqués (1-3).
b. des formes droites ou courbes ayant conservé une terminaison arrondie (4 5).
c. des spicules en épingle (6).
d. des bâtonnets de forme conique (7).
e. des spicules en fuseau, très variés de forme (8-15).

On trouve très fréquemment parmi les bâtonnets simples des corps comme celui de la figure 12 qui présentent le grand intérêt de se montrer parfois groupés de façon à

donner des spicules tétraradiés. Cette particularité démontre clairement qu'une partie des spicules monoaxes doivent être rapportés aux *Tetractinellidæ*. Il se peut que parmi les spicules cylindriques tronçonnés, il y ait des rayons dissociés de formes tétraradiées comme celle de la figure 18.

B. *Tetractinellidæ*. Ils comprennent des spicules quadriradiés dont chaque rayon, pris séparément, est soit un fuseau, soit un tronc de cône très long ou fortement évasé, soit un cylindre (16-23).

C. *Lithistidæ*. Les restes de ce groupe sont rarissimes.

D. *Calcispongidæ*. Je rapporte à ce groupe des spicules monoaxes, à 3 ou 4 rayons que l'on observe avec assez de fréquence dans le résidu de lavage de la craie. Ils se signalent par des dimensions beaucoup plus faibles que celles des spicules d'Eponges siliceuses. Les débris de *Calcispongidæ* sont assez nombreux pour être considérés comme caractéristiques du niveau.

Presque tous les restes d'Eponges de la craie à silex sont transformés en glauconie. Tous ceux qui sont figurés sont glauconieux; on en trouve en calcite dans les produits de lavage de la craie.

Echinodermes. Plaques polygonales assez fréquentes dans le résidu.

Foraminifères (45 % environ). Les individus monoloculaires *Fissurina* et *Orbulina* prédominent. Les *Textularia* sont abondantes. Les *Rotalia*, quoique moins fréquentes, comptent un grand nombre de représentants. Les *Globigerina* sont presque absentes.

Chaque préparation fournit un ou deux exemplaires de grand Foraminifère à test arénacé et très épais : j'ai reconnu un *Textularia*. Un grand Rhizopode calcaire de forme lenticulaire est représenté par de rares débris cassés. Beaucoup de coquilles de ce niveau ont un test d'une minceur extrême. C'est une des craies qui montrent les plus grandes variations dans l'épaisseur du test des Foraminifères. La très grande majorité des coquilles pluriloculaires sont incomplètes. Leur état fragmentaire est d'origine mécanique et surtout chimique. Un nombre considérable de formes sont en voie de disparition.

Organismes indéterminés. Les formes indéterminées comme celles de la Pl. IX, fig. 4, sont rares.

3° **Ciment**. Il occupe dans chaque section une surface représentant de un cinquième à un quart de la surface totale. Il est en grande partie formé de *Coccolithes* dont quelques-uns sont de grande taille; on peut y distinguer un grand nombre de types caractérisés par une structure spéciale. Les *Rhabdolithes* sont infiniment moins répandus que les Coccolithes. Le ciment est complété par de la calcite très finement grenue et dont les particules, plus petites que les Coccolithes, sont rhomboédriques ou arrondies. Les produits de lavage montrent de gros rhomboèdres parfaits; on les voit en place dans le ciment en même temps que des *vides* de forme très nette qui marquent la place de cristaux disparus.

Résumé. Les traits dominants de la craie à cornus sont :

a. multiplication des cristaux d'orthose; *b.* grande prédominance des débris organiques; *c.* abondance des restes d'Inocérames; *d.* multiplication des Spongiaires et fréquence des restes de *Calcispongidæ*; *e.* prédominance des Foraminifères monothalames; *f.* destruction très avancée des coquilles de Foraminifères; *g.* abondance des Coccolithes.

B. Deuxième et troisième Tuns

L'analyse microscopique de même que l'étude des échantillons à l'œil nu ne permettent pas de séparer ces niveaux. Les tuns ne peuvent être étudiés qu'en section mince. Ces roches présentent tous les caractères lithologiques de la craie à silex; elles n'en diffèrent que par leur dureté beaucoup plus grande qui les a signalées à l'attention des carriers.

ÉTUDE MICROGRAPHIQUE. 1° **Minéraux**. Le quartz est très rare dans les coupes minces. Le phosphate de chaux s'y rencontre également en très petite quantité. Il est représenté par des grains faiblement jaunâtres agissant sur la lumière polarisée ou par quelques éléments d'un jaune sale et amorphes. Le deuxième tun ou « *Tun blanc* » a été considéré pendant quelques années comme une source possible de phosphate de chaux pour l'agriculture. L'examen microscopique accuse une proportion tellement faible de cette substance que l'exploitation de ce terrain dans les conditions particulièrement onéreuses où l'on devrait la pratiquer dans la région de Lille ne serait rien moins qu'une folie. D'après Savoye, le tun blanc contiendrait 10 °/₀ d'acide phosphorique; son analyse a été faite sur un échantillon recueilli à Lille dans les fortifications (porte de Valenciennes) dans la seule tranchée où l'on ait vu ce niveau affleurer [1]. Comme mes recherches ont porté sur plusieurs spécimens dont la provenance m'est parfaitement connue, je suis porté à croire que l'échantillon analysé par Savoye ne donne pas du tout une idée moyenne de la teneur en phosphate du 2ᵉ tun, et j'incline à penser que son origine était incertaine. D'ailleurs Meugy [2] avait déjà reconnu en 1857 que le tun blanc ne renferme pas d'acide phosphorique [3].

Glauconie. On trouve la glauconie dans les loges de Foraminifères, le plus souvent sous forme de grains irréguliers indépendants des organismes. Le contenu des cellules de Foraminifères est parfois faiblement coloré en vert par cette substance qui ne joue alors qu'un rôle de pigment.

On trouve également en dehors des organismes des taches glauconieuses à bords vagues comme j'en ai signalées dans les roches siliceuses (glauconie pigmentaire).

---

1. SAVOYE. Analyse compar. des calc. du dép. du N. *Mém. Soc. Sc. Lille*, 2ᵉ S., vol. 8, p. 46 (1870).

2. MEUGY. Sur la découverte du phosphate, etc. *Ann. des Mines*, 5ᵉ S., vol. 11, p. 149 (1857).

3. Dans ma note sur le 1ᵉʳ tun en 1889, j'ajoutai à l'indication de Savoye: « des recherches plus récentes montrent que cette teneur n'est qu'un minimum et que le 2ᵉ tun équivaut au premier par sa richesse ». En m'exprimant ainsi, je ne faisais que reproduire une déclaration faite à la Société Géologique du Nord, lors d'une excursion dans les carrières souterraines de Lezennes, au moment où l'on essayait de remettre le phosphate en exploitation. L'erreur n'était sans doute pas involontaire.

La *pyrite* associée à la calcite occupe la place de quelques spicules originellement siliceux.

2° **Organismes.** Si l'on excepte quelques prismes d'Inocérames très incomplets et très clairsemés, on peut dire que les organismes n'ont pour représentants que des vestiges de Spongiaires et de Foraminifères.

Spongiaires. Tous les spicules sont calcifiés ; ils sont simples, fusiformes ou plus rarement cylindriques et presque toujours fragmentaires. Les formes tétraradiées sont des plus rares dans les coupes minces.

Foraminifères (60 °/₀). Les genres monoloculaires l'emportent. Les *Textularia* comptent de nombreuses formes; les *Rotalia* paraissent excessivement rares. Les *Globigerina* sont de grande taille et pourvues d'un test épais; on en compte plusieurs individus dans chaque préparation. On observe comme dans la craie à silex de grandes différences dans l'épaisseur du test des Foraminifères inclus dans un même échantillon. L'état fragmentaire des coquilles est fréquent. La destruction des Foraminifères est d'origine traumatique ou le résultat d'une dissolution sur place. C'est une des craies qui permettent le mieux de suivre toutes les phases de transformation du test des Foraminifères et du limon crayeux qui les enveloppe.

3° **Ciment.** Comme on ne peut isoler mécaniquement les particules constituantes du ciment, il est impossible de l'analyser en détail. Il représente un peu moins de la moitié de la roche. Sa texture est finement cristalline. En l'examinant de près, on reconnaît qu'il n'est pas homogène; par places, les éléments calcaires sont plus grands. Les petites plages plus largement cristallisées correspondent en partie à l'emplacement des Foraminifères dont l'intérieur et la coquille sont transformés en calcite grenue. Le plus grand nombre résultent de la transformation du ciment lui-même qui se résout alors en petits granules de calcite de forme rhomboédrique ou arrondie.

L'exceptionnelle dureté des tuns inférieurs s'explique par une plus grande cristallinité du ciment que dans les craies entre lesquelles ils sont compris.

Il est à remarquer que le 2ᵉ tun a été assimilé au « *Chalk-Rock* » de M. Whitaker par M. Ch. Barrois. Or ce niveau si constant en Angleterre est essentiellement caractérisé par la *structure noduleuse* de la craie qui le forme. Il est probable que la texture cristalline des tuns inférieurs ne se poursuit pas uniformément sur toute l'épaisseur de la craie qui leur correspond, et qu'elle n'en affecte que certaines portions. Autrement dit, ces tuns ne sont probablement pas des *bancs de craie uniformément durcie* mais plutôt des niveaux de craie dure par places, c'est-à-dire de *craie noduleuse.* Ces terrains étant inconnus en affleurement, on s'explique qu'il puisse y avoir indécision à ce sujet.

Conclusions. Les 2ᵉ et 3ᵉ tuns sont des craies du type de la craie à silex, caractérisées par l'abondance des Foraminifères, par la présence de rares débris de Mollusques, de quelques spicules calcifiés et d'un ciment plus cristallin que dans la craie normale.

La craie des tuns inférieurs a toutes ses affinités pour la craie à silex, elle se sépare à beaucoup de points de vue du système de la craie glauconieuse et phosphatée qui la surmonte, et elle est surtout très différente de la craie qui constitue le 1er tun. Pour cette raison, il convient de rattacher à la craie à cornus, les deux tuns inférieurs avec la craie qui les sépare, et de faire commencer la zone de la craie glauconieuse à *M. breviporus* au-dessus du tun blanc.

C. Craie glauconieuse et phosphatée à *Micraster breviporus* (Pl. IX, fig. 7)

Caractères lithologiques. Craie grossière, rugueuse au toucher quand elle est sèche, de couleur gris verdâtre ou jaunâtre et parsemée de nombreux grains de glauconie irrégulièrement distribués.

Composition chimique. Résidu insoluble 5,99 °/₀ ; silice soluble 0,1 °/₀. Un second échantillon dont j'ai fait l'analyse complète m'a donné les résultats suivants :

Résidu insoluble	9,647
Chaux	47,005
Magnésie	0,616
Fer et alumine	3,335
Manganèse	traces
Acide sulfurique	0,41
Acide phosphorique	1,492
Acide carbonique	36,471
Silice soluble	0,145
Total	99,121

On sait que la proportion de résidu insoluble est très variable. La teneur en acide phosphorique est exceptionnellement faible ; il faut la considérer comme un minimum pour ce niveau.

ETUDE MICROGRAPHIQUE. 1° **Minéraux.** *M. détritiques.* Le quartz se trouve à l'état de grains arrondis et dépolis, d'éclats limpides et non roulés, d'agrégats très nombreux de forme générale arrondie et composés de petits grains arrondis. et enfin de cristaux corrodés. Diam. moyen, 0mm12 ; des grains mesurent plus de 0mm3. Les autres minéraux sont par ordre de fréquenee :

Zircon. Représenté par des grains de forme arrondie ou irrégulière et par de nombreux cristaux de forme très variée. Je signalerai en particulier l'individu de la fig. 52 (Pl. X) très riche en inclusions solides.

Tourmaline. Quatre variétés : brune, verte, violacée et noirâtre ; peu de cristaux entiers.

Rutile. Deux variétés. *a.* Jaune clair, en cristaux allongés bien conservés, arêtes vives, pointements quelquefois intacts, macle en genou ; fragments souvent anguleux. Je signalerai en particulier la forme 63 (Pl. X) constituée par deux individus jaune d'or, soudés ; le plus grand mesure 0,046 0,037. *b.* Rutile jaune rougeâtre ou cristaux toujours arrondis courts et gros.

Anatase. Abondante en tables aplaties, carrées ou rectangulaires.

Muscovite. En paillettes à contours arrondis mesurant jusqu'à 0,5.

Magnétite peu abondante en grains irréguliers et en octaèdres.
Feldspath plagioclase très rare.
Grenat. Cristaux presque incolores, complets souvent altérés.
Brookite. Quelques individus jaunes fragmentaires dont l'un a conservé un pointement ; faces *p* (001) g^1 (010) *mm* (110) ($1\bar{1}0$) ; clivages g^1 (010) très nets.
Staurotide fragmentaire, extrêmement rare.
Corindon fragmentaire, et d'une grande rareté.
Il faut ajouter à cette liste plusieurs espèces indéterminées.

Minéraux secondaires. Les espèces minérales les plus intéressantes qui relèvent de ce groupe sont la glauconie, le phosphate de chaux et l'orthose.

A. *Glauconie*. Elle est plus répandue que le quartz. Les particularités qui la distinguent sont les suivantes :

a. Elle forme des grains arrondis, ovoïdes, irréguliers, plus volumineux que les Foraminifères et les minéraux clastiques qui les accompagnent. Parmi ces éléments, il en est quelques-uns qui présentent une particularité des plus curieuse que j'ai déjà signalée dans la glauconie des gaizes de La Reupette, etc. Autour d'éléments volumineux arrondis (Pl. IX, fig. 7, n° 6), on voit une zone de faible épaisseur, d'un vert jaunâtre plus clair que celui de la masse principale du grain. Cette couronne est traversée par de très nombreux clivages inégalement espacés et radiés qui s'arrêtent dès qu'ils atteignent la partie plus colorée du grain. La zone en question est d'inégale épaisseur pour un même élément. Elle est très nettement *polychroïque*. Entre les nicols croisés, elle se pare de couleurs beaucoup plus vives que le grain lui-même et montre d'une façon très apparente les extrémités d'une croix noire, dont les branches s'effacent dans l'intérieur du grain.

b. Glauconie en relation avec les Foraminifères.

c. Glauconie enveloppant les grains de quartz et de feldspath.

d. Quand les grains sont rapprochés au point de se toucher, ils se moulent les uns sur les autres.

e. La glauconie moule également les éléments de phosphate de chaux et les sphérules de pyrite ; elle s'applique parfois sur les loges de Foraminifères sans y pénétrer.

f. Le résidu insoluble renferme des corps noueux, branchus, pourvus d'expansions irrégulières, comme on en observe en grand nombre dans le produit de la dissolution des calcaires à Bryozoaires de Touraine. La présence de débris de ces organismes à ce niveau étant constante, il est probable que cette manière d'être très particulière de la glauconie doit être considérée comme le résultat d'un commencement d'épigénie du squelette des Bryozoaires. Leur présence dans le résidu lui donne une physionomie très caractéristique.

g. Elle est quelquefois disposée en veinules dans les concrétions microscopiques de phosphate de chaux.

Les conclusions à tirer de ces différentes manières d'être se dégageront beaucoup

mieux lorsque j'aurai fait connaître les nombreuses particularités que présente le phosphate de chaux.

B. *Phosphate de chaux.* Il existe sous trois formes :

a. Phosphate de chaux en enduit sur les grains de quartz. Comme la glauconie, le phosphate de chaux s'est parfois déposé autour de grains de quartz, qu'il encroûte plus ou moins complètement (Pl. IX, fig. 7, nos 1 et 2). Il leur forme une couronne transparente jaune clair, se rattachant le plus souvent à un grain de phosphate, dont elle n'est alors qu'une dépendance et une extension.

b. Phosphate en grains. C'est à cette catégorie qu'il convient de rapporter le plus grand nombre des éléments phosphatés de ce niveau. On peut distinguer quatre sortes de grains.

α. Un certain nombre sont arrondis ou anguleux et d'aspect fragmentaire. Le phosphate qui les constitue est limpide, transparent, jaune, pâle, quelquefois légèrement piqué de noir. Ils présentent des phénomènes de polarisation chromatique. La ressemblance de plusieurs de ces éléments avec ceux que MM. Renard, J. Cornet [1] et Strahan [2] ont considérés comme des fragments de tissu osseux de Poissons et de Reptiles est très frappante.

β. Une deuxième catégorie comprend des grains qui se distinguent des premiers en ce qu'ils sont moins homogènes. Cette différence tient, soit à une plus grande abondance de pigment noir, soit à une apparence concrétionnée. Le phosphate est encore transparent et jaune pâle ; il réagit faiblement sur la lumière polarisée. Il y a parenté étroite entre ce groupe d'éléments phosphatés et le précédent. Tel grain se décompose en deux parties dont l'une est parfaitement homogène et l'autre pourvue d'inclusions noires ou douée d'une structure concrétionnée.

γ. Les éléments qui prennent place dans cette subdivision sont encore jaunâtres, mais le phosphate est moins pur et opaque. Ils sont souvent de grande taille. Un ou plusieurs Foraminifères (*Globigerina* et *Textularia*) y sont inclus et parfaitement reconnaissables. Ce groupe ne comprend qu'un très petit nombre d'individus.

δ. Cette dernière catégorie est représentée par un grand nombre de grains de forme irrégulière, essentiellement formés de phosphate très impur de couleur gris brunâtre et sale, dépourvus de toute action sur la lumière polarisée et généralement limités au pourtour par une zone de phosphate jaune clair.

c. Phosphate en concrétions microscopiques. Beaucoup des grains des groupes γ et δ pourraient être considérés comme des rudiments de nodules. Je réserve plus spécialement ce nom aux éléments qui occupent une grande partie des préparations. Ils sont constitués par du phosphate d'un brun sale très opaque, avec ou sans bordure de

1. A. F. RENARD et J. CORNET. Recherches microg., etc. *Bull. Ac. roy. de Belgique,* 3e S., vol. 31, pp. 126-161 (1891).

2. A. STRAHAN. On a phosphatic Chalk, etc. *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol. 47, p. 360 (1891).

phosphate pur et jaunâtre. Leurs contours sont irréguliers et fortement découpés avec lobes arrondis. Les minéraux et organismes qui y sont inclus sont identiques à ceux de la craie ambiante. Ils démontrent que *ces nodules sont des portions de craie phosphatisées sur place.*

Rapports de la glauconie et du phosphate de chaux. J'ai déjà dit que la glauconie est susceptible de s'appliquer sur les éléments phosphatés de façon à en épouser une partie des contours et qu'elle forme des sortes de veinules dans les petits nodules. Les relations que ces deux éléments secondaires ont entre eux sont beaucoup plus complexes. De même que la glauconie se moule sur les grains de phosphate, de même certains de ces derniers jouissent de la propriété de mouler les grains de glauconie (fig. 7, n° 4). Dans le premier cas, le phosphate de chaux est antérieur à la glauconie, et dans le second il lui est postérieur. D'où deux périodes de genèse de phosphate de chaux, et la possibilité de concevoir un seul temps de formation de la glauconie. Un raisonnement analogue conduit à une autre conclusion, c'est que la production des grains de phosphate a été *précédée* et *suivie* par celle de la glauconie : d'où l'on peut également distinguer deux temps dans la genèse de la glauconie.

Pour mieux interpréter ces différents faits, il y a lieu de faire entrer en ligne de compte d'autres rapports qui existent entre les deux minéraux. Nombre de grains de phosphate de chaux présentent des inclusions de glauconie (fig. 7, n° 5), non sous forme d'éléments volumineux comme ceux dont il a été parlé plus haut, mais à l'état d'une fine poussière glauconieuse ou encore de taches ou de pigment placés au sein même des grains. Sous cette forme la glauconie est *contemporaine* du phosphate.

Conclusions. Il résulte de ces données que la genèse de la glauconie et du phosphate de chaux a dû être *simultanée.* En supposant qu'elle ait embrassé une période de temps assez considérable, on conçoit aisément que les grains des deux substances aient pu se former alternativement et se mouler réciproquement.

Genèse de grains de phosphate après la sédimentation. Avant d'aborder cette question, je crois utile de rappeler sommairement comment MM. Renard et J. Cornet conçoivent l'origine des gisements de phosphate qu'ils ont étudiés. Aux périodes de formation de ces dépôts, il se précipitait une vase crayeuse au voisinage de la côte; dans les coquilles s'infiltraient, comme on le voit pour les vases à Globigérines actuelles, les matières phosphatées produites par l'accumulation des résidus de la faune qui vivait sur les rivages; le moulage des grains s'est ainsi fait près des côtes, et plus tard les courants, les marées et les vagues les ont entraînés vers la haute mer [1].

La formation de la plupart des grains de phosphate de la craie à *M. breviporus* ne saurait être expliquée par ce processus. Beaucoup de ces éléments ont pris naissance *sur place* comme les concrétions microscopiques, et comme ces dernières ils ont commencé à se

1. RENARD et J CORNET. Op. cit., p. 157. (1891).

former pendant ou après la sédimentation, lorsque tous les éléments de la craie étaient en place.

Les arguments qui servent à appuyer cette affirmation sont les suivants :

a. On reconnaît dans plusieurs de ces grains de petits îlots crayeux ne différant en rien de la craie voisine ; certains de ces îlots sont restés en communication avec elle ;

b. Ces grains ont une origine nettement postérieure à beaucoup d'éléments organiques et minéraux. Ils s'appliquent sur les loges de Foraminifères et les contournent sans y pénétrer (fig. 7, n° 3) ; le quartz et la glauconie sont moulés par le phosphate en grains.

c. La forme de beaucoup de grains de phosphate est très irrégulière, découpée comme celles des concrétions microscopiques.

Les éléments phosphatés que MM. Renard et J. Cornet considèrent comme transportés de leur point d'origine montrent une indépendance absolue de la craie qui les cimente et des minéraux et organismes qui gisent avec eux dans cette craie. Ce sont comme des corps étrangers noyés dans la boue crayeuse. Tel n'est pas le cas pour les grains dont je m'occupe ici ; et c'est en cela qu'il y a une différence fondamentale entre les uns et les autres. Le phosphate de chaux de beaucoup de grains de Lezennes a pris la place qu'il occupe en se *substituant* à la craie. Il est postérieur au dépôt de cette craie.

Cette conclusion s'applique sans aucun doute à un grand nombre de grains de phosphate. Les grains arrondis ou d'apparence fragmentaire dont j'ai fait le groupe α (p. 232) ont-ils pris naissance *in situ* ou font-ils partie des minéraux de transport ? Je n'ai pu recueillir le moindre indice qui me permette de faire choix de l'une ou l'autre hypothèse.

De l'intervention des Rhizopodes dans la genèse des éléments phosphatés de la craie glauconieuse. MM. Renard et J. Cornet ont fait jouer un rôle capital aux Foraminifères dans la production des grains de phosphate. Ils ont formulé cette conclusion que c'est à l'intérieur des coquilles de Foraminifères que se fait de préférence le dépôt de la matière phosphatée (Cela ne paraît pas faire de doute pour les phosphates qui ont fait l'objet de leur intéressant travail). La substance organique qui s'y trouve enfermée « doit exercer sur le phosphate une action attractive qu'on peut considérer comme un écho affaibli de celle qu'exerce sur ce corps la matière vivante ». Dans le cas considéré ici, il faut remarquer que le phosphate a parfois respecté les coquilles de Rhizopodes qu'il englobe ; non-seulement le test reste calcaire, mais le phosphate ne l'a pas franchi (fig. 7, nos 2 et 3 ; ce dernier entoure complètement un grain de quartz et s'applique sur une loge de Foraminifère). Peut-être la fine boue crayeuse avait-elle déjà pénétré dans l'organisme et la matière animale en avait-elle disparu lorsque ce phosphate s'est précipité. Cette explication serait tout en faveur de l'arrivée parfois tardive de cette substance.

Genèse de glauconie après la sédimentation. Le fait que les concrétions microscopiques

et bon nombre de grains de phosphate, résultant de la phosphatisation sur place d'une portion de la craie, sont postérieurs au phénomène de la sédimentation, entraîne inévitablement cette conséquence qu'il existe de la glauconie de formation postérieure au dépôt de la craie à *M. breviporus*. Cela est vrai pour la glauconie en inclusion dans le phosphate et pour les grains qui moulent les éléments phosphatés. Celle qui forme des veinules dans les concrétions en place rentre dans ce groupe. Je rappellerai que je suis arrivé à la notion de genèse de la glauconie dans les sédiments *après* leur accumulation, en étudiant la glauconie des roches siliceuses (Voir chapitre IV). C'est un cas particulier de la formation de ce minéral et non la manière d'être générale.

C. *Orthose*. Ce minéral a presque complètement disparu du résidu insoluble. Il y a de de ce chef une différence radicale entre la craie à silex et la craie glauconieuse. Les éléments qu'on doit lui rapporter sont de deux sortes : les uns sont assez volumineux, en voie d'altération et parfois même très décomposés ; les autres, très limpides, ont conservé le tranchant de leurs arêtes ; leurs dimensions sont celles que j'ai indiquées pour l'orthose de la craie à silex, c'est-à-dire environ $0^{mm}05$. Le petit nombre d'éléments sur lesquels l'observation peut porter rend très délicat le choix d'une conclusion. Je suis tenté de croire qu'il y a coexistence à ce niveau d'orthose clastique et d'orthose secondaire.

2° **Organismes**. Ils forment une proportion de la roche toujours très variable, mais constamment supérieure à la *moitié*.

Mollusques et *Brachiopodes*. Les débris de Mollusques et surtout les prismes d'Inocérames sont toujours des éléments de première importance (Pl. IX, fig. 7, n° 7). Dans certaines de mes préparations, *les prismes d'Inocérames forment les neuf dixièmes de la craie.*

Bryozoaires. La présence de grands débris de Bryozoaires est constante. On en trouve cinq ou six par section mince. Ce sont des fragments anguleux de colonies de grande taille. Les *Cyclostomata* sont les plus fréquents.

Echinodermes. Ils comportent de petites plaques polygonales peu répandues et des morceaux de test d'Oursin. Leurs débris ne paraissent pas fréquents.

Spongiaires. Les restes de ce groupe sont moins répandus et de plus grande taille que dans la craie à silex. Ils ont les affinités les plus étroites avec les spicules de ce dernier niveau. Je me dispenserai pour cette raison d'en parler en détail. Les spicules monoaxes ont toujours le dessus sur les formes multiradiées ; les fragments cylindriques et fusiformes composent la plus grande partie de la faune. La figure 8 représente quelques-uns des individus qu'on rencontre le plus fréquemment. Elle ne montre que des spicules monoaxes (1-6) et tétraradiés (7-12). Les bâtonnets fusiformes (5) et cylindriques (6) sont les plus répandus.

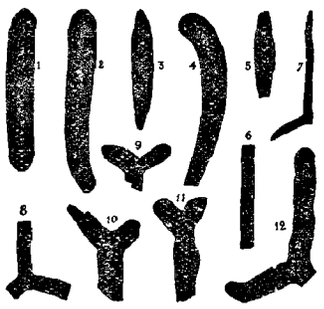


Fig. 8. Spicules de la craie glauconieuse à *M. breviporus*.
(Gross. 40 diam.).

Ces spicules sont glauconieux ; il est infiniment probable qu'ils ne reproduisent la forme siliceuse dont ils dérivent que d'une façon imparfaite. J'ai reconnu des débris de *Calcispongidæ* nettement caractérisés ; ils sont moins fréquents que dans la craie à silex,

Radiolaires. Je n'ai reconnu qu'un *Stichocyrtida.*

Foraminifères (5-10 °/₀). Bien que la place réservée à ces organismes soit très faible, ils présentent entre eux de grandes différences suivant les échantillons considérés. Ainsi certaines préparations sont très riches en grands *Textularidæ* à test arénacé ; d'autres en sont dépourvues. Parmi les formes de dimensions ordinaires, les *Textularia* l'emportent, puis viennent les Foraminifères monoloculaires (*Fissurina* et *Orbulina*) qui sont encore relativement abondants. Les *Rotalia* paraissent très rares. Les *Globigerina* comprennent quelques individus de grande taille dans chaque préparation, ce qui correspond pour ces Rhizopodes à une fréquence notable.

Tous les Foraminifères de cet horizon sont de forme robuste. A ce point de vue, il y a une grande différence entre la craie à silex et la craie glauconieuse. Avec les formes complètes on trouve des cellules dissociées et surtout des fragments de test de toutes dimensions et d'épaisseur très différente (Pl. IX, fig. 7). La fragmentation du test des Rhizopodes est le plus souvent d'origine mécanique. On trouve des traces très nettes de dissolution des coquilles sur place. Les individus emprisonnés dans les plages phosphatées sont les mieux conservés.

Organismes indéterminés. Les corpuscules d'affinités incertaines comme ceux de la fig. 4 (Pl. IX) sont très rares.

3° **Ciment.** Il est toujours très peu développé. Les *Coccolithes* prédominent de beaucoup ; un certain nombre sont de taille telle qu'ils peuvent être reconnus aux plus faibles grossissements. Les *Rhabdolithes* sont rares. Le reste du ciment est formé de carbonate de chaux finement grenu dans lequel on peut reconnaître de nombreux rhomboèdres.

Résumé. La composition de la craie glauconieuse se signale surtout par les particularités suivantes : *a.* Résidu minéral très important ; *b.* Présence du phosphate de chaux en quantité appréciable ; *c.* Genèse simultanée d'éléments phosphatés et de glauconie après le dépôt de la craie ; *d.* Présence très caractéristique dans le résidu d'éléments glauconieux de forme noueuse et branchue ; *e.* Très grande rareté de l'orthose ; *f.* Teneur parfois très élevée en prismes d'Inocérames ; *g.* Existence constante de plusieurs débris de colonies de Bryozoaires dans toutes les préparations ; c'est le niveau du Nord où ils sont le plus répandus ; *h.* Rareté des Foraminifères et fréquence relative des *Textularidæ* à test arénacé ; *i.* Rôle très secondaire du ciment en grande partie formé de *Coccolithes.*

D. Premier Tun

Caractères lithologiques. Ce niveau est essentiellement formé par des nodules de phosphate cimentés par une craie glauconieuse, le tout formant un banc unique doué d'une grande cohérence mesurant $0^{m}50$ d'épaisseur. Les nodules adhèrent fortement à la craie qui les agglutine ; débarrassés de leur gangue, ils sont colorés en jaune chamois clair et souillés par places de taches de rouille. La surface est luisante et cireuse. A l'intérieur, les nodules sont gris jaunâtre et de couleur généralement un peu plus foncée sur les bords ; ils sont très durs et doués d'une grande compacité ; la cassure est le plus souvent unie.

Un petit nombre de ces corps sont homogènes. On reconnaît à l'intérieur des noyaux de craie glauconieuse beaucoup plus claire, complètement emprisonnés dans les nodules ou groupés à leur pourtour et conservant une communication avec l'extérieur. Certains de ces noyaux sont formés d'une craie blanche peu glauconieuse.

La glauconie se signale par sa répartition inégale. Quelques nodules présentent le caractère très curieux d'être pourvus d'une zone externe de largeur variable où ce minéral s'est accumulé en très grande quantité. Il est souvent impossible d'y discerner la forme des grains. A l'œil nu, la glauconie semble plutôt former un pigment que des éléments parfaitement individualisés et séparables de la substance même du tun. La glauconie se retrouve parfois avec cet aspect, soulignant la limite des inclusions crayeuses de la bordure des nodules.

Les concrétions phosphatées du premier tun sont souvent couvertes d'Huîtres, de Plicatules, de Serpules, etc. On trouve avec elles toute une série de fossiles dont la plupart montrent un degré d'usure telle, que la conclusion qu'ils ont été remaniés paraît de rigueur. Savoye [1] considérait ces nodules comme des « galets » formés aux dépens du « tun blanc » ou d'une couche semblable disparue d'aujourd'hui.

ETUDE MICROGRAPHIQUE. La grande dureté des nodules qui constituent le premier tun ne permet pas d'en isoler les différents éléments minéraux et organiques. Leur étude ne peut se faire que par les sections minces.

1° **Minéraux**. *M. détritiques.* Le quartz est répandu d'une façon très inégale ; dans certaines préparations, c'est un élément très rare ; dans d'autres, il est représenté par d'assez nombreuses particules, accumulées par places, de façon qu'une dizaine de grains sont pressés les uns contre les autres. En somme le quartz n'est ni plus ni moins abondant que dans les craies entre lesquelles le tun est intercalé.

Minéraux secondaires. Le phosphate de chaux et la glauconie sont les plus intéressants à considérer.

A. *Phosphate de chaux* (0,443-18 % de PhO^{5}, d'après Savoye). Il est très inégalement

1. SAVOYE. Analyse comparative des calcaires, etc. *Mém. Soc. Sc. de Lille*, 2e S., vol. 8, p. 46 (1870).

répandu dans les sections minces ; il en est qui en sont complètement dépourvus. Ses principales manières d'être sont les suivantes :

a. Il remplit exceptionnellement les loges de Foraminifères à l'état de phosphate jaune clair.

b. Il pseudomorphose quelques prismes isolés dérivant de la destruction des coquilles de Mollusques.

c. Il remplit quelquefois le canal élargi des spicules d'Eponges à la façon de la glauconie.

d. Il constitue de rares grains arrondis, concrétionnés avec zones très apparentes, réagissant sur la lumière polarisée comme l'apatite et montrant le phénomène très net de la croix noire.

e. Il forme un très grand nombre d'éléments se comportant en tous points comme ceux que j'ai décrits pour la craie glauconieuse (catégorie *b*., p. 232). Ces grains enveloppent parfois du quartz et sont fréquemment pigmentés par la glauconie ; en d'autres cas, ils sont encroûtés de la même substance.

f. Le phosphate de chaux sert de ciment à des plages de dimensions variables ; il prend la place de la matière fondamentale de ces plages en se substituant au carbonate de chaux ; il se développe à l'intérieur des Foraminifères. On reconnaît le phosphate à sa couleur jaune brunâtre. Il donne une opacité bien caractéristique aux plages qu'il envahit. Cette manière d'être du phosphate trouve son expression la plus nette au pourtour des nodules. La phosphatisation de la craie y est un phénomène général.

g. Une dernière façon d'être de cette substance est réalisée par un commencement d'épigénie du ciment qui s'effectue également dans tous les points de la préparation.

La distribution des éléments des catégories *d*, *e* et *f* est sujette à de très grandes irrégularités.

B. *Glauconie*. Sa présence dans les loges de Foraminifères est plutôt une exception. Règle générale, lorsque le phosphate abonde en grains, la glauconie existe indépendamment des coquilles de Rhizopodes. Sa répartition est très inégale ; dans la plupart des cas, c'est un élément de première importance. Le volume de ses grains dépasse celui des éléments de quartz. La description que j'ai donnée de la glauconie du niveau précédent s'applique intégralement à celle du 1er tun.

En notant l'aspect macroscopique des concrétions de phosphate, j'ai appelé l'attention sur le fait qu'on trouve parfois la glauconie condensée sur le bord des nodules, et dans de telles conditions qu'il est impossible de la résoudre en grains. En section mince, ce minéral réalise le type le plus parfait que j'aie rencontré de *glauconie pigmentaire*. La couronne verte comprend des grains verts très nombreux. Le ciment est verdâtre ; il est formé d'un mélange intime de calcaire et de particules de glauconie d'une extrême ténuité. Entre les nicols croisés, cet ensemble donne les réactions de la calcite et de

la glauconie. Cette couronne verte se comporte à tous points de vue comme les plages qui sont au début de leur phosphatisation, sauf que la glauconie remplace le phosphate.

2° **Organismes.** *Mollusques* et *Brachiopodes*. Ces organismes sont représentés par un assez grand nombre de débris de test. Les prismes d'Inocérames sont volumineux; ils sont ici des éléments accessoires.

Bryozoaires. Il est nécessaire d'examiner plusieurs coupes minces pour en reconnaître un seul fragment. On ne trouve que de petites portions de calcaires comportant quelques cellules. Ils n'ont pas vécu en place.

Spongiaires. Les débris de ces organismes forment dans certaines préparations presque le cinquième de la roche. Les spicules sont tous de grande taille. Les principales formes sont :

a. Aiguilles fusiformes avec extrémités plus ou moins effilées représentant plus des 4/5 de la totalité des spicules; *b*. Bâtonnets cylindriques incomplets; *c*. Spicules de *Tetractinellidæ* se rapportant à plusieurs genres; *d*. Quelques rares débris de *Lithistidæ; f*. Quelques spicules incomplets d'*Hexactinellidæ*.

Les formes monoaxes et 4-radiées constituent le fond de la faune. Tous ces spicules, ainsi que leur forme en témoigne, appartenaient à des Eponges siliceuses. Il n'en est pas un seul qui ait conservé sa composition originelle. Beaucoup ont été dissous et leur place se trouve marquée par des *vides*; les autres, beaucoup plus nombreux, ont été calcifiés; le calcaire qui s'est substitué à la silice a cristallisé largement. Le canal a presque toujours disparu. Il n'y a d'exception que pour quelques formes à canal très élargi, oblitéré soit par du carbonate de chaux en fines particules, soit par de la glauconie, soit enfin par du phosphate de chaux.

Si l'on tient compte du grand nombre et du volume des spicules, on est conduit à admettre que les débris de Spongiaires de ce niveau ont été une source de silice des plus importantes.

Echinodermes. On trouve des débris de test d'Oursin dans chaque coupe mince.

Radiolaires. J'ai reconnu plusieurs formes très bien conservées se rapportant à ce groupe. Je citerai notamment des représentants des familles *Liosphærida* et *Lithocampida* et du genre *Cyrtocalpis*. Les coquilles de Radiolaires se rencontrent exclusivement dans les plages phosphatées.

Foraminifères. La place importante occupée par les autres débris organiques et les minéraux restreint beaucoup celle qui est réservée aux Foraminifères. Ils n'en constituent pas moins l'élément fondamental du niveau. La faune des Rhizopodes calcaires du 1er tun est très variée au point de vue de la forme, de la taille et de l'épaisseur des coquilles. Parmi les genres les plus répandus, je citerai *Textularia*, *Globigerina*, *Rotalia*. Les Globigérines sont relativement nombreuses; c'est à ce niveau qu'elles atteignent leur maximum de fréquence. Il est à remarquer *qu'il coïncide avec la profondeur minima de*

la mer crétacée dans le Nord. Les Foraminifères monothalames (*Fissurina* et *Orbulina*) viennent après les formes précédentes. Ils sont nombreux.

Il y a entre tous les Rhizopodes de très notables différences de volume et d'épaisseur de test suivant les échantillons considérés et suivant les plages d'une même section. *Les variétés de tun à spicules volumineux sont celles qui ont les Foraminifères pourvus du test le plus épais.*

A côté de ces Foraminifères, je dois en mentionner deux autres catégories ; ils ont pour caractère commun d'être de très grande taille. Ce sont ou des *Textularidæ* à coquille arénacée ou des genres très rares, comme ceux qui sont figurés sur la planche IX, fig. 2 (nos 3 et 4). Il y a toujours association dans le même échantillon de coquilles à test mince et à test très épais.

Comme dans la craie grise sous-jacente, les Foraminifères incomplets sont les plus répandus, on trouve soit des loges dissociées, soit de menus débris de coquilles. Il n'est pas rare de remarquer des alignements de ces fragments, preuve que la fragmentation n'est pas postérieure au dépôt. Un grand nombre de coquilles sont en voie de dissolution sur place. Le phénomène se traduit tantôt par des solutions de continuité dans le test, tantôt par l'existence sur l'emplacement de l'organisme de calcite grenue qui envahit le ciment ambiant. Je le décrirai en détail en étudiant le banc des roux. C'est dans les plages phosphatées que l'état de conservation des Rhizopodes calcaires est le plus satisfaisant.

Ce qui frappe surtout dans la distribution des Foraminifères du 1er tun, ce sont les changements qu'on observe parfois d'un point à un autre d'une seule coupe mince. La figure 2 de la planche IX destinée à montrer l'association de Foraminifères de taille très différente sur une surface de très faible étendue est la reproduction très fidèle d'une plage dans laquelle les Foraminifères monoloculaires sont nombreux ; les débris de test y sont rares et les Globigérines y font défaut. Elle ne traduit pas du tout la physionomie moyenne de la roche. La fig. 7 (Pl. IX) tirée de la craie glauconieuse donne une idée très exacte des nodules très riches en grains de phosphate avec ciment calcaire non imprégné de phosphate.

La figure 2 (Pl. IX) montre que le remplissage des loges de Foraminifères est très variable sur une même plage : tantôt le carbonate de chaux des chambres ne diffère en rien de celui du ciment et les contours seuls de la coquille sont très apparents ; tantôt la calcite largement cristallisée envahit l'intérieur de ces organismes et l'ensemble de la coquille et de son contenu apparaît comme une tache très claire dans le ciment.

3° **Ciment**. Son rôle est généralement très subordonné à celui des minéraux et des organismes réunis. Il cesse de l'être par places, et se développe brusquement pour ainsi dire. La majeure partie des coupes minces pratiquées dans différents échantillons de tun, tirés de plusieurs localités (Lille, Lezennes, Bouvines), montrent cette roche

composée comme je l'ai dit plus haut, passant sans transition à une craie presque uniquement formée de ciment d'une extrême finesse et formant des îlots circonscrits par de la craie imprégnée de phosphate.

Étude des îlots de craie enveloppés de ciment phosphaté. Rôle conservateur du phosphate en faveur des Rhizopodes; destruction *in situ* des Foraminifères de la craie. L'étude des portions de craie respectées par la phosphatisation et circonscrites par des plages phosphatées est du plus haut intérêt pour l'histoire de la craie. Certains de ces îlots sont tellement distincts à première vue de la craie ambiante, que pendant longtemps je les ai considérés comme des parties d'une craie différente et plus ancienne, remaniées et incorporées à la craie des nodules. Un rapide examen peut en effet les assimiler à des *enclaves*; mais l'observation de certaines particularités m'a obligé à renoncer à cette interprétation qui ne laissait d'ailleurs pas de soulever de grandes difficultés.

Les îlots qui sont doués de la physionomie la plus différente de la craie voisine présentent les caractères suivants :

A. Leur forme est très irrégulière, très découpée. La matière phosphatée pénètre dans toutes les dépressions de leur surface. Ils apparaissent comme des corps soumis à une action corrosive intense et dont la dissolution s'est faite d'une façon très inégale. Ce ne sont évidemment que des restes de l'ancienne craie, partout ailleurs épigénisée par le phosphate.

B. La craie qui les constitue se signale par une grande finesse et surtout par l'absence presque complète de restes de Foraminifères. De-ci, de-là, on voit quelques débris de coquilles en voie de disparition par dissolution sur place. Jamais on n'en observe d'intactes.

Le caractère dominant et fondamental de ces plages, c'est d'être incomparablement plus pauvres en débris de Foraminifères que la craie phosphatée ambiante et de ne renfermer que des coquilles en cours de dissolution. La craie phosphatée qui leur est contiguë se comporte bien différemment. Elle contient beaucoup de Foraminifères dont la forme est intacte. Elle renferme des *Radiolaires* alors que la craie des îlots en est dépourvue. D'où peut venir cette double différence ?

Le fait que la craie imprégnée de phosphate et celle qu'elle englobe procèdent d'un seul et même dépôt, et que les différences actuelles sont *secondaires* et non primordiales, oblige à admettre que si la craie des îlots est extrêmement pauvre en débris de Foraminifères, d'ailleurs mal conservés, et complètement dépourvue de Radiolaires, c'est que ces derniers organismes ont été complètement détruits et que la plupart des Foraminifères ont disparu sans laisser de traces. Autrement dit, *la matière phosphatée a protégé les organismes partout où elle s'est infiltrée; dans les points où elle manque, la craie a été profondément modifiée dans sa composition organique première.*

Que la destruction de ces organismes soit postérieure à la craie, cela va sans dire ; on ne peut songer à faire intervenir ici les phénomènes chimiques qui font disparaître actuel-

lement les coquilles de Rhizopodes calcaires, des Algues pélagiques, etc., au cours de leur chute au fond des océans. J'aurai l'occasion de revenir plus loin sur cette question et de l'étudier en détail. Le phénomène sur lequel je viens d'appeler l'attention n'est pas isolé dans la craie. Je montrerai bientôt comment s'opère la destruction des Foraminifères, et je suivrai *pas à pas* la série des transformations qu'affectent les coquilles *en place*, et les font disparaître sans qu'il reste le moindre témoin de leur existence.

Genèse des concrétions phosphatées du 1er Tun. Les nodules du 1er tun ont leur phosphate de chaux à deux états : 1° en grains; 2° sous forme de craie imprégnée de cette substance. Ils correspondent à de volumineuses masses de craie glauconieuse dans laquelle le phosphate a pris une grande extension sous forme d'épigénie du ciment. Un raisonnement identique à celui que j'ai tenu pour les concrétions microscopiques de la craie grise m'amènerait à conclure que ces nodules ont pris naissance après la sédimentation. Comme ceux que MM. Renard et J. Cornet ont étudiés, ils ont été engendrés lorsque le limon crayeux était encore doué d'une certaine plasticité. Leur développement a pu se poursuivre longtemps après le dépôt de la craie dans laquelle ils sont inclus. Dans le cas particulier des nodules de Lezennes, il convient pourtant de ne pas perdre de vue le fait qu'ils ont été remaniés dans l'assise même où ils ont pris naissance, et que par conséquent leur genèse a dû suivre d'assez près le dépôt des masses sédimentaires qui les renferment.

Résumé. La craie qui forme les nodules du 1er tun a pour caractères essentiels :

a. Grande fréquence du phosphate de chaux en grains et sous forme d'épigénie partielle de la craie; *b*. abondance exceptionnelle de débris de Spongiaires calcifiés ; *c*. présence de Radiolaires dans les plages phosphatées; *d*. grand nombre de Foraminifères à test arénacé ; *e*. maximum de fréquence des Globigérines pour le Nord ; *f*. conservation des Foraminifères dans les plages phosphatées et destruction de ces organismes dans les îlots crayeux.

APPENDICE. **Craie phosphatée du Cambrésis.** La craie qui a été exploitée dans le Cambrésis comme source de phosphate présente tous les caractères physiques de la craie grise. Elle correspond rigoureusement au même niveau, mais son dépôt n'a pas été troublé par le phénomène de remaniement local qui a donné naissance au 1er tun. Elle passe insensiblement à la craie à *M. c. testudinarium* [1]. La partie tout à fait supérieure où est cantonné ce dernier fossile correspond au banc du tun de Lezennes.

L'étude micrographique que j'en ai faite ne révèle que des analogies avec la craie glauconieuse et le banc du tun de Lezennes. Le phosphate de chaux n'y est guère plus répandu.

1. L. CAYEUX. Mémoire sur la craie grise, etc. *Ann. Soc. G. N.*, vol. 17, pp. 342-381 (1890).

4. CRAIE A *Micraster cor testudinarium*

A. « Banc du Tun »

Les ouvriers carriers ont donné le nom de « Banc du Tun » à la partie de la craie à *M. c. testudinarium* qui se trouve directement en contact avec le tun supérieur.

Caractères lithologiques. A sa base, il ne diffère en rien de la craie glauconieuse inférieure au premier tun. Au fur et à mesure qu'on se rapproche du banc des roux, qui le surmonte, la craie s'appauvrit en glauconie et devient plus fine et moins rugueuse au toucher. La glauconie est exclue sur des espaces de toutes formes et de toutes dimensions qui dessinent des taches blanches très apparentes. Ce niveau a longtemps été exploité comme pierre de taille.

Composition chimique. Résidu insoluble, 3,45 °/₀ ; carbonate de chaux, 92,25 °/₀ ; silice soluble 0,28 °/₀. L'échantillon analysé a été prélevé au milieu du banc ; l'insoluble est plus abondant à la base de l'horizon ; il diminue progressivement de bas en haut.

ETUDE MICROGRAPHIQUE. 1° **Minéraux.** *M. détritiques.* Le *quartz* présente les mêmes variétés que dans la craie grise : grains arrondis, éclats de quartz, agrégats et cristaux. Diam. moyen, $0^{mm}12$. Les agrégats ont ici un intérêt particulier : les uns sont formés d'une infinité de petits grains de dimensions à peine appréciables et les autres d'éléments aussi volumineux que les grains arrondis isolés. Un agrégat de cette dernière catégorie mesure $0^{mm}28$ et l'un des cinq éléments qui le composent, $0^{mm}18$. Les particules de ces agrégats sont tout aussi dépolies et rongées que les grains de quartz arrondis. Les autres espèces minérales clastiques sont :

Zircon. La très grande majorité des zircons du banc du tun sont des grains irrégulièrement arrondis et dépourvus de toutes traces de faces. On peut dire que les cristaux sont exceptionnels. Ces derniers appartiennent à plusieurs types distincts :

a. Cristaux allongés à pointements très nets et ne comportant que deux faces *m* (110) b^1 (112). Ce sont les plus abondants. Chez quelques individus, il y a indication de zones parallèles aux faces cristallines et parfois de nombreuses inclusions. *b.* Des cristaux de même forme ont des arêtes émoussées. Ex. : Pl. X, fig. 9 et 22. Le dernier est pourvu d'inclusions vitreuses et liquides et de microlithes. Dim. 0,1-0,037. C'est une forme du granit d'après M. de Krustschoff. *c.* Cristaux plus rares et plus complexes et de conservation parfaite. Ex. : Pl. X, fig. 45. Cristal très limpide formé de *m* (110), h^1 (100) et d'un pointement indéterminé. Dim. 0,046-0,014. Je signale comme exceptionnel le grain figuré au n° 51 de la planche X. Il renferme des inclusions solides et liquides. L'une des premières fait hernie à la surface de l'élément et renferme elle-même un pore liquide.

Feldspath triclinique. Rare et très altéré.

Rutile. Variétés jaune d'or et brunâtre avec prédominance de la dernière. Le rutile jaune d'or réalise plus fréquemment une forme cristalline très nette à l'état de bâtonnets allongés et étroits montrant l'association des faces *mm* (110) ($1\bar{1}0$) et de h^1 (100) (voir Pl. X, fig. 53; dim. 0,08-0,02). Un individu brunâtre montre une macle polysynthétique ; un autre a son clivage a^1 (101) très apparent.

Tourmaline. a. Variété brune très prédominante à l'état de grains irréguliers et exceptionnellement de cristaux complets. *b.* Variété verte en beaux cristaux.

Magnétite. Octaèdres rares ; les grains dépourvus de forme cristalline sont prédominants.

Anatase affectant toujours une forme tabulaire avec *p* (001) très prédominant ; toujours incolore et limpide.

Muscovite. Lamelles atteignant au plus 0,2.

Grenat. Rares cristaux en voie d'altération.

Brookite. Excessivement rare et fragmentaire.

Minéraux secondaires. Glauconie. On ne pourrait citer de meilleur exemple que la glauconie du banc du tun pour prouver que ce minéral est susceptible de prendre naissance dans les coquilles de Foraminifères. Elle se montre dans le résidu sous forme de sphérules de dimensions inégales, isolées ou réunies par de fins trabécules au nombre de deux, trois et plus. Les moules complets de Foraminifères sont assez abondants ; ils représentent les genres *Textularia*, *Rotalina*, *Globigerina*, etc. Ce minéral est également répandu sous la forme de spicules qu'il pseudomorphose. Beaucoup de prismes d'Inocérames présentent un commencement d'épigénie par la glauconie.

Les éléments dépourvus de relations apparentes avec les restes organiques sont de beaucoup les plus nombreux; ils sont sphériques, ovoïdes ou mamelonnés. Quelques-uns montrent à leur pourtour une couronne claire, très polychroïque et clivée. Ces grains atteignent ici le plus fort diamètre moyen observé pour la glauconie du Turonien et du Sénonien du Nord ; il est d'environ $0^{mm}18$; un certain nombre dépassent 1/2 millimètre.

La glauconie est en rapports très fréquents avec le phosphate de chaux comme dans la craie glauconieuse à *M. breviporus*. Cette substance occupe dans les sections minces une surface plus grande que tous les autres minéraux réunis.

Phosphate de chaux. Il est presque aussi abondant que dans la craie glauconieuse. Ses caractères sont exactement ceux qu'ils présentent à ce niveau. Les nodules microscopiques sont absents. On voit plus nettement le phosphate se mouler sur plusieurs grains de glauconie et même les envelopper complètement. La variété jaune clair en grains anguleux est abondante. Un petit nombre polarisent. Il paraît incontestable que le phosphate de ce niveau a deux origines ; il est tantôt de transport et tantôt formé *in situ*.

Orthose. Elle s'est beaucoup multipliée et sa fréquence relative est un peu supérieure à celle que j'ai signalée dans la craie à silex. Ses caractères de limpidité et de forme n'ont pas varié.

2° **Organismes.** Ils constituent près des trois quarts de la roche.

Mollusques et *Brachiopodes*. Le premier groupe est très abondamment représenté par des prismes d'Inocérames qui forment de *un quart* à la *moitié* de beaucoup d'échantillons; ils sont volumineux et presque toujours cassés.

Echinodermes. Les sections minces montrent quelques grands débris de plaques d'Oursins. Le résidu de lavage est d'une richesse exceptionnelle en plaques polygonales, perforées ou non.

Spongiaires. La craie du banc du tun est celle dont le résidu insoluble renferme le

plus de spicules ; la fréquence des restes de Spongiaires n'est pourtant que relative, car chaque coupe mince n'en montre que deux ou trois débris. Les spicules de ce niveau, dont plusieurs sont représentés sur la figure 9, se répartissent entre les groupes suivants :

A. *Spicules monoaxes* :

a. cylindriques, droits ou arqués (1-4).
b. fusiformes, droits ou courbes (5 6).
c. spicules dont une extrémité est arrondie ou dilatée en ampoule (7-9).

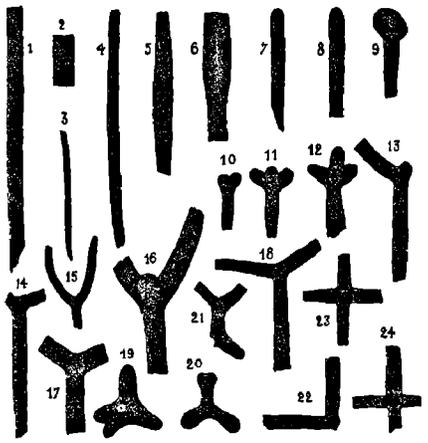


Fig. 9. Spicules de Spongiaires de la craie du « Banc du Tun ».
(Gross. 45 diam.).

Il n'y a qu'un très petit nombre de ces bâtonnets qui soient complets ; presque tous sont tronçonnés, de sorte que l'on rencontre très fréquemment des spicules coniques ou en tronc de cône. On trouve des spicules des toutes tailles, représentant une forme donnée.

B. *Tetractinellidæ*. Le nombre de types spécifiques se rapportant à cet ordre est beaucoup plus grand que ne l'indique la figure ci-contre. Les principales formes sont :

a. spicules comprenant un axe principal cylindrique ou conique terminé par trois mamelons (10-12).
b. — à rayons coniques (14 et 18).
c. — à rayons cylindriques, droits ou arqués. Ces formes sont en général très grêles et très élégantes (13, 15, 16).
d. — à rayons cylindriques (17).
e. — à rayons courts à terminaisons arrondies ou renflées (19 et 20).

La forme 21, d'affinités incertaines, se rapporte peut-être aux *Tetractinellidæ*.

C. *Hexactinellidæ*. Elles n'ont pour représentants que des spicules toujours isolés, exceptionnellement complets et composés de rayons tantôt cylindriques (22 et 24), tantôt coniques (23) ; ils sont le plus souvent de forme assez massive et peu nombreux.

Les débris de Spongiaires de ce niveau sont tous glauconieux ; ils se signalent à l'attention par le grand nombre et la variété de leurs formes. Les quelques individus figurés ne donnent qu'une idée très incomplète de la richesse et surtout de la variété de ceux qui sont réunis à ce niveau. Plusieurs planches seraient indispensables pour les représenter tous. On peut dire que la craie du banc du tun est essentiellement caractérisée par les *Tetractinellidæ*. Non-seulement les spicules à quatre rayons sont abondants, mais il est hors de doute qu'un grand nombre de bâtonnets uniaxes dépendent de ce groupe. Quelle place doit-on réserver aux *Monactinellidæ* ? L'état de fossilisation des spicules ne permet pas de faire le départ des spicules qui relèvent de cet ordre.

Les *Hexactinellidæ* ne tiennent qu'un rôle très accessoire dans l'ensemble des débris

d'Eponges de cet horizon, mais leur présence n'en est pas moins intéressante. *L'apparition de spicules hexaradiés dans le résidu des craies du Nord coïncide avec le début de la période sénonienne.* J'ai noté la présence de quelques formes de ce groupe au niveau du premier tun, mais comme ce dépôt est placé à la séparation du Turonien et du Sénonien et qu'il renferme déjà des fossiles manifestement sénoniens, la conclusion précédente reste exacte. Il importe de remarquer que c'est justement dans le résidu de l'une des craies renfermant les éléments détritiques les plus volumineux et les plus nombreux que les vestiges d'*Hexactinellidæ* font leur apparition.

Cette faune de Spongiaires et celle de la craie glauconieuse à *M. breviporus* présentent des différences manifestes ; en ne visant que leurs traits d'ensemble, on peut dire que *la faune du banc du tun est celle de la craie glauconieuse avec des Tetractinellidæ plus abondantes et enrichie de représentants d'Hexactinellidæ.* Beaucoup de spicules monoaxes et un certain nombre de formes quadriradiées sont identiques de part et d'autre.

Foraminifères. Ils sont peu répandus dans les coupes minces où la place qui leur est réservée est d'ailleurs très restreinte. Les *Textularia* dominent. Puis viennent *Rotalia*, *Cristellaria*, *Globigerina*, cette dernière forme est très rare. Tous ont un test épais. On trouve dans chaque préparation un ou deux représentants de *Textularidæ* à test arénacé. La destruction des coquilles de Foraminifères s'est encore opérée sur une grande échelle ; elle est surtout d'origine mécanique.

Organismes indéterminés. Les corpuscules d'affinités incertaines comme ceux de la fig. 4 (Pl. IX) sont très rares.

3° **Ciment.** De même que dans la craie glauconieuse à *M. breviporus,* le ciment vient au second rang après les organismes et les minéraux qui sont tellement nombreux qu'ils sont souvent pressés les uns contre les autres. Par places, il n'équivaut certainement pas au dixième de la roche ; ailleurs, il en représente deux, trois et tout au plus quatre dixièmes. Cette dernière proportion, tout à fait exceptionnelle, est celle qui s'observe dans de grandes plages d'où les minéraux secondaires et les prismes d'Inocérames sont plus ou moins complètement exclus. Ces parties, pauvres en glauconie et en débris de Mollusques, dessinent des sortes de taches plus claires qui peuvent atteindre de grandes dimensions ; elles sont très apparentes sur les blocs de craie auxquelles elles donnent une physionomie très caractéristique. Elles résultent d'une sorte de départ qui s'est fait entre plusieurs éléments de la craie. C'est, je crois, l'œuvre des courants. Les Foraminifères se tiennent de préférence dans ces espaces clairs ; ils y sont très brisés. On peut remarquer que leurs fragments, qui sont d'origine mécanique, sont alignés presque tous dans le même sens.

Le ciment est presque exclusivement formé de *Coccolithes* dont beaucoup ont une grande taille. Les *Rhabdolithes* sont toujours rares. Quant à la calcite grenue, elle est ici fort peu abondante.

Considérée au double point de vue pétrographique et microscopique, la craie du banc du tun présente de grandes analogies avec la craie glauconieuse inférieure au 1er tun. Un échantillon prélevé à la base du banc ne peut se distinguer de cette craie. Les préparations des deux roches ne montrent guère de différence fondamentale. Il est impossible de les séparer tant elles se ressemblent. L'analyse microscopique ne fournit de moyen de les reconnaître que par la considération des résidus insolubles et des boues de lavage. Le diagnostic différentiel devient alors très rapide et sûr.

Résumé. La craie du banc du tun présente les principaux caractères suivants :

a. Abondance des minéraux clastiques et secondaires et particulièrement du phosphate de chaux ; *b.* multiplication de l'orthose qui était très rare dans la craie glauconieuse à *Micraster breviporus ; c.* très grande fréquence des restes d'Inocérames ; *d.* absence de débris de Bryozoaires dans les coupes minces ; *e.* abondance caractéristique des plaquettes polygonales d'Echinodermes ; *f.* grande fréquence des spicules glauconieux et apparition des spicules d'*Hexactinellidæ* dans le résidu insoluble ; *g.* réduction du nombre des Foraminifères arénacés ; *h.* rôle très accessoire du ciment presque uniquement composé de Coccolithes.

B. « Banc des Roux »
(Pl. IX, fig. 8).

Craie gris blanchâtre, grenue, rugueuse au toucher, parsemée de taches de rouille de toutes dimensions. C'est à la présence de la limonite que cette craie doit son nom de « Banc des Roux ». Ce niveau a longtemps été exploité comme pierre de taille.

Résidu insoluble, 1,39 % ; carbonate de chaux, 93,6 % ; silice soluble, 0,15 %.

ETUDE MICROGRAPHIQUE. 1° **Minéraux.** *M. détritiques.* Le *quartz* présente les différentes catégories de grains signalées aux autres niveaux. Diam. moyen, $0^{mm}07$-8 ; les plus volumineux ont $0^{mm}2$. Les agrégats sont très nombreux et composés tantôt d'une infinité de petites particules, tantôt de grains de dimensions égales à celles des grains libres. Certains cristaux sont d'une fraîcheur telle qu'il est impossible qu'ils aient subi les mêmes actions mécaniques que les autres éléments. Les autres minéraux clastiques sont par ordre de fréquence :

Magnétite. Très abondante en octaèdres très frais et surtout en fragments.

Zircon. Outre les grains très nombreux, il existe beaucoup de cristaux d'excellente conservation ; plusieurs sont formés de faces *m* (110) h^1 (100) et de pointements divers. Les cristaux de zircon sont plus rares que dans le banc du tun où ils étaient déjà moins fréquents que dans la craie glauconieuse à *M. breviporus*.

Muscovite. Fréquente en grandes lamelles à bords arrondis. Diam. 0,2.

Tourmaline. Brune et verte ; c'est en fragments de cristaux et en grains arrondis qu'elle se présente avec le plus de fréquence.

Rutile. Outre les grains qui prédominent, on retrouve les deux catégories de cristaux signalées à chaque niveau. *a.* Rutile brun foncé, faiblement rougeâtre, ne se rencontrant jamais à l'état de cristaux bien conservés ; *b.* Rutile jaune d'or sous forme de fragments de longs prismes, quelquefois maclés suivant $b\frac{1}{3}$ (332) ou b_1 (112).

Feldspath plagioclase. Grains altérés, moins abondants que dans le niveau inférieur.

Anatase. Le type tabulaire est unique et plus rare que dans le banc du tun.
Grenat et *Staurotide*. Il est nécessaire de dissoudre un gros volume de craie pour en trouver des représentants.

Minéraux secondaires. Orthose. Les cristaux viennent en première ligne parmi les minéraux secondaires. Ils laissent peu à désirer comme limpidité et comme perfection des contours. Les formes sont restées les mêmes que dans les craies déjà étudiées ; les dimensions se tiennent autour de $0^{mm}05$.

Glauconie. Elle se trouve à l'état de moulages de Foraminifères ; elle forme des sphérules isolées ou réunies par deux, par trois, et très souvent des moulages complets. Elle pseudomorphose des spicules d'Éponges. Enfin ce minéral donne naissance à des grains arrondis ou irréguliers ayant jusqu'à $0^{mm}3$ de diamètre. Ces derniers sont beaucoup plus volumineux que les sphérules résultant du remplissage des loges de Foraminifères.

Phosphate de chaux. On l'observe notamment dans quelques chambres de Foraminifères.

Pyrite. Elle est parfois abondante et toujours enfermée dans les coquilles de Rhizopodes calcaires qu'elle remplit incomplètement.

2° **Organismes.** *Mollusques.* Les prismes d'Inocérames sont passés au rang d'éléments très accessoires. Ils sont parfois entièrement exclus des préparations.

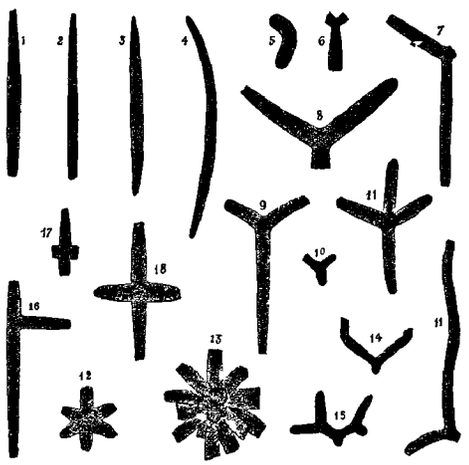


Fig. 10. Spicules de la craie du « Banc des Roux ». (Gross. 40 diam.).

Bryozoaires. Ils n'ont pour représentants que de très rares débris de grandes colonies.

Crustacés. Quelques valves d'Ostracodes.

Echinodermes. Le banc des roux est de beaucoup le plus riche en plaquettes polygonales perforées ou non. Elles constituent l'élément caractéristique et fondamental du résidu de lavage. Le nombre des plaques perforées est considérable.

Spongiaires. Les spicules et rayons susceptibles d'être rapportés à leurs ordres respectifs sont beaucoup moins abondants que dans le banc du tun. Les coupes mêmes n'en montrent qu'un nombre très restreint, souvent même réduit à un ou deux par préparation. Les spicules de ce niveau dont un petit nombre sont représentés sur la figure 10 se répartissent entre les groupes suivants :

A. *Spicules monoaxes.* Ils présentent les manières d'être suivantes :

a. spicules cylindriques.
b. — spicules fusiformes, droits (1-3) ou arqués (4). Il en est qui sont identiques à des formes de la craie à *M. breviporus* et du banc du tun.
c. — arqués, très courts, à terminaisons arrondies (5).

Les formes du groupe *a* et *b* sont seules abondantes. Le nombre d'individus complets est proportionnellement beaucoup moins faible que dans le banc du tun. Ici encore, il est de toute impossibilité de faire le départ des spicules qui dérivent des *Monactinellidæ* et de ceux qui se réfèrent aux *Tetractinellidæ*.

B. *Tetractinellidæ*. Les représentants de ces groupes sont de cinq sortes :

a. spicule comportant un rayon principal montrant à une extrémité des amorces d'autres rayons (6).
b. — de grande taille ayant 2, 3 ou 4 rayons coniques, groupés sous des angles variables. Ce sont les seules formes fréquentes parmi les débris de Tetractinellidæ (7-9). Les spicules de cette catégorie sont remarquables par leur gracilité.
c. — à 4 rayons cylindriques très courts ou très longs (10-11).
d. — flexueux, incomplets (11 au bas et à droite de la figure). Cette espèce existe déjà dans la craie glauconieuse.
e. — en étoiles plus ou moins complexes (12 et 13).
Les formes 14 et 15 sont peut-être à rapporter aux Tetractinellidæ.

C. *Hexactinellidæ*. Les spicules de cet ordre sont exceptionnellement pourvus de 6 rayons. Ils sont tous conformés sur le même type avec rayons coniques (16-18). Leur fréquence comparée à celle des spicules tétraradiés est beaucoup plus grande que dans la craie du banc du tun.

La faune de spicules de Spongiaires de ce niveau présente les caractères suivants : Elle est beaucoup plus pauvre en individus que celle du banc du tun. La réduction s'est faite sur les formes monoaxes et tétraradiées ; les débris d'*Hexactinellidæ* ont sensiblement conservé le même nombre de représentants ; ce fait se traduit par une proportion relativement plus élevée de spicules hexaradiés. En réalité les *Hexactinellidæ* ne paraissent pas avoir progressé beaucoup.

A quelque groupe qu'ils appartiennent, les spicules sont de forme plus grêle, plus élancée qu'à tous les niveaux précédemment étudiés. Le résidu insoluble ne contient que des spicules glauconieux.

C'est surtout parmi les individus monoaxes qu'on trouve le plus de ressemblance avec les spicules du banc du tun ; beaucoup s'observent déjà dans le Turonien. Il y a introduction de formes nouvelles de spicules simples et de *Tetractinellidæ*. Les *Hexactinellidæ* paraissent les mêmes dans leurs grands traits.

Les dessins de spicules de chaque craie sont insuffisants pour donner une idée juste des analogies des faunes de deux craies consécutives. Ils accusent trop les différences en ce sens que les formes qui comptent un grand nombre de représentants et celles qui n'en ont que très peu, voire même un seul, tiennent la même place sur les figures.

Foraminifères. Le nombre en est excessivement variable ; *ils peuvent manquer complètement dans certaines sections minces*. Le plus souvent ils forment une fraction de la craie oscillant entre *un quart* et la *moitié*, et pouvant même atteindre les *deux tiers*.

Les formes monoloculaires sont très accessoires, mais elles comptent encore un très

grand nombre d'individus. Parmi les coquilles à plusieurs loges, les *Textularia* viennent au premier rang, les *Rotalia* sont assez fréquentes et les *Globigerina* continuent à être très rares. Les Foraminifères à test arénacé ont disparu.

Les Rhizopodes calcaires du banc des roux méritent de retenir l'attention pour deux raisons :

A. La plupart des individus ont un test d'une extraordinaire finesse. Je n'ai rencontré en aucune région et à aucun niveau des Foraminifères pourvus d'une coquille plus délicate. B. L'état fragmentaire d'origine chimique du test de ces organismes trouve ici son expression la plus complète.

Fragmentation des coquilles de Foraminifères par voie chimique et postérieurement à la sédimentation. Conséquences. Les coquilles en voie de destruction *in situ* se présentent avec les manières d'être suivantes :

A. Une forme originellement complète se montre de conservation parfaite en certains points. Ailleurs elle est corrodée et amincie. L'attaque peut être poussée assez loin pour que la section soit interrompue par places (Pl. IX, fig. 8, n° 1). *Le carbonate de chaux qui occupe maintenant les points où le test a été détruit ne diffère en rien du ciment ambiant.*

B. Les solutions de continuité se multiplient ; les fragments intacts ou partiellement corrodés se raccordent parfaitement (n° 2). Très fréquemment une coquille entière n'est plus représentée que par deux ou trois débris de test qui se trouvent sur une même circonférence de section de la coquille en voie de disparition. Le carbonate de chaux qui occupe l'emplacement de la forme détruite est identique d'aspect à celui du ciment.

C. Contrairement à ce qui se passe dans les cas précédents, la coquille qui disparaît ou dont il ne reste plus aucun vestige a sa place marquée par de la calcite plus claire, formée d'éléments de plus grande taille que le ciment (n° 3). Il existe une *infinité* de termes intermédiaires entre la coquille intacte et celle dont le test a disparu pour ne laisser qu'une couronne de calcite incolore. La cristallisation des particules de calcite est confuse. L'ensemble ne donne plus la croix noire que montrent toutes les sections de Foraminifères non altérées.

D. Un terme de complication plus avancée est réalisé par l'empreinte de l'organisme qui est occupée par de la calcite grenue et notablement élargie. Autrement dit, la transformation en calcite, d'abord limitée à la coquille elle-même, envahit une portion de la poudre crayeuse emprisonnée dans les loges. Cette métamorphose est déjà amorcée chez le numéro 3 ; elle est beaucoup plus apparente pour le numéro 4.

E. Dans tous les cas précédents le produit de remplissage des loges, intact ou amoindri par le développement de la couronne de calcite, conserve l'aspect et la structure du ciment dans lequel les coquilles sont plongées. A un stade plus avancé, il

s'éclaircit ; des éléments de calcite incolore y font leur apparition : tel est le cas de l'individu n° 5 et d'une loge de la coquille n° 6. Pour cette dernière, le test qui enveloppe la plus grande loge est resté intact sur tout son pourtour, sauf sur la partie inférieure de la figure, où il commence à s'altérer et à s'élargir.

F. Le terme ultime de cette série est une tache blanche circulaire, tout entière formée de calcite et qui résulte de la cristallisation de la coquille et de son contenu (fig. 8, n° 7).

Les exemples de chacun de ces stades de transformation du test des Foraminifères fourmillent dans toutes les préparations du banc des roux. On passe des uns aux autres par plusieurs états intermédiaires. Les conclusions que l'on peut tirer de cet ensemble de faits sont les suivantes :

A. *Des Foraminifères peuvent disparaître sans laisser aucune trace de leur existence. Le carbonate de chaux qui en occupe la place est identique d'aspect à celui du ciment.*

B. *Les Foraminifères peuvent provoquer la transformation partielle en calcite d'une craie normale et concourir par leur présence à une consolidation plus rapide du sédiment.*

C. *La destruction du test, sans trace de son existence* (Pl. IX, fig. 8, nos 1 2), *est très tardive* dans ce cas particulier, puisque les menus débris n'ont pas changé de place et se raccordent parfaitement. La consolidation de la craie était déjà très avancée.

D'où vient que la destruction des Foraminifères soit le point de départ de transformations aussi différentes ? La raison m'en échappe.

J'ai examiné beaucoup de préparations tirées d'un unique et volumineux échantillon. Elles présentent entre elles les plus grandes différences. Il en est qui sont *complètement* dépourvues de toute trace de Foraminifères entiers ou fragmentaires. D'autres sont composées de deux parties passant l'une à l'autre, la première sans Foraminifères et la seconde avec coquilles en voie de destruction. Quelques autres, homogènes, montrent des Foraminifères dans toute leur étendue, mais très peu sont intacts ; toutes les manières d'être décrites plus haut se retrouvent, non-seulement dans une seule de ces préparations, mais encore sur une aire de faible étendue, et l'on peut voir au voisinage de coquilles absolument intactes des formes dont la destruction est très avancée ou même achevée. L'étude des roches sédimentaires fournit maints exemples de phénomènes d'élection de cette nature sans que la cause en soit entrevue : C'est ainsi que l'on voit côte à côte, dans une roche à Spongiaires, des spicules en opale, des formes plus ou moins glauconieuses et des spicules calcifiés. Un même élément peut être le théâtre de métamorphoses très différentes. Je rappellerai ici qu'un bâtonnet de la gaize de Bouchavesnes (= tuffeau) (p. 130) se décompose en trois tronçons bien distincts : le médian revêt l'aspect des spicules presque intacts avec un canal pour ainsi dire réduit à un trait ; une extrémité est entièrement calcédonieuse et toute trace du canal a disparu ; l'autre bout est

également calcédonieux, mais on y reconnaît encore quelque vestige de canal. La cause de transformations aussi différentes aux divers points d'un même spicule est tout aussi énigmatique que la raison des métamorphoses variées qui affectent des coquilles de Foraminifères d'une même plage.

Quelques fragments de Foraminifères se présentent dans des conditions telles qu'ils sont certainement d'origine mécanique.

3° **Ciment.** Dans le cas de la destruction complète des Foraminifères, il semble que la craie ne comprenne que la matière même du ciment. Là, où les Rhizopodes n'ont perdu qu'une partie de leur intégrité, il est possible de mieux en fixer l'importance. Sa proportion est alors d'environ 2/3. Il est en grande partie formé de *Coccolithes*; les *Rhabdolithes* sont rares. Le reste du ciment est de la calcite grenue ou rhomboédrique.

Résumé. Les principales caractéristiques de la craie du banc des roux sont :

a. Existence d'orthose secondaire presque aussi répandue que le quartz ; *b.* richesse exceptionnelle en plaques microscopiques d'Echinodermes ; *c.* réduction du nombre de débris de Spongiaires à l'exception des spicules d'*Hexactinellidæ* ; *d.* très grande variabilité du nombre de Foraminifères et destruction partielle ou complète de ces organismes sur place.

C. « Banc des Soies »

(Pl. IX, fig. 3)

Craie un peu plus fine et un peu plus blanche que celle du banc des roux, renfermant un grand nombre de fragments de test d'Inocérames que les carriers des environs de Lille désignent sous le nom de « *Soies* ».

Résidu insoluble, 2 °/₀ ; carbonate de chaux, 95,5 °/₀.

1° **Minéraux.** La pyrite et le phosphate de chaux sont seuls visibles dans les sections minces.

Minéraux détritiques. Quartz. On retrouve à ce niveau les différentes catégories d'éléments de quartz reconnues dans les autres craies. Les plus répandus ont un diamètre de $0^{mm}06$. L'existence de gros grains arrondis, mesurant plusieurs dixièmes de millimètre de diamètre, est à signaler tout spécialement, de même que le très grand nombre d'agrégats dérivant de quartzites.

Magnétite. Très répandue dans le résidu en fragments anguleux. Quelques octaèdres.

Zircon. Extrêmement rare en cristaux ; je ne puis mentionner comme forme bien conservée qu'un élément composé de *m* (110) h^1 (100) et d'un pointement indéterminé (Pl. X, fig. 49). Dim. 0,07-0,046.

Les grains arrondis prédominent.

Tourmaline. Variétés verte et brune.

Rutile. Peu abondant ; grains et quelques cristaux jaune clair ou brun.

Muscovite. Rares lamelles ayant un diamètre inférieur à 0,2.

Anatase. Très rares cristaux tabulaires jaune d'or en voie d'altération (Pl. X, n° 71). Dim. 0,03-0,02.

Brookite Ne peut être reconnue que dans le résidu de l'attaque d'un gros volume de craie.

Minéraux secondaires. Pyrite parfois très répandue, sous forme de menus éléments indépendants des organismes et uniformément distribués dans la craie.

Phosphate de chaux. On en trouve dans chaque préparation plusieurs grains volumineux, le plus souvent d'aspect fragmentaire et anguleux.

Orthose. Ce minéral est presque aussi répandu que le quartz; ses caractères sont ceux de l'orthose des autres niveaux; diam. $0^{mm}04$-5.

Glauconie. Elle n'est visible que dans le résidu insoluble; elle revêt toutes les formes que j'ai indiquées dans le banc des roux : moulages de Foraminifères, pseudomorphoses de spicules et grains irréguliers mesurant jusqu'à $0^{mm}15$.

2° **Organismes.** Leurs débris réunis forment environ le quart de la craie.

Mollusques. L'abondance de volumineux fragments d'Inocérames a fait appeler « Banc des Soies » le sommet de la craie à *M. cor testudinarium.* L'examen de la craie en échantillon ne donne qu'une faible idée de la quantité de débris de Mollusques qui prennent part à la formation de la roche. Le rôle des prismes d'Inocérames est cependant très secondaire à ce niveau, et, si on le compare à celui que j'ai noté pour la craie glauconieuse et le banc du tun, on peut le considérer comme presque négligeable; ils ne correspondent même pas au vingtième de la craie. La plupart des prismes sont tronçonnés ; un certain nombre ont une surface profondément corrodée.

Ostracodes. Quelques valves dans le résidu de lavage.

Echinodermes. Les plaques perforées ou non dont j'avais signalé la grande fréquence à la base de l'assise (bancs du tun et des roux) sont en régression.

Spongiaires. Les débris de ce groupe rencontrés dans le résidu insoluble se font très rares à ce niveau. Tous sont glauconieux. Les coupes minces n'en montrent aucun vestige. Les formes reconnues sont des spicules monoaxes, cylindriques ou fusiformes, des spicules tétraradiés à rayons très allongés et coniques et des spicules hexaradiés de grande taille. La diminution des restes de Spongiaires, déjà nettement marquée dans le banc du tun, s'accuse beaucoup dans le banc des soies, où leur rôle est presque nul.

Foraminifères. Ils se signalent par l'état extraordinairement fragmentaire de leurs coquilles. Le nombre des formes complètes est très réduit ; le résidu de lavage en montre d'intactes.

Les coquilles complètes appartiennent aux genres *Textularia, Rotalia, Cristellaria* et *Globigerina.* Seuls, les deux premiers sont abondants. Les Globigérines sont très rares. Le test de ces différents Foraminifères est généralement très mince. Les formes à test arénacé font défaut.

Fragmentation des coquilles de Foraminifères par voie dynamique. Cette craie est assurément l'exemple le plus probant que l'on puisse invoquer pour démontrer que des coquilles de Rhizopodes ont été parfois brisées et comme réduites en miettes au cours de la sédimentation. On trouve dans une plage très limitée des débris placés de telle manière

qu'on ne peut les prolonger sans qu'ils se coupent. Il est impossible d'admettre que ces fragments représentent des coquilles partiellement détruites *in situ* ; les morceaux de test sont souvent placés côte à côte, et, qu'ils se coupent ou qu'ils soient parallèles, la place manque pour les coquilles entières, dont ils dérivent. La figure 3 de la planche IX est tirée du banc des soies, de Lezennes. C'est la copie absolument fidèle d'une petite plage. Dans la même craie, il y a maints exemples d'un état de division poussé beaucoup plus loin.

Une caractéristique de l'état fragmentaire d'origine chimique, c'est de montrer des morceaux de test dans n'importe quelle position. Or, si l'on examine aux faibles grossissements une préparation de la craie du banc des soies, on est frappé de la tendance que montrent la grande majorité des fragments à se disposer parallèlement à la stratification. Les prismes d'Inocérames participent souvent à cet alignement. Cette manière d'être est inexplicable si l'on n'admet pas que *les débris de Mollusques et de Rhizopodes sont tombés sur le fond de la mer, fragmentés comme ils le sont aujourd'hui.*

Les formes complètes dont j'ai signalé plus haut la présence sont aussi intactes que possible. Elles montrent une surface dépolie. C'est invariablement l'aspect de tous les Foraminifères de la craie, à quelque niveau qu'ils appartiennent. Il y a donc coexistence dans le même échantillon de Foraminifères qui ont conservé l'intégrité de leurs formes et d'autres qui ont été réduits en menus débris. Cette première donnée me paraît incompatible avec l'idée d'une division par voie chimique au cours de la chute des coquilles au fond de la mer, comme c'est le cas pour beaucoup de Rhizopodes calcaires des mers actuelles. D'autres faits plaident contre une explication chimique de ce phénomène. Les fragments appartiennent à des individus de toutes tailles : les uns sont très épais, les autres très grêles. L'état de conservation des coquilles n'est donc pas fonction de l'épaisseur du test. Il devrait en être autrement si la fragmentation avait un phénomène de corrosion comme point de départ. Une dernière raison qui me paraît d'importance, c'est que les fragments eux-mêmes ne sont pas réduits à l'état de squelettes, d'épaisseur variable, suivant les points. Ils ne rappellent en rien les vestiges de coquilles tombant pour ainsi dire en miettes sous l'influence d'un phénomène de dissolution très avancée. Ils sont d'épaisseur uniforme, et les extrémités qui marquent les points où la rupture s'est faite sont nettement tronquées.

Bref, l'analyse minutieuse des Foraminifères et de leurs débris conduit à faire appel aux agents dynamiques et à rejeter toute intervention *chimique* pour expliquer leur état fragmentaire.

Des coquilles ont été dissoutes comme dans le banc des roux. Leur place est indiquée par des taches claires formées de calcite.

3° **Ciment.** Il forme environ les 3/4 de la craie. Il est, en majeure partie, composé de *Coccolithes;* les *Rhabdolithes* sont très rares. On y reconnaît également de la calcite

grenue ou rhomboédrique assez fréquente. Elle dérive, soit de la destruction sur place de quelques Foraminifères, soit d'un commencement de métamorphose du ciment. Quelques gros rhomboèdres sont visibles dans le ciment.

Résumé. La craie du banc des soies est caractérisée par la grande fréquence relative de l'orthose et par l'état de division très avancée de ses Foraminifères. C'est *une craie à Foraminifères brisés.*

5° Craie d'Ennequin

La partie supérieure de la craie exploitée à Ennequin est placée à la limite des assises à *Micraster cor testudinarium* et à *M. c. anguinum*.

Craie très blanche, très fine, à cassure unie ou très finement grenue, quelquefois ridée.

La teneur en carbonate de chaux d'un échantillon analysé par M. Vaillant est de 89,7 %. Elle est généralement plus élevée. Résidu minéral presque nul. Des craies de Guesnain et Seclin, considérées comme relevant de l'assise à *M. c. anguinum* par Savoye, lui ont fourni, l'une 96,562, l'autre 97,44 % de carbonate de chaux.

1° **Minéraux.** *M. détritiques.* Bien que le résidu minéral soit très négligeable, on y retrouve toutes les catégories de grains de *quartz* des autres niveaux : éclats sans trace d'usure, mesurant jusqu'à $0^{mm}35$; cristaux roulés ou non; grains arrondis très dépolis, mesurant plusieurs dixièmes de millimètre de diamètre; agrégats. Les plus nombreux sont des éléments de forme générale arrondie et relativement peu dépolis. Diam. moyen, $0^{mm}05$.

Mica blanc. Lamelles à contours irréguliers mesurant au plus 0,1.
Feldspath plagioclase. Rare et altéré.
Magnétite. Fragmentaire et roulée. Cristaux octaédriques rarissimes.
Tourmaline. Variété verte unique en cristaux complets et surtout fragmentaires.
Zircon et *Rutile*. En grains irréguliers.

Minéraux secondaires. Phosphate de chaux. Il comporte dans toutes les préparations un ou deux grains anguleux et volumineux dont l'aspect est celui de fragments de tissu osseux.

Orthose. C'est à ce niveau que ce minéral atteint son maximum de fréquence relative. Il vient nettement avant le quartz. Diam. $0^{mm}04$.

Glauconie. Elle ne compte dans le résidu qu'un très petit nombre de grains, indépendants des organismes pour la plupart ; elle pseudomorphose quelques spicules d'Éponges.

2° **Organismes.** Ils sont ici réduits à la proportion d'un sixième au maximum. Leur distribution est sujette à de grandes inégalités; ils peuvent se réunir par places, de façon à restreindre le ciment à la proportion de la *moitié.*

Mollusques. Les prismes d'Inocérames complets ou tronçonnés sont très rares.

Bryozoaires. Les débris de grandes colonies dont je n'ai pu relever la trace dans le niveau inférieur reparaissent. Ils sont essentiellement clastiques.

Echinodermes. Les plaquettes polygonales perdent beaucoup de leur fréquence; on trouve quelques vestiges de test d'Oursins.

Spongiaires. Le nombre de leurs débris est réduit à de très rares spicules glauconieux, monoaxes complets ou fragmentaires.

Foraminifères (5-15 %). Ces organismes se montrent dans de toutes autres conditions qu'au niveau du banc des soies. Ils sont plus rares, de taille assez uniforme, petits et le plus souvent complets. Quelques-uns ont été brisés ; d'autres sont en voie de disparition sur place. Ce sont toujours les mêmes genres qui composent la faune, d'ailleurs très peu variée : *Textularia, Rotalia* (abondante) et *Globigerina*, excessivement rare. Les Foraminifères à test arénacé manquent.

Organismes indéterminés. Le rôle des corpuscules, d'affinités indéterminées, comme ceux de la figure 4 (Pl. IX), est négligeable.

3° **Ciment.** Il occupe au moins les 5/6 de chaque préparation Il est, en majeure partie, formé de *Coccolithes* et de *Rhabdolithes*, toujours relativement rares. La présence de la calcite grenue en rhomboèdres ou en grains informes est certaine.

Résumé. La craie d'Ennequin se fait remarquer par les caractères suivants :

a. Fréquence maxima relative de l'orthose; *b.* importante diminution des organismes ; *c.* très faible proportion de prismes d'Inocérames; *d.* réapparition des Bryozoaires clastiques; *e.* grande réduction du nombre de Foraminifères dont l'état fragmentaire est ici l'exception ; *f.* grande prédominance du ciment.

6° RÉSULTATS GÉNÉRAUX DE L'ÉTUDE DE LA CRAIE DU DÉPARTEMENT DU NORD

Je considérerai successivement les minéraux, les organismes et le ciment, comme je l'ai fait pour l'étude monographique de chaque craie.

1° **Minéraux.** A. *Éléments détritiques.* Ils comprennent de l'argile, des galets et des minéraux microscopiques.

a. L'argile intervient pour une part considérable dans le résidu minéral des deux assises inférieures. Sa proportion est d'environ 40 %. A partir de la craie à silex, cette substance devient un élément tout à fait accessoire et son rôle s'efface graduellement en s'élevant dans la série des craies considérées.

b. Galets. L'existence des galets est très sporadique. En laissant de côté l'assise à *T. gracilis* qui affecte les caractères de dépôt littoral à la frontière franco-belge (Chercq) et qui renferme à sa base quantité d'éléments remaniés, on ne connaît de galets que dans le premier tun et à tous les niveaux de la craie à *M. c. testudinarium.* Le plus grand

nombre [1] ont été recueillis dans la craie blanche de cette assise, exploitée comme pierre à chaux. Les roches auxquelles ils ont été empruntés sont des quartzites, quartzophyllades, schistes, phyllades, quartz gras, phtanite, grès. Quelques-unes sont indéterminées. Un grand nombre présente les affinités les plus évidentes avec des roches cambriennes, siluriennes et dévoniennes de l'Ardenne.

c. Minéraux. Tout l'intérêt des particules inorganiques réside dans les minéraux proprement dits. Leur proportion varie suivant l'assise étudiée. Dans les dièves, elle est de 1-2 °/₀. Elle reste sensiblement la même dans les marnes à *T. gracilis*, puis augmente au fur et à mesure qu'on s'élève dans le Turonien, pour atteindre son maximum dans la craie glauconieuse à *M. breviporus*, où elle est très voisine de 10 °/₀, dans les spécimens qui en sont les plus riches. Dans le Sénonien, elle diminue d'une façon lente et progressive. Elle ne devient inférieure à 1 °/₀ qu'à partir de la craie d'Ennequin.

Les différentes espèces reconnues sont : *quartz, zircon, tourmaline, rutile, magnétite, muscovite, orthose, feldspath plagioclase, anatase, brookite, chlorite, staurotide, grenat, apatite, corindon, ilménite.*

Dans presque toutes les craies étudiées, le quartz est l'élément fondamental du résidu minéral débarrassé de l'argile. Il présente plusieurs manières d'être : *a.* grains arrondis, très dépolis; *b.* grains anguleux dont les saillies et les angles sont émoussés ; *c.* esquilles et éclats de quartz limpide; *d.* agrégats microcristallins; *e.* cristaux très frais ou roulés. Il y a coexistence à tous les niveaux d'éléments portant des traces d'usure les plus accusées et de grains anguleux sur lesquels les agents de transport n'ont laissé aucune empreinte. Les dimensions des éléments de quartz sont importantes à considérer. Le diamètre moyen qui est dans les dièves de $0^{mm}06$-7, augmente jusqu'au sommet du Turonien. Il est de $0^{mm}12$ dans la craie glauconieuse et dans le banc du tun. Puis il décroît successivement en s'élevant dans le Sénonien. Il est réduit à $0^{mm}05$ dans la craie d'Ennequin. Mais, dans chaque assise, on trouve des grains roulés et anguleux dont le diamètre se tient au-dessus de $0^{mm}01$. Il en est qui atteignent $1/2^{mm}$ dans les dièves et les marnes à *T. gracilis*. J'en ai reconnu mesurant $0^{mm}7$ dans la craie à silex. On observe même des diamètres supérieurs à $0^{mm}3$ dans les craies les plus fines (Ennequin).

Tous les minéraux que j'ai indiqués à la suite du quartz sont incomparablement moins fréquents que lui. Ceux de la craie du Nord qui méritent plus spécialement d'être signalés après le quartz sont le zircon, la tourmaline, le rutile, l'anatase et la brookite. Les différentes manières d'être de l'oxyde de titane se retrouvent à presque tous les niveaux. Je les ai signalées pour la première fois en 1891 [2]. Je les considère comme clastiques. Ces différents minéraux présentent un intérêt qui n'est pas exclusivement

1. Le fait que le plus grand nombre de galets ont été retirés de la craie blanche est dû à l'exploitation active de cette craie.

2. L. CAYEUX. Diffusion des trois formes distinctes de l'oxyde de titane, etc. *Ann. Soc. G. N.*, vol. 19, p. 132, et *C. R. Ac. Sc.*, vol. 112, pp. 1279-1280 (1891).

minéralogique, comme on serait tenté de le supposer *à priori*. Il est souvent possible de mettre en évidence, entre les ensembles de minéraux détritiques de deux craies consécutives, des différences dont on peut tirer profit pour les distinguer au microscope si l'on a pris soin de les baser sur un très grand nombre de formes. Ces éléments peuvent fournir des données parfois très précises sur la nature des dépôts qui ont fourni les matériaux détritiques de la craie. Voici, par exemple, le zircon. M. de Krustschoff, en étudiant systématiquement ce minéral dans ses rapports avec la nature des roches qui le renferment, est arrivé à cette conclusion que les cristaux de zircon de la famille du granit, ont des particularités de forme et de structure assez accusées et assez constantes pour les considérer comme caractéristiques de cette famille. Le gneiss a aussi une forme de zircon qui lui appartient en propre ; les cristaux, comme ceux de la figure 4 (Pl. X), sont, d'après M. de Krustschoff, particuliers à cette roche. Cette forme est tellement spéciale au gneiss que ce savant s'exprimait ainsi en 1886 : « *Man könnte daher den Zirkon gleichsam als Leitfossil der Gneisse betrachten und vermittelst desselben in zweifelhaften Fällen (in genetischer Beziehung) Gneisse mit granitischem Habitus von echten Graniten unterscheiden* [1]. »

Pluralité d'origine des éléments détritiques de la craie. J'ai essayé d'utiliser cette propriété pour rechercher s'il y a unité ou pluralité d'origine des éléments détritiques de la craie. Les résultats que fournit cette étude, à laquelle il ne faudrait vraisemblablement pas demander des indications d'une précision rigoureuse, s'accordent bien, si on les prend en gros, avec ceux que l'on peut tirer de la considération d'autres minéraux. Chaque fois qu'il est possible de réunir un grand nombre de cristaux provenant d'un même échantillon, on peut y reconnaître des formes empruntées à des roches différentes. La craie à silex, par exemple, montre l'association de zircon de gneiss granulitique, de granit. Ce qui revient à dire que des éléments du résidu minéral de la craie en question tirent leur origine de ces différentes roches.

La considération de la tourmaline et de ses variétés mène à la même conclusion : *pluralité d'origine des éléments détritiques de la craie.*

La craie du Nord doit une partie de ses minéraux à des formations sédimentaires, et notamment à des *quartzites*.

B. *Minéraux secondaires.* Cette classe de minéraux formés dans la craie comprend : glauconie, orthose, phosphate de chaux, pyrite et limonite.

Glauconie. Elle reste un élément accessoire jusqu'à la craie à silex. A ce niveau, on compte en moyenne un grain de glauconie pour trois de quartz. Elle l'emporte sur ce minéral dans la craie glauconieuse à *M. breviporus* et dans le premier tun. Avec le

1. K. v. KRUSTSCHOFF. Beitrag zur Kennt. der Zirkone, etc. *Min. und. Petr. Mitth. von G. Tschermak*, Neue Folge, vol. 7, pp. 440-441 (1886).

banc du tun, le quartz reprend son rôle prépondérant; la glauconie reste néanmoins très abondante. Elle diminue dans le banc des roux, où elle conserve encore une certaine fréquence et devient accessoire et même rare dans les niveaux supérieurs.

Le diamètre moyen des grains de glauconie, tout en restant toujours supérieur à celui des éléments de quartz, varie avec lui et dans le même sens. Mais, au lieu de présenter son maximum au sommet du Turonien et à la base du Sénonien, comme le quartz, c'est dans le banc du tun qu'il atteint sa plus grande valeur.

On trouve la glauconie tantôt en relation avec les organismes, tantôt sans aucune liaison apparente avec eux. Dans le premier cas, elle moule les chambres de Foraminifères, pseudomorphose les spicules de Spongiaires et résulte d'un commencement d'épigénie des prismes d'Inocérames. On la trouve encore (craie glauconieuse à *M. breviporus*) sous la forme d'éléments noueux, branchus, identiques à ceux qui abondent dans le résidu des calcaires de Touraine, où ils résultent d'une épigénie partielle et irrégulière du test des Bryozoaires. Ils servent de caractéristique au résidu de la craie en question. Dans le second, elle donne naissance à des grains irréguliers, exceptionnellement à des particules clivées ; elle engendre parfois des grains de forme générale arrondie, différenciée en glauconie clivée à leur pourtour; elle sert d'enduit à des minéraux clastiques ou secondaires (quartz et phosphate); elle se développe dans le ciment à l'état de taches, comme dans les roches siliceuses ou sur le bord de certains nodules de phosphate, sous forme de glauconie pigmentaire. Enfin on la trouve, soit entourant partiellement des concrétions microscopiques de phosphate de chaux, soit les traversant à la façon de filonnets. Je la considère comme nettement postérieure au dépôt de la craie dans les trois derniers cas.

Orthose. Il y a indécision sur la nature clastique ou secondaire de l'orthose dans les deux assises inférieures du Turonien, où ce minéral est d'ailleurs très peu répandu. Il se multiplie rapidement dans la craie à silex et disparaît presque entièrement de la craie glauconieuse. Dès la base du Sénonien, l'orthose réapparaît fréquente et devient tellement abondante, — relativement à l'ensemble des autres minéraux, — au fur et à mesure qu'on s'élève dans le Sénonien, qu'elle vient en première ligne dans la craie d'Ennequin. En réalité, la multiplication des cristaux d'orthose dans le Sénonien est plutôt apparente que réelle; elle est, en partie, la conséquence de la grande diminution des autres éléments.

Les cristaux que je rapporte à l'orthose sont tabulaires. La face d'aplatissement est tantôt p (001), tantôt g^1 (010). Les individus aplatis suivant p (001) présentent ou non un allongement qui peut être très marqué, suivant la zone négative pg^1 (001) (010). Les cristaux avec aplatissement g^1 (010) ont deux directions d'allongement : pg^1 (001) (010) négatif, ou h^1g^1 (100) (010) positif.

Les clivages p (001) et g^1 (010) sont rares. Les macles font absolument défaut.

Parmi les propriétés que les faces p (001) et g^1 (010) présentent, tant en lumière polarisée parallèle qu'en lumière convergente, toutes celles que l'on peut observer avec précision se retrouvent dans l'orthose [1].

L'application, assez délicate dans l'espèce, de la méthode Bořický, pour le diagnostic microchimique des feldspaths, m'a montré que quelques cristaux, mis en présence de l'acide hydrofluosilicique, donnent la réaction caractéristique de la potasse (cristaux cubiques d'hydrofluosilicate de potasse).

Les cristaux d'orthose se signalent tout spécialement à l'attention par leur fraîcheur remarquable, la perfection de leur forme et l'absence de toute trace d'usure ou d'altération. Leur diamètre moyen ne paraît pas soumis aux variations qui affectent les particules détritiques; il est toujours très faible et sensiblement constant : $0^{mm}04$-5.

J'ai donné, dans une note publiée en 1895, dans les comptes-rendus de l'Académie des Sciences [2], quelques-unes des raisons qui me portent à considérer ce minéral comme secondaire. Je les développerai, tout en les complétant, en exposant les résultats généraux de l'étude de la craie du Bassin de Paris (chap. XII).

Phosphate de chaux. M. E. Duvillier est arrivé, en 1877, par voie d'analyse chimique, à la conclusion, qu'il y a du phosphate de chaux dans toute la série géologique [3]. Dès 1870, Savoye en avait démontré l'existence dans les différentes craies du Nord. Tous les exemples empruntés au Crétacé par Savoye et M. Duvillier ne sont pas tirés des environs de Lille, mais ils n'en ont pas moins reconnu la présence de l'acide phosphorique dans toutes les assises de craie. Le microscope confirme leurs conclusions. Le phosphate de chaux amorphe ou cristallin s'observe à tous les niveaux. Il est rare qu'une section mince, pratiquée au hasard dans n'importe quelle craie, ne permette pas cette vérification. Il est particulièrement répandu dans la craie glauconieuse, le premier tun et le banc du tun (les tuns inférieurs en sont très pauvres). C'est aux deux premiers niveaux qu'il présente les manières d'être les plus complexes. Il y forme des enduits de minéraux clastiques ou secondaires; il donne naissance à des grains et à des concrétions microscopiques ou volumineuses. De ces grains, un certain nombre ont pu se former par les processus indiqués par MM. Renard, J. Cornet et Strahan; d'autres ont été engendrés sur place après le dépôt de la craie. Ce dernier mode de genèse est aussi celui des concrétions microscopiques. Je suis d'avis qu'il faut l'étendre aux volumineuses concrétions du premier tun.

Pyrite. Elle est un élément essentiel des dièves et très fréquent dans les marnes à

---

1. M. Michel-Lévy, Directeur du service de la Carte géologique de France, a bien voulu examiner plusieurs cristaux et vérifier les quelques données optiques qui m'avaient conduit à les rapporter à l'orthose. Je suis heureux de lui en témoigner ma reconnaissance.

2. L. CAYEUX. Exist. de nomb. crist. de feldsp., orthose, etc. *C. R. Ac. Sc.*, vol. 120, pp. 1068-1071 (1895).

3. E. DUVILLIER. Sur la présence de l'acide phosph., etc. (1877).

T. gracilis les plus argileuses. On ne la retrouve avec quelque fréquence qu'au niveau du banc des soies. Dans les dièves, elle s'est parfois substituée au test des Mollusques.

Limonite. Sa présence est constante; elle n'a d'intérêt que dans le banc des roux.

2° **Organismes.** Dans les assises inférieures du Turonien, ils forment au plus un tiers de la craie. A partir de la craie à *M. breviporus*, la proportion d'organismes oscille autour de trois quarts. Au-dessus du banc du tun, il se fait une grande réduction dans la somme des débris organiques. Ils représentent un tiers de la craie du banc des roux, un quart du banc des soies et un sixième de la craie d'Ennequin. *Les variations dans la quantité de restes de l'activité organique suivent celles du diamètre et de la proportion des éléments de transport.*

Mollusques et *Brachiopodes.* On en trouve des vestiges à tous les niveaux. Les marnes à *I. labiatus* fournissent une faunule de petits Mollusques, spéciale aux dièves, signalée par M. Ch. Barrois. Les prismes d'Inocérames sont connus dans toutes les assises. Très accessoires à la base du Turonien, sauf dans les marnes à *T. gracilis* de Chercq (Belgique), ils se multiplient beaucoup au sommet et deviennent un élément fondamental de la craie : ils forment jusqu'à *un cinquième* de la craie à silex; cette proportion ne se maintient pas pour les tuns inférieurs, mais, dans la craie glauconieuse, elle atteint exceptionnellement *neuf dixièmes : les prismes d'Inocérames sont alors contigus dans toute l'étendue des sections minces.* Il y a un commencement de régression à partir du banc du tun, où leur maximum est de *un demi.* Ils passent à l'état d'éléments accessoires dans le banc des roux, forment moins de 1/20 du banc des soies et sont excessivement rares dans la craie d'Ennequin. En résumé, *la proportion de prismes d'Inocérames suit rigoureusement les variations de celle des minéraux clastiques.*

Bryozoaires. Les restes fragmentaires des grandes colonies sont toujours rares. Ils atteignent leur maximum de fréquence dans la craie glauconieuse, alors qu'ils sont représentés par cinq ou six débris par préparation. Il est à remarquer que le plus grand développement des restes de Bryozoaires est en rapport avec celui des éléments détritiques.

Ostracodes. Je n'en ai pas mentionné la présence à tous les niveaux, bien qu'ils y existent à coup sûr. Il suffit de les chercher avec quelque persévérance pour les trouver. Ils sont toujours très rares.

Échinodermes. Leurs débris sont peu répandus dans les assises inférieures. Ils commencent à devenir fréquents dans la craie à silex. La base du Sénonien en est d'une grande richesse. Ils diminuent beaucoup dans le banc des soies et surtout dans la craie d'Ennequin. C'est principalement à l'état de plaquettes polygonales perforées ou non qu'on les rencontre.

Spongiaires. Ils présentent un grand intérêt bien que leurs débris ne figurent que rarement parmi les éléments les plus abondants. Les spicules existent à tous les niveaux. Ils vont augmentant depuis les dièves jusqu'au premier tun; c'est là qu'ils paraissent atteindre leur

apogée. Ils sont encore très nombreux à la base du Sénonien, puis ils diminuent rapidement jusqu'à la craie d'Ennequin, où ils sont d'une excessive rareté. *La fréquence maxima des spicules d'Éponges, comme celle des prismes d'Inocérames et des fragments de Bryozoaires, correspond au développement maximum des matériaux détritiques.*

Les seules formes que l'on puisse étudier étant glauconieuses ou calcifiées, il est impossible de fixer la part qui revient aux *Monactinellidæ* dans la série des spicules monoaxes. Ces derniers prédominent toujours de beaucoup.

Les *Tetractinellidæ* ont laissé des débris à tous les niveaux, sauf dans la craie d'Ennequin. Leur maximum de fréquence est réalisé au sommet du Turonien. Ils sont caractéristiques des craies turoniennes. Ils comprennent un grand nombre de formes différentes.

La présence des *Lithistidæ* est tout à fait exceptionnelle.

Les *Hexactinellidæ* ont laissé leurs premiers vestiges dans le premier tun; ils se montrent avec quelque fréquence dans le banc du tun; c'est dans le banc des roux que leurs débris sont le plus répandus, eu égard au total des individus qu'on y rencontre. Si l'on n'envisage que les dépôts supracrétacés du Bassin de Paris, on peut considérer les spicules isolés d'*Hexactinellidæ* comme caractéristiques des craies sénoniennes du Nord.

Calcispongidæ. Dans la craie du Nord, leurs spicules paraissent cantonnés dans le Turonien et ne semblent pas franchir la craie à silex, dont ils sont caractéristiques par leur fréquence.

Les faunes respectives de chaque niveau, constituées par des spicules libres dans la craie, ne sont pas indépendantes les unes des autres. Celle du banc du tun, par exemple, comporte un assez grand nombre de formes, déjà représentées dans la craie à silex, et d'autres qu'on retrouve dans le niveau qui le surmonte, le banc des roux. Il est même telle catégorie de spicules qui passent de la craie à silex au banc des soies. A partir de la base de l'assise à *M. breviporus*, les spicules deviennent assez nombreux pour que la comparaison soit possible entre beaucoup de termes. On se trouve alors en présence d'une série continue qui s'enrichit de nouveaux types à chaque niveau en même temps que d'autres disparaissent.

Tous les débris de Spongiaires reconnus sont pseudomorphosés par la glauconie ou la calcite, et exceptionnellement par de la *pyrite* et de la calcite.

Il est à remarquer que *les craies du sommet du Turonien, qui renferment le plus de spicules, sont en même temps les plus riches en silex, et que les craies blanches sénoniennes, où les spicules sont particulièrement rares, sont dépourvues de silex.*

Radiolaires. Ces organismes sont d'une grande rareté. Ils appartiennent aux *Liosphærida* et aux *Cyrtoidea*. Ils ne sont connus que dans la craie glauconieuse et le premier tun.

Foraminifères. Ils viennent au premier rang parmi les débris organiques jusqu'à la craie

glauconieuse non comprise. Dans le deuxième tun, où ils acquièrent le maximum de fréquence qu'ils présentent dans le Turonien, ils occupent un peu plus de la moitié de chaque préparation ; ils sont peu répandus dans la craie glauconieuse. Ils redeviennent prépondérants au niveau du premier tun, et de nouveau rares dans le banc du tun. Ils forment jusqu'aux deux tiers de la craie du banc des roux, mais par suite de phénomènes de dissolution que j'ai longuement décrits (p. 250), ils peuvent manquer complètement. Le nombre des Foraminifères diminue ensuite progressivement jusqu'à la craie d'Ennequin, où ils sont réduits à l'état d'éléments très accessoires, puisque le total des organismes de cette craie ne représente qu'un sixième de la roche.

La composition de la faune donne lieu aux remarques suivantes : Les formes monoloculaires et surtout *Fissurina* prédominent dans la craie à silex et dans les tuns inférieurs. Partout ailleurs le genre *Textularia* vient en première ligne, et l'emporte généralement de beaucoup sur ceux qui viennent après lui. Le genre *Globigerina* comparé à *Textularia* et *Rotalia* est toujours très rare, sauf dans la marne à *T. gracilis* et surtout dans le tun supérieur. C'est donc dans le Turonien que cette forme atteint son maximum de fréquence. Tous ces Foraminifères présentent de grandes variations d'épaisseur de test, suivant les niveaux où on les considère : *Les coquilles sont d'autant plus robustes et leur taille plus grande que le rôle des matériaux détritiques est plus important.*

A presque tous les niveaux, il y a association des formes dont il vient d'être question et de grands Foraminifères à test arénacé, pour la plupart de la famille des *Textularidæ*. C'est au sommet du Turonien que ces grands Rhizopodes sont le plus nombreux ; ils disparaissent dans le Sénonien à partir du banc des roux.

Toutes les craies étudiées renferment des Foraminifères brisés. L'état fragmentaire est surtout la règle dans le banc des soies. La dissolution sur place des coquilles de Rhizopodes est un phénomène très général qui revêt une ampleur particulièrement remarquable au niveau du banc des roux.

Organismes de position systématique indéterminée. Presque toutes les craies renferment quelques corpuscules de la forme de ceux qui sont figurés sur la planche IX (fig. 4) ; ils se rencontrent moins rarement dans le Sénonien. J'aurai l'occasion de les étudier en détail plus loin.

3° **Ciment.** Il varie beaucoup dans sa quantité et sa composition chimique suivant les niveaux considérés. Dans le Turonien inférieur, il est plus abondant que tous les autres éléments réunis. Son rôle se restreint ensuite beaucoup jusqu'au banc des roux. Avec la craie à silex, il descend à la proportion d'un quart et même d'un cinquième. Il est encore moins développé dans la craie glauconieuse. A partir du banc des roux, il redevient prépondérant pour former les 5/6 de la craie d'Ennequin.

L'argile en est l'élément fondamental dans les dièves et les marnes à *T. gracilis*, les plus cohérentes exceptées. Elle est cristalline. Le ciment devient essentiellement calcaire

à partir de l'assise à *M. breviporus*. Il est principalement formé de *Coccolithes* et accessoirement de *Rhabdolithes*. Il est toujours complété par de la calcite en granules irréguliers ou cristallisés en rhomboèdres.

Conclusions. Il résulte de la longue analyse à laquelle j'ai soumis la craie du département du Nord que les trois activités mécanique, physiologique et chimique qui interviennent dans la genèse de toute craie réclament chacune une large part dans la formation de celles que j'ai étudiées.

L'*activité mécanique* a marqué son empreinte de deux façons : 1° En fournissant à la craie des matériaux de transport qu'on retrouve à tous les niveaux et qui en représentent une notable proportion, jusqu'à la base du Sénonien ; 2° soit par la dissémination de certains débris organiques, soit par leur fragmentation. Ce sont les agents dynamiques qui ont mis en pièces les Bryozoaires et qui les ont emportés loin de leurs points d'origine ; ils ont brisé les coquilles de Mollusques et de Brachiopodes, ils ont aidé à la séparation des prismes d'Inocérames et les ont fragmentés pour les éparpiller ensuite sur le fond de la mer. C'est encore l'action mécanique des eaux qui a tronçonné une partie des spicules et dissocié les rayons de beaucoup de formes pluriaxes. Enfin l'état de division des coquilles de beaucoup de Foraminifères trouve également son explication dans son intervention. Le bilan de l'activité mécanique apparaît ainsi bien chargé ; il est encore bien incomplet.

L'*activité physiologique* a laissé des traces trop évidentes de son existence pour qu'il soit utile de faire le départ de tout ce que la craie lui est redevable.

Quant aux *agents chimiques* ils ont joué un rôle important, soit en créant de toutes pièces certains matériaux de la craie (glauconie, phosphate, orthose, pyrite et silex), soit par des phénomènes de substitution (spicules calcifiés, glauconieux), de dissolution (vides correspondant à des spicules disparus, destruction de Foraminifères) et de métamorphose (production de calcite du ciment).

Chacune des craies que j'ai étudiées possède des caractères microscopiques qui lui sont propres et que j'ai mis en évidence dans l'examen monographique que j'en ai fait. *La considération des minéraux, des organismes et du ciment d'un morceau de craie permet de fixer sa place non-seulement dans la série des assises, mais encore dans celle de leurs subdivisions distinguées dans le Nord.* Je reviendrai sur cette question dans l'exposé des résultats de l'étude de la craie du Bassin de Paris.

CHAPITRE VII

CRAIE DU PAYS DE BRAY

Sommaire. — 1°. Craie à *Inoceramus labiatus* et à *Terebratulina gracilis*, 265. — 2°. Craie à *Micraster breviporus*, 267. — 3°. Craie à *Micraster cor testudinarium*. A. Craie noduleuse, 269; Origine de la structure noduleuse, 272. B. Craie blanche à *M. c. testudinarium*, 273. — 4. Craie à *Micraster cor anguinum*, 275. — 5°. Craie à Bélemnitelles, 277.

6°. Résultats généraux de l'étude de la craie du Pays de Bray, 279. *Minéraux*, 279. — *Organismes*, 280 — *Ciment*, 282. — Résumé et conclusions, 282.

7°. Appendice. Craie à *M. c. testudinarium* de Marieux (Somme), 283.

J'ai prélevé la plupart des échantillons que j'ai étudiés entre Beauvais et la pointe méridionale du Bray. J'en ai recueilli quelques-uns dans le Turonien qui forme la falaise au S. de Gournay. La succession des couches, de même que leur composition dans les environs de Beauvais, sont bien connues depuis longtemps (travaux de Hébert, MM. de Mercey, de Lapparent, etc.). Je crois superflu de les indiquer ici.

1° Craies a *Inoceramus labiatus* et a *Terebratulina gracilis* (Pl. IX, fig. 1)

Craie blanc grisâtre, un peu argileuse, verdâtre quand elle est mouillée ; cassure irrégulière, grain assez fin. Peu ou point de silex. Epaisseur, 60-70^{m}.

Insoluble, 6 °/₀ ; carbonate de chaux, 86,76 °/₀ (Analyse de M. V. Vaillant).

1° **Minéraux.** La plus grande partie du résidu insoluble est formée d'argile. La proportion de minéraux proprement dits est inférieure à 1 °/₀.

Minéraux détritiques. Quartz. On retrouve à ces niveaux toutes les variétés de quartz que j'ai signalées dans les craies du Nord, sauf les cristaux qui paraissent absolument faire défaut. Les grains roulés subsphériques sont assez fréquents au niveau de l'*I. labiatus*. Ils se signalent par des dimensions de beaucoup supérieures à celles des autres éléments ; il en est qui mesurent jusqu'à 0^{mm}7. Les plus nombreux ont un diamètre inférieur à 0^{mm}2. Cette catégorie de grains est plus pauvrement représentée dans la craie à *T. gracilis ;*

leur diamètre n'y dépasse pas $0^{mm}3$. Des éclats dépourvus de toute trace d'usure et d'une limpidité parfaite mesurent jusqu'à $0^{mm}5$. Les agrégats paraissent manquer dans les échantillons de la craie à *I. labiatus* que j'ai étudiés; ils existent au niveau de *T. gracilis*. La très grande majorité du résidu de quartz est formée de grains anguleux dont les arêtes sont émoussées ; leur diamètre moyen est de $0^{mm}05$-6 pour les deux assises.

Orthose. Très rare; une partie de ses éléments sont probablement secondaires.

Magnétite. Grains anguleux irréguliers, rarement des octaèdres.

Tourmaline. Variété verte prédominante; elle forme des cristaux complets allongés en baguettes, très bien conservés ou cassés, atteignant au maximum 0 08 de grand axe. Variété brune très rare; ses cristaux sont toujours cassés et roulés.

Zircon. C'est à l'état de grains roulés, de cristaux brisés et usés qu'il est le plus abondant. Les cristaux sont presque toujours de longs bâtonnets étroits, arrondis aux extrémités ou dessinant très nettement la pyramide terminale. Quelques formes méritent une mention particulière.

Pl. X, fig. 23. Cristal formé de *m* (110) b^1 (112) riche en inclusions cristallines. Un microlithe disposé parallèlement au prisme renferme lui-même une inclusion liquide avec une bulle. Dim. 0 06-0,02.

Fig. 42. Cristal formé de *m* (110) h^1 (100), pointements indéterminés, stries verticales. Dim. 0,023-0.01.

La présence de véritables éclats de zircon d'une parfaite fraîcheur est également à signaler.

Mica blanc. Lamelles à contours arrondis, très rares.

Feldspath plagioclase. Grains sans contours cristallins avec macle de l'albite se répétant un grand nombre de fois.

Rutile. Cristaux jaune pâle toujours cassés et usés. L'un d'eux montre très nettement des traces de macle suivant a^1 (101). La variété brunâtre est exceptionnelle.

Brookite. Un seul fragment de cristal jaune pâle avec pointement très net. Dim. 0,12-0,07.

Chlorite. Très rares lamelles à contours irréguliers.

Anatase. Cristallisée en tables aplaties d'une très grande rareté.

Minéraux secondaires. *Pyrite* fréquente dans la craie à *I. labiatus*.

Glauconie. Rare, affectant presque toujours la forme de sphérules de même diamètre que les chambres de Foraminifères ; quelques grains plus volumineux à contours irréguliers, mesurant jusqu'à $0^{mm}15$.

L'*orthose* doit probablement être mentionnée à cette place.

2° **Organismes**. Ils forment une proportion de la roche variant d'un tiers environ à la moitié, et parfois même un peu plus.

Mollusques et *Brachiopodes*. Ils ont peu de représentants dans chaque section mince. Les prismes d'Inocérames sont rares et fragmentaires. C'est dans l'assise inférieure qu'ils sont le moins clairsemés.

Echinodermes. Plaquettes polygonales peu répandues.

Spongiaires. Le résidu minéral ne renferme qu'un nombre excessivement limité de spicules d'Eponges; les sections minces n'en montrent pas un seul vestige. Ils sont monoaxes, droits, arqués, incomplets et glauconieux.

Foraminifères (pl. IX, fig. 1). Ils composent presque à eux seuls la proportion d'organismes indiquée plus haut. C'est dans l'assise à *T. gracilis* qu'ils sont le plus répandus. On trouve souvent des écarts très grands entre des échantillons différents.

La grande majorité des Foraminifères sont des formes monoloculaires, *Fissurina* et *Orbulina*, avec grande prédominance du premier genre. Les Rhizopodes pluriloculaires sont rares. *Textularia* en est le représentant le plus fréquent. *Globigerina* compte plusieurs individus dans chaque section mince. Les coquilles fragmentaires tiennent peu de place. La destruction par dissolution est un phénomène assez commun. Les coquilles de ce niveau sont remplies de grands cristaux de calcite.

Organismes indéterminés comme ceux de la planche IX, fig. 4, très rares.

3° **Ciment.** Les *Coccolithes* et *Rhabdolithes* paraissent en minorité. La calcite en menus éléments de forme arrondie ou rhomboédrique forme la plus grande partie du ciment. La matière argileuse participe également à sa composition.

Résumé. Les craies à *I. labiatus* et à *T. gracilis* ont pour caractères essentiels :

a. grand développement des Foraminifères monoloculaires et en particulier de *Fissurina*. *b.* rareté des autres débris organiques ; *c.* ciment composé en majeure partie d'éléments inorganiques.

2° CRAIE à *Micraster breviporus*

Craie blanc grisâtre à grain assez grossier. Silex noirs abondants, parfois recouverts d'une patine rosée. L'épaisseur de cette assise n'est que de quelques mètres.

Résidu, 2,35 o/o ; carbonate de chaux, 95,75 o/o.

1° **Minéraux.** La plus grande partie du résidu est formée d'argile. Les minéraux représentent moins de 1 o/o de la roche.

Minéraux détritiques. Quartz. La variété prédominante est le quartz en petits grains anguleux avec arêtes émoussées. Diamètre moyen, $0^{m}05$-6. Les agrégats et les éclats existent en assez grand nombre. Puis viennent des éléments d'aspect sale, très roulés, mesurant jusqu'à $0^{mm}5$. Quelques-uns présentent ce fait curieux que le grain arrondi est enveloppé par une zone de quartz limpide et pur ayant une tendance à dessiner des pointements cristallins. Les grains de cette catégorie rappellent ceux qui ont été figurés par Phillips [1]. La partie surajoutée est secondaire et orientée comme le grain ancien.

Tourmaline. Presque uniquement représentée par la variété verte à l'état de bâtonnets longs, minces avec pointements intacts comme les cristaux de la planche X, fig. 86 (0,09-0,03) et fig. 85 (0,08-007). La tourmaline brune est extrêmement rare.

Magnétite. Octaèdres et fragments plus ou moins anguleux.

Zircon. Les cristaux sont très simples de forme, à terminaisons arrondies ; quelques individus sont zonaires.

Rutile. Variété jaune pâle presque unique ; individus maclés à 114°.

Mica blanc. Rare, en lamelles mesurant au plus 0,06 de plus grand diamètre.

Anatase. En tables carrées ou rectangulaires, incolore ou jaune pâle.

Brookite. Toujours fragmentaire et très rare.

Grenat. Représenté par quelques grains incomplets mesurant environ 0,07.

---

1. J. A. PHILLIPS. On the Constitution and Hist. of Grits, etc., *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol. 37, pp. 6-28, pl. 2 (1881).

Minéraux secondaires. Orthose. Ce minéral est presque aussi fréquent que le quartz. Il compte à ce niveau un nombre relativement considérable de formes cristallines d'une remarquable fraîcheur, pourvues de contours exempts de toute trace d'usure. Dim. $0^{mm}04$-5.

Glauconie. Son existence est presque sans exception liée à celle des spicules d'Eponges et des Foraminifères dont elle remplit les coquilles.

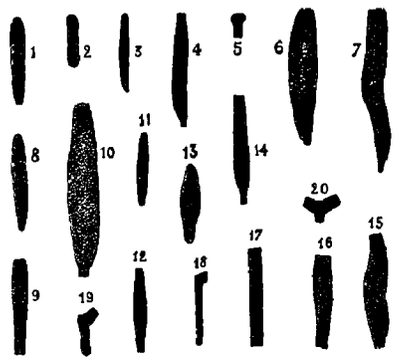


Fig. 11. Spicules de la craie à *M. breviporus* du Pays de Bray (Gross. 55 diam.).

Pyrite et *Limonite* représentées par des sphérules résultant du remplissage des loges de Foraminifères.

2° **Organismes.** L'ensemble des organismes de cette assise occupe environ la moitié de la surface des préparations.

Mollusques et *Brachiopodes.* Leurs débris sont peu nombreux. Les prismes d'Inocérames sont fragmentaires.

Echinodermes. Plaquettes polygonales plus nombreuses que dans les assises précédentes.

Spongiaires. Leurs spicules, dont quelques formes sont réunies sur la figure 11, se répartissent entre les groupes suivants :

A. *Spicules monoaxes.*

a. cylindriques, à extrémités tronquées ou arrondies (2 et 17).
b. fusiformes droits ou arqués (3 et 4, 6-16).
c. coniques (1 et 15).

B. *Tetractinellidæ.* Spicules incomplets et rares comme ceux des figures 18-20.

C. *Calcispongidæ.* Le résidu de lavage renferme bon nombre de petits spicules calcaires que je rapporte aux *Calcispongidæ.* Ils affectent deux formes principales.

a. spicules triradiés à rayons droits, plus ou moins pointus aux extrémités et de longueur différente.
b. spicules en aiguilles droites à terminaisons généralement arrondies.

En résumé les *Tetractinellidæ* et les *Calcispongidæ* sont représentés d'une façon certaine. Peut-être une partie des spicules monoaxes appartiennent-ils aux *Monactinellidæ.*

La proportion de spicules dérivant d'Eponges siliceuses est en progrès, si on la compare à celle des craies du Turonien inférieur. Leur mode de fossilisation est invariablement le même : ils sont pseudomorphosés par la glauconie. Il existe entre les restes de Spongiaires des craies à *M. breviporus* du Bray et de Lezennes une parenté des plus manifestes. La comparaison de la figure 7 (p. 226) et de la figure ci-contre la met très imparfaitement en relief par la raison que les formes communes, comportant un grand nombre de représentants, n'ont leur place marquée sur les figures que par un seul individu.

Foraminifères (50 °/₀ au moins). Les formes monoloculaires à test épais sont prédominantes. Les *Fissurina* sont abondantes. Viennent ensuite par ordre d'importance et avec une fréquence beaucoup moindre : *Textularia*, *Rotalina*, *Globigerina*, *Bulimina*, etc. Les Globigérines sont rares.

L'étude des sections minces de cette craie montre que les Foraminifères fragmentaires sont très répandus.

Diatomées. Rares carapaces très bien conservées dans le résidu.

Organismes indéterminés. Les corpuscules de la forme de ceux de la planche IX, fig. 4, sont rares.

3° **Ciment**. Il est formé de *Coccolithes*, de *Rhabdolithes*, de menus débris de test de différents organismes, d'un peu de matière argileuse et de calcite en petits rhomboèdres ou en granules de forme arrondie ou irrégulière. Les Coccolithes en représentent la partie fondamentale ; ils sont remarquables non-seulement par leur extraordinaire abondance, mais par la grande variété de formes qu'ils offrent. Les Rhabdolithes sont beaucoup moins nombreux; ils sont également sujets à de grandes variations morphologiques.

Résumé. La craie à *M. breviporus* se signale par les particularités suivantes :

a. Multiplication des restes de Spongiaires et fréquence de spicules de *Calcispongidæ*. *b*. abondance des Foraminifères avec prédominance très marquée des formes monoloculaires. *c*. prépondérance des Coccolithes dans le ciment.

3° CRAIE A *Micraster cor testudinarium*

J'étudierai successivement la partie inférieure de cette assise qui se présente sous la forme de craie noduleuse (A) et la craie blanche exploitée dans les carrières de Saint-Martin-le-Nœud (B).

A. Craie noduleuse

(Pl. IX, fig. 6)

Caractères lithologiques. Craie grise, faiblement jaunâtre, présentant des parties plus dures, d'apparence noduleuse. La craie qui enveloppe les nodules est homogène, finement grenue, rugueuse au toucher et parsemée d'un grand nombre de taches de *pyrolusite*. Examinée avec une forte loupe, elle se montre criblée de petits vides d'égal diamètre. Les parties dures se comportent comme les *durillons* des craies magnésiennes du Bassin de Paris. M. de Lapparent a fait justement remarquer que la craie noduleuse rappelle la craie à *œil de perdrix* des carrières de Vernon (Eure). Les durillons forment des noyaux de calcaire très dur, très compact, à cassure lisse, sans trace de grain. Le manganèse paraît y faire défaut.

M. de Lapparent a reconnu que la texture noduleuse n'est pas développée dans les premières couches de l'assise. A Saint-Martin-le-Nœud, elle a été autrefois l'objet d'une exploitation très active de pierre de taille. On la voit encore sur plusieurs mètres d'épaisseur, séparée en plusieurs bancs par des cordons de silex noirs.

Composition chimique. Les parties dures analysées au laboratoire d'essais de l'Ecole des Mines ont donné les résultats suivants :

Silice (presque entièrement soluble)	1,6
Peroxyde de fer	0,15
Chaux	52,8
Magnésie	0,96
Acide carbonique et quantité très notable de matières organiques	44.3
Acide phosphorique	traces.
Total.	99,81

1° **Minéraux.** *M. détritiques. Quartz.* Il affecte toutes les formes rencontrées dans les craies précédemment étudiées. On trouve des grains arrondis mesurant jusqu'à $0^{mm}4$. Le diamètre moyen des éléments à contours arrondis avec arêtes émoussées, est de $0^{m}05$-6.

Magnétite. Relativement très abondante ; octaèdres assez fréquents ; le plus grand nombre de ses représentants sont des particules fragmentaires parfois très allongées.

Zircon. Rares cristaux bien conservés ; le plus grand nombre de ses éléments sont des grains avec ou sans rudiments de faces.

Tourmaline. Tandis que dans la craie à *M. breviporus*, la tourmaline verte existe presque seule, elle est ici accompagnée par la variété brune, presque aussi répandue qu'elle.

Rutile. Quelques-uns de ses cristaux sont merveilleux de conservation ; les variétés jaune et brunâtre coexistent.

Muscovite. En lamelles souvent irrégulières, mais ayant parfois conservé une partie du contour hexagonal primitif.

Anatase. Quelques cristaux très bien conservés, jaunes ou jaune brunâtre, et formes altérées.

Brookite. Extrêmement rare et fragmentaire.

Disthène. Représenté par un petit nombre de cristaux.

A cette liste, je dois ajouter quelques autres espèces de très petite taille parmi lesquelles j'ai cru reconnaître le *corindon.*

Minéraux secondaires. Glauconie. Elle représente une proportion importante du résidu minéral et vient immédiatement après le quartz par ordre d'importance. Elle est également développée sous forme de spicules d'Éponges et à l'état de moulages de Foraminifères; des grains de forme irrégulière ont des dimensions supérieures à celles des coquilles de Rhizopodes.

L'examen des débris d'Eponges en glauconie révèle ce fait particulier que les spicules, paraissant tout à fait homogènes en lumière naturelle, montrent deux orientations principales de la glauconie en lumière polarisée parallèle. L'une correspond à l'emplacement du canal élargi et l'autre au corps même du spicule. On voit aussi les bâtonnets présenter une teinte jaune pâle, limpide sur les bords, alors qu'une bande centrale se colore en vert foncé.

Orthose. Elle montre les mêmes formes et les mêmes dimensions que dans les niveaux sous-jacents, mais elle est notablement moins abondante que dans la craie à *M. breviporus.*

Pyrite. Elle est assez répandue dans le résidu sous la forme de sphérules.

Phosphate de chaux. Quelques volumineux grains anguleux.

2° **Organismes.** Dans les parties qui s'écartent le moins de la craie ordinaire, ils tiennent une place importante et représentent au moins les trois quarts du dépôt.

Mollusques et *Brachiopodes.* Leurs débris sont en nombre relativement petits; les prismes d'Inocérames sont très fragmentaires.

Echinodermes. Restes d'Oursins visibles dans les sections minces et plaquettes polygonales en nombre assez limité dans le résidu de lavage.

Spongiaires. Ils ne comportent que des spicules glauconieux tous incomplets. En raison même de la dissociation des rayons, il est difficile de déterminer l'ordre auquel ils appartiennent. Quelques-uns d'entre eux sont représentés sur la figure 12. On peut les grouper comme il suit :

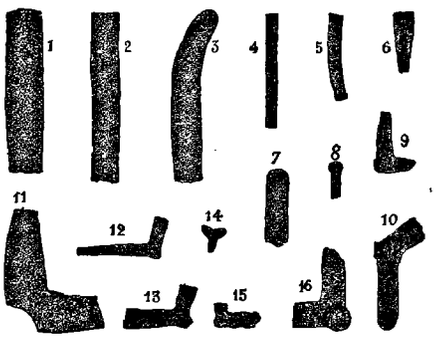


Fig. 12. Spicules de la craie noduleuse. (Gross. 50 diam.)

A. *Spicules monoaxes.* Ce sont des rayons de spicules pluriaxes ou des fragments de grands bâtonnets cylindriques ou fusiformes, droits ou arqués (1-8). Les plus répandus sont 1, 2, 4 et 6.

B. *Tetractinellidæ.* Les spicules de ce groupe (10-14) sont très rares.

C. *Hexactinellidæ.* Leurs débris sont de conservation défectueuse ainsi qu'en témoignent les figures 9, 15 et 16.

Les débris de Spongiaires sont notablement plus répandus à ce niveau que dans la craie à *M. breviporus.* L'apparition des spicules hexaradiés dans le résidu insoluble a lieu au début du Sénonien, comme dans le Nord.

Foraminifères. Ils forment plus de la moitié de la craie dans les spécimens où ils ont été respectés par les métamorphoses subies par la roche. Les formes monoloculaires et notamment *Fissurina* sont encore les plus répandues. *Textularia* et *Rotalia* et surtout *Globigerina* sont très rares. Ces Foraminifères pluriloculaires ont souvent un test d'une très grande finesse. Très peu de coquilles de Rhizopodes sont intactes; elles ont été morcelées, soit par dissolution sur place, soit par voie mécanique, soit enfin par un processus dont je parlerai en étudiant le ciment.

Organismes indéterminés. Ils continuent à être très rares.

3° **Ciment.** Il intervient pour un quart ou un tiers dans la composition de la craie. Il est formé de *Coccolithes*, d'un petit nombre de *Rhabdolithes* et surtout de carbonate de chaux rhomboédrique ou grenu.

Origine de la structure noduleuse. Les sections minces pratiquées dans les nodules montrent que la craie qui les compose est formée pour la moitié au moins de *rhomboèdres de calcite*, indépendants les uns des autres, ou soudés en chapelets (Pl. IX, fig. 6, part. sup.). Chaque rhomboèdre n'a d'individualité qu'au point de vue morphologique ; il se décompose en petits éléments d'orientation différente : c'est en somme un agrégat.

Si on étudie les rapports de ces cristaux avec les organismes plongés dans le même milieu on observe les particularités suivantes :

A. Des rhomboèdres sont inclus dans les loges de Foraminifères (Pl. IX, fig. 6, n° 1).

B. Ils se sont développés à cheval sur le test des Rhizopodes et le ciment, et l'on peut voir sur la figure 6, n° 2, trois rhomboèdres traversant une coquille de Foraminifère.

C. Beaucoup plus rarement les cristaux s'avancent à l'intérieur d'autres fragments d'organismes, dans des prismes d'Inocérames par exemple.

En examinant n'importe quelle plage à un fort grossissement, on voit partout des morceaux de test qui s'arrêtent au contact de rhomboèdres ; il est évident que beaucoup de débris de coquilles ont disparu par suite du développement des cristaux de calcite.

Si de la craie dure des nodules, on passe à la craie ambiante, on trouve une manière d'être toute différente. On n'y observe plus de rhomboèdres, mais ces corps ont existé, ils ont même laissé des traces indiscutables de leur présence. Leur emplacement est marqué par des *vides* ayant rigoureusement conservé la forme des rhomboèdres disparus. La partie inférieure de la figure 6 (Pl. IX) est la copie exacte d'une plage de la craie qui entoure les nodules. Les vides dont la roche est ainsi criblée sont visibles à la loupe. Je les ai signalés en énumérant les caractères lithologiques de la craie. Le fait qu'ils existent dans la roche même est la meilleure preuve qu'ils ne résultent pas de la destruction de cristaux en confectionnant les préparations. J'ai d'ailleurs observé le même phénomène en d'autres points, et à différents niveaux dans le Bassin de Paris où il est développé sur une échelle et dans des conditions telles qu'il est absolument certain que les vides correspondent à la destruction de rhomboèdres dans la craie même. Certaines craies jaunes de la Somme montrent une structure bandée très apparente. Elles sont formées de zones alternantes, parfois très étroites et très serrées, de craie jaune dure, compacte comme les parties noduleuses de Saint-Martin-le-Nœud et de craie beaucoup plus pâle et poreuse. Il est possible de confectionner des préparations qui montrent une dizaine de zones. Or chaque bande de craie compacte correspond invariablement à des rhomboèdres intacts, tandis que les zones de craie poreuse ne montrent plus que des vides. Dans l'espèce on est bien obligé d'admettre que le mode de préparation des plaques minces n'est pour rien dans la destruction des rhomboèdres.

Les conditions qui ont présidé à la genèse des cristaux de calcite et à leur destruction

me paraissent encore bien mystérieuses. La formation de ces éléments en grand nombre n'est que l'exagération d'un phénomène qui s'est manifesté dans beaucoup de craies et notamment dans celles du Nord, où j'ai signalé la présence de quelques rhomboèdres parfaits, isolés dans le ciment. J'aurai l'occasion de revenir longuement sur cette question, dans un travail que je consacrerai tout spécialement à l'étude de la texture noduleuse et à la recherche des différentes voies par lesquelles un sédiment est susceptible de l'acquérir.

Conclusions. Le point qui me paraît déjà acquis, c'est que *la structure noduleuse de la craie à M. c. testudinarium du Bray résulte de la destruction locale de cristaux de calcite uniformément distribués dans la craie, et qui ne sont restés intacts que dans les masses de craies qui forment les nodules.*

Les rhomboèdres ont pris naissance *après la sédimentation*, dans le ciment et sur l'emplacement des organismes.

B. Craie blanche à *Micraster cor testudinarium.*

Craie blanche à cassure irrégulière, très finement grenue. Silex en nodules. Elle est exploitée pour la fabrication de la chaux sur le flanc sud de la colline de Saint-Martin-le-Nœud.

1° **Minéraux.** Sauf le phosphate de chaux, ils n'apparaissent pas dans les sections minces. Le résidu des minéraux débarrassés de l'argile est très inférieur à 1 %.

Minéraux détritiques. Le *quartz* présente toutes les variétés distinguées dans les niveaux inférieurs. Les éléments les plus volumineux, toujours arrondis, mesurent $0^{mm}3$-4. Le diamètre moyen des autres grains est de $0^{mm}05$-6.

Zircon. Il est particulièrement intéressant à ce niveau. Les grains irréguliers à contours arrondis prédominent de beaucoup. Un grand nombre de cristaux sont de conservation irréprochable. Les principaux sont :

Pl. X, fig 6. Cristal incolore en forme de baguette à extrémités arrondies. Inclusions : une vitreuse, une gazeuse. Dim. 0,012-0,007.

Fig. 14. Cristal incolore zonaire, formé de m (110) b^1 (112). Dim. 0,028-0,02.

Fig. 16. Cristal incolore avec prisme très prédominant, pointement indéterminé. Dim. 0,08-0,018.

Fig. 25. Cristal incolore, brisé, formé de m (110) b^1 (112). Inclusions : microlithe disposé obliquement par rapport à l'allongement du cristal ; inclusion vitreuse de forme irrégulière. Dim. 0,08-0,02.

Fig. 27. Cristal incolore pourvu d'une énorme inclusion vitreuse. Dim. 0,09-0,03.

Fig. 30. Cristal incolore, très limpide, traversé par une aiguille très fine, un peu oblique sur l'axe du cristal. Dim. 0,055-0,03.

Fig. 39. Cristal incolore, très limpide, formé de m (110), h^1 (100) b^1 (112). Dim. 0,12-0,05.

Fig. 40. Cristal incolore, mêmes faces verticales, pointement indéterminé, une inclusion vitreuse. Dim. 0,06-0,01.

Fig. 43. Id. Inclusions : microlithes dont l'un a ses deux extrémités occupées par deux pores. Inclusions vitreuses. Dim. 0,05-0,01.

Fig. 47. Cristal roulé ou de forme originelle arrondie, pourvu des faces m (110) h^1 (100) et vestiges de faces terminales. Dim. 0,06-0,04.

Fig. 48. Id. Dim. 0,04-0,02.

Tourmaline. Remarquable par le grand nombre de formes de conservation parfaite. Les variétés verte et brune sont représentées avec une fréquence sensiblement égale.

Magnétite. Abondante en grains irréguliers, rare en octaèdres.

Mica blanc. Rares lamelles à contours irréguliers.

Feldspath plagioclase. Particules en voie d'altération sans contours cristallins bien nets.

Rutile. Beaucoup plus rare que dans la craie noduleuse. Variétés rouge rutilante et jaune d'or (Pl. X, fig. 55. Cristal cannelé jaune d'or mesurant 0,018-0,014).

Anatase. Cristaux incolores d'aspect vitreux, jaune pâle, verdâtre ou noirâtre, très aplatis, suivant *p* (001).

Brookite. Toujours fragmentaire, incolore ou jaunâtre.

Grenat. Très rare sous la forme de cristaux brunâtres mesurant 0,03.

Disthène. Cristaux de forme allongée, allongement h^1g^1 (100) (010), rectangulaires, aplatis, suivant h^1 (100) avec clivages transversaux *p* (001).

Apatite. Cristaux très rares avec faces *mm* ($00\bar{1}0$) ($00\bar{1}0$) et clivages *p* (0001) très net.

Amphibole. Représentée par la variété *hornblende* commune.

A ces nombreuses espèces viennent s'en ajouter quelques-unes que je n'ai pu déterminer.

Minéraux secondaires. Orthose. Elle est un peu moins fréquente que le quartz. Tous les cristaux ne sont pas également frais; une bonne partie ont subi un commencement d'altération. Dim. $0^{mm}05$.

Glauconie. Elle est beaucoup moins répandue que dans la craie noduleuse. Elle est le plus souvent indépendante des coquilles de Foraminifères. Ce minéral forme des bâtonnets, des tronçons de spicules et des grains à contours irréguliers mesurant jusqu'à $0^{mm}2$.

Phosphate de chaux. Un ou deux éléments par coupe mince.

2° **Organismes**. Ils composent environ les deux cinquièmes de la craie.

Mollusques et *Brachiopodes*. Leurs débris sont assez rares. Ce sont principalement des prismes d'Inocérames.

Bryozoaires. Chaque section mince de la craie étudiée montre deux ou trois débris de colonies de Bryozoaires souvent réduits à une cellule.

Echinodermes. Le nombre des plaquettes polygonales appartenant à ce groupe est considérable. Elles constituent un des éléments les plus caractéristiques de cette craie.

Spongiaires. Leurs débris sont des fragments de bâtonnets cylindriques ou coniques toujours très grêles : il est probable qu'une grande partie sont des rayons dissociés de spicules de *Tetractinellidæ* et d'*Hexactinellidæ*. Les Spongiaires à squelette originellement siliceux sont pauvrement représentés dans le résidu de cette craie; leurs spicules sont toujours glauconieux. Les produits de lavage de la craie renferment un nombre assez important de spicules à trois rayons et de formes monoaxes, les uns et les autres petits, grêles et calcaires paraissant appartenir aux *Calcispongidæ*.

Foraminifères (35-60 %). Les formes monoloculaires paraissent l'emporter un peu sur les autres. Les *Textularia* surtout et les *Rotalia* abondent. Les *Globigerina* sont très rares. Beaucoup de coquilles sont fragmentaires. Parmi leurs débris, il s'en trouve qui ont

appartenu à des formes de grande taille à test épais qui n'ont aucun représentant complet. La dissolution des coquilles sur place s'observe fréquemment.

Organismes indéterminés. Les corpuscules identiques à ceux qui sont figurés sur la planche IX, n° 4, sont très rares.

3° **Ciment.** Il forme en moyenne les trois cinquièmes de la craie. Il est en majeure partie composé de *Coccolithes*, de *Rhabdolithes* toujours rares. La calcite grenue y tient une place très notable. Quelques rhomboèdres sont visibles aux plus faibles grossissements.

Résumé. La craie blanche à *M. c. testudinarium* de Saint-Martin-le-Nœud présente les principaux caractères suivants :

a. Grande variété des minéraux détritiques; *b.* fraîcheur exceptionnelle du zircon et de la tourmaline; *c.* apparition du phosphate dans les coupes minces ; *d.* fréquence relative de l'orthose ; *e.* existence de nombreuses plaquettes polygonales se rapportant au groupe des Échinodermes ; *f.* grande rareté des débris d'Eponges siliceuses ; *g.* fréquence relative des restes de *Calcispongidæ ; h.* présence d'un grand nombre de Foraminifères; *i.* prédominance des éléments organiques dans le ciment.

4° CRAIE A *Micraster cor anguinum.*

Craie blanche à cassure fréquemment grenue, présentant les mêmes caractères que la craie de l'assise précédente. Silex en nodules alignés dans le sens de la stratification et en veines obliques.

La teneur en carbonate de chaux est de 93,73 °/₀ (analyse de M. Vaillant).

1° **Minéraux.** Le résidu insoluble débarrassé de la matière argileuse est presque négligeable.

Minéraux détritiques. Ils sont représentés par le quartz et les différentes espèces signalées dans la craie à *M. c. testudinarium.* Les grains de quartz arrondis qui sont les plus volumineux et les plus rares mesurent au maximum $0^{mm}2$; les éléments de forme générale anguleuse avec arêtes émoussées ont $0^{mm}05$.

Minéraux secondaires. Leur fréquence est un peu supérieure à celle des éléments clastiques.

Glauconie. Elle existe dans le résidu sous la forme de moulages de Foraminifères ; *beaucoup de sphérules donnent une croix noire très nette.* Très peu de grains se sont formés en dehors des coquilles de Rhizopodes. Tous les spicules du résidu sont glauconieux. Entre les nicols croisés, la glauconie des spicules se montre souvent vivement colorée sur leurs bords, alors qu'une zone axiale correspondant à l'emplacement du canal élargi reste sombre. La distribution des parties très biréfringentes et de celles qui s'éclairent très peu est parfois très irrégulière ; il n'est pas rare qu'un seul bâtonnet se

décompose en plusieurs tronçons se comportant de façon différente en lumière polarisée parallèle ; le groupement des particules élémentaires glauconieuses peut donner lieu à des manières d'être très variées.

Orthose. La proportion de cristaux est sensiblement la même que dans la craie à *M. c. testudinarium.* Ils sont les uns d'une fraîcheur parfaite et les autres d'apparence un peu laiteuse.

Phosphate de chaux. Il est moins rare que dans l'assise inférieure. Il affecte la forme de grains incomparablement plus volumineux que les minéraux tant clastiques que secondaires dont il vient d'être question. On y reconnaît des éléments fragmentaires très anguleux montrant tous les caractères des esquilles de tissu osseux et des grains de forme parfaitement arrondie beaucoup plus rares.

2° **Organismes.** Ils forment tout au plus un sixième de la craie ; dans bien des cas leur proportion descend bien au-dessous de ce chiffre.

Mollusques et *Brachiopodes.* Le nombre de leurs débris et en particulier celui des prismes d'Inocérames est restreint. Ces derniers sont presque toujours tronçonnés.

Echinodermes. Le nombre des plaquettes polygonales a considérablement diminué.

Spongiaires. Ils sont peu abondants dans le résidu insoluble, et comme ce dernier a lui-même peu d'importance, il en résulte que leur rôle est effacé. Les formes reconnues sont les suivantes :

A. *Spicules monoaxes. a.* Spicules cylindriques, droits, quelquefois arqués. *b.* Spicules fusiformes rectilignes ou courbes. Ceux de la première catégorie prédominent.

B. *Tetractinellidæ.* Spicules à rayons cylindriques et grêles de forme peu variée.

C. *Hexactinellidæ.* Je n'en ai reconnu que très peu de représentants incomplets à rayons cylindriques.

Les spicules pluriaxes ne comprennent qu'un petit nombre d'individus, mais il est évident que beaucoup de bâtonnets cylindriques ne sont que des rayons dissociés de spicules tétra- ou hexaradiés. A quelque groupe qu'ils appartiennent, les débris de Spongiaires siliceux sont de forme grêle et tronçonnés ; tous sont glauconieux.

Le résidu de lavage comprend un nombre plus élevé de spicules calcaires monoaxes, arrondis aux extrémités, que je rapporte avec doute aux *Calcispongidæ.*

Foraminifères (10-15 %). Leur rôle est très accessoire. Ce sont des *Textularia*, *Rotalia* et *Globigerina*, ces derniers étant très rares. Un certain nombre sont brisés; beaucoup sont en voie de dissolution sur place. Ils ont une taille uniforme et sont pourvus d'un test de même épaisseur.

Organismes indéterminés. Le résidu de lavage de la craie à *M. c. anguinum* est, en grande partie, formé de très petits bâtonnets de nature indéterminée, dont j'ai signalé la présence à tous les autres niveaux de la craie du Pays de Bray. La très grande majorité se présentent comme ceux de la rangée supérieure de la figure 4 (Pl. IX).

Ce sont des bâtonnets droits, parfois très courts et globuleux, et exceptionnellement arqués, dont les extrémités paraissent figurer des surfaces articulaires, comme on en observe chez les troncs qui composent les pinnules de Crinoïdes. Quelques-uns se terminent en pointe et figurent de petits cônes rappelant également la terminaison des pinnules. Un très petit nombre montrent une amorce de bifurcation à une extrémité (fig. 4). Ces corps sont parcourus par une ligne noire axiale. Si on les fait rouler dans la glycérine, on constate que cette ligne disparaît plusieurs fois au cours d'une rotation complète. Enfin il semble que ces éléments soient creusés de petits pores presque imperceptibles. L'existence d'un canal reste incertaine. Les dimensions très exiguës de ces corpuscules — la grande majorité mesurent de $0^{mm}008$ à $0^{mm}003$ — sont un grand obstacle à leur analyse micrographique.

J'aurai l'occasion d'en signaler maintes fois l'existence; je les désignerai sous la rubrique « Organismes indéterminés », comme je l'ai fait pour les craies précédemment examinées. Je dirai au chapitre XII, quelles hypothèses on peut émettre sur leur nature. Ils jouent un grand rôle dans la craie à *M. c. anguinum*. La partie inférieure de la figure 4 (Pl. IX) est destinée à montrer la place qu'ils occupent dans les corps minces de la craie quand on les examine avec de très forts grossissements. Il est impossible de dire ce qui peut correspondre à leurs sections transversales; leurs coupes longitudinales sont le plus souvent rectangulaires, parcourues par un trait noir axial qui manque à quelques-unes.

3° **Ciment.** Il représente l'élément fondamental de cette craie. Il comprend des *Coccolithes*, très nombreux; des *Rhabdolithes*, toujours accessoires; les organismes de position systématique indéterminée, dont je viens de parler, et de la calcite grenue et rhomboédrique. L'élément organique prédomine dans le ciment.

Résumé. La craie à *M. c. anguinum* présente les caractères essentiels suivants :

a. Résidu minéral excessivement faible; *b.* développement du phosphate de chaux; *c.* diminution des plaquettes polygonales du groupe des Échinodermes; *d.* rareté des Foraminifères; *e.* exceptionnelle abondance de corpuscules d'origine organique et d'affinités incertaines; *f.* grande prédominance du ciment.

5° CRAIE A BÉLEMNITELLES.

Craie blanche, très fine et très traçante. Sa proportion de carbonate de chaux est de 94,27 % (Analyse de M. Vaillant).

1° **Minéraux.** Le résidu minéral débarrassé de l'argile est insignifiant.

Minéraux détritiques. Quartz. Les gros grains arrondis mesurent jusqu'à $0^{mm}2$, les éclats de grande taille sont assez fréquents. Les éléments à contours irréguliers, anguleux, peu usés sont prédominants ($0^{mm}05$); les agrégats sont rares.

Tourmaline. Petits prismes verts, très allongés, de fraîcheur souvent très remarquable ; variété brune plus rare et plus fragmentaire.

Zircon. Surtout répandu en grains fortement arrondis ; quelques cristaux bien conservés sont simples de forme, très allongés, quelquefois très riches en inclusions ; quelques formes zonaires.

Magnétite. Octaèdres ou grains irréguliers.

Anatase. Relativement fréquente en tables aplaties, fragmentaires et en voie d'altération ; quelques beaux cristaux très frais. Une forme composée de deux individus soudés, en voie d'altération, est représentée sur la planche X, fig. 75.

Rutile. Très rare en baguettes très allongées, jaune clair, mesurant jusqu'à 0,08 ; macle en genou.

Brookite. Quelques fragments incolores avec pointements.

Microcline. Rares particules en voie d'altération dépourvues de contours cristallins.

Minéraux secondaires. *Pyrite*, très répandue dans certains échantillons du fond de la vallée à Beauvais, en grains volumineux informes, en sphérules et en petits cubes.

Orthose se présentant toujours avec les mêmes caractères ; elle forme un peu plus de la moitié du résidu insoluble débarrassé de l'argile. Dim. $0^{mm}04$-5.

Glauconie. Ce minéral tient toujours une place accessoire dans le résidu ; ses caractères sont les mêmes que dans l'assise précédente.

2° **Organismes**. Ils prennent part à la composition de la craie dans la proportion de 1/8 à 1/10.

Mollusques et *Brachiopodes*. Ils ont laissé très peu de débris. Les prismes d'Inocérames sont très rares et presque toujours fragmentaires.

Echinodermes. Quelques volumineuses plaques d'Oursins visibles dans les coupes minces ; plaquettes polygonales beaucoup plus fréquentes dans le résidu organique.

Spongiaires. Ils ne comptent qu'un nombre très limité de représentants : spicules cylindriques calcifiés dans le résidu organique, tronçons cylindriques glauconieux très grêles dans le résidu insoluble.

Foraminifères (5-10 °/₀). Les *Rotalia* sont devenues relativement abondantes. Très peu de coquilles sont intactes dans les sections minces.

Organismes indéterminés. Ils continuent à être très répandus, mais ils sont moins nombreux que dans la craie à *M. c. anguinum*.

3° **Ciment**. Il représente à lui seul environ les neuf dixièmes de la craie. Les *Coccolithes* y tiennent de beaucoup la première place ; les *Rhabdolithes* continuent à être très accessoires. Les menus éléments de calcite, rhomboédriques ou arrondis, n'ont qu'une importance très secondaire.

Résumé. La craie à Bélemnitelles est essentiellement caractérisée :

a. Par la très faible contribution qui lui est fournie par les organismes, visibles en coupes minces ;

b. Par la grande prédominance du ciment, en majeure partie d'origine organique.

6° RÉSULTATS GÉNÉRAUX DE L'ÉTUDE DE LA CRAIE DU PAYS DE BRAY

La craie du Pays de Bray pourrait être soumise à une étude micrographique beaucoup plus détaillée que celle dont je vais maintenant exposer les résultats principaux. En multipliant les niveaux considérés, en recherchant les organismes comme les Ostracodes et bien d'autres dont l'existence est certaine, il serait possible de donner un grand développement à ce chapitre. Je me suis borné à réunir des matériaux en vue d'une étude comparée des craies de plusieurs points du Bassin de Paris.

1° **Minéraux.** *M. détritiques.* Les éléments de transport ne tiennent une place vraiment notable que dans le Turonien, où le résidu insoluble est au maximum de 6 °/₀, dont la plus grande partie est à rapporter à l'argile. Débarrassés de cette substance, ils représentent toujours moins de 1 °/₀, quel que soit le niveau considéré. Comme dans la craie du Nord, le quartz comprend plusieurs catégories d'éléments : grains volumineux, usés et arrondis, grains anguleux avec saillies émoussées, agrégats, éclats et cristaux. Les premiers ont toujours un diamètre supérieur à $0^{mm}1$ et même dans les craies sénoniennes les plus fines, ils mesurent jusqu'à $0^{mm}2$. Il en est qui atteignent $0^{mm}7$ dans le Turonien. Les grains anguleux conservent sensiblement le même diamètre moyen depuis la base du Turonien jusqu'au sommet du Sénonien ; il est de $0^{mm}06$ dans la craie à *I. labiatus* ; il est encore de $0^{mm}05$ dans la craie à Bélemnitelles. La région du Bray n'a donc pas subi le contre-coup du mouvement d'exhaussement qui a troublé la sédimentation dans le Nord au sommet du Turonien et à la base du Sénonien.

Les autres minéraux clastiques que j'ai passés en revue dans chaque assise sont relativement aussi nombreux que dans le Nord. La grande prédominance de la tourmaline verte et la présence du disthène que je n'ai pas reconnu dans la série du Nord sont les particularités les plus importantes à signaler. La notion de pluralité d'origine des éléments détritiques s'impose ici également.

Minéraux secondaires. Orthose. Elle vient en première ligne ; c'est un élément rare dans le Turonien inférieur, mais à partir de la craie à *M. breviporus*, elle constitue sensiblement la moitié du résidu minéral (argile non comprise). Il n'y a d'exception que pour la craie noduleuse où elle est moins fréquente. Ses caractères sont ceux que j'ai décrits en étudiant la craie du Nord. Les dimensions des cristaux restent invariables dans toute la série ($0^{mm}04$-5).

Glauconie. Elle existe à tous les niveaux, mais c'est seulement au sommet du Turonien et à la base du Sénonien — comme dans le Nord — qu'elle tient une grande place dans le résidu minéral. Elle est dans la majorité des cas en relation manifeste, soit avec les coquilles de Rhizopodes, soit avec les débris de Spongiaires. Elle en est souvent indépendante sous forme de grains volumineux et mamelonnés.

Les deux particularités suivantes, observées pour la première fois, méritent de fixer l'attention.

A. Des sphérules résultant du remplissage de chambres de Foraminifères montrent une croix noire très nette (craie à *M. c. anguinum*).

B. Des spicules glauconieux examinés en lumière polarisée parallèle sont vivement colorés sur leurs bords, alors qu'une zone axiale correspondant au canal élargi reste sombre. La distribution des parties biréfringentes et de celles qui s'éclairent très peu est parfois très irrégulière (craies à *M. c. t.* et à *M. c. a.*).

Phosphate de chaux. Il existe d'une façon constante dans les craies à *M. c. testudinarium* et *M. c. anguinum*. Il paraît dériver le plus souvent du tissu osseux des poissons ou des reptiles, et se présente alors sous la forme d'esquilles beaucoup plus volumineuses que les particules clastiques qui les accompagnent. Les grains arrondis d'apparence concrétionnée sont beaucoup plus clairsemés.

Pyrite. Elle existe à tous les niveaux ; elle est particulièrement abondante dans la craie à Bélemnitelles.

Calcite. Les cristaux de cette substance visibles aux plus faibles grossissements n'existent qu'à la base du Sénonien où ils jouent un grand rôle dans la craie noduleuse. Tout démontre qu'ils se sont développés postérieurement à la sédimentation. Mais les circonstances qui ont provoqué leur genèse, de même que celles qui ont déterminé la dissolution de beaucoup d'entre eux restent mystérieuses.

2° **Organismes.** Leur rôle est très variable suivant l'assise considérée. D'une manière générale, leurs débris vont en augmentant depuis la base du Turonien jusqu'au Sénonien inférieur. Ils représentent de 1/3 à 1/2 des craies à *I. labiatus* et à *T. gracilis* ; leur proportion est de 1/2 dans la craie à *M. breviporus*. Ils atteignent leur maximum dans la craie noduleuse dont ils forment les 3/4. La fraction de la roche qu'ils représentent devient successivement de 2/5 (craie blanche à *M. c. testudinarium*), 1/6 (craie à *M. c. anguinum*), 1/8 à 1/10 (craie à Bélemnitelles).

Mollusques et *Brachiopodes.* On en trouve des débris à tous les niveaux, mais les prismes d'Inocérames seuls interviennent pour une part assez notable dans la composition de toutes les craies étudiées. Ils ne sont jamais abondants.

Bryozoaires. Je n'ai reconnu de débris de grandes colonies que dans la craie blanche à *M. c. testudinarium*.

Echinodermes. Des plaques d'Oursins, isolées, s'observent dans les sections minces de la craie noduleuse et des craies à Bélemnitelles. Le résidu de lavage de toutes les craies renferme des plaquettes polygonales peu répandues dans la partie inférieure du Turonien, plus nombreuses dans l'assise à *M. breviporus* et dans la craie noduleuse. Elles pullulent dans la craie blanche à *M. c. testudinarium* dont elles fournissent une excellente caracté-

ristique micrographique et diminuent dans les assises suivantes. D'autres débris non mentionnés comme des radioles microscopiques se rencontrent dans chaque craie.

Spongiaires. Ils ont laissé des vestiges à tous les niveaux, mais ils prennent rang parmi les éléments tout à fait accessoires. Il est exceptionnel qu'ils soient complets. Les spicules sont généralement petits et grêles. C'est au sommet du Turonien et à la base du Sénonien que les formes sont le plus robustes et qu'elles atteignent leur plus grande taille. Les spicules entiers ou tronçonnés sont très rares parmi les éléments insolubles jusque dans l'assise à *M. breviporus*, où ils commencent à représenter une très notable fraction du résidu ; ils se multiplient dans la craie noduleuse, puis ils sont de plus en plus clair-semés ; la craie à Bélemnitelles en est presque dépourvue. Ils sont tous glauconieux sauf les restes de Calcisponges.

Les spicules monoaxes, y compris les rayons dissociés des spicules composés des groupes suivants, sont toujours prépondérants ; peut-être un certain nombre, se rapportent-ils aux *Monactinellidæ*. Les *Tetractinellidæ* ont probablement tenu la première place à tous les niveaux. Les *Lithistidæ* n'ont pas été observées. Les *Hexactinellidæ* n'apparaissent dans le résidu insoluble qu'à la base du Sénonien ; leurs restes sont toujours peu nombreux. L'existence des *Calcispongidæ* paraît certaine dans les craies à *M. breviporus* et à *M. c. testudinarium* ; elle est douteuse dans l'assise suivante. Les spicules que je rapporte à ce groupe sont relativement nombreux aux deux premiers niveaux.

Comme dans le Crétacé du Nord, les faunes de spicules de chaque assise ne sont pas indépendantes les unes des autres mais se relient de la façon la plus étroite par le passage de nombreuses formes d'une assise dans l'autre. Le fait est surtout évident pour la craie à *M. breviporus* et la craie noduleuse qui se sont immédiatement succédé dans le temps et qui sont les plus riches en débris de Spongiaires.

Il est très remarquable que les spicules qui dérivent d'Eponges siliceuses atteignent leur maximum de fréquence et de volume aux mêmes niveaux que dans le Nord et que les débris d'*Hexactinellidæ* fassent leur première apparition dans le résidu à la base du Sénonien dans les deux régions. Maintes formes de spicules sont d'ailleurs communes aux craies à *M. breviporus* et à *M. c. testudinarium*.

Foraminifères. Ils constituent l'élément essentiel de la craie jusques et y compris l'assise à *M. c. testudinarium ;* c'est dans la craie noduleuse qu'ils atteignent leur apogée en composant plus de la moitié du sédiment. Dans le Turonien, ils en forment de un tiers à la moitié. A partir de la craie à *M. c. anguinum*, ils se raréfient beaucoup et passent au rang d'éléments très accessoires dans le Sénonien supérieur.

Les Foraminifères monoloculaires — et en première ligne *Fissurina* — ont le dessus sur toutes les autres formes réunies jusqu'à la craie à *M. c. anguinum* non comprise ; ils sont surtout prédominants dans la craie à *I. labiatus* et à *T. gracilis*. *Textularia* et *Rotalia* restent relativement très rares jusque dans la craie blanche à *M. c. testudinarium*, où ils

commencent à abonder. Ces deux formes l'emportent ensuite jusqu'à la fin du Sénonien, mais par suite de l'appauvrissement graduel de la faune de Rhizopodes dans la série sénonienne, elles sont plus rares si l'on se place au point de vue absolu. Le genre *Globigerina* est uniformément très rare, sauf dans le Turonien inférieur, où il se montre avec quelque fréquence.

Je n'ai observé aucun Foraminifère à test arénacé ; il est probable qu'en étudiant un très grand nombre d'échantillons, on arriverait à en révéler l'existence. Ils sont en tout cas certainement beaucoup plus rares que dans le Nord.

La destruction des coquilles de Rhizopodes par les processus longuement analysés dans l'étude des craies du Nord est un phénomène fréquent dans le Bray.

Diatomées. Quelques carapaces dans la craie à *M. breviporus.*

Corps organiques de position systématique indéterminée. Les éléments que j'ai brièvement décrits à la page 277 existent dans toutes les craies turoniennes et sénoniennes, mais en très petit nombre, jusqu'à l'assise à *M. c. anguinum.* Ils constituent un élément fondamental de cette craie, et continuent à être très répandus dans l'assise à Bélemnitelles où ils sont en perte.

3° **Ciment.** Comme son développement est en raison inverse de celui des organismes, on peut s'assurer par la considération des différentes proportions qui donnent la fréquence des organismes que c'est dans le Sénonien supérieur qu'il est le plus abondant. Sauf pour la craie noduleuse, il constitue au moins la moitié de chaque échantillon. A partir de l'assise à *M. c. anguinum* il devient très prépondérant et dans la craie à Bélemnitelles il va jusqu'à représenter les 9/10 du dépôt.

En laissant de côté les menus débris organiques (plaquettes d'Echinodermes, débris de Rhizopodes et d'autres coquilles, organismes indéterminés) on peut dire que les éléments qui concourent le plus à la formation du ciment sont des *Coccolithes*, des *Rhabdolithes* et la calcite. Sauf pour la craie noduleuse, la calcite est en minorité et les Coccolithes viennent de beaucoup en première ligne. Les Rhabdolithes sont toujours très accessoires. L'argile n'intervient d'une façon notable que pour les assises inférieures du Turonien.

Résumé et Conclusions. On retrouve dans la craie du Pays de Bray l'empreinte très marquée de chacun des trois facteurs essentiels qui concourent à la genèse de presque tous les dépôts sédimentaires.

A. Elle n'est redevable à l'*activité mécanique* que d'une portion insignifiante de ses éléments, mais beaucoup de ceux qui procèdent d'une autre origine ont été façonnés par elle. Un grand nombre de débris organiques lui doivent leur état fragmentaire actuel. C'est encore elle qui a assuré la dissémination et la distribution uniforme des éléments minéraux et organiques.

B. La part qui revient aux *agents organiques* est considérable ; elle est trop évidente pour que je m'attache à mieux la préciser.

C. L'*activité chimique* a également laissé des traces à tous les niveaux. Elle a été beaucoup plus importante qu'elle ne le paraît à première vue. Il convient de lui rapporter la formation des minéraux secondaires : *glauconie*, *orthose*, *phosphate de chaux*, *silex*, etc. Elle a déterminé la structure noduleuse d'une partie de la craie à *Micraster cor testudinarium*. On lui doit encore les menus éléments de calcite qui font partie intégrante du ciment de toutes les craies. Enfin elle a pris part à la destruction des Foraminifères.

7° Appendice

CRAIE A *Micraster cor testudinarium* DE MARIEUX (SOMME)

Parmi les différentes craies que j'ai étudiées entre le Nord et le Bray, celle qui est exploitée pour pierre de taille à Marieux (Somme) présente au point de vue organique un intérêt tel qu'il me paraît nécessaire de la considérer à part. La craie en question appartient tout à fait à la base de l'assise à *M. c. testudinarium*. Elle est synchronique de la base de la craie à bâtir (banc du tun) de Lezennes, du sommet de la craie glauconieuse et phosphatée du Cambrésis et de la craie glauconieuse du Nord de l'Aisne.

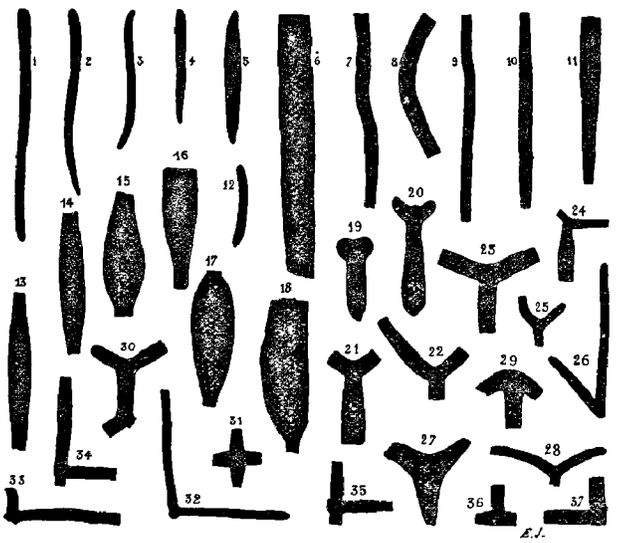


Fig. 13. Spicules de la craie à *Micraster cor testudinarium* de Marieux (Somme) (Gross. 45 diam.)

Au point de vue minéral, elle est caractérisée par un résidu très notable formé d'éléments assez volumineux, montrant que l'influence du mouvement d'exhaussement du fond de la mer, qui a profondément modifié le sommet du Turonien et la base du Sénonien du Nord, a eu une répercussion jusque dans la Somme. Le quartz et la glauconie y sont très répandus.

La craie de Marieux renferme des débris de Spongiaires dont la figure 13 ne donne qu'une idée très faible, tant ils sont nombreux et variés. Le résidu ne comporte que des formes glauconieuses. Elles se répartissent entre les groupes suivants :

A. *Spicules monoaxes*. Ce sont les plus nombreux. Les numéros 1-18 mettent en évidence leurs variations de forme et de taille. Je signale tout spécialement les bâtonnets fusiformes 13-18 qui sont très répandus ; je les ai signalés en grand nombre au même

niveau dans le Nord et qu'on retrouve dans le Bray. Ces spicules se répartissent très probablement entre les *Monactinellidæ* et les *Tetractinellidæ*.

B. *Tetractinellidæ*. J'ai rapporté à ce groupe :

a. Spicules à quatre rayons dont trois sont rudimentaires (19 et 20) ; *b*. spicules à quatre rayons droits ou courbes, cylindriques, coniques ou en forme de troncs de cône (21 28).

Je lui attribue avec doute la forme en ancre 29 et l'ancre d'affourche incomplète 30.

C. *Hexactinellidæ*. Les spicules 31 à 37 qui représentent cet ordre appartiennent probablement tous au *Lyssakina*. Ils ont pour la plupart des rayons grêles, cylindriques et souvent très incomplets ainsi que l'indique la figure.

Si j'appelle tout particulièrement l'attention sur cette faune de spicules, c'est en raison de *l'existence d'un grand nombre de formes communes à la craie de Marieux et à celle qui occupe exactement le même niveau dans le Nord*. La comparaison des fig. 9 (p. 245) et 13 ne fait malheureusement pas bien ressortir la parenté étroite de ces faunes, parce que les types qui comportent un très grand nombre de représentants dans le résidu occupent la même place sur ces figures que les spicules les plus rares.

CHAPITRE VIII

CRAIE DE LA RÉGION DE ROUEN

Sommaire. — 1°. Craie à *Actinocamax plenus*, 286. — 2°. Craie à *Inoceramus labiatus*, 288 ; Craie à *Rhynchonella Cuvieri* et *Terebratula semiglobosa*, 289. — 3°. Craie à *Terebratulina gracilis*, 289. — 4°. Craie à *Micraster breviporus*, 293 ; Structure noduleuse, 295. — 5°. Craie à *Micraster cor testudinarium*, A. Craie de la base de l'assise, 296. B. Partie moyenne de l'assise, 297. — 6°. Craie à *Micraster cor anguinum*, 299. — 7°. Craie à Marsupites, 300.

8°. Résultats généraux de l'étude de la craie de la région de Rouen, 303. *Minéraux*, 303. — *Organismes*, 303. — *Ciment*, 306. — Résumé et conclusions, 306.

La série crétacée des environs de Rouen s'arrête à la craie à *Micraster cor anguinum*. J'en ai étudié les différents termes à partir de la zone à *Actinocamax plenus*. Elle débute à Rouen par un lit noduleux dur, à surface verdie et tachée de rouille. C'est le niveau de l'*Actinocamax plenus*. Puis viennent les divisions suivantes avec une égale épaisseur :

Craie tendre avec parties argileuses, dépourvue de silex. *Inoceramus labiatus* y abonde.

Craie avec cordons de silex espacés de 1 à 2 m., avec *Echinoconus subrotondus* et *Rhynchonella Cuvieri*.

Craie blanche tendre avec *Terebratulina gracilis*, se chargeant peu à peu de silex et passant à la craie blanche proprement dite par l'intermédiaire d'un niveau où *T. gracilis* est associé à *Micraster breviporus* et *Holaster planus*.

On attribue environ 60 m. de puissance à cet ensemble de couches.

Elles sont surmontées par la craie blanche sénonienne avec silex disposés en nodules isolés, en chaînes ou en lits continus.

Tous les échantillons qui m'ont servi à préparer l'étude qui va suivre ont été recueillis par M. Le Marchand, que je suis heureux de remercier ici. La proportion d'éléments insolubles ainsi que la teneur en carbonate de chaux n'ont pas été recherchées.

1° CRAIE A *Actinocamax plenus*

Caractères lithologiques. C'est une roche grise d'apparence marneuse et d'inégale dureté. Sa cassure est grenue dans les parties les moins cohérentes et presque unie dans les portions les plus dures. Elle est finement pointillée de glauconie ou parsemée de grandes taches vertes irrégulièrement distribuées, auxquelles s'associent des macules roussâtres généralement moins apparentes. Elle ne renferme aucun silex.

1° **Minéraux.** *M. détritiques.* Le résidu minéral est important. Il renferme une assez forte proportion d'argile. Le quartz s'y présente en grains anguleux avec arêtes émoussées, mesurant en moyenne $0^{mm}12$ de diamètre. Il est assez répandu pour que chaque préparation en montre quelques grains. Il est accompagné dans le résidu d'un très grand nombre d'autres espèces minérales, parmi lesquelles le *zircon* est très prédominant.

Minéraux secondaires. Glauconie. Elle est très abondante et l'emporte sur les particules de transport. On la trouve dans les chambres de Foraminifères; elle occupe le canal élargi de beaucoup de spicules ou épigénise partiellement le test des Mollusques. Dans le résidu insoluble, elle est représentée par d'innombrables grains sphériques, ovoïdes ou mamelonnés, plus volumineux que les coquilles de Foraminifères. Des moulages de coquilles de Rhizopodes leur sont associés; leur nombre est relativement très restreint.

La glauconie donne encore naissance à de grandes taches visibles à l'œil nu; au microscope elles sont parfois très étendues. Elles se résolvent en grains bien individualisés et surtout en *glauconie pigmentaire* intimement associée aux éléments les plus ténus de la craie. Les organismes restent étrangers à la formation de cette variété de glauconie. On la trouve très développée autour de Foraminifères dont les loges sont remplies de la même substance qui compose le ciment. Le phénomène de la production de ces taches vertes ne consiste pas en une simple interpénétration des particules du ciment par la glauconie, mais en une véritable épigénie de carbonate de chaux. La glauconie pigmentaire est nettement postérieure au dépôt de la craie.

En certains points, le ciment change brusquement de coloration et passe du gris au jaune. A la limite des plages de couleur différente, la glauconie forme parfois une traînée que l'on suit sur une largeur appréciable. Tout se passe comme si cette substance formait une sorte d'enduit à la surface d'un corps étranger inclus dans la craie.

Limonite. Elle est partout dans les sections minces sous la forme de grains ou de pigment colorant en jaune de très grandes plages. *On la rencontre également sur l'emplacement de quelques spicules.* La limonite est un produit d'altération de la glauconie; on peut le démontrer pour un certain nombre d'éléments qui se décomposent en un ou plusieurs noyaux de glauconie entourés d'une auréole de limonite.

Phosphate de chaux. Il forme des grains d'un jaune clair limpide, tantôt de forme

arrondie, tantôt allongés en bâtonnets de section rectangulaire. Les uns et les autres polarisent comme l'apatite et s'éclairent d'une teinte uniforme. Ceux qui présentent un allongement marqué s'éteignent rigoureusement en long. *Le phosphate de chaux est ici à l'état de véritable apatite.*

2° **Organismes.** Ils prennent une part prépondérante à la composition de la craie de ce niveau.

Mollusques et *Brachiopodes.* Leurs débris n'existent qu'en très faible proportion ; les prismes d'Inocérames sont très clairsemés dans les coupes minces.

Spongiaires. Ils sont représentés dans les préparations par des bâtonnets monoaxes fragmentaires ou complets, rectilignes ou arqués, cylindriques ou fusiformes. Les plus volumineux se voient à l'œil nu en examinant les sections par transparence. Je n'ai observé que de très rares formes tétraradiées. Il semble donc que la faune de spicules isolés dans la craie de ce niveau soit essentiellement composée de spicules uniaxes et d'un petit nombre de formes se référant sans aucun doute aux *Tetractinellidæ.* On peut évaluer à 1/10 - 1/8 environ la surface occupée par les spicules dans chaque préparation. A l'exception d'un très petit nombre qui sont glauconieuses, toutes les formes observées sont calcifiées. La forte proportion de spicules siliceux accumulés dans cette craie donne une idée de l'énorme quantité de silice qui a été mise en liberté par la calcification des spicules. Cette substance a émigré du dépôt puisque les silex manquent à ce niveau.

Foraminifères (50-60 %). La faune des Foraminifères de la craie à *Act. plenus* est caractérisée par la coexistence de nombreuses coquilles monoloculaires, telle que *Fissurina,* et de formes plus complexes comme *Textularia, Rotalia* et *Globigerina* et de beaucoup d'autres de plus grande taille, généralement incomplètes. Elle est très variée. Le nombre des Foraminifères monothalames est sensiblement égal à celui des formes pluriloculaires. Les Globigérines sont relativement peu fréquentes. Chaque préparation renferme un ou deux Foraminifères à test arénacé.

Les coquilles brisées sont nombreuses; leur état fragmentaire est d'origine mécanique et chimique.

3° **Ciment.** Dans les points où les débris organiques sont accumulés en grand nombre, ils représentent environ les *quatre cinquièmes* de la roche, mais celle-ci est remarquable par son peu d'homogénéité. En moyenne, ils forment les trois cinquièmes du dépôt. Le ciment qui comprend les deux autres cinquièmes se décompose en *Coccolithes* dont le nombre est très limité, et surtout en carbonate de chaux cristallin. La fine poudre impalpable qui reste très longtemps en suspension dans l'eau après le lavage de la craie renferme un peu d'argile qui donne à l'eau une teinte légèrement verdâtre, mais elle est essentiellement composée de rhomboèdres de calcite et d'éléments arrondis qui se relient aux petits cristaux de calcite par une foule d'intermédiaires. Il faut recourir aux plus forts grossis-

sements pour bien en distinguer les caractères morphologiques. Les produits de lavage de la craie contiennent un assez grand nombre de volumineux rhomboèdres.

Résumé. La craie à *Act. plenus* de Rouen se signale par les caractères suivants: *a.* Importance du résidu minéral; *b.* grand développement de la glauconie; *c.* présence constante du phosphate de chaux dans les coupes minces; *d.* prédominance des micro-organismes; *e.* grande fréquence de spicules calcifiés, dérivant d'Eponges à squelette siliceux; *f.* rôle prépondérant des Foraminifères avec formes mono- et pluriloculaires en nombre égal; *g.* ciment en majeure partie organique.

C'est une craie à Foraminifères nombreux et variés et à spicules calcifiés.

2° CRAIE A *Inoceramus labiatus*

Craie blanche faiblement grisâtre, parsemée de grandes taches de limonite; cassure finement grenue. Les silex manquent.

1° **Minéraux.** Les particules détritiques sont incomparablement moins répandues que dans la craie précédente; l'argile est encore largement représentée. Le nombre des grains de quartz visible dans les sections minces est réduit à un ou deux; diam. moyen, $0^{mm}08$-9.

La *glauconie* est absente dans les préparations et excessivement rare dans le résidu.

2° **Organismes.** *Mollusques* et *Brachiopodes.* Leurs débris et notamment les prismes d'Inocérames ont notablement augmenté, mais ce sont encore des éléments accessoires.

Spongiaires. Leurs débris font absolument défaut dans le résidu insoluble des échantillons étudiés.

Foraminifères. Ils forment au moins les *quatre cinquièmes* de la roche. Ce sont par ordre de fréquence *Fissurina, Orbulina, Textularia, Rotalia, Globigerina.* Les genres monoloculaires représentent à eux seuls 95 à 98 % de toute la faune de Rhizopodes. *Fissurina* est extraordinairement abondante. Ces formes sont parfois accumulées en telle quantité que leurs sections sont littéralement juxtaposées dans les coupes minces. Les Foraminifères à test arénacé sont très rares.

Le nombre des individus fragmentaires est très réduit. Quelques-uns sont en voie de dissolution sur place; le carbonate de chaux de la coquille qui disparaît fait place à de menues particules qui ne diffèrent pas dans les préparations des plus petits éléments du ciment. Tous les Foraminifères monoloculaires ont un test très épais.

Le grand développement des Rhizopodes à une seule loge donne aux sections minces une physionomie très particulière que la figure 1 (Pl. IX) qui se rapporte à la craie à *I. labiatus* du Pays de Bray ne traduit que très imparfaitement.

Organismes indéterminés. Les éléments indéterminés qui jouent un si grand rôle dans la craie sénonienne supérieure du Bray font leur apparition en très petit nombre.

3° **Ciment.** La place qui lui est réservée est très restreinte. Il est composé de

Coccolithes moins rares que dans la craie à *Act. plenus*, de *Rhabdolithes* dont je n'avais rencontré aucun représentant à ce niveau et de calcite en petits cristaux ou en granules de forme globuleuse ou subrhomboédrique. Le carbonate de chaux secondaire est surtout développé dans les chambres de Foraminifères où il est très largement cristallisé. La plupart de ces organismes en sont remplis ; un certain nombre ont leur cavité oblitérée par une matière identique au ciment ; d'autres sont vides.

Chaque section mince montre quelques vides de forme rhomboédrique qui sont à rapporter à des cristaux de calcite disparus.

Résumé. La craie à *I. labiatus* tire sa caractéristique de ses Rhizopodes calcaires. On peut la définir *une craie à Foraminifères monoloculaires*. La comparaison de cette craie et celle de l'assise précédente met en évidence de grandes différences qui permettent de les distinguer par un rapide examen microscopique.

Craie à *Rh. Cuvieri* et *Terebratula semiglobosa*. J'ai étudié un échantillon recueilli entre l'horizon précédent et le suivant caractérisé par *T. gracilis*. C'est une craie avec silex en chaînes assez régulièrement espacées, renfermant *Rh. Cuvieri* et *T. semiglobosa*. Elle offre un grand intérêt en ce sens qu'elle s'écarte considérablement, comme composition organique, des craies entre lesquelles elle est comprise. Je me bornerai à mentionner ses traits essentiels : Les débris d'Inocérames sont nombreux à ce niveau et représentent jusqu'au tiers de la roche dans certaines plages ; mais en moyenne leur proportion est inférieure à un dixième. Les Foraminifères monoloculaires sont presque exclus de la craie et font place à de nombreux *Textularia*, *Rotalia*, à des *Globigerina* beaucoup plus rares, à des *Bulimina* et à quelques *Nodosaria*. La différence de cette faune de Rhizopodes avec la précédente est radicale.

3° CRAIE A *Terebratulina gracilis*

L'échantillon a été prélevé à la base de l'assise. Ses caractères pétrographiques ne diffèrent pas sensiblement de ceux de la craie à *I. labiatus*. La craie est blanche, faiblement grisâtre et finement grenue. Elle renferme des silex noirs en chaînes assez régulièrement espacées.

1° **Minéraux**. Les minéraux détritiques manquent complètement dans les coupes minces. Le résidu contient encore une notable proportion d'argile. Il n'y a pas de différence appréciable entre les éléments de transport de cette craie et ceux de la précédente. Le diamètre des grains est le même, $0^{mm}08$-9 ; il en est qui atteignent $0^{mm}2$. La glauconie est presque absente.

2° **Organismes**. L'ensemble des organismes représente une proportion qui varie de un tiers à un demi. Leur distribution est inégale.

Mollusques. Les prismes d'Inocérames sont beaucoup plus rares que dans les craies des niveaux inférieurs.

Bryozoaires. Fragments de grandes colonies très rares réduits à quelques cellules.

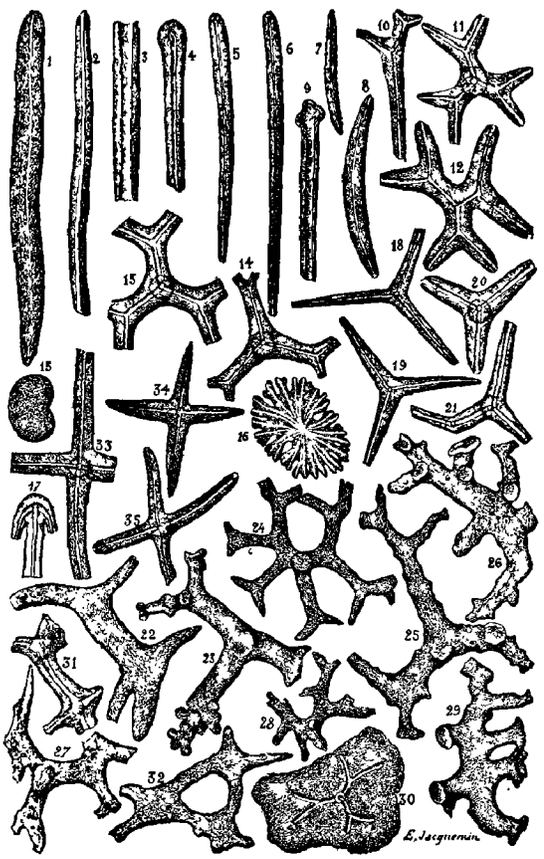


Fig. 13. Spicules de la craie à *Terebratulina gracilis* de la région de Rouen (Gross. 40 diam.)

Echinodermes. Plaquettes hexagonales ou polygonales irrégulières relativement très fréquentes dans le résidu de lavage.

Alcyonaires. Je leur rapporte avec doute de petits spicules calcaires irréguliers.

Spongiaires. Si l'on s'en tenait à la considération exclusive des sections minces, on serait amené à conclure qu'ils sont presque absents. L'attaque prolongée de la craie à *T. gracilis* par un acide faible met en liberté un résidu notable dans lequel les spicules de Spongiaires tiennent la seconde place. Ils sont très nombreux et très variés de forme. C'est une des faunes de spicules les plus riches et les plus intéressantes que je connaisse dans la craie. Tous les ordres d'Eponges siliceuses sont représentés. La fig. 13 n'en donne qu'une idée très incomplète. Elle ne montre qu'une portion excessivement réduite des formes que l'on rencontre à ce niveau et dont je me bornerai à énumérer ici les principales.

A. *Spicules monoaxes.* Ils comprennent presque toutes les variétés morphologiques qu'ils sont susceptibles de présenter et dont quelques-unes se voient dans la figure 13 (1-9). Plusieurs se rapportent aux *Monactinellidæ;* les autres se rattachent aux *Tetractinellidæ* et aux *Lithistidæ.*

B. *Tetractinellidæ.* Les différents spicules que l'on peut attribuer à ce groupe présentent les formes suivantes :

a. Spicules en forme de trident, prolongé sous forme de hampe (10) ; il en est qui se rapportent certainement aux *Geodia.*

b. Spicules en ancre d'affourche (11-14 et 21 ?) ; très abondants.

c. Formes simples à quatre rayons coniques égaux ou non (18-20) ; elles sont assez fréquentes (*Pachastrella*).

d. Corpuscules ovoïdes, cylindriques ou réniformes (15) ; très rare (= spicules dermiques de *Geodites* et genres voisins).

e. Disques étoilés (16) très rares (= spicules dermiques de *Stelletites* ?)

C. *Lithistidæ*. Leurs spicules sont les plus répandus parmi les formes polyaxes. Des quatre familles entre lesquelles cet ordre se partage, trois sont représentées :

a. *Rhizomorina*. Spicules du squelette branchus, irréguliers, couverts d'expansions radiciformes diverses, plus ou moins compliquées et de protubérances noueuses (25, 26, 27? et 29). Assez fréquents.

b. *Megamorina*. Spicules du squelette, lisses, arqués, irrégulièrement ramifiés ou simplement bifurqués aux deux bouts (22). Assez rares.

c. *Tetracladina*. Spicule du squelette à quatre rayons épaissis ou bifurqués à leur extrémité (23). Spicules dermiques pourvus d'un grand nombre de bras (24 et 28), disques siliceux simples ou lobés (30). Les spicules de *Tetracladina* sont abondants et principalement les formes superficielles.

Il est de toute évidence qu'un certain nombre d'aiguilles monoaxes, voire même des ancres d'affourche, qui font partie du résidu, sont à considérer comme des spicules superficiels de *Lithistidæ*. Il est impossible de les rapporter à leurs familles respectives.

D. *Hexactinellidæ*. Ce groupe est représenté par un nombre assez restreint de formes qui se rangent dans les deux sous-ordres *Dictyonina* et *Lyssakina*.

a. *Dictyonina*. Les spicules soudés entre eux pour donner naissance à des treillis continus sont très fragmentaires. Ce sont les plus rares (31, 32 et 33?).

b. *Lyssakina*. Les spicules hexaradiés libres, qui étaient simplement maintenus en place par le sarcode, sont plus fréquents (34 et 35).

La faune de Spongiaires de la craie à *T. gracilis* est la plus variée et la plus complète de toutes celles que j'ai étudiées jusqu'à présent dans le Bassin de Paris. Son intérêt est d'autant plus grand que les craies turoniennes du Nord, de la Somme et du Bray que j'ai passées en revue ne commencent à renfermer une notable proportion de spicules qu'à partir de la craie à *M. breviporus*, et que les assises à *I. labiatus* et à *T. gracilis* se sont montrées d'une exceptionnelle pauvreté en spicules.

L'étude détaillée de cette faune, que je me propose de faire ultérieurement, exigerait de trop longs développements pour qu'elle puisse prendre place ici. Je me contenterai de noter les points suivants :

A. L'abondance et la variété des restes de *Lithistidæ* en sont l'un des traits les plus caractéristiques. C'est par centaines qu'on peut les observer dans le résidu insoluble d'un morceau de craie de la grosseur du poing. Quel que soit le niveau auquel elles appartiennent, les craies précédemment décrites n'en renferment aucun vestige dans leur résidu — ce qui est le cas tout à fait général — ou elles en sont d'une excessive pauvreté.

B. Le deuxième trait important qui mérite d'être souligné, c'est l'existence de débris d'*Hexactinellidæ*. Dans les craies du Nord, de la Somme et du Bray que j'ai étudiées, les spicules de ce groupe n'apparaissent dans le résidu qu'avec les premières couches sénoniennes.

C. Le mode de fossilisation des spicules est une troisième particularité du plus haut intérêt. Règle générale, les spicules dont j'ai noté la présence dans les craies des trois régions mentionnées ci-dessus sont ou glauconieux ou calcifiés. Dans la craie à *T. gracilis* de Rouen, ils n'ont subi qu'une transformation beaucoup moins complexe, souvent même insignifiante; leur silice est monoréfringente. Nombre de formes sont conservées sans modifications sensibles; leur canal est représenté par un simple trait; la silice n'a subi aucune différenciation et se montre parfaitement homogène. Mais le plus souvent le canal est élargi et l'opale laisse apercevoir des corpuscules en forme de croissant ou de couronne comme ceux dont j'ai cité maints exemples à propos des gaizes. L'épigénie par la glauconie est très rare.

Radiolaires. Les quelques formes qui relèvent de ce groupe sont parfaites de conservation. J'ai reconnu le genre *Cenosphæra* et quelques individus de la famille des *Lithocampida.*

Foraminifères. Les formes monoloculaires (*Fissurina*) continuent à prédominer. Les *Textularia* se multiplient. *Rotalia* et *Globigerina* sont toujours très rares. Un grand nombre de coquilles sont vides.

Il y a une réduction importante dans le nombre des Rhizopodes, du moins dans l'échantillon étudié. Au sommet de l'assise et immédiatement en-dessous de la craie noduleuse à *M. breviporus*, ils redeviennent très abondants et forment au moins les trois quarts du sédiment. Les Foraminifères monoloculaires y sont en très grande majorité.

On trouve à ce niveau des *Textularidæ* de grande taille à test arénacé. Les fragments d'origine mécanique sont rares. Par contre la destruction sur place paraît être un phénomène d'une grande généralité. Toutes les manières d'être des Foraminifères en voie de dissolution que j'ai analysées en détail en étudiant le banc des roux de Lezennes se retrouvent ici : A. Il y a destruction partielle ou totale de la coquille sans que l'organisme laisse la moindre trace de son existence. B. Le test est remplacé par de la calcite beaucoup plus pure que le carbonate de chaux du ciment; son emplacement est marqué par une zone claire, plus large que l'épaisseur du test disparu. C. Enfin le test et la boue crayeuse enfermée dans la coquille sont transformés en calcite.

Organismes indéterminés. Ils sont en très petit nombre comme dans le niveau précédent.

3° **Ciment.** Le liquide d'apparence laiteuse que l'on obtient par le lavage de la craie montre que cette partie de la roche est très développée. Il forme à lui seul de la moitié aux deux tiers de la craie. Les *Coccolithes* jusqu'ici relégués au rang d'éléments accessoires sont très répandus. Les *Rhabdolithes* continuent à être rares. Le carbonate de chaux inorganique perd de son importance relative. On trouve dans chaque préparation des vides quelquefois assez nombreux correspondant à des rhomboèdres disparus et dont la forme est bien conservée.

Un élément du ciment qui n'apparaît pas dans les sections minces, c'est l'*opale.* Elle tient la meilleure place parmi les matériaux insolubles. Elle existe soit en globules libres

d'une excessive petitesse répandus à profusion dans le résidu, soit en masses sphériques, ovoïdes ou irrégulières dont beaucoup rappellent à s'y méprendre l'aspect des Radiolaires du groupe des *Spongurida*. Ces corps sont d'une très grande fréquence dans le résidu.

Résumé et Conclusions. Par ses spicules et surtout par l'opale disséminée dans le dépôt, la craie à *T. gracilis* tient en réserve un volume considérable de silice invisible à l'œil nu et qui, convertie en silex, aurait notablement modifié la physionomie du sédiment. Non-seulement cette craie a conservé ses spicules intacts, mais elle s'est enrichie en silice. Dans quelles conditions spéciales s'est-elle trouvée pour que son histoire soit si différente des autres, c'est ce que je n'ai pu établir? La conservation des spicules en grand nombre dans un état si voisin de leur état initial, est aujourd'hui un fait presque unique dans le Bassin de Paris et dans toute la craie d'Europe.

Les principaux caractères de la craie à *T. gracilis* sont :

a. Notable réduction du nombre des organismes; *b*. présence d'abondants débris d'Echinodermes; *c*. existence d'une faune très riche de spicules admirablement conservés, représentant tous les ordres de Spongiaires à squelette siliceux; *d*. présence de Radiolaires; *e*. existence de Foraminifères à test arénacé; *f*. dissolution de Foraminifères; *g*. multiplication des Coccolithes; *h*. grand développement du ciment; *i*. existence d'opale disséminée dans la craie formant la plus grande partie du résidu insoluble.

4° CRAIE A *Micraster breviporus*

Caractères lithologiques. Craie gris jaunâtre, noduleuse, à cassure grenue. Les parties dures se fondent insensiblement sur leurs bords avec la craie normale. Les surfaces soumises à l'action prolongée d'une brosse très fine, montrent de menus débris organiques incomparablement plus nombreux et plus grossiers que les craies précédemment étudiées. Silex noirs en nodules séparés.

1° **Minéraux.** *M. détritiques.* La quantité de résidu est très faible. L'argile en constitue un élément peu important. Le diamètre moyen du quartz est descendu à $0^{mm}06$-7. Quelques grains dépassent $0^{mm}01$.

Minéraux secondaires. Phosphate de chaux. Il existe sous trois formes : A. phosphate jaune serin, sans action sur la lumière polarisée, toujours en relation avec les Foraminifères dont il remplit les chambres; B. grains d'un jaune pâle limpide, réagissant sur la lumière polarisée, en éléments jaunes souillés par un grand nombre d'impuretés et complètement monoréfringents; C. rudiments de nodules représentés par du phosphate épigénisant partiellement de petites plages de la craie. Sous cette dernière forme, le phosphate s'est certainement fixé dans la roche après la sédimentation. J'ai déjà formulé pareille conclusion en étudiant la craie du même niveau dans le Nord.

D'après un travail tout récent de M. Strahan [1] le phosphate de chaux existe en Angleterre dans une craie du même horizon.

Glauconie. Elle représente la plus grande partie du résidu minéral et pseudomorphose des spicules de Spongiaires.

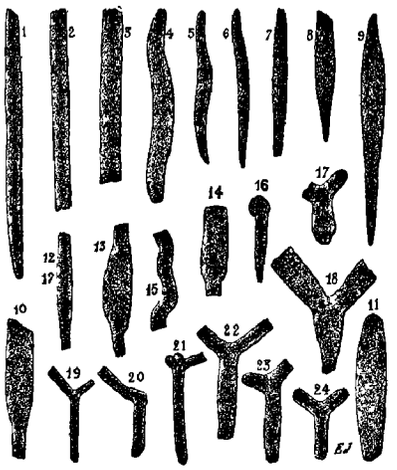


Fig. 14. Spicules glauconieux de la craie à *M. breviporus* de la région de Rouen (Gross. 45 diam.)

2° **Organismes.** Ils forment à peu près la moitié de la craie.

Mollusques et *Brachiopodes.* Leurs débris sont plus nombreux que dans les autres assises turoniennes. Les prismes d'Inocérames se sont multipliés.

Bryozoaires. Ils ont fourni peu d'éléments à cette craie. On n'en trouve pas un fragment en moyenne dans chaque préparation.

Echinodermes. Le nombre des plaques polygonales s'est encore accru. Elles forment une des principales caractéristiques du limon obtenu par le lavage de la craie. Chaque préparation renferme de volumineuses plaques d'Oursins.

Spongiaires. Tous les spicules que l'on rencontre dans les sections minces sont calcifiés. Ce sont des bâtonnets cylindriques ou fusiformes et des spicules tétraradiés. Ils représentent au plus *le vingtième* de la craie. On ne trouve dans le résidu que des spicules glauconieux assez peu répandus. Quelques-uns sont figurés ci-dessus (fig. 14). Ils se répartissent entre les groupes suivants :

A. *Spicules monoaxes.* Ils prédominent. Ce sont des bâtonnets presque toujours incomplets dont les principales formes sont :

a. cylindriques (2 et 3).
b. fusiformes et rectilignes à extrémités presque toujours tronquées (1, 4-14). Cette catégorie comprend une grande variété de formes.
c. bâtonnets flexueux de diamètre uniforme (15).
d. spicules en épingle, très rares (16).

Ceux des deux premières catégories sont les plus abondants.

B. *Tetractinellidæ.* Le nombre de représentants glauconieux de ce groupe est très restreint. On en peut prendre une idée par les figures 17-24. Il faut certainement lui subordonner un grand nombre de bâtonnets que j'ai rangés sous la rubrique « spicules monoaxes » et dont beaucoup ne sont que des rayons dissociés de spicules multiradiés.

En se reportant aux figures que j'ai données pour les craies à *M. breviporus* du

1. A. STRAHAN. On a phosphatic Chalk, etc., *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol. 52, pp. 463-476 (1896).

Nord de la Somme et du Bray, on sera certainement frappé de l'existence de formes communes; l'examen des figures pourrait faire conclure à tort qu'elles sont limitées à quelques unités. Elles sont au contraire très répandues en chacun des points indiqués.

Radiolaires. J'ai reconnu quelques formes calcifiées appartenant aux *Stichocyrtida* et probablement à la famille des *Phormocampida.*

Foraminifères (50-75 %). Les Foraminifères à une seule loge et surtout *Fissurina* continuent à prédominer, mais les individus pluriloculaires sont de plus en plus nombreux. Les *Textularia* se multiplient. *Rotalia* reste stationnaire et conséquemment très rare. *Globigerina* est relativement très fréquente. Chaque préparation en renferme un nombre très notable. Une place tout à fait à part revient aux Foraminifères à test arénacé. Ils appartiennent presque tous aux *Textularidæ*. J'ai mentionné l'existence de ces formes à tous les niveaux turoniens où ils étaient peu répandus. Chaque préparation de la craie en question en renferme une dizaine d'individus.

La destruction des coquilles est ici poussée très loin. La fragmentation de beaucoup de Foraminifères est d'origine mécanique; des formes de fond ont leur coquille brisée. La destruction du test par voie chimique est un phénomène général à ce niveau. Tous les stades de dissolution décrits pour la craie du banc des roux de Lezennes sont représentés (voir p. 250).

Organismes indéterminés. Leur nombre a notablement augmenté.

3° **Ciment.** Il forme au plus la moitié de la craie. Les *Coccolithes* se multiplient. Ces corps se signalent par une taille généralement plus grande que dans les assises inférieures. Les *Rhabdolithes* sont plus nombreux tout en conservant leur rôle secondaire. Coccolithes et Rhabdolithes réunis l'emportent de beaucoup sur le carbonate de chaux inorganique du ciment. Celui-ci présente toujours les mêmes caractères. Comme dans la craie à *T. gracilis*, on trouve dans les sections minces des vides correspondant à la disparition de cristaux de forme rhomboédrique.

Structure noduleuse. L'apparence noduleuse de la craie se traduit au microscope par une simple différenciation du ciment. Celui-ci composé comme je viens de le dire s'observe dans la craie normale. Quant aux noyaux durs, ils sont localisés dans les points où il a subi un commencement de cristallisation. Les plages modifiées sont plus claires; les éléments du ciment sont plus volumineux. On y reconnaît de petits rhomboèdres. Les Foraminifères inclus dans ces parties plus cristallines sont en partie détruits. La limite des plages ainsi modifiées est tantôt indécise, tantôt très nettement tracée; et dans ce dernier cas la métamorphose de la craie s'arrête brusquement.

Il est impossible de dater d'une façon précise cette transformation partielle du ciment; elle est certainement postérieure au dépôt de la craie. Le fait que la texture noduleuse se retrouve au même niveau, sur une aire immense — s'étendant en France et en Angle-

terre — conduit à admettre qu'elle a dû prendre naissance sur le fond de la mer, immédiatement après la sédimentation.

Les caractères essentiels de la craie à *M. breviporus* sont :

a. Présence constante d'éléments phosphatés dans les coupes minces ; *b*. multiplication des restes d'Échinodermes ; *c*. fréquence relative des débris de Spongiaires; *d*. réduction de la proportion de Rhizopodes calcaires monoloculaires; *e*. fréquence des Foraminifères à test arénacé; *f*. prédominance des Coccolithes et Rhabdolithes sur les éléments calcaires inorganiques du ciment ; *g*. commencement de cristallisation locale du ciment, donnant naissance à la structure noduleuse.

5° CRAIE A *Micraster cor testudinarium*

J'ai étudié deux niveaux de cette craie : A. la base de l'assise; B. sa partie moyenne.

A. Craie de la base de l'assise à *M. c. testudinarium*

Craie blanche tendre traçante, présentant un grain beaucoup plus fin que la craie du sommet du Turonien.

Silex en rognons gris noir, disposés en chaînes espacées de $0^{m}60$.

1° **Minéraux.** On ne voit ni quartz ni glauconie dans les sections minces. Le résidu insoluble est très faible. Les éléments de quartz mesurent en moyenne $0^{mm}06$; les plus volumineux dépassent $0^{mm}01$. L'*orthose* vient au premier rang par sa fréquence. Ses cristaux sont remarquablement frais. La glauconie est très rare; aucune de ses particules ne représente un moulage de Foraminifère.

2° **Organismes.** L'ensemble des organismes complets et vestiges de coquilles de toutes dimensions équivaut approximativement au tiers de la roche.

Mollusques. Prismes d'Inocérames plus nombreux que dans les craies turoniennes étudiées. Beaucoup sont cassés.

Bryozoaires. Fragments anguleux de grandes colonies sous la forme de longues cellules isolées ou groupées. Ils dérivent tous de *Cyclostomata.*

Échinodermes. Les plaques polygonales tiennent une très grande place dans les produits de lavage.

Spongiaires. On reconnaît quelques spicules tétraradiés très grêles et très élégants dans chaque coupe mince. Dans le résidu de lavage, on les retrouve avec des spicules de *Tetractinellidæ* de forme beaucoup plus robuste. Des bâtonnets cylindriques à bouts arrondis sont un peu plus fréquents que les spicules polyaxes. Tous les restes de Spongiaires du niveau sont calcifiés. Ils sont plus rares que dans la craie à *M. breviporus.*

Foraminifères (25-55 %). Les modifications que j'ai notées dans la composition de ce

groupe au fur et à mesure que l'on s'élève dans le Turonien s'accusent davantage à ce niveau. Les Foraminifères monoloculaires, et notamment *Fissurina*, cèdent le pas pour la première fois aux formes pluriloculaires. Les *Textularia* viennent au premier rang ; les *Rotalia* ont beaucoup progressé. Le nombre des *Globigerina* est resté stationnaire. La faune s'est appauvrie en individus ; elle paraît avoir beaucoup perdu en variété. L'uniformité de taille des coquilles est grande ; elle est à peine rompue par l'introduction de grands *Textularidæ* à test arénacé et très rares. Les coquilles brisées sont clairsemées ; celles qui sont en voie de destruction sur place abondent ; on peut observer la trace de beaucoup de formes dont il ne reste plus le moindre vestige.

Organismes indéterminés. Ils sont en régression et doivent être considérés comme très rares.

3° **Ciment.** Sa proportion est très variable comme celle des organismes ; il forme au plus les deux tiers de la roche. Il est essentiellement composé de *Coccolithes*. En même temps que ces corps se multiplient, on observe un accroissement très marqué dans la taille de beaucoup d'entre eux. Les *Rhabdolithes* sont également en progrès. Le ciment est complété par de la calcite cristallisée en très petits rhomboèdres ou développée en grains arrondis ou subrhomboédriques. Les uns et les autres sont plus petits que les Coccolithes.

Quelques rhomboèdres plus gros ont leur place marquée par des vides.

Résumé. La craie de la base de l'assise à *M. c. testudinarium* présente comme traits essentiels :

a. Prédominance de l'*orthose* dans le résidu minéral ; *b*. fréquence de prismes d'Inocérames et de débris d'Echinodermes ; *c*. réduction du nombre des Foraminifères monoloculaires et prépondérance des formes pluriloculaires ; *d*. Ciment représentant une fraction de la roche presque toujours au moins égale à la moitié ; *e*. multiplication des Coccolithes.

B. Partie moyenne de l'assise à *M. c. testudinarium*

La craie est moins blanche et plus grossière que celle qui occupe la base de l'assise. Elle renferme des silex en chaînes.

1° **Minéraux.** On n'en relève aucune trace dans les sections minces. Le diamètre moyen des éléments de quartz du résidu insoluble est de $0^{mm}06$; les plus grosses particules dépassent $0^{mm}1$. L'*orthose* est relativement beaucoup plus rare et vient après le quartz par ordre de fréquence ; la glauconie est représentée dans le résidu par quelques sphérules.

Le *phosphate de chaux* se rencontre dans toutes les coupes minces en longs éléments

anguleux jaunes, rappelant les esquilles osseuses que MM. Renard, J. Cornet et Strahan ont signalées dans la craie phosphatée. Entre les nicols croisés, ils se parent des teintes de l'apatite.

2° **Organismes**. Les débris organiques réunis représentent de 7/8 aux 9/10 de la roche.

Mollusques. Le caractère dominant de cette craie est d'être formée pour *plus de la moitié* de prismes isolés d'Inocérames complets et le plus souvent tronçonnés.

Bryozoaires. Les colonies fragmentaires sont plus rares qu'à la base de l'assise.

Echinodermes. Les vestiges de ce groupe ne sont plus un élément fondamental du résidu de lavage. On retrouve quelques grands débris de plaques d'Oursins.

Spongiaires. Ils sont notablement en perte. J'ai reconnu dans le résidu de lavage quelques formes monoaxes calcifiées et parmi les produits insolubles de très rares bâtonnets glauconieux, allongés, grêles et cassés. Les spicules tétraradiés y sont très rares.

Foraminifères. Les Foraminifères monothalames sont redevenus aussi abondants que les formes pluriloculaires. Les *Textularia* ont perdu de leur fréquence, les *Rotalia* se sont multipliées, les *Globigerina* continuent à être très rares. Les *Cristellaria* l'emportent sur elles. Les *Textularidæ* à test arénacé se retrouvent à ce niveau. Les individus dont l'état fragmentaire paraît d'origine mécanique sont rares.

Le phénomène de la destruction des Foraminifères sur place continue à revêtir une grande généralité.

Organismes indéterminés. Ils sont légèrement en progrès.

3° **Ciment**. Quand on procède au lavage de la craie, on est frappé de la faible proportion de matières qui restent en suspension dans l'eau. Cette particularité tient à la très grande prédominance des restes organiques. Le ciment est très inégalement développé. Certaines plages sont presque uniquement composées de débris organiques juxtaposés. En moyenne il occupe une place équivalente à 1/10-1/8 de la roche. Les *Coccolithes* continuent à former à eux seuls la plus grande partie du ciment ; les *Rhabdolithes* restent stationnaires. Le reste du ciment est constitué par la calcite.

Résumé. La craie de la partie moyenne de l'assise à *M. c. testudinarium* est caractérisée par :

a. Le grand rôle joué par les restes organiques et notamment par les prismes d'Inocérames ; *b*. la présence de phosphate de chaux dans les sections minces ; *c*. la multiplication des Foraminifères monoloculaires qui venaient en seconde ligne à la base de l'assise et qui, dans la zone moyenne, sont aussi répandus que les formes pluriloculaires ; *d*. par la grande réduction du ciment essentiellement formé de Coccolithes.

C'est une *craie à prismes d'Inocérames*.

6° CRAIE A *Micraster cor anguinum*

Craie blanche à grain nettement discernable. Soumise à l'action d'une fine brosse, elle montre une infinité d'aspérités qui donnent à la roche un aspect légèrement grenu. Silex en chaînes.

1° **Minéraux.** Les sections minces ne montrent aucun minéral autre que la calcite. Le résidu insoluble débarrassé de la matière argileuse est toujours excessivement faible. Il contient une très petite quantité de quartz en éléments dont le diamètre moyen, $0^{mm}07$, paraît un peu supérieur à celui de la craie à *M. c. testudinarium*; les particules mesurant plus de $0^{mm}1$ ne font jamais défaut. L'*orthose* est l'espèce minérale fondamentale du résidu. Le diamètre de ses plus grands éléments est très inférieur à celui des grains de quartz les plus volumineux. La glauconie forme des sphérules et surtout des pseudomorphoses de spicules.

2° **Organismes.** Ils cessent de former la plus grande portion de la craie et ne comptent que pour *un tiers* ou *un quart* dans le sédiment. Tous les débris organiques qui présentent un allongement marqué sont généralement parallèles.

Mollusques. On observe à ce niveau une importante diminution dans le nombre de prismes d'Inocérames ; ils occupent encore une place très notable.

Bryozoaires. Ces organismes impriment à la craie à *M. c. anguinum* une physionomie vraiment à part. Les préparations en montrent des débris qui rappellent par leur taille ceux que j'aurai à mentionner plus loin dans le Crétacé de Touraine. J'ai reconnu des morceaux de colonies de *Cyclostomata* et des coupes de *Cheilostomata.* Il existe plusieurs représentants de ces groupes dans chaque section mince. Un échantillon de craie sans fossiles, prélevé à la limite des assises à *M. c. testudinarium* et à *M. c. anguinum* est particulièrement riche en grands Bryozoaires. On y trouve des fragments de colonies comportant un grand nombre de cellules et visibles à l'œil nu.

Echinodermes. Les plaquettes polygonales continuent à être abondantes. Les Oursins montrent quelques débris de grandes plaques dans chaque préparation.

Spongiaires. On en trouve la trace dans les coupes minces sous forme de spicules d'assez grande taille, tétraradiés et le plus souvent monoaxes. Leur distribution est très inégale. Dans les points où ils sont accumulés, ils se montrent assez nombreux. Considérés dans leur ensemble, ils n'interviennent que pour une part très faible dans la composition de la craie. Ils représentent une importante fraction du résidu insoluble. Les formes que j'y ai reconnues sont celles que je décrirai dans la craie à *Marsupites ornatus.* Je me borne à signaler la présence à ce niveau de *Tetractinellidæ* et d'*Hexactinellidæ.* Tous les spicules sont tronçonnés sans aucune exception. Ils sont plus petits et plus

divisés que dans l'assise suivante. Le plus grand nombre sont calcifiés ; ceux du résidu sont glauconieux.

Foraminifères (5-25 %). Bien qu'ils soient en perte, les Foraminifères se font remarquer par une grande variété de formes. Les Rhizopodes monoloculaires (principalement *Fissurina*) ont beaucoup diminué et sont maintenant très accessoires. Les *Textularia* viennent au premier rang. Les *Textularidæ* sont encore représentés par des formes de grande taille à test arénacé.

Beaucoup de coquilles sont fragmentaires ; un grand nombre sont en voie de dissolution sur place.

Organismes indéterminés. Les troncs identiques à ceux qui sont figurés sur la planche IX (n° 4) sont ici moins nombreux que dans la craie à *M. c. anguinum* du Bray ; ils n'en représentent pas moins un élément fondamental du dépôt. Il est très curieux que leur degré de fréquence augmente brusquement dans la région de Rouen au même niveau que dans le Bray.

3° **Ciment.** On peut lui rapporter une fraction de la roche qui varie de deux tiers à trois quarts. Les *Coccolithes* abondent, la proportion de *Rhabdolithes* reste invariable. Le ciment comprend en outre une très grande quantité de petits granules tantôt sphériques ou à peu près, tantôt de forme subrhomboédrique et une multitude de petits rhomboèdres parfaits. Ces corps l'emportent certainement sur les Coccolithes et les Rhabdolithes réunis. Les vides laissés dans le ciment par la disparition de gros rhomboèdres ont diminué de fréquence.

Résumé. La craie à *M. cor anguinum* présente les principaux caractères suivants : *a.* grande fréquence relative de cristaux d'orthose ; *b.* nombreux débris de colonies de Bryozoaires ; *c.* multiplication des restes de Spongiaires à squelette siliceux mais transformé en calcite ou en glauconie ; *d.* abondance très caractéristique des bâtonnets dérivant d'organismes indéterminés ; *e.* prédominance des éléments inorganiques dans le ciment.

7. CRAIE A MARSUPITES

C'est la craie la plus blanche et la plus fine de toute la série. Elle renferme des silex en tables, en rognons disposés en chaînes et des nodules creux isolés.

1° **Minéraux.** Aucune particule minérale de transport n'est visible en section mince. La glauconie apparaît sous la forme de quelques pseudomorphoses de spicules et de petits grains très rares. Dans le résidu insoluble débarrassé de l'argile, réduit à une proportion très inférieure à 1 %, le quartz se montre en grains mesurant environ $0^{mm}07$. L'orthose a perdu un peu de sa fréquence. La glauconie y est très répandue en moulages de Foraminifères et surtout en épigénies de spicules. On la trouve également en grains formés en dehors de toute influence organique.

La *pyrite de fer* mérite une mention à part. Elle compte dans le résidu une multitude de petits cristaux de forme plus ou moins complexe. Le cube parfait domine. On y reconnaît les combinaisons p (001) ; pa^1 (001) (111), etc. Elle donne également naissance à des grains plus volumineux et mamelonnés.

2° **Organismes.** Leur importance est variable ; ce sont toujours des éléments pour ainsi dire accessoires. Dans une seule et même préparation, ils représentent une fraction de la roche qui varie, selon les points, de *un dixième* à *un tiers*.

Mollusques. Les prismes d'Inocérames ont beaucoup perdu de leur importance. Ils sont presque entièrement exclus de certaines plages et très clairsemés dans celles où ils paraissent le plus fréquents.

Bryozoaires. On les retrouve encore à l'état de fragments anguleux moins répandus que dans la craie à *M. c. anguinum*; j'ai reconnu des débris de *Cyclostomata*.

Echinodermes. Les produits de lavage de la craie contiennent un grand nombre de plaquettes polygonales.

Spongiaires. Bien qu'ils soient relégués au rang d'éléments accessoires, leurs spicules n'en fournissent pas moins une des caractéristiques les plus essentielles du niveau. Dans les coupes minces, ils sont représentés par de rares formes le plus souvent calcifiées, parfois glauconieuses, et jamais siliceuses.

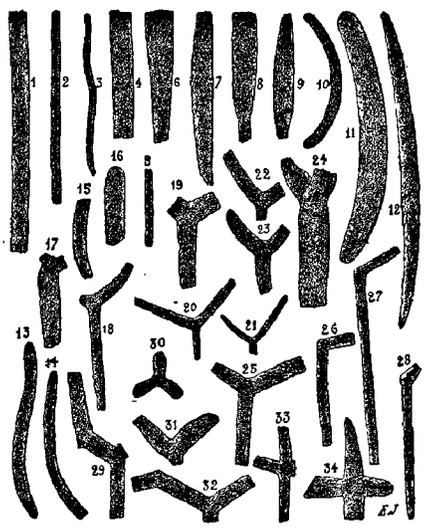


Fig. 15. Spicules glauconieux de la craie à Marsupites. (Gross. 40 diam.)

Les spicules glauconieux composent à eux seuls la majeure partie du résidu de l'attaque de la roche par l'acide chlorhydrique. Tous sont, à de rares exceptions près, de forme grêle, élégante et d'assez grande taille. La figure 15 réunit les principaux types observés. Les restes de Spongiaires du résidu de la craie à Marsupites se répartissent entre les groupes suivants :

A. *Spicules monoaxes* (1-16). Ils forment au moins les 19/20 de la totalité. Presque tous sont tronçonnés et privés de leurs terminaisons naturelles. Les bâtonnets cylindriques prédominent. Ils sont accompagnés de spicules fusiformes droits ou arqués qui sont également très répandus. Il apparaît comme certain que bon nombre de ces bâtonnets, surtout ceux qui sont cylindriques, ont appartenu à des spicules polyaxes.

B. *Tetractinellidæ.* Les spicules tétraradiés sont les plus fréquents parmi les individus polyaxes. La forme en est très variée et l'on pourrait y distinguer un grand nombre de types spécifiques. Les différences qu'ils présentent sont dues à trois causes : *a.* inégal développement des rayons ; *b.* la forme des rayons est variable : cylindrique, conique,

arquée ; les uns sont très robustes et les autres très grêles ; c. La pyramide triangulaire à arêtes égales dont les rayons représentent les axes de symétrie, est plus ou moins surbaissée. Les numéros 17-31 représentent quelques manières d'être des spicules tétraradiés. Elles ne sont pas toutes indiquées.

J'inscris ici les formes 29 et 32 dont l'attribution à ce groupe est des plus incertaine.

C. *Hexactinellidæ*. Il est exceptionnel d'en rencontrer des spicules ayant conservé les six rayons. Il y a certainement parmi eux des *Lyssakina ;* je ne suis pas éloigné de croire que tous les spicules hexaradiés du résidu procèdent de ce groupe. On rencontre tous les états intermédiaires entre le spicule à six rayons et celui qui n'en montre que deux très inégaux disposés à angle droit.

En résumé, la faune de spicules glauconieux à Marsupites est caractérisée par la très grande prédominance de spicules monoaxes et par l'existence de nombreux représentants authentiques de *Tetractinellidæ* et d'*Hexactinellidæ*.

Foraminifères. Leur proportion s'est considérablement réduite. En même temps ces organismes montrent des dimensions et une épaisseur de test uniformes. Les *Textularia* viennent au premier rang; les *Rotalia* ont presque le même degré de fréquence. Les *Globigerina* manquent ou ne peuvent être mentionnées que pour mémoire. Les formes monoloculaires et les grands Rhizopodes à test arénacé semblent avoir disparu. C'est à l'état de débris de coquilles que les Foraminifères sont surtout représentés. Aucune craie de la région de Rouen n'approche de celle-ci par le rapport très élevé du nombre de fragments à celui des coquilles complètes. Les morceaux de test sont généralement alignés dans le même sens. Cette particularité prouve que la fragmentation s'est effectuée avant l'enfouissement des organismes dans la boue crayeuse. La destruction sur place est un phénomène beaucoup moins général que pour les craies précédentes.

Organismes indéterminés. Ils sont encore plus nombreux que dans la craie à *M. c. anguinum*.

3° **Ciment**. La craie en est formée dans la proportion de *deux tiers* à *neuf dixièmes*. Les *Coccolithes* en représentent la masse principale. Les *Rhabdolithes* restent stationnaires. Les organismes indéterminés y tiennent une grande place ; les plus forts grossissements sont nécessaires pour les y distinguer. Quant aux menus éléments calcaires globuleux ou rhomboédriques, on les retrouve encore à ce niveau, mais leur rôle est secondaire.

Résumé. La craie à Marsupites présente les caractères suivants : *a*. abondance de la pyrite cristallisée dans le résidu; *b*. réduction de la proportion d'organismes; *c*. fréquence de restes de Spongiaires, surtout dans le résidu; *d*. très faible proportion de Foraminifères avec état fragmentaire dominant; *e*. disparition des grands Rhizopodes à test arénacé; *f*. abondance caractéristique des organismes indéterminés; *g*. grande prédominance du ciment, en majeure partie composé d'éléments organiques.

8° RÉSULTATS GÉNÉRAUX DE L'ÉTUDE DE LA CRAIE DE LA RÉGION DE ROUEN

Minéraux. Ainsi que je l'ai dit au début de ce chapitre, je n'ai pas fait l'étude complète du résidu insoluble des craies de Rouen. Je ne puis donc montrer par des chiffres comment varie la proportion de minéraux au fur et à mesure que l'on s'élève dans la série des assises considérées.

A. *Minéraux détritiques.* La quantité de résidu décroît rapidement quand on passe de l'assise à *Act. plenus* à la craie à *T. gracilis.* A partir de ce niveau, le résidu de minéraux débarrassé de l'argile est très faible (moins de 1 %); il ne paraît pas augmenter au sommet du Turonien et à la base du Sénonien, comme dans le Nord. Dans ce dernier terrain, il est toujours réduit à une proportion qui se tient fort au-dessous de 1 %. Le diamètre moyen des particules de transport, qui est de $0^{mm}12$ à la base du Turonien, diminue progressivement jusqu'à la craie à *M. c. anguinum*, puis il paraît augmenter faiblement; il est de $0^{mm}07$ dans la craie à Marsupites. Les éléments de résidu ne sont jamais calibrés et, pour une même craie, il y a de grandes différences de volume des grains. Dans chaque assise, on en trouve qui dépassent $0^{mm}1$ et même $0^{mm}2$.

B. *Minéraux secondaires.* La glauconie, l'orthose, le phosphate de chaux et la pyrite sont seuls à mentionner.

La *glauconie* abonde dans la craie à *Act. plenus*, puis elle est très rare ou presque absente. Elle réapparaît plus fréquente dans l'assise à Marsupites. Le diamètre de ses éléments qui n'ont pas conservé l'empreinte d'organismes, varie comme celui des minéraux de transport. En un cas (craie à *Act. plenus*), une portion de cette substance est secondaire sous la forme de *glauconie pigmentaire.*

L'*orthose* existe à tous les niveaux. Elle n'est un élément essentiel du résidu qu'à partir du Sénonien. Elle vient tantôt en première ligne, tantôt après le quartz.

Le *phosphate de chaux* est plus répandu que l'orthose dans toutes les craies où je l'ai observé. Il est développé dans l'assise à *Act. plenus* — où il se trouve à l'état d'apatite —, dans la craie à *M. breviporus* et celle de la partie moyenne de l'assise à *M. c. testudinarium.* C'est au sommet du Turonien qu'il est le plus fréquent.

La *pyrite* cristallisée est un élément important du résidu de la craie à Marsupites.

2° **Organismes.** La proportion des organismes atteint généralement *un demi* et même beaucoup plus (9/10) jusqu'à la craie à *M. cor anguinum*, à partir de laquelle elle se tient au-dessous de *un tiers.* Elle peut même descendre à *un dixième* par places dans le niveau à Marsupites. Il est vrai qu'à mesure que le ciment augmente dans les craies sénoniennes, les organismes indéterminés et les Coccolithes se multiplient beaucoup, et comme ils sont rattachés au ciment, c'est-à-dire à l'ensemble des particules les plus ténues de la craie, les fractions énumérées plus haut ne sont pas l'expression rigoureuse de la vérité; elles s'appliquent aux débris organiques visibles aux faibles grossissements.

Mollusques et *Brachiopodes*. Ils ont laissé des débris à tous les niveaux. Les prismes d'Inocérames représentent un élément important au sommet du Turonien et à la base du Sénonien. La craie de la zone moyenne de l'assise à *M. c. testudinarium* en est formée pour plus de la moitié. Ils deviennent rares à partir de la craie à *M. c. anguinum*.

Bryozoaires. On les trouve sous la forme de grands débris clastiques dérivant de grandes colonies mises en pièces par l'agitation des eaux et transportées loin de leur point d'origine. Ils existent d'une façon presque constante à partir de la craie à *T. gracilis* et surtout dans le Sénonien où ils atteignent leur maximum de fréquence au niveau de la craie à *M. c. anguinum* (surtout à la base). Ils jouent ici un plus grand rôle que dans le Nord. Quand ils atteignent leur maximum de fréquence, ils prennent alors une part très notable à la composition de la craie.

Echinodermes. Ils fournissent des éléments à toutes les craies à partir du niveau à *T. gracilis*. Ce sont des plaquettes hexagonales, pentagonales ou polygonales irrégulières très abondantes dans le limon de lavage de la craie au sommet du Turonien et dans le Sénonien Des plaques d'Oursins sont assez fréquentes pour être rencontrées dans les sections minces de plusieurs craies et surtout dans l'assise à *M. breviporus*.

Alcyonaires. J'ai signalé des vestiges douteux de ce groupe dans la craie à *T. gracilis*.

Spongiaires. Les restes de ces organismes ont la plus grande importance. Ils manquent dans le résidu de la craie à *I. labiatus* et sont très rares dans la craie à *M. c. testudinarium*. Partout ailleurs ils existent avec quelque fréquence, ou sont très abondants. Au point de vue de la composition des faunes de spicules isolés, on peut distinguer deux grandes périodes :

A. La première s'arrête à la craie à *T. gracilis* inclusivement. Elle est caractérisée au premier chef par l'existence des *Lithistidæ* aussi variées que nombreuses et représentées par trois sous-ordres : *Megamorina*, *Tetracladina* et *Rhizomorina*. Les *Tetractinellidæ* les accompagnent ainsi qu'un certain nombre de formes relevant des *Monactinellidæ*, mais elles viennent de beaucoup en seconde ligne. Les *Hexactinellidæ* sont représentées en très petit nombre.

B. La deuxième période commence avec la craie à *M. breviporus* et s'étend sur tout le Sénonien. Elle ne comporte que des formes glauconieuses. Elle est essentiellement caractérisée par le grand développement de spicules monoaxes et de *Tetractinellidæ* et par l'absence de spicules isolés de *Lithistidæ*. On peut la subdiviser en deux époques. *a*. La première ne comprend que le sommet du Turonien. Les représentants d'*Hexactinellidæ* y font complètement défaut. *b*. Les spicules glauconieux de ces Eponges apparaissent avec le Sénonien comme dans tout le Nord de la France et caractérisent cette époque ; ils sont toujours plus rares que les spicules tétraradiés.

Je souligne tout particulièrement la parenté qui unit la faune de spicules de la craie à *M. breviporus* à celle du même niveau du Bray et du Nord.

Les débris de Spongiaires de la craie des environs de Rouen présentent au point de vue de leur mode de conservation des particularités très curieuses. La grande majorité des spicules de chaque niveau sont *calcifiés;* un grand nombre sont *glauconieux.* Ils sont exceptionnellement formés d'*opale* indifférenciée avec le canal à peine élargi (craie à *T. gracilis).* Quelques spicules sont en *limonite.*

Radiolaires. Ils sont cantonnés dans le Turonien. Leur importance numérique est excessivement faible. Sauf quelques *Cenosphæra* des couches à *T. gracilis*, ce sont des *Stichocyrtida.* Ceux de la craie à *M. breviporus* sont calcifiés.

Foraminifères. Les formes monoloculaires — *Fissurina* et *Orbulina,* et de beaucoup la première — prédominent dans tout le Turonien. Dans l'assise à *I. labiatus*, elles arrivent à former de 95 à 98 % de la faune de Rhizopodes. Les *Textularia* et *Rotalia* l'emportent dès la base du Sénonien, mais au lieu de continuer à se multiplier progressivement, elles se présentent dans la partie moyenne de l'assise à *M. c. testudinarium* en nombre sensiblement égal à celui des Foraminifères monoloculaires. Ces derniers Rhizopodes diminuent ensuite rapidement. Les *Globigerina* sont relativement fréquentes à plusieurs niveaux du Turonien (Ass. à *Act. plenus* et *M. breviporus.* Elles sont très rares dans le Sénonien.

Il y a dans toutes les assises, sauf dans la craie à Marsupites, un nombre toujours très limité de grands Foraminifères à test arénacé et particulièrement de *Textularidæ.* C'est dans la craie à *M. breviporus* qu'on les rencontre de préférence. Chaque préparation en fournit alors une dizaine d'individus. C'est au même niveau qu'ils sont le plus fréquents dans le Nord.

La part qui revient aux Rhizopodes calcaires dans la composition de la craie est très variable. Elle atteint son maximum dans le Turonien, où ils présentent jusqu'aux quatre cinquièmes de la roche (Ass. à *I. labiatus*), et diminue beaucoup dans le Sénonien, surtout à partir de la craie à *M. c. anguinum*, où leur proportion peut être réduite à 5 %.

Il existe parfois des différences très grandes entre deux faunes successives de Foraminifères. C'est ainsi qu'à la faune très variée comme genres de la craie à *Act. plenus* succède celle de la craie à *I. labiatus* dont l'uniformité est excessivement remarquable. La différence est encore plus accusée en passant de l'assise à *I. labiatus* à la craie à *T. gracilis.* Le passage se fait par une craie qui, au point de vue des Foraminifères, ne ressemble ni à l'une ni à l'autre. La faune de Rhizopodes monothalames de la craie à *I. labiatus* est remplacée par une autre essentiellement composée de *Textularia* et *Rotalia.* Avec la craie à *T. gracilis* en question, on voit réapparaître les formes monoloculaires prédominantes.

L'état fragmentaire des coquilles est développé à tous les niveaux surtout à partir de la craie à *M. breviporus.* Il est d'origine mécanique et chimique.

Organismes indéterminés. Les corps indéterminés pareils à ceux qui sont représentés sur la planche IX, fig. 4, font leur apparition dans la craie à *I. labiatus*. Ils se multiplient lentement dans les assises supérieures et deviennent brusquement très nombreux avec la craie à *M. c. anguinum* ; ils atteignent leur apogée dans la craie à Marsupites où ils sont loin d'être aussi répandus que dans la craie à *M. c. anguinum* du Bray. Ils constituent une caractéristique de premier ordre des deux dernières assises.

3° **Ciment.** Son importance est variable, mais d'une manière générale elle grandit au fur et à mesure qu'on s'élève dans la série. Quand on entre dans le détail, on est obligé de reconnaître que cet accroissement du ciment ne se fait pas d'une façon régulière. Dans le Turonien, les minéraux et organismes constituent presque toujours beaucoup plus de la moitié de la craie. Dans le Sénonien, la prépondérance appartient le plus souvent au ciment ; à partir de la craie à *M. c. anguinum*, il est sans exception très prédominant. Sa composition est sujette à d'importantes variations. Le carbonate de chaux rhomboédrique ou amorphe en constitue plus de la moitié jusqu'à l'assise à *M. breviporus*. Plus haut il le cède en importance aux *Coccolithes* et aux *Rhabdolithes*, sauf pourtant dans l'assise à *M. c. anguinum*. On sait que les bâtonnets groupés sous la rubrique « Organismes indéterminés » tiennent une grande place dans le ciment à partir de la craie à *M. c. anguinum*. Les *Coccolithes* et *Rhabdolithes* se multiplient depuis la base du Turonien jusqu'au sommet des craies sénoniennes à Micraster ; il y a exception pour la craie à *M. c. anguinum* que j'ai étudiée. Les *Rhabdolithes* sont toujours des éléments accessoires. La matière argileuse prend part à la formation du ciment à la base du Turonien, surtout dans la craie à *Act. plenus*.

La cristallisation partielle et locale du ciment de la craie à *M. breviporus* donne naissance à la *texture noduleuse* de cet horizon. Une dernière particularité très curieuse que présente le ciment de beaucoup de craies est l'existence de *vides* correspondant à l'emplacement de rhomboèdres qui ont disparu, comme dans la craie noduleuse de la base du Sénonien du Bray. Il n'y a, en cette région, que l'indication du phénomène qui a si profondément modifié la physionomie première d'un niveau de la craie du Bray.

Résumé et Conclusions. La craie des environs de Rouen doit aux *agents mécaniques* le transport des éléments clastiques minéraux et organiques, la fragmentation de beaucoup de débris organiques : coquilles de Mollusques, de Brachiopodes, de Bryozoaires, Foraminifères (*pars*), le tronçonnement et la dispersion des prismes d'Inocérames, etc.

La part qui revient à l'*activité physiologique* est toujours prépondérante.

Le grand rôle des *agents chimiques* n'est pas moins évident. La craie leur est redevable de la glauconie, de l'orthose, de la pyrite et de la calcite qui tient une place si importante dans le ciment des craies turoniennes. Leur intervention explique seule l'état fragmentaire de beaucoup de coquilles de Foraminifères.

CHAPITRE IX

CRAIE DU SUD-EST DU BASSIN DE PARIS

Sommaire. — Généralités. — 1°. Craie à *Inoceramus labiatus*, 308. — 2°. Craie à *Micraster breviporus* et *Holaster planus*, 309. — 3°. Craie à *Micraster cor testudinarium*; A. Craie de Béon à *Micraster cor bovis* et *M. c. testudinarium*, 312. B. Craie de Rosoy à *M. c. testudinarium* (zone à *M. gibbus*), 313. — 4° Craie à *Micraster cor anguinum*, 317. — 5°. Craie à *Belemnitella quadrata*, 318. A. Craie dure à Bélemnitelles, 319. B. Craie blanche à Bélemnitelles de la partie inférieure de l'assise, 320; Phosphate de chaux et ses relations avec les Foraminifères, 320. C. Craie noduleuse, 321 ; Comparaison de la craie normale et de la craie phosphatée; Foraminifères et Radiolaires protégés contre la dissolution par le phosphate de chaux, 322. D. Craie blanche à Bélemnitelles supérieure aux niveaux précédents, 324. E. Phosphate de chaux de la craie à Bélemnitelles et principaux caractères de cette craie, 324.

6°. Résultats généraux de l'étude de la craie de l'Yonne; *Minéraux*, 326; Leverrierite, 327. — *Organismes*, 329. — *Ciment*, 331 ; Texture noduleuse de la craie, 331. — Résumé et conclusions, 332.

Généralités. J'ai choisi comme type de la craie du S.-E. du Bassin parisien, la craie de l'Yonne que j'ai étudiée dans les points classiques de Joigny et de Sens. Les travaux d'Hébert [1], puis ceux de MM. J. Lambert [2] et Peron [3] ont établi dans l'ensemble du Turonien et du Sénonien de cette région toute une série de zones d'un grand intérêt, au point de vue paléontologique, dont je n'ai soumis qu'une partie à l'étude micrographique. Dans une région comme l'Yonne, où l'uniformité minéralogique s'étend à de grandes épaisseurs de craie et où les couches se suivent avec tant de régularité, il n'est pas indispensable comme dans le Nord d'étudier un grand nombre de niveaux pour mettre en relief les principales modifications qui affectent la craie dans sa composition et sa structure.

1. E. Hébert. Notes sur le ter. crét. du dép. de l'Yonne, *Bull. Soc. Sc. Yonne*, vol. 30, pp. 15-46 (1876).
2. J. Lambert. Notice stratig. sur l'étage sénonien, etc. Id., vol. 32, pp. 130-280 (1878).
J. Lambert. Note sur la craie du dép. de l'Yonne. *B. S. G. F.*, 3e S., vol. 7, pp. 202-207 (1879).
J. Lambert. Note sur l'étage tur. du dép. de l'Yonne, *Bull. Soc. Sc. Yonne*, vol. 35, pp. 144-173 (1881).
3. Peron. Notes pour servir à l'histoire du terr. de craie, etc. Id., vol. 41, pp. 145-366 (1887).

L'épaisseur totale de la craie de l'Yonne est d'environ 350m. Voici les chiffres afférents à chaque assise d'après M. Lambert :

SÉNONIEN. . . .	Craie à Bélemnitelles	70m environ.
	— à *Micraster cor anguinum* .	70m
	— à *M. c. testudinarium*. . .	80m
TURONIEN . . .	— à *M. breviporus*.	30m
	— à *Terebratulina gracilis* . .	40m
	— à *Inoceramus labiatus*. . .	55m
	— à *Actinocamax plenus*. . .	5m

J'ai étudié ces différentes assises et presque toujours plusieurs échantillons de chacune d'elles. Leur choix m'a été dicté par les faibles variations minéralogiques qui affectent la craie de cette région.

1° CRAIE A *Inoceramus labiatus*.

Caractères lithologiques. L'assise à *I. labiatus* des environs de Joigny est formée d'une craie marneuse, tendre et massive, avec intercalations de petits lits argileux; elle prend une structure noduleuse dans les couches inférieures. Les silex sont très rares. Hébert a signalé dans la craie à *Echinoconus subrotondus* de la côte Saint-Jacques (Joigny) des lits argileux « dont quelques-uns contiennent quelquefois de nombreux morceaux de craie roulée » (p. 40).

Les échantillons soumis à l'étude micrographique sont formés d'une craie blanche, de nuance légèrement jaune verdâtre et d'aspect marneux. Elle est homogène, massive et à grain fin et renferme parfois de très minces lits de marne feuilletée verdâtre très rapprochés en certains cas et s'entrecoupant. Les silex manquent.

Le résidu insoluble s'élève à 2,95 % (analyse de M. Vaillant). La proportion de carbonate de chaux est de 90,61 %.

1° **Minéraux.** Le résidu minéral est insignifiant si on en défalque l'argile, bien qu'il comprenne des restes d'organismes silicifiés tels que Foraminifères.

Minéraux détritiques. Le quartz est représenté par des grains anguleux dont il est difficile de fixer le diamètre moyen en raison du petit nombre d'individus observés; il est d'environ 0mm06. On observe des grains anguleux mesurant 0mm14, 0mm26 et d'autres arrondis beaucoup plus rares ayant près de 0mm4.

Minéraux secondaires. Glauconie excessivement rare, indépendante des organismes. L'*orthose* l'est un peu moins; ses éléments mesurent environ 0mm05.

Leverrierite. C'est la première fois que j'ai l'occasion de signaler l'existence de ce minéral dans la craie. J'en ferai connaître les propriétés dans le paragraphe consacré aux minéraux secondaires de toute la craie de l'Yonne. La leverrierite n'existe qu'en petite quantité dans le résidu.

2° **Organismes.** Le résidu organique représente environ 1/12 de la roche; il est presque uniquement formé de Foraminifères.

Mollusques. On ne rencontre que deux ou trois prismes d'Inocérames tronçonnés dans chaque préparation.

Bryozoaires. Chaque coupe mince renferme un ou deux débris de colonies comportant plusieurs cellules. J'ai reconnu des *Cyclostomata.*

Echinodermes. Le résidu de lavage contient de petites baguettes d'Oursins.

Spongiaires. L'ordre des *Calcispongidæ* est seul représenté par de très petits spicules monoaxes ou polyaxes.

Foraminifères (8-10 °/₀ environ). La très grande majorité sont monoculaires et relèvent des genres *Fissurina* et *Orbulina* avec grande prédominance du premier. *Textularia* est rare. Chaque préparation ne fournit qu'une ou deux *Globigerina.* Les coquilles de ces Rhizopodes sont de petite taille et relativement minces. Toutes sont remplies de calcite. En examinant la craie avec un fort grossissement, on peut s'assurer que beaucoup de Foraminifères ont disparu en laissant une trace de leur existence sous forme de calcite incolore et largement cristallisée. Un grand nombre d'individus sont incomplètement détruits. Il faut conclure de ce fait, que la proportion indiquée plus haut ne mesure pas la fréquence de ces organismes au moment du dépôt. Il existe quelques formes dont l'état fragmentaire est certainement d'origine mécanique.

Organismes indéterminés. Je range sous cette rubrique quelques rares bâtonnets du type de ceux de la planche IX, fig. 4 (moitié supérieure de la figure).

3° **Ciment.** Il représente environ 11/12 de la craie. Il est formé pour la plus grande partie de très petits éléments de calcite rhomboédriques, subsphériques ou irréguliers. Les *Coccolithes* sont nombreux, mais ils viennent bien après les corps précédents. Les *Rhabdolithes* sont très rares.

Résumé. La craie étudiée présente les principaux caractères suivants:

a. Très grande rareté des minéraux de tout ordre; *b.* présence de la leverrierite; *c.* petit nombre d'organismes qui sont pour la plus grande partie des Foraminifères monoloculaires; *d.* très grande prédominance du ciment principalement formé de carbonate de chaux cristallin.

2° CRAIE A *Micraster breviporus* ET *Holaster planus*

Caractères lithologiques. D'après M. J. Lambert, l'assise à *M. breviporus* comporte une partie inférieure épaisse de 40^{m} formée de craie marneuse sans silex, et une supérieure caractérisée par une craie noduleuse avec silex dont le développement est d'une trentaine de mètres. Cette dernière subdivision est surtout remarquable par la récurrence de lits de craie durcie avec tubulures. Je n'ai étudié qu'un seul niveau de cette assise; c'est la

craie qui affleure au pied de l'église de Béon, au nord de Joigny; elle appartient à la zone à *M. breviporus* et *Holaster planus*.

Craie jaunâtre, grossière, grenue, pulvérulente et d'une certaine rudesse au toucher. Elle laisse apparaître sous l'action d'une fine brosse un grand nombre de granulations ou points durs qui restent en saillie. Elle renferme de nombreux silex isolés, de toutes dimensions.

La teneur en carbonate de chaux s'élève à 95,86 °/₀ (analyse de M. Vaillant).

1° *Minéraux*. Le résidu minéral débarrassé de la matière argileuse est très notablement supérieur à celui de la craie précédente, mais il est encore bien loin de représenter 1 °/₀.

Minéraux détritiques. Le quartz est en grains irréguliers mesurant en moyenne $0^{mm}08$, et en éléments beaucoup plus gros, plus ou moins arrondis, ne dépassant pas $0^{mm}4$.

Minéraux secondaires. *Phosphate de chaux*. Il est représenté par de volumineux éléments anguleux (un ou deux par section), presque incolores, donnant entre les nicols croisés les couleurs de l'apatite, ou restant sans action sur la lumière polarisée.

Glauconie. Elle remplit les chambres de Foraminifères et pseudomorphose des spicules de Spongiaires. Tout au plus en voit-on un élément dans chaque coupe mince.

Orthose. Elle ne semble guère plus fréquente que dans la craie précédente. Ses éléments ont les mêmes dimensions ($0^{mm}05$).

Leverrierite. Ses caractères et son degré de fréquence sont les mêmes que dans la craie à *I. labiatus*.

2° **Organismes**. Ils ont pris un grand développement et représentent à eux seuls environ les 4/5 de la roche.

Mollusques et *Brachiopodes*. Leurs débris se sont notablement multipliés. Les prismes d'Inocérames se rencontrent au nombre d'une vingtaine par préparation; ils sont tronçonnés.

Bryozoaires. Chaque section mince comporte un ou deux fragments de colonies.

Echinodermes. On trouve dans chaque préparation plusieurs fragments de grandes plaques en calcite, des plaquettes polygonales ainsi que de petites baguettes en très petit nombre, seulement visibles dans le résidu de lavage.

Spongiaires. Ce groupe a laissé des débris en silice, en glauconie et en calcite. Si l'on déterminait le degré de fréquence de ces organismes par les spicules visibles dans le résidu insoluble, on serait amené à conclure qu'ils ont joué un rôle insignifiant, mais l'examen des sections minces montre combien une telle opinion serait erronée. Chaque préparation renferme un assez grand nombre de spicules incomplets, cylindriques de grande taille et invariablement calcifiés.

Les spicules du résidu sont cylindriques ou fusiformes, généralement courts et fragmentaires. Les formes en fuseau rappellent beaucoup celles que j'ai signalées en plusieurs

points du Bassin de Paris tant au même niveau que dans la craie à *M. c. testudinarium*. J'ai reconnu de très rares spicules tétraradiés.

Les spicules en silice sont les plus rares. J'ai notamment observé des individus fusiformes, arqués, d'une fraîcheur parfaite, ayant conservé un canal à peine perceptible, réduit à un simple trait, comme dans les spicules des Eponges vivantes ; ils sont rarissimes.

Les *Calcispongidæ* n'ont laissé qu'un nombre très restreint de débris.

Foraminifères (70 %). Il n'y a pour ainsi dire dans cette craie que des formes monoloculaires, *Fissurina* et *Orbulina*, avec très grande prédominance du premier genre. Chaque section mince renferme une dizaine de grands *Textularidæ* à test arénacé. Beaucoup de Foraminifères monoloculaires ont disparu en laissant des taches de calcite, circulaires ou elliptiques. Un grand nombre sont en voie de destruction ; très peu sont intacts Je n'ai observé aucune forme dont l'état fragmentaire soit d'origine mécanique.

Organismes indéterminés. Ils sont ici d'une grande rareté.

3° **Ciment**. Il forme le *cinquième* de la craie. Il est en grande partie composé de petits éléments de carbonate de chaux rhomboédriques ou irréguliers. Les *Coccolithes* et les *Rhabdolithes* sont relativement plus rares que dans la craie inférieure.

Texture noduleuse. Des plages entières de cette craie ont atteint un degré de cristallinité telle que la forme des Foraminifères est indiscernable et que le ciment lui-même a donné de grands éléments de calcite. Ces plages constituent des amorces de *nodules*. Les points ainsi métamorphosés sont ceux où se tiennent de préférence les grands Foraminifères à test arénacé, les prismes d'Inocérames, les restes de Bryozoaires et les grains phosphatés. *Il s'est fait par moment un véritable triage mécanique des éléments minéraux et organiques*, et les plus volumineux se sont groupés.

Résumé. La craie à *M. breviporus* et à *H. planus* de Béon a pour caractères principaux : *a*. augmentation du résidu minéral et du diamètre moyen de ses éléments ; *b*. existence du phosphate de chaux dans les coupes minces ; *c*. présence de la leverrierite ; *d*. prépondérance très marquée des restes d'organismes ; *e*. fréquence des débris de Spongiaires dont certaines formes lui sont communes avec les craies du même niveau d'autres points du Bassin de Paris ; *f*. conservation exceptionnelle d'un très petit nombre de spicules ; *g*. abondance des Foraminifères et grande prépondérance des formes monoloculaires ; *h*. présence constante, dans chaque préparation, d'une dizaine de grands Foraminifères arénacés ; *i*. faible développement du ciment formé en grande partie d'éléments inorganiques ; *j*. genèse de petits points noduleux par cristallisation simultanée des organismes et du ciment.

3° CRAIE A *Micraster cor testudinarium*

D'après M. J. Lambert, la craie à *Micraster cor testudinarium* se présente dans la région de Sens avec les caractères suivants : A la base, elle est souvent assez dure, bien stratifiée avec lits de craie marneuse et presque sans silex (3o^{m}). A la partie moyenne, c'est une craie moins marneuse, souvent fissurée, où les silex abondent et sont parfois très volumineux (3o^{m}). La partie supérieure est formée de craie à silex avec parties dures, assez résistantes et remplies de fragments de test d'Inocérames (20^{m}).

J'ai recueilli les échantillons que j'ai étudiés en deux points de cette assise : A. au village de Béon, à un niveau correspondant à la base de l'assise; B. à Rosoy, dans les couches supérieures.

A. Craie de Béon à *Micraster cor bovis* et *Micraster cor testudinarium*

Caractères lithologiques. Elle a été exploitée dans une crayère ouverte à mi-côte sur le versant sud de la colline de Béon, à un kilomètre de l'église. M. Peron [1] en a donné une description qu'on ne peut ni plus précise ni plus exacte. « Les bancs exploités sont épais, massifs, sans lignes de stratification apparentes. La craie y est homogène, pure, compacte, très blanche, sans aucun silex et sans aucun rognon de pyrite.... Cette craie imprégnée de son eau de carrière est extrêmement tendre, molle, et forme boue sous le choc du marteau. » J'ajouterai qu'elle se délaye dans l'eau sous l'action de la brosse avec une remarquable facilité, et que son eau de lavage conserve très longtemps un aspect laiteux très prononcé, dû à l'extrême finesse et à l'abondance des éléments mis en liberté.

1° **Minéraux.** Le résidu minéral, débarrassé de la matière argileuse, abondante à ce niveau, est presque nul. Il est formé de petits grains de quartz anguleux, mesurant en moyenne o^{mm}04, accompagnés de quelques éléments atteignant o^{mm}15. L'orthose est très rare. La glauconie fait défaut. C'est à ce niveau que la leverrierite atteint son minimum de fréquence.

2° **Organismes.** La place qui leur est réservée est d'environ 1/9 à 1/10.

Mollusques. Le nombre des prismes d'Inocérames est réduit à un ou deux par coupe mince.

Echinodermes. On trouve parfois une baguette d'Oursin dans les préparations; les plaquettes polygonales sont peu fréquentes dans les produits de lavage.

Spongiaires. Aucun spicule n'est visible dans les coupes minces. On en trouve quelques formes calcifiées dans les résidus de lavage, ainsi qu'un petit nombre de représentants de *Calcispongidæ.*

1. PERON. Op. cit., p. 174 (1887).

Foraminifères. Ils forment presque à eux seuls les fractions (1/9-1/10), exprimant la part qui revient aux organismes dans la composition de cette craie. Les formes monoloculaires l'emportent un peu sur les Rhizopodes à plusieurs loges, qui se sont relativement beaucoup multipliés depuis la craie à *Holaster planus*. *Textularia* et *Rotalia* sont les formes les plus répandues; chaque préparation fournit deux ou trois *Globigerina*. Ces fossiles sont de petite taille et pourvus d'un test mince. Les grands Foraminifères à test arénacé ont disparu.

Les coquilles de Rhizopodes ont subi une corrosion exceptionnellement prononcée. Un grand nombre ont été entièrement détruites; il est évident que cette craie était, dès le principe, beaucoup moins pauvre en Foraminifères qu'elle ne l'est aujourd'hui. Ceux dont la coquille est plus ou moins intacte sont remplis de calcite très largement cristallisée.

3° **Ciment.** Il représente de 8/9 à 9/10 de la craie en lui attribuant la place jadis occupée par les Foraminifères dissous. Les principaux caractères lithologiques qui distinguent ce dépôt ont leur raison d'être dans la prépondérance exceptionnelle du ciment. L'examen de ses éléments dissociés montre qu'il est, en majeure partie, formé d'une fine poussière de très petits cristaux de calcite ou d'éléments plus ou moins globuleux. Les *Coccolithes* restent accessoires; quant aux *Rhabdolithes*, ils continuent à être relativement très rares. Beaucoup de cristaux rhomboédriques sont visibles dans les sections minces. La calcite qui les forme tire particllement son origine des coquilles de Foraminifères complètement dissoutes ou simplement corrodées. Elle doit également procéder en partie du ciment originel qui s'est transformé en grands cristaux à l'intérieur des loges de Foraminifères, ou qui a cristallisé en dehors des organismes.

Résumé. La craie de Béon à *Micraster cor bovis* et à *M. c. testudinarium* se signale par les traits suivants :

a. Résidu minéral presque nul et réduction du diamètre des éléments qui le composent; *b.* rareté des organismes; *c.* multiplication des Rhizopodes pluriloculaires; *d.* généralité du phénomène de destruction des coquilles de Foraminifères par processus chimique; *e.* grand développement du ciment en majeure partie formé d'éléments inorganiques.

Remarque. Les caractères de cette craie se modifient dans les couches qui la surmontent. Un échantillon que j'ai prélevé dans l'ancienne carrière ouverte au sommet du plateau, à 6 ou 7^{m} au-dessus de la précédente, renferme déjà un beaucoup plus grand nombre d'organismes.

B. Craie de Rosoy à *Micraster cor testudinarium* (Zone à *Micraster gibbus*)

Caractères lithologiques. J'ai prélevé les échantillons soumis à l'analyse micrographique dans l'escarpement qui domine l'Yonne à Rosoy, près de la route de Sens à cette localité.

M. Lambert en a donné une très bonne coupe en 1878 [1]. Ils proviennent du numéro 10 de cette coupe. M. Lambert a décrit cette craie comme il suit : « 10. Banc de craie avec silex disséminés et formant cordon à la base, dure et noduleuse par endroits..... avec fragments d'Inocérames souvent disposés en lits ».

La craie de ce niveau est blanc grisâtre, un peu grossière, à cassure grenue, tachant relativement peu les doigts. Elle est remarquable par l'énorme quantité de débris d'Inocérames qui y sont entassés. En aucun point du Bassin de Paris, je n'ai observé pareille fréquence de ces corps. On peut en juger par la figure ci-contre (Fig. 16) représentant en grandeur naturelle un échantillon particulièrement riche en fragments de test de ces organismes. Il importe de prendre tout particulièrement en considération le fait que ces débris gisent pêle-mêle, placés horizontalement, verticalement ou dans des positions intermédiaires. Les morceaux qui se trouvent côte à côte appartiennent à des individus différents ou tout au moins à des parties très diverses d'une même coquille.



Fig. 16. Débris d'Inocérames dans la craie à *M. gibbus* de Rosoy (Yonne). (Grandeur naturelle).

Les débris d'Inocérames sont encore répandus à profusion au-dessus et au-dessous du niveau 10 et avec les mêmes particularités de gisement. Je montrerai dans le chapitre XIV quelles sont les conséquences à tirer de ces faits.

1° **Minéraux**. Un double changement s'opère dans le résidu minéral. Il est moins négligeable que dans l'assise précédente et le diamètre moyen de ses éléments a très notablement augmenté. L'argile est moins répandue que dans la craie de Béon.

A. *Minéraux détritiques*. La proportion d'éléments de transport tout en étant notablement plus élevée que dans le niveau inférieur reste très faible et fort au-dessous de 1 %. Le quartz est représenté par des éléments anguleux mesurant en moyenne $0^{mm}07$. Certains grains atteignent jusqu'à 2, 3 et 5 dixièmes de millimètre de diamètre.

B. *Minéraux secondaires*. Ils tiennent la première place dans le résidu inorganique.

Leverrierite. Elle représente à elle seule plus de la moitié du résidu minéral. Les cristaux sont de plus grande taille que dans tous les niveaux inférieurs.

Glauconie. Elle est toujours en relation avec les Foraminifères dont elle remplit les

1. J. LAMBERT. Op. cit., pp. 146-147 (1878).

loges et avec les spicules de Spongiaires qu'elle épigénise. On n'en voit pas en moyenne un élément par section mince,

Pyrite et *Limonite*. Ces deux substances sont assez répandues sous forme d'éléments à contours irréguliers de toutes dimensions, souvent visibles à l'œil nu.

Orthose. Elle continue à être très rare.

2° **Organismes.** Ils concourent à la formation de la craie dans la proportion de 3/4 à 4/5 et exceptionnellement de 9/10.

Mollusques. On sait déjà le grand rôle joué par les volumineux débris de test d'Inocérames. On les retrouve dans les coupes minces sous forme de prismes exceptionnellement soudés, et presque toujours isolés et très divisés, représentant en moyenne de 1/5 à 1/4 de la roche. Ils sont très inégalement distribués; dans les points où ils sont accumulés, ils forment la moitié de la craie. Un certain nombre de prismes présentent des traces de corrosion très avancée; quelques-uns, vus en coupe transversale, n'ont d'intacte qu'une couronne externe, enveloppant du carbonate de chaux en menus éléments identiques d'aspect à ceux du ciment.

Bryozoaires. Il font partie intégrante de chaque coupe mince, soit sous la forme de petits fragments ne comportant que deux ou trois cellules, soit à l'état de volumineux débris de colonies visibles à l'œil nu, en regardant les préparations par transparence. Il n'en existe qu'un ou deux par coupe.

Echinodermes. On ne rencontre pas en moyenne un débris de grande plaque d'Oursin par préparation. Les plaquettes polygonales qui ne tenaient qu'une très petite place dans les craies précédemment étudiées constituent ici une notable fraction du résidu de lavage de la craie.

Spongiaires. Le résidu insoluble renferme une certaine proportion de spicules dont voici les principales formes :

A. *Spicules monoaxes*. Ils sont très prépondérants. Ce sont des aiguilles en opale, droites ou arquées et de conservation parfaite, comme celles que j'ai signalées dans la craie à *H. planus* de Béon. Non-seulement la forme en est absolument intacte, mais la silice n'a subi aucune différenciation et le canal a conservé la ténuité qu'il avait à l'origine. D'autres spicules monoaxes sont en glauconie ; ils sont également fusiformes, souvent cylindriques, de forme très allongée, grêle et fréquemment tronçonnés.

B. *Tetractinellidæ*. J'ai observé un certain nombre de spicules tétraradiés, les uns à très petits rayons, les autres de grande taille et de forme robuste.

Chaque coupe mince montre en outre quelques individus monoaxes et calcifiés.

Les *Calcispongidæ* ont laissé des restes assez nombreux.

En somme, l'existence de deux ordres de Spongiaires peut être considérée comme certaine ; la preuve de celle des *Monactinellidæ* n'est pas faite.

Foraminifères. Ils forment une fraction de la roche variant entre 50 et 75 %. La

faune de Rhizopodes de ce niveau se fait remarquer par plusieurs caractères. Elle est plus variée que les précédentes, les formes monoloculaires sont devenues accessoires ; les *Globigerina* sont moins rares, et enfin on trouve dans chaque préparation plusieurs Foraminifères de grande taille à test arénacé. Il existe entre des individus que l'on voit côte à côte, des différences d'épaisseur de test les plus prononcées que l'on puisse observer dans la craie du Bassin de Paris ; un grand nombre ont des coquilles d'une extraordinaire minceur.

La destruction des coquilles de Rhizopodes par dissolution est un phénomène très répandu ; l'examen attentif du ciment montre que beaucoup de formes ont entièrement disparu. Le résidu de lavage contient de nombreux fragments de test profondément corrodés. On voit dans toutes les préparations des coquilles dont l'état fragmentaire est certainement d'origine mécanique. Leurs débris se présentent comme ceux de la planche IX, fig. 3.

3° **Ciment.** Il forme en moyenne de 1/4 à 1/5 de la roche. Les *Coccolithes* viennent au premier rang, les *Rhabdolithes* se sont beaucoup multipliés. Les uns et les autres sont de grande taille. Le carbonate de chaux en petits rhomboèdres et en grains irréguliers est encore abondant, mais il vient au second rang.

La *texture noduleuse* relativement peu accusée dans les affleurements ne se traduit bien que sur la craie vue en masse. La roche n'en est pas affectée d'une façon bien sensible, dans sa structure et sa composition intime. A la vérité, beaucoup de sections de ces « craies noduleuses » ne présentent rien de particulier, et si on n'était pas averti par l'étude des échantillons, on laisserait inaperçue une légère augmentation de cristallinité du ciment qui est dans l'espèce la seule cause apparente de cette texture spéciale qui est probablement d'origine récente.

Résumé. La craie à *Micraster gibbus* de Rosoy se signale surtout par les caractères suivants :

a. Augmentation du résidu minéral et du volume des éléments détritiques ; *b.* grande fréquence relative de la leverrierite ; *c.* prépondérance de l'activité organique qui a laissé de nombreux restes de Mollusques, de Bryozoaires, d'Échinodermes, de Spongiaires et de Foraminifères ; *d.* existence de spicules d'Éponges d'une fraîcheur remarquable ; *e.* prédominance des *Coccolithes* et *Rhabdolithes* qui l'emportent pour la première fois sur les éléments de carbonate de chaux inorganique ; *f.* traces de l'activité mécanique des eaux sous forme de nombreux prismes d'Inocérames tronçonnés, disposés par groupes dans le ciment, et de Foraminifères fragmentaires.

4° CRAIE A *Micraster cor anguinum*

M. J. Lambert [1] a distingué dans cette assise les niveaux suivants, de bas en haut :

Craie compacte à nombreux silex disposés en cordons réguliers et que paraît caractériser la prédominance de l'*Epiaster gibbus*, 15 m.

Craie plus dure à silex disséminés et rares fossiles dont le plus caractéristique est l'*Echinoconus conicus*, 15 m.

Craie blanche souvent compacte avec silex noirs abondants, dans laquelle le *M. c. anguinum* se rencontre presque seul, 30 m.

Craie noduleuse, à parties dures et très nombreux silex souvent cariés, riche en Spongiaires avec plaques isolées de *Marsupites ornatus*. 10 m.

J'ai prélevé les échantillons de craie à *M. c. anguinum* au pied du grand escarpement qui domine à gauche la route de Sens à Nailly, et dont M. Lambert a donné une très bonne coupe (pp. 159-160). Ils appartiennent au niveau 1, que M. Lambert range dans la partie supérieure de l'assise. La craie y est compacte, tendre, très traçante, blanche, tachée de pyrite et disposée en petits bancs de $0^{m}50$ environ, et divisée en bas par une stratification oblique en couches de $0^{m}50$ à 2^{m}. Silex en rognons disséminés, plus rares à la base.

1° **Minéraux.** Avec la craie à *M. c. anguinum*, le résidu redevient presque nul, si on ne tient pas compte de la matière argileuse. Le quartz y est d'une excessive rareté ; ses éléments mesurent en moyenne $0^{mm}04$. Les minéraux secondaires sont représentés par l'orthose, très rare, et la pyrite, relativement fréquente. La *leverrierite* forme à elle seule presque tout le résidu minéral. La glauconie fait absolument défaut.

2° **Organismes.** Ils subissent une importante régression et forment une proportion de la roche variant entre 8 et 10 %.

Mollusques et *Brachiopodes.* Leurs restes sont très clairsemés; quelques prismes d'Inocérames par préparation.

Spongiaires. Quelques formes calcifiées s'observent dans le résidu de lavage. Les Calcisponges continuent à être représentées.

Echinodermes. Quelques plaquettes polygonales assez nombreuses dans le produit de lavage.

Foraminifères. Ils forment presque à eux seuls les proportions de 8 à 10 % que j'ai indiquées comme exprimant le degré de fréquence des organismes. La faune de Foraminifères est essentiellement formée de *Textularia* et de *Rotalina* à test mince. L'examen des préparations met en évidence la disparition complète ou partielle des coquilles suivant le processus indiqué plus haut. Les produits de lavage renferment maints débris de test

1. J. LAMBERT. Notice strat. sur l'étage sénonien, etc., *Bull. Soc. Sc. de l'Yonne*, vol. 32, p. 151 (1878).

de Foraminifères réduits à l'état de squelettes. Il ne semble pas cependant que la pauvreté de cette craie en Rhizopodes calcaires soit le résultat exclusif de phénomènes chimiques. Elle serait en partie originelle.

Organismes indéterminés. Les petits troncs calcaires pareils à ceux de la fig. 4 (Pl. IX) tiennent une très notable place dans le résidu de lavage. J'en ai observé de plus allongés que ceux que j'ai figurés et très nettement arqués.

3° **Ciment.** Il représente de 9/10 à 11/12 de la craie. Les *Coccolithes* et *Rhabdolithes* en forment la plus grande partie. Il comprend en outre de petits rhomboèdres de calcite et des granules irréguliers passant aux cristaux par une foule d'intermédiaires ; les uns et les autres forment une portion importante du ciment.

Résumé. La craie à *M. c. anguinum* se fait remarquer par les particularités suivantes : *a*, réduction du résidu minéral presque entièrement formé de leverrierite ; *b*, rareté des organismes ; *c*, multiplication des organismes indéterminés ; *d*, grande prédominance du ciment en majeure partie formé de *Coccolithes* et de *Rhabdolithes*.

Craie à Marsupites. J'ai examiné en section mince seulement la craie du n° 5 de la coupe de M. Lambert. Elle ne diffère pas sensiblement des précédentes par ses caractères macroscopiques. Les préparations accusent une pauvreté moins grande en Foraminifères et un très grand développement des organismes calcaires indéterminés qui représentent presque *un cinquième* de la surface totale des préparations. On observe un assez grand nombre de *vides* correspondant à la disparition de rhomboèdres.

5° CRAIE A *Belemnitella quadrata*

D'après M. J. Lambert « la craie à Bélemnitelles des environs de Sens est plus blanche, plus fine, plus traçante que celle de l'assise inférieure, moins marneuse et plus résistante ; rarement elle s'exfolie en plaquettes irrégulières, mais se divise souvent en sphéroïdes de diverses dimensions, ou parfois se durcit au contact de l'air ; elle n'affecte qu'exceptionnellement l'apparence noduleuse ». Les silex sont abondants. M. Lambert a distingué dans la craie à *B. quadrata* des environs de Sens deux niveaux qui sont de bas en haut :

Craie assez bien stratifiée ordinairement compacte, plus rarement noduleuse ; silex plus ou moins nombreux. *Offaster pilula* caractérise cet horizon, 30 m.

Craie blanche, compacte, fine, massive, avec *Offaster corculum ;* silex en cordons horizontaux, 40 m.

Je n'ai soumis à l'étude micrographique que des échantillons prélevés dans la subdivision inférieure, à quelques pas de l'église de Saint-Martin-du-Tertre. J'ai étudié les niveaux suivants :

A. Craie dure (coupe de M. Lambert, n° 11, p. 159).

B. Craie anciennement exploitée dans la première carrière à droite, au bord du petit chemin qui descend de l'église vers Sens (c'est probablement le numéro 1 de la coupe de M. Lambert, p. 178).

C. Niveau de craie noduleuse que l'on voit entre cette carrière et l'église.
D. Craie blanche avec silex, affleurant au-dessus du chemin creux dans les champs.

Seul le niveau B a été soumis à un examen complet; les autres craies ont été étudiées en section mince. Un paragraphe spécial (E) sera consacré au phosphate de chaux de la craie à Bélemnitelles et aux principaux caractères de cette craie.

A. Craie dure à Bélemnitelles

Cette craie couronne l'escarpement de Saint-Martin-du-Tertre, près de l'église. C'est une craie très dure, jaunâtre, sonore, tachant très peu les doigts, dépourvue de silex au point où je l'ai observée (2^{m} environ). Les coupes minces pratiquées dans cette roche renferment des minéraux et des organismes.

1° **Minéraux.** Le *phosphate de chaux* est le seul élément visible dans les préparations. Il se présente sous plusieurs formes :

A. Remplissage des loges de Foraminifères; B. Grains jaune chamois à contours assez mal arrêtés et souvent irréguliers; C. Eléments incolores ou jaune pâle. Les uns sont des sections allongées et étroites, rectilignes ou arquées, de forme à peu près rectangulaire ou conique; plusieurs sont cassés; leurs dimensions varient depuis 1/10 de mm. jusqu'à 1^{mm} de long; l'un d'eux mesure 0^{mm}9-0^{mm}07; un certain nombre réagissent sur la lumière polarisée à la façon de l'apatite. Les autres ont des formes arrondies et peuvent atteindre jusqu'à 1/2^{mm} de plus grand diamètre; ils ne polarisent jamais et sont beaucoup plus rares que les précédents.

Une section mince mesurant à peu près un centimètre carré et demi de surface compte au moins une centaine de grains de phosphate. Leur distribution est inégale; ils vont généralement par groupes; les plus volumineux sont associés aux restes organiques de plus grande taille.

2° **Organismes.** Ils correspondent au douzième environ de la roche. On y reconnaît des débris de coquilles de Brachiopodes, des prismes de Mollusques, des colonies fragmentaires de Bryozoaires et quelques spicules calcifiés. Tous sont rares. Les Foraminifères sont très clairsemés. On trouve ici une forte proportion relative de Rhizopodes à test arénacé. Les Foraminifères sont manifestement plus grands et pourvus d'une coquille plus épaisse que ceux de la craie à Marsupites. Les traces de destruction de ces organismes sont nombreuses; tantôt l'emplacement de la coquille détruite est marqué d'une tache plus claire; tantôt le ciment s'assimile pour ainsi dire la substance même de la coquille sans en laisser l'empreinte.

3° **Ciment.** Il forme la plus grande partie de la roche. Il est homogène et très cristallin et se décompose en une infinité d'éléments de calcite juxtaposés, un peu plus volumineux que dans la craie ordinaire. C'est à la cristallinité de son ciment que cette craie doit ses caractères particuliers et notamment sa dureté. Si au lieu de s'étendre uniformément à toute la roche, la cristallisation n'avait affecté que certaines plages du ciment,

la craie aurait pris une *texture noduleuse.* Aussi la transformation qu'elle a subie doit-elle être considérée comme une manifestation plus intense d'un des phénomènes qui président à la genèse de la structure noduleuse. La texture cristalline est acquise et non originelle ; elle affecte principalement le ciment, mais comme je l'ai dit plus haut les coquilles de Foraminifères en ont subi le contre-coup.

En résumé, je considère cette craie comme normale à l'origine, sauf qu'elle était phosphatée. Son durcissement est le résultat de la transformation en calcite du ciment et d'une partie du carbonate de chaux des organismes.

B. Craie blanche à Bélemnitelles de la partie inférieure de l'assise

C'est une craie très blanche, fine et traçante, abandonnant au simple contact des doigts une poudre abondante et absolument impalpable. Elle ne renferme pas de silex. Cette craie fait partie des quelques mètres les plus inférieurs de l'assise.

1° **Minéraux.** Ce niveau est le plus riche en minéraux de tous ceux que j'ai étudiés dans cette région. L'augmentation porte principalement sur les minéraux secondaires dont le résidu insoluble ne donne qu'une idée très incomplète, attendu que le phosphate de chaux n'y figure pas. Débarrassé de l'argile et du phosphate de chaux, il est encore inférieur à 1 °/₀.

Minéraux détritiques. Le *quartz* comprend des grains mesurant en moyenne $0^{mm}06$ et d'autres très rares, beaucoup plus volumineux, plus arrondis, dont le diamètre est parfois supérieur à $1/2^{mm}$. J'en ai observé quelques-uns de forme générale arrondie *auxquels se sont ajoutés des pointements cristallins très nets;* l'élément primitif est comme incrusté d'impuretés ; les portions surajoutées sont en quartz très pur. Des observations de ce genre ont été faites par MM. Sorby [1] et J. A. Phillips [2].

Minéraux secondaires. Ce groupe revêt ici un intérêt exceptionnel. Il comprend du *phosphate de chaux*, de la *glauconie*, de la *leverrierite* et de l'*orthose.*

Phosphate de chaux. Il est aussi répandu que dans la craie dure du niveau A. Ses manières d'être sont les mêmes ; il n'y a de différence que dans la distribution plus égale des grains. Si cette substance n'était pas éliminée par l'acide chlorhydrique au cours de la séparation du résidu insoluble, la proportion de celui-ci serait certainement représentée par plusieurs unités °/₀.

Relations des grains de phosphate avec les Foraminifères. A. Les coquilles de ces organismes sont entièrement incluses dans les grains de phosphate. B. La matière phosphatée remplit par exemple une grande loge de coquilles de *Textularia* ; il pénètre dans la chambre plus petite qui lui fait suite et ne tapisse que la portion du test la plus

1. H. C. SORBY. On the structure and Origin., etc., *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol. 36, p. 62 (1880).
2. J. A. PHILLIPS. On the Constit. and. Hist. of Grits, etc , id., vol. 37, pp. 6-28 (1881).

voisine de la loge précédente : *Toute la partie du Foraminifère en rapport avec le phosphate est absolument intacte ; tout le reste a disparu sans laisser de trace.* C. On voit encore des grains de petite taille traversés par un fragment de test de Foraminifère ; celui-ci est parfaitement conservé à son passage dans le phosphate ; il s'arrête et disparaît brusquement en pénétrant dans la craie. On pourrait multiplier beaucoup les exemples se rapportant aux deux derniers cas. Je donnerai l'interprétation de ces faits curieux en étudiant la craie noduleuse.

Glauconie. Elle forme les 3/4 du résidu minéral. Ses éléments sont des spicules isolés ou soudés, des moulages de Textulaires et de Rotalines et de très rares spicules. Elle est ici en relation manifeste avec les organismes.

Leverrierite. Ce minéral est représenté par un grand nombre d'individus dans le résidu.

Orthose excessivement rare.

2° **Organismes.** Tout ce que j'ai dit des organismes de la craie dure du niveau A leur est applicable. Je me bornerai à noter l'existence de quelques petites plaquettes polygonales dans le résidu organique, et surtout celle des organismes indéterminés qui sont moins répandus que dans la craie à *Marsupites*. Les Foraminifères sont de taille un peu plus grande qu'à ce dernier niveau.

3° **Ciment.** Il a la même importance que dans la craie dure. Sa composition est assez inattendue, étant donnés les caractères pétrographiques de la craie. Il est presque uniquement constitué par de petits éléments de carbonate de chaux de forme rhomboédrique et beaucoup plus souvent irréguliers. Les *Coccolithes* y sont relativement très rares. Quant aux *Rhabdolithes*, il faut les chercher assez longtemps dans le fin limon de lavage pour en déceler l'existence.

Dans les sections minces, le ciment montre de petites taches irrégulières de calcite et d'autres correspondant à des sections très nettes de cristaux rhomboédriques. J'aurai l'occasion d'en dire un mot en étudiant la craie du niveau D.

Résumé. La craie blanche étudiée présente les caractères suivants :

a. Augmentation très marquée des minéraux, par rapport à la craie à *M. c. anguinum* ; *b.* abondance du phosphate de chaux en grains ; *c.* multiplication des éléments glauconieux ; *d.* même degré de fréquence de la leverrierite ; *e.* rareté des organismes ; *f.* grande prépondérance du ciment en majeure partie inorganique.

C. Craie noduleuse

Cette craie montre en saillie des nodules faiblement jaunâtres, mesurant de un à plusieurs centimètres de diamètre et faisant corps avec la craie qui les empâte. L'étude micrographique met en évidence cette particularité que les nodules en question sont des

rognons phosphatés. Le phosphate y est très abondant à l'état de remplissage de coquilles de Rhizopodes, d'innombrables grains présentant toutes les variétés reconnues dans les craies précédentes, et principalement sous forme d'une masse jaune amorphe épigénisant *partiellement* de grandes étendues de ciment calcaire, ainsi que les coquilles qui y sont incluses. Les plages crayeuses qui ont échappé à la phosphatisation sont formées d'une craie très fine et parfois très largement cristallisée en calcite.

Comparaison de la craie normale et de la craie phosphatée. Foraminifères et Radiolaires protégés contre la dissolution par le phosphate de chaux. Les îlots de craie normale que l'on rencontre au sein des grandes plages phosphatées sont distribués au hasard, tantôt nombreux, petits et séparés par une mince épaisseur de phosphate, tantôt clair-semés et occupant chacun une grande place dans la préparation. Leurs contours sont profondément échancrés et leur forme des plus irrégulière. Le phosphate pénètre dans les cavités creusées à la surface. Tous les îlots crayeux témoignent d'une grande uniformité de caractères. Voyons quelles sont les différences que l'on peut observer, au point de vue organique, entre les plages plus ou moins phosphatées et celles qui sont restées crayeuses.

1° *Plages crayeuses.* On y trouve des grains de phosphate isolés en même proportion que dans les craies précédentes et un nombre très restreint d'organismes, quelques spicules calcifiés de grande taille et de forme très robuste (spicules monoaxes, tétraradiés et spicules hexaradiés soudés), *de très rares Foraminifères à test épais et tous en voie de destruction.* Dans les nodules à très grandes plages crayeuses, et où l'observation peut porter sur un très grand nombre de formes, on retrouve tous les stades de destruction des coquilles de Foraminifères que j'ai longuement analysés dans l'étude du banc des roux de Lezennes (p. 250). Le plus souvent l'organisme disparaît sans laisser de trace. Exceptionnellement ces plages crayeuses présentent leur carbonate de chaux très largement cristallisé en calcite.

2° *Plages phosphatées.* Si l'on passe à la craie phosphatée qui enveloppe les îlots crayeux de toutes parts, on observe des faits de la plus haute importance pour l'histoire de la craie. On retrouve les mêmes spicules, calcifiés ou entièrement épigénisés par le phosphate de chaux. *Les Foraminifères pullulent.* Parmi eux se rencontrent les formes qui sont en cours de destruction dans les plages crayeuses voisines, et avec elles une foule d'autres coquilles, les unes entièrement phosphatées, les autres calcaires. Les Foraminifères des parties phosphatées ont pour caractère commun d'être presque tous complets. Comme ceux des îlots crayeux, ils sont généralement de forme robuste. Avec les débris de Spongiaires et les Foraminifères gisent d'autres organismes d'un grand intérêt. Ce sont des *Radiolaires.* Alors qu'ils sont d'une extraordinaire rareté dans toute la craie proprement dite, *les Radiolaires sont ici réunis en assez grand nombre sur un espace insignifiant.* J'ai reconnu côte à côte des représentants de plusieurs genres. Ils appartiennent aux *Spumellaria* et

surtout aux *Nassellaria (Cyrtoidea)*. Leur étude fera la matière d'un travail spécial. Presque tous sont calcifiés comme les spicules de Spongiaires siliceux. Quelques-uns paraissent épigénisés par le phosphate de chaux.

Si l'on cherche à interpréter cette différence fondamentale, au point de vue organique, entre la craie dont le ciment est phosphaté et celle dont le ciment se présente dans des conditions ordinaires, on se trouve en présence d'une seule solution : *La craie normale était dès le principe très riche en coquilles de Rhizopodes de toutes sortes. Elle en est très pauvre aujourd'hui parce que la plupart de ses organismes ont disparu sans laisser de traces.* Si la craie phosphatée a conservé ses organismes, elle en est redevable au phosphate de chaux qui les a protégés contre la dissolution. Ainsi s'explique la conservation parfaite des coquilles complètes ou des portions de test lorsque les unes et les autres sont en rapport avec le phosphate de chaux comme dans les cas mentionnés à propos de la craie blanche (p. 320 et 321). Si au lieu d'examiner des nodules à grandes plages de phosphate, entremêlées de portions non imprégnées par cette substance, on considère les échantillons où cette matière est très répandue sous forme d'épigénie du ciment, on observe le même phénomène : On voit de très grandes plages crayeuses très pauvres en microorganismes, pourvues d'un ciment qui ne diffère en rien de celui de la craie blanche à Bélemnitelles (niveau B) et renfermant quelques petites concrétions phosphatées microscopiques souvent *bourrées de débris organiques*.

La craie ne montre donc sa composition organique originelle que là où elle est phosphatée. La comparaison de cette composition avec celle de la craie ordinaire prouve que cette dernière à subi de profondes modifications.

On voit par cet exemple à quelle erreur on peut s'exposer quand on affirme que « *la craie* » *est très pauvre en Foraminifères, parce que les sections minces n'en montrent qu'un très petit nombre.* J'ai déjà conclu à la destruction des Foraminifères par une démonstration directe comme celle que je viens de faire, en étudiant la craie phosphatée à *M. breviporus* du Nord (p. 242) ; mais, comme la dissolution des coquilles de Rhizopodes est un phénomène qui paraît d'importance secondaire dans le Turonien et qu'il en reste un grand nombre dans les craies phosphatées, le fait paraissait moins gros de conséquences. Dans l'espèce, il s'agit, au contraire, d'une craie qui, dans son état actuel, est partout pauvre en Foraminifères. La différence est beaucoup plus apparente. Je crois utile de rappeler ici que j'étais déjà arrivé à la notion de fragmentation et de dissolution complète des coquilles de Foraminifères par l'observation directe des phénomènes d'altération qu'elles présentent dans beaucoup de craies, et notamment dans celle du banc des roux de Lezennes (p. 250).

D. Craie blanche à Bélemnitelles, supérieure aux niveaux précédents

J'ai prélevé les échantillons de cette craie dans les champs au-dessus du chemin creux où se trouve le niveau de nodules phosphatés. Je crois qu'elle fait encore partie de la zone inférieure à *Offaster pilula*. Ses caractères lithologiques sont sensiblement les mêmes que ceux du niveau B. Elle renferme des silex noduleux. Au microscope, cette craie est remarquable à trois points de vue :

1° Elle renferme du phosphate de chaux, bien que son niveau soit très supérieur à la base de l'assise. On ne l'y rencontre qu'en faible proportion.

2° Les organismes sont extrêmement rares. Ce sont de grands Foraminifères intacts. Ils forment de 1/30 à 1/20 de chaque préparation. Il est évident que des coquilles de Rhizopodes ont été détruites par voie chimique. Certains échantillons n'en renferment guère que 2 °/₀.

3° Le ciment, qui constitue presque toute la craie, renferme une foule d'éléments de calcite. Beaucoup de ces corps ont une forme irrégulière, mais les sections du plus grand nombre sont celles de rhomboèdres parfaits. Ces corps montrent la curieuse propriété d'être composés de plusieurs éléments de calcite d'*orientation différente*. La forme des cristaux est esquissée, mais l'unité cristalline n'est pas réalisée. Ce sont des *rhomboèdres composés*. En soumettant les sections minces à une analyse minutieuse, on observe tous les passages, depuis la tache tout à fait irrégulière jusqu'au cristal parfait. L'une et l'autre sont des produits de différenciation et de cristallisation du ciment. Cette métamorphose est du même ordre que celle qui donne naissance à des plages plus cristallines dans le ciment de la craie ou qui conduit à une craie uniformément cristallisée. La seule différence est dans le phénomène de cristallisation qui, dans l'espèce, affecte le ciment en une foule de points et semble s'arrêter dès que la forme rhomboédrique est réalisée.

Cette transformation du ciment rappelle beaucoup celle de la craie noduleuse à *M. c. testudinarium* du Bray (Pl. IX, fig. 6), mais elle est ici incomparablement moins générale et les parties intactes l'emportent beaucoup sur celles qui sont modifiées. Il est curieux qu'une pareille transformation n'ait modifié en rien l'aspect et la cohérence de la craie.

E. Phosphate de chaux de la craie à Bélemnitelles et principaux caractères de cette craie

Si après cette analyse rapide des différentes manières d'être de la craie à Bélemnitelles, on essaye de dégager le caractère prédominant de cette formation, on le trouve dans la présence du phosphate de chaux. Par la raison même que cette substance s'observe en quantité notable à chacun des niveaux considérés, sauf toutefois dans le supérieur où il s'est déjà raréfié, on peut tenir sa diffusion pour certaine sur une

épaisseur importante de craie de la base de l'assise. Si la sédimentation n'avait pas été plus active en cette région du Bassin de Paris que dans les points où se trouvent les gisements de craie phosphatée à Bélemnitelles, et si par conséquent la même somme de matière phosphatée se trouvait condensée sur une épaisseur moindre, il est probable que l'attention se serait portée depuis longtemps sur cette question. Ce qu'il faut retenir avant tout, c'est qu'on se trouve ici en présence d'une formation importante de phosphate dans une craie excessivement pauvre en minéraux clastiques et dans une région que l'on pourrait considérer à priori comme à l'abri de toute influence d'un littoral. Il est extrêmement difficile de se rendre compte dans l'espèce du mode d'accumulation des éléments phosphatés, si l'on admet avec MM. Renard et J. Cornet que les grains se sont formés à proximité de la côte et qu'ils ont été ensuite transportés vers des points plus profonds. Ce dernier épisode de l'histoire des grains suppose une recrudescence de l'activité mécanique. Pourquoi les éléments qui forment cortège au phosphate n'en portent-ils point la trace ? J'ai bien noté une augmentation dans le nombre et le diamètre des minéraux clastiques, mais ces différences ne sont vraiment pas en rapport avec celles que suppose un accroissement dans la puissance des agents de transport, capables d'entraîner des grains de phosphate de chaux mesurant 1^{mm} et plus. Peut-être pourrait-on tourner la difficulté en supposant que parmi les éléments minéraux, il en est qui ont été entraînés par des courants de surface et d'autres qui ont cheminé sur le fond de la mer. Les granules phosphatés seraient dans le dernier cas et les autres particules détritiques se réclameraient du premier véhicule. En réalité, cette conjecture résout mal le problème. Si les éléments phosphatés ont pris naissance dans des eaux littorales pour descendre dans les parties profondes de la mer crétacée, on devrait trouver avec eux des grains de quartz d'un fort volume, des produits de la trituration d'organismes comme des débris de test d'Inocérames qui auraient suivi le même chemin. La craie en question ne présente absolument rien de particulier à ce point de vue. Les conditions favorables au développement et à l'accumulation des grains n'ont donc eu aucune influence sur les éléments qui constituent la craie. Tout s'est passé comme si les agents chimiques qui concourent à la genèse de ce dépôt avaient seuls été modifiés. En vérité l'opinion de la production des grains sur place ou au voisinage des points où ils sont accumulés, pour si inexplicable qu'elle puisse être, à première vue, semblerait plus conforme aux caractères de la craie qui les renferme que celle qui les fait prendre naissance en dehors de la région qu'ils occupent de nos jours. Au fond, il n'y a d'inconciliable avec les faits, dans la manière de voir de MM. Renard et J. Cornet, pour le cas envisagé ici, que tout ce qui concerne le point où s'effectue la genèse des granules phosphatés. Si au lieu de supposer qu'ils se sont formés dans les zones littorales, on admettait qu'ils se sont développés sur des aires où les éléments de transport ne pénétraient qu'en très faible quantité, on aurait beaucoup moins de difficulté à s'expliquer comment les minéraux détritiques qui gisent à côté des

grains de phosphate ne sont pas plus nombreux et plus volumineux. L'existence de courants de fond laissant des traces de leur activité loin des bords de la mer crétacée est suffisamment démontrée pour qu'il n'y ait aucune difficulté à expliquer le transport et l'accumulation des volumineux grains phosphatés formés loin des côtes. Ce sujet fera l'objet de plus amples développements dans le chapitre XII et surtout dans le travail que je consacrerai aux accidents minéralogiques de la craie.

Les traits principaux de la composition des craies à Bélemnitelles sont :

A. Au point de vue minéral, les particularités les plus intéressantes sont en dehors de l'existence du phosphate de chaux, de la glauconie et de la leverrierite : *a.* pseudomorphose de spicules d'Eponges par le phosphate de chaux ; *b.* cristallisation partielle ou complète du ciment en rhomboèdres isolés de forme irrégulière et juxtaposés.

B. Au point de vue organique : *a.* présence de spicules de Spongiaires relativement nombreux (craie noduleuse) caractérisés par des formes très robustes et de grande taille ; *b.* réapparition en très grand nombre à la base de l'assise de grands Foraminifères à test arénacé ; *c.* accroissement de la taille et de l'épaisseur du test de tous les Foraminifères à la base de l'assise ; *d.* différence radicale de la teneur en organismes des plages de craie phosphatée et de craie normale ; *e.* existence de Radiolaires.

La considération des minéraux et organismes de la base de l'assise conduit à la notion d'une notable réduction de la profondeur de la mer au début de la période campanienne.

6° RÉSULTATS GÉNÉRAUX DE L'ÉTUDE DE LA CRAIE DE L'YONNE

La rapide analyse microscopique que j'ai faite de la craie de l'Yonne a mis en évidence les particularités suivantes :

1° **Minéraux.** Ils jouent un rôle presque toujours négligeable. Leur proportion se tient toujours beaucoup au-dessous de 1 °/₀ dans les craies où leur fréquence est maxima — argile et phosphate de chaux non compris.

Minéraux détritiques. Ils augmentent en nombre et en diamètre depuis la base jusqu'au sommet du Turonien. De $0^{mm}08$ qu'il était dans la craie à *H. planus*, le diamètre descend à $0^{mm}04$ à la base de la craie à *M. c. testudinarium* en même temps que le résidu minéral devient presque nul. Le sommet de cette assise est marqué par un accroissement de diamètre ($0^{mm}07$) et la multiplication des particules détritiques. La base des couches à *M. c. anguinum* est caractérisée comme celle de l'assise inférieure par une grande réduction du volume et du degré de fréquence des éléments de quartz. (diam. $0^{mm}04$). Celle de la craie à Bélemnitelles comporte une augmentation dans le diamètre qui atteint $0^{mm}06$. Comme dans les autres régions du Bassin de Paris, il y a

coexistence dans chaque assise des éléments précédents et de grains arrondis mesurant un et souvent plusieurs dixièmes de millimètre.

Minéraux secondaires. A. *Glauconie.* Elle est toujours rare ou absente. C'est dans les craies à *M. breviporus* et à *M. gibbus* qu'on la rencontre avec le plus de fréquence ; on trouve alors tout au plus un élément par section mince. Elle est presque toujours en relation avec les organismes.

B. *Leverrierite.* On doit à M. Stur [1], la découverte dans le gore blanc de la couche de houille de Radnitz (Bohême) de corps inconnus auxquels il attribue une origine organique et qui ont reçu le nom de *Bacillarites problematicus.* En 1887, MM. Favarcq et Grand'Eury [2] signalèrent l'existence de ces corps énigmatiques dans les couches du bassin houiller de la Loire. M. Stanislas Meunier [3] en entreprit l'étude en 1889. Comme MM. Stur, Favarcq et Grand'Eury, il se prononça pour l'origine organique et considéra les Bacillarites comme de véritables fossiles transformés en une sorte de pholérite ; il distingua plusieurs espèces, *Bacillarites Grand'Euryi* et *B. Favarcqii.* Une autre espèce, *B. amphioxus*, fut reconnue par M. St. Meunier dans des roches charbonneuses de Grazac (Tarn), dont l'origine est indéterminée ; leur provenance est une météorite ou un nerf de houille terrestre.

En 1890, M. Termier [4] consacra à ces corps une étude très complète d'où il résulte que les *Bacillarites* appartiennent au règne minéral. M. Termier en a fait le type d'une nouvelle espèce qu'il a nommée *leverrierite.* Cette nouvelle interprétation des bacillarites fut admise par M. Grand'Eury [5], dans sa belle étude du bassin houiller du Gard.

Diffusion de la leverrierite dans les craies de l'Yonne. J'ai rencontré ce minéral à tous les niveaux du Turonien et du Sénonien que j'ai étudiés. Dans le Turonien et jusqu'à l'assise à *M. c. testudinarium* non comprise, la leverrierite ne représente qu'une minime partie du résidu minéral. Elle compose à elle seule plus de la moitié du résidu (débarrassé de l'argile) de la craie à *M. c. testudinarium.* Celui de la craie à *M. c. anguinum* en est presque uniquement formé. Elle continue à être très répandue dans le résidu des assises plus élevées.

Caractères morphologiques. Les cristaux de leverrierite de la craie de l'Yonne sont de petits prismes fréquemment tordus et vermiformes, très courts ou très allongés et mesurant de quelques centièmes de mm. à $0^{mm}5$ de longueur. La description que MM. Favarcq et Grand-Eury ont donnée des Bacillarites dans leur note à l'Académie des sciences (1889)

---

1. STUR. Geol. Verhält.... bei Schlan in Kladnoer Becken, pp. 8-16.
2. FAVARCQ et GRAND'EURY. Sur un grès d'origine organique, etc., *C. R. Ac. Sc.*, vol. 104, p. 398 (1887).
3. ST. MEUNIER. Examen des roches houil. à *Bacillarites* Stur, *C. R. Ac. Sc.*, vol. 108, p. 468 (1889).
4. TERMIER. Etude sur la Leverrierite, *Ann Mines*, 8e Sér , vol. 17, pp. 372-402 et *C. R. Ac. Sc.* vol. 108, p. 1071 (1890).
5. GRAND'EURY. Géol. et Pal. du Bas. houil. du Gard, pp. 87 et suiv., Pl. IV (1890).

s'applique rigoureusement aux cristaux de la craie. Ils offrent « les courbures les plus variées ; ils sont arqués, repliés, contournés et tordus, revêtant la forme vermiculaire ». Ils sont tantôt cylindriques *(B. Favarcqii)* et tantôt anguleux *(B. Grand'Euryi)*. Des cristaux « accolés se séparent et simulent des bifurcations ». La largeur des individus allongés n'est pas toujours constante pour un élément donné. La plupart ont leurs extrémités tronquées : ce sont des prismes basés. Il en est qui se terminent en pointes émoussées.

Propriétés. Les cristaux séparés de la craie et placés au sein d'un liquide de faible densité comme l'eau sont colorés en gris foncé ; ils reposent toujours sur leurs faces d'allongement, rugueuses et dépourvues d'éclat. Ils sont d'apparence très fibreuse. Leur surface présente des stries longitudinales et de nombreux joints transverses. En s'aidant d'une aiguille montée, on peut par une légère pression convenablement exercée sur un élément donné, le décomposer sous le microscope en un grand nombre de lamelles de clivages qui se séparent complètement ou glissent les unes sur les autres pour prendre une disposition en gradins. Ce clivage facile est normal à l'axe d'allongement. Il correspond à la face p (001).

Les lamelles de clivage dessinent des hexagones à contours réguliers ou non. Elles sont parfois dépourvues de forme géométrique. L'éclat en est vif et vitreux. L'aiguille pénètre dans les cristaux comme dans la cire. Les inclusions font défaut. Le polychroïsme des cristaux est insensible. L'extinction entre les nicols croisés se fait rigoureusement à zéro par rapport au clivage p (001). La biréfringence est très voisine de celle du quartz. Les fibres limitées par le clivage facile ont leur allongement positif.

J'ai étudié les propriétés de ce minéral en lumière convergente, en tronçonnant les cristaux sous le microscope pour en fixer ensuite les fragments sur la base. La substance est biaxe. Le plan des axes optiques coïncide avec une diagonale de l'hexagone. La bissectrice aiguë négative (n_p) est normale à p (001).

En résumé, les différentes propriétés du minéral de la craie de l'Yonne sont celles que M. Termier a fait connaître pour la leverrierite. L'identification de ces substances ne laisse place à aucun doute. Je dirai au chapitre XII en étudiant les minéraux secondaires de toute la craie du Bassin de Paris quelles sont les raisons qui me portent à considérer la leverrierite de la craie comme non clastique.

Phosphate de chaux. Comme dans le nord du Bassin, le phosphate de chaux est principalement développé au niveau du *Micraster breviporus*, et à la base de la craie à Bélemnitelles. Les propriétés de ses éléments et leurs caractères morphologiques sont ceux que j'ai décrits pour le phosphate des autres points du Bassin de Paris. L'étude de ce minéral présente un grand intérêt. Elle met en relief cette particularité déjà reconnue dans la craie phosphatée de Lezennes, mais beaucoup mieux marquée ici, que cette substance est douée de propriétés conservatrices des microorganismes. Au point de vue des conditions de genèse des éléments phosphatés, elle montre que l'explication de MM. Renard

et J. Cornet de l'accumulation des granules phosphatés de la craie ne peut convenir à la région de l'Yonne.

Orthose. C'est une espèce minérale excessivement rare à tous les niveaux.

2° **Organismes.** La part qui leur revient est très variable suivant le niveau. Elle atteint son maximum dans la craie à *M. gibbus* qui peut être formée d'organismes dans la proportion de 9/10. Elle est encore très élevée au niveau de *M. breviporus* où elle est de 4/5. Partout ailleurs, elle est faible, sauf dans les plages phosphatées de la craie à Bélemnitelles. La proportion est de 1/12 environ pour les craies à *I. labiatus*, à *M. c. anguinum* et certaines craies à Bélemnitelles et de 1/20 à 1/30 pour la craie à *Belemnitella quadrata*, la plus supérieure que j'aie étudiée.

Il est remarquable que *les débris organiques sont d'autant plus répandus que les minéraux de transport qui les accompagnent sont plus nombreux et plus volumineux.*

Mollusques et *Brachiopodes.* On en trouve des débris dans toutes les craies. Les restes d'Inocéranes qui sont les plus intéressants à considérer sont représentés dans des proportions très inégales. Ils forment un élément essentiel de la craie à *M. gibbus* (1/5-1/4). Les niveaux à *M. breviporus* et à *M. c. anguinum* en sont beaucoup moins riches. Tous les autres en renferment un très petit nombre.

Bryozoaires. A l'exception des craies à *M. cor bovis* et à *M. c. anguinum*, toutes renferment des vestiges de ces organismes. On en rencontre un ou deux — toujours brisés — dans chaque préparation.

Echinodermes. Leurs débris s'observent sous la forme de grandes plaques transformées en calcite et visibles dans les sections minces (As. à *H. planus* et à *M. gibbus*), soit surtout dans le limon de lavage à l'état de baguettes et principalement de plaquettes polygonales. Ces dernières se rencontrent dans toutes les craies étudiées; elles abondent dans celles à *M. gibbus* et à *M. c. anguinum.*

Spongiaires. J'en ai reconnu des vestiges à tous les niveaux.

L'ordre des *Calcispongidæ* est parfois seul représenté (As. à *I. labiatus*). Il fait partie des restes de Spongiaires de chaque assise.

Les niveaux où les spicules de Spongiaires siliceux se rencontrant de préférence sont ceux à *H. planus*, *M. gibbus* et *B. quadrata.* Le sommet du Turonien est relativement riche en débris de Spongiaires comme dans les autres points du Bassin de Paris. Certaines formes glauconieuses se retrouvent au même niveau et tout à fait à la base du Sénonien dans les différentes régions considérées jusqu'ici dans ce travail. Je n'ai reconnu que des spicules monoaxes, des formes de *Tetractinellidæ* et d'*Hexactinellidæ*; les dernières n'ont été observées que dans la craie à Bélemnitelles.

L'état de fossilisation des spicules est très variable. Les éléments *calcifiés* sont les plus répandus ; les formes *glauconieuses* viennent ensuite. Une mention toute spéciale est due à des spicules d'*opale* (craies à *H. planus* et à *M. gibbus*) qui sont presque

aussi bien conservés que ceux des Eponges actuelles. Je signalerai enfin les spicules *phosphatés* de la craie noduleuse à Bélemnitelles.

C'est au sommet du Turonien et dans la craie phosphatée à Bélemnitelles que les restes de Spongiaires acquièrent leurs plus grandes dimensions et les formes les plus robustes.

Radiolaires. Ils sont nombreux par places dans la craie noduleuse à *B. quadrata* où j'ai reconnu des *Spumellaria* et des *Nassellaria* (*Cyrtoidea*) le plus souvent calcifiés et paraissant parfois pseudomorphosés par le phosphate de chaux.

Foraminifères. Leur proportion varie beaucoup suivant le niveau. Elle est d'environ 8-10 % dans l'assise à *I. labiatus*, de 70 % dans la craie à *H. planus*, de 10 % dans la craie à *M. c. testudinarium* et *M. cor bovis*, de 50 à 75 % dans la craie à *M. gibbus*. Elle est réduite à 8-10 % au niveau de *M. c. anguinum*. Ils pullulent dans les parties phosphatées de la craie à Bélemnitelles et redeviennent rares dans les portions crayeuses. La partie supérieure de la craie à *B. quadrata* en est excessivement pauvre.

La faune se modifie graduellement dans la série des assises considérées. Il y a une prépondérance très accusée des individus monoloculaires et surtout de *Fissurina* dans tout le Turonien. Avec la base du Sénonien l'équilibre est presque réalisé entre les formes mono- et pluriloculaires ; les premières l'emportent encore un peu. A partir de la craie à *M. gibbus* elles deviennent accessoires, voire même rares ou absentes dans les sections minces. *Textularia* et *Rotalia* sont alors les formes dominantes. *Globigerina* est toujours rare. Les grands Foraminifères à test arénacé dont la plupart sont des *Textularidæ* s'observent en assez grand nombre à plusieurs niveaux et notamment dans la craie à *Holaster planus*, où ils présentent leur maximum de fréquence, et dans celles à *M. gibbus* et *B. quadrata* (variété dure de la base).

A partir du Sénonien les coquilles de Rhizopodes incluses dans une même craie présentent le plus souvent de grandes différences d'épaisseur en dehors de celles qui existent du fait même de la présence de grands Foraminifères à test arénacé. La craie à *M. gibbus* est très remarquable à ce point de vue. Les coquilles de Rhizopodes calcaires de la base de la craie à Bélemnitelles sont de plus grande taille et pourvues d'un test plus épais que dans la craie de l'assise immédiatement inférieure.

Les exemples de destruction sur place des coquilles de Foraminifères abondent dans l'Yonne. Un autre phénomène d'une importance capitale pour l'histoire de la craie, c'est la conservation de ces organismes dans les plages phosphatées, montrant que *la composition actuelle de ce dépôt ne nous éclaire que très imparfaitement sur le degré de fréquence des microorganismes à l'origine.*

Organismes indéterminés. Les bâtonnets indéterminés du type de ceux figurés à la planche IX, fig. 4, existent dans toute la série ; comme dans le Nord, le Bray, etc., ils n'interviennent pour une part notable dans la composition de la craie qu'à partir de

l'assise à *M. c. anguinum*. Ils sont nombreux dans tout le Sénonien supérieur. Ils occupent environ le *cinquième* de la surface de chaque préparation de la craie à Marsupites.

3° **Ciment**. Son importance est donnée pour chaque assise par la différence entre l'unité et les fractions qui expriment la proportion d'organismes, celle des minéraux étant négligeable dans tous les cas. Elle varie de 1/12 à 29/30 environ. Le ciment forme les 11/12 de la craie aux niveaux à *Inoceramus labiatus*, *M. c. anguinum* et *B. quadrata (pars)*. Il représente 1/4, 1/5 et exceptionnellement 1/10 de la craie à *M. gibbus*. C'est dans le niveau le plus supérieur de la craie à Bélemnitelles étudiée qu'il joue le rôle le plus important, puisque les organismes n'y entrent que dans la proportion de 1/30-1/20.

Ces chiffres ne traduisent que la composition actuelle de la craie. Si l'on tient en vue le phénomène de destruction des coquilles de Rhizopodes qui a pour conséquence immédiate d'exagérer le rôle du ciment aux dépens des organismes, on peut considérer comme certain qu'il était moins considérable dès le principe.

Divers éléments prennent des parts très inégales à la constitution du ciment. Ce sont des *Coccolithes*, des *Rhabdolithes*, des organismes indéterminés, des éléments de carbonate de chaux de forme rhomboédrique ou arrondie. Cette dernière catégorie représente la masse fondamentale du ciment jusqu'au niveau à *M. gibbus* où, pour la première fois, les Coccolithes passent au premier rang qu'ils ne cessent d'occuper dans la suite, à moins que le ciment n'ait été soumis à une métamorphose prononcée. (Ex. : craie durcie à Bélemnitelles). Le carbonate de chaux cristallin, rhomboédrique ou amorphe est le résultat des modifications subies par la craie depuis son dépôt. Il n'est pas le produit d'une précipitation chimique dans l'eau de mer. Il trouve en partie son explication dans la destruction des coquilles de Rhizopodes.

Texture noduleuse de la craie. Au nombre des divers accidents qui frappent la craie de l'Yonne, il faut compter le développement de la *texture noduleuse* observée à la fois dans le Turonien et le Sénonien. Elle revêt plusieurs manières d'être :

1° Tantôt les parties noduleuses, très apparentes à l'œil nu, ne diffèrent presque en rien de la craie normale quand on les soumet à l'analyse microscopique. La texture noduleuse ne se révèle alors que sur la craie vue en masse. C'est le cas de plusieurs spécimens empruntés à la craie à *M. gibbus*, qui ne me paraissent que des accidents superficiels et probablement d'origine récente.

2° Une transformation du ciment, parfois accompagnée de celle du test des organismes, est presque toujours la conséquence de la genèse de la texture noduleuse. On voit, comme dans la craie à *H. planus*, des plages ayant atteint un degré de cristallinité telle que la forme de beaucoup de Rhizopodes est indiscernable et que le ciment lui-même est transformé en grands éléments de calcite. Au niveau de la craie dure à Bélemnitelles,

la métamorphose s'est étendue à une grande masse de sédiments. L'un et l'autre cas ne sont que des modalités d'un seul et même phénomène.

3° La structure noduleuse peut avoir comme point de départ l'introduction dans la craie d'une notable proportion de phosphate de chaux à l'état de grains indépendants et d'épigénie partielle du ciment. Ce cas est réalisé dans la craie à Bélemnitelles. Le ciment des parties non imprégnées de phosphate de chaux dans les nodules peut être transformé en calcite très largement cristallisée, et les organismes qui y sont inclus sont plus ou moins en voie de disparition. Les nodules phosphatés sont assez peu différents de ceux qui résultent d'une simple transformation de la craie pour qu'ils n'aient pas été distingués d'une façon spéciale par les habiles observateurs qui ont étudié la craie de l'Yonne.

Résumé et Conclusions. La part qui revient aux agents mécaniques, physiologiques et chimiques dans la genèse des craies de l'Yonne est très inégale; le rôle des deux derniers a été prépondérant.

Les *agents mécaniques* n'ont laissé que des traces imperceptibles dans le domaine minéral. Ils ont surtout marqué leur empreinte sur les débris organiques en déterminant l'état fragmentaire et la dissémination d'un grand nombre d'entre eux.

Les *agents physiologiques* sont au premier rang à tous les niveaux, et, lorsque les vestiges de leur activité sont rares, c'est que les *agents chimiques* en ont détruit un grand nombre.

Ces derniers ont principalement manifesté leur existence en faisant disparaître des produits de l'activité organique, en métamorphosant le ciment originel de la craie et par la genèse de minéraux secondaires : phosphate de chaux, glauconie et leverrierite. A ce dernier point de vue, la craie de l'Yonne se distingue de toutes celles que j'ai étudiées par l'extrême rareté de l'*orthose* et par la présence de la *leverrierite*. La formation de grands cristaux de calcite (*rhomboèdres composés*, p. 324), pareils à ceux qui pullulent dans la craie noduleuse du Bray, est à rattacher à l'activité chimique.

CHAPITRE X

CRÉTACÉ DU SUD-OUEST DU BASSIN DE PARIS

Sommaire. — I. Vallée de la Loire. — 1°. **Crétacé de Langeais**, 334. A. « Tuffeau » angoumien, 334; Quartz secondaire, 336. B. Tuffeau immédiatement inférieur au niveau à *Rhynchonella vespertilio*, 337. C. « Craie » à Bryozoaires 338. D. « Craie » noduleuse à *Spondylus truncatus*, 338. E. « Craie » de la base du Campanien, 339. F. « Craie » siliceuse campanienne, 340. G. Résultats généraux de l'étude du Crétacé de Langeais, 341. — 2°. **Crétacé de St-Avertin, près Tours**, 344. A. « Craie » à Trigonies, 344. B. « Craie » jaune sableuse à nodules aplatis, 346. C. « Craie » jaune supérieure à la « Craie » à nodules aplatis, 347. D. « Craie » à Bryozoaires, 348. E. « Craie » noduleuse à *Sp. truncatus*, 349. F. « Craie » grise à « silex », 350. Etude micrographique des *cherts* de ce niveau, 350. G. Résultats généraux de l'étude du Crétacé de St-Avertin, 353 — 3°. **Crétacé de Cangey**, 355. A. Calcaire à *Ostrea columba gigas*, 355. B. Calcaire blanc à *A. tricarinatus*, 355. C. Calcaire crayeux à *Micraster turonensis*, 357. D. Résultats généraux de l'étude du Crétacé de Cangey, 358.

II. Vallée du Cher, 359. — 1°. Craie à *I. labiatus*, 360; Etude des *silex* composés de la craie à *I. labiatus*, 361; Conséquences générales qui découlent de la formation de silex composés, 365. — 2°. Tuffeau de Bourré et de Montrichard, 365. A. Tuffeau calcaréo-siliceux, 366. B. Cherts, 368; Origine de la silice des cherts et du tuffeau calcaréo-siliceux, 369. — 3° Calcaire jaune de St-Georges-sur-Cher, 371. — 4°. Résultats généraux de l'étude du Turonien de la vallée du Cher, 373.

III. Vallée du Loir, 376. — 1° Craie à *I. labiatus*, 377. — 2° Tuffeau de St-Paterne, 381. — 3° Calcaire saccharoïde à *Ostrea auricularis*, 385. — 4°. « Craie » glauconieuse à *Rh. vespertilio*, 387. — 5°. « Craie » à Bryozoaires. A. « Craie » sableuse à Bryozoaires, 389. B. « Silex », 390.; Conclusions, 392. — 6°. « Craie » de Vendôme, 392. — 7°. Résultats généraux de l'étude du Crétacé de la vallée du Loir, 393.

IV. Résultats généraux et conclusions de l'étude du Turonien et du Sénonien du Sud-Ouest du Bassin de Paris, 396. — 1° *Minéraux*; Etude comparée des résidus minéraux, 397; Minéraux secondaires. Glauconie, Quartz, 398. — 2° *Organismes*, 399; Bryozoaires, 399; Spongiaires, 400; Foraminifères, 401. — 3° *Ciment*, 402; Sources de la silice, 404; Silex et Chert, 405; Réformes à introduire dans la terminologie employée pour désigner les différentes roches du Crétacé du S.-O. du Bassin de Paris, 405; Etat initial des dépôts étudiés; Somme de leurs métamorphoses, 406.

J'ai soumis à l'étude micrographique des échantillons des vallées de la Loire, du Cher et du Loir. Ils appartiennent tous au Turonien et au Sénonien.

I. VALLÉE DE LA LOIRE

Afin de bien mettre en relief les modifications de toutes natures qui affectent les dépôts en s'avançant progressivement vers l'intérieur du Bassin de Paris, j'ai étudié le Crétacé

de la vallée de la Loire en trois points différents : 1° Langeais; 2° Saint-Avertin [1]; 3° Cangey. Les « craies » de Saint-Avertin seules ont été examinées en détail; celles des autres régions n'ont été étudiées qu'en coupes minces.

1° CRÉTACÉ DE LANGEAIS

J'ai relevé sur place la série des couches indiquées par M. de Grossouvre [2], à Langeais et Villandry sur les bords de la Loire, entre Tours et Angers. Elle débute à Langeais par un « tuffeau » calcaire et siliceux à éléments très faiblement agglomérés, renfermant des lentilles plus siliceuses douées d'une grande dureté. Le même facies se retrouve au sommet de l'Angoumien et à la base du Santonien sans qu'il soit possible, ainsi que l'a fait remarquer M. de Grossouvre, de trouver la limite des deux étages. Ce tuffeau est exploité comme pierre de taille. La partie profonde en est invisible. Il se termine par une surface irrégulière couverte de glauconie, surmontée par un banc dur à *Rhynchonella vespertilio*. Puis viennent des bancs tendres très riches en Bryozoaires (1^m50), auxquels fait suite un calcaire dur à *Spondylus truncatus* (1^m). A cet ensemble succèdent des couches tendres à Bryozoaires qui s'imprègnent progressivement de silice. Puis des rognons siliceux apparaissent, se multiplient rapidement et donnent naissance au sommet de la carrière à des lits continus qui se succèdent à de courts intervalles. Ces couches siliceuses appartiennent au Campanien. Les terrains qui composent la série étudiée représentent le sommet de l'Angoumien, le Santonien et la base du Campanien.

A. « TUFFEAU » ANGOUMIEN.

Les échantillons que j'ai examinés ont été prélevés dans la partie la plus profonde de l'exploitation de Langeais. *a*. Les uns appartiennent au tuffeau tendre; *b*. les autres font partie des lentilles très dures.

a. **Tuffeau tendre.** Il est jaunâtre, grossier, criblé de petits vides et d'aspect finement oolithique.

Les *minéraux* qui concourent à la formation de cette roche sont des grains de quartz roulé dont le diamètre moyen est de $0^{mm}25$; ils forment à peine le dixième de la roche.

Les *organismes* sont représentés par des débris de *Bryozoaires* roulés de forme sphérique et ovoïde. Avec eux on trouve une multitude de corps sphériques, ovoïdes, cylindriques ou irréguliers auxquels sont associés de très rares *Foraminifères* de grande

1. Je rattache le Crétacé de St-Avertin à celui de la vallée de la Loire, quoique cette localité se trouve en réalité sur les bords du Cher, tout près du confluent de cette rivière avec la Loire.

2. DE GROSSOUVRE. Sur le terrain crétacé dans le S.-O. etc., *B. S. G. F.*, 3e S., vol. 17, p. 504 (1889).

taille et de conservation défectueuse. Ces corps ont un diamètre égal ou un peu supérieur à celui des éléments clastiques. Ils sont visibles à l'œil nu. C'est à eux que le tuffeau doit son aspect oolithique ; il est particulièrement difficile de se prononcer sur leur origine. Ils sont homogènes et composés de particules de carbonate de chaux excessivement petites, d'orientation confuse, d'aspect dépoli. Ils ne présentent pas le moindre vestige de structure organisée. Ils sont calibrés comme les particules clastiques et les rares grains roulés dérivés des Bryozoaires auxquels ils sont associés.

Dans la très grande majorité des cas, les éléments minéraux et organiques sont simplement en contact sans interposition de ciment et laissent entre eux de larges espaces vides. Exceptionnellement, un peu de calcite secondaire largement cristallisée agglutine quelques grains calcaires.

En résumé, cette roche a toutes les apparences d'un calcaire oolithique quartzeux dont quelques éléments ont une origine organique incontestable, mais dont la genèse des éléments calcaires globuleux est inexplicable en faisant appel aux seules données que fournit la roche.

b. **Tuffeau dur des lentilles.** On trouve dans le tuffeau des lentilles d'un volume parfois considérable, formées d'une roche excessivement dure. A l'œil nu, on y reconnaît de nombreux grains de quartz plongés dans un ciment gris légèrement rose. La roche est très compacte. Elle fait effervescence aux acides.

Au microscope, elle se décompose comme le tuffeau tendre en grains calcaires qui paraissent, en lumière naturelle, isolés de tous côtés. Leur forme est sphérique, ovoïde, quelquefois cylindrique et exceptionnellement irrégulière. Ils mesurent en moyenne $0^{mm}25$ de diamètre. Aux plus faibles grossissements, quelques-uns de ces grains apparaissent comme des morceaux de *Bryozoaires* roulés. On trouve une ou deux cellules intactes dans les éléments à sections circulaires ou elliptiques et souvent un plus grand nombre dans les éléments allongés. Les grains irréguliers, beaucoup moins usés, sont des fragments de colonies pouvant comporter jusqu'à une dizaine de cellules. Le mode de formation des corps de forme oolithique sans structure, représentant la plus grande partie de la roche, est aussi indéterminée que pour le tuffeau tendre.

En lumière polarisée parallèle, on voit s'ajouter aux éléments précédents de la *calcite* et du *quartz*.

Calcite. La calcite s'applique sur un nombre restreint d'éléments, les recouvre en partie ou les enveloppe complètement. Dans le premier cas, elle a comblé un vide et sert de ciment à plusieurs grains calcaires. Dans le second, *elle figure un volumineux rhomboèdre enclavant un noyau de calcaire ancien et orienté comme lui.*

Quartz. Le *quartz sert de ciment aux débris de Bryozoaires roulés et à la calcite secondaire.* Il représente environ le quart ou le cinquième de la roche. Ses manières d'être sont les suivantes :

α. Il revêt l'aspect du *quartz* des granulites et donne naissance à de petits éléments juxtaposés d'orientation différente.

β. Il constitue de grands éléments visibles à l'œil nu. Il a cristallisé dans des vides ; sa forme est celle des lacunes qu'il a comblées, c'est-à-dire qu'elle est très irrégulière. La physionomie de cette catégorie de quartz est identique en tous points à celle du quartz des granits.

Il n'y a pas que les caractères morphologiques du quartz qui plaident en faveur de son origine secondaire. Les particularités suivantes sont des arguments aussi probants que la forme.

α. Des grains de calcaire ancien ayant conservé des caractères de Bryozoaires sont enclavés de toutes parts dans des éléments de quartz.

β. On trouve également inclus dans le quartz de petites portions de carbonate de chaux ancien à contours très déchiquetés.

Si cette roche n'est que le tuffeau tendre localement durci, on peut se demander ce que sont devenus les grains de quartz arrondis. L'idée qui se présente immédiatement à l'esprit est qu'ils ont servi de centre d'attraction à la silice secondaire et qu'ils se sont pour ainsi dire nourris à ses dépens. Certains des volumineux quartz de la roche ne seraient alors que des grains anciens qui auraient subi un accroissement de volume sur place. Deux raisons paraissent contredire cette explication :

α. L'existence d'inclusions de calcaire ancien dans les volumineux grains de quartz alors qu'elles font absolument défaut dans le quartz clastique du tuffeau précédent.

β. J'ai appelé l'attention en 1891 sur des grès landéniens de Belleu [1] (Aisne), dont les grains de quartz clastique ont augmenté de volume sur place, grâce à l'adjonction d'une auréole de quartz récent, orienté comme le quartz ancien, et s'éteignant en même temps que lui. Or, dans les grès de Belleu le noyau de quartz ancien est toujours limité par les impuretés qui en tapissaient la surface et le quartz secondaire est beaucoup plus pur que celui qu'il enveloppe. Rien de pareil ne s'observe ici. Il est pourtant bien invraisemblable que parmi tout le quartz de la roche, il n'y en ait pas qui soit détritique.

La quartzification de la roche est postérieure au dépôt de la calcite secondaire. En effet le quartz enveloppe indifféremment le carbonate de chaux ancien qui n'est pas recouvert de calcite et celui qui est inclus dans cette substance. On peut observer par exemple un quartz ayant comme enclave un gros rhomboèdre de calcite qui renferme lui-même un noyau de calcaire ancien.

Règle générale, le quartz secondaire présente des extinctions dites *roulantes ;* ceci est également vrai pour le quartz d'aspect granulitique. On ne peut songer à faire intervenir ici des compressions mécaniques ayant déformé l'édifice cristallin du minéral. Cet état particulier du quartz a été réalisé à son origine même.

1. L. CAYEUX. Exam. micr. du grès de Belleu, *Ann. Soc. G. N.*, vol. 19, pp. 111-112 (1891).

Les particularités de structure que je viens de décrire démontrent que non-seulement le quartz est secondaire, mais qu'il est de plus postérieur à la calcite. Or, il n'y a aucune raison de croire que cette calcite soit différente de celle que j'aurai l'occasion d'étudier tant de fois dans les roches de Touraine, et qui date de la période de consolidation des dépôts. La genèse de ce quartz paraît ainsi relativement très récente. Elle marque un second temps dans la consolidation du calcaire. Quant à la silice de ce quartz, il faut de toute nécessité lui attribuer une origine extrinsèque. C'est la composition si particulière du ciment de ce dépôt qui en explique la cohérence tout à fait exceptionnelle.

B. « TUFFEAU » IMMÉDIATEMENT INFÉRIEUR AU NIVEAU A *Rh. vespertilio*

Les échantillons que je vais analyser ont été prélevés à la partie supérieure de la masse homogène qui représente le sommet de l'Angoumien et la base du Santonien. Ils sont probablement santoniens. Le tuffeau est gris, un peu moins grossier que le précédent, très poreux et faiblement cohérent. On y reconnaît à l'œil nu du quartz assez rare, dont les éléments s'accumulent par places pour donner naissance à des sortes de nids siliceux. Les paillettes de mica blanc sont fréquentes. Enfin la roche est piquetée de petits grains verts glauconieux.

1° **Minéraux**. Le *quartz* en grains anguleux, à saillies émoussées, représente environ le dixième de la roche. Diam. moyen, $0^{mm}19$.

La *glauconie* est en relation presque constante avec les Bryozoaires qu'elle épigénise incomplètement. Elle est indépendante des Foraminifères. Lorsque la glauconie *se substitue* au test des Bryozoaires, ses éléments isolés affectent des caractères morphologiques constants que je mettrai en relief plus loin. Elle est moins répandue que le quartz.

2° **Organismes.** Ce sont presque tous des *Bryozoaires* fragmentaires mais non roulés. Ils ont cependant une tendance à être calibrés, ce qui semble indiquer qu'ils n'ont pas été brisés sur place. Ils sont placés côte à côte et laissent entre eux de grands vides. Il y a des représentants de *Cyclostomata* et de *Cheilostomata.*

Foraminifères. Leur proportion est très faible, mais ils sont déjà beaucoup plus répandus que dans le tuffeau inférieur. Ils sont cassés et en partie dissous. Quelques individus se réfèrent aux *Textularidæ.* Tous sont de grande taille et appartiennent à la catégorie des Foraminifères arénacés. Leurs loges ainsi que les cellules de Bryozoaires sont vides.

3° **Ciment.** Il est généralement absent. Quand il existe, il se présente sous deux états :

A. Par places, les éléments organiques et minéraux sont enveloppés de très fines particules calcaires, représentant une ancienne boue formée aux dépens de Bryozoaires triturés.

B. Un certain nombre de débris de Bryozoaires sont entourés partiellement ou complètement de calcite secondaire qui comble les vides du dépôt et s'oriente comme le calcaire qu'elle enveloppe. Tous les éléments de calcaire ancien sont gris sale, d'aspect rugueux et dépoli. Ils ont subi un commencement de dissolution, phénomène qui a été une source de carbonate de chaux secondaire.

C. « CRAIE » A BRYOZOAIRES

Au point de vue macroscopique, elle diffère de la précédente par un aspect moins homogène. Elle est grossière, rugueuse, d'une faible cohérence et très poreuse. Sa couleur est gris légèrement verdâtre. On y reconnaît à l'œil nu de nombreux débris de Bryozoaires.

Cette roche est essentiellement organogène.

1° **Minéraux.** Le *quartz* est réduit à un très petit nombre de grains anguleux. Diam. moyen, $0^{mm}13$.

La *glauconie* y est très rare ; elle remplit de préférence les cellules de Bryozoaires.

2° **Organismes**. *Bryozoaires*. Ils abondent. La roche n'est pour ainsi dire qu'une bouillie de ces organismes. On les trouve en débris de toutes dimensions, depuis les fragments de colonies d'un centimètre de longueur jusqu'aux particules à peine perceptibles aux forts grossissements. Il n'y a rien ici qui rappelle un triage mécanique des débris organiques, comme c'est le cas pour les niveaux inférieurs. Les éléments macroscopiques et la fine boue qui résulte de leur trituration sont tombés côte à côte.

Foraminifères. Ils sont plus rares et mieux conservés que dans le tuffeau sous-jacent. Ce sont comme toujours des formes de grande taille à test arénacé. Les *Textularidæ* prédominent.

Un pointillé caractéristique trouble la transparence de tous les éléments calcaires et leur donne une certaine rugosité.

3° **Ciment**. Il est entièrement primordial et uniquement formé de particules très ténues dérivant de Bryozoaires. Il laisse subsister des vides et donne à la roche un état d'agrégation très imparfait.

D. « CRAIE » NODULEUSE A *Spondylus truncatus*

C'est une roche gris blanchâtre, dure, finement grenue, à cassure très rugueuse. Son homogénéité est troublée par la présence de grands noyaux de craie beaucoup plus grossière, pétrie de débris de Bryozoaires de toutes dimensions.

1° **Minéraux**. Ils sont rares à ce niveau. Le *quartz* mesure en moyenne $0^{mm}12$ de diamètre. La *glauconie* est en relation fréquente avec les Bryozoaires.

2° **Organismes.** *Bryozoaires.* Ils continuent à former l'élément fondamental du dépôt. Ils sont incomplets, d'apparence déchiquetée et représentés par des fragments de toutes dimensions. Les *Cyclostomata* et les *Cheilostomata* comptent tous deux de nombreux individus.

Échinodermes. Rares débris de plaques d'Oursins dans chaque préparation.

Spongiaires. C'est la première fois que j'ai l'occasion de les signaler dans la série de Langeais. Les spicules sont de grande taille et fusiformes pour la plupart. La forme prédominante est monoaxe. Quelques individus se rapportent en toute certitude aux *Tetractinellidæ*. Il est probable que tous les spicules du niveau se partagent entre les *Monactinellidæ* et les *Tetractinellidæ*. Tous les débris de Spongiaires de la craie noduleuse sont calcifiés et occupés par la calcite grenue.

Foraminifères. Leur rôle est très effacé. Ils ne comptent dans chaque section mince que deux ou trois grands *Textularidæ* à test arénacé.

3° **Ciment.** Il a pris à ce niveau une importance quasi prépondérante. Il est formé de particules calcaires très ténues empruntées aux Bryozoaires. Les vides sont rares. Le ciment est à la fois *primordial* et *secondaire*. La calcite est en effet loin d'être rare; elle tapisse les vides et on la rencontre au sein même du ciment dont la cristallisation est amorcée en de nombreux points. Beaucoup de grands débris organiques sont maintenant largement cristallisés.

La caractéristique de cette roche est donc de renfermer des spicules de Spongiaires associés à de nombreux restes de Bryozoaires prédominants, les uns et les autres étant reliés par un ciment très développé et en grande partie originel.

E. « CRAIE » DE LA BASE DU CAMPANIEN

La roche est grise, grenue, grossière, fortement rugueuse au toucher, douée d'une certaine cohérence et très finement piquetée de glauconie. Elle représente la base du Campanien.

1° **Minéraux.** Le *quartz* est un peu plus répandu que dans le niveau précédent. Diam. moyen, $0^{mm}12$. La *glauconie* y est beaucoup plus fréquente. Son existence est presque toujours liée à celle des Bryozoaires; elle en épigénise le test et ne se trouve que très rarement dans leurs cellules.

2° **Organismes.** *Bryozoaires.* Ils n'ont de particulier que leur plus grande fréquence à l'état de fragments volumineux.

Échinodermes. On trouve plusieurs débris de plaques d'Oursins dans chaque préparation.

Spongiaires. Leurs débris sont devenus rarissimes; les spicules que j'ai observés sont glauconieux; beaucoup sont incomplets.

Foraminifères. Le nombre s'en est sensiblement accru. On y reconnaît de grands

Textularidæ à test arénacé, accompagnés d'autres formes massives, parmi lesquelles j'ai reconnu des *Rotalidæ*.

3° **Ciment.** Il occupe une place beaucoup plus restreinte que dans les couches à *Sp. truncatus* et dérive des *Bryozoaires*. Il est, en grande partie, transformé en calcite et laisse beaucoup de vides.

En résumé, cette roche est caractérisée par la multiplication des éléments glauconieux et des Foraminifères, par la diminution des débris de Spongiaires et la réduction du ciment.

F. « CRAIE » SILICEUSE CAMPANIENNE

Quand on passe du Campanien calcaire à Bryozoaires aux couches siliceuses de la partie supérieure de la carrière de Langeais, on se trouve en présence d'une manière d'être toute nouvelle. La roche devient beaucoup plus fine, plus compacte et plus dure. Vient-on à la plonger dans l'eau, elle verdit et fait entendre le bruit caractéristique des roches calcaires soumises à l'action de l'acide chlorhydrique concentré. Sa capacité d'absorption de l'eau est très grande.

1° **Minéraux.** Le quartz est un peu plus répandu, mais le diamètre de ses éléments est tombé à $0^{mm}8$.

La *glauconie* est un minéral accessoire ; elle se présente comme dans les gaizes : A. petits grains à forme quelconque dont les dimensions sont sensiblement les mêmes que celles du quartz ; B. pseudomorphoses de spicules d'Éponges ; C. globules indépendants des organismes.

2° **Organismes.** *Spongiaires.* La roche est presque uniquement formée de débris de ces organismes. Le nombre de spicules est tel que l'on pourrait enlever le peu de ciment qui les agglutine sans qu'ils perdent leur équilibre dans la roche; ils s'entrecroisent sous tous les angles et tiennent en place par le fait même de leurs relations mutuelles. A peu d'exceptions près, tous les spicules sont monoaxes. Ils comprennent les catégories suivantes :

a. Spicules cylindriques, fusiformes et droits.
b. — arqués et en forme d'aiguilles pointues aux deux bouts, ou avec extrémités mousses ;
c. — en forme d'épingle.

B. et C. *Tetractinellidæ* et *Lithistidæ*. Les spicules polyaxes sont très rares. Quelques-uns ont quatre rayons simples et se rapportent aux *Tetractinellidæ*. Parmi les *Lithistidæ*, j'ai reconnu des *Megamorina* et *Tetracladina*.

Chaque préparation renferme quelques sphérules et étoiles siliceuses, comme on en trouve à foison dans les *Ancorinides* et les *Geodinides*. Les *Hexactinellidæ* manquent.

Le nombre excessivement limité de formes présentant des caractères bien tranchés de *Tetractinellidæ* et de *Lithistidæ* m'oblige à considérer la plupart des spicules monoaxes comme relevant du groupe de *Monactinellidæ*.

Presque tous les spicules sont fragmentaires. Ils sont partiellement ou complètement calcédonieux. Un très grand nombre ont leurs contours festonnés par suite d'un commencement de transformation du ciment en silice globulaire. Le canal est souvent conservé, mais il est tellement élargi qu'il occupe presque toute la largeur des bâtonnets. En aucun cas, je n'ai observé de vides correspondant à la destruction de spicules.

Diatomées. J'ai reconnu de très rares formes triangulaires du groupe des *Triceratium.*

3° **Ciment.** Les organismes ne lui laissent qu'une place très effacée. C'est exceptionnellement que l'on peut dire qu'il est indispensable pour maintenir en place les éléments de la roche. En certains points les spicules ne se touchent pas; ils laissent entre eux de petits intervalles comblés par le ciment et correspondant aux îlots que j'ai fréquemment signalés dans les gaizes quartzeuses. Le ciment est formé d'opale indifférenciée, ou présentant une structure globulaire confuse. L'examen en lumière polarisée parallèle met en évidence l'existence d'un peu de calcédoine en très petits éléments répandus un peu partout, au sein de la silice monoréfringente.

J'ai observé des traces de calcite dans un échantillon. La forme très découpée de ses particules prouve que ce ne sont que des vestiges d'une formation plus étendue détruite par dissolution. Bien que les microorganismes calcaires fassent absolument défaut dans la roche, je considère son ciment comme ayant été originellement calcaire.

Ce dépôt a d'étroites affinités avec la gaize à *I. labiatus* de Maisières (Belgique); il rappelle beaucoup, au point de vue organique, la « Smectique » à *B. quadrata* de Herve (Belgique) (p. 110), dont il est d'ailleurs synchronique. Sa richesse en débris de Spongiaires est telle qu'il rentre dans la catégorie des roches siliceuses que j'ai désignées sous le nom de *Spongolithe* (p. 99). La craie siliceuse de Langeais est un spongolithe des plus typiques.

G. RÉSULTATS GÉNÉRAUX DE L'ÉTUDE DU CRÉTACÉ DE LANGEAIS.

1° **Minéraux.** *M. détritiques.* Le quartz est le seul des éléments clastiques sur lequel j'ai porté mon attention. Il représente le dixième de la craie dans les niveaux inférieurs. Il en est ainsi jusqu'aux couches à Bryozoaires où il est déjà moins répandu. Le diamètre moyen de ses éléments est de 1/4 de mm. dans le « tuffeau » angoumien. Il est de $0^{mm}19$ à la base du Santonien, de $0^{mm}13$ dans la « craie » à Bryozoaires; le nombre des grains diminue en même temps que leur volume. Dans la « craie » à *Sp. truncatus*, le quartz se fait rare et le diamètre de ses éléments est descendu à $0^{mm}12$. Il est moins clairsemé à la base du Campanien tout en conservant le même diamètre. Dans les parties siliceuses de cet étage, le diamètre du quartz est de $0^{mm}08$.

Minéraux secondaires. La genèse in situ d'une grande quantité de quartz, dans le tuffeau angoumien, *et postérieurement à la calcite secondaire,* est le fait dominant (pp. 335 et 336).

La *glauconie* est toujours un élément accessoire. Son existence est surtout liée à celle des Bryozoaires et non à celle des Foraminifères. Elle est au premier chef un produit épigénique du test des Bryozoaires. A tous les niveaux, elle existe indépendamment des organismes.

2° **Organismes**. Au point de vue organique, les différents termes crétacés de Langeais se groupent en deux séries : l'une où les Bryozoaires dominent ; l'autre où les Spongiaires l'emportent.

Bryozoaires. Ils constituent l'élément caractéristique et essentiel des dépôts jusques et y compris la base du Campanien. Ils sont toujours fragmentaires. Les débris de Bryozoaires sont roulés, calibrés et à peine reconnaissables dans le tuffeau grossier angoumien. Ils cessent d'être roulés à la base du Santonien. Ils continuent pourtant à être calibrés, mais l'on voit apparaître sporadiquement des menus débris qui dérivent de leur destruction et qui donnent naissance à un ciment. A partir de la craie à Bryozoaires, le dépôt se transforme en une bouillie formée de ces organismes ; cette particularité est corrélative de la diminution du volume et du nombre des éléments clastiques. Ce caractère se poursuit jusqu'aux premières couches campaniennes.

Echinodermes. Ils n'ont laissé que des fragments de plaques d'Oursins qu'on rencontre surtout au niveau de *Sp. truncatus* et dans celui qui le surmonte immédiatement.

Spongiaires. Ils apparaissent au sommet du Santonien, deviennent extrêmement rares à la base du Campanien et se développent rapidement dans ce dernier étage en formant presque à eux seuls toute la roche du sommet du Campanien de Langeais. La faune comprend des *Monactinellidæ (?)*, des *Tetractinellidæ* dans le Santonien. Dans le Campanien, elle comporte en plus de ces groupes, dont le premier est alors très prédominant, quelques *Lithistidæ* des familles *Megamorina* et *Tetracladina*. Les *Hexactinellidæ* n'ont pas été observées.

Foraminifères. Leur rôle est nul ou accessoire. Ils sont excessivement rares dans l'Angoumien. Ils le sont un peu moins à partir du Santonien. Leur nombre ne subit pas d'accroissement régulier en montant dans la série santonienne ; il est soumis à des oscillations fréquentes qui n'ont qu'un intérêt relatif. Ils disparaissent presque complètement dès que les premiers spicules se montrent (niv. à *Sp. truncatus*). On les retrouve avec quelque fréquence à la base du Campanien. Dès que les restes de Spongiaires forment le fond du dépôt, on n'en trouve plus trace.

La faune semble présenter un caractère d'uniformité très prononcée jusqu'au Campanien. La plupart des individus observés rentrent dans la famille des *Textularidæ*. Tous sont de grande taille et appartiennent à la catégorie des Foraminifères à test arénacé. A partir du Campanien, il y a plus de variété dans les formes, le test s'amincit un peu et les *Rotalidæ* se développent avec d'autres formes non arénacées.

Diatomées. Je n'ai constaté leur présence que dans le Campanien siliceux où je n'en ai observé que de très rares individus (groupe du *Triceratium*).

3° **Ciment.** Il est calcaire ou siliceux.

A. Deux catégories d'éléments calcaires concourent à agglutiner les grands débris organiques et les minéraux. *a.* Les Bryozoaires ont été une source importante de ciment pour certaines roches de Langeais. Ils ont été brisés et comme pilés. Le produit de cette trituration a été une très fine bouillie parfois entraînée au large, mais qui est le plus souvent restée en place. Le ciment qui en dérive apparaît très sporadiquement à la base du Santonien. Il tient une place de plus en plus grande en montant dans cet étage et devient prépondérant dans le calcaire noduleux à *Sp. truncatus*. Les organismes l'emportent avec le commencement du Campanien ; plus haut le ciment siliceux fait son apparition. *b.* A ce ciment qui date du moment même de la sédimentation (ciment primordial), s'en ajoute un autre plus récent dont la formation est consécutive de la consolidation du dépôt. Il est représenté par la *calcite*. Cette substance, très clair-semée dans le tuffeau de base, se développe à sa partie supérieure et disparaît dans la craie à Bryozoaires. On la retrouve assez abondante au niveau de *Sp. truncatus ;* elle atteint son maximum de développement à la base du Campanien. Tout porte à croire qu'elle a son origine sur place. Les éléments organiques du Crétacé de Langeais présentent un pointillé caractéristique d'un commencement de dissolution ; ils sont même parfois corrodés. *Les organismes ont donc été une source de ciment à la fois primordial et secondaire.* Au sommet du Santonien et à la base du Campanien, la calcite dérive en grande partie de la cristallisation du ciment primordial.

Je rattache provisoirement au ciment calcaire les éléments de forme oolithique dont je n'ai pu fixer l'origine.

B. Le ciment siliceux est spécial au Campanien. Il est formé d'opale indifférenciée ou présentant un commencement de structure globulaire. La calcédoine y est rare.

Résumé et Conclusions. *Les agents mécaniques* ont laissé leur empreinte à tous les niveaux en transportant de nombreux minéraux, en broyant les organismes et même en les triant.

L'*activité organique* a contribué pour la plus grande partie à la genèse de tous les dépôts étudiés. Les Bryozoaires et les Spongiaires sont les deux seuls groupes qui tiennent une grande place dans leur histoire.

L'*activité chimique* s'est manifestée d'un bout à l'autre de la série. On en trouve notamment la trace dans l'Angoumien avec la formation de *quartz secondaire* et par la genèse de la calcite. Il faut encore lui rapporter le ciment siliceux des roches campaniennes, la calcification des débris de Spongiaires et la genèse de la glauconie.

2° CRÉTACÉ DE SAINT-AVERTIN (PRÈS TOURS)

J'ai prélevé les échantillons étudiés dans l'escarpement des anciennes carrières de Saint-Avertin, dont la succession des couches a été relevée par M. de Grossouvre [1]. On peut la résumer de la façon suivante :

CAMPANIEN	« Craie » avec « silex » verdâtres, surtout nombreux dans les couches supérieures.	
SANTONIEN	— formant un lit noduleux à *Spondylus truncatus*.	
	— tendre à Bryozoaires	3 m
	— jaune sableuse	3 m
	— jaune grossière, sableuse avec nodules aplatis	3-4 m
ANGOUMIEN	— jaune à Trigonies, visible sur plusieurs mètres.	

A. « CRAIE » A TRIGONIES (ANGOUMIEN).

Caractères lithologiques. Calcaire jaune grossier, rugueux au toucher, et tachant légèrement les doigts sur les cassures fraîches. On y reconnaît à l'œil nu un peu de glauconie et du mica blanc ; quand on s'aide de la loupe, on voit apparaître une infinité de menus débris organiques dont un assez grand nombre ont conservé des caractères de Bryozoaires.

1° **Minéraux.** Le résidu minéral d'un échantillon est de 21,8 °/₀.

A. *Minéraux détritiques.* Le *quartz* est représenté par des éléments anguleux dont les parties tranchantes sont émoussées. Diam. moyen, $0^{mm}25$. Les autres particules clastiques sont :

Magnétite. En grains anguleux; très rares en octaèdres.

Staurotide. Très abondante en volumineux grains jaune d'or; très fragmentaire.

Tourmaline. Représentée par la variété brune en éléments très volumineux dépourvus de forme cristalline. On trouve aussi très fréquemment des cristaux généralement courts comme celui de la figure 83 (Pl. X).

Zircon. La majeure partie des éléments sont cassés et roulés. Les cristaux les plus répandus affectent la forme des individus 1, 2, 5 et surtout 7 (Pl. X). On trouve également la forme 10, non zonaire. Les cristaux suivants sont plus particulièrement intéressants :

Pl. X, fig. 33. Cristal formé de m (110) h^1 (100); pointements indéterminés. Dim. 0,19-0,10.

Fig. 35. Cristal formé de m (110) h^1 (100) b^1 (112). Dim. 0,12-0,05.

Fig. 36. Cristal formé de m (110) h^1 (100); autres faces indéterminées; toutes les inclusions sont solides, sauf une noire vitreuse. Dim. 0,132-0,06.

Mica blanc. Lamelles à bords arrondis.

Orthose. En voie de kaolinisation.

Disthène. En cristaux incomplets comme celui de la figure 79 (Pl. X) toujours très allongés suivant h^1g^1 (100) (010) et très aplatis suivant h^1 (100). Dim. 0,28-0,07.

Andalousite. Cristaux fragmentaires et anguleux; polychroïsme dans les teintes roses très foncées.

Rutile. Variété très brunâtre et plus rarement jaune d'or.

Corindon. Fragmentaire.

Plagioclase. Très rare et altéré.

1. DE GROSSOUVRE. Op. cit., p. 496 (1889).

Anatase. Très rares cristaux dont l'un, de conservation parfaite, rappelle celui de la figure 66.
Brookite et *Grenat*. Excessivement rares.

B. *Minéraux secondaires*. La *glauconie* est rare. Elle forme quelques grains arrondis de diamètre inférieur à celui du quartz et se présente en enduit sur le quartz, sur quelques zircons et disthènes. On la trouve également dans le résidu sous la forme de petits corps irréguliers, noueux, ramifiés, résultant d'un commencement d'épigénie du test des Bryozoaires.

2° **Organismes**. *Bryozoaires*. Ils sont représentés par quelques éléments roulés dans chaque préparation.

Spongiaires. Je n'ai reconnu que de très rares spicules tétraradiés calcifiés.

Foraminifères. Ils ne comptent qu'un ou deux représentants par section mince. Ce sont de grands *Textularidæ* à test arénacé.

En somme les formes organiques reconnaissables sont rares dans cette roche.

3° **Ciment**. Il est exclusivement calcaire et comprend du carbonate de chaux primordial et de la calcite secondaire. Les plages où la plus grande partie du carbonate de chaux ne se résout pas en débris roulés de Bryozoaires, sont constituées par de menus éléments fortement dépolis dont l'ensemble présente une teinte grise. Ces plages évoquent l'idée de la fine boue à Bryozoaires qui forme le ciment de beaucoup de roches sénoniennes du S.-O. du Bassin de Paris. Mais il est impossible de les identifier en toute certitude aux produits ultimes de la trituration des Bryozoaires en raison des modifications que la fossilisation leur a fait subir.

On distingue par places des éléments arrondis ou elliptiques, plongés dans le ciment et composés comme lui de petites particules calcaires marquées d'un pointillé qui en trouble la transparence en leur donnant un aspect rugueux caractéristique. J'avais d'abord pensé à leur attribuer une origine clastique et à les considérer comme des morceaux de Bryozoaires ballottés par les eaux, usés, roulés et défigurés au point de ne plus montrer le moindre caractère permettant de les rapporter à ces organismes. Cette explication me paraît devoir être abandonnnée. Il faut supposer la roche essentiellement composée à l'origine, de quartz, de débris de Bryozoaires reconnaissables et peu nombreux. Tous ces éléments étaient enveloppés d'un ciment homogène formé de particules microscopiques empruntées aux Bryozoaires. Pendant la période de consolidation de la roche, il s'est développé de la calcite aux dépens du ciment. Au lieu de cristalliser par grandes plages, ce minéral a pris naissance de façon à isoler dans le ciment des parties sphériques, ovoïdes ou irrégulières. Le ciment est ainsi découpé en petites masses globuleuses séparées par de la calcite. C'est l'aspect que j'ai signalé dans le calcaire tithonique à *Per. transitorius* de l'Ardèche [1].

1. L. Cayeux. Struct. bréch. du Tith. etc., *C. R. Ac. Sc.*, vol. 122, p. 1561 (1896).

On assiste d'ailleurs à la naissance des corps globuleux. Une même préparation fournit des plages dont le ciment homogène se présente comme je l'ai dit plus haut et sans trace des corps en question. Elle en montre d'autres où la place du ciment est occupée par des sphérules parfaitement individualisées et noyées dans de la calcite incolore à petits éléments. A la limite de ces plages ainsi composées de façon très différente, on observe *des corps globuleux qui sont incomplètement détachés du fin ciment homogène* et qui lui sont plus ou moins soudés suivant le degré de métamorphose de l'aire considérée. Nul doute, par conséquent, que la formation des éléments ne soit *secondaire.*

L'explication que je viens de donner convient aux corps à forme oolithique des couches de Langeais.

La *calcite secondaire* est rarement cristallisée en grands éléments clivés. Elle est plus fréquente sous la forme grenue. Les éléments de calcaire ancien ont fourni du carbonate de chaux aux eaux qui ont traversé le sédiment, et il est probable que la calcite est en grande partie, sinon dans sa totalité, d'origine intrinsèque.

B. « CRAIE » JAUNE SABLEUSE A NODULES APLATIS.

Caractères lithologiques. Le passage du Turonien au Sénonien est tout à fait insensible. Les nodules aplatis qui se multiplient au fur et à mesure que l'on s'élève dans les couches de la base du Santonien sont la seule différence appréciable, au point de vue pétrographique, entre le sommet de l'Angoumien et la craie que je vais maintenant étudier.

La craie est un peu moins cohérente que celle du niveau à Trigonies; tous les éléments se séparent sous la pression des doigts. La teinte est gris jaunâtre clair. Le quartz se distingue très bien à l'œil nu.

1° **Minéraux.** Ils forment environ le cinquième de la roche. Un échantillon a donné 21 % de résidu de minéraux.

A. *Minéraux détritiques.* Les grains de quartz sont moins nombreux et de diamètre plus faible ($0^{mm}2$) que dans la craie jaune du sommet de l'Angoumien. Les autres minéraux, en particulier les espèces très denses, sont très répandus. Ils sont exactement ceux que j'ai cités au niveau inférieur. Le zircon présente un nombre notable d'individus allongés à faces très nettes, avec arêtes vives et inclusions fréquentes. La forme *mm* (110) ($1\bar{1}0$) h^1 (100) a^1 (112) compte de très beaux représentants. Elle est exceptionnelle dans la craie angoumienne. La staurotide surtout, l'andalousite et le corindon sont relativement abondants. Les oxydes de titane, principalement l'anatase et la brookite sont rares. Les minéraux ont la même source que ceux de l'Angoumien.

B. *Minéraux secondaires.* La *glauconie* est rare en tant que minéral indépendant des organismes. On la rencontre surtout comme produit de remplissage des cellules de

Bryozoaires et d'épigénie partielle de leur squelette. Elle existe dans le résidu sous la forme de globules, de corps irréguliers, noueux, couverts d'expansions radiciformes, correspondant à la glauconie épigénique du test des Bryozoaires. A cet état, elle est accessoire dans la roche.

2° **Organismes**. *Bryozoaires*. Il n'y a qu'un très petit nombre de grains calcaires dérivant des Bryozoaires qui portent en eux la marque certaine de leur origine. Le rôle de ces organismes a pourtant été prépondérant, en ce sens qu'ils ont fourni tous les éléments du ciment.

Spongiaires. Je n'en connais que des vestiges douteux sous la forme de très rares bâtonnets rectilignes ou arqués et calcifiés.

Foraminifères. Ils comptent plus de représentants qu'au sommet de l'Angoumien. J'ai reconnu de grands *Textularidæ* à test arénacé et un certain nombre de formes monoloculaires que je n'ai pu isoler et déterminer.

3° **Ciment**. J'ai fait remarquer que l'état d'agrégation des éléments de la craie est tel qu'ils se séparent avec facilité. L'étude des sections minces de la roche a démontré qu'il tient en partie au grand nombre de vides dont la roche est criblée. L'importance du ciment est ici exceptionnelle. Il se présente avec deux manières d'être entre lesquelles tous les passages s'observent : A. Il est homogène et s'étend sans différenciation entre les minéraux et organismes. B. Comme dans l'Angoumien, il tend à se découper en masses globulaires. Cette métamorphose est à son début et les portions du ciment en voie d'isolement sont mal individualisées. *On assiste ici à la naissance des corps de forme oolithique aux dépens d'un fin limon calcaire homogène.*

La calcite tient une place notable dans le ciment ; elle se présente le plus souvent sous la forme grenue ; ses éléments accolés au carbonate de chaux ancien font hernie à l'intérieur de nombreux vides.

J'ai mentionné la présence de *nodules aplatis*. M. de Grossouvre les a considérés comme des nodules siliceux. Ils ne diffèrent de la roche qui les enveloppe que par une plus grande cohérence. L'analyse microscopique n'y décèle pas de silice sous une forme autre que le quartz clastique, mais elle montre que le ciment de calcite y est plus développé. La consolidation du dépôt qui se fait par l'intermédiaire de la calcite, au lieu de se poursuivre d'une façon uniforme, n'affecte que certaines portions de la craie qui donnent naissance à des masses noduleuses en relief sur toutes les surfaces exposées à l'air.

C. « CRAIE » JAUNE SUPÉRIEURE A LA « CRAIE » A NODULES APLATIS

C'est une roche grossière tendre, jaunâtre, parsemée de quelques paillettes de mica.

1° **Minéraux**. Ils ne représentent guère que le dixième de la roche. Un échantillon a fourni 11,10 % de résidu.

A. *Minéraux détritiques*. Le quartz est rare dans les sections minces. Diam. moyen : $0^{mm}14$. Celles des autres particules minérales qui méritent d'être signalées sont :

Magnétite. Représentant une forte proportion du résidu de minéraux lourds.

Zircon. Il admet un nombre restreint de formes zonaires dont je n'ai pas mentionné la présence dans les niveaux inférieurs.

Staurotide. C'est à ce niveau qu'elle atteint son maximum de fréquence.

Les autres espèces signalées dans les couches inférieures se retrouvent ici. L'*anatase* en beaux cristaux jaunes complets mérite seule une mention à part.

B. *Minéraux secondaires*. La *glauconie* est très rare dans les sections minces ; c'est dans le résidu minéral qu'il faut l'étudier. La forme dominante et caractéristique continue à être très irrégulière, noueuse et branchue comme dans les assises inférieures.

2° **Organismes**. La roche est peu homogène, de sorte que de grandes plages sont dépourvues de tout débris organique, alors qu'on les trouve réunis en assez grand nombre en d'autres points. Les quelques organismes déterminables sont des *Bryozoaires* et quelques *Foraminifères* en voie de destruction dont un certain nombre étaient monoloculaires.

3° **Ciment**. Dans les endroits occupés par les Bryozoaires, la roche est criblée de vides. Ailleurs, elle est très homogène, de couleur gris sale et beaucoup moins riche en vides. Quand on l'examine à un très faible grossissement, elle rappelle la boue calcaire qui dérive de la destruction des Bryozoaires, mais si on la grossit davantage, elle se résout en calcite grenue. Le carbonate de chaux cristallisé forme presque la totalité de la roche. Il affecte trois états : A. grands éléments de calcite de forme irrégulière, très clivés, nombreux et répartis au hasard dans la roche ; B. pointements rhomboédriques très limpides comme la calcite précédente, faisant saillie à l'intérieur de petites cavités drusiques très répandues ; C. petites particules de forme arrondie ou irrégulière, quelquefois subrhomboédriques. C'est cette troisième catégorie d'éléments calcaires qui constitue les grandes plages homogènes d'aspect gris sale. Je les considère comme le produit de la cristallisation sur place du carbonate de chaux dérivé d'organismes. Quant à la calcite limpide des deux premières catégories, elle est ou non d'origine extrinsèque. La métamorphose de la roche est trop avancée pour qu'il soit possible de se prononcer sur cette question.

D. « CRAIE » A BRYOZOAIRES

La craie à Bryozoaires de St-Avertin est une roche grossière, grenue, de couleur gris clair, plus dure que la craie proprement dite ; elle montre à l'œil nu de nombreux fragments de Bryozoaires parfois assez volumineux.

1° **Minéraux**. Le résidu des minéraux est d'environ 15 °/₀. Les sections minces en renferment un grand nombre. Le *quartz* se fait remarquer par une grande variabilité dans le volume de ses grains : il en est qui atteignent $0^{mm}7$; diam. moyen, $0^{mm}12$.

La *glauconie* est peu abondante en grains arrondis, fendillés, moins volumineux que ceux de quartz ; elle existe surtout dans le résidu en corps globuleux, branchus ou verruqueux, correspondant à un commencement d'épigénie du test des Bryozoaires.

2° **Organismes.** Ils forment la partie fondamendale de la roche.

Bryozoaires. Ils abondent à l'état de fragments dont quelques-uns paraissent roulés. On reconnaît dans les sections minces des *Cheilostomata* et surtout des *Cyclostomata.*

Foraminifères. Ils sont beaucoup moins rares que dans les niveaux inférieurs, où il n'en existait que deux ou trois par préparation ; ils se rapportent au groupe des Foraminifères à test arénacé. La famille des *Textularidæ* tient de beaucoup la première place.

3° **Ciment.** Les minéraux et organismes sont en contact par quelques points de leur surface sans interposition de ciment, ou séparés par un peu de calcite grenue qui se désagrège avec facilité. Plus rarement, de grands éléments de calcite englobent des débris organiques tout entiers, et l'ensemble réalise imparfaitement la forme d'un rhomboèdre. Les vides sont très nombreux.

On retrouve à ce niveau les corps pleins à section circulaire, elliptique ou cylindrique, de forme bien arrêtée, constitués par de fines particules de carbonate de chaux très dépolis, d'un gris opaque. Leurs caractères morphologiques les rapprochent des oolithes ; je les considère comme des éléments découpés dans un ciment composé à l'origine d'une fine boue de Bryozoaires.

E. « CRAIE » NODULEUSE A *Spondylus truncatus*

Roche grise, dure, cristalline, à grains relativement fins.

1° **Minéraux.** Les particules clastiques représentent au plus le dixième de la roche. Diam. moyen $0^{mm}09$. La *glauconie* est en relation avec les Bryozoaires.

2° et 3° **Organismes** et **Ciment.** Les éléments de la roche qui ont conservé quelque caractères de Bryozoaires ne représentent qu'une infime minorité. A un faible grossissement, la craie se résout en taches grises opaques, d'aspect rugueux, de forme circulaire, elliptique et souvent irrégulière, indépendantes ou soudées et plongées dans de la calcite transparente. Elles correspondent aux corps de forme oolithique signalés à plusieurs niveaux inférieurs. Il y a association de grands *Foraminifères* arénacés (principalement *Textularidæ*) et de formes à test dépoli, rongé, parmi lesquelles j'ai observé des individus monoloculaires.

Le rôle de la calcite est important ; elle cimente les corps globuleux et agglutine les rares minéraux et organismes de la roche.

F. « CRAIE » GRISE A « SILEX ».

Le sommet de la carrière de Saint-Avertin est occupé par une « craie » grise, tendre, pulvérulente, légèrement traçante et faiblement tachée de glauconie. Des « silex », d'abord rares, se multiplient rapidement dans les couches supérieures et constituent l'élément prépondérant de l'assise à quelques mètres de la base. J'étudierai successivement la craie de la base dépourvue de rognons siliceux et ces derniers qui sont en réalité des cherts.

1° **Minéraux.** Le résidu est ici réduit à 4 % environ. Le diamètre moyen des éléments de quartz est de $0^{mm}08$. La *glauconie* est l'élément le plus caractéristique du résidu. On trouve, à côté des grains les plus volumineux mesurant de 1/4 à 1/3 de millimètre de diamètre, une multitude de petits granules en relation avec les Bryozoaires. Les particules irrégulières, ramifiées et noueuses, qui sont la forme dominante de la glauconie épigénique des Bryozoaires à tous les niveaux de l'Angoumien et du Santonien, sont ici l'exception.

2° **Organismes.** *Bryozoaires.* Ils forment environ les 9/10 de la roche et appartiennent aux *Cheilostomata* et aux *Cyclostomata*, dont on trouve des sections transversales et longitudinales si caractéristiques. On observe dans chaque coupe mince des restes de ces organismes depuis la forme presque complète jusqu'aux débris les plus exigus qui constituent le ciment. Tous sont fragmentaires. C'est la seule roche qui, dans la série de Saint-Avertin, montre tous les termes de passage de l'organisme complet aux particules les plus ténues que l'on est amené, par continuité, à rapporter aux Bryozoaires.

Spongiaires. On en rencontre des débris avec une certaine fréquence dans le résidu, à l'état de bâtonnets cylindriques ou coniques, d'aiguilles courbes incomplètes. Les formes tétraradiées sont tout à fait exceptionnelles. Sauf quelques individus, les représentants de Spongiaires ont dû être de très grande taille et de forme robuste. Tous les spicules sont glauconieux.

Foraminifères. La plupart des Rhizopodes calcaires sont des formes à test arénacé se rapportant le plus souvent aux *Textularidæ*. C'est après le banc noduleux à *Sp. truncatus*, l'horizon le moins pauvre en Foraminifères de Saint-Avertin.

3° **Ciment.** La part qui revient à la calcite secondaire est insignifiante. Les débris de Bryozoaires sont simplement en contact, — dans ce cas la roche comporte de nombreux vides —, ou ils sont plongés dans une sorte de ciment très fin résultant de la trituration des Bryozoaires.

ÉTUDE MICROGRAPHIQUE DES CHERTS DE CE NIVEAU. M. de Grossouvre a désigné les couches supérieures du Campanien de St-Avertin sous le nom de craie à *nodules de silex gris verdâtre.* La vérité est que ces nodules siliceux réalisent parfaitement le type *chert* et que le marteau est impuissant à les séparer de la gangue crayeuse dont ils sont enve-

loppés. Toute la « craie » est siliceuse vers le sommet des carrières ; les nodules ne sont que les parties du dépôt les plus imprégnées de silice.

1° **Minéraux**. Les éléments clastiques paraissent un peu plus répandus qu'à la base de l'assise. La glauconie y est moins abondante. Aucun de ses grains n'est en relation avec les Foraminifères. On retrouve ici des éléments incomplètement formés, pourvus de lacunes comme dans les gaizes. Elle pseudomorphose quelques spicules.

2° **Organismes**. *Bryozoaires*. Une grande partie des Bryozoaires sont ici remplacés par des débris de Spongiaires. Les premiers sont encore nombreux, mais dans certains cas leur rôle devient très secondaire. Ils sont beaucoup moins fragmentaires qu'à la base du Campanien. On ne trouve plus ici de ces débris de toutes dimensions, conduisant insensiblement des fragments macroscopiques aux plus petits éléments du ciment. C'est principalement à l'état de portions volumineuses de colonies qu'on les rencontre. Les *Bryozoaires sont invariablement silicifiés*. L'épaisseur du test est occupé par une calcédoine à très fines lamelles. Le remplissage des cellules est en opale homogène, présentant quelquefois une structure globulaire ou entremêlée de petits éléments de calcédoine. Les sections de colonies de *Cyclostomata* aussi transformées prennent entre les nicols croisés une physionomie des plus curieuse.

Spongiaires. Chaque coupe mince renferme un assez grand nombre de spicules. Ils se répartissent en trois catégories :

A. *Spicules monoaxes*. Ce sont des bâtonnets cylindriques ou fusiformes, presque toujours incomplets, de grande taille et visibles à l'œil nu. Ils représentent à eux seuls plus de la moitié des débris de Spongiaires. Selon toute vraisemblance, une certaine quantité de ces spicules ont appartenu aux *Tetractinellidæ* et *Lithistidæ*.

B. *Tetractinellidæ*. Cet ordre ne compte qu'un nombre assez restreint de spicules tétraradiés.

C. *Lithistidæ*. Leurs spicules viennent immédiatement après les formes monoaxes comme fréquence ; tous ceux que j'ai observés sont des *Megamorina*.

Presque tous les débris de Spongiaires de ce niveau sont transformés en calcédoine. Le canal est quelquefois conservé ; il est toujours fortement élargi et rempli d'opale grise ; dans quelques cas son emplacement est jalonné par un chapelet de globules d'opale.

Radiolaires. J'ai reconnu des formes en cloche, exceptionnellement rares, de la section des *Stichocyrtida* Hæckel, appartenant à la famille des *Lithocampida* Hæckel.

Foraminifères. Leurs représentants continuent à être très clairsemés dans les préparations. Comme pour les Bryozoaires, le remplissage des loges est en opale et le test invariablement calcédonieux. Il s'est produit à ce niveau une double modification dans la coquille, qui est beaucoup plus petite et plus mince que dans tout le Santonien. La faune est d'ailleurs renouvelée. Des *Rotalina* et d'autres formes voisines ont pris la place des grands *Textularidæ* à test arénacé.

3° **Ciment.** Minéraux et organismes sont plongés dans un ciment dont l'importance est sensiblement égale à celle de ces éléments réunis. Ce ciment est formé de silice monoréfringente dans la plus grande partie de la roche. Dans les points où la calcédoine s'ajoute à l'opale en très fines lamelles, cette dernière se différencie en très petits globules homogènes, rarement libres et souvent soudés en masses mûriformes.

N'étaient les nombreux vestiges de Bryozoaires, cette roche présenterait d'étroites analogies avec certaines gaizes. Il est impossible de relever la moindre trace de carbonate de chaux dans les sections minces.

La composition minérale et organique des parties siliceuses du Campanien conduit à les rapporter au groupe des *cherts* et non à celui des *silex,* avec lesquels elles n'ont que des affinités très lointaines.

État initial des cherts et origine de la silice du ciment. La présence de restes de Bryozoaires et de coquilles de Foraminifères, qui, dès le principe, étaient calcaires, démontre que la roche doit son état actuel à un phénomène de silicification. L'important serait de remonter à la composition initiale du ciment. J'ai noté la présence de particules déchiquetées de calcite dans le ciment du Campanien de Langeais. L'examen d'un plus grand nombre d'échantillons de Saint-Avertin conduirait certainement au même résultat. On ne peut douter un seul instant que les parties cherteuses et toute la craie siliceuse du sommet du Campanien de cette région ne soient le fruit d'une silicification très prononcée de sédiments originellement semblables à la craie pauvre en silex de la base du Campanien, mais pourvus d'un nombre toujours notable de spicules d'Éponges. Elles correspondent à différentes roches à ciment primordial calcarifère que j'ai étudiées dans la première partie de ce mémoire. Le problème de la genèse de la silice qui a remplacé le carbonate de chaux du ciment n'est qu'un cas particulier du problème général de l'origine du ciment des gaizes. Dans l'espèce, la portion du Campanien qui est restée accessible à nos investigations ne fournit pas de solution à la question. On n'observe aucun *vide* témoignant de la destruction de spicules; par conséquent, il est nécessaire de recourir à une source de silice placée en dehors de la roche même. Elle se trouve dans le phénomène qui a donné naissance à l'argile à silex. Cette formation est très développée dans la région. Elle ravine la craie, dont elle contient les fossiles silicifiés (*Micraster, Spondylus* et Spongiaires). L'énorme quantité de matériaux empruntés à la craie campanienne qui gisent maintenant dans l'argile à silex ne peut s'expliquer sans invoquer la dissolution de grandes masses de craie. Les débris de Spongiaires disséminés dans les dépôts disparus ont été la source d'une grande quantité de silice. Une partie de cette substance s'est précipitée dans l'argile en agglutinant des silex pour former des conglomérats et poudingues connus sous le nom de « *perrons* ». Ce phénomène est visible à Saint-Avertin même. Le reste de la silice libre a pénétré dans la craie inférieure et a déterminé une silicification d'autant plus étendue que la source

de l'élément minéralisateur était plus rapprochée. Ainsi s'explique cette particularité que les parties cherteuses se multiplient beaucoup au sommet des carrières de Saint-Avertin.

G. RÉSULTATS GÉNÉRAUX DE L'ÉTUDE DU CRÉTACÉ DE SAINT-AVERTIN

1° **Minéraux.** *M. détritiques.* C'est au sommet du Turonien que le résidu minéral ainsi que le diamètre du quartz clastique atteignent leur maximum. La proportion de minéraux est d'environ 1/5 au sommet de l'Angoumien et de 1/25 pour le Campanien. La réduction est progressive. Le diamètre du quartz est en moyenne de $0^{mm}25$ dans l'Angoumien ; il n'est plus que de $0^{mm}08$ dans le Campanien ; *il y a approximativement perte de 17 gr. de résidu et réduction de 17 mm. du diamètre moyen des grains de quartz.*

Les minéraux détritiques autres que le quartz sont : magnétite, staurotide, tourmaline, zircon, mica blanc, orthose, rutile, disthène, andalousite, corindon, feldspath plagioclase, anatase, brookite, grenat et chlorite. Le sommet de l'Angoumien est remarquable au double point de vue de la variété des minéraux de transport et de l'intérêt qu'ils présentent. La présence du disthène, de l'andalousite et du corindon en quantité très appréciable est surtout intéressante à noter.

Minéraux secondaires. La glauconie est seule à mentionner. Elle est rare dans toute la série de Saint-Avertin, jusqu'à la base du Campanien, où elle devient l'élément le plus abondant et le plus caractéristique du résidu. Elle se montre de préférence en relation avec les Bryozoaires qu'elle épigénise partiellement. La dissolution des dépôts met en liberté dans le résidu une multitude de petits éléments globuleux, le plus souvent capricieusement ramifiés. Il est rare qu'elle remplisse les cellules de Bryozoaires, et exceptionnel qu'on la trouve dans les loges de Foraminifères. Ce minéral donne naissance à quelques grains qui ne paraissent pas en rapport immédiat avec les organismes. Elle pseudomorphose les spicules ; dans le Campanien siliceux elle forme des grains incomplets comme j'en ai maintes fois signalé dans les gaizes.

2° **Organismes.** *Bryozoaires.* Ils constituent l'élément caractéristique et essentiel de tout le Crétacé de Saint-Avertin, mais il faut arriver aux craies à Bryozoaires pour que leurs débris se laissent reconnaître à première vue. Dans tous les niveaux inférieurs, la roche a subi d'importantes modifications après son dépôt et leurs caractères se sont effacés, ou bien les Bryozoaires y sont surtout représentés par une fine boue qui ne peut pas figurer sous la rubrique « organismes ». Toutes les formes observées sont fragmentaires. A partir de la craie à Bryozoaires, ces organismes sont représentés par un plus grand nombre de débris reconnaissables. Dans la craie à *Sp. truncatus*, ils se raréfient en même temps que leur volume diminue. Dans la série de St-Avertin, les Bryozoaires sont représentés pour la première fois par des colonies entières à la base du Campanien. On les retrouve dans les parties siliceuses de cet étage à l'état de grands

débris silicifiés. A tous les niveaux et dans presque toutes les coupes, on observe la coexistence de *Cyclostomata* et de *Cheilostomata*.

Spongiaires. Ils apparaissent en nombre insignifiant dans l'Angoumien. Leur existence est douteuse à la base du Santonien. Ils caractérisent le Campanien où ils prennent en partie la place des Bryozoaires. Leur fréquence est loin de rappeler celle que j'ai signalée à Langeais; là où ils sont le plus répandus, ils ne représentent encore qu'une très faible fraction de la roche. Ils appartiennent aux *Monactinellidæ*, *Tetractinellidæ* et *Lithistidæ*.

Radiolaires. Je ne les connais que dans le Campanien siliceux où ils sont d'une extrême rareté. Ce sont des *Cyrtoidea* de la famille des *Lithocampida*.

Foraminifères. La part qui leur revient dans la constitution de la plupart des roches de Saint-Avertin est insignifiante. L'Angoumien ne montre que des Foraminifères arénacés de très grande taille et principalement des *Textularidæ*. On retrouve ces formes prédominantes dans le Santonien; des formes monoloculaires à test dépoli, rongé, leur sont associées. Au fur et à mesure que l'on s'élève dans le Campanien, on voit disparaître les individus arénacés, la taille des coquilles diminue, le test devient plus mince, les *Rotalidæ* se développent. Bref, la faune subit une profonde modification témoignant de nouvelles conditions de dépôt.

3° **Ciment.** Il est calcaire ou siliceux.

A. Le ciment calcaire se décompose en deux parties : l'une, qui est contemporaine de la sédimentation, l'autre, qui date de la consolidation des dépôts. *a*. Le ciment calcaire originel est formé comme à Langeais de très petits éléments dérivant de Bryozoaires. A l'origine, il était le plus souvent très prédominant; sa place se restreint beaucoup à la base du Campanien. Dans l'Angoumien et le Santonien, il a subi une différenciation telle qu'il se présente souvent en éléments calibrés d'aspect oolithique. C'est au niveau de la craie à Bryozoaires que ces corps sont le plus répandus. *b*. La *calcite* est très répandue soit sous la forme grenue, soit en grands éléments, jusqu'au sommet du Santonien; elle devient un élément tout à fait accessoire dans le Campanien.

B. Le ciment siliceux ne fait son apparition que dans le Campanien. Il représente à lui seul la moitié de la roche. Il donne à la partie supérieure du Campanien un facies de *gaize* très marqué.

En résumé, la part qui revient à chacun des agents *mécanique*, *physiologique* et *chimique* est, à peu de chose près, la même que dans la région de Langeais. Seul le phénomène de silicification des restes de Bryozoaires et de Foraminifères du Campanien est à ajouter au bilan des transformations dues à l'activité chimique.

3°. CRÉTACÉ DE CANGEY (ENTRE TOURS ET BLOIS)

La carrière bien connue de Cangey montre la succession suivante de bas en haut:

Calcaire gris, tendre avec *Ostrea columbas gigas* occupant le fond de l'exploitation. Il fait partie de l'Angoumien.

Calcaire blanc dur (4-5m), avec *Cidaris Vendocimensis*, *Ammonites tricarinatus*, etc. Il représente le Santonien inférieur.

Calcaire crayeux gris blanchâtre et glauconieux très fossilifère, à nodules siliceux. On y trouve communément *Rh. vespertilio* et *Micraster turonensis*.

Le Santonien ne comporte pas de couches plus élevées en ce point.

A. CALCAIRE A *Ostrea columba gigas*.

L'échantillon de ce niveau que j'ai étudié est un calcaire cohérent gris grossier à surface très rugueuse.

1° **Minéraux.** Les éléments détritiques sont très nombreux. Le quartz représente le quart ou le cinquième de la roche et mesure en moyenne $0^{mm}2$. Une seule section mince fournit même de la staurotide et de l'orthose altérée. La glauconie est très rare.

2° **Organismes.** Bien que la plus grande partie de la roche en dérive, il est bien difficile d'en relever la trace. Chaque préparation montre tout au plus trois ou quatre débris de *Bryozoaires* roulés et quelques grands *Textularidæ* à test arénacé.

3° **Ciment.** On trouve très développés à ce niveau les corps dont j'ai mentionné plusieurs fois la présence dans la partie plus occidentale du bassin. Il s'agit d'éléments globuleux, ovoïdes ou irréguliers, généralement calibrés, qu'on est tenté, à première vue, de considérer comme des corps roulés. Ils doivent leur origine à une différenciation d'un ciment homogène, formé dès le principe de particules calcaires dérivant de Bryozoaires. Cette explication est corroborée pour le calcaire en question par les mêmes faits d'observation que j'ai notés en plusieurs points du S.-O. du Bassin de Paris. Les éléments globuleux étant des vestiges de ciment primordial, il devient évident que celui-ci a été très répandu et qu'il a constitué plus de la moitié du sédiment.

Il s'est développé secondairement beaucoup de calcite. C'est elle qui relie les portions isolées du ciment originel.

B. CALCAIRE BLANC A *Am. tricarinatus* (Pl. IX, fig. 8).

Calcaire blanc, dur, spathique, à texture grossière.

1° **Minéraux.** Le résidu minéral n'atteint pas 1 %. Un échantillon que j'ai plus spéciale-

ment étudié n'a donné que 0,6 °/₀ de minéraux. Ces derniers sont assez peu répandus pour qu'on n'en observe pas un seul élément clastique dans beaucoup de sections minces. Diam. moyen du quartz, $0^{mm}13$.

La *glauconie* est assez rare pour que les préparations n'en montrent que deux ou trois grains. Elle forme des éléments de toutes dimensions, toujours indépendants des Foraminifères et atteignant jusqu'à plusieurs dixièmes de millimètre de diamètre. Elle pseudomorphose les spicules d'Eponges et épigénise partiellement le test des Bryozoaires. Le résidu de la dissolution du calcaire par l'acide chlorhydrique est en grande partie composé de bâtonnets glauconieux irréguliers, contournés, ramifiés, noueux, mis en liberté par la destruction des Bryozoaires.

2° **Organismes.** *Bryozoaires.* Les quatre cinquièmes de la roche sont formés de leurs débris. J'ai reconnu d'abondants *Cyclostomata* et des *Cheilostomata.* Ces organismes se présentent dans les sections minces, soit sous la forme d'individus complets (fig. 5, nos 1, 2 et 3), soit à l'état très fragmentaire. C'est principalement sous cette dernière forme qu'on les rencontre dans le calcaire de Cangey. Leur test est généralement intact, les cellules sont remplies de calcite largement cristallisée. Ce dépôt est un des plus beaux exemples que je connaisse de sédiments formés aux dépens de Bryozoaires.

Spongiaires. Leurs débris sont des spicules d'assez grande taille, incomplets et épigénisés par la glauconie. J'ai reconnu quelques fragments de spicules tétraradiés et surtout des individus monoaxes qui, selon toutes probabilités, se rapportent presque tous aux *Tetractinellidæ.*

Plusieurs individus sont identiques à des formes de spicules que j'ai signalées en abondance dans le Nord au sommet du Turonien et à la base du Sénonien, et que j'ai retrouvées au même niveau dans la Somme, le Pays de Bray et en Normandie (Rouen).

L'ordre des *Lithistidæ* compte quelques représentants mal conservés.

Foraminifères. On n'en trouve qu'un nombre tout à fait restreint dans chaque section mince. Les *Textularidæ* à test arénacé prédominent (Pl. IX, fig. 5, n° 4); ils sont accompagnés de quelques formes monoloculaires, signalées au même niveau à St-Avertin.

3° **Ciment.** En dehors des minéraux et des organismes, on rencontre une multitude de petits éléments qui ont dû former à l'origine une sorte de bouillie dérivant de Bryozoaires. Les colonies les mieux conservées se rattachent aux produits les plus ténus du ciment par une infinité de termes intermédiaires.

La *calcite* constitue parfois d'assez grandes plages d'une seule orientation.

Par places, les préparations montrent un commencement de silicification. Les petits débris de Bryozoaires sont rongés et partiellement remplacés par de l'opale; la silicification peut être poussée assez loin pour que les restes de ces organismes ne soient plus représentés, au sein de plages de silice isotrope, que par des formes squelettiques de carbonate de chaux dont aucun caractère ne peut trahir l'origine. En quelques cas, la des-

truction est complète, et la calcédoine apparaît dans les plages exclusivement siliceuses. *Le calcaire passe au chert*, mais sur une petite échelle.

C. CALCAIRE CRAYEUX A *Micraster turonensis*

Calcaire gris, un peu grossier, tendre, tachant les doigts à la façon de la craie. Il est glauconieux, faiblement micacé et parsemé de cherts.

1° **Minéraux.** Les éléments détritiques sont très rares. Diam. moyen, $0^{mm}12$. La *glauconie* est abondante (1/10 à 1/8 du dépôt). Elle est aussi fréquente en éléments indépendants des organismes qu'en grains associés aux débris de Bryozoaires.

2° **Organismes.** Ce calcaire est au plus haut degré un produit de l'activité organique. Il renferme :

Bryozoaires très prédominants. Il existe dans chaque préparation tous les passages entre les plus grands fragments et les parties les plus indiscernables du ciment.

Spongiaires. Je n'ai relevé la trace que de très rares bâtonnets glauconieux.

Foraminifères. Ils ne comptent qu'un nombre très restreint de représentants par préparation. Les formes arénacées sont en minorité. On y observe des individus monoloculaires.

3° **Ciment.** Le ciment originel est formé de menus débris de Bryozoaires. La *calcite* est en grande partie le résultat de la transformation du ciment primordial. L'un et l'autre tiennent une place importante.

Cherts. En section mince, les cherts de ce niveau se résolvent en grands éléments organiques cimentés par une pâte calcaréo-siliceuse. On y retrouve des *Bryozoaires* entiers et des fragments de toutes dimensions. Ce qui donne aux sections de chert une physionomie bien différente du calcaire précédent, c'est l'existence d'une multitude de débris de Spongiaires.

Spongiaires. La fraction de la roche qu'ils représentent est d'*un tiers à un demi.*

A. *Spicules monoaxes.* Les individus petits et grêles en fuseau, droits ou arqués viennent en première ligne. Ils sont accompagnés de grands spicules fusiformes, quelquefois cylindriques, plus rarement coniques et le plus souvent fragmentaires.

B. *Tetractinellidæ.* Les spicules tétraradiés ne sont qu'une infime minorité. Ils comptent à peine pour un centième dans l'ensemble des formes observées.

C. *Lithistidæ.* Leur existence est incertaine.

En raison du petit nombre de spicules polyaxes, on peut rapporter aux *Monactinellidæ* beaucoup de formes monoaxes. Tous les spicules sont calcédonieux.

Foraminifères. Ce groupe ne compte qu'une ou deux coquilles par préparation.

Ciment. Il est calcaréo-siliceux. Aux faibles grossissements, le calcaire paraît exister seul. En réalité, il est interpénétré d'opale globulaire qui fournit à la roche une trame

très solide. Il est en effet impossible de dissocier les éléments du chert par l'action des acides. Le carbonate de chaux du ciment est à rapporter tout entier aux produits ultimes de la destruction des Bryozoaires. Les cherts de Cangey aident à l'interprétation des nodules de Saint-Avertin et de Langey, dont le ciment est siliceux. Ils correspondent à un stade de l'évolution de ces corps caractérisés par la *silicification partielle* du ciment calcaire.

Il est bien difficile d'établir si toute la silice des cherts dérive du dépôt dans lequel ils sont inclus. Il existe dans les préparations de ces nodules un nombre assez limité de *vides* correspondant à la disparition de spicules. Je n'en ai pas noté dans le calcaire. Mais les parties explorées au microscope représentent un si faible volume, eu égard à la masse de craie exposée dans une carrière, que l'on ne peut jamais se flatter d'avoir une idée absolument exacte de sa composition. *L'existence de vides démontre que le dépôt a été une source de silice pour lui-même.* La destruction d'assises plus récentes, dont la place est aujourd'hui occupée par de l'argile à silex, — que l'on trouve à Cangey, — a mis en liberté une grande quantité de la même substance. Il paraît bien vraisemblable que ce phénomène a été pour quelque chose dans la genèse des cherts.

D. RÉSULTATS GÉNÉRAUX DE L'ÉTUDE DU CRÉTACÉ DE CANGEY

1° **Minéraux.** Leur rôle n'est prépondérant à aucun niveau. Les minéraux détritiques ne se montrent avec quelque fréquence que dans l'Angoumien. Les calcaires santoniens n'en renferment qu'un très petit nombre ; le calcaire blanc, notamment, en est aussi pauvre qu'une craie blanche. Le diamètre moyen des grains, qui est de $0^{mm}2$ dans l'Angoumien, diminue dans le Santonien; il n'est plus que de $0^{mm}12$ dans les couches à *M. turonensis.*

La glauconie se multiplie au fur et à mesure que le résidu de minéraux clastiques perd de son importance. Elle est presque un élément essentiel dans le calcaire à *M. turonensis.*

2° **Organismes.** *Bryozoaires.* Ils sont partout en première ligne et forment la plus grande partie des calcaires santoniens.

Spongiaires. Leurs débris apparaissent avec le Santonien. Ils comprennent, dans les deux assises considérées, des spicules monoaxes très prédominants et des formes de *Tetractinellidæ* et de *Lithistidæ*, les dernières étant très rares. Ces spicules du Santonien inférieur rappellent des formes trouvées dans les craies à *M. breviporus* et *M. c. testudinarium* de plusieurs points du Bassin de Paris.

Foraminifères. Leur rôle est toujours négligeable. L'Angoumien ne comporte que des Foraminifères de grande taille à test arénacé. On les retrouve dans le Santonien avec

d'autres formes, et notamment des coquilles monoloculaires, mais ils sont en minorité au-dessus du calcaire blanc de Cangey.

3° **Ciment.** Il occupe une large place à tous les niveaux. Dans le calcaire angoumien, il présente le phénomène de différenciation si fréquent dans les couches de Saint-Avertin et de Langeais; il est découpé en masses globuleuses, séparées par de la calcite. Dans le Santonien, il a conservé l'aspect et la structure d'une fine boue dérivant de Bryozoaires et partiellement transformée en calcite.

L'assise à *M. turonensis* présente des points de concentration de silice sous la forme de *cherts*; ces nodules sont caractérisés par l'abondance des spicules d'Éponges et par un ciment calcaréo-siliceux. La base du Santonien montre déjà l'apparition de points cherteux microscopiques.

En résumé, on trouve à tous les niveaux des traces des activités mécanique, physiologique et chimique. La part qui revient aux agents mécaniques diminue beaucoup; les minéraux détritiques sont clairsemés ou très rares (Santonien).

II. VALLÉE DU CHER

CRÉTACÉ ENTRE SELLES ET SAINT-GEORGES-SUR-CHER

J'ai limité au Turonien l'étude de cette partie de la vallée du Cher. Les échantillons que j'ai soumis à l'étude micrographique ont été recueillis en plusieurs points de la vallée. La base du Turonien se voit en aval de Selles-sur-Cher, grâce à un pli anticlinal qui fait apparaître le contact du Ligérien avec le Cénomanien : Le sommet de la carrière de Fortaveau, ouverte sur la rive droite du canal du Berry, montre au-dessus du Cénomanien une craie marneuse grise renfermant *Rhynchonella Cuvieri*, avec une puissance de trois à quatre mètres. Cet horizon est surmonté par une craie marneuse blanche à *Inoceramus labiatus* qui se charge de silex à sa partie supérieure (10^{m}). La craie à *I. labiatus* passe insensiblement à une pierre tendre, grenue et micacée, qui est le « tuffeau de Touraine », épais d'une vingtaine de mètres et exploité à mi-côte des coteaux qui bordent le Cher après Noyers. Le Turonien supérieur et le Sénonien affleurent en aval de Noyers, puis le tuffeau réapparaît, par suite d'un plissement, à Bourré et à Montrichard, où il est exploité dans de grandes carrières souterraines. J'ai prélevé les échantillons étudiés dans ces deux dernières localités. Le plongement des couches à partir de Bourré et de Montrichard fait affleurer l'Angoumien à Saint-Georges-sur-Cher, sous forme de calcaire à Bryozoaires. Je vais considérer successivement : la craie à *I. labiatus* (1) et le tuffeau de Touraine (2) qui réunis, forment le Ligérien, et le calcaire à Bryozoaires de l'Angoumien (3).

1° CRAIE *à Inoceramus labiatus*

Caractères lithologiques. L'assise à *I. labiatus* débute dans la grande carrière de Fortaveau (commune de Selles), par une craie très marneuse, gris jaunâtre, tendre, légèrement schisteuse à cassure grenue et renferma *Rh. Cuvieri.* Elle passe à une craie plus dure, gris blanchâtre quand elle est humide et franchement blanche lorsqu'elle est privée de son eau de carrière. Cette dernière craie qui forme la masse principale de l'assise tache les doigts comme la craie blanche du Bassin de Paris ; la poudre qui s'en détache laisse au toucher une impression qui rappelle beaucoup celle des sables dolomitiques très fins. C'est sous ce facies qu'elle montre de nombreuses empreintes d'*Inoceramus labiatus*. Des silex en gros rognons apparaissent à la partie supérieure de l'assise. Vu l'importance exceptionnelle qui s'attache à l'étude des nodules siliceux de ce niveau, j'en donnerai une description très détaillée.

A. Étude de la Craie

1° **Minéraux.** Le résidu minéral débarrassé de l'argile est de quelques milligrammes pour cent.

Minéraux détritiques. Le quartz est représenté par des grains mesurant en moyenne $0^{mm}067$; un grand nombre d'éléments atteignent $0^{mm}14$-15. Ils sont d'aspect frais, peu ou point dépolis ; les éclats de quartz, sans trace d'usure, sont relativement abondants ; les éléments de forme arrondie sont exceptionnels. Les minéraux qui viennent ensuite, par ordre de fréquence, sont : magnétite, tourmaline, orthose, zircon, mica blanc, rutile, anatase, plagioclase.

Minéraux secondaires. Glauconie. Elle n'existe guère que sous forme de moulages de Foraminifères. On la trouve en sphérules isolées ou réunies par deux ou par trois ; un certain nombre montrent en lumière polarisée parallèle *une croix noire aussi apparente au centre que sur les bords.* Cet élément est fort rare à ce niveau.

Orthose relativement fréquente sous forme de petits cristaux bien conservés.

2° **Organismes.** Le nombre de leurs débris est excessivement variable ; tantôt ils sont très clairsemés ; tantôt ils pullulent dans les préparations. Le niveau de base en est très riche.

Mollusques représentés par des prismes d'Inocérames isolés, quelquefois soudés au nombre de deux, assez nombreux et souvent tronçonnés. On y observe également de volumineux débris de coquilles.

Bryozoaires. On en trouve quelques débris comportant un petit nombre de cellules.

Alcyonaires. Quelques spicules calcaires se rattachent à ce groupe.

Échinodermes. Ils ont pour représentants de petites baguettes entières ou cassées.

Spongiaires. Le résidu insoluble contient de très rares spicules monoaxes, fragmentaires et quelques formes assez bien conservées se rapportant les unes aux *Tetractinellidæ*, les autres aux *Lithistidæ* (*Megamorina*). Ces spicules sont de grande taille et en opale, le *canal est conservé avec son faible diamètre primitif.* La base de l'assise en renferme un plus grand nombre, mais ils sont tous transformés en calcite.

Foraminifères. Ils abondent dans la marne de la base. La très grande majorité des formes sont monoloculaires. *Fissurina* est très prépondérante. *Orbulina* est relativement fréquente. Viennent ensuite : *Textularia*, *Rotalia*, *Globigerina*, *Bulimina*, *Sphæroidina*, etc. Tous ces Rhizopodes ont un test assez épais ; quelques individus indéterminés et de grande taille ont une coquille très épaisse. D'autres très incomplets et rares ont un test d'une grande minceur.

Diatomées. Je me borne à signaler la présence incontestable de ce groupe. Je n'en ai observé que de très rares carapaces siliceuses, de petite taille et de conservation parfaite.

3° **Ciment.** Le niveau marneux à *Rh. Cuvieri* présente tous les espaces, compris entre les organismes, remplis de carbonate de chaux interpénétré de fines particules argileuses. Le calcaire est très finement cristallisé en petits rhomboèdres. La craie proprement dite est en grande partie formée de cristaux de calcite. On observe de volumineux rhomboèdres dans les cavités de tous les organismes et au sein même du limon crayeux qui forme le ciment. Celui-ci, délayé avec soin, se montre presque uniquement composé d'une multitude de très petits cristaux rhomboédriques auxquels sont associés de rares *Coccolithes.* Cette craie est en majeure partie inorganique.

Résumé. La craie à *I. labiatus* a pour caractères principaux : *a.* résidu minéral presque nul ; *b.* proportion d'organismes essentiellement variable ; *c.* fréquence des débris de Spongiaires à la base de l'assise ; *d.* prédominance des Foraminifères monoloculaires ; *e.* ciment le plus souvent prépondérant et essentiellement inorganique, renfermant de gros rhomboèdres de calcite comme j'en ai plusieurs fois signalé dans les craies du Nord du Bassin de Paris.

Ce dépôt s'écarte considérablement de tous ceux que j'ai étudiés jusqu'ici dans le S.-O. du Bassin parisien. Il réalise le type craie proprement dite. Sa faune de Rhizopodes calcaires se rattache de la façon la plus intime à celle des craies du même niveau par la grande place occupée par les Foraminifères monoloculaires.

B. Étude des silex composés de la craie à *I. labiatus*

En descendant la vallée du Cher, à partir de la grande carrière de Fortaveau, on voit bientôt la craie à *I. labiatus* affleurer au niveau du canal. En un point, elle renferme de volumineux silex qui revêtent un facies particulier à cette région.

Caractères lithologiques. On peut y distinguer deux types.

1° Une première manière d'être est réalisée par des nodules comportant deux parties bien distinctes : un noyau central de silex corné, ayant tout à fait l'aspect de la pierre à fusil ordinaire, et une enveloppe également faite de silex, mais teintée en jaune chamois clair. Noyau et enveloppe peuvent acquérir tous deux de grandes dimensions.

2° La seconde façon d'être est la même dans ses grands traits que la précédente. Elle n'en diffère que par l'enveloppe jaune. Celle-ci est striée de zones jaune clair, généralement parallèles et inégalement espacées. Les zones s'arrêtent net au contact du noyau central. Elles se poursuivent au contraire sans la moindre interruption à travers la craie ambiante en conservant leur parallélisme, leur écartement et jusqu'à leurs différences d'intensité de coloration.

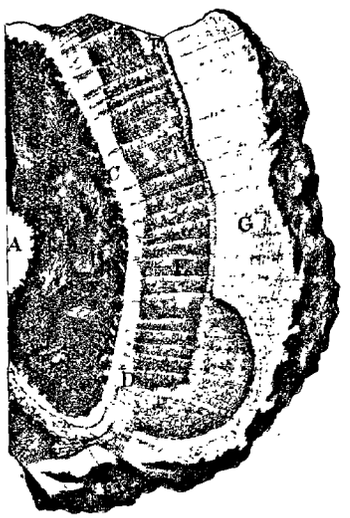


Fig. 17. Silex de la craie à *I. labiatus*. (Demi-grandeur naturelle).

Le nucleus de silex corné est le même dans tous les cas. Si on l'analyse en détail, on voit qu'il comprend trois parties, quand il présente son maximum de complication (Fig. 17) :

A. Au centre, craie blanche silicifiée. B. Dans la partie moyenne, la masse principale du silex corné. C. Une zone externe gris blanc représentant la patine du silex corné. Il y a donc là réunis tous les éléments du silex ordinaire.

L'enveloppe jaune se décompose elle-même en différentes parties :

D. Une zone plus claire au contact immédiat du silex corné. Elle peut faire défaut. E. La grande masse de l'enveloppe du silex jaune zoné ou non. F. Une sorte de patine jaune pâle qui manque souvent. G. La craie zonée vient ensuite. Elle est fréquemment en contact direct avec la partie E.

ÉTUDE MICROGRAPHIQUE. *Partie* A, formée d'opale globulaire, en masses botryoïdes, sans la moindre action sur la lumière polarisée.

B. Cette zone est très finement calcédonieuse, probablement interpénétrée d'un peu d'opale. La trace des organismes et surtout des spicules est marquée par des lamelles de calcédoine de plus grande taille. Le carbonate de chaux est totalement exclu de cette zone.

C. Cette partie est constituée par de l'opale grise, globulaire, en masses mamelonnées, pénétrées d'un peu de calcédoine. L'emplacement des spicules est indiqué par de la calcédoine.

D. Cette zone qui se montre sur l'échantillon colorée en jaune plus clair que la grande masse de silex, se reconnaît dans les coupes minces par une teinte plus pâle. Lorsque le silex jaune présente la structure globulaire, la bande D se montre homogène

et ne laisse voir qu'une faible tendance de la silice à esquisser un commencement de différenciation.

E. Que le silex jaune soit zoné ou non, il est essentiellement formé d'un mélange d'opale prédominante, de calcédoine et parfois de carbonate de chaux. Dans le silex jaune non pourvu de zones, l'opale est en partie globulaire ; elle n'est pas différenciée dans le silex zoné. Dans l'un comme dans l'autre, les spicules de Spongiaires étaient nombreux. Leurs différentes manières d'être sont particulièrement intéressantes.

a. Ils sont restés, par places, à l'état d'opale indifférenciée, bien qu'ils soient plongés dans un milieu de calcédoine et d'opale globulaire.

b. Ils sont le plus souvent calcédonieux. On reconnaît la place qu'ils occupaient à la plus grande dimension des lamelles de calcédoine.

c. Dans des cas qui sont loin d'être exceptionnels, un spicule qui a été originellement siliceux est *mi-partie calcaire, mi-partie calcédonieux.* Le carbonate de chaux associé à la calcédoine est de la calcite largement cristallisée ; il n'occupe que l'emplacement des spicules. Il est rongé par la calcédoine qui lui est postérieure. On est ici en présence d'un *spicule calcifié en voie de transformation en calcédoine.* Cette troisième manière d'être est de la plus haute importance. J'y reviendrai dans un instant après avoir examiné la craie ambiante.

Beaucoup des spicules dont il vient d'être question dérivent des *Lithistidæ*. En plus de ces restes d'Eponges, on trouve des vestiges d'organismes calcaires incomplètement silicifiés.

Le silex jaune, dans les rares points où la calcédoine l'emporte sur l'opale, prend absolument l'aspect du silex corné lui-même. Je montrerai plus loin tout l'intérêt qui s'attache à cette particularité.

Le silex jaune zoné est caractérisé au microscope, comme à l'œil nu, par la présence de bandes jaunes qui ne sont douées d'aucune structure spéciale; leur teinte est due à de la matière ocreuse très abondante.

F. Cette partie est calcaréo-siliceuse. Elle renferme un grand nombre d'éléments de carbonate de chaux partiellement dissous, souvent réduits à l'état de squelettes. La silice est en majeure partie sous forme de globules. Cette zone représente le passage du silex jaune à la craie ambiante et ne doit pas être considérée comme une patine. Elle résulte d'une silicification incomplète de la craie avec production de silice globulaire.

G. C'est la craie jaune zonaire qui enveloppe le silex composé, de toutes parts. Je ne m'attarderai pas à la décrire en détail, puisque je lui ai déjà consacré d'assez longs développements. Elle renferme comme débris organiques de grands Bryozoaires, beaucoup de spicules d'Eponges et peu de Foraminifères. A l'exception d'un nombre insignifiant d'individus, tous les spicules sont en calcite. Ils ont été siliceux à l'origine

ainsi qu'en témoignent et leurs formes et leurs dimensions. *La craie elle-même a subi un commencement de silicification, bien que les organismes siliceux aient été dépouillés de leur silice.* Ce phénomène se traduit par l'existence d'une infinité de petits globules partout répandus dans la roche. Ils forment une sorte de trame siliceuse qui donne à la craie une cohérence bien supérieure à celle qu'elle présente d'habitude. Les zones jaune pâle du silex se poursuivent sans interruption, ainsi que je l'ai dit, à travers la craie voisine. Elles y sont identiques d'aspect et de composition à celles du silex.

Interprétation des silex. On peut d'abord poser en fait que le silex corné est à lui seul un silex complet comme tous les rognons siliceux de la craie ; il possède une patine. On peut encore admettre comme parfaitement établi que le silex jaune qui sert de manchon au silex corné résulte de l'épigénie d'une craie absolument identique à la craie zonée. C'est-à-dire que la silicification s'est produite lorsque les zones ocreuses étaient dessinées avec tous les caractères qu'elles présentent aujourd'hui, et après la calcification de beaucoup de spicules siliceux, comme cela s'observe dans la craie zonée. Cette dernière proposition demande quelque développement.

On peut distinguer plusieurs temps dans la métamorphose des spicules : Dans une première phase, ils sont entièrement dissous et laissent des vides qui en reproduisent exactement la forme négative, — j'en ai signalé à maintes reprises dans les roches siliceuses étudiées dans la première partie de ce mémoire.

Une deuxième phase est marquée par le remplissage de ces vides par de la calcite. C'est dans la très grande majorité des cas le stade ultime de la transformation des spicules quand ceux-ci sont calcifiés. C'est celui que présentent la plupart des vestiges de Spongiaires de la craie zonée. Sur l'emplacement du silex jaune, *les spicules d'abord siliceux, puis transformés en calcite, ont été silicifiés plus ou moins complètement au moment de l'épigénie de la craie zonée par la silice.* Ce cycle de métamorphoses est à coup sûr le plus complet que puisse parcourir un spicule. Ce qui ressort clairement de l'état actuel des spicules inclus dans le silex jaune et de la présence de zones ferrugineuses communes au silex et à la craie, c'est que la genèse du silex jaune est postérieure : 1° à la pseudomorphose des spicules par la calcite — phénomène qui a suivi la mise en liberté de la silice des spicules et conséquemment la production de nodules aux dépens de cette silice —; 2° à l'introduction de matière ocreuse dans la craie. L'arrêt brusque des zones à la patine du silex corné ne peut s'expliquer qu'en admettant la préexistence de ce dernier au développement des zones.

On arrive ainsi à *la notion de deux temps bien distincts dans la formation de certains silex de la craie* à *I. labiatus* [1], le premier marqué par la genèse du silex

1. L. CAYEUX. De l'existence de silex formés en deux temps, etc., *Ass. fr. Avanc. Sc.*, pp. 290 et suiv. (1896).

corné, et le second par celle du silex jaune zoné. Ces deux périodes successives ont été séparées par un laps de temps assez long pour que la surface du silex corné s'altère assez profondément et donne une patine. C'est pendant la formation de cette patine que la craie a été pénétrée de matière ocreuse et qu'elle a pris une structure zonée.

Il n'est pas sans importance de remarquer que sans le pigment ocreux, l'enveloppe de silex secondaire serait, selon toute vraisemblance, tellement identique d'aspect au silex corné, qu'on ne pourrait guère l'en distinguer à l'œil nu. Pour ce qui est de la composition intime, je rappellerai que la structure et la physionomie des plages les plus calcédonieuses du silex jaune passent à celles du silex corné. En d'autres termes, *il n'y a pas*, et tant s'en faut, *de différence radicale entre les produits de chacun des deux temps de formation du silex composé.*

Conséquences générales qui découlent de la formation des silex composés. Deux conséquences importantes découlent de l'étude de la genèse des silex composés :

1° *Formation possible de silex, sans intervention de matière organique.*

2° *Possibilité de la genèse très tardive de silex dans une craie.*

Il est de toute évidence que la matière organique qui imprégnait la boue crayeuse sur le fond de la mer avait disparu depuis longtemps lorsque le silex jaune a pris naissance. La genèse tardive de ce silex est non moins évidente. Pour que les vides qui marquent à un moment donné la place de spicules dissous puissent conserver la forme exacte de ces corps, il est nécessaire que le dépôt soit déjà consolidé. La craie était donc durcie lorsque la calcite a rempli les vides en question. *La silicification de la craie qui a donné le silex jaune est donc un phénomène postérieur à la consolidation de ce dépôt.* Il n'est pas du tout invraisemblable qu'elle soit même relativement récente et postérieure à l'émersion de tout le Crétacé. La préexistence des zones ferrugineuses à l'épigénie de la craie par la silice donne un grand crédit à cette hypothèse. La dissolution des grandes masses de craie qui ont donné naissance à la plupart des éléments des argiles à silex tertiaires de la région a dû mettre en liberté une grande quantité de silice, ainsi que je l'ai fait remarquer plus haut. Cette substance circulant en solution dans les sédiments sous-jacents, a été attirée soit par des nodules siliceux pour donner naissance à des *silex composés*, soit par des spicules épars dans la craie pour engendrer de toutes pièces des *nodules postérieurs à l'émersion du dépôt.* Cette seconde proposition paraît ici une pure conjecture. L'étude du tuffeau de Touraine met en évidence des faits qui plaident beaucoup en sa faveur.

2° « Tuffeau » de Bourré et de Montrichard.

Caractères lithologiques. Calcaire tendre, grenu, sableux, micacé et de couleur gris verdâtre quand il est imprégné de son eau de carrière. Les couches inférieures sont très

homogènes et dépourvues de nodules siliceux; elles fournissent une bonne pierre de taille durcissant à l'air.

Le « tuffeau » se laisse tailler et sculpter avec la plus grande facilité. C'est lui qui a fourni les matériaux de construction des célèbres châteaux de Touraine. C'est également « dans cette roche que sont creusées les habitations souterraines qui bordent les vallées du Cher, de la Loire et du Loir et dont les cheminées émergent au milieu des champs ou des vignes ». Son épaisseur est de 15 ou 20^{m} dans la vallée du Cher. On trouve entre Bourré et Montrichard tous les termes intermédiaires, depuis le calcaire tendre faiblement siliceux jusqu'au chert dépourvu de carbonate de chaux. Le type normal est un calcaire siliceux. J'étudierai successivement le tuffeau et ses nodules siliceux.

A. Tuffeau calcaréo-siliceux

1° **Minéraux.** Le résidu insoluble peut être considérable dans les variétés siliceuses; l'opale en forme la majeure partie. Un échantillon de richesse moyenne en silice a fourni 31,7 % de résidu.

Minéraux clastiques. Ils représentent une faible fraction de la roche, lors même qu'ils sont les plus nombreux. Ce sont des grains de quartz mesurant en moyenne 1/10 de mm. de diamètre, de l'orthose et quelques minéraux lourds tels que magnétite, zircon, tourmaline.

Minéraux secondaires. La glauconie est abondante. Je la décrirai en étudiant les rognons siliceux. Elle ne remplit jamais les coquilles de Foraminifères, auxquelles elle est toujours associée dans les tuffeaux les plus calcaires; elle est très rarement en relation avec les spicules de Spongiaires.

2° **Organismes.** Deux groupes seuls prennent part à la composition de cette roche.

Spongiaires. Leurs débris manquent presque complètement dans les variétés calcaires qui sont de beaucoup les plus répandues. Les spicules sont de grande taille et de forme très robuste; ils se ramènent toujours à un très petit nombre de types, même quand ils se présentent avec leur maximum de fréquence.

A. *Spicules monoaxes.* Ils sont prépondérants. Quelques-uns sont très nettement fusiformes, droits et très allongés; d'autres — les plus nombreux — sont des bâtonnets cylindriques incomplets.

B. *Tetractinellidæ.* Ils comportent de rares spicules de *Pachastrella* et quelques formes qui rappellent *Geodia.*

C. *Lithistidæ.* Leurs spicules, aussi rares que ceux du groupe précédent, appartiennent aux *Megamorina.*

Il me reste à mentionner des individus globuleux, sphériques, dont on trouve plu-

sieurs représentants dans toutes les préparations de tuffeau, quelle que soit sa composition. Leur surface est hérissée de petits prolongements lamelleux.

Presque tous les spicules sont calcédonieux ; la silice ambiante fait hernie dans l'espace qui leur était réservé. Ils ne sont jamais glauconieux. C'est dans un échantillon calcaire recueilli entre Montrichard et Bourré qu'ils sont le plus nombreux ; en ce cas particulier, ils forment au plus le dixième de la roche.

Foraminifères. Ils sont généralement très rares. Le plus grand nombre sont des formes monothalamiennes *(Orbulina)* ; j'ai reconnu quelques grands *Textularidæ* arénacés. Tous sont pourvus d'un test épais. Ils sont aussi rares dans les variétés calcaires que dans celles qui sont siliceuses.

3° **Ciment.** Il est calcaire, siliceux avec prédominance très marquée de *carbonate de chaux primordial* ou de *calcite secondaire.* La trame même du ciment est faite de calcite associée à de menus éléments de carbonate de chaux d'aspect gris, opaque et dépoli, tantôt isolés, tantôt groupés, juxtaposés en grand nombre de façon à constituer des plages uniformément grises où la calcite transparente est rare ou absente. Ce ciment ne se laisse pas décomposer en éléments d'origine organique évidente à première vue. Rien dans la roche ne permet de fixer sa provenance. La seule donnée que l'on puisse faire intervenir doit être empruntée à des tuffeaux moins transformés et choisis dans la partie plus occidentale du Bassin. Tels sont ceux que j'ai pu étudier à Saint-Avertin par exemple. Le calcaire jaune à nodules aplatis de la base du Santonien de cette localité aide à l'interprétation des tuffeaux de Bourré et de Montrichard. Ainsi que je l'ai dit (p. 347), cette roche était en grande partie formée dès le principe d'une très fine boue engendrée aux dépens des Bryozoaires. Une grande portion de cette boue a été transformée en calcite. Il en reste de nombreux vestiges sous la forme de plages grises composées de carbonate de chaux corrodé, identiques à celles des tuffeaux de la vallée du Cher. On peut dire pour les tuffeaux de la région de Bourré qu'ils correspondent aux calcaires à nodules de Saint-Avertin, mais à un stade beaucoup plus rapproché de la destruction complète du ciment originel. Ce dernier y est encore représenté par des taches grises, nuageuses, déjà envahies par la calcite ; elles sont dépourvues de toute signification si l'on n'est pas préparé à les déchiffrer par l'étude des calcaires montrant tous les termes de passage du ciment le plus fin aux vestiges de Bryozoaires que l'on peut déterminer comme tels en toute certitude.

Il faut donc se représenter *le ciment des roches en question comme essentiellement formé à l'origine d'éléments dérivant de Bryozoaires.*

La silice existe en proportion très variable, mais elle ne manque jamais. Dans les échantillons les plus calcaires recueillis à Bourré et à Montrichard, les organismes siliceux sont presque absents, la silice s'y présente sous la forme de petits globules

isolés ou groupés en petit nombre et disséminés un peu partout entre les éléments calcaires.

J'ai porté tout spécialement mon attention sur le tuffeau calcaire associé aux cherts nombreux. J'ai étudié notamment celui de la tranchée du chemin de fer à l'ouverture du tunnel près de la station de Montrichard. Il est très faiblement silicifié, quand il ne passe pas au chert. Il ne présente rien de particulier dans sa composition organique ; les spicules d'Eponges peuvent y faire entièrement défaut sans qu'on puisse supposer qu'ils aient disparu par dissolution. Il n'y a pas de vides qui leur correspondent.

B. Cherts.

Caractères lithologiques. Le tuffeau calcaire présente des concrétions plus dures que la roche ambiante ; les agents atmosphériques les mettent en relief sur les parois exposées à l'air. Sauf la dureté, tous leurs caractères physiques sont ceux du tuffeau même. Les concrétions se multiplient au fur et à mesure qu'on atteint les parties élevées de l'assise ; dans la tranchée de la gare de Montrichard, elles sont abondantes, volumineuses et souvent d'aspect corné sur la cassure. Elles passent insensiblement au tuffeau dont elles semblent n'être qu'une différenciation. Elles sont l'expression la plus accomplie du *chert* des géologues anglais.

1° **Minéraux**. Les minéraux sont exactement ceux que l'on rencontre dans la roche calcaire ; leur proportion est la même. La *glauconie* y est abondante. Elle donne naissance à des grains vert pâle de forme générale arrondie, d'un diamètre de $0^{mm}1$. Beaucoup d'éléments sont parcourus de clivages le plus souvent rectilignes et rarement parallèles. La *glauconie clivée* est polychroïque dans les tons verts et très biréfringente. Dans les cherts de même que dans le tuffeau, on trouve ce minéral sous forme de taches mal délimitées, fondues pour ainsi dire sur leurs bords avec le calcaire ou la silice qui les enveloppe. C'est la *glauconie pigmentaire* des gaizes. Il existe également des *globules de glauconie*. Enfin cette substance s'est déposée dans les clivages de l'orthose qu'elle rend ainsi très apparents. Bref, les manières d'être de ce minéral sont identiques à celles que j'ai longuement analysées dans la première partie de ce mémoire (Chap. IV).

2° **Organismes**. Ils ne diffèrent pas de ceux que j'ai signalés dans la roche calcaire. Les organismes siliceux s'y observent avec la même fréquence, sauf les spicules globuleux qui sont un peu plus nombreux. Les Foraminifères sont plus rares et peuvent même faire défaut.

3° **Ciment**. Minéraux et organismes sont plongés dans un ciment complètement siliceux ou formé d'un mélange intime de silice et de carbonate de chaux. Dans ce dernier cas, on trouve soit des fragments assez volumineux de calcaire à bords rongés, soit une infinité de petites particules irisées en lumière polarisée, saupoudrant pour ainsi dire la préparation.

Ces petits éléments ont des contours déchiquetés et représentent des restes de plages de carbonate de chaux en voie de destruction.

Dans certains cas, toute trace de calcaire a disparu. La silice qui existe seule affecte trois états : opale indifférenciée, opale globulaire et calcédoine. Les proportions relatives de ces différentes modalités de la silice sont très variables. L'opale est toujours prédominante. Dans la grande majorité des cas, elle présente la structure globulaire dans toute l'étendue de la roche ; les sphérules siliceuses sont presque toujours soudées entre elles. Un échantillon prélevé dans la tranchée de la gare de Montrichard montre les globules les plus volumineux et les plus complexes que j'aie vus ; ils y atteignent un diamètre presque égal à celui des Foraminifères monoloculaires.

Quand elles présentent leur maximum de complexité les sphérules siliceuses comptent un volumineux nucleus d'opale grise se décomposant en plusieurs zones de réfringence différente. Puis vient une large couronne très régulière de calcédoine donnant une croix noire très apparente en lumière polarisée parallèle, et enfin une zone très mince d'opale grise qui limite le globule. En général, les nucleus de plusieurs de ces corps se fusionnent plus ou moins ; il en résulte des masses mamelonnées, enveloppées d'une gaîne de calcédoine de même largeur que pour les globules isolés, et entourées d'une zone d'opale grise de très faible épaisseur.

Quand elle n'est pas différenciée, la silice monoréfringente forme des plages de différentes étendues passant sur leurs bords à la silice globulaire puis à la calcédoine. Cette dernière variété de silice est très inégalement répartie ; elle forme des sortes de nids où elle est largement cristallisée. *La calcédoine est toujours associée à l'opale globulaire.*

Origine de la silice des cherts et du tuffeau calcaréo-siliceux. Il ressort de l'existence par places dans les cherts de petits éléments de carbonate de chaux, de la forme déchiquetée des plus petites particules de cette substance, que la roche a été en grande partie calcaire à l'origine et qu'elle a subi une silicification très prononcée. Il ne semble pas que les organismes siliceux aient été plus répandus que dans les tuffeaux calcaréo-siliceux. Les échantillons du tuffeau de la station de Montrichard si riche en nodules siliceux, sont très pauvres en spicules quand ils n'en sont pas tout à fait dépourvus. Les variétés les plus riches en vestiges d'Eponges que j'ai examinées sont des tuffeaux encore éloignés du type chert, et remarquables par une forte teneur en carbonate de chaux. Les spicules y sont transformés en calcédoine et par conséquent leur silice est restée en place. J'ajouterai que j'ai passé en revue trop peu d'échantillons pour prétendre que ce soit le cas général. Lorsque les nodules cherteux sont petits et très espacés dans la roche (Bourré), on peut recourir à l'hypothèse de la dissolution de quelques spicules voisins pour trouver une source de silice, mais lorsqu'ils sont très volumineux, rapprochés et presque en continuité comme à la sortie du tunnel de la gare de Montrichard, la même explication devient impossible. Étant donnée la masse considérable de silice mise en œuvre pour

engendrer les nodules siliceux, le tuffeau qui empâte les cherts et qui aurait fourni cette silice devrait être criblée de cavités correspondant aux organismes siliceux détruits. L'étude des sections de ce tuffeau ne corrobore nullement cette hypothèse. A dire vrai, l'explication de l'origine de la silice du tuffeau calcaréo-siliceux présente tout autant de difficultés. Si les points cherteux sont petits et clairsemés dans cette roche, la silice y est pourtant abondante sous la forme d'une trame d'opale qui existe même dans les spécimens les plus calcaires. Si l'on faisait la somme de cette substance répandue partout dans le tuffeau, bien que l'œil nu soit impuissant à la reconnaître, on se trouverait en présence d'une masse de silice autrement importante que celle qui tombe sous nos sens à l'état de cherts.

Puisqu'on ne trouve ni dans le tuffeau calcaréo-siliceux, ni dans le tuffeau cherteux la trace d'organismes ayant pu fournir la matière siliceuse dont ils sont imprégnés, il est nécessaire d'en rechercher l'origine en dehors de ces dépôts. Une seule solution s'impose : c'est l'intervention des terrains qui les surmontent. Le fait que les cherts de Bourré et de Montrichard sont d'autant plus nombreux et plus volumineux que le sommet de l'assise est proche est à lui seul une probabilité en faveur d'une origine extrinsèque de la silice. L'argile à silex, qui occupe d'immenses étendues dans la région, surmonte directement le tuffeau à Bourré, Montrichard, etc. Son épaisseur, très variable, peut dépasser 30 mètres. Elle renferme des silex de la craie non roulés, des argiles dures siliceuses, etc. (Douvillé). Pour trouver les éléments d'une formation aussi puissante, il est nécessaire de supposer que des couches à silex ont été détruites sur une grande épaisseur. Ce phénomène a dû mettre en liberté de grandes quantités de silice résultant de la dissolution des spicules disséminés dans la craie. L'argile à silex même fournit la preuve de la production de silice consécutive de sa genèse. Les solutions siliceuses élaborées dans les sédiments supérieurs en voie de destruction ont pénétré dans le tuffeau; elles ont donné naissance à la trame d'opale qui lui sert pour ainsi dire de charpente; elles ont provoqué la formation de nodules cherteux ou déterminé un accroissement de ceux qui s'étaient développés immédiatement après son dépôt. Il faut, en effet, admettre qu'il existe beaucoup de concrétions siliceuses antérieures à la formation de l'argile à silex, puisque celle-ci a emprunté ses nodules à la craie. Dans ces conditions, *la silicification du tuffeau serait un phénomène relativement récent et d'âge tertiaire.*

Je me garde bien de présenter comme un fait ce qui n'est qu'une pure hypothèse, mais j'espère que l'on voudra bien reconnaître qu'elle a pour elle l'appui d'une grande probabilité. On a, d'une part, un dépôt qui a reçu une grande somme de silice et, d'autre part, l'indication très nette d'un phénomène qui a été une source considérable de cette substance. Le rapprochement de ces deux circonstances n'indique pas nécessairement entre elles une relation de cause à effet, mais il permet d'autant plus de la supposer que le maximum de silicification du tuffeau de Bourré et de Montrichard s'observe dans

les couches les plus élevées de cette formation et, par conséquent, au voisinage immédiat de la source siliceuse.

Conclusions. L'étude micrographique des tuffeaux de la vallée du Cher montre qu'ils sont essentiellement formés d'une très fine boue calcaire formée aux dépens des Bryozoaires, partiellement transformée en calcite et interpénétrée d'opale. Leurs débris organiques sont d'assez rares spicules d'Éponges et un nombre très limité de Foraminifères. Le tuffeau doit ses qualités d'excellente pierre de construction à la grande prédominance du ciment calcaire primordial qui se prête à un travail très facile, en même temps qu'il lui assure une cohérence de plus en plus grande par sa transformation progressive en calcite. La silice représentée par une trop faible proportion pour s'opposer à la taille facile de la roche contribue à augmenter beaucoup son coefficient de résistance à l'écrasement, en même temps qu'elle fait obstacle à l'action dissolvante des eaux atmosphériques.

La quantité de silice disséminée dans le tuffeau et concentrée sous la forme de rognons cherteux est hors de proportion avec celle que représente l'ensemble des débris d'organismes siliceux qu'on y rencontre. J'admets que les phénomènes qui ont présidé à la genèse de l'argile à silex ont été le point de départ de l'enrichissement du tuffeau en silice. D'où cette conséquence qu'une partie de la silice de dépôt serait tertiaire.

3° CALCAIRE JAUNE DE SAINT-GEORGES-SUR-CHER.

Caractères lithologiques. L'Angoumien se trouve à Saint-Georges-sur-Cher à l'état de calcaire jaune, grossier, tantôt homogène, à cassure irrégulière, très grenue, parsemée de petites taches glauconieuses et de fines paillettes de mica blanc, tantôt beaucoup plus grossier et montrant sur sa cassure de nombreuses lamelles spathiques. On y reconnaît à l'œil nu de nombreux débris de Bryozoaires. Des lentilles de sable jaune micacé s'intercalent dans la première variété.

1° **Minéraux.** Les minéraux tiennent dans cette roche une place incomparablement plus importante que dans les niveaux précédents. Un échantillon m'en a fourni une proportion de 19,64 °/₀. On peut en trouver beaucoup plus puisque l'assise admet l'intercalation de lentilles sableuses. Ils forment en moyenne un cinquième du dépôt.

A. *Minéraux détritiques. Quartz.* Le diamètre moyen est $0^{mm}2$; des éclats sans trace d'usure mesurent jusqu'à $0^{mm}75$. Les autres espèces minérales observées sont:

Magnétite. Très abondante en grains de forme irrégulière: octaèdres assez rares.

Staurotide. Très répandue à l'état fragmentaire.

Tourmaline. Sauf de rares exceptions, c'est la variété brune qui est seule représentée. Les cristaux sont courts et trapus, souvent très bien conservés. Quelques individus sont à rapporter à la variété verte.

Zircon. Très abondant et de forme peu variée. Cristaux avec faces du prisme absentes, rudimentaires, ou prédominantes. Structure zonaire très fréquente. Les éléments suivants méritent une mention particulière.

Pl. X, fig. 7. Cristal formé de h^1 (100) b^1 (112). Inclusions solides dont une figurant un microlithe jaune avec une extrémité tronquée; une inclusion gazeuse. Dim. 0,01-0,07.

Fig. 34. Cristal renfermant deux grosses inclusions gazeuses, plusieurs pores liquides et des zones dessinant un pointement dont les faces prédominantes correspondent aux plus réduites du cristal. Dim. 0,13-0,03.

Fig. 41. Beau cristal limpide formé de m (110) h^1 (100) et d'un pointement indéterminé, renfermant, entre autres inclusions, un large microlithe rectangulaire. Dim. 0,27-0,04

Ce minéral est aussi très répandu à l'état fragmentaire.

Mica blanc. Paillettes assez abondantes, visibles à l'œil nu.

Orthose. Altérée et rare.

Rutile. Variété jaune rougeâtre très foncée, prédominante mais de forme toujours incomplète; variété jaune d'or en cristaux longs, étroits et très rares.

Disthène. Cristaux en tables rectangulaires, souvent maclés et toujours incolores. Clivage p (001) sous forme de fines stries rectilignes, très rapprochées et ne traversant pas tout le cristal ; clivage g^1 (010) visible. Cette espèce compte un assez grand nombre de représentants.

Andalousite. Minéral très fragmentaire, sans contours cristallins, rose clair, très polychroïque.

Corindon. Variété bleue irrégulièrement colorée ; très fragmentaire.

Plagioclase. En voie d'altération, très rare.

Anatase. Tables incolores ou jaunâtres très aplaties. Ex. Pl. X, fig. 70, cristal mesurant 0,13-0,09.

Brookite. Fragments de cristaux jaunes.

Grenat. Variété incolore en dodécaèdres.

B. *Minéraux secondaires*. La *glauconie* se présente en grains arrondis vert foncé d'un diamètre généralement un peu supérieur à celui du quartz ; elle pseudomorphose les spicules d'Eponges. La très grande majorité de ses éléments sont en rapport avec les Bryozoaires. Elle en remplit plus ou moins complètement les loges et en incruste le test. La glauconie qui épigénise le squelette des Bryozoaires est représentée dans le résidu insoluble par des globules isolés ou confluents, des éléments allongés pourvus de renflements irréguliers, de ramifications et d'anastomoses ; elle est plus abondante que tous les autres minéraux réunis dans le calcaire jaune cristallisé.

2° **Organismes**. *Mollusques*. Ils ont laissé des fragments de test largement cristallisés, mais dont les prismes composants ont conservé leur individualité.

Bryozoaires. Leurs débris représentent jusqu'à la moitié de la roche ; quelques-uns ont été roulés.

Echinodermes. Les variétés très cristallines montrent un nombre très notable de plaques d'Oursins, incomplètes et à l'état de calcite.

Spongiaires. Rares bâtonnets glauconieux, cylindriques et incomplets.

Foraminifères. Ils manquent complètement dans certains échantillons et sont d'une grande rareté dans les autres. Ce sont des formes de grande taille à test arénacé.

3° **Ciment**. Deux cas sont à considérer : A. La roche est relativement pauvre en calcite ; B. La calcite en est l'élément fondamental.

A. Le ciment est alors composé de carbonate de chaux gris opaque, très finement grenu, donnant naissance à des plages homogènes assez étendues et qui, par places, manifeste la tendance à se décomposer en masses globuleuses. C'est le phénomène de

différenciation sur lequel j'ai déjà insisté pour d'autres points de la Touraine. La présence d'un ciment originel abondant est corrélative de l'existence de débris de Bryozoaires petits et rares. La calcite est un élément tout à fait accessoire ; elle résulte soit de la cristallisation des débris organiques soit du remplissage des vides.

B. De petits îlots gris arrondis ou non sont les rares vestiges du ciment originel. La calcite peut former à elle seule la moitié de la roche. Une grande partie de cette substance, peut-être la totalité, a été engendrée sur place par cristallisation des débris organiques et du ciment originel dont il reste bien peu de traces. On peut en donner maintes preuves par l'examen d'une seule préparation. Des restes organiques inclus dans une grande plage de calcite clivée présentent des contours rongés, un aspect gris, dépoli, et une structure finement grenue. Ils sont isolés de toutes parts, soit des minéraux, soit des Bryozoaires voisins, et la grande plage de calcite qui les emprisonne est d'une seule orientation. Ces éléments n'ont pu rester en équilibre à l'origine qu'à la condition qu'ils aient plusieurs points d'appui. Toute trace en a généralement disparu par dissolution et cristallisation du carbonate de chaux. On passe par de nombreuses transitions de ces débris inclus dans la calcite qui ont conservé une partie de leurs caractères organiques à des sortes de taches obscurcissant par places les grands éléments de calcite et qui sont les derniers vestiges d'organismes. Lorsque l'inclusion a conservé une partie de son individualité, les clivages de la calcite s'y arrêtent ; on les voit pénétrer peu à peu dans le test, puis le traverser, en même temps l'enclave devient plus claire et translucide. Finalement la calcite s'assimile complètement le débris organique.

C'est un des exemples qui mettent le mieux en lumière les transformations profondes que peut subir un sédiment calcaire en grande partie organogène dans les conditions ordinaires de température et de pression. Il est à rapprocher de celui qui a été signalé par M. J. Walther [1] en 1885, au sujet des dépôts calcaires à débris d'Algues du golfe de Naples qui ont été transformés en calcaires inorganiques.

En résumé, le dépôt a été pour lui-même une source de ciment. Il se peut que les eaux ayant traversé des terrains plus récents lui aient également fourni du carbonate de chaux. Par suite du grand développement de la calcite, la roche passe à un *calcaire quartzeux cristallin. Si l'oblitération des organismes était poussée un peu plus loin, le résultat serait un calcaire très cristallin, inorganique, qui aurait eu comme point de départ une boue à Bryozoaires.*

4° RÉSULTATS GÉNÉRAUX DE L'ÉTUDE DU TURONIEN DE LA VALLÉE DU CHER

Les trois termes de la série étudiée présentent de grandes différences.

1° **Minéraux.** Le résidu est presque nul dans la craie à *I. labiatus* ; il augmente

1. J. WALTHER. Die Gesteinbildenden Kalkalgen, etc., *Zeits. d. deuts. g. Ges.*, vol. 37, pp. 329-357 (1885).

considérablement pour le tuffeau, mais il est en majeure partie composé d'éléments secondaires ; il est d'environ un cinquième dans l'Angoumien.

A. *Minéraux détritiques.* Ils croissent en nombre et en diamètre au fur et à mesure que l'on s'élève dans la série. Le diamètre du quartz est de $0^{mm}07$ dans le Ligérien et de $0^{mm}2$ au sommet de l'Angoumien. Un grand nombre d'espèces minérales accompagnent le quartz surtout dans le Turonien supérieur.

B. *Minéraux secondaires. Glauconie.* Elle est d'autant plus abondante que le caractère littoral du sédiment est plus accusé. Elle est très rare dans la craie à *I. labiatus* où elle occupe l'intérieur de coquilles de Rhizopodes calcaires ; des sphérules du résidu montrent une croix noire très nette en lumière polarisée parallèle ; elle se développe beaucoup dans les tuffeaux où elle réalise presque toutes les manières d'être signalées dans les gaizes. On y trouve en dehors des grains ordinaires ou des pseudomorphoses de spicules, de la *glauconie clivée*, *pigmentaire* et *globulaire.* A partir de l'Angoumien, la glauconie devient un élément presque essentiel ; son existence est liée à celle des Bryozoaires.

Orthose. Elle n'existe comme élément secondaire que dans la craie à *I. labiatus.*

La silice, qui est la matière la plus intéressante de cette catégorie, sera étudiée avec le ciment.

2° **Organismes.** Comme pour les éléments de transport, on peut dire qu'il y a autant de manières d'être que de niveaux considérés.

Bryozoaires. Ils représentent l'élément fondamental du calcaire de Saint-Georges ; on en trouve quelques vestiges dans la craie à *I. labiatus.* Selon toutes vraisemblances, le carbonate de chaux du tuffeau ligérien a son origine première dans ces organismes.

Echinodermes. Ils ont laissé des débris dans le Ligérien inférieur (baguettes) et principalement dans l'Angoumien (plaques).

Alcyonaires. Je n'ai constaté leur présence que dans le Turonien inférieur.

Spongiaires. Il existe des formes robustes de *Tetractinellidæ* et surtout de *Lithistidæ* dans la craie à *I. labiatus.* Les spicules se multiplient beaucoup dans le tuffeau et forment au maximum le dixième de la roche. On y retrouve des représentants des mêmes ordres avec grande prédominance de spicules monoaxes. Les débris de Spongiaires disparaissent presque complètement dans l'assise supérieure.

Foraminifères. L'assise à *I. labiatus* joint à ses caractères pétrographiques si spéciaux pour la région une faune de Rhizopodes très particulière, composée de coquilles de petite taille et pourvue d'un test relativement mince. La très grande majorité des Foraminifères sont monoloculaires *(Fissurina* et *Orbulina).* Ce caractère lui est commun avec la craie proprement dite du même niveau considérée dans tous les points du Bassin parisien ; il la sépare nettement des autres assises turoniennes de la vallée du Cher. A cette différence s'en ajoute une autre non moins tranchée : la craie à *I. labiatus* est en moyenne assez

riche en Foraminifères ; les niveaux qui le surmontent en sont très pauvres. Dans le tuffeau, ce groupe est représenté par quelques formes monoloculaires *(Orbulina)* et par quelques *Textularidæ* de grande taille à test arénacé. On ne trouve que de très rares individus à test arénacé dans le calcaire angoumien.

D'une façon générale, *la taille et l'épaisseur des coquilles de Foraminifères augmentent avec l'importance des minéraux clastiques.*

Diatomées. Je ne les cite que pour mémoire dans la craie à *I. labiatus.*

Au point de vue organique, *la craie à I. labiatus est caractérisée par ses Foraminifères, le tuffeau par ses débris de Spongiaires et le calcaire angoumien par ses Bryozoaires.*

3° **Ciment.** Il est calcaire ou siliceux.

A. A la base de l'assise à *I. labiatus*, il est calcaréo-argileux. Il devient exclusivement calcaire dans la craie proprement dite ; il est alors formé de rhomboèdres de calcite associés à de rares *Coccolithes.*

Le ciment joue un rôle très prédominant dans le tuffeau. On peut d'ailleurs considérer ce dépôt comme résultant en majeure partie d'un développement exagéré des parties les plus fines — ciment originel — associées à de volumineux restes de Bryozoaires en d'autres points du S.-O. du Bassin. La calcite y est répandue un peu partout. Le ciment calcaire est très abondant dans le calcaire angoumien ; il est, selon les cas, en grande partie primordial ou presque uniquement secondaire. La calcite est parfois si largement cristallisée que la roche est transformée en calcaire cristallin.

B. La silice apparaît dans les tuffeaux calcaires sous la forme de globules d'opale libres ou disposés en chapelets qui forment la plus grande partie du résidu insoluble de ces roches. Le ciment exclusivement siliceux est spécial aux parties cherteuses du tuffeau. Il remplace complètement le carbonate de chaux à l'état d'opale indifférenciée, de silice globulaire ou de calcédoine.

Nodules siliceux. Le Turonien de la vallée du Cher est particulièrement intéressant par les accidents siliceux qu'ils présentent. Je me borne à signaler les *silex composés* de la craie à *I. labiatus*, formés en deux temps bien distincts, et les cherts du tuffeau. *La considération des silex composés, de la silice disséminée dans le tuffeau ou concentrée en cherts conduit à la notion de formation parfois très tardive de nodules siliceux — certainement postérieure à l'émersion du Crétacé pour le tuffeau — ou de silicification d'un calcaire sans intervention de matière organique.* La plus grande partie de la silice du tuffeau est d'origine extrinsèque.

Résumé et Conclusions. De l'étude du Crétacé de la vallée du Cher, il résulte que le fond de la mer a été soumis en cette région à un mouvement d'exhaussement progressif et continu depuis la craie à *I. labiatus* jusqu'au sommet de l'Angoumien. Tous les éléments minéraux et organiques concourent à le démontrer. Le Turonien a débuté par une véritable craie, faisant suite à une craie glauconieuse cénomanienne très riche en

minéraux de transport. Il a pris fin avec un dépôt essentiellement littoral dont les particules constituantes ont conservé l'empreinte d'actions mécaniques intenses, et d'où les microorganismes ont été presque complètement exclus.

Des trois activités qui ont concouru à la formation des dépôts turoniens de la vallée du Cher la part qui revient à *l'activité mécanique*, insignifiante au commencement de l'époque turonienne, a tenu une place de plus en plus grande dans l'histoire des sédiments; elle a parfois été prépondérante dans l'Angoumien (niveaux sableux). C'est à la base et au sommet de l'étage que *l'activité physiologique* s'est exercée sur la plus grande échelle. *L'activité chimique* s'est manifestée à tous les niveaux avec une grande intensité (genèse de la calcite, de la silice, de la glauconie, etc.).

III. VALLÉE DU LOIR

J'ai soumis à l'étude micrographique des échantillons représentant les étages turonien et sénonien complets. Quelques-uns sont originaires de Château-du-Loir (Sarthe); ils appartiennent à l'assise à *I. labiatus*; la plupart ont été recueillis à Saint-Paterne et dans les environs. Toutes les tranchées ouvertes depuis la gare de Saint-Paterne jusqu'à Torchay entament l'assise à *Terebratella Bourgeoisi* de Guillier, qui correspond au sommet du Ligérien et à l'Angoumien réunis. J'ai prélevé des échantillons à trois niveaux différents de cette assise : 1° Tuffeau de la première tranchée près de la gare ; 2° tuffeau à pinces de *Callianassa Archiaci* de la deuxième tranchée ; 3° « Craie », sableuse à la base de la tranchée de Torchay. Voici, d'après Guillier [1], la coupe de cette dernière, de haut en bas :

SÉNONIEN	Craie sableuse à nombreux silex tuberculeux avec Bryozoaires	1m
	2 bancs de craie dure noduleuse séparés par de la craie sableuse, le tout très fossilifère avec *Spondylus truncatus*	2m
	Craie sableuse avec banc de silex tuberculeux et Bryozoaires.	4m
	Banc de silex tuberculeux bien stratifié	0m50
	Craie sableuse à Bryozoaires avec silex	0m80
	Banc de nodules glauconieux à *Rh. vespertilio*	0m30
	Craie noduleuse à *Rh. vespertilio, M. turonensis, Ostrea auricularis*	1m50
	Banc de craie dure saccharoïde à nombreuses *Ostrea auricularis*	1m80
TURONIEN	Craie à *Terebratella Bourgeoisi*	?

D'après M. de Grossouvre [2] la craie à *T. Bourgeoisi* est de l'Angoumien, les couches à *O. auricularis*, *Rh. vespertilio* et *M. turonensis* forment le Coniacien ; le Santonien comprend les « craies » sableuses à Bryozoaires.

J'ai arrêté à Vendôme l'étude du Crétacé de la vallée du Loir.

1. GUILLIER. Géol. du dép. de la Sarthe, p. 285 (1886).
2. DE GROSSOUVRE. Op. cit., p. 506 (1889).

1° CRAIE A *Inoceramus labiatus* DE CHATEAU-DU-LOIR

Craie blanc grisâtre, compacte, dure, subcristalline, à cassure grenue. Sa porosité et sa capacité d'absorption de l'eau sont très faibles. La cassure mouillée met en évidence un grand nombre de menues baguettes.

Composition chimique. Un échantillon analysé par M. Vaillant a donné :

Carbonate de chaux	79,92
Silice insoluble	14,15
Silice soluble	0,25
Non dosé (fer, alumine, etc.)	5,68
Total. . . .	100,00

1° **Minéraux.** *M. détritiques.* Le résidu insoluble de cette craie est abondant, mais il ne comporte qu'un nombre très restreint d'éléments clastiques. Le quartz est très clairsemé ; on n'en observe que trois ou quatre grains par section mince. Diamètre moyen, $0^{mm}07$-8. L'argile est en très faible proportion.

Minéraux secondaires. Glauconie occupant quelques chambres de Foraminifères ; elle remplit le canal élargi des spicules ou se présente dans le résidu en globules indépendants de tout organisme. Cette substance est presque aussi rare que le quartz.

Opale. Elle tient une grande place dans le résidu insoluble. Je l'étudierai en même temps que le ciment.

Orthose. Très rare.

2° **Organismes.** Les organismes réunis représentent une fraction de la roche toujours supérieure à la moitié.

Mollusques. Volumineux débris de test de Lamellibranches ; les prismes d'Inocérames manquent.

Bryozoaires. Très rares fragments de colonies.

Spongiaires. Les débris de Spongiaires dont j'ai à m'occuper ici dépassent en élégance et en diversité tous ceux que j'ai étudiés dans le cours de ce travail. Leur nombre est incalculable. Si on soumet un échantillon de cette craie à l'action prolongée de l'acide chlorhydrique étendu, et si on le retire du bain acidulé avant sa complète destruction, on remarque que la surface est comme hérissée d'une infinité de petits piquants très longs et très déliés que la loupe résout en spicules d'Eponges. Le résidu de la dissolution de la roche est variable suivant les échantillons ; mais il est toujours abondant. C'est une bouillie siliceuse en grande partie formée de dépouilles de ces organismes. L'analyse donnée plus haut indique une proportion de 14,15 % de silice insoluble dans l'acide chlorhydrique ; elle est en grande partie à rapporter aux débris de Spongiaires. Cette

proportion serait certainement plus élevée pour certains spécimens qui n'ont pas été analysés, mais qui ont été étudiés au microscope.

On est averti par les sections minces de l'étonnante richesse en spicules de la craie à *I. labiatus*. J'ai fixé à *un cinquième* environ la fraction de la craie qu'ils représentent. L'examen de ces coupes démontre que le résidu insoluble est loin de comprendre toutes les formes qui ont pris part à la formation de la boue crayeuse originelle. Il en est qui ont été calcifiées. On reconnaît dans les préparations des réseaux entiers d'*Hexactinellidæ*, occupés par le carbonate de chaux. A en juger par l'étude d'un nombre assez limité de sections minces, les spicules calcifiés l'emportent sur les débris siliceux.

L'état de conservation des spicules siliceux est assez varié. En général, ils sont presque aussi frais que ceux d'une éponge qu'on vient de draguer. Château-du-Loir mérite de figurer parmi les quelques localités que l'on considère comme les plus privilégiées, dans le monde entier, pour la conservation des squelettes de Spongiaires. La silice qui les forme est toujours monoréfringente. Elle est parfaitement visible dans le baume de Canada. Quelques individus ont conservé la silice transparente et limpide qui caractérise les spicules des Eponges actuelles.

Le plus souvent, on aperçoit dans les sections des figures en forme de croissant et de couronne comme celles que j'ai reconnues dans les spicules des gaizes. L'apparition de ces dessins est consécutive d'un commencement de transformation de l'opale homogène qui constitue tous les spicules à l'origine.

Le canal a quelquefois conservé son diamètre primitif, c'est-à-dire qu'il est réduit à un simple trait axial. Règle générale, il est élargi et occupé par de l'opale dont l'indice de réfraction est différent de celui de la silice du spicule. Plus rarement, on y trouve de la calcite ou de la glauconie. Beaucoup de ces restes de Spongiaires ont conservé l'intégrité de leurs formes, mais *un très grand nombre sont brisés*. Il est remarquable de constater la trace d'actions mécaniques aussi incontestables dans une craie qui ne fournit qu'une quantité négligeable de matériaux clastiques, dont les éléments n'ont même pas 1/10 de mm. de diamètre.

Je regrette de ne pouvoir reproduire ici le dessin des principales formes isolées : leur nombre est tel que j'ai pris le parti de leur consacrer un mémoire spécial. Pour donner une idée de la fréquence des spicules en même temps que de l'étonnante variété de leurs caractères morphologiques, je ne puis faire mieux que de signaler la particularité suivante : Si l'on trempe l'extrémité d'un petit pinceau dans le résidu de l'attaque de la craie par l'acide chlorhydrique étendu, et si on la met ensuite en contact avec une lame de verre, le pinceau abandonne une centaine et plus de toutes ces formes, presque toutes différentes les unes des autres. Répète-t-on l'opération plusieurs fois, le pinceau ramène toujours des formes nouvelles. Ce qui ajoute encore au grand intérêt que

présentent ces vestiges de Spongiaires, c'est qu'ils dépassent en élégance ceux que j'ai observés dans les autres assises.

Tous les ordres d'Eponges siliceuses prennent part à la composition de la faune et tous y comptent beaucoup de représentants.

A. *Spicules monoaxes :*

a. cylindriques, droits ou arqués, quelquefois vermiformes ;
b. en forme d'épingle ;
c. fusiformes, droits ou courbes, à extrémités pointues ou émoussées. Les spicules de cette catégorie sont très répandus et de toutes dimensions.

Beaucoup de ces corps rentrent dans l'ordre des *Tetractinellidæ*, mais il en est aussi de nombreux qui appartiennent aux *Monactinellidæ*. J'ai reconnu *Reniera*, *Monilites* et *Axinella ?*

B. *Tetractinellidæ*. Les formes qui se réfèrent à cet ordre pullulent dans le résidu. Parmi les plus répandues, on trouve des spicules :

a. réguliers, dont les rayons sont disposés suivant les axes de symétrie d'une pyramide triangulaire à arêtes égales ;
b. en ancre à trois pointes ;
c. en ancre d'affourche.

Les représentants de ces trois catégories sont très nombreux et de formes très diverses surtout pour les derniers. Le genre *Geodia* est d'une fréquence remarquable. *Pachastrella* est également très abondant.

C. *Lithistidæ*. L'existence de deux familles est certaine; celle d'une troisième est un peu douteuse :

a. *Rhizomorina*. Spicules branchus irréguliers, couverts d'expansions radiciformes plus ou moins compliquées et de protubérances noueuses. On peut y distinguer plusieurs formes génériques différentes. Les représentants de ce groupe sont incomparablement moins nombreux que ceux de *Monactinellidæ* et surtout de *Tetractinellidæ*.

b. *Megamorina*. L'existence de cette famille n'est pas absolument certaine.

c. *Tetracladina*. Un nombre considérable de corps siliceux leur appartiennent. J'ai reconnu quantité de spicules de surface dont je n'essayerai pas d'énumérer les formes, tant la diversité en est grande.

D. *Hexactinellidæ*. Leurs spicules paraissent extrêmement rares dans le résidu, autant que je puis en juger par l'examen sommaire que j'en ai fait. Il me paraît hors de doute que celle de mes sections minces qui en montre plusieurs débris, et notamment des réseaux entiers, a rencontré un point de la roche où ils étaient exceptionnellement nombreux. Il faut admettre que le résidu donne une idée plus exacte de la composition moyenne de la faune et, partant, que les *Hexactinellidæ* n'ont joué qu'un rôle secondaire

à ce niveau. Les spicules hexaradiés que j'ai reconnus en section mince sont des *Dictyonina*.

En résumé, la faune de Spongiaires de la craie à *I. labiatus* de Château-du-Loir se signale par la coexistence de tous les ordres d'Éponges siliceuses avec grande prédominance des *Monactinellidæ*, surtout des *Tetractinellidæ* et des *Lithistidæ* de la famille des *Tetracladina*.

Foraminifères. Le grand développement des restes de Spongiaires à ce niveau restreint beaucoup la place réservée aux Rhizopodes calcaires. On retrouve parmi ceux-ci les Foraminifères monoloculaires signalés dans la vallée du Cher, mais ils sont beaucoup moins nombreux. On observe par ordre de fréquence : *Fissurina*, *Orbulina*, *Textularia*, *Rotalia* et *Globigerina*.

3° **Ciment.** Il est presque entièrement d'origine organique et formé de calcite en petits cristaux plus ou moins parfaits. Les *Coccolithes* ne jouent qu'un rôle accessoire. La présence de la calcite en éléments séparés est insuffisante pour expliquer l'exceptionnelle cohérence de la roche. L'étude du résidu insoluble fournit la clef du problème. La bouillie siliceuse qui reste après la dissolution des parties calcaires renferme une forte proportion de silice à l'état globulaire. Les perles siliceuses sont isolées ou groupées en masses d'aspect framboisé. On ne les reconnaît dans les sections minces qu'à la condition d'être averti de leur présence. Ils fournissent à la craie une sorte de trame souvent discontinue, mais ils lui assurent une cohérence bien supérieure à celle de la craie blanche ordinaire. *Certains échantillons laissent après l'attaque par l'acide chlorhydrique étendu un squelette siliceux qui reproduit leur forme.* Il est composé de spicules reliés par de la silice monoréfringente et globulaire.

Origine de la silice. L'origine de la silice du ciment doit être cherchée dans les débris de Spongiaires inclus dans la roche. J'ai noté plus haut que malgré leur remarquable conservation les spicules étaient loin d'avoir tous gardé leur intégrité. La calcification de nombreuses formes, l'élargissement du canal de beaucoup d'autres ont mis en liberté une forte proportion de silice. Cette substance s'est disséminée partout dans la roche pour en augmenter la consolidation. On peut dire que *les solutions siliceuses se sont débarrassées de leur silice dans la roche même où elles s'en étaient chargées.* Un dépôt aussi riche en spicules semblait plus que tout autre prédestiné à donner une craie à silex. Il est impossible de dire, dans l'état actuel de nos connaissances, pourquoi deux craies identiques de composition à l'origine, aboutissent par métamorphose subséquente soit à une *craie à silex*, soit à une *craie siliceuse*.

Résumé. La craie à *I. labiatus* de Château-du-Loir est caractérisée par : *a.* la rareté des matériaux détritiques dans le résidu ; *b.* le grand développement des restes de Spongiaires qui sont pour la plupart d'excellente conservation ; *c.* la présence de Foraminifères monoloculaires ; *d.* l'existence d'un ciment en majeure partie formé de petits éléments

de carbonate de chaux cristallin ; *e.* d'une trame, voire même d'une sorte de charpente siliceuse continue qui explique la cohérence exceptionnelle du dépôt.

2° « Tuffeau » de Saint-Paterne

A. Tuffeau de la gare de Saint-Paterne

Calcaire gris, tendre, semi-grossier et homogène. Il montre à l'œil nu de nombreuses paillettes micacées et une infinité de vides. Il diffère du tuffeau de Bourré et de Montrichard par un grain plus gros et une plus faible cohérence.

1° **Minéraux**. Ils prennent part à la constitution du calcaire pour 1/10 environ. Un échantillon en a fourni 10,5 %.

A. *Minéraux détritiques. Quartz* assez fréquent dans les sections minces. Diam. moyen, $0^{mm}2$. Les autres espèces minérales sont :

Mica blanc. Il en existe plusieurs lamelles dans chaque préparation.
Magnétite. Abondante en grains de forme irrégulière. Très rare en octaèdres.

Zircon. Le tuffeau de Saint-Paterne est, au point de vue du zircon, une des roches les plus intéressantes que j'aie étudiées. On y trouve un très grand nombre de formes très pures, à arêtes tranchantes, qui dépassent en beauté et en fraîcheur tous les cristaux des collections. Elles sont aussi variées que nombreuses.

Chez la grande majorité des cristaux, le prisme est très prédominant et les faces de pyramide apparaissent d'une manière subordonnée. Les individus 17, 20, 21, 24, 26, 28, 29, 38, 46, 50 de la planche X sont tirés de ce niveau. On peut considérer comme caractéristiques les formes 20, 21, 26 et 28.

Fig. 17. Cristal formé de m (110) h^1 (100) et d'un pointement aigu indéterminé. Diam. 0,09-0,04.

Fig. 20. Cristal très limpide formé de m (110), h^1 (100) b^1 (?) (112). Inclusions nombreuses : un long filament vitreux ; un gros microlithe de substance vitreuse noire, allongé parallèlement aux arêtes du prisme ; un microlithe jaune oblique, une grosse inclusion liquide arrondie. Diam. 0,12-0,03. Cette forme très répandue est assez voisine de celle trouvée par M. de Chrustschoff dans le granit de Striegau (voir fig. 5 de la Pl. VIII du mémoire de M. de Chrustschoff).

Fig. 21. Cristal très limpide, très riche en inclusions : un gros microlithe hyalin axial ; inclusions liquides et gazeuses ; forme très répandue. Diam. 0,13-0,02.

Fig. 24. Cristal formé de m (110) h^1 (100) b^1 (?) (112), criblé d'aiguilles incolores gisant en tous sens ; ces microlithes ont des terminaisons arrondies ; l'un d'eux a ses extrémités tronquées ; quelques petites inclusions gazeuses. Structure zonale aux deux extrémités. Rare. Dim. 0,19 0,05.

Fig. 26. Cristal très remarquable par sa structure zonaire très accusée, donnant des zones très nombreuses parallèles aux pointements assez effilés. La figure montre qu'elles n'imitent pas exactement la forme du cristal enveloppant. Inclusions solides au centre. Très caractéristique et très répandu. Diam. 0,09-0,03.

Fig. 28. Cristal ayant même forme que le précédent avec zones mieux marquées ; grosse inclusion centrale solide ; très caractéristique. Dim. 0,09-0,03.

Fig. 29. Cristal à peine translucide remarquable par l'inégal développement des faces terminales. Il imite la forme du zircon du granit de Striegau sans en avoir les autres caractères. Une inclusion gazeuse et deux pores liquides. Rare. Dim. 0,13-0,03.

Fig. 38. Cristal formé de *m* (110) h^1 (100) ; pointements indéterminés. Inclusions : deux microlithes et pores gazeux ; très rare.

Fig. 46. Cristal formé de *m* (110) h^1 (100) b^1 (112) très limpide et dépourvu d'inclusions. Fréquent. Dim. 0,13-0,06.

Fig. 50. Forme indéterminée, grosse inclusion vitreuse, une inclusion liquide, microlithes. Diam. 0,09-0,08. Elle est très voisine d'un cristal du « granitporphyr » d'Altenbach, figuré par M. de Chrustschoff [1].

A ces formes, je dois ajouter des cristaux comme celui de la figure 11 composés de *m* (110) b^1 (112) mais avec prisme beaucoup plus allongé. Il rappelle beaucoup plus le cristal de la figure 5 (planche VIII de M. de Chrustschoff) que tous ceux que je lui ai comparés.

En résumé, les formes simples et très allongées avec nombreuses interpositions gazeuses, liquides et solides sont très prédominantes. A côté de ces cristaux, il convient de signaler des zircons incomplets et cassés. Beaucoup d'individus brisés sont très bien conservés et la surface de cassure est fraîche. Le plus grand nombre ont été ultérieurement roulés. Il faut y ajouter un grand nombre de grains, chez lesquels il est impossible de retrouver le moindre contour cristallin. Ces derniers sont les plus nombreux.

Si l'on compare les formes figurées et d'autres qui ne le sont pas avec les cristaux de la planche du mémoire de M. Chrustschoff, on est conduit à admettre comme pour le Crétacé du Nord (p. 258), la notion de pluralité d'origine des éléments clastiques.

Tourmaline. Elle est moins fréquente que le zircon. La variété brune est presque exclusive. On la rencontre sous la forme de cristaux très courts ou présentant un allongement marqué. La limpidité en est souvent parfaite et les inclusions rares ou absentes. Tels sont les éléments 82 (0,13-0,05), 83 (0,06-0,06) et 84 de la planche X qui sont tirés du tuffeau de St-Paterne. Beaucoup de cristaux sont cassés et non roulés. Les plus volumineux sont privés de forme cristalline.

Feldspaths orthose, microcline et plagioclases assez fréquents en débris plus ou moins altérés.

Staurotide. Beaucoup plus clairsemée que la tourmaline ; elle est toujours fragmentaire et représentée par des éléments anguleux.

Rutile. Variété brun foncé en cristaux généralement incomplets et arrondis ; quelques cristaux de rutile jaune pale avec arêtes vives.

Disthène peu répandu sous la forme de cristaux tels que ceux des figures 79, 80 et 81 (Pl. X) qui ne sont pas de ce niveau.

Corindon. Fragments anguleux.

Anatase, brookite, amphibole verte, chlorite très rares.

B. *Minéraux secondaires. Glauconie*. Elle est aussi répandue que le quartz et se présente en grains arrondis indépendants des organismes. On la trouve un peu moins fréquente, épigénisant le test des Bryozoaires ; quelques éléments reproduisent exactement la forme d'une portion de ces organismes.

2° **Organismes**. *Bryozoaires*. Le nombre des particules de chaque préparation ayant conservé la physionomie caractéristique des restes de ce groupe est excessivement limité.

Spongiaires. On ne peut les étudier que dans le résidu insoluble. Les spicules sont clairsemés et de forme peu variée. Sauf quelques individus, ils sont tous monoaxes. Ce sont des bâtonnets le plus souvent dépourvus de leurs terminaisons naturelles, droits, cylindriques ou fusiformes. Quelques-uns sont arqués. Selon toutes probabilités, il faut en rapporter le plus grand nombre aux *Tetractinellidæ*. Toutes ces formes sont glauconieuses. Je considère également comme restes d'Éponges quelques bâtonnets cylindriques calcifiés.

---

1. K.v. CHRUSTSCHOFF. Beitrag zur Kennt. etc., *Min. u. Petrog. Mitth.* Neue Folge, vol 7, p. 431 (1886).

Foraminifères. Ils sont ici relativement très fréquents. La plupart sont des *Textularidæ* de grande taille à test arénacé.

3° **Ciment.** La part qui revient au ciment originel est difficile à fixer. Il semble qu'on doive lui rapporter de petites plages calcaires grises, d'aspect dépoli et un grand nombre de corps globuleux que je considère comme des produits de différenciation du ciment. J'en ai mentionné la présence en plusieurs points du S.-O. du Bassin parisien. La faible cohérence de la roche est due à la rareté de la calcite secondaire qui ne comble qu'une partie des nombreux vides que laissaient entre elles les particules minérales et organiques. Ce carbonate de chaux de seconde formation affecte plusieurs manières d'être : A. Il remplit une lacune, en épouse les contours et possède une orientation quelconque. B. La calcite enveloppe de toutes parts un débris organique et lui emprunte son orientation optique : tous deux s'éteignent en même temps. Il n'est pas rare que dans ce cas l'*organisme soit inclus dans un gros rhomboèdre de calcite de forme parfaite.* C. Lorsque la calcite ne comble que partiellement une lacune, elle s'applique d'un côté sur un débris organique et s'avance à l'intérieur du vide par un pointement rhomboédrique. Le carbonate de chaux secondaire tient une grande place dans la constitution du ciment du tuffeau de Saint-Paterne.

B. Tuffeau à pinces de *Callianassa*

J'ai prélevé les échantillons étudiés dans la tranchée qui fait suite à celle de la station de Saint-Paterne, dans la direction de Torchay. Ils ont été recueillis au niveau où l'on a signalé des pinces de *Callianassa.* Le tuffeau s'y présente avec tous les caractères du précédent sauf qu'il est plus micacé et très légèrement verdâtre. Il contient des parties noduleuses qui font saillie à la façon des silex sur la surface de la roche exposée aux intempéries.

1° **Tuffeau proprement dit.** Il ne diffère de celui de la gare que par l'existence d'un nombre d'éléments clastiques beaucoup plus grand; les grains de quartz forment une importante fraction de la roche. Les plus volumineux dont le diamètre est de 1/2^{mm} sont arrondis ; le diamètre moyen est 0^{mm}18. Plusieurs fragments de *Bryozoaires* ont été manifestement roulés. Les *Foraminifères* y sont en progrès et relativement nombreux. On peut considérer comme certaine l'existence d'un ciment primordial très fin dont il ne reste que de très petites plages homogènes. Les corps globuleux formés des mêmes éléments que le ciment originel sont abondants.

2° **Nodules. Genèse de grains de quartz** *in situ.* Les nodules sont mamelonnés comme les silex ; leurs contours sont parfaitement arrêtés. Ils sont de couleur grise et paraissent formés de calcaire compact.

Au microscope, ils se résolvent en débris organiques très altérés, parmi lesquels on reconnaît des *Bryozoaires* et des *Foraminifères* plongés dans une sorte de ciment très

prédominant, formé d'une infinité de cristaux de calcite plus ou moins bien formés. Cette calcite dérive pour une grande partie au moins des organismes qu'elle enveloppe.

Ce qui donne à ces nodules un intérêt tout particulier, c'est *la présence de grains de quartz formés in situ.* Cette opinion est fondée sur plusieurs observations :

A. La forme des éléments du quartz en question diffère complètement de celle du quartz clastique de toutes les roches de la région : Elle est très irrégulière, découpée et comme festonnée. La calcite y pénètre parfois par des golfes très profonds.

B. Ils renferment des inclusions de calcite.

C. En s'aidant de forts grossissements, on peut s'assurer que la silice est répandue non-seulement sous la forme de grains de quartz mais qu'elle a commencé à épigéniser de petites plages où la calcite est encore l'élément dominant. *Toute la silice de l'une de ces plages*, dont la dimension est par exemple celle d'un grain de quartz irrégulier mentionné ci-dessus, *est à l'état de quartz ; elle présente une seule et même orientation optique. L'élément inachevé, en tant que forme, dont la continuité est interrompue par de nombreux vestiges du carbonate de chaux qui en occupait primitivement toute la place, est déjà une individualité cristalline.* La plage siliceuse n'est donc qu'un grain de quartz en voie de formation, dans lequel il reste encore beaucoup de calcite à remplacer : c'est le grain de quartz secondaire considéré à l'un des premiers stades de son développement.

S'il était impossible de surprendre le quartz dans toutes les phases successives de sa genèse et si ses éléments étaient moins irréguliers de contour, on serait nécessairement amené à les considérer comme clastiques.

La genèse de quartz secondaire s'est faite ici comme à Langeais (p. 336), dans les conditions ordinaires de température et de pression. La silice dont il est formé est d'origine extrinsèque.

C. Tuffeau de la base de la tranchée de Torchay

La roche qui constitue la base de la tranchée de Torchay et que Guillier désigne sous le nom de « craie à *T. Bourgeoisi* » est grise, grossière, friable et sableuse. Une simple pression des doigts suffit pour en dissocier les éléments. Elle est très poreuse et happe très fortement à la langue. Elle représente le sommet de l'Angoumien.

1° **Minéraux.** Le résidu de minéraux représente environ 1/7 du dépôt. J'ai trouvé exactement 14,2 °/₀ dans l'échantillon soumis à l'analyse microscopique.

A. *Minéraux détritiques. Quartz*, grains anguleux mesurant en moyenne $0^{mm}15$.

Magnétite. Très abondante.

Tourmaline. Presque toujours incomplète, brisée et roulée. La très grande majorité des grains ont perdu tout contour cristallin. La variété brune à gros cristaux prédomine. Quelques individus sont roses ou verts.

Disthène. Très répandu et presque aussi fréquent que la tourmaline.

Staurotide. Nombreux fragments très anguleux.

Zircon. Grains arrondis. Les formes cristallines intactes sont tout à fait exceptionnelles. Cristaux cassés.

Amphibole, *Anatase*, *Brookite*, etc.

Ce qui caractérise tous ces minéraux, c'est leur état éminemment fragmentaire et la grande rareté des cristaux incomplets. Il y a de ce fait l'indication d'une sédimentation beaucoup plus agitée qu'à la base du tuffeau.

B. *Minéraux secondaires*. La glauconie est un minéral très répandu en grains arrondis et à l'état d'épigénie partielle et irrégulière des débris d'organismes. On ne l'observe jamais à l'intérieur des Foraminifères.

2° **Organismes**. L'examen des sections montre que la roche est partiellement formée de débris de Bryozoaires, de Spongiaires et de coquilles de Foraminifères. Cette composition organique est celle des autres niveaux. Les restes de Bryozoaires sont nombreux. Les Spongiaires ne sont représentés que par quelques spicules monoaxes calcifiés ; le résidu insoluble n'en montre aucun vestige glauconieux. La plupart des Foraminifères, un peu moins fréquents que dans les tuffeaux précédemment étudiés sont principalement des *Textularidæ* à test arénacé. De même que les tuffeaux des niveaux A et B, ils comportent un nombre notable de formes non arénacées, mais pourvues d'une coquille dépolie et d'aspect gris sale.

3° **Ciment**. Il existe beaucoup d'éléments de carbonate de chaux sphériques, ovoïdes ou cylindriques que je considère comme des produits de métamorphose du ciment originel. Les minéraux, les organismes et ces corps à forme oolithique sont simplement en contact et laissent entre eux de grands vides, dont quelques-uns sont comblés par de la calcite secondaire. Il ne reste rien de la fine boue calcaire engendrée par la destruction des organismes et qui constitue le ciment originel.

Conclusions de l'étude du tuffeau. Si l'on compare entre eux les résultats de l'étude des différents échantillons du tuffeau, on remarque :

1° Que le volume et la proportion des éléments clastiques atteignent leur maximum dans le tuffeau à pinces de *Callianassa* ; 2° Qu'il existe une grande uniformité de composition organique dans toute l'épaisseur de la formation ; 3° Que les Foraminifères y sont beaucoup plus répandus que dans les tuffeaux du même niveau étudiés en d'autres points du S.-O. du Bassin.

La genèse de quartz secondaire dans la partie moyenne de cette formation est le fait le plus important mis en relief par l'analyse microscopique.

3° CALCAIRE SACCHAROÏDE A *Ostrea auricularis*

La base du Sénonien de la tranchée de Torchay est un calcaire saccharoïde qu'on ne peut étudier qu'en coupe mince. C'est une roche grise, très dure, peu homogène. Dans

leur plus grande étendue, les préparations de ce calcaire se présentent comme celles des dépôts à Bryozoaires. Par places, la composition minérale et organique change brusquement. Il en résulte des îlots tellement différents de l'ensemble du dépôt qu'ils font songer à première vue à de véritables enclaves.

1° **Minéraux.** Les minéraux (quartz et glauconie) y sont très inégalement répartis ; des espaces de grande étendue en sont complètement privés ; il en est de très petits où ils sont réunis en nombre très notable. Le quartz est en grains anguleux beaucoup plus rares qu'au sommet du Turonien. La glauconie est indépendante des organismes. Elle est abondante sous la forme de petits globules irréguliers libres ou coalescents, de volume très variable et souvent groupés en grand nombre au sein d'un morceau de coquille.

2° **Organismes.** Une fraction très importante des organismes est à rapporter aux Lamellibranches et Gastéropodes. On y observe de volumineux fragments de test, des débris roulés et arrondis beaucoup plus petits. De nombreux Bryozoaires très fragmentaires leur sont associés ; quelques-uns sont manifestement roulés. Le groupe des Echinodermes comprend de grandes plaques d'Oursins transformées en calcite. La plupart des restes de ces divers organismes ont leur carbonate de chaux à l'état de calcite très largement cristallisée.

Les *Foraminifères* ne s'observent que dans les points où sont réunis les minéraux (quartz et glauconie) à l'exclusion presque complète des grands débris d'organismes. Ce sont des formes de la craie proprement dite, caractérisées par des coquilles de petite taille à test relativement mince. J'ai reconnu plusieurs *Orbulina*. Les grands Rhizopodes arénacés font absolument défaut dans ces plages de composition organique et minérale très différente de celle de l'ensemble de la roche.

3° **Ciment.** Tous les éléments de forme discernable tant à l'œil nu qu'à de faibles grossissements sont reliés par un ciment à éléments très fins formés de fragments de coquilles (Mollusques et Bryozoaires). Il n'y a de secondaire dans le ciment qu'un peu de calcite qui enveloppe les volumineux restes organiques en quelques points de la roche.

Les îlots à forme régulière qui troublent l'homogénéité du dépôt correspondent aux plages à Foraminifères ; les morceaux de Bryozoaires y forment minorité ; les prismes isolés de coquilles de Mollusques s'y rencontrent avec quelque fréquence, les Foraminifères y sont relativement nombreux ; la glauconie s'y développe en grains homogènes indépendants des Bryozoaires. Bref, *ces plages revêtent l'aspect d'une craie glauconieuse comme il en existe au sommet du Turonien du Nord, tandis que la roche ambiante se présente au point de vue des organismes et du ciment comme les dépôts à Bryozoaires à ciment indifférencié.*

On ne peut faire que des hypothèses pour rendre compte de cette différence radicale ; dans l'état actuel de nos connaissances, il n'en est aucune qui en donne une explication satisfaisante.

4° « Craie » glauconieuse a *Rhynchonella vespertilio*

J'ai soumis à l'étude micrographique le niveau noduleux à *Rh. vespertilio* ; c'est un calcaire gris pâle, très dur, parsemé de taches glauconieuses très inégalement réparties.

1° **Minéraux.** Leur importance a beaucoup diminué. Un échantillon a fourni 5,77 % d'insoluble dans laquelle est comprise la glauconie des nombreux restes de Bryozoaires.

A. *Minéraux détritiques. Quartz* en grains anguleux, rarement arrondis, mesurant en moyenne $0^{mm}1$. Parmi les différentes espèces minérales qui accompagnent le quartz, la staurotide et le disthène méritent d'être plus particulièrement mentionnés, en raison de leur fréquence relative.

B. *Minéraux secondaires.* La *glauconie* est très répandue à ce niveau. Elle pseudomorphose les spicules d'Eponges, remplit les cellules de Bryozoaires et incruste très fréquemment le squelette de ces organismes. En aucun cas, elle n'est en relation avec les Foraminifères.

2° **Organismes.** *Bryozoaires.* Presque toute la roche en est formée. Il est exceptionnel de rencontrer des individus complets dans les sections ; règle générale, ils sont morcelés ; leurs fragments sont de toutes dimensions ; quelques-uns paraissent roulés. On reconnaît des portions de colonies parfaitement conservées qui appartiennent les unes aux *Cyclostomata*, les autres aux *Cheilostomata*. Il existe des cellules isolées et une infinité de menus débris qui forment le fond de la roche. On passe graduellement des petits éléments dont la forme et la structure permettent de les attribuer en toute certitude aux Bryozoaires à d'autres plus exigus qu'on est amené, par continuité, à rattacher aux mêmes organismes.

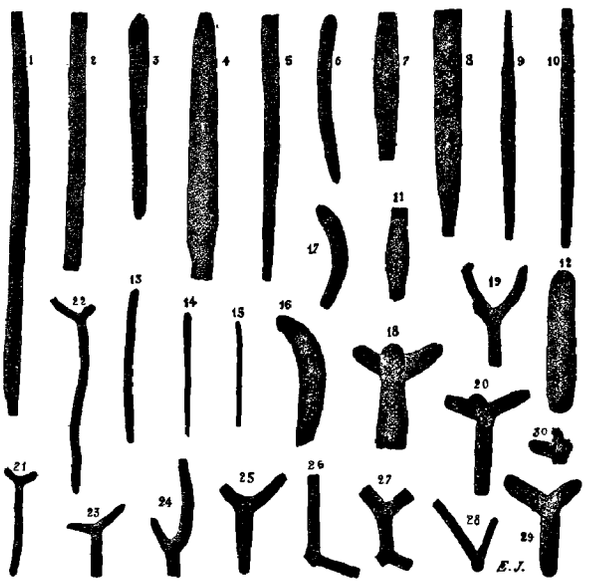


Fig. 18. Spicules de la « craie » glauconieuse à *Rh. vespertilio* de la tranchée de Torchay.
(Gross. 30 diam.).

Spongiaires. L'étude des coupes minces et surtout du résidu insoluble montre qu'il convient d'assigner le second rôle aux débris de Spongiaires. Ces organismes n'ont qu'une importance numérique bien secondaire ; en revanche l'intérêt qu'ils présentent au point de vue général est très grand.

J'ai réuni sur la figure 18 quelques-unes des principales formes que l'on trouve dans le résidu insoluble. Les bâtonnets 1, 2, 5, 8-12 y pullulent.

A. *Spicules monoaxes.* Les bâtonnets cylindriques et fusiformes de grande taille, toujours fragmentaires, viennent au premier rang (1, 2, 4, 5, 7-12, 16 et 17). Je les considère comme des formes originellement monoaxes, relevant du groupe des *Tetractinellidæ*, ou comme dérivant de spicules quadriradiés à rayons dissociés. Les formes coniques droites (3) ou arquées (6) sont rares.

Parmi les individus monoaxes, il en est de très élégants et de très grêles (13-15) qui sont assez fréquents.

En raison de l'état de fossilisation des spicules, il est impossible, comme toujours, de faire le départ des individus qui dérivent des *Monactinellidæ* et de ceux qui se rapportent aux autres ordres. Que ce groupe soit représenté, on ne peut guère en douter, tant la disproportion est grande entre le nombre de spicules monoaxes et des formes multiradiées.

B. *Tetractinellidæ.* Les spicules à quatre rayons sont incomplets et rares (18-26, 28 et 29). J'inscris la forme 27 à la suite des précédentes sans être sûr qu'elle se rattache à ce groupe.

C. *Hexactinellidæ.* Elles sont représentées par des formes incomplètes et rarissimes (30).

Les spicules de la craie glauconieuse sont *siliceux*, *calcifiés* ou *glauconieux*. Les premiers sont rares ; ils ont conservé un canal uniformément élargi. Les spicules calcifiés viennent en seconde ligne par ordre de fréquence ; *maints bâtonnets sont à la fois calcaires et glauconieux.* Les formes épigénisées par la glauconie représentent la grande majorité des restes de Spongiaires de la roche.

Considérée en elle-même, cette faune est intéressante par le nombre et la variété des éléments qui la composent. Un grand nombre de formes représentées sur la figure 18 et d'autres qui ne sont pas figurées ne sont pas nouvelles : Je les ai signalées dans la craie proprement dite. En les comparant aux spicules du sommet du Turonien et de la base du Sénonien, du Nord, de la Somme, du Bray, etc., on ne manquera pas d'être frappé de l'existence de types communs en ces différentes régions du Bassin de Paris [1].

Foraminifères. On observe de grandes différences au point de vue de la nature des Foraminifères suivant les niveaux considérés. Certains échantillons ne comportent guère que des formes arénacées de très grande taille, parmi lesquelles les *Textularidæ* prédominent. D'autres spécimens sont très pauvres en Rhizopodes arénacés ; on y trouve principalement des *Orbulina* et des formes pluriloculaires de petite taille. Dans tous les cas, les Foraminifères sont relativement nombreux.

---

1. La comparaison des figures de spicules pour la mise en évidence de formes communes souligne malheureusement d'une façon très imparfaite les points de ressemblance des faunes. En effet, tel spicule qui compte un nombre considérable d'individus dans le résidu n'est représenté que par un seul sur les figures. Tel autre, bien que d'une grande rareté, occupe une place égale en raison de l'intérêt qu'il peut présenter. Bref, cette comparaison enlève beaucoup à l'évidence des analogies au profit des différences.

3° **Ciment.** Il est prédominant. Tous les éléments minéraux et organiques sont enveloppés par un fin ciment calcaire dérivant de Bryozoaires et par de la calcite assez abondante. Ce ciment est homogène sur de grandes étendues des sections minces ; par places, il se découpe en éléments arrondis pareils à ceux que j'ai mentionnés dans le Turonien de la même région. *On assiste ici à la genèse des corps globuleux calcaires à forme oolithique, par différenciation sur place d'un ciment homogène ayant son origine première dans le squelette des Bryozoaires.*

C'est la présence de la calcite en notable proportion qui détermine la formation de parties noduleuses à ce niveau.

5° « Craie » a Bryozoaires

Ce dépôt qui relève de l'assise à *Spondylus truncatus* est principalement formé de « craies sableuses auxquelles s'associent des bancs de silex tuberculeux ». J'étudierai successivement A. la « craie », B. les différents accidents siliceux de cette formation.

A. Étude de la « craie » sableuse à Bryozoaires

Les échantillons que j'ai examinés ont été prélevés dans les parties les plus cohérentes intercalées dans des sortes de sables calcarifères, au-dessous du calcaire noduleux à *Spondylus truncatus*. La roche est gris blanc, grenue et dure.

1° **Minéraux.** D'éléments très accessoires qu'ils étaient dans la craie à *Rh. vespertilio*, ils deviennent essentiels à ce niveau; un spécimen a fourni un résidu de 17,1 %; ce chiffre est dépassé dans les parties les plus meubles de l'assise. Les grains de quartz mesurent en moyenne $0^{mm}1$. La série complète des minéraux accessoires et rares tels que zircon, tourmaline, etc., est toujours la même. La glauconie est à peu près aussi répandue que le quartz. Elle est presque exclusivement en relation avec les Bryozoaires et ne remplit jamais les loges de Foraminifères.

2° **Organismes.** *Bryozoaires.* La plus grande partie de la roche en est formée. Comme dans l'assise précédente on trouve côte à côte des formes presque complètes et les éléments les plus exigus du ciment qui dérivent du même groupe.

Spongiaires. Le résidu insoluble comprend un assez grand nombre de spicules de toutes formes et de toutes dimensions qui sont ici incomparablement moins fréquents que dans les couches à *Rh. vespertilio.*

A. *Spicules monoaxes.* Représentés par des bâtonnets glauconieux et grêles.

B. *Tetractinellidæ.* A ce groupe appartiennent d'énormes spicules en opale, toujours brisés, et des formes beaucoup plus petites et glauconieuses. On peut également lui rapporter des bâtonnets cylindriques siliceux, à extrémités incomplètes, qui dérivent soit de grands spicules tétraradiés, soit de formes monoaxes et de grande taille.

C. *Lithistidæ*. J'ai reconnu quelques spicules de *Rhizomorina* dans le résidu et des *Anomocladina* très abondantes dans un nodule siliceux.

Les *Lithistidæ* et surtout les *Tetractinellidæ* sont les Eponges les plus caractéristiques de l'assise.

Foraminifères. Ils ne prennent qu'une faible part à la constitution du dépôt. Tous sont de grande taille à test épais. Les formes arénacées prédominent. Les autres ont une coquille d'aspect dépoli.

3° **Ciment.** Ce sont les plus fins débris de Bryozoaires qui forment le ciment de la roche. La calcite secondaire est presque absente. On y trouve encore, mais non d'une façon constante, de l'*opale globulaire* qui, dans certains cas, représente une fraction du dépôt supérieure à celle de tous les minéraux réunis.

B. Étude des « silex »

La « craie » à Bryozoaires présente des parties dures disposées en bancs continus ou en rognons tuberculeux, auxquels Guillier et d'autres géologues ont appliqué le nom de silex. Ce ne sont pas des silex à proprement parler. Parmi ces nodules, les uns résultent d'un durcissement du calcaire à Bryozoaires avec légère imprégnation de silice ; les autres sont des cherts.

1° **Nodules tuberculeux calcaréo-siliceux.** Ils sont très compacts et très durs. La cassure en est irrégulière. Ils se montrent gris clair au centre et gris foncé avec aspect corné au pourtour.

A. *Étude de la partie centrale.* Un rapide examen à l'œil nu permet déjà de mettre en évidence un grand nombre de débris de Bryozoaires. Au microscope, ces nodules ne paraissent pas différer dès l'abord de la craie à Bryozoaires la plus typique. Le ciment est prédominant.

Le quartz détritique est rare. Il se peut même qu'il n'y en ait pas du tout. En effet, on trouve, comme dans le tuffeau de Saint-Paterne, du *quartz secondaire* en éléments aussi volumineux que le quartz clastique. On observe, par exemple, un grain paraissant homogène aux faibles grossissements et qui, examiné avec de forts objectifs, est divisé en deux parties par une étroite bande de calcite se reliant de part et d'autre au calcaire environnant. L'existence de quartz secondaire est d'ailleurs démontrée par des faits beaucoup plus probants. Quelques loges de Bryozoaires sont remplies de silice cristallisée en quartz d'aspect granulitique, dont quelques individus sont presque de la taille des éléments considérés comme détritiques. Plusieurs vides sont également remplis de la même substance. On voit, d'autre part, de petites particules de quartz isolées ou groupées en une foule de points de la roche. On trouve tous les intermédiaires comme dimensions entre les éléments les plus exigus et ceux qui mesurent $0^{mm}1$ et plus.

C'est vraisemblablement le développement de cette sorte de trame quartzeuse, très discontinue, qui a doté les nodules d'une cohérence bien supérieure à celle de la craie normale à Bryozoaires. Cette propriété se réclame peut-être en partie de la calcite, qui est assez répandue.

B. *Étude de la zone externe cornée.* Elle fait très légèrement effervescence aux acides. Au microscope, elle se montre d'autant plus siliceuse qu'on est près du bord du nodule. La roche est alors composée d'opale indifférenciée avec nombreuses interpositions de petites lamelles de calcédoine. Comme le démontre l'action des acides, le carbonate de chaux n'en est pas tout à fait exclu. Il est représenté par des particules de toutes dimensions caractérisées par des contours fortement rongés, dont le nombre et le volume augmentent progressivement en s'écartant de la surface du nodule ; elles prédominent bientôt, et l'on passe insensiblement au calcaire de la zone centrale. *La silicification est donc maxima au pourtour de ces corps.* C'est exactement le contraire que l'on observe pour les cherts du même niveau. Dans l'espèce, l'*épigénie du calcaire s'est effectuée par voie endogène;* ce phénomène est en tous points comparable à celui que montrent les *silex creux* de la craie.

2° **Nodules siliceux.** Ils comportent deux parties d'aspect différent : une zone externe comparable au calcaire compact des rognons de la catégorie précédente ; une zone interne composée de silice claire, translucide, incolore ou légèrement bleuâtre rappelant les portions les plus siliceuses des cherts. La limite des deux zones est des plus irrégulière. On distingue encore dans la partie calcaire, des Bryozoaires dont quelques-uns sont entièrement silicifiés et calcédonieux.

Ces nodules sont des *cherts.* Une section pratiquée dans la portion la plus siliceuse de l'un d'eux accuse l'existence d'une grande quantité de spicules en opale appartenant aux *Anomocladina (Lithistidæ)* ; des plages entières sont formées de ces éléments ayant conservé leurs connexions réciproques ; tous sont de la même espèce ; un certain nombre sont en voie de destruction. Ce chert s'est développé sur l'emplacement d'une Éponge. Tout le reste de la roche est composé de calcédoine, parfois largement cristallisée, disposée en lames radiées. On trouve également de l'opale non différenciée, et une infinité de petits globules de même dimension, rarement libres, presque toujours confluents et figurant des chapelets comme ceux que j'ai signalés dans la gaize.

Le carbonate de chaux apparaît sur les bords du nodule et se multiplie au fur et à mesure qu'on se rapproche de la craie ambiante. Il est imprégné de silice.

En résumé, le chert comporte de la silice qui préexistait à la formation du nodule — celle des nombreux spicules — et d'autre silice (calcédoine, opale globulaire ou non) dont l'origine est double. Une partie s'est développée sur place par destruction de spicules ; une autre portion a été introduite dans la roche. Il importe de remarquer que la seule modification subie par les spicules est la disparition de leur canal, alors qu'ils se

trouvaient plongés dans un milieu où de la silice a pu cristalliser très largement en calcédoine.

Contrairement à ce qui se passe pour les nodules calcaréo-siliceux, la silicification est ici maxima dans les points les plus éloignés de la surface des rognons. *L'épigénie du sédiment calcaire s'est faite par voie exogène.*

Conclusions. Si la substitution de la silice au carbonate de chaux des nodules de la première catégorie était complète, ces corps auraient acquis une individualité propre dans le milieu où ils sont plongés. Le résultat serait la formation de *silex* absolument indépendants de la craie. Que le phénomène de silicification se poursuive plus loin dans les cherts du même niveau, il y aura toujours une zone de passage entre le nodule et le calcaire qui l'enveloppe, et le chert restera toujours soudé au sédiment dont il procède par épigénie.

Cette différence radicale entre les deux espèces de nodules paraît due, dans l'espèce, à des modes différents de croissance. Il semble que les premiers commencent par fixer leurs limites et arrêter leur forme et que la matière siliceuse envahit ensuite plus ou moins l'espace ainsi réservé aux corps noduleux. Le volume de ces derniers serait indépendant de la quantité de silice disponible pour assurer leur développement. Il en serait tout autrement pour les seconds dont l'accroissement continue de dedans en dehors jusqu'au moment où la réserve de silice qui leur est destinée est épuisée.

L'origine de la matière siliceuse qui a donné naissance à ces nodules doit être cherchée dans les débris de Spongiaires du dépôt. Il est remarquable que dans un même échantillon, la silice d'origine organique et secondaire parcoure presque toute la gamme des variétés qu'elle est susceptible de présenter depuis l'opale indifférenciée jusqu'au quartz compris.

6° « CRAIE » DE VENDÔME

J'ai recueilli les échantillons de « craie » de Vendôme à quelques kilomètres de cette ville, dans la tranchée du chemin de fer de Vendôme à Blois. La roche est gris jaunâtre, grossière, sableuse, tendre et souvent pulvérulente. Elle renferme une riche faune de Bryozoaires ainsi que de nombreux lits de « silex ». Les spécimens que j'ai étudiés ont été recueillis dans le bas de la tranchée, près de Vendôme. Ils appartiennent à la craie de Villedieu.

1° **Minéraux.** Le résidu minéral est de 3,3 %.

A. *Minéraux détritiques. Quartz* en grains anguleux mesurant $0^{mm}1$.

Magnétite. Grains de forme générale arrondie et rares octaèdres.

Zircon. Très répandu. Il affecte surtout les formes des figures 1, 2, 5, 16, 31 et 40 (Pl. X). Il est rarement zonaire. Deux individus de la planche X sont tirés de cette roche.

Fig. 15. Cristal formé de *m* (110) h^1 (100) b^1 (112) et d'une autre face indéterminée ; pores liquides dont l'un renferme un libelle. Diam. 0,06-0,04.

Fig. 31. Cristal avec microlithes et une inclusion gazeuse.

Le zircon de ce niveau est surtout caractérisé par la rareté des cristaux bien conservés et par la grande prédominance des éléments cassés et roulés.

Tourmaline. Variété brune avec prisme généralement court (Pl. X, fig. 82 et 83) ; les cristaux complets sont rares.

Mica blanc. En paillettes à contours irréguliers.

Staurotide. Fréquente en grains anguleux.

Disthène. Cristaux à peu près rectangulaires, très allongés suivant hlg^1 (100) (010) dont quelques-uns présentent une macle soit avec axe de rotation perpendiculaire à h^1 (100) et se confondant avec n_p, soit avec un axe de rotation parallèle à h^1g^1 (100) (010). Ce minéral est assez répandu dans le résidu.

Rutile. Cristaux roulés appartenant presque tous à la variété brune. Quelques individus montrent la macle en genou avec clivages a^1 (101). Ex. : Pl. X, fig. 60, deux individus jaune d'or maclés suivant $b^1/3$ (332). Dim 0,11-0,03.

Anatase. En éléments incomplets altérés. Je rapporte avec doute à ce minéral la forme 67 (Pl. X).

Grenat. Variété incolore de conservation parfaite.

Chlorite. Etc.

B. *Minéraux secondaires*. *Glauconie* toujours indépendante des Foraminifères. Elle pseudomorphose les spicules, épigénise le test des Bryozoaires dont elle remplit parfois les loges.

2° **Organismes**. *Bryozoaires*. La craie de Vendôme est presque exclusivement formée de débris de ce groupe. On y trouve, comme dans les roches sénoniennes de la tranchée de Torchay, tous les intermédiaires entre les fragments de Bryozoaires visibles à l'œil nu et les particules les plus ténues.

Echinodermes. Grands débris de plaques d'Oursins.

Spongiaires. Les spicules sont glauconieux et toujours incomplets. Les formes monoaxes représentent plus des 19/20 de la faune. Elles sont accompagnées de quelques restes de *Tetractinellidæ*.

Foraminifères. Ils sont relativement fréquents. Tous leurs représentants sont de grande taille et pourvus d'un test très épais d'aspect dépoli et gris. Les formes arénacées paraissent en minorité.

3° **Ciment**. Il correspond à la boue calcaire engendrée par la fragmentation et la trituration des Bryozoaires. La calcite est accessoire. Elle enveloppe complètement quelques-uns des plus volumineux débris organiques.

Tous les « silex » que j'ai étudiés sont des *cherts*.

7. RÉSULTATS GÉNÉRAUX DE L'ÉTUDE DU CRÉTACÉ DE LA VALLÉE DU LOIR.

1° **Minéraux**. *M. détritiques*. La quantité de résidu minéral et le diamètre moyen des éléments clastiques varient comme dans la vallée du Cher. Ils sont très rares et de faible diamètre ($0^{mm}07$-8) à la base du Turonien (craie à *I. labiatus*). Les grains de

quartz se multiplient rapidement en même temps que leur volume croît dans le tuffeau de la gare de Saint-Paterne (diam. $0^{mm}12$) ; ils paraissent atteindre leur maximum de développement dans le tuffeau à pinces de *Callianassa* (diam. $0^{mm}18$). Puis leur fréquence et leur diamètre diminuent jusqu'au sommet du Santonien. La régularité de cette décroissance est troublée dans les couches à Bryozoaires de la tranchée de Torchay, où le résidu insoluble est notablement supérieur à celui de la craie à *Rh. vespertilio*. Ce n'est peut-être qu'un accident local.

B. *Minéraux secondaires. Glauconie.* Elle est partout un élément accessoire sauf au niveau de *Rh. vespertilio*. C'est comme pseudomorphose de spicules de Spongiaires et surtout comme produit épigénique du test des Bryozoaires qu'elle se présente de préférence.

Quartz. Il s'observe dans les parties calcaires noduleuses du tuffeau turonien et dans les nodules tuberculeux calcaréo-siliceux de la craie à Bryozoaires. Il donne naissance de part et d'autre à des grains qui atteignent le volume du quartz clastique.

Orthose. Elle n'existe que dans le Ligérien inférieur où elle est très rare.

2° **Organismes.** *Bryozoaires.* Ils sont exceptionnellement rares dans la craie à *I. labiatus*. Dès que les sédiments deviennent grossiers, on les retrouve immédiatement comme élément fondamental, sauf dans le tuffeau. D'un bout à l'autre de la série, ils ont gardé l'empreinte d'actions mécaniques. Ils sont fragmentaires, calibrés et parfois roulés dans le Turonien tuffacé ainsi que dans les parties du calcaire à *O. auricularis* qui leur sont réservées. Dans tout le reste du Santonien, on trouve des colonies intactes, de volumineux fragments discernables à l'œil nu, à côté de débris de toutes dimensions.

Spongiaires. Ces organismes présentent un intérêt exceptionnel dans le Crétacé de la vallée du Loir. Ils apparaissent à la base de la série et ne manquent dans aucune couche. C'est dans l'assise à *I. labiatus* qu'ils atteignent leur maximum de développement et que la forme en est le plus variée. Ils concourent à la formation de cette craie pour 1/5 environ. Tous les ordres d'Eponges siliceuses y sont représentés.

A. *Spicules monoaxes.* Ils ont toujours le dessus sur les autres formes ; ils pullulent dans la craie à *I. labiatus* et sont également très répandus dans les couches à *Rh. vespertilio*. Un grand nombre se rapportent certainement aux *Monactinellidæ*, mais ce n'est que dans la craie ligérienne qu'il est possible de les déterminer comme tels sans hésitation.

B. *Tetractinellidæ.* Le nombre de spicules de ce groupe n'est considérable que dans la craie à *I. labiatus* de Château-du-Loir. Partout ailleurs la proportion en est très restreinte, mais on les connaît depuis le Turonien inférieur jusque dans le Santonien à *Sp. truncatus*.

C. *Lithistidæ.* Leur existence n'est certaine qu'à la base du Ligérien et au sommet du Santonien. On trouve des *Rhizomorina*, des *Tetracladina* et peut-être des *Megamorina*

dans la craie à *I. labiatus*, des *Rhizomorina* et surtout des *Anomocladina* dans les couches à Bryozoaires.

D. *Hexactinellidæ*. Leurs débris n'ont été reconnus que dans la craie ligérienne.

La plupart des restes de Spongiaires observés sont glauconieux. Il n'y a guère d'exception que pour la craie à *I. labiatus* dont un grand nombre de spicules sont en opale et pour les cherts des couches à Bryozoaires ; leur conservation est parfaite. On trouve également des formes calcifiées (Château-du-Loir).

Une particularité qui mérite d'être plus particulièrement soulignée, c'est l'existence, parmi les débris de Spongiaires des couches à *Rh. vespertilio*, de nombreuses formes déjà mentionnées en plusieurs points du Bassin de Paris, soit au sommet du Turonien soit à la base du Sénonien et dans une craie proprement dite.

Foraminifères. Ce groupe est beaucoup mieux représenté que dans les régions précédemment étudiées. Les Rhizopodes de la craie à *I. labiatus* diffèrent complètement de ceux des assises suivantes. Les formes monoloculaires *Fissurina* et *Orbulina* y prédominent. Elles sont accompagnées de *Textularia*, *Rotalia* et *Globigerina*. C'est le même ensemble de coquilles que l'on trouve dans la craie de la même assise partout dans le Bassin de Paris.

Les Foraminifères sont d'une certaine fréquence à presque tous les autres niveaux. D'une façon générale, ces organismes sont pourvus de coquilles de grande taille et très épaisses. Les couches inférieures du Sénonien font en partie exception à cette règle. Par places, les échantillons de calcaire à *Ostrea auricularis* renferment de petites formes pareilles à celles de la craie ; le niveau à *Rh. vespertilio* fournit des spécimens où l'on observe en assez grande quantité de petits Foraminifères (*Orbulina* et formes pluriloculaires) et d'autres où l'on ne trouve que de grands individus. A partir de la craie à *I. labiatus*, il y a association de grands individus arénacés parmi lesquels on reconnaît de nombreux *Textularidæ* et des coquilles non arénacées mais toujours fortement dépolies. La prépondérance appartient suivant le cas à l'un ou l'autre groupe.

3° **Ciment**. A. Il présente, à la base du Ligérien, tous les caractères du ciment de la craie typique, sauf que le carbonate de chaux cristallisé y occupe une place très prépondérante. Ce n'est qu'à partir du Sénonien qu'on voit apparaître un ciment correspondant à une fine boue à Bryozoaires plus ou moins consolidée. Il est très développé dans les assises à *Rh. vespertilio* et à *Sp. truncatus*. Dans le tuffeau, il existe des vestiges de ciment primordial composé comme le précédent, mais il est difficile d'en fixer l'extension primitive. Je lui ai rapporté des corpuscules calcaires le plus souvent sphériques ou ovoïdes, que j'ai considérés comme des produits de différenciation d'un ciment composé des éléments les plus ténus dérivant de Bryozoaires. Cette attribution s'impose à la suite d'observations que j'ai faites au niveau de *Rh. vespertilio* où l'on voit un ciment fin et homogène se transformer latéralement et donner naissance aux éléments en question.

B. La *calcite* est répandue dans le tuffeau à *T. Bourgeoisi*. Elle existe dans tout le Santonien ; dans tous les cas observés, elle est un élément accessoire et parfois très rare (craie à Bryozoaires).

C. La *silice* n'a pris part à la composition du ciment que dans la craie à *I. labiatus* et dans le Santonien supérieur.

Rognons siliceux. La craie à *I. labiatus* renferme quelques *silex* proprement dits. Les nodules siliceux des autres niveaux sont des *cherts*. Les cherts que j'ai étudiés se développent des deux façons : 1° L'accroissement est exogène, c'est le cas le plus fréquent ; 2° il se fait par voie endogène.

Résumé et Conclusions. 1° Les sédiments de la vallée du Loir ne portent la trace *d'actions mécaniques* appréciables qu'à partir du tuffeau de Saint-Paterne. Elles se traduisent par la présence de nombreux minéraux détritiques, par la fragmentation et la trituration des éléments organiques et surtout des Bryozoaires.

2° *L'activité organique* a toujours été très prépondérante, si l'on admet que la plus grande partie du ciment a son origine première dans les Bryozoaires.

3° La part de *l'activité chimique* est grande. On lui doit les minéraux secondaires, la genèse de la calcite du ciment et l'origine des nodules siliceux.

IV. RÉSULTATS GÉNÉRAUX ET CONCLUSIONS
DE L'ÉTUDE DU TURONIEN ET DU SÉNONIEN DU SUD-OUEST DU BASSIN DE PARIS

Dans l'étude analytique que j'ai faite du Crétacé du Sud-Ouest du Bassin de Paris, j'ai d'abord considéré les gisements de la partie la plus occidentale pour pénétrer ensuite vers l'intérieur du Bassin, en suivant les vallées de la Loire, du Cher et du Loir. Pour l'examen comparatif qui va suivre, j'abandonnerai le groupement des terrains par vallées et je décomposerai la région étudiée en deux parties : l'une, septentrionale, se confondant avec la vallée du Loir; l'autre, méridionale, comprenant à la fois les vallées de la Loire et du Cher.

La première comporte une série ininterrompue de couches, depuis le Ligérien jusqu'au sommet du Santonien. Les coupes des vallées de la Loire et du Cher se complètent et donnent une succession de toutes les assises comprises entre le Cénomanien et le Campanien. Les variations que présentent les sédiments de chacune de ces deux séries sont les mêmes. Le Turonien débute, au nord comme au sud, par une véritable craie (Château-du-Loir et Selles-sur-Cher), qui fait suite dans la vallée du Cher à des sédiments beaucoup moins fins, relevant du Cénomanien. A cette craie succèdent des dépôts grossiers dont le caractère clastique est d'autant plus manifeste que l'on s'approche davantage de

la limite supérieure de l'Angoumien. Puis le caractère détritique s'efface progressivement dans le Santonien; les tuffeaux ou calcaires grossiers angoumiens sont remplacés par des sédiments assez peu variés au point de vue pétrographique. Le facies crayeux ne fait sa réapparition que dans le Campanien; encore n'est-il que très imparfaitement réalisé.

1° **Minéraux. Etude comparée des résidus minéraux**. Le résidu de minéraux de transport est pour ainsi dire nul à la base de chacune des séries (craies à *I. labiatus*). Il augmente progressivement et rapidement dans les tuffeaux ligériens et dans l'Angoumien, où il atteint son maximum. Il diminue dans le Santonien et surtout dans le Campanien.

Le diamètre moyen des éléments clastiques varie dans le même sens et dans la même proportion que la quantité de résidu. Bref, si on traçait les courbes représentant, l'une les teneurs de chaque niveau en minéraux de transport, l'autre le diamètre moyen des grains de quartz à chacun de ces niveaux, elles se confondraient sensiblement.

Les modifications que subit dans l'espace le résidu de minéraux clastiques des dépôts étudiés sont :

A. Il n'existe aucune différence notable entre les craies à *I. labiatus* des vallées du Loir et du Cher. Ce n'est que beaucoup plus au sud-ouest que le facies crayeux s'altère. Dans la Vienne, aux environs de Loudun, elles sont remplacées par une craie essentiellement marneuse. Les éléments détritiques y ont conservé un très faible volume, mais ils se sont beaucoup multipliés.

B. Le tuffeau de la vallée du Cher est celui qui admet le moins de particules détritiques.

C. Les sédiments angoumiens se comportent sensiblement de même façon, quant à la quantité de résidu et au volume de leurs éléments de transport. Les conditions de dépôt sont restées à peu près les mêmes d'un bout à l'autre de la région étudiée.

D. Elles ont au contraire rapidement varié de l'ouest vers l'est, à la base du Santonien, surtout à partir de Tours. Les couches qui, à Cangey, renferment moins de 1 % de résidu clastique, en contiennent au moins 20 % dans la région de Tours et plus encore à l'ouest.

E. Le caractère littoral ou sublittoral des couches à Bryozoaires et à *Sp. truncatus* se poursuit assez loin vers l'intérieur du Bassin; la diminution du résidu est progressive.

F. Les craies campaniennes ne présentent pas de différence sensible aux points où je les ai étudiées.

En résumé, *les deux termes extrêmes de la série — les craies — témoignent de conditions bathymétriques uniformes pour chacun d'eux*. L'Angoumien est à peu près dans le même cas. Tous les autres dépôts accusent des différences notables de profondeur de l'ouest à l'est.

Minéraux détritiques. Les espèces qui prennent part à la composition du résidu clastique sont : *quartz, magnétite, zircon, tourmaline, mica blanc, staurotide, rutile, disthène, andalousite, feldspaths (orthose, microcline, plagioclases), anatase, corindon,*

brookite, grenat, chlorite, amphibole verte, etc. L'ordre de fréquence de ces minéraux n'est pas constant quand on passe d'une assise à l'autre.

Le *quartz* est à l'état de grains anguleux roulés. On n'observe ni volumineux grains arrondis, ni cristaux, ni agrégats comme dans la craie du Bassin de Paris.

L'abondance de la *staurotide*, la fréquence relative du *disthène*, de l'*andalousite* et du *corindon* sont des caractéristiques de première importance, en ce sens que la craie ne contient pas ces minéraux ou ne les montre que d'une façon très exceptionnelle.

D'autres éléments sont pourvus de caractères particuliers à la Touraine : La *tourmaline*, par exemple, est presque uniquement représentée par sa variété brune, à cristaux courts et trapus. La variété verte, en baguettes allongées, que j'ai signalée comme très fréquente dans la craie, fait défaut ou ne compte qu'un nombre insignifiant d'individus. Les *feldspaths* sont franchement clastiques, sauf dans l'assise à *I. labiatus*. L'*orthose*, notamment, n'a rien de commun avec l'orthose de la craie ; elle en diffère et par sa forme et par son état de conservation. Il est à remarquer qu'il existe parmi les dépôts à Bryozoaires maints calcaires dont le résidu n'est ni plus abondant ni formé d'éléments plus volumineux que certaines craies du Nord dans lesquelles l'orthose secondaire se rencontre fréquemment. Le zircon tient toujours une grande place parmi les éléments les plus denses. Si l'on compare les différentes formes qu'il affecte (et dont un certain nombre font partie de la planche X), avec les diverses manières d'être de ce minéral, notées par M. de Chrustschoff, dans leurs rapports avec les roches spéciales qui les renferment, on est amené à conclure que le Crétacé de Touraine a emprunté ses éléments à plusieurs catégories de roches. La série schistocristalline a été largement mise à contribution.

Minéraux secondaires. Glauconie. En raison de la diversité de composition des dépôts étudiés, la glauconie présente bon nombre de manières d'être qui sont particulières aux roches siliceuses et celles qui sont spéciales à la craie. L'existence des Bryozoaires est une cause de polymorphisme pour les éléments glauconieux. La plupart des grains de glauconie des roches de Touraine résultent de l'épigénie imparfaite et très irrégulière du test de ces organismes. Ils donnent aux résidus une physionomie tout à fait à part et tellement caractéristique, qu'elle suffit pour faire pressentir la présence des Bryozoaires. *Quand dans un calcaire, il y a coexistence de ces organismes et de Foraminifères, il est de règle que la glauconie aille de préférence vers les Bryozoaires ;* chose plus singulière, la glauconie respecte même les Rhizopodes, dont les loges sont vides, pour épigéniser le tissu calcaire des Bryozoaires.

La craie à *I. labiatus* fournit des sphérules montrant entre les nicols croisés une croix noire aussi apparente au centre que sur les bords.

Quartz. Le quartz secondaire est connu dans le tuffeau angoumien de Langeais, dans le tuffeau à pinces de *Callianassa* de la région de Saint-Paterne et dans les couches à Bryozoaires de la tranchée de Torchay. Il est disséminé un peu partout dans ces dépôts

à la façon du quartz clastique. Dans le premier de ces gisements, il revêt des aspects qui rappellent le quartz granitique et granulitique des roches cristallines et présente des extinctions roulantes (pp. 335 et 336).

Orthose très rare dans la craie à *I. labiatus*.

2° **Organismes.** De tous ceux dont j'ai parlé en étudiant chaque niveau en détail, il convient de ne retenir que les trois groupes de Bryozoaires, Spongiaires et Foraminifères. Les débris d'*Echinodermes* et surtout les *Radiolaires* et les *Diatomées* ne peuvent être cités que pour mémoire.

Bryozoaires. On savait par le grand nombre de Bryozoaires connus en Touraine, que ces organismes avaient tenu une large place dans la faune du Crétacé de cette région, mais le rôle immense qu'ils ont joué dans la genèse des dépôts turoniens et santoniens n'était pas soupçonné. A l'exception de la craie à *I. labiatus*, d'où ils ne sont d'ailleurs pas exclus, et de la craie campanienne, on peut dire qu'*à partir du Cénomanien, tout le Crétacé supérieur du S.-O. du Bassin parisien procède en grande partie des Bryozoaires.* Que ce soit à l'état de grands fragments de colonies ou de débris roulés, que ce soit sous forme d'une très fine bouillie calcaire, produit ultime de la destruction de ces organismes, on les rencontre prépondérants à tous les niveaux, à l'exception de ceux que j'ai notés plus haut. Les manières d'être qu'affectent les débris de Bryozoaires varient entre les différentes assises considérées ; ce qu'il est important de mettre en relief, c'est que les modifications se suivent dans le même ordre pour toutes les séries étudiées. Dans la tranchée de Torchay, par exemple, ce n'est qu'à partir des couches à *Rh. vespertilio* que la roche est formée de débris de Bryozoaires de toutes dimensions qui permettent de passer, par degrés insensibles, des fragments de colonies reconnaissables à l'œil nu aux particules les plus ténues du ciment. A tous les niveaux inférieurs, on trouve des fragments de colonies, en général d'un volume déterminé, pour chaque assise, plongés ou non dans un ciment auquel rien ne le rattache. Chaque série comporte ainsi une limite où une manière d'être fait place à l'autre. La raison de ce changement est, je crois, d'ordre mécanique, mais je n'ai pu la pénétrer entièrement. Cette limite est d'autant plus bas que le résidu clastique est moins abondant ou que les dimensions de ses éléments sont plus faibles. C'est ainsi que l'association des débris de tous volumes se montre à Langeais à partir du calcaire à Bryozoaires. Elle apparaît à Cangey à la base même du Santonien. Elle m'est inconnue dans le Turonien. Les deux sous-ordres des Bryozoaires à colonies calcaires, les *Cyclostomata* et *Cheilostomata* paraissent avoir été très prospères, l'un et l'autre.

Leurs débris, vus en sections minces, sont toujours d'aspect rugueux et dépolis ; ils font l'effet de corps calcaires soumis à l'action prolongée d'acides très faibles. Tous ont fourni un peu de carbonate de chaux aux eaux circulant dans le dépôt. Par exception, ils sont *glauconieux* ou silicifiés.

Spongiaires. Les deux régions nord et sud distinguées dans le S.-O. du Bassin de Paris se comportent de façon assez différente en ce qui touche ces organismes.

A. Dans celle du Sud, les spicules isolés dans le résidu apparaissent tout à fait à la base de la série. Ils sont rares ou très répandus dans la craie à *I. labiatus* suivant les points considérés. Ils se montrent parfois en assez grand nombre dans le tuffeau ligérien de la vallée du Cher. L'Angoumien en est très pauvre ainsi que la base du Sénonien. On les retrouve ensuite de plus en plus abondants à tous les niveaux jusqu'à la craie campanienne dont les variétés siliceuses en sont presque uniquement formées. Si, au lieu de considérer toute cette région en bloc, on passe en revue successivement chacune des localités étudiées, *les débris de Spongiaires apparaissent plus tôt à l'est qu'à l'ouest.* Autrement dit, un niveau donné n'admet de restes de Spongiaires en quantité appréciable que lorsque son caractère littoral s'atténue ou s'efface. Ainsi, la base du Santonien, par exemple, ne renferme pas de spicules à Langeais, leur existence est douteuse à St-Avertin ; le calcaire blanc de Cangey les voit apparaître en quantité appréciable.

B. Tous les termes de la série septentrionale renferment des débris de Spongiaires à partir du point le plus occidental où je les ai considérés. Le Ligérien crayeux de Château-du-Loir est un des gisements les plus remarquables au triple point de vue du nombre, de la variété et de la conservation des spicules. A tous les autres niveaux, les restes de Spongiaires sont relégués au rang d'éléments accessoires ou même très rares ; c'est dans les couches à *Rh. vespertilio* qu'ils prennent la plus grande part à la composition du résidu insoluble.

Il résulte de l'étude comparée des différentes assises considérées que les deux termes extrêmes de la série, la craie ligérienne et le Campanien à cherts correspondent au maximum de prospérité des Spongiaires. Plus on s'en écarte pour se rapprocher de la limite du Turonien et du Santonien, moins on trouve de spicules.

Ce qui est particulièrement important, c'est que tous les ordres d'Eponges siliceuses sont représentés par des spicules isolés dès le début du Turonien. La craie à *I. labiatus* montre brusquement l'association des *Monactinellidæ*, *Tetractinellidæ*, *Lithistidæ* et *Hexactinellidæ*. La faune est beaucoup moins variée en s'élevant dans le Turonien. Dans le tuffeau, les *Lithistidæ* ont beaucoup perdu de leur fréquence et les *Hexactinellidæ* ont disparu. Il faut franchir l'Angoumien, la base du Santonien et atteindre les couches à *Rh. vespertilio* pour voir réapparaître dans le résidu de rarissimes vestiges d'*Hexactinellidæ*. Plus haut, je n'ai observé aucun spicule isolé de *Lithistidæ* et d'*Hexactinellidæ*, mais j'ai reconnu de nombreux spicules non dissociés d'*Anomocladina* en relation avec les cherts des couches à Bryozoaires de la tranchée de Torchay. Bien que plus rapprochée du centre du Bassin de Paris, la « craie » de Vendôme est complètement dépourvue de restes d'*Hexactinellidæ*.

Le maximum de fréquence des spicules, réalisé dans le Campanien, correspond à une

étonnante uniformité de la faune caractérisée par une grande prédominance des individus monoaxes et par l'absence de spicules d'*Hexactinellidæ* dans les sections minces.

La faune de Spongiaires qui se rapproche le plus de celle de la craie à *I. labiatus* de la Touraine, par les traits essentiels de sa composition, appartient à la craie à *T. gracilis* de la région de Rouen. Plusieurs formes sont communes aux deux assises. La comparaison des spicules des couches à *Rh. vespertilio* de Torchay avec ceux de la craie du Bassin de Paris présente un intérêt tout particulier, en ce sens qu'elle révèle l'existence de formes communes au Sénonien inférieur à facies de dépôt à Bryozoaires et au Sénonien crayeux.

Le mode de fossilisation des spicules mérite quelques développements. D'une manière générale on trouve un état de conservation donné à un même niveau en quelque point qu'on le considère : A. Les spicules en *opale* à peine modifiée, ayant conservé un canal très étroit, n'existent que dans la craie à *I. labiatus*, mais on les retrouve dans les vallées du Loir et du Cher et jusque près de Loudun, dans la Vienne. Ils sont accompagnés de spicules *calcifiés*. B. Les spicules du Santonien sont le plus souvent *glauconieux*. C. Ceux du Campanien sont *calcédonieux*. Je n'ai garde d'admettre qu'il n'y aurait pas quelques dérogations à cette règle si l'on soumettait un plus grand nombre d'échantillons à l'étude micrographique. Il suffit qu'elle se vérifie d'une façon générale pour qu'il soit intéressant de la mentionner.

Foraminifères. La craie à *I. labiatus* est l'horizon le plus riche en Foraminifères de toute la région étudiée. Elle est essentiellement caractérisée par une faune de Rhizopodes calcaires monothalamiens *(Fissurina* et *Orbulina)*, auxquels s'associent en petit nombre *Textularia*, *Rotalia* et *Globigerina*. Cette faune est celle que l'on trouve au même niveau, en de nombreux points du Bassin de Paris. De toutes les assises considérées en Touraine, *c'est la seule, qui, au point de vue des Foraminifères, se comporte à la façon d'une craie proprement dite.*

Le tuffeau, dit de Touraine, est très pauvre en Foraminifères dans la vallée du Cher; il en renferme une notable proportion dans la vallée du Loir. En ces deux points, il y a association d'individus arénacés et de formes à test calcaire généralement dépoli. Les Orbulines prédominent dans le tuffeau de Touraine.

L'Angoumien se signale tout particulièrement par la grande rareté de ces organismes, sauf dans la vallée du Loir. A Langeais, Saint-Avertin, Cangey et Château-du-Loir, il ne renferme que quelques grands Foraminifères arénacés *(Textularidæ)*. Dans la région de Saint-Paterne le tuffeau angoumien montre ces dernières formes prédominantes, mais associées à des coquilles non arénacées.

Le Santonien présente de notables différences suivant les points considérés : A Langeais, tous les Foraminifères observés sont arénacés. On les retrouve prédominants à St-Avertin mais avec des coquilles monoloculaires. Ils sont en minorité à Cangey, à

partir du calcaire blanc à Bryozoaires. Dans la vallée du Loir, chaque assise comporte la coexistence de formes arénacées et calcaires. On observe dans le banc saccharoïde à *Ostrea auricularis* de petits noyaux microscopiques de composition minéralogique et organique analogue à celle d'une craie glauconieuse, et distincte de celle de la masse dominante de la roche. Les Foraminifères de ces sortes d'enclaves sont uniformément petits et munis d'un test mince ; ce sont des formes de la craie. L'origine de ces noyaux crayeux et des coquilles qu'ils renferment est loin d'être élucidée.

Le Campanien fournit peu de Foraminifères, mais ils sont très intéressants parce que leur étude met en évidence une importante transformation de la faune. Déjà à Langeais, il y a plus de variété dans les formes que dans le Santonien de la même localité ; les coquilles sont de moins grande taille, leur test s'amincit et les *Rotalidæ* se développent avec d'autres formes non arénacées. A Saint-Avertin on voit les Foraminifères arénacés, qui sont prédominants dans le Santonien, disparaître progressivement dans le Campanien.

En résumé, la faune de Foraminifères des dépôts turoniens et sénoniens du Sud-Ouest du Bassin présente de notables modifications dans le temps et dans l'espace. Au fur et à mesure que l'on s'avance vers l'intérieur du bassin on voit s'ajouter des formes à test calcaire d'autant plus nombreuses que l'on s'écarte davantage du détroit du Poitou. Si l'on met à part la craie à *I. labiatus*, on peut dire que cette faune est très différente de celle de la craie. La craie de Vendôme, qu'on serait tenté, en raison de sa position géographique, de considérer comme un trait d'union entre le Crétacé de Touraine et celui du centre du Bassin, ne satisfait pas à cette condition.

3° **Ciment.** A chacun des trois types principaux de roches qui composent le Crétacé étudié correspond un ciment spécial :

A. Celui de la craie est composé de *Coccolithes*, de *Rhabdolithes* et surtout de petits rhomboèdres de calcite.

B. Le ciment de toutes les roches non siliceuses supérieures à la craie ligérienne est presque sans exception un élément de première importance. Il se décompose en *ciment primordial* et en *ciment secondaire*.

a. Dans les descriptions que j'ai données des calcaires à Bryozoaires, j'ai considéré souvent le ciment primordial comme un produit de l'action dynamique des eaux sur les Bryozoaires, mais il est infiniment probable que, dans bien des cas, son origine est double. Le squelette des Bryozoaires est formé d'un mélange intime en proportion très variable d'*aragonite* et de *calcite*. La grande instabilité de l'aragonite et sa transformation très facile en granules de calcite peuvent déterminer la désagrégation du squelette des Bryozoaires ; ces deux facteurs ne sont vraisemblablement pas restés étrangers à l'élaboration du ciment primordial des roches à Bryozoaires de Touraine.

Celui-ci comprendrait alors des particules calcaires d'origine détritique et d'autres dont la formation serait consécutive de la métamorphose de l'aragonite en calcite.

b. Le carbonate de chaux cristallisé qui constitue le ciment secondaire a trois origines:

α. Transformation sur place du ciment originel;

β. Dissolution partielle du carbonate de chaux des organismes et principalement des Bryozoaires, puis précipitation sous forme de calcite agglutinant les éléments minéraux et organiques;

γ. Précipitation du calcaire apporté par des eaux qui s'en étaient chargées *en dehors* de la roche.

On trouve tous les intermédiaires depuis les particules de calcite les plus ténues, isolées en petit nombre dans le ciment primordial, jusqu'aux grands éléments clivés, visibles à l'œil nu et susceptibles de former à eux seuls au moins la moitié de la roche. En ce dernier cas, de volumineux débris organiques sont inclus dans un seul cristal de calcite, et l'on peut observer *un gros rhomboèdre renfermant en son centre un fragment de colonie de Bryozoaire.*

Dans l'étude descriptive que j'ai faite de chaque assise, j'ai maintes fois signalé la présence, dans les roches turoniennes, et plus rarement sénoniennes, de *corps sphériques ovoïdes, cylindriques, ou de forme irrégulière*, dont l'importance est parfois prépondérante. Ils sont composés d'éléments de carbonate de chaux d'une grande finesse, gris, d'aspect sale et comme dépolis. Tous sont calibrés. J'ai eu l'occasion d'étudier de semblables corps en dehors de la Touraine. La conclusion qui découle de l'examen que j'en ai fait est *qu'ils sont le résultat d'une différenciation morphologique du ciment.* Pour le S.-O. du Bassin de Paris, en particulier, on observe dans une préparation donnée, le passage de plages, où le ciment originel est homogène sur une grande étendue, à d'autres plages où il est remplacé par les masses arrondies en question. Sur la zone de transition, les corps globuleux ne sont pas entièrement isolés du ciment. Ces produits de la différenciation du ciment ont la forme d'oolithes, et quand ils sont développés en nombre, ils donnent aux roches qui les renferment un aspect oolithique. Je les nomme *fausses oolithes*, et j'appelle *pseudo-oolithique* la structure qu'ils donnent aux calcaires. Je n'insiste pas davantage sur ce curieux problème de la métamorphose des sédiments calcaires; pour le traiter avec toute l'ampleur qu'il réclame, il est nécessaire de passer en revue des dépôts d'un autre âge que ceux dont il est ici question. Je lui consacrerai un travail spécial que j'ai préparé concurremment avec celui-ci, et dont la publication est très prochaine. J'y reprendrai en détail l'étude de la structure pseudo-oolithique des roches crétacées de Touraine.

C. Le ciment *siliceux* n'a point l'importance des précédents. Il apparaît à la base du Turonien, dans la craie à *I. labiatus* de Château-du-Loir, où il joue un rôle des plus accessoire. Il se développe dans le tuffeau de Touraine (vallée du Cher), où il arrive, par places, à se substituer presque complètement au ciment calcaire. Il disparaît dans

l'Angounien. On le retrouve dans le Santonien (Cangey). Il existe seul, à l'exclusion du calcaire, dans le Campanien riche en débris de Spongiaires (Langeais et Saint-Avertin).

Les différents états de la silice du ciment sont ceux que j'ai décrits pour les dépôts siliceux étudiés dans la première partie de ce mémoire. On y trouve l'*opale gélatinoïde,* l'*opale hyalithique,* l'*opale sphérolithique* et la *calcédoine.* La série est complétée par l'existence de *quartz secondaire*.

Sources de la silice. Toutes les roches qui renferment de la silice étaient plus ou moins siliceuses à l'origine par leurs organismes. La matière siliceuse qui a déterminé leur métamorphose peut avoir trois origines :

A. Une faible proportion a pu prendre naissance sur le fond de la mer suivant le processus indiqué à la page 73.

B. La calcification de nombreux spicules originellement siliceux (craie de Château-du-Loir) montre que les organismes inclus dans les terrains étudiés leur ont parfois fourni une certaine proportion de silice. En aucun cas, sauf dans les parties cherteuses de la craie à *M. turonensis* de Cangey, on n'observe de vides correspondant à des spicules dissous comme dans la gaize.

C. Il existe dans les vallées du Cher et de la Loire, au-dessus des dépôts les plus siliceux étudiés dans ce chapitre — tuffeau ligérien de Bourré et de Montrichard, craies campaniennes de Langeais et de Saint-Avertin — une argile à silex (e_v ou M de la carte géologique) formée en partie de silex non roulés, branchus, de Spongiaires silicifiés, de fossiles de la craie remaniés, dont l'épaisseur peut dépasser 30 mètres. Cette formation renferme les produits de la destruction de couches puissantes où les rognons siliceux et les Spongiaires tenaient une grande place. Tous les terrains siliceux immédiatement surmontés par l'argile à silex et qui ont plus ou moins contribué à sa formation par leur partie supérieure aujourd'hui détruite, renferment encore un grand nombre de spicules. Ceux qui ont disparu en ne laissant comme témoins que les silex et les Spongiaires silicifiés en étaient certainement pourvus. Au fur et à mesure que se poursuivait la dissolution de la craie, des solutions de silice s'élaboraient aux dépens de ces spicules et pénétraient dans les sédiments sous-jacents où se trouvaient disséminés d'innombrables points d'attraction. Les bancs de silex cimentés par une pâte siliceuse en conglomérats et poudingues, que l'on observe dans l'argile à silex témoignent de l'existence des solutions siliceuses en question. Les dépôts énumérés plus haut auraient donc puisé une partie de leur silice en dehors d'eux-mêmes. C'est la conclusion imposée par leur étude minutieuse. L'introduction, dans les couches turoniennes et sénoniennes, de matière siliceuse dont l'élaboration est consécutive de la genèse de l'argile à silex conduit à la notion de silicification très tardive de ces dépôts : Une partie de la silice d'assises d'âge très différent, le tuffeau ligérien, les craies campaniennes, — je pourrais y

ajouter les gaizes cénomaniennes du Cher, étudiées dans la première partie de ce mémoire, — daterait ainsi de l'époque tertiaire.

J'admets, comme pour les gaizes, que la métamorphose de ces terrains a débuté au cours de la sédimentation et qu'elle a continué après leur émersion. Cette seconde phase serait la principale. Elle correspondrait, dans l'histoire du Crétacé de Touraine, à la période qui a donné naissance à l'enveloppe jaune rayée des silex composés de la craie à *I. labiatus* de la vallée du Cher.

Silex et Chert. Il n'y a de *silex* que dans la craie ligérienne. Tous les nodules siliceux du tuffeau de la vallée du Cher, du Santonien et du Campanien sont des *cherts*.

1° Je ne reviens sur la question des silex de la craie à *I. labiatus* que pour souligner à nouveau l'existence de deux temps dans la formation de certains d'entre eux, et pour rappeler que des silex peuvent prendre naissance très longtemps après le dépôt de la craie et sans le secours de la matière organique.

Je voudrais faire remarquer, à propos de la craie à *I. labiatus*, combien on connaît mal les conditions qui sont requises pour que la silice des spicules de Spongiaires soit utilisée pour former des silex. Il n'est pas de craie proprement dite plus prédestinée à posséder de nombreux rognons siliceux que celle de Château-du-Loir, dans laquelle les restes d'Eponges sont répandus à profusion. Pour quelle raison tant de spicules sont-ils restés intacts à côté d'autres qui sont calcifiés; pourquoi la silice qui dérive de formes moins épargnées par la fossilisation s'est-elle uniformément répandue dans la roche à l'état d'opale au lieu de se concentrer en nodules? Peut-être la condition primordiale pour que des silex prennent naissance dans la craie est-elle que les spicules ne soient pas trop nombreux, de façon que les centres d'attraction pour la silice ne soient pas trop multipliés et disséminés un peu partout dans la roche.

2° Je crois avoir mis en évidence qu'il existe deux modes de genèse des cherts : L'accroissement est *exogène* ou *endogène* (pp. 390-392). Ce double processus de développement s'observe également pour les silex.

Réformes à introduire dans la terminologie employée pour désigner les différentes roches de Crétacé du S.-O. du Bassin de Paris. Les différentes formations étudiées dans ce chapitre ont été désignées sous les noms de *craies*, *tuffeaux* et *silex*.

Les raisons que j'ai invoquées, en étudiant les « tuffeaux » tertiaires (p. 149), pour faire disparaître le terme tuffeau de la terminologie des roches sédimentaires s'appliquent, sans restriction, aux dépôts crétacés de Touraine connus sous le nom de tuffeaux.

Les termes génériques qui doivent servir à nommer les différents types de dépôts crétacés du S.-O. du Bassin sont : *craie*, *calcaire*, *gaize*, *spongolithe*, *sable*, *silex* et *chert*.

1° Seules, les couches à *I. labiatus* sont des *craies* :

2° Il faut appeler *calcaires* tous les tuffeaux turoniens, et presque tous les dépôts angoumiens et santoniens. Leurs principales variétés sont les suivantes : Le tuffeau de

Touraine est soit un calcaire pur et simple, soit un calcaire *opalifère,* soit un calcaire passant au chert. La roche anngoumienne de Langeais est un calcaire plus ou moins *quartzeux.* Les dépôts tendres du Santonien sont des calcaires pulvérulents et non des craies. La plupart des calcaires angoumiens de Saint-Georges-sur-Cher sont des calcaires cristallins.

3° et 4° Les dépôts siliceux campaniens (Langeais et St-Avertin) sont des *gaizes* ou des *spongolithes* suivant leur teneur en spicules d'Eponges.

5° On peut distinguer des *sables siliceux* (Angoumien de Saint-Georges-sur-Cher) et des *sables calcaires* (Santonien de Torchay).

6° et 7° Les *silex* sont cantonnés dans la craie ligérienne; il convient de rapporter aux *cherts* les concrétions siliceuses de tous les dépôts de Touraine improprement appelés craies et celles des tuffeaux.

État initial des dépôts étudiés dans ce chapitre. Somme de leurs métamorphoses. Les types de sédiments d'où sont issus les dépôts très variés étudiés dans ce chapitre sont :

1° *Limon crayeux*, pareil à celui qui a donné la craie proprement dite du Bassin de Paris (la composition en sera indiquée plus loin en même temps que celle de la craie en général).

2° *Boue calcaire à Bryozoaires* renfermant un petit nombre de Foraminifères, de débris de Spongiaires, et admettant une proportion très variable d'éléments détritiques.

3° *Boue calcaréo-siliceuse* ou presque exclusivement *siliceuse*, comme dans le Campanien.

Les organismes siliceux inclus dans ces sédiments leur ont fourni de la silice, qui a donné naissance à de nombreuses concrétions (silex et chert), ou à une trame de silice hydratée, et exceptionnellement à du quartz, contribuant dans une large mesure à la consolidation des dépôts.

Les organismes calcaires ou les éléments qui en dérivent directement par voies dynamique et chimique ont été une source de calcite. Le développement de cette variété de carbonate de chaux a souvent profondément modifié la physionomie primitive des boues à Bryozoaires. La calcite est parfois si abondante et si largement cristallisée que le dépôt passe à un calcaire bien plus rapproché des calcaires cristallins inorganiques des terrains primitifs que de la boue à Bryozoaires dont il procède.

Parmi les néoformations, il convient de faire figurer l'orthose, qui n'existe que dans la craie proprement dite, et la glauconie, que l'on rencontre à tous les niveaux en proportion parfois très notable. La genèse de la structure pseudo-oolithique par différenciation morphologique d'un ciment homogène est un des facteurs les plus importants qui ont déterminé la métamorphose des boues à Bryozoaires.

Les organismes ont fait tous les frais des transformations des trois types de boues qui ont donné naissance à une série très variée de dépôts. Les organismes siliceux, presque toujours accessoires ou rares, ont pourtant laissé une profonde empreinte sur les sédiments.

CHAPITRE XI

CRAIE DE L'OUEST ET DE LA BORDURE NORD-OUEST DU BASSIN DE PARIS

Sommaire. — 1. « Craie » de Châteaudun, 407. — 2. « Craie » de Chartres, 408. — 3. Craie de Maintenon, 411 ; Conclusions, 412. — 4. Craie à *M. c. anguinum* de Caumont (Eure), 413. — 5. Craie de Fécamp à *M. c. anguinum*, 413 ; Conclusions, 414.

Il résulte de la longue étude que j'ai consacrée aux dépôts turoniens et sénoniens du S.-O. du Bassin de Paris que si l'on fait exception pour la craie à *I. labiatus* qui occupe une place tout à fait à part dans la série des dépôts de Touraine, il n'existe dans cette région aucun terme de passage à la craie proprement dite. La « craie » de Vendôme indiquée par M. de Grossouvre comme présentant déjà un facies spécial qu'il considère comme un passage à la « craie » de Châteaudun ne diffère en aucune manière des calcaires à Bryozoaires santoniens de la basse vallée du Loir. Je me propose de rechercher dans ce chapitre en quel point les calcaires à Bryozoaires se transforment en craie, et comment s'effectue le passage de l'un à l'autre. Dans ce but, je soumettrai à une étude très sommaire les « craies » de Châteaudun et de Chartres. J'étudierai ensuite quelques craies placées au voisinage de la bordure occidentale du Bassin et par conséquent à l'ouest de la région de Rouen dont j'ai décrit la craie au chapitre VIII.

1° « Craie » de Châteaudun

J'ai étudié deux échantillons de cette roche. Ils ont été mis obligeamment à ma disposition par M. de Grossouvre.

Caractères lithologiques. L'un est un calcaire dur, gris jaunâtre et grossier. Il est originaire de Crocq-de-Marbot, près Châteaudun, où il existe un escarpement d'une trentaine de mètres formé d'une roche que M. de Grossouvre définit « une craie jaunâtre, sableuse, remplie de Bryozoaires, qui se charge peu à peu de silex gris noirâtre » [1].

1. De Grossouvre. Op. cit., p. 509.

M. de Grossouvre n'a pu y distinguer de zones paléontologiques. Il considère l'échantillon en question comme appartenant au niveau du calcaire dur de Villedieu.

L'autre spécimen est une roche grise ou jaune, très tendre, pulvérulente et grossière avec « silex ». On y reconnaît à l'œil nu un grand nombre de Bryozoaires. Il a été prélevé au Moulin St-Denis. M. de Grossouvre l'assimile aux couches à *Micraster turonensis* de Villedieu et à celles de Chartres qui renferment *M. turonensis* et *M. intermedius*.

Bien que d'âge différent, ces « craies » n'ont entre elles que des traits communs. Elles sont presque *uniquement* formées l'une et l'autre de débris de Bryozoaires de toutes tailles et toujours fragmentaires. Ceux que l'on distingue aux plus faibles grossissements, voire même à l'œil nu, constituent les trois quarts de la roche. Quelques grands débris d'Oursins font partie intégrante de chaque préparation. L'autre quart comprend les produits les plus fins de la destruction des Bryozoaires. C'est le ciment. Les *Cyclostomata* paraissent prédominer de beaucoup.

Quant aux autres organismes, ils manquent ou peu s'en faut. Les Foraminifères sont très rares. Ce sont pour la plupart des formes de grande taille arénacées ou non et pourvues d'un test épais. J'ai observé quelques individus monoloculaires. Les coquilles calcaires ont un aspect dépoli très marqué. Toute trace de minéraux fait défaut dans les sections minces.

En résumé, les « craies » de Châteaudun réalisent au plus haut degré le type du dépôt organogène. Elles s'écartent complètement de la craie normale. Ce sont des calcaires à Bryozoaires plus ou moins cohérents.

M. de Grossouvre a attaché une grande importance à la coupe de Châteaudun « parce qu'elle présente le passage du facies de la craie de Villedieu à celui de craie abyssale du Bassin de Paris, passage indiqué par un mélange des faunes des deux facies ». En réalité, la transformation de la faune macroscopique n'entraîne pas de changement apparent dans la composition intime du dépôt : le calcaire de Châteaudun ne diffère de celui de Vendôme que parce que les éléments détritiques sont devenus plus rares. C'est une différence de cette nature qui sépare également le calcaire de Vendôme des dépôts santoniens de la tranchée de Torchay. Le passage du calcaire de Châteaudun à la craie du Bassin de Paris ne paraît indiqué que par quelques organismes macroscopiques.

2° « CRAIE » DE CHARTRES.

J'ai étudié plusieurs échantillons de la « craie » de Chartres. Les uns m'ont été procurés par M. de Grossouvre ; les autres appartiennent à la collection de l'École des Mines. La position exacte de ces derniers est indéterminée. Ceux de M. de Grossouvre font partie des zones à *Micraster intermedius* et à *M. c. anguinum* et *Marsupites*.

A. « Craie » à *M. intermedius*

La roche est grisâtre, très grossière, un peu rugueuse au toucher. L'échantillon étudié est originaire des Mousseaux, au N. de Chartres.

1° **Minéraux.** On ne relève la présence d'aucun minéral dans les sections minces. A poids égal cette « craie » renferme un peu plus d'éléments détritiques que la craie proprement dite du même niveau. Le diamètre du quartz est très variable. Beaucoup de grains dépassent $0^{mm}1$ et peuvent atteindre $0^{mm}2$-3 et même plus. Mais le diamètre moyen des éléments les plus répandus est inférieur à $0^{mm}1$. La glauconie est rare et l'orthose exceptionnelle.

2° **Organismes.** *Mollusques* et *Brachiopodes.* Quelques rares prismes et un très petit nombre de restes plus volumineux de coquilles sont les seuls représentants de ces groupes.

Bryozoaires. Ils forment au moins les trois quarts de la roche. Ce sont des colonies de toutes dimensions, toujours fragmentaires, associées à des éléments ténus faisant partie intégrante du ciment.

Spongiaires. Leurs débris ne sont visibles que dans le résidu. Ils sont glauconieux. Je les décrirai avec ceux du niveau suivant dont ils ne diffèrent que très peu.

Echinodermes. Fragments de test d'Oursins dont la présence est constante dans les coupes minces.

Foraminifères. Ce sont des formes de grande taille pour la plupart, à test arénacé très épais, se rapportant pour la plupart à la famille des *Textularidæ.* Leur importance est très secondaire.

3° **Ciment.** Il représente tout au plus le quart du dépôt. Il est fin, teinté de gris et formé d'une proportion indéterminée des produits ultimes de la destruction des Bryozoaires. Son aspect tend à se rapprocher de celui de la craie.

En résumé, cette « craie » de Chartres ne présente pas les caractères essentiels de la craie proprement dite. Elle en diffère par les Bryozoaires, qui forment le fond de la roche, et par les Foraminifères, très peu répandus et différents des formes pélagiques de la craie typique. C'est un dépôt à Bryozoaires qui se relie de la façon la plus intime aux calcaires à Bryozoaires de la partie occidentale du Bassin.

B. Craie à *M. c. anguinum* et à *Marsupites*

Craie blanche tendre, tachant les doigts; cassure très inégale; surface grenue.

1° **Minéraux.** Le résidu insoluble est presque aussi faible que celui d'une craie; les minéraux détritiques n'y entrent que pour une fraction négligeable. Les plus gros éléments de quartz sont seuls arrondis et mesurent plus d'un dixième de millimètre de diamètre; ils peuvent atteindre $0^{mm}2$-3 et plus. Les grains anguleux prédominent. Leur

diamètre moyen se tient au-dessous de $0^{mm}1$; il est un peu inférieur à celui du quartz du niveau précédent. Les minéraux secondaires n'ont pour représentants que deux ou trois grains de glauconie dans chaque préparation; ils l'emportent de beaucoup sur les minéraux de transport dans le résidu, et sont le plus souvent en relation avec les débris de Spongiaires. L'orthose est très rare. Le rôle que jouent les organismes varie d'un point à l'autre. Ici, ils occupent le tiers d'une plage; là, ils n'en forment pas le dixième.

2° **Organismes.** *Mollusques* et *Brachiopodes.* Chaque coupe mince comprend plusieurs prismes d'Inocérames brisés et quelques fragments plus volumineux de coquilles de Lamellibranches et de Brachiopodes.

Bryozoaires. Ils sont beaucoup moins répandus que dans le niveau précédent, mais ils représentent la masse fondamentale de l'ensemble des organismes. Les colonies sont très divisées; un grand nombre de leurs vestiges sont réduits aux parois qui séparent deux cellules consécutives. Ils prennent part à la composition du résidu insoluble sous la forme de débris de colonies silicifiés.

Spongiaires. Ils étaient relativement nombreux. Ils comprennent des spicules monoaxes, cylindriques, fusiformes, droits ou arqués, formant plus des 9/10 des restes d'Éponges, des spicules de *Tetractinellidæ*, de *Lithistidæ* et d'*Hexactinellidæ :* ceux des deux derniers groupes sont d'une grande rareté. Presque tous les spicules sont incomplets; le plus grand nombre sont glauconieux; quelques-uns sont siliceux.

Foraminifères. Leur nombre est tout au plus d'une vingtaine par section mince. Les grands *Textularidæ* à test arénacé prédominent. On compte quelques formes à test peu épais, du type de ceux qui prennent une large part à la formation de la craie normale. J'ai reconnu *Textularia*, *Rotalia*, *Cristellaria*, *Globigerina*, etc.

3° **Ciment.** Il forme une fraction de la craie qui varie entre un tiers et neuf dixièmes et même au-delà. Il est très fin et très homogène *et ne diffère pas de celui de la craie ordinaire.*

De la composition organique qui précède, on doit conclure que la craie à *Marsupites* et à *M. c. anguinum* des environs de Chartres est différente de la craie du même niveau considérée en beaucoup d'autres points du bassin. C'est une *craie* à Bryozoaires et à ciment très développé. Le fait de la grande prédominance du ciment mérite d'être souligné. La partie supérieure de la craie à *M. c. anguinum* est invariablement caractérisée, dans les points où je l'ai étudiée, par la place très prépondérante réservée au ciment. Cette particularité se retrouve dans la craie de Chartres, bien que sa composition organique soit différente de celle de la craie à Marsupites.

Les échantillons qui font partie de la collection de l'École des Mines sont remarquables par la présence de débris de Bryozoaires plus nombreux que dans les « craies » des deux niveaux précédents ; réunis, ils représentent plus des trois quarts de la roche. Les Foraminifères qui sont assez répandus ne montrent aucune des formes pélagiques de la craie.

Conclusions. Il ressort de cette étude que, malgré l'aspect crayeux qu'il revêt, le Crétacé de Chartres est encore différent de la craie proprement dite. La « craie » des Mousseaux est essentiellement une roche à Bryozoaires dont l'analogie avec la craie est limitée aux caractères lithologiques. Ceci est encore plus vrai pour les spécimens de « craie » de Chartres de la collection de l'École des Mines. Les choses changent d'aspect avec la craie à Marsupites : 1° Les Bryozoaires tiennent incomparablement moins de place en tant que débris reconnaissables au microscope ; 2° Les prismes d'Inocérames qui font partie intégrante de toutes les craies y sont représentés ; 3° Il y a introduction de formes de Foraminifères de la craie ; 4° Le ciment est fin et homogène : c'est un ciment de craie. Bref, les caractères propres aux roches à Bryozoaires de Touraine s'atténuent beaucoup et ceux de la craie apparaissent et se développent. On est donc en présence d'un terme de passage très net entre les dépôts calcaires à Bryozoaires du S.-O. et les sédiments crayeux du Bassin de Paris. Il importe de remarquer que le passage n'est pas indiqué sur toute l'épaisseur du Sénonien des environs de Chartres. Une portion de ce terrain dont l'importance reste à préciser se tient encore à une grande distance de la craie proprement dite et présente d'étroites affinités avec le Sénonien à Bryozoaires de la basse vallée du Loir.

3° CRAIE DE MAINTENON

Les échantillons étudiés appartiennent au niveau supérieur de la craie de Maintenon. Ils m'ont été fournis par M. de Grossouvre qui les rapporte avec quelque doute à la partie moyenne de la craie à *M. c. anguinum*. Ils sont formés d'une craie blanche, légèrement jaunâtre, tendre, pulvérulente, renfermant des silex.

1° **Minéraux.** Le résidu insoluble est très faible comme dans la craie à Marsupites des environs de Chartres et ne représente pas la centième partie du sédiment. Le diamètre moyen du quartz se tient au-dessous de $0^{mm}1$. La glauconie est assez fréquente ; l'orthose est très rare. On n'observe aucune trace de minéraux dans les sections minces.

2° **Organismes.** Leur rôle est subordonné à celui du ciment.

Mollusques. Chaque préparation renferme quelques prismes d'Inocérames cassés.

Bryozoaires. On en rencontre une vingtaine de fragments de colonie par section. La poudre crayeuse enfermée dans les silex creux contient un grand nombre de débris de colonies silicifiées.

Echinodermes. Rares débris de plaques d'Oursins.

Spongiaires. Certaines grandes plages sont formées pour *un quart* de spicules d'Eponges ; ailleurs et dans la même préparation, ils sont beaucoup moins répandus. La plupart des spicules sont calcifiés et alignés dans le même sens. Un assez grand nombre ont disparu en laissant des *vides* qui en reproduisent exactement la forme.

Le résidu insoluble est beaucoup plus pauvre en spicules que celui de la craie des environs de Chartres. Ils sont presque tous glauconieux. En tenant compte des formes calcifiées des sections minces, des individus que l'on trouve dans le résidu, et de ceux qui font partie des poudres crayeuses enfermées dans les silex creux, j'ai pu établir que les spicules monoaxes prédominent de beaucoup et que les *Tetractinellidæ* et *Lithistidæ* comptent un nombre de représentants relativement restreint. La plupart des spicules séparés de la poudre des silex ont des contours très festonnés et sont transformés en calcédoine.

La grande quantité de silice mise en liberté par la dissolution des spicules a donné naissance à des silex. Une partie a silicifié les Bryozoaires et les Foraminifères. La silice des spicules a donc été remplacée par de la calcite, et elle-même s'est substituée au carbonate de chaux des organismes.

Foraminifères. Ils sont assez répandus sans atteindre toutefois le degré de fréquence qu'ils montrent dans la craie blanche ordinaire. Les formes monoloculaires sont relativement abondantes. *Textularia* est très prédominante parmi les individus pluriloculaires. Viennent ensuite *Rotalia*, *Cristellaria*, *Globigerina*. Beaucoup sont en voie de dissolution sur place. Le résidu insoluble et surtout la poudre crayeuse extraite des silex creux montrent des Foraminifères silicifiés. Ce sont les formes les plus délicates qui ont été pseudomorphosées par la silice.

3° **Ciment.** Il présente une fraction de la roche variant de la moitié aux deux tiers. Il revêt la physionomie du ciment des craies proprement dites.

Conclusions. La craie de Maintenon est une *craie à Bryozoaires et à débris de Spongiaires.* Elle se trouve à un stade beaucoup plus rapproché de la craie blanche que celle des environs de Chartres. Que les débris de Bryozoaires perdent un peu de leur fréquence et que les Foraminifères continuent à se multiplier et le type craie sera parfaitement réalisé.

La transformation de la faune macroscopique du Santonien déjà indiquée près de Vendôme, et beaucoup plus manifeste à Châteaudun, n'a pas de répercussion sensible dans la composition intime du Crétacé de ces régions. Il faut arriver à la vallée de l'Eure pour trouver les termes de passage cherchés entre les dépôts à Bryozoaires du Sud-Ouest du Bassin de Paris et la craie proprement dite. On peut dire qu'elle les offre tous: Elle montre des roches d'apparence crayeuse, pétries de Bryozoaires, qu'on ne peut hésiter un seul instant à confondre avec les calcaires à Bryozoaires de la vallée du Loir, plutôt qu'avec la craie. Elle renferme des termes moyens où l'on assiste à l'introduction de Foraminifères pélagiques de la craie en même temps qu'à une notable réduction du nombre des Bryozoaires qui deviennent des organismes accessoires. Elle montre enfin d'autres stades de passage caractérisés par la présence d'un grand nombre de Rhizopodes propres à la craie et par la rareté des vestiges de Bryozoaires.

Ces différents termes s'observent sur une aire de faible étendue entre Chartres et Maintenon, mais il importe de noter que la connaissance des différents niveaux de la craie de cette région est imparfaite, et qu'il se peut que la craie de Maintenon étudiée ne corresponde pas à une transformation latérale de la craie de Chartres et qu'elle prenne place à un niveau un peu supérieur à cette dernière.

4° CRAIE A *Micraster cor anguinum* DE CAUMONT (EURE).

Craie très grossière, gris jaunâtre, montrant à l'œil nu de petits éléments à cassure spathique.

1° **Minéraux.** Les sections minces renferment quelques grains anguleux de phosphate de chaux, du type de ceux que MM. Renard, J. Cornet et Strahan ont considérés comme des fragments de tissu osseux.

Organismes. Leur rôle est sensiblement égal à celui du ciment. Ils sont distribués d'une façon très irrégulière.

Bryozoaires représentant de un quart à un tiers de la roche en éléments de toutes dimensions dont les plus volumineux mesurent 1/2 mm.

Echinodermes. 1/5 environ de la craie est formé de plaques d'Oursins complètes ou brisées, parfois réduites en miettes et mesurant jusqu'à 1/2 cm.

Spongiaires. Quelques spicules calcifiés.

Foraminifères. Ils n'interviennent aujourd'hui dans la composition de la craie que dans une très faible proportion, mais chaque préparation fournit la preuve que des coquilles ont disparu par dissolution. Il y a association de grands *Textularidæ* à test arénacé et de *Textularia, Rotalia, Globigerina* de petite taille et à test mince. Les premiers sont relativement fréquents.

3° **Ciment.** Il représente la moitié du dépôt. C'est un ciment de craie typique.

La craie à *M. c. anguinum* de Caumont est une *craie à Bryozoaires et à débris d'Oursins*, se rattachant aux calcaires santoniens du S.-O. du Bassin de Paris par ses Bryozoaires et bon nombre de ses Foraminifères, et passant à la craie proprement dite par une partie de ses Rhizopodes et son ciment.

5° CRAIE DE FÉCAMP A *Micraster cor anguinum*

Craie grossière, tendre, pulvérulente; la poudre qui s'en détache par pression est très rugueuse au toucher. J'ai recueilli les échantillons étudiés à l'ouest de la faille de Fécamp, à un niveau assez élevé de la craie à *M. c. anguinum.*

1° **Minéraux.** On n'en observe aucune trace dans les sections minces.

2° **Organismes.** Ils forment au moins les trois quarts de la craie. Les *Bryozoaires* en représentent à eux seuls les 5/8. Les débris de colonies que l'on rencontre dans les préparations mesurent jusqu'à 3mm. Ils sont fragmentaires et montrent tous les intermédiaires comme dimensions entre ceux que l'on discerne à l'œil nu et les parties les plus ténues du ciment. On trouve avec eux des morceaux de coquilles de Lamellibranches et de Brachiopodes, quelques prismes d'Inocérames associés à de rares plaques d'Oursins.

Les *Foraminifères* sont ici des organismes très accessoires. On en trouve un de-ci, de-là intercalé entre les débris de Bryozoaires. Leurs formes sont celles de la craie ordinaire. Ils sont complets ou brisés. Quelques plages d'étendue très limitée composées de Bryozaires plus rares et de fragments de Foraminifères plus nombreux revêtent davantage l'aspect de la craie blanche normale. Les grands Rhizopodes à test arénacé font défaut.

3° **Ciment.** Son importance est très subordonnée à celle des organismes. C'est un ciment de craie blanche ordinaire. On est ici en présence d'un excellent type de *craie à Bryozoaires.*

Conclusions. L'étude des deux dernières craies met en relief le grand rôle joué par les Bryozoaires à l'ouest du méridien de Rouen. Lorsque les grands Foraminifères à test arénacé sont nombreux comme dans la craie de Caumont, le dépôt présente d'étroites affinités avec les calcaires santoniens de la vallée du Loir; lorsqu'ils disparaissent comme dans la craie de Fécamp, on passe à une véritable craie très chargée de Bryozoaires.

On peut conclure à l'existence, à l'Ouest du Bassin, de craies intermédiaires par leur composition organique, entre la craie blanche normale et les calcaires à Bryozoaires comme ceux du Santonien de la Touraine. Les affleurements les plus occidentaux du Sénonien dans cette partie du Bassin se rattachent à la zone de transition entre les calcaires à Bryozoaires et à grands Foraminifères à test arénacé et la craie à Foraminifères pélagiques.

CHAPITRE XII

RÉSULTATS GÉNÉRAUX DE L'ÉTUDE DE LA CRAIE DU BASSIN DE PARIS

Sommaire. — I. Constitution de la craie. — 1°. **Minéraux**, 416. A. Eléments détritiques, *a*. Minéraux *proprement dits*, 417. *b*. *Galets*, 418. *Origine des galets de la craie du Nord*, 420. *Modes de transport des* galets à l'époque actuelle, 421. Plantes, 421. Animaux, 422. Courants, 423. Glaces, 423. Modes de transport proposés pour la craie du Nord, 423. *c*. Bois fossile dans la craie, 425. B. Minéraux secondaires, 426. *a*. Glauconie, 426. *b*. Phosphate de chaux, 427. Objections contre l'hypothèse du transport des grains de phosphate des côtes vers la haute mer, 428. Explication nouvelle de la formation des gisements de phosphate de la craie du Bassin de Paris, 430. Connexion entre les gisements de phosphate du Crétacé supérieur du Bassin de Paris et les grandes ruptures d'équilibre de la mer crétacée, 432. *c*. Orthose, 432. *d*. Leverrierite, 435. *e*. Calcite, 437. *f*. Pyrite, Limonite et Oxyde de manganèse, 438. *g*. Quartz, 439. *h*. Opale, 440. *i*. Silex, 440. Destinées de la silice des roches calcaires; phénomènes de divergence et de convergence présentés par les dépôts calcaires, 442. — 2° **Organismes**, 444. Mollusques et Brachiopodes, 444. Bryozoaires, 444. Ostracodes, 445 Echinodermes, 445. Anthozoaires, 446. Spongiaires, 446; Distribution dans le temps des différents groupes de spicules, 447; Etat de conservation des spicules, 448; Variations du volume des spicules, 449. Examen comparatif des débris de Spongiaires de la craie avec ceux du S.-O. du Bassin, 449. Radiolaires, 450. Foraminifères, 452. Diatomées, 458. Coccolithes et Rhabdolithes, 458. Organismes de position systématique indéterminée, 459. — 3° **Ciment**, 461. Proportion du ciment dans chaque craie, 461. Origine du ciment, 462. Éléments calcaires d'origine chimique, 462. Carbonate de chaux d'origine extrinsèque, 464. Existe-t-il dans la craie du carbonate de chaux résultant d'une précipitation chimique contemporaine de la sédimentation? 464. Conclusions, 467. — 4° **Composition chimique de la craie**, 468. Carbonate de chaux, Silice, Argile, Manganèse et Phosphate de chaux, 468.

II. Place de la craie dans la série des sédiments marins, 468. De la nécessité de distinguer trois catégories de dépôts dans les formations sédimentaires anciennes. *Dépôts benthogènes*, 470.

III. Diagnostic des différentes craies au moyen du microscope, 471.

IV. Modifications subies par la craie dans sa composition organique après son dépôt. Conséquences, 472. Destruction des Foraminifères de la craie, 472. Fragmentation et destruction des coquilles de Foraminifères dans les mers actuelles, 473. Pluralité d'origine de l'état fragmentaire des Foraminifères de la craie, 474. Causes de la fragmentation originelle des coquilles de Foraminifères, 474. Destruction des coquilles de Foraminifères par voie de dissolution longtemps après la sédimentation, 477. Conséquences au point de vue de la composition du ciment, 478. Rôle conservateur des milieux marneux, phosphatés et quelquefois siliceux en faveur des microorganismes, 478. Conséquences de la conservation des microorganismes dans les milieux de nature spéciale au point de vue de la composition organique originelle de la craie, 483.

V. Transformation de la texture de la craie. Structure noduleuse, 485. Bancs durcis 487.

VI. Tableau des métamorphoses de la craie dans le temps, 488

Je ferai connaître dans ce chapitre : I. Les éléments qui prennent part à la constitution de la craie. II. La place de la craie dans la série des sédiments marins. III. Le diagnostic des différentes craies au moyen du microscope. IV. Les modifications subies par la craie dans sa composition organique après son dépôt et leurs conséquences. V. Les transformations de la texture de la craie. VI. Le tableau des métamorphoses de la craie dans le temps.

I° CONSTITUTION DE LA CRAIE

Je passerai successivement en revue : 1° les minéraux ; 2° les organismes ; 3° le ciment ; 4° la composition chimique de la craie.

1° MINÉRAUX

Le résidu minéral ne tient une place notable dans la constitution de la craie que dans le Nord et surtout dans le S.-O. du Bassin parisien.

J'ai réuni dans le tableau suivant les chiffres indiquant la teneur de chaque assise en minéraux insolubles, mais seulement pour les craies étudiées en séries [1]. Ces données sont suivies pour chaque niveau, du diamètre moyen des grains de quartz.

ASSISES A	NORD		BRAY		ROUEN		S.-E	
	RÉSIDU	DIAMÈTRE MOYEN	RÉSIDU	DIAMÈTRE MOYEN	RÉSIDU	DIAMÈTRE MOYEN	RÉSIDU	DIAMÈTRE MOYEN
Bélemnitelles	»	»	Le résidu débarrassé de l'argile est toujours inférieur à 1 %	0 mm 05	La proportion de minéraux débarrassés de l'argile est toujours inférieure à 1 % à partir de la craie à *I. labiatus*	»	La proportion de minéraux débarrassée de l'argile est inférieure à 1 % pour tous les niveaux	0 mm 06
M. c. anguinum . . .	moins de 1 %	0 mm 05		0,05		0,07		0,04
M. c. testudinarium .	2	0,06						
	1,39	0,07-8		0,05-6		0,06		0,07
	3,45	0,12						0,04
M. breviporus	5,99 et 9,6	0,12	2,35	0,05-6		0,06-7		0,08
	4,42	0,1						
T. gracilis	43,25 (1,6)	0,07-8	6	0,05 6		0,08-9		0,06
I. labiatus	44,7 (1-2)	0,06-7				0,08-9		»
Act. plenus	»	»	»	»		0,12		»

On voit à l'inspection de ce tableau que le résidu minéral, débarrassé de l'argile, augmente dans le Nord depuis la base du Turonien jusqu'au sommet de cet étage. Il diminue ensuite progressivement jusqu'aux couches les plus élevées du Sénonien de la région.

Dans le Bray, les environs de Rouen et l'Yonne, le résidu minéral est toujours inférieur à 1 % à partir de la craie à *I. labiatus*. Il se tient même le plus souvent très au-dessous de ce chiffre. Il est presque nul dans l'Yonne.

1. Les chiffres très élevés donnés pour les assises à *I. labiatus* et à *T. gracilis* tiennent à la forte proportion d'argile qu'elles renferment. Il en est de même pour le Turonien du Bray. Ceux qui les accompagnent entre parenthèses concernent les minéraux insolubles débarrassés de l'argile. Pour tous les autres niveaux, l'argile a été défalquée du résidu indiqué.

En dehors du Nord, le diamètre moyen des éléments de quartz varie très peu. Il est sensiblement constant dans le Bray. Le Turonien de la région de Rouen montre une légère décroissance au fur et à mesure qu'on s'élève dans ce terrain. La série de l'Yonne accuse quelques oscillations très secondaires entre deux termes extrêmes qui sont identiques.

Dans le Sud-Ouest du Bassin, comme dans le Nord, le résidu minéral et le diamètre moyen du quartz augmentent progressivement de la base au sommet du Turonien et diminuent dans le Sénonien.

A. ÉLÉMENTS DÉTRITIQUES

Cette catégorie comprend des minéraux proprement dits, des galets et du bois fossile.

a. Minéraux proprement dits

Le *quartz* occupe le premier rang dans ce groupe. A côté des grains dont on connaît déjà le diamètre moyen on trouve, à tous les niveaux, des éléments mesurant plusieurs dixièmes de millimètre de diamètre. Les craies les plus fines et les plus pauvres en résidu de minéraux de transport renferment sans exception un certain nombre de grains de quartz arrondis de $0^{mm}2$-3-4 de diamètre et parfois davantage. Les principales manières d'être que ce minéral présente dans la craie sont les suivantes :

1° Grains arrondis très dépolis ; 2° grains anguleux dont les saillies et les angles sont émoussés ; 3° esquilles et éclats dépourvus de toutes traces d'usure ; 4° agrégats ; 5° cristaux. Les éléments de la deuxième catégorie représentent la masse fondamentale du groupe. Les agrégats paraissent cantonnés dans la partie septentrionale du Bassin. Ils y sont parfois abondants. On les rencontre en petit nombre dans le Bray. Parmi les cristaux, il en est qui ont été formés *in situ* ; j'en reparlerai à propos des minéraux secondaires.

Les principales espèces minérales clastiques qui accompagnent le quartz sont :

Zircon, tourmaline [1], *rutile, magnétite, orthose, feldspath plagioclase, anatase, brookite, chlorite, staurotide, grenat, apatite, corindon, ilménite, disthène,* et plusieurs minéraux indéterminés.

---

1. Beaucoup de représentants de cette espèce sont de conservation tellement parfaite qu'on pourrait être tenté de les considérer comme formés *in situ*. Tout récemment, M. W. Deecke a observé dans la craie sénonienne de Finkenwalde, de la tourmaline très fraîche avec des faces si bien conservées qu'il admet qu'elle est secondaire. [Die mesoz. Form , etc. *Mitth. d. naturw. Ver. für Neu-Vorpommern und Rügen*, Greifswald, p. 52 (1894)]. De la tourmaline considérée comme secondaire avait été signalée en 1880 par M. A. Wichmann dans des sables oligocènes de Teutschenthal, près de Halle. [(Turmalin als authigener Gementheil von Sanden, *Neues Jahrb. für Min.*, vol. 2, pp. 294-297 (1880)]. Les formes de la craie du Bassin de Paris sont *détritiques*, qu'elles soient roulées, brisées ou intactes. J'incline à penser qu'il doit en être de même des cristaux étudiés par MM. Wichmann et Deecke.

Des différentes remarques dont ces éléments peuvent être l'objet, je ne retiendrai que les suivantes :

1° L'étude attentive de certaines espèces comme le zircon, la tourmaline, conduit à la notion de pluralité d'origine des minéraux clastiques de la craie. Des roches cristallines et schistocristallines et des formations sédimentaires préexistantes, telles que des quartzites, etc., ont fourni les matériaux détritiques de la craie.

2° Le zircon est remarquable par une extraordinaire variété de formes dont une partie seulement ont été représentées sur la planche X.

3° Les trois modalités distinctes de l'oxyde de titane ont une grande diffusion dans la craie.

4° Certains de ces minéraux ne sont pas connus dans tout le Bassin : le disthène, par exemple, ne pénètre pas dans le Nord.

5° La comparaison de cette liste de minéraux détritiques avec ceux du Crétacé du S.-O. du Bassin accuse des différences importantes. Dans cette dernière région, la staurotide est toujours abondante ; le disthène, l'andalousite et le corindon sont relativement fréquents. Ces éléments sont rarissimes ou absents dans la craie.

b. Galets de la craie

Bibliographie. Bien avant que je n'appelle l'attention sur les nombreux galets de la craie du Nord de la France, plusieurs naturalistes anglais avaient signalé l'existence de volumineux matériaux détritiques dans la craie d'Angleterre.

Dès 1833, Mantell [1] mentionnait la présence de petits éléments de quartz dans la craie du Kent.

En 1858, Godwin-Austen [2] nota celle de galets de granite dans la craie blanche de Purley, de blocs de basalte dans la craie d'Irlande et de sphéroïdes aplatis de syénite dans la craie d'Antrin ; Dixon [3] signala l'existence de fragments arrondis de grès dans la craie supérieure du Sussex.

En 1873, MM. Sollas et Jukes-Browne [4] ont reconnu dans l'Upper Greensand de Cambridge des roches atteignant quelquefois de grandes dimensions (granit, gneiss, basalte, roches sédimentaires) et de forme subangulaire.

M. Ch. Barrois cita, en 1884, la découverte, faite par M. Topley, d'un galet de houille dans la craie de Douvres.

---

1. MANTELL. The Geology of the S.-E. of England, p. 343, London, 1833.
2. GODWIN-AUSTEN. On a Boulder of Granit, etc. *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol. 14, pp. 252-267 (1858).
3. DIXON in GODWIN-AUSTEN. Op. cit. (1858).
4. J. SOLLAS and J. JUKES-BROWNE. On the Included Rock-Fragments, etc. *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol. 29, pp. 11-17 (1873).

La même année, MM. Gosselet et Ch. Barrois [1] mentionnaient la présence de cailloux roulés dans la craie du Nord. M. de Mercey possédait déjà à cette époque une collection de galets de la craie de la Somme.

J'ai parlé pour la première fois des galets de la craie du Nord dans les notes que j'ai consacrées en 1891 à la comparaison de la craie et de la Boue à Globigérines [2]. Quelques mois après leur publication, M. Ch. Janet [3] relevait l'existence dans la craie des environs de Beauvais de deux galets de quartzite nettement roulés, l'un mesurant 4^{cm} et l'autre 2^{cm}. Ils ont été recueillis dans les craies à *M. c. testudinarium* et à *Marsupites*.

Galets de la craie du Nord. Le nombre des échantillons que j'ai pu étudier s'élève à 77. Presque tous sont originaires de la craie des environs de Lille. Quelques-uns ont été recueillis dans le Sud du Cambrésis et dans la Somme [4].

Les craies blanches du Nord, même les plus pures, renferment des galets. On les trouve depuis la craie à *Micraster breviporus* jusque dans l'assise à *M. c. anguinum*; la très grande majorité de ceux que j'ai pu réunir appartiennent à l'assise à *M. c. testudinarium* [5]. Je ne crois pas qu'on doive en conclure que ce niveau de la craie soit le gisement favori des galets. On les y trouve en plus grand nombre parce que c'est la seule craie activement exploitée dans le pays.

Le poids de ces éléments est essentiellement variable. Le plus gros pèse environ 300 gr. Celui du plus grand nombre est compris entre 8 gr. et 2 gr. Il en est qui descendent au-dessous de 1 gr. Leur forme est également sujette à des variations. En général, ils sont parfaitement arrondis. Quelques-uns sont anguleux avec saillies émoussées. Tous ont bien le caractère de roches longtemps ballottées par les flots : ce sont des galets dans l'acception propre du mot.

Description des galets. Je ne les étudierai que d'une façon très sommaire. Les plus remarquables sont les suivants :

Quartzophyllade vert zoné, de forme anguleuse avec arêtes arrondies. Il est encore engagé dans sa gangue. Son poids est approximativement de 300 gr. Cet échantillon a été recueilli par M. Fockeu [6] dans

---

1. CH. BARROIS. Galets trouvés dans la craie, *Ann. Soc. G. N.*, vol. 11, p. 102 (1884).

2. L. CAYEUX. La craie du Nord et la Boue à Globigérines, *Ann. Soc. G. N.*, vol. 19 pp. 95-102 (1891).
L. CAYEUX. La craie du Nord est bien un dépôt terrigène. Id. vol. 19, pp. 252-260 (1891).

3. CH. JANET. Note sur les conditions, etc. *B. S. G. F.*, 3^{e} S., vol. 19, pp. 903-914 (1891).

4. Si cette partie de mon travail présente quelque intérêt, c'est à M. R. Crespel qu'il faut attribuer tout le mérite. Il a bien voulu mettre sa collection à ma disposition et procéder à de nombreuses recherches à mon intention. Je n'ai garde de laisser échapper l'occasion de l'en remercier une fois de plus. Presque tous les galets et les plus curieux que j'ai examinés ont été recueillis par lui. J'en ai trouvé un d'un grand intérêt dans les collections de la Faculté des Sciences de Lille. M. Parent m'en a également fourni quelques-uns. Un très petit nombre sont ma propriété.

5. Je laisse de côté les nombreux galets que renferme la craie marneuse à *T. gracilis* de Chercq, près Tournay. Leur origine est toute locale.

6. FOCKEU. Quartzophyllade silurien, etc., *Ann. Soc. G. N.*, vol. 12, p. 401 (1885).

une craie déterminée comme craie à *M. c. anguinum*, mais qui est grossière, glauconieuse et parsemée de petits rognons de phosphate. Ses caractères sont plutôt ceux de la base de la craie à *M. c. testudinarium*.

Quartz gras arrondi, 236 gr. (craie à *M. c. testudinarium*).

Schiste verdâtre; l'élément incomplet a laissé une empreinte elle-même incomplète mesurant 14cm sur 8cm. On ne peut distinguer cette roche de certains schistes verts du Dévonien de l'Ardenne (Craie à *M. c. testudinarium*).

Quartzite gris, perforé en plusieurs points, identique aux quartzites de la zone de Revin, 23 gr. (1er Tun).

Quartzite gris montrant un cube de pyrite. La ressemblance avec les quartzites de Revin est encore plus frappante, 10 gr.

Portion d'un énorme galet de *schiste* vert, fixé dans sa gangue et rappelant les schistes verts du Dévonien inférieur de l'Ardenne (craie à *M. c. testudinarium*).

Phyllade vert, fissile, criblé de larges perforations à section circulaire et à terminaisons hémisphériques (craie à *M. c. testudinarium*).

Grès glauconieux à grain assez grossier, 20 gr. 5.

Phtanite noir parcouru par quelques fines veinules de quartz blanc, 7 gr.

Les autres échantillons que je renonce à soumettre à une revue détaillée sont principalement des *quartzites*. Les galets de *quartz* sont au nombre de 15. Les éléments de *schiste* sont plus rares. Plusieurs spécimens restent indéterminés. Les roches cristallines proprement dites et les schistes cristallins n'ont fourni aucun débris.

Origine des galets de la craie du Nord. Dès 1891, j'ai été frappé de la grande ressemblance et parfois de l'identité de certains galets avec des roches primaires de l'Ardenne, et j'ai dit à cette époque que « rien ne s'oppose à ce que cette région soit considérée comme le point d'origine d'une partie d'entre eux »[1]. Cette conclusion me paraît s'imposer davantage aujourd'hui. Il est bien entendu qu'il ne s'agit pas de l'Ardenne limitée à l'aire de ses affleurements actuels, mais de toute la bordure septentrionale du Bassin de Paris où émergeaient à l'époque crétacée les terrains anciens prolongeant l'Ardenne paléozoïque de nos jours.

M. de Grossouvre[2] m'a objecté en 1892 que les galets trouvés dans la craie n'ont pas un cachet d'origine assez net pour qu'on ne puisse imaginer une tout autre provenance. Il en est ainsi, a-t-il dit, pour ceux qu'il a eu l'occasion d'examiner. Il en est tout autrement pour ceux que j'ai étudiés.

1° Il importe tout d'abord de remarquer que le nombre de ces éléments ne se réduit pas à quelques unités, mais qu'il est au contraire très élevé (77). Les termes de comparaison sont en nombre suffisant pour que mes conclusions ne soient point hasardées.

2° Il est impossible de trancher la question des affinités de ces galets avec les roches de l'Ardenne sans connaître celles-ci jusque dans tous leurs détails. Or, c'est après de nombreuses courses faites en Ardenne avec M. Gosselet, c'est après avoir comparé ces galets à un nombre considérable d'échantillons de tous les niveaux de l'Ardenne,

1. L. CAYEUX. La craie du Nord, etc., *Ann. Soc. G. N.*, vol. 19, p. 97 (1891).
2. DE GROSSOUVRE. Sur les conditions, etc., *Ann. Soc. G. N.*, vol. 20, p. 4 (1892).

réunis à la Faculté des Sciences de Lille par les soins de mon maître, que je me suis prononcé pour l'origine ardennaise.

MODES DE TRANSPORT DES GALETS A L'ÉPOQUE ACTUELLE. On a fait appel à différents agents de transport pour expliquer la présence de galets au sein de la craie. Avant de faire choix du véhicule qui a assuré la dispersion de ceux de la craie du Nord, il me paraît indispensable de passer en revue les différents moyens de transport des galets à l'époque actuelle.

1° **Transport par les plantes.** Darwin raconte que Chamisso, le naturaliste qui accompagnait Kotzebue, a constaté que les habitants de l'archipel Radack, groupe d'îles coralliennes situées au milieu du Pacifique, se procuraient les pierres nécessaires pour aiguiser leurs outils en fouillant les racines d'arbres amenés par la mer sur les côtes de leurs îles [1]. Or ces dernières se trouvent à des distances énormes de toutes terres autres que des îles coralliennes [2].

Le capitaine Ross a trouvé dans un petit atoll du groupe Keeling, à 600 milles de Sumatra, un morceau de grès arrondi un peu plus gros que la tête d'un homme et qu'il dit avoir été transporté dans les racines de quelque gros arbre.

Dans son voyage à la Terre de Feu, Darwin a observé une algue *Macrocystis pyrifera* Hook. qui croît sur tous les rochers jusqu'à une grande profondeur, sur les côtes et dans les canaux intérieurs. Quelques-unes de ces plantes réunies sont assez fortes pour soulever de grosses pierres sur lesquelles elles poussent, et cependant certains de ces éléments sont si lourds *qu'un homme ne pouvait les sortir de l'eau* pour les placer dans un canot. Si l'on ajoute que cette plante a été trouvée avec une longueur de 360 pieds par le capitaine Cook à la terre de Kerguelen, et que le Dr Hooker la signale avec 700 pieds de longueur dans sa flore antarctique, on peut se faire une idée de la grande puissance de transport de ces végétaux.

Lyell raconte que le Dr Beck a constaté que *Ficus vesiculosus* est susceptible d'enlever des pierres de *plusieurs pieds* de diamètre que les vagues rejettent sur le rivage. On rencontre souvent cette plante flottant avec des coquilles fortement adhérentes, à des centaines de milles de son point d'origine.

Plus récemment, en 1888, M. Ball [2] a eu recours à des plantes marines pour expliquer le transport de fragments de granit et d'autres roches que renferme le calcaire carbonifère des environs de Dublin. A la suite de cette hypothèse, M. de Rance rapporta le fait curieux que des fragments anguleux de calcaire ont été trouvés attachés à des racines de Laminaires dans la Nouvelle Galles du Nord.

---

1. CH. DARWIN. Voyage d'un naturaliste autour du monde, trad. Ed. Barbier, 2e éd. p. 492 (1883).
2. On a dû en trouver plusieurs fois puisque la loi du pays ordonne qu'elles appartiennent aux chefs.
3. V. BALL. On the probable Mode of Transport, etc. *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol. 44, pp. 371-375 (1888).

Anson a mentionné la présence en mer de plantes marines flottant avec des pierres qui leur sont attachées.

Comme on le voit, les plantes sont d'excellents agents de transport. Aussi un certain nombre de géologues anglais, parmi lesquels il convient de signaler Lyell, ont-ils fait intervenir les végétaux pour expliquer l'existence de gros galets dans la craie. Lyell [1] considérait la découverte d'un peu de bois fossile dans les points où la craie renferme des galets, comme un argument sérieux en faveur de leur intervention.

En 1891, M. Ch. Janet [2] a considéré comme possible la dispersion des galets de la craie par bois flotté.

2° **Transport par les animaux.** A. *Animaux aquatiques.* Godwin-Austen [3] est le premier qui ait fait concourir les animaux au transport des galets de la craie. En 1858, il rappelle qu'il y a déjà plusieurs années que Delongchamps a fait remarquer que les crocodiles actuels ont l'habitude d'avaler des galets ; quelques pierres arrondies trouvées dans des couches oolithiques de Normandie pourraient même suivant Delongchamps avoir été introduites dans ce terrain par les reptiles de l'époque.

Le même géologue nous apprend que Bowerbank (p. 258) avait déjà observé que les requins avalent de petites pierres. A ce sujet Godwin-Austen fait remarquer qu'ils ont pu être un agent de dissémination des galets de la mer crétacée.

D'après M. Murray [4], les phoques emportent dans leur estomac un grand nombre de pierres et de galets roulés.

L'idée de faire transporter les galets de la craie par des animaux nageurs est donc très ancienne. M. Ch. Janet la reprit en 1891, et rappela que M. Sauvage a trouvé à plusieurs reprises de petits cailloux dans l'estomac des squales des parages de Boulogne. Il signale une observation fort curieuse de Georges Bennett [5], sur deux énormes *Carcharias leucas* capturés à Sydney, et qui démontre péremptoirement la possibilité de faire transporter par des squales des matériaux d'un gros volume.

Récemment M. Léon Vaillant [6] a trouvé des pierres dans l'estomac des turbots et des congres.

De nombreux exemples démontrent donc que les animaux et notamment les poissons se chargent de pierres. D'où l'idée de les faire intervenir pour rendre compte de l'existence de galets dans les terrains extrêmement pauvres en matériaux détritiques comme la craie. MM. de Mercey et Ch. Janet sont d'accord pour proposer ce mode de transport pour ceux de la craie de la Somme et de l'Oise.

---

1. CH. LYELL. Elements of Geology, 6e éd., p. 321 (1865).
2. CH. JANET. Op. cit., p. 904 (1891).
3. GODWIN-AUSTEN. Op. cit., p. 257 (1858).
4. J. MURRAY and A. F. RENARD. Report Challenger. Deep-sea Deposits, p. 323 (1891).
5. Dr G. BENNETT. Note on Sharks, etc. *Proc. Zool. Soc. New South Wales*, p. 223 (1859).
6. LÉON VAILLANT. Sur la possibilité du transport, etc. *B. S. G. F.*, 3e S., vol. 20, pp. 101-114 (1892).

B. *Oiseaux*. M. J. Murray [1] a observé la présence de cailloux dans l'estomac des pingouins.

3° **Transport des galets par les courants**. D'après David Forbes [2], au cours de l'expédition du Porcupine en 1869, on a trouvé sur des fonds variant de 1215 à 1443 brasses, au N.-O. de l'Irlande et à de grandes distances de la côte, des cailloux et du gravier, venus selon toute apparence de l'Irlande ou de l'île Jan Mayen. David Forbes fait remarquer que l'intervention des courants marins de la région suffit pour expliquer le transport de ces éléments.

4° **Transport par les glaces**. On sait que les icebergs servent de véhicule à des matériaux solides emprisonnés dans la glace sur les côtes, et qu'ils transportent parfois à des distances considérables.

Godwin-Austen n'a pas hésité à recourir aux glaces flottantes pour expliquer la présence de galets dans la craie blanche. Dès 1851, le professeur Haughton [3] avait admis que c'était la glace qui avait transporté les fragments anguleux de granit et d'autres roches incluses dans le calcaire carbonifère de Dublin. Les faits relevés par Godwin-Austen [4] à Purley, sont des plus singuliers. On a trouvé dans la craie blanche de cette localité un bloc arrondi de granit dont le diamètre dépassait un pied anglais. Ce bloc était accompagné d'une série d'éléments plus petits et roulés et d'une sorte de sable granitique. Pour Godwin-Austen, il n'y a que des glaces qui puissent emporter un semblable mélange d'éléments de toutes dimensions. Le granit a été reconnu par Forbes comme une roche de Scandinavie.

MM. Sollas et Jukes-Browne [5] ont également eu recours aux glaces flottantes pour rendre compte de la présence de roches très variées dans l'Upper Greensand de Cambridge. Ces roches ne sont connues qu'à de grandes distances de Cambridge; elles viennent du nord et en particulier de l'Ecosse, où se trouvent réunies toutes les variétés reconnues dans l'Upper Greensand. Un certain nombre ont, paraît-il, de frappantes analogies avec des roches de Norwège.

M. Ch. Janet considère les glaçons comme un véhicule possible pour les deux galets qu'il a trouvés dans la craie des environs de Beauvais.

Modes de transport proposés pour la craie du Nord. Des agents de transport dont l'intervention a été invoquée pour les galets de la craie, on peut éliminer immédiatement les glaces flottantes.

1. Ch. Lyell [6] a fait observer que l'hypothèse de l'intervention des glaces pour le

1. J. MURRAY and A. F. RENARD. Op. cit., p. 322 (1891).
2. DAVID FORBES in W. THOMSON. Les Abîmes de la Mer, trad. Lortet. Appendice C, p. 439 et suiv. (1875).
3. HAUGHTON in V. BALL. Op. cit. (1888).
4. GODWIN-AUSTEN. Op. cit. (1858).
5. SOLLAS and J. JUKES-BROWNE. Op. cit. (1873).
6. CH. LYELL. Elements of Geology, 6e éd., p. 321 (1865).

transport des pierres roulées de la craie est incompatible avec les conditions de climat de l'époque ; mais en 1872, il considéra leur existence comme évidente dans la mer de la craie blanche d'Angleterre. C'est par leur intervention qu'il expliqua le transport des matériaux étrangers de la craie de Purley. Comme MM. Sollas et Jukes-Browne admettent que les roches de l'Upper Greensand de Cambridge ont été emportées par des glaces, il faudrait admettre l'existence de glaces flottantes non-seulement durant le dépôt de la craie blanche mais encore pendant le Cénomanien. De plus, les galets du Nord de la France ne se trouvent pas toujours au même niveau. Ceux que j'ai recueillis ou qui m'ont été communiqués viennent des assises à *M. breviporus* et à *M. c. testudinarium.* On ne les trouve pas dans les mêmes couches, mais disséminés un peu partout dans l'épaisseur de ces assises. Si donc les glaces étaient indispensables au transport des galets, on en arriverait à la notion de leur existence pendant la plus grande partie du Crétacé, ce qui est absolument inadmissible pour le Bassin de Paris. Les considérations que je développerai plus loin sur la température de la mer crétacée conduisent à la même conclusion.

2. Il ne faut pas oublier que les galets du Nord de la France ont toujours été trouvés isolés. Des glaces entières empruntant leurs matériaux en Ardenne en auraient apporté un plus grand nombre et auraient engendré des sortes de nids de galets analogues à celui de Purley.

3. Il est impossible de rendre compte par les glaces de la diminution progressive du volume des galets quand on se dirige du N. du Bassin de Paris vers le centre.

Je ne crois pas que les animaux aient été l'agent de transport le plus actif des galets et pour deux raisons :

1. Les galets transportés par les poissons auraient été pris un peu partout par ces animaux et la collection des nombreux éléments recueillis à Lezennes devrait présenter une très grande variété de roches. C'est le contraire qui a lieu. On ne trouve guère que les deux catégories de roches si abondantes en Ardenne, quartzites et schistes.

2. La plupart de ces matériaux étrangers à la craie sont assez volumineux pour que l'animal n'ait pu s'en débarrasser pendant sa vie. Lezennes, qui a fourni de nombreux poissons fossiles, devrait montrer des galets en relation avec des restes de poissons. Pareille observation n'a jamais été faite. Les grands squales ne sont représentés que par des dents et par des vertèbres extrêmement rares et isolées.

Je crois au contraire à l'intervention active des végétaux et des courants. Le fait que les galets du Nord ont un même point d'origine indique un agent de transport absolument passif emporté au gré des courants. Les végétaux représentent bien un véhicule satisfaisant à cette condition. (On connaît du bois fossile à Lezennes). Dans la note sur la comparaison de la craie et de la boue à Globigérines où j'ai parlé des galets de la craie du Nord, j'ai considéré l'eau de mer en mouvement comme le seul agent de trans-

port de ces éléments. Je n'avais pas connaissance à cette époque des observations si curieuses mentionnées par Darwin et autres naturalistes, qui ne laissent aucun doute sur la grande puissance de transport des plantes. Ce sont les exemples si concluants cités plus haut et les raisons que je viens d'énumérer qui m'ont déterminé à admettre le concours des végétaux pour expliquer la dissémination dans la craie de la grande majorité des galets. Ceci ne veut point dire que je renonce à l'intervention des courants. Je la restreins beaucoup en la considérant toujours comme suffisante pour expliquer l'existence de petits galets dans la craie à *M. breviporus*, le 1er Tun et les premières couches sénoniennes dont le résidu insoluble est abondant et formé de particules volumineuses. Il convient de faire appel aux plantes flottées, lorsque la craie qui contient des galets est pauvre en minéraux clastiques et que ces derniers sont de faible dimension comme dans la craie à Inocérames de Lezennes. C'est le cas de celle qui a fourni la plus grande partie des galets des environs de Lille.

c. Bois fossile dans la craie

La craie n'a fourni jusqu'ici qu'un nombre très limité de débris de bois fossile. Godwin-Austen, en 1858, rappelle que Simmonds a recueilli du bois fossile et même du lignite dans la craie des environs de Purley. Phillips [1] a signalé en 1865, l'existence de bois silicifié dans un silex de la craie de Winchester. Le bois avait été perforé par des Teredines.

La même année Lyell [2] faisait remarquer que le bois fossile est rare dans la craie d'Angleterre, et qu'on en rencontre quelquefois dans les points où l'on trouve des galets. Ce bois est ordinairement perforé par des *Teredo* et des *Fistulana*.

Dixon [3], en 1878, mentionne la présence de bois bien conservé dans des silex.

Le nombre d'empreintes ou d'échantillons de bois recueillis dans la craie du Nord est des plus restreint. C'est au zèle persévérant de M. Crespel qu'on en doit la connaissance. J'en ai examiné quatre dont deux empreintes. Leur provenance est la craie à *M. c. testudinarium* des environs de Lille. Le plus volumineux spécimen mesure 16cm de long. L'un d'eux montre en relief la contre-empreinte de nombreuses perforations.

En 1891, M. Ch. Janet a recueilli un fragment de bois dans la craie à *Actinocamax westphalicus* de Margny-les-Compiègne, « une empreinte dans la craie à Marsupites de Beauvais, et une autre montrant des perforations de pholades dans la craie à *T. gracilis*, des falaises situées à l'est de Puits » [4].

1. PHILLIPS. Oxford Fossils. *Geol. Mag.*, vol. 2, pp. 292-293 (1865).
2. CH. LYELL. Elements of Geology, p. 321 (1865).
3. DIXON. The Geology of Sussex, etc., new Edit., by RUPERT-JONES, p. 277 (1878).
4. CH. JANET. Op. cit., p. 904 (1891).

B. MINÉRAUX SECONDAIRES

Les éléments qui ont pris naissance dans la craie même sont : *glauconie*, *phosphate de chaux*, *orthose*, *leverrierite*, *calcite*, *pyrite*, *limonite*, *oxyde de manganèse*, *quartz* et *opale*. Je pourrais encore mentionner les *silex*, dont je ne dirai qu'un mot, et la *dolomie*, dont l'étude sera faite à part. Je rappelle que je ne me suis occupé que très incidemment du *phosphate de chaux* et des *silex* dans la description des différentes craies. Leur étude, de même que celle de la dolomie et des accidents lithologiques de la craie, feront l'objet d'un mémoire spécial, en cours de préparation, et qui sera le complément de celui-ci.

a. Glauconie

La glauconie est ou non en relation avec les organismes. Elle existe sous les formes suivantes :

1° Remplissage de chambres de Foraminifères. Elle n'est prédominante comme moulage de ces organismes que dans les craies blanches les moins glauconieuses.

2° Pseudomorphoses de spicules de Spongiaires.

3° Épigénie partielle du test des Mollusques, Brachiopodes et surtout des Bryozoaires.

4° Grains irréguliers ne rappelant en rien une forme organique.

5° Particules clivées (très rares).

6° Grains de forme arrondie avec zone clivée au pourtour, comme dans certaines gaizes (très rares).

7° Enduit sur les minéraux détritiques et secondaires.

8° Taches dans le ciment comme chez les gaizes (glauconie pigmentaire).

9° Enveloppes de nodules phosphatés et filonnets traversant ces derniers.

Les propriétés optiques de ce minéral sont les mêmes que dans les roches siliceuses. Je ne signale d'une façon particulière que des grains sphériques montrant une croix noire complète.

La glauconie existe dans les craies même les plus pures. Elle présente son maximum de fréquence dans le Nord de la France, au sommet du Turonien et à la base du Sénonien. Dans cette région, elle se multiplie au fur et à mesure que le résidu de minéraux de transport augmente; elle diminue en même temps que lui. Le diamètre moyen de ses grains, tout en restant toujours supérieur à celui des éléments de quartz qui les accompagnent, varie avec lui et dans le même sens (Nord et Rouen).

Je considère comme formée après la sédimentation la glauconie en tache (glauconie pigmentaire) et celle des filonnets et enveloppes de nodules phosphatés.

Dans le Crétacé du S.-O., on retrouve pour ce minéral presque toutes les manières d'être dont il vient d'être question. Il y a dans cette région des roches siliceuses analogues

à celles que j'ai étudiées dans la première partie de ce travail et dans lesquelles on rencontre à quelques exceptions près toutes les modalités de la glauconie distinguées au chapitre IV. Je soulignerai en passant la grande affinité de cette matière pour les Bryozoaires. Elle en remplit les loges, en épigénise le test à côté de Foraminifères dont les chambres sont vides.

L'étude de ce minéral ne révèle qu'un petit nombre de particularités qui ne soient pas mentionnées au chapitre IV. Tout au moins permet-elle de reconnaître que son histoire est beaucoup plus complexe dans les roches crayeuses qu'on ne l'avait cru jusqu'ici. Les manières d'être de la glauconie énumérées plus haut sont en grande partie nouvelles. Trois d'entre elles étaient connues (1, 2 et 4). On trouvera au chapitre IV l'analyse détaillée de chacune d'elles, ainsi que les données nouvelles qui découlent de leur étude au point de vue de l'histoire générale de ce minéral.

b. Phosphate de chaux

Le phosphate de chaux amorphe ou cristallisé existe dans toutes les craies. Il est rare qu'une section mince pratiquée, au hasard, dans n'importe quelle craie, n'en rencontre pas un et parfois plusieurs éléments. Les niveaux où il se développe de préférence sont : 1° le sommet de l'assise à *M. breviporus* (Nord, Somme, région de Rouen et Yonne); 2° la base de l'assise à *M. c. testudinarium* (Nord); 3° la base de la craie à Bélemnitelles (Aisne, Oise, Pas-de-Calais, Somme et Yonne).

J'ai retrouvé à ces niveaux les différents types de grains distingués par MM. Renard et J. Cornet, d'une part, et M. Strahan, d'autre part : fragments de tissu osseux, éléments résultant du remplissage de coquilles de Rhizopodes et concrétions microscopiques. J'ai mis en évidence l'existence d'une nouvelle catégorie de grains qui a, je crois, une grande importance pour l'histoire de ce minéral; elle est composée d'éléments sans rapport aucun, ni avec le tissu osseux des Vertébrés, ni avec les Rhizopodes; *ils ont été engendrés sur place*, au même titre que les concrétions microscopiques qui leur font cortège (Voir en particulier la craie glauconieuse à *M. breviporus* du Nord, p. 233).

Des différentes questions qui se posent encore au sujet de la formation des gisements de phosphate de chaux de la craie de France, il en est une que je désire traiter ici, en raison du grand intérêt qu'elle présente pour l'histoire du Bassin parisien à l'époque de la craie. Elle concerne le mode d'*accumulation* des granules phosphatés pour donner naissance à de grands amas comme ceux de la craie du Nord de la France et des environs de Mons. Le point de vue très particulier auquel je me place ne me permet pas de mentionner les importantes observations relevées par M. Lasne et mon maître M. Gosselet sur les conditions stratigraphiques des gisements de phosphate de la craie du Bassin de Paris. J'y reviendrai plus tard. Voici comment MM. Renard et J. Cornet conçoivent l'origine de la craie phosphatée :

A l'époque crétacée, il se déposait une vase crayeuse sur la côte même ; dans les coquilles de ce limon crayeux s'infiltraient, comme on le voit pour les vases à Globigérines actuelles, les matières phosphatées produites par l'accumulation des résidus de la faune qui vivait sur les rivages. Le moulage des éléments phosphatés s'est ainsi fait près des côtes, et plus tard *les courants, les marées et les vagues les ont entraînés vers la haute mer* [1].

Objections contre l'hypothèse du transport des grains de phosphate des côtes vers la haute mer. On peut élever diverses objections contre l'hypothèse du transport des grains de phosphate dans les conditions précédentes. Toute action mécanique, susceptible de transporter des grains de phosphate mesurant *un* ou *plusieurs* dixièmes de millimètre de diamètre, doit également s'exercer sur les éléments *minéraux* et *organiques* qui se trouvent dans le sédiment où prennent naissance les granules phosphatés.

1° Les grains de phosphate, bien que de *densité supérieure* à ceux de quartz, sont *invariablement* accompagnés d'éléments de quartz d'un diamètre inférieur à $0^{mm}1$.

M. de Mercey [2] a démontré que les grains de phosphate de la craie à *B. quadrata* se répartissent de la façon suivante au point de vue du diamètre :

15 %	ont un diamètre	supérieur à	$0^{mm}5$
25 %	—	égal à	$0^{mm}25$
60 %	—	inférieur à	$0^{mm}2$

On voit par ces chiffres que *les grains de phosphate ne sont pas calibrés* et que leur volume est notablement supérieur à celui des éléments de quartz.

2° Le nombre et le volume des éléments détritiques de la craie phosphatée à Bélemnitelles par exemple, comparés à ceux des craies non phosphatées entre lesquelles elle est comprise, devraient en différer par un accroissement très notable puisque le dépôt de la craie phosphatée aurait été marqué par l'intervention d'actions mécaniques n'ayant point affecté les autres niveaux. Je n'ai pas encore pu noter de différence très appréciable à ce point de vue, quand on passe de la craie blanche très fine à *M. c. anguinum* à la craie phosphatée à Bélemnitelles. Lorsque par exemple la glauconie des roches sédimentaires se présente en telle abondance que l'on est obligé de faire appel à un transport pour expliquer son accumulation, on remarque invariablement que le quartz qui l'accompagne ne reste pas indifférent aux modifications qui l'affectent. Le volume des grains glauconieux vient-il à augmenter, celui du quartz subit un accroissement de son côté (se reporter à l'étude de la glauconie, chapitre IV, p. 173). Bref dans ce cas, on n'observe rien qui rappelle *l'indépendance du phosphate de chaux vis-à-vis des éléments détritiques de la craie.*

1. A. F. RENARD et J. CORNET. Recherches microgr., etc., *Bull. Ac. Roy. de Belgique*, 3e éd., vol. 31, p. 157 (1891).

2. N. DE MERCEY. Remarques sur les gîtes de phosphate, etc. *B. S. G. Fr.* 3e S., vol. 19, p. 860-861 (1891).

3° Pourquoi les courants, les vagues et les marées n'ont-ils point entraîné avec les grains de phosphate une infinité de volumineux débris de l'activité organique, comme des prismes d'Inocérames et autres vestiges de coquilles? Cela ne se comprend guère, puisque l'action dynamique de l'eau était telle qu'elle pouvait broyer des ossements de Vertébrés.

4° On s'explique non moins difficilement que sur une côte où l'eau était agitée, on ne trouve que si peu de minéraux clastiques et que leur volume soit si faible.

5° Une autre question, d'ordre paléontologique, se pose et elle est de première importance. Les courants, les marées et les vagues entraînent vers la haute mer des grains de phosphate qui sont pour la plupart des Foraminifères très reconnaissables malgré leur enveloppe et leur remplissage phosphatés. Mais dans les eaux vers lesquelles ils sont transportés, il existe une faune de Rhizopodes à caractères propres, différents de ceux qui envahissent leur domaine. Les uns sont organisés pour vivre dans des eaux littorales agitées, les autres sont des êtres de haute mer. Jusqu'ici pareille association n'a pas été révélée, et je n'ai rien vu qui en fasse soupçonner l'existence.

A mes yeux, la preuve du transport des grains des régions littorales vers des zones plus profondes ne sera pas faite tant qu'on n'aura pas montré la coexistence dans les gisements de phosphate de deux faunes de Foraminifères : l'une essentiellement littorale comme le veut l'hypothèse de MM. Renard et J. Cornet, l'autre correspondant aux fonds moins rapprochés des côtes et vers lesquels elle serait entraînée.

6° Les Foraminifères inclus dans les grains de phosphates sont entiers. Si les conditions ont été telles, pour le Bassin de Paris, que l'admettent d'une façon générale MM. Renard et J. Cornet, beaucoup de coquilles ont dû être plus ou moins détruites et leurs loges dissociées. On devrait trouver dans les grains, des Foraminifères à divers états de destruction.

7° Une dernière objection est fournie par la répartition des gisements de phosphate à Bélemnitelles dans le bassin. M. Lasne [1] admit en 1890 que le phosphate de chaux de la Somme était originaire du Plateau central de la France, et qu'il avait été transporté en solution à travers tout le bassin par des courants de surface venant du Sud et précipité dans les points qu'il occupe aujourd'hui.

En 1892, M. Munier-Chalmas [2], en s'appuyant sur l'existence de courants venant du Nord, que j'avais démontrée l'année précédente par la considération des minéraux détritiques et des galets de la craie, émit l'opinion que le phosphate venait de Scandinavie.

Admettons successivement ces idées de courants venant du Sud et du Nord et voyons à quelles conséquences elles conduiraient si ces courants étaient chargés l'un ou l'autre du transport des grains de phosphate tout formés.

La première de ces hypothèses frappe tout de suite par son invraisemblance. S'il y a une région parmi celles que j'ai étudiées où l'action dynamique de l'eau ait laissé

1. A. LASNE. Sur les terrains phosphatés, etc. *B. S. G. Fr.*, 3e S., vol. 18, p. 496 et suiv. (1890).

2. MUNIER-CHALMAS. Origine des phosphates de la Somme, etc. *C. R. Soc. G. Fr.*, 3e S., vol. 20, pp. XLVII-L.

moins de traces que partout ailleurs, c'est le Sud-Est du Bassin. Peut-on expliquer l'extrême rareté et aussi le très faible volume des matériaux détritiques dans une craie qui a reçu de la côte d'innombrables grains de phosphate de chaux mesurant un et plusieurs dixièmes de millimètre de diamètre, et cela pendant une longue durée ? Je ne le crois pas. *L'introduction de la matière phosphatée dans la craie à Bélemnitelles de l'Yonne ne coïncide, ni avec une notable augmentation du résidu minéral, ni avec un accroissement du diamètre des rarissimes éléments de transport.* L'hypothèse faite est donc celle-ci : les courants, les marées et les vagues apportent beaucoup de grains de phosphate, mais absolument rien de plus, et l'aire marine qui reçoit cet apport n'est nullement troublée par suite d'un événement aussi important. J'ai peine, pour ma part, à faire l'accord de ces différentes circonstances. J'ajouterai que l'existence de courants venant du Sud est hypothétique pour tout le Bassin, sauf pour le S.-O. Elle l'est surtout pour l'Yonne en particulier.

Si l'on fait intervenir les courants descendant du Nord, les difficultés d'interprétation sont encore plus grandes pour expliquer le transport des éléments phosphatés tout formés. Faire traverser tout le bassin à des grains de phosphate pour les faire arriver dans l'Yonne, c'est là, je crois, une conjecture à laquelle personne ne voudrait se rallier, étant donnée la composition normale des craies qui s'étendent au N. de l'Yonne et qui auraient dû être affectées d'une façon quelconque par le passage du courant.

En résumé, l'hypothèse de la genèse par transport du phosphate de chaux de l'Yonne se heurte à de très grandes difficultés, quelle que soit la direction que l'on choisisse pour le lieu d'origine des grains.

Dès 1892, M. Lasne [1], en raisonnant sur le diamètre des grains de phosphate, avait déjà considéré comme une impossibilité mécanique le transport de phosphate tel que l'ont compris MM. Renard et J. Cornet.

Explication nouvelle de la formation des gisements de phosphate de la craie du Bassin de Paris. En regard de l'hypothèse de MM. Renard et J. Cornet, je désire mettre en évidence le fait indubitable qu'il y a des grains qui se forment sur place. Ces savants eux-mêmes ont dû reconnaître une *dualité d'origine* des éléments phosphatés pour que leur théorie soit à même d'expliquer toutes les particularités qu'ils présentent. Ils admettent que des *nodules* se sont formés *in situ* : « C'est ainsi que, par des apports successifs, se forment en place, dans des sédiments accumulés en couches, mais encore doués d'une certaine plasticité, les nodules que nous avons décrits [2]. » D'où cette conséquence que de la matière phosphatée a été transportée en solution vers les points où sont localisés les gisements. Ainsi que j'ai pu le démontrer pour le Nord en particu-

1. H. LASNE. Sur les terrains phosphatés, etc. (2e Note). *B. S. G. F.*, 3e S., vol. 20, p. 217 (1892).
2. A. F. RENARD et J. CORNET. Op. cit , p. 155 (1891).

lier, le nombre de grains qui ont pris naissance directement dans la craie où ils gisent aujourd'hui est très grand ; les concrétions microscopiques qui résultent de l'épigénie plus ou moins complète de petites portions de la craie sont également abondantes; les nodules macroscopiques ne sont pas rares eux-mêmes. Il y a donc eu une proportion assez importante de phosphate de chaux fixé directement sur place.

Pour les grands gisements comme ceux de l'Aisne, de l'Oise, du Pas-de-Calais et de la Somme, l'idée du transport des grains pourrait être conservée, mais avec une interprétation nouvelle.

La production du phosphate de chaux de la base de la craie à Bélemnitelles correspond à une rupture d'équilibre de la mer crétacée, phénomène dont on a maintes preuves. Je citerai entre autres particularités qui en témoignent :

1° Le durcissement du sommet de la craie à *M. c. anguinum* jusqu'à un mètre au-dessous de la craie phosphatée ;

2° Les perforations dont il est traversé ;

3° L'enduit phosphaté qui recouvre des coquilles fixées sur la craie à *M. c. anguinum* au contact du phosphate et qui indique un arrêt dans la sédimentation ;

4° Le curieux développement de Coraux [1] signalé par M. Gosselet au-dessous de la craie phosphatée à Hem-Monacu, près Péronne. Ce fait accuse un notable changement dans le régime de la mer ;

5° Les ravinements (reconnus par M. Gosselet) de la craie blanche à Micraster avant le dépôt de la craie phosphatée à Hem-Monacu ;

6° Enfin les modifications dans l'épaisseur du test des Foraminifères (Somme et Yonne) qui impliquent un changement dans les conditions biologiques déterminées par des *eaux moins profondes.*

Cette rupture d'équilibre a particulièrement affecté certains points du Bassin, en les exhaussant, et en provoquant notamment la genèse de petits thalwegs correspondant à ces curieuses cuvettes de craie phosphatée découvertes par M. Lasne. C'est sur ces aires, ainsi placées momentanément dans des conditions de profondeur se rapprochant de celles qui sont réalisées près des rivages, que se sont élaborés les éléments phosphatés : Le phosphate a commencé par se précipiter directement sous la forme d'un vernis brun nacré, formé de phosphate de chaux presque chimiquement pur, appliqué sur la partie supérieure de la craie à *M. c. anguinum* et sur les fossiles qui ont vécu sur cette craie pendant la période d'arrêt de la sédimentation. La grande masse des grains de phosphate se sont ensuite déposés. *Rien n'a été changé dans les rapports de ces points singuliers avec la côte; les minéraux de transport y sont arrivés en même proportion que par le*

1. J. GOSSELET. Des conditions dans lesquelles s'est fait le dépôt du phosphate, etc. *C. R. Ac. Sc.*, vol. 123, p. 290 (1896).
J. GOSSELET. Note sur les gîtes de phosphate, etc., *Ann. Soc. G. N.*, vol. 24, pp. 109-134 (1897).

passé. Quant aux grains de phosphate, ils ont pu subir des déplacements *sur le fond de la mer* pour s'accumuler dans les parties les plus déclives; pour l'Yonne en particulier il n'est pas nécessaire de les faire intervenir.

Cette nouvelle explication dont je me garde bien de nier le caractère hypothétique, supprime les objections que l'on peut élever contre la théorie de MM. Renard et J. Cornet, non pour la genèse des grains mais pour leur accumulation locale en gisements d'une grande richesse. Les conditions bathymétriques qu'elle fait intervenir sont compatibles avec celles qui paraissent indispensables à mon maître, M. Gosselet, pour expliquer les différentes particularités de gisement des phosphates de la craie de France. Je lui donnerai ultérieurement tous les développements qu'elle comporte.

Connexion entre les gisements de phosphate du Crétacé supérieur du Bassin de Paris et les grandes ruptures d'équilibre de la mer crétacée. Je montrerai plus loin en étudiant les variations de profondeur de la mer crétacée qu'il y a une connexion étroite entre l'existence des gisements de phosphate du Bassin de Paris et les ruptures d'équilibre des mers. Il faudra, je crois, porter l'attention sur ce point, pour éclairer toutes les circonstances *physiques* et *chimiques* qui ont présidé à la genèse de ces gisements.

1° La craie phosphatée du département du Nord est en relation avec un mouvement d'exhaussement qui a eu pour résultat de chasser la mer du golfe de Mons. Son existence est liée à une période de *régression* de la mer pour le Nord.

2° La craie phosphatée à Bélemnitelles correspond à la grande *transgression* campanienne.

3° Celle du Bassin de Mons est contemporaine du *retrait* de la mer du Bassin de Paris, après le dépôt de la craie blanche à Bélemnitelles.

4° Je pourrais encore citer un curieux exemple sans quitter le Bassin de Paris, c'est le phosphate de l'Artois (Pernes), qui correspond à la grande transgression cénomanienne.

Deux gisements sont en rapport avec une régression de la mer, deux autres avec une transgression. Quelle que soit la nature des liens qui rattachent la formation des gisements de phosphate aux grands déplacements des mers, on peut formuler la loi suivante pour le Bassin de Paris : C'est que *tous les gisements du Crétacé supérieur ont pris naissance aux périodes de grande rupture d'équilibre de la mer.*

c. Orthose

J'ai donné la description de ce minéral à la page 259. J'en reprendrai l'étude dans un travail ultérieur. L'orthose existe à tous les niveaux de la craie du Bassin parisien. Dans le Nord, le Bray et la région de Rouen elle est rare ou accessoire dans le Turonien. Elle constitue déjà sensiblement la moitié du résidu minéral de la craie à *Micraster breviporus* du Bray. La proportion des cristaux d'orthose dans le Sénonien est généralement égale ou supérieure à celle des autres minéraux réunis. Il est rare qu'elle lui soit notablement

inférieure. La région de l'Yonne en particulier fait exception à cette règle : L'orthose y est d'une excessive rareté à tous les niveaux.

Les dimensions des cristaux sont très faibles. En dehors du Nord, où l'on constate quelques variations dans le diamètre moyen de cet élément, elles sont d'environ $0^{mm}05$.

Beaucoup de cristaux sont remarquables par leur merveilleux état de conservation. Je citerai en particulier certains échantillons de craie de la base de la craie à *M. c. testudinarium* de la région de Rouen dont les éléments d'orthose sont d'une fraîcheur parfaite.

Ayant à faire le départ des minéraux de transport et de ceux qui ont pris naissance dans la craie même, j'ai été amené dans mes premiers travaux sur la craie du Nord (1890-91) à ranger les cristaux d'orthose dans le premier groupe. L'incompatibilité de plusieurs caractères qu'ils présentent avec une origine clastique ne m'avait pas échappé, mais comme je manquais d'arguments décisifs pour établir leur nature secondaire, j'ai trouvé préférable de les considérer provisoirement comme clastiques. L'étude d'échantillons de craie, originaires de différents points du Bassin de Paris et appartenant à toutes les assises du Turonien et du Sénonien, m'a permis de réunir un certain nombre de faits qui prouvent que l'*orthose s'est formée in situ*. Cette conclusion est admise par MM. Michel-Lévy, Lacroix et Termier, qui ont vu les cristaux d'orthose extraits des craies que j'ai étudiées.

L'origine, *in situ*, de l'orthose de la craie est démontrée par l'ensemble des observations suivantes :

1° L'orthose des terrains schisto-cristallins et cristallins qui ont été l'origine première des éléments clastiques de la craie est différente de l'orthose décrite plus haut.

2° Les particules minérales qui forment le cortège ordinaire de l'orthose portent toutes l'empreinte d'actions mécaniques. La présence d'orthose très fraîche, à côté du quartz dépoli, de cristaux de zircon, de tourmaline et de rutile brisés et roulés, permet d'affirmer que l'histoire de ces deux catégories de minéraux n'est pas la même.

3° D'autres feldspaths accompagnent parfois l'orthose. Ils sont toujours très rares Je citerai notamment le microcline. Leurs conditions de conservation diffèrent de celles de l'orthose. Ils sont, sans exception, privés de contours cristallins et en voie de kaolinisation.

4° Les éléments du résidu clastique de la craie n'ont pas tous été empruntés directement aux roches schisto-cristallines et cristallines. Il en est qui ont fait partie de dépôts sédimentaires avant d'être incorporés à la craie. C'est ainsi qu'on trouve fréquemment, avec les particules minérales isolées, des agrégats de grains de quartz qui ne sont autres que des fragments de quartzite. Ces agrégats contiennent parfois un très grand nombre de particules de quartz juxtaposées, comme elles l'étaient dans la roche dont elles dérivent. Aucun élément d'orthose ne s'y rencontre. Les cristaux d'orthose ont donc une origine différente de celle des grains de quartz qui forment la plus grande partie du résidu clastique.

5° La forme des cristaux d'orthose reste partout la même, quelle que soit l'assise

de craie considérée. Cette constance de la forme, à la fois dans le temps et dans l'espace, ne peut s'expliquer que si l'origine de ces cristaux est *une*. Cette unité ne saurait être réalisée dans le cas de l'hypothèse clastique.

6° J'ai exceptionnellement observé deux cristaux complets, bien conservés et soudés par l'une de leurs faces, comme il en existe dans les druses.

7° L'ordre de fréquence des minéraux de transport est toujours le même, à part quelques variations sans importance. L'orthose n'obéit nullement à cette loi. Si l'on considère, par exemple, la série des terrains de craie du Nord, voici ce que l'on observe : L'orthose reste un élément rare ou accessoire dans le Turonien, alors que les minéraux clastiques constituent une importante fraction du sédiment. Elle se multiplie très rapidement à la base du Sénonien et le nombre de ses cristaux augmente au fur et à mesure que le résidu clastique diminue. Plus haut, elle représente presque la moitié du résidu minéral. La répartition de l'orthose de la craie est donc régie par une autre loi que celle qui préside à la distribution et à l'accumulation des minéraux de transport.

8° Si l'orthose était d'origine détritique et si l'on devait expliquer sa plus grande fréquence dans le Sénonien par son très faible diamètre permettant un flottage pour ainsi dire indéfini, il n'y aurait aucune raison pour que ce minéral ne fût pas abondant dans celles des craies turoniennes et dans les calcaires à Bryozoaires santoniens de la Touraine qui sont placés dans les mêmes conditions que les craies sénoniennes, au double point de vue de la rareté des éléments clastiques et leur diamètre moyen.

9° Il existe une relation entre le degré de fréquence de l'orthose et celui de la glauconie. C'est un fait que j'ai plusieurs fois observé que l'abondance de la glauconie entraîne la rareté de l'orthose et réciproquement. Exemples : A la base de la craie à *Micraster cor testudinarium* de Lezennes (Nord), l'orthose se multiplie au fur et à mesure que la glauconie diminue. La craie à *M. breviporus* du Nord, qui est très riche en glauconie dans ses couches supérieures, renferme moins d'orthose que la craie correspondante du Bray où la glauconie est rare. Ce balancement dans la fréquence des deux minéraux peut s'expliquer par le fait que les principes chimiques qui entrent dans la composition de l'orthose font partie intégrante de la glauconie. Un tel rapport entre les deux substances semble impliquer une communauté d'origine : L'orthose comme la glauconie serait un minéral secondaire.

Les faits que je viens de passer en revue très rapidement établissent que l'orthose occupe une place tout à fait à part parmi les minéraux de la craie. Ils contribuent tous à démontrer qu'elle s'est formée *in situ*.

L'existence de cristaux d'orthose développés en place dans les dépôts sédimentaires de France a été révélée pour la première fois par Ch. Lory. Ce savant les a signalés en 1886 et en 1889 dans un ensemble d'assises jurassiques de la région subalpine du

Dauphiné, correspondant aux étages bajocien, bathonien et callovien jusqu'aux couches à *Op. canaliculata* [1]. Il a trouvé ce minéral en compagnie du quartz bipyramidé et de l'albite. Ch. Lory a admis que ces cristaux d'orthose ont pris naissance *in situ, avant la consolidation des terrains qui les renferment et durant la période géologique de leur dépôt.* Ch. Lory a fait ressortir cette particularité importante que la région où se sont développés les cristaux de feldspath se trouve en dehors de celle où se sont exercées les grandes actions dynamiques des chaînes alpines. Les circonstances qui ont présidé à leur genèse sont tout aussi indéterminées que pour les cristaux de la craie. Ch. Lory a noté le fait intéressant que la variété d'orthose qu'il a observée est précisément une de celles qui ont été obtenues artificiellement par voie hydrothermale par MM. Friedel et Sarrazin.

La formation si facile et si abondante, dans les conditions ordinaires de température et sur le fond de la mer, d'un silicate comme la glauconie, de composition plus complexe, et qui en renferme tous les éléments en d'autres proportions, doit nous mettre en garde contre les solutions qui ont recours à des agents dont la nature a souvent le privilège de se passer, pour arriver aux mêmes résultats que nos expériences de laboratoire.

Peut-être cette orthose appartient-elle à la catégorie des composés divers, produits suivant A. C. Becquerel [2], en vertu d'actions lentes, au contact des corps solides et des corps liquides par le concours simultané des affinités et des forces électriques.

d. Leverrierite

Je n'ai rencontré ce minéral que dans la craie de l'Yonne. Il y existe à tous les niveaux turoniens et sénoniens que j'ai étudiés. Dans tout le Turonien et jusqu'à l'assise à *M. c. testudinarium* non comprise, la leverrierite ne représente qu'une minime partie du résidu minéral. Elle compose à elle seule plus de la moitié de celui de la craie à *M. c. testudinarium.* Le résidu de la craie à *M. c. anguinum* en est presque uniquement formé. Elle continue à être très répandue dans les assises plus élevées.

Données sur la genèse de la leverrierite de la craie. Je suis loin d'avoir résolu le problème de l'origine de la leverrierite de la craie. Voici certaines données qui sont de nature à réduire le nombre de solutions susceptibles de se présenter à l'esprit.

1° La leverrierite reste étrangère aux modifications qui affectent les éléments de transport comme le quartz, soit dans leur fréquence, soit dans leur volume. Elle se comporte vis-à-vis des minéraux détritiques comme le fait l'orthose secondaire de la craie.

---

1. CH. LORY. Sur la présence de cristaux, etc. *C. R. Ac. Sc.*, vol. 103, pp. 309 et suiv. (1886).
CH. LORY. Etude sur la constitution, etc., p. 10, Grenoble (1889).

2. A. C BECQUEREL. Eléments d'électrochimie, etc., p. 395 et suiv., Paris (1864).
A. C. BECQUEREL. Mémoire sur la formation en vertu d'actions lentes, etc. *C. R. Ac. Sc.*, vol. 63, pp. 4-9 (1866).

2° L'origine sédimentaire ne peut expliquer la conservation de la leverrierite que la moindre action mécanique peut détruire, en la décomposant en lamelles de clivage. Les petites dimensions de ses éléments se prêtent, il est vrai, à un transport d'autant plus facile que la densité de ce minéral est faible (2,3-4), mais si l'on réfléchit à ce fait que la leverrierite de la craie est une phyllite en *bâtonnets* d'une grande fragilité, il semble impossible que les cristaux eussent conservé leur intégrité, au moment même où ils auraient été arrachés des formations sédimentaires. La conservation des branches parfois si délicates des formes bifurquées serait inexplicable. Bref, si l'on suppose que des roches à leverrierite, pareilles à celles qui ont été étudiées par M. Termier, fournissent les matériaux détritiques d'un sédiment, il ne paraît pas possible de retrouver dans ce dernier les cristaux aussi intacts que dans les dépôts dont ils ont été extraits mécaniquement.

3° L'hypothèse de la nature clastique de la leverrierite obligerait à admettre qu'un terrain donné renfermant cette substance a fourni à lui seul les matériaux détritiques de la craie du S.-E., pendant toute la durée des époques turonienne et sénonienne. J'hésiterais beaucoup, pour ma part, à accepter pareille opinion.

4° En présence des caractères d'uniformité que présente dans son ensemble la composition du résidu minéral clastique de toutes les craies étudiées dans le Bassin de Paris, en dehors de la région sud-est, on ne voit pas bien comment expliquer la composition si particulière de celui des craies de l'Yonne, si on y fait rentrer les cristaux de leverrierite. Il ne faut pas perdre de vue que le résidu de plusieurs craies est presque exclusivement formé d'éléments de leverrierite, et que jusqu'à présent je n'ai pas réussi à en signaler la présence en d'autres régions.

5° On ne peut pas davantage se rendre compte comment un minéral si particulier puisse former presque à lui seul le résidu d'une craie si son origine est détritique. D'autres substances très communes comme le quartz, qu'on rencontre généralement dans la craie à l'état de petits éléments susceptibles de flotter indéfiniment devraient faire cortège à la leverrierite et surtout ne pas lui laisser une place aussi prépondérante. Les roches à leverrierite des formations houillères de la Loire et du Gard soumises à l'action mécanique des eaux, abandonneraient d'autres particules minérales en même temps que la leverrierite. Il est vrai qu'un triage des éléments, fondé sur leur densité et leur volume différents, pourrait ensuite les séparer, mais j'ai peine à croire que le départ des différentes espèces minérales soit aussi complet que dans la craie de l'Yonne.

D'autres particularités paraissent favorables à une origine secondaire. Il est très remarquable que l'*orthose* soit d'une extrême rareté à tous les niveaux de la craie de l'Yonne alors que partout ailleurs, elle est un élément de première importance et souvent prépondérant à partir du Sénonien. Il est non moins frappant que la leverrierite atteigne

son maximum de fréquence relative dans le Sénonien, aux lieu et place de l'orthose, par conséquent. Tout se passe comme si la leverrierite remplaçait l'orthose [1].

Pour ces différentes raisons, j'inscris la leverrierite à côté des minéraux secondaires comme la glauconie, le phosphate de chaux et l'orthose, tout en reconnaissant que les arguments en faveur de son origine *in situ* sont moins décisifs que ceux que j'ai pu réunir pour l'orthose.

Le phénomène qui aurait déterminé la genèse de ce minéral dans la craie reste indéterminé. Pour les cristaux que M. Termier a si bien étudiés, on peut affirmer qu'ils se sont développés, par voie de métamorphisme, au sein de grès, d'argiles, parfois même dans la houille ; ils existent de préférence dans une argile très fine de couleur chocolat qui présente des caractères éruptifs assez prononcés. On les rencontre également dans les roches éruptives acides du terrain houiller. M. Termier a attribué le métamorphisme des argiles sédimentaires et leur transformation en phyllite à des sources thermominérales de haute température qui ont dû sourdre au fond des lacs houillers. L'hypothèse de sources qui se présente tout naturellement à l'esprit dans le cas envisagé par M. Termier est beaucoup plus difficile à admettre pour la craie. Elle doit, en effet, expliquer la diffusion de la leverrierite à travers la masse puissante des sédiments crayeux de l'Yonne, particularité exigeant l'intervention de sources, sans intermittences, pendant tout le Turonien et le Sénonien. Je renonce pour ma part à pareille conjecture. Le mystère qui enveloppe l'origine de la leverrierite de la craie paraît impénétrable dans l'état actuel de nos connaissances. Je dirai en terminant que j'incline à penser qu'il n'est pas impossible que la leverrierite comme l'orthose, ne réclame pas de conditions de température et de pression autres que celles qui président à la genèse d'un silicate de composition beaucoup plus complexe, la glauconie.

e. Calcite

Le rôle du carbonate de chaux inorganique est toujours important dans la craie. La calcite existe sous trois formes principales :

1° En menues particules rhomboédriques ou privées de forme géométrique, tenant une grande place dans le ciment. Je les considérerai en détail plus loin en étudiant cette partie de la craie.

2° A l'intérieur des loges de Foraminifères, et parfois sur leur emplacement, quand ces organismes ont disparu de la craie (voir à la fin de ce chapitre les considérations sur la destruction des coquilles de Foraminifères).

3° A l'état de grands rhomboèdres isolés, quelquefois soudés et plongés dans le ciment comme les organismes. Dans quelques cas, les cristaux pénètrent du ciment

1. Le premier de ces minéraux étant un silicate d'alumine un peu calcaire et très faiblement potassique, il y a par conséquent un écart très notable entre la composition des deux substances.

dans les coquilles de Foraminifères en perçant leur test. La production de grands éléments de calcite s'observe dans beaucoup de craies : craie noduleuse à *M. c. testudinarium* du Pays de Bray (Pl. IX fig. 6) et craie de Vernon, où ils pullulent. L'assise à Bélemnitelles de l'Yonne en montre également un beau développement. Enfin les sections minces de la plupart des craies, surtout celles du Nord et de la région de Rouen, en montrent un ou plusieurs cristaux.

Les rhomboèdres de la craie à *M. c. testudinarium* du Bray et de la craie à Bélemnitelles de l'Yonne ne sont pas des cristaux simples mais des agrégats de calcite de forme rhomboédrique.

Nulle part, l'étude de ces corps n'est plus intéressante que dans la craie noduleuse du Pays de Bray : 1° Ils se sont souvent développés, comme je l'ai dit plus haut, en détruisant partiellement les coquilles de Foraminifères, preuve évidente qu'ils sont *secondaires* ; 2° La genèse de cristaux de calcite uniformément distribués dans la craie a été suivie d'un curieux phénomène de dissolution qui en a fait disparaître un grand nombre en laissant les autres absolument intacts. Les vides correspondant aux cristaux disparus ont conservé une forme géométrique parfaite (Pl. IX, fig. 6). Le résultat de ce phénomène est la formation de *noyaux de craie à rhomboèdres*, distribués au hasard dans une craie criblée de vides. D'où la *structure noduleuse* qui caractérise la base de l'assise à *M. c. testudinarium* du Bray.

On observe également des *vides rhomboédriques* dans beaucoup de craies dont le ciment ne comportait que des cristaux de calcite très clairsemés. *La destruction de la calcite ne laissant pour témoin que des vides rhomboédriques parfaits est un phénomène général dans la craie.*

La formation des rhomboèdres est secondaire ainsi qu'en témoignent les rapports de ces cristaux avec les organismes qui les accompagnent. J'étudierai l'origine du carbonate de chaux secondaire dans le paragraphe consacré au ciment. Le mystère le plus profond plane sur la phase de destruction des rhomboèdres.

Dans le Crétacé du Sud-Ouest du Bassin la calcite est également un élément secondaire de première importance.

f. Pyrite, Limonite et Oxyde de manganèse

Pyrite [1]. Sa présence n'est notable en dehors des rognons de marcassite disséminés dans la craie que dans les couches marneuses du Turonien. Elle est un élément essentiel dans les marnes à *I. labiatus* du Nord et très fréquente dans les marnes à *T. gracilis* les

1. Il est infiniment probable que les niveaux riches en pyrite renferment du *gypse*. Il existe toujours en trop faible quantité pour être visible dans les résidus de lavage et dans les sections minces. Comme il ne peut figurer parmi les éléments des résidus insolubles, il est difficile de le mettre en évidence. Je dois ajouter que mon attention ne s'est pas portée d'une façon spéciale sur ce minéral.

plus riches en argile. Elle doit probablement sa naissance comme dans les boues terrigènes actuelles à la transformation des sels de fer sous l'action de la matière organique en décomposition. Elle est relativement fréquente dans certains échantillons de craie à Bélemnitelles des environs de Beauvais et dans la craie à Marsupites de la région de Rouen.

Limonite. On la trouve dans toutes les assises comme minéral de décomposition, mais elle n'a d'importance que dans le niveau de la craie à *M. c. testudinarium* de Lezennes, appelée pour cette raison « Banc des Roux ».

Oxyde de manganèse. Toutes les craies en renferment, quel que soit leur degré de pureté.

g. Quartz

On le trouve dans le résidu insoluble des craies, mais avec une très grande rareté. Il présente les deux manières d'être suivantes :

1° Il donne naissance à des cristaux bipyramidés —; j'ai observé le cas de deux individus incomplètement soudés et divergents comme dans les géodes; — ces cristaux contrastent avec les minéraux détritiques qui les accompagnent par leur grande fraîcheur, le tranchant de leurs arêtes et leur surface non souillée par des impuretés, comme c'est le cas pour la plupart des éléments de quartz du résidu des craies.

2° Il se dépose sur des grains de quartz clastique, de forme arrondie, irrégulière, tapissés d'impuretés et les dote de pointements cristallins très nets. Dans tous les cas le quartz récent est orienté comme le quartz ancien. Il en résulte un individu cristallin qui s'éteint en une seule fois. Cette particularité est comparable à celle qui a été signalée à plusieurs reprises par Knop [1], Törnebohm [2], Bonney [3], Sorby [4], Phillips [5], Otto Lang [6], Ch. Barrois [7] et Klemm [8]. Elle est à rapprocher de celle que j'ai notée pour le grès tertiaire de Belleu [9], en 1891.

Les cristaux de quartz secondaire de la craie doivent être considérés comme des produits ultimes de l'activité organique. M. J. Sollas [10] a montré que la silice abandonnée par les spicules au moment de leur fossilisation peut recevoir diverses destinations :

---

1. A. KNOP. Ueber Kieselsäure, etc. *Neues Jahrb. für Min.*, pp. 281-285 (1874).
2. A. E. TÖRNEBOHM. Bildrag till frågan om qvartsiternas, etc. *Geol. För. i. Stockholm Förh.*, vol. 3, pp. 217-218 (1876-77).
3. T. G. BONNEY. The Precamb. Rocks, etc. *Quart. Journ. Geol. Soc*, vol. 35, p. 666 (1879).
4. H. C. SORBY. Ann. Address, etc. Id., vol. 36, p 62 (1880).
5. A. PHILLIPS. On the Constitution etc. Id., vol. 37, pp. 6-28 (1881).
6. OTTO LANG. Ueber Sedimentär-Gesteine, etc. *Zeits. d. deuts. g. Ges.*, vol. 33, pp 226-239 (1881).
7. CH. BARROIS. Rech. sur les ter. anc., etc. *Mém. Soc. G. N.*, tome 2, mém. 1, pp. 34-35 (1882).
8. G. KLEMM. Mik. Unters. üb. psam. Gest., *Zeits. d. deuts. g. Ges.*, vol. 34, p. 783 (1882).
9. L. CAYEUX. Exam. mic. du grès de Belleu. *Ann. Soc. G. N.*, vol. 19, pp. 111-112 (1891).
10. J. SOLLAS. On the Structure and Affin. of the Gen. *Catagma*, *Ann. and Mag. of Nat. Hist.*, 5e S., vol. 2, p. 361 (1878).
J. SOLLAS. On the Flint Nodules, etc., id., vol. 6, pp. 445-446.

1° Elle reste dans l'Eponge ; 2° elle se dissémine dans la roche ambiante ; 3° elle silicifie les coquilles calcaires ; 4° elle passe à l'état de silice anhydre et donne des *cristaux de quartz*[1]. Les cristaux de la craie dérivent très probablement des diverses catégories d'organismes siliceux (Spongiaires, Radiolaires et Diatomées).

Je crois bon de rappeler ici le phénomène particulièrement intéressant de production de quartz secondaire sur une grande échelle, en plusieurs points et dans différentes assises du Turonien et du Sénonien du S.-O. du Bassin de Paris (Voir pp. 398 et 399). Dans le tuffeau angoumien de Langeais, il donne naissance à de curieuses structures qui rappellent celles que prend le quartz dans les granits et les granulites. Ces éléments présentent le phénomène de l'extinction roulante.

h. Opale

L'opale libre dans la craie, et indépendante des silex, existe en particulier sous la forme de petits globules dans la craie à *T. gracilis* des environs de Rouen, où elle tient la meilleure place dans le résidu insoluble. On trouve également la silice globulaire dans le ciment de la craie ligérienne de Château-du-Loir (Sarthe). Cette opale dérive des spicules de Spongiaires très répandus dans ces craies, surtout dans la seconde. On trouvera dans la première partie du volume l'étude détaillée de cette curieuse modalité de la silice qui joue un très grand rôle dans les gaizes.

Je rappelle que dans le S.-O. du Bassin parisien, la silice amorphe prend une part variable et souvent importante à la constitution du tuffeau de Touraine et qu'elle est surtout abondante dans le Campanien siliceux de cette région (p. 403).

i. Silex

(Voir le paragraphe « Silex et Chert » pour le S.-O. du Bassin, p. 405).

Je ne m'occuperai ici de ces corps que pour rassembler quelques données recueillies au cours de cette étude et qui pourront être utilisées pour écrire l'histoire complète des silex du Crétacé du Bassin de Paris. Ces données sont les suivantes :

1° *Il existe des silex formés en deux temps* (p. 364). La partie centrale des rognons est un silex complet comme les silex ordinaires de la craie. Elle correspond au premier temps. Elle est entourée d'un silex zoné qui fait corps avec le premier et dont les zones se continuent sans interruption dans la craie ambiante ; il est pourvu d'une patine comme le silex central. L'enveloppe secondaire s'est développée postérieurement à la calcification des spicules siliceux de la craie et au développement des zones ferrugineuses. Un temps d'arrêt s'est produit entre la naissance des deux masses principales du silex ; il a été

1. On pourrait ajouter qu'elle émigre de l'organisme dont elle dérive et du dépôt dans lequel ce dernier est inclus. Ex. : Calcaire à Radiolaires calcifiés du Tithonique supérieur de l'Ardèche.

d'assez longue durée pour que le silex le plus ancien s'entoure d'une patine avant la formation du second. On peut conclure de ce fait que *la formation de rognons de silex est possible dans une craie donnée, à plusieurs périodes de son histoire.* Cette notion, — établie par l'observation directe — explique les divergences de vues sur l'époque de formation des silex dans un sédiment déterminé. Les uns professent l'opinion que la formation du silex s'effectue pendant la période du dépôt de la craie ; les autres sont d'avis que la genèse en est beaucoup plus tardive, et qu'elle est postérieure à l'émersion de la craie (Abbott [1]). Un très petit nombre adoptent une manière de voir mixte et proclament que les silex sont susceptibles de prendre naissance à diverses périodes successives de l'histoire de la craie. Cette dernière solution paraît seule satisfaire aux nombreuses conditions du problème de l'origine des silex.

Je crois avec M. Jukes-Browne [2] qu'il est possible que telle forme de silex soit *contemporaine* du dépôt de la craie et que telle autre lui soit *postérieure.* L'opinion que je me suis faite sur cette question à la suite d'une longue étude du Bassin de Paris est que l'*élaboration des solutions siliceuses d'où sortiront les silex ou les cherts peut commencer sur le fond de la mer et continuer jusqu'après l'émersion de la craie.* Dans le cas particulier du Crétacé du S.-O. du Bassin, la dissolution des restes de Spongiaires et la genèse de rognons siliceux ou la silicification de ciments de composition calcaire qui en sont la conséquence, paraissent s'être prolongées jusqu'à l'époque tertiaire.

Si l'on voulait chercher à quoi correspondent les deux stades de la formation des silex composés parmi les différentes formes de silex : nodules isolés et silex en veines obliques, je crois que l'on pourrait admettre que le silex central représente les rognons isolés, et son enveloppe zonée le silex en filons obliques. La correspondance que je propose pour les deux derniers termes est très vraisemblable, si l'on veut bien remarquer, d'une part, qu'une grande partie ou la totalité de la craie traversée par les silex obliques était déposée depuis longtemps, puisque ces silex coupent parfois de grandes épaisseurs de dépôt, et, d'autre part, que la craie épigénisée par l'enveloppe siliceuse secondaire des silex composés était déjà transformée au point que ses spicules siliceux étaient calcifiés, et que de l'oxyde de fer l'avait déjà envahie.

2° Des silex et des cherts peuvent prendre naissance sans intervention de matière organique. C'est ce qui résulte avec évidence de l'étude des silex de la craie à *I. labiatus* et des cherts ligériens et campaniens du S.-O. du Bassin parisien.

3° *Dans le Bassin de Paris, la masse de silice représentée par les silex d'une craie est généralement — mais pas toujours — en relation étroite avec le nombre et le volume des spicules calcifiés inclus dans cette craie.* On trouve notamment de curieuses exceptions

1. G. ABBOTT. Was the Deposit of Flint and Chalk contemporaneous ? *Geol. Mag.*, N. Ser., D. III., vol. 10, pp. 275-277 (1893).

2. A. J. JUKES-BROWNE. The relative Age of Flint. id., p. 315 (1893).

à cette règle dans le très remarquable travail consacré par M. Jukes-Browne [1] à la silice, disséminée dans la craie d'Angleterre, considérée dans ses rapports avec les silex. Il existe dans le Lower Chalk et l'Upper Chalk des lits de craie où les spicules sont très abondamment représentés par des moules de calcite alors qu'il n'y a pas de silex dans cette craie et qu'ils ne sont pas spécialement abondants dans les couches inférieures. C'est un phénomène de cette nature que j'ai signalé pour les roches à Radiolaires du Tithonique supérieur de l'Ardèche, où l'on ne trouve presque aucune trace de la masse énorme de silice mise en liberté par la calcification d'un nombre considérable de Rhizopodes siliceux [2].

4° Ainsi que l'a parfaitement mis en relief M. Jukes-Browne dans le travail précité, si l'on analyse deux craies, l'une riche en silex, une autre qui en est pauvre, la première peut renfermer de la silice colloïde et la seconde en être dépourvue. D'où cette conséquence que ces deux craies ne renfermaient pas originellement la même somme de silice organique. L'étude de la craie de France confirme cette conclusion par voie d'analyse chimique et par l'étude des coupes minces. Ce dernier procédé d'investigation établit que les craies renfermaient des spicules en proportion très variable, et que par conséquent elles n'offraient pas la même quantité de silice disponible pour la confection des silex. Beaucoup de craies blanches étaient très pauvres en spicules.

5° Des craies très riches en silice organique (craie à *I. labiatus* de Château-du-Loir). et placées, à ce point de vue, dans des conditions exceptionnellement favorables à la genèse de silex, n'en renferment qu'un très petit nombre. Un grand nombre de spicules sont restés siliceux. La composition du ciment calcaire et la présence de nombreux spicules calcifiés démontrent que ces craies ont été le théâtre de phénomènes plus actifs que celles des autres niveaux. Une forte proportion de silice a été mise en liberté, mais, au lieu de se rassembler en nodules, elle est restée disséminée dans toute la masse du sédiment sous la forme de menus globules d'opale [1]. On voit, par ces exemples, que *la rareté ou l'absence de silex dans une craie ne fournissent aucune indication sur la part prise par les Spongiaires à la formation de cette craie.* Pourquoi, dans l'espèce, la silice mise en solution et précipitée sur place, pour ainsi dire, ne s'est-elle pas concentrée en rognons siliceux ? On peut se demander si l'existence dans un sédiment d'une infinité de spicules siliceux, constituant d'innombrables centres d'attraction, n'est pas un obstacle à la ségrégation de la silice en nodules. Tout se passe comme si la silice mise en solution était sollicitée par tous les points de la roche et, partant, précipitée un peu partout.

Destinées de la silice des roches calcaires. Phénomènes de divergence et de conver-

---

1. A.-J. JUKES-BROWNE. The Amount of disseminated Silica, etc. *Geol. Mag.* N. S., D. III, vol. 10, p. 541-547 (1893).

2. L. CAYEUX. De l'existence de nomb. Radiolaires, etc., *C. R. Ac. Sc.*, vol. 122, pp. 342-343 (1895).

1. Voir A.-J. JUKES-BROWNE. Op. cit., pp. 541-547 (1893).

gence présentés par les dépôts calcaires. En sortant un peu du domaine de la craie, on peut répartir en trois catégories les dépôts calcaires riches en dépouilles d'organismes siliceux et susceptibles, par conséquent, de donner naissance à d'importants produits siliceux secondaires comme les silex et cherts.

1° Un premier groupe comprend des craies qui ont conservé intacts un grand nombre de leurs débris d'organismes siliceux (spicules). La silice mise en liberté par la destruction d'une partie de ces organismes est restée dans la roche, dont elle imprègne le ciment. Il y a simple *déplacement* de la silice. Aucun des caractères du dépôt, sauf une plus grande cohésion de ses éléments, ne laisse soupçonner l'importance des métamorphoses dont il a été le siège.

2° La deuxième catégorie comprend les craies dont les organismes siliceux ont été détruits plus ou moins complètement pour former des silex, qu'on retrouve dans le sédiment. Il y a *concentration* de la silice.

3° Un dernier groupe comporte des terrains primitivement très riches en squelettes d'organismes siliceux (Ex. : Calc. du Tith. sup. du Sud de l'Ardèche). Il y a *migration* de la silice. Deux cas peuvent se présenter : A. la silice s'accumule dans les couches sous-jacentes; B. elle quitte le dépôt sans laisser de traces, soit dans le dépôt lui-même, soit dans les strates inférieures.

On voit par ces faits qu'il ne suffit pas qu'il y ait de nombreux organismes siliceux dans un sédiment pour que des nodules siliceux prennent naissance. Il est nécessaire que d'autres conditions soient réalisées. Que sont ces autres circonstances indispensables à la genèse des silex? Elles sont indéterminées pour le moment. Ce qui est évident, c'est qu'elles ont été réalisées à certaines grandes périodes de l'histoire de la terre et qu'elles ont fait défaut à d'autres. Le Crétacé supérieur du Bassin de Paris représente une époque favorable à la genèse de nodules siliceux. Je ne puis citer d'exemple plus éloquent de période défavorable à la formation de ces corps que le Jurassique supérieur méditerranéen qui, sur de grandes étendues et d'énormes épaisseurs, ne renferme pas de silex, bien que les Spongiaires y jouent un rôle considérable et que les Radiolaires y pullulent à certains niveaux. Dans toute une série d'assises, la silice a disparu sans laisser de trace et cela sur des aires immenses.

Un phénomène aussi général témoigne d'une cause générale qui nous échappe.

Cette question des sorts différents réservés à la silice organique est au fond l'une des plus importantes que présente l'étude des formations sédimentaires. *Trois dépôts calcaires de même composition chimique et organique à l'origine donnent naissance avec le temps à trois terrains très différents :* Le premier conserve sa silice disséminée dans toute la roche; le deuxième devient un calcaire presque pur avec silex nombreux; le troisième passe à l'état de calcaire pur sans silex. C'est un phénomène de *divergence* comme on en observe dans le règne animal. La variété procède ici de l'uniformité. Voilà une des

causes principales de l'infinie diversité des termes de la série sédimentaire. Mais il y a aussi de curieux phénomènes de *convergence* : Une craie durcie exclusivement formée d'organismes *calcaires* pélagiques ne diffère plus à l'œil nu d'un calcaire jurassique dont les nombreux organismes *siliceux* ont été calcifiés, sans qu'il reste de traces de la silice mise en liberté.

2° ORGANISMES

Les organismes qui prennent part à la composition de la craie se répartissent entre le règne animal et le règne végétal. L'activité du premier groupe a été prépondérante.

MOLLUSQUES ET BRACHIOPODES

La présence de débris de coquilles de Mollusques et de Brachiopodes est constante à tous les niveaux. Seuls, les Mollusques interviennent d'une façon appréciable dans la constitution de la craie. Les *prismes d'Inocérames* en représentent souvent l'élément essentiel. On en trouve dans tous les échantillons et dans les craies les plus fines. Il est très rare qu'une section mince en soit dépourvue, même dans les variétés où ces corps ne jouent qu'un rôle tout à fait accessoire. Le sommet du Turonien et surtout la base du Sénonien sont les niveaux où ils sont le plus répandus dans tout le bassin. Ils atteignent la proportion exceptionnelle de *neuf dixièmes* dans une craie à *M. c. testudinarium* des environs de Lille. La partie moyenne de la même assise en est formée pour *plus de la moitié* dans la région de Rouen. La craie à *M. gibbus* de l'Yonne en contient de 20 à 25 %.

La poudre crayeuse des silex creux renferme des prismes d'Inocérames silicifiés. Ils sont assez nombreux à cet état dans les dièves à *I. labiatus* du Nord.

Les prismes d'Inocérames manquent dans le S.-O. du Bassin parisien.

On trouve également dans toutes les craies de petits fragments prismatiques que l'on peut rapporter aux Brachiopodes sans hésitation. Leur rôle est bien loin d'avoir l'importance de celui des débris de Mollusques.

BRYOZOAIRES

Il semble que les conditions nécessaires à la formation de la craie aient été également très favorables au développement des Bryozoaires. Leur existence a été signalée pour la première fois par Lonsdale en 1835. Ehrenberg, Mantell, etc. notèrent également leur présence quelques années plus tard. La craie proprement dite en contient de nombreuses espèces. L'étude de ces organismes n'a guère été faite qu'à Meudon, Fécamp, Reims, Epernay, etc. Dans le S.-O. du Bassin, le Turonien (non compris l'assise à *I. labiatus*) et le Santonien sont en majeure partie le produit de l'activité de ces organismes (voir p. 399). La présence dans la craie de colonies discernables à l'œil nu ne donne qu'une

idée fort incomplète du rôle joué par les Bryozoaires. Ils entrent dans la composition de la craie sous la forme de menus débris comportant une ou quelques cellules et de très petites particules dont le microscope seul peut révéler l'existence.

Les éléments les plus ténus qui dérivent des Bryozoaires ont deux origines : Les uns résultent de l'action dynamique de l'eau sur les colonies ; les autres ont pour point de départ l'instabilité de l'aragonite. Cette substance prend une part très variable à la constitution du squelette des Bryozoaires ; elle est intimement associée à la calcite. Lorsqu'elle est prépondérante, elle peut, en se désagrégeant, réduire en poudre le carbonate de chaux de ces organismes. Les particules calcaires qui prennent ainsi naissance n'ont aucune marque d'origine.

A l'état de fragments comportant une ou plusieurs loges, ils concourent largement à la formation d'une large bande de craie, s'étendant depuis le S. de la vallée de l'Eure jusque vers les bords de la Manche (Fécamp). Au fur et à mesure qu'on s'avance vers le centre du Bassin, ils passent au rang d'éléments accessoires. Jamais ils ne font défaut. C'est dans le Bray que les débris de Bryozoaires présentent le maximum de rareté. On les retrouve avec une certaine fréquence dans les craies du Nord, principalement dans les assises dont les matériaux de transport sont le plus répandus. C'est dans les craies à *M. c. anguinum* et à *Bélemnitelles* qu'ils sont le plus clairsemés. Ils sont parfois très nombreux dans les craies les plus récentes du Sénonien du Bassin de Paris (Meudon). Dans l'Yonne presque toutes les craies en renferment à raison de un ou deux fragments par section mince.

Les poudres crayeuses de certains silex creux renferment des morceaux de colonies silicifiés.

OSTRACODES

On en trouve toujours quelques valves, à tous les niveaux, quand on procède au lavage de volumineux échantillons de craie. C'est dans les poudres des silex creux qu'on peut les observer le plus facilement ; ils y sont parfois silicifiés. Il n'est pas vraisemblable qu'ils aient été originellement plus abondants sur l'emplacement de ces silex. Leur plus grande fréquence tient sans doute à l'existence même du silex qui les a protégés contre l'action dissolvante des eaux circulant dans la craie.

ECHINODERMES

La présence de restes microscopiques d'Echinodermes est également constante à tous les niveaux. En général les grandes plaques d'Oursins ne prennent qu'une part assez négligeable à la composition de la craie. Il y a à ce sujet de très curieuses exceptions comme la craie à *M. c. anguinum* de Caumont (Eure) dont *un cinquième* est formé

de plaques d'Oursins. Les radioles de Micraster, d'Ananchytes, etc., se rencontrent plus fréquemment.

Ce sont des plaquettes polygonales de forme souvent irrégulière, visibles seulement dans le résidu de lavage de la craie, qui forment les représentants les plus répandus de ce groupe. Un petit nombre sont perforées. D'une façon générale, elles sont rares dans le Turonien, sauf dans l'assise à *M. breviporus*, où elles commencent à se multiplier. La base du Sénonien en est généralement très riche. Il est des craies comme par exemple celle de l'assise à *M. c. testudinarium* du Bray que j'ai étudiée, dont elles fournissent la meilleure caractéristique. Une partie de ces plaquettes appartiennent aux *Stellerides* ; un certain nombre doivent probablement être rapportées aux *Crinoïdes*. M. Sorby a démontré que le test des Echinodermes, formé de calcite, se désagrège en plaquettes distinctes. Une très forte proportion de celles que j'ai observées dans la craie se réclament de cette origine.

ANTHOZOAIRES

Il est impossible de préciser le rôle joué par les Anthozoaires dans la constitution de la craie. L'existence de vestiges d'*Alcyonaires* n'est démontrée que pour un très petit nombre de cas. Le squelette des *Zoanthaires* formé d'aragonite se désagrège en granules de calcite, ainsi que l'a montré M. Sorby [1]. Il partage cette propriété avec toutes les coquilles en aragonite des autres groupes d'organismes qui ont concouru à la formation de la craie. Ces petits éléments de calcite tiennent souvent une très grande place dans la composition du ciment, ainsi que je l'ai montré par l'étude analytique des craies. On doit certainement en rapporter une partie aux Zoanthaires.

SPONGIAIRES

Ils ont laissé des débris dans presque toutes les craies, mais pour les mettre en évidence, il est souvent nécessaire de dissoudre un assez gros volume de craie et d'en étudier le résidu. Je n'en connais qu'un nombre relativement faible qui admettent les restes de Spongiaires comme élément essentiel. Exemples : craie à *I. labiatus* de Château-du-Loir (Sarthe), renfermant environ 20 °/₀ de spicules ; craie à *M. c. anguinum* de Maintenon, 25 °/₀ ; certains échantillons de la craie de Meudon, 20 °/₀; la craie à *Act. plenus* de Rouen, dont la proportion de spicules atteint jusqu'à 1/8.

Dans l'état actuel de nos connaissances, l'assise à *I. labiatus* est très pauvre en restes de Spongiaires sauf en Touraine ; la craie à *T. gracilis* n'est riche en spicules que dans la région de Rouen. Le sommet du Turonien se fait remarquer partout par la fréquence des spicules dans le résidu et souvent même dans les sections minces. L'assise à

1, H. C. SORBY. Ann. Address, etc. *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol. 35, p. 71 (1879).

M. c. testudinarium en est très inégalement pourvue ; sa partie inférieure en renferme un grand nombre à la base de l'assise dans le Nord. Ils se raréfient déjà beaucoup au même niveau dans le Bray. Partout ailleurs, ils sont très clairsemés. La craie à *M. c. anguinum* est la seule de ce niveau qui renferme un nombre très notable de spicules. La craie phosphatée à Bélemnitelles en est assez riche dans l'Yonne. On ne retrouve ensuite de nombreux spicules qu'à certains niveaux de la craie de Meudon. En résumé, un seul horizon, celui de la craie à *M. breviporus,* se rencontre partout dans le bassin avec une riche faune de spicules sauf dans le Sud-Est.

Parenté des faunes. On voit d'après ce qui précède qu'il n'y a de comparaison possible entre les spicules d'une assise considérée, en plusieurs points du Bassin, qu'au sommet du Turonien et à la base du Sénonien. Les figures que j'ai données des spicules de ces niveaux renferment des formes communes, mais elles ne peuvent donner une idée exacte *de la parenté des faunes qui est fondée à la fois sur la proportion de types communs et sur le nombre d'individus qui représentent une forme commune.* A ce dernier point de vue, elles ne traduisent nullement la physionomie des faunes. En tenant compte de l'ensemble des caractères que présentent les spicules des deux niveaux en question, on peut conclure à une parenté marquée entre les débris de Spongiaires des craies à *M. breviporus* et à *M. c. testudinarium* aux différents points du bassin étudiés.

La faune de spicules de l'assise à *Rh. vespertilio* de la tranchée de Torchay (Sarthe) est remarquable par les formes qui lui sont communes avec le sommet du Turonien et la base du Sénonien du Nord, de la Somme et du Bray. Il paraît en résulter une parenté notable entre les faunes de Spongiaires de ces régions. Le fait mérite d'autant plus d'être souligné que dans la Sarthe, les débris de Spongiaires font partie d'un dépôt riche en minéraux détritiques, et essentiellement formé de restes de Bryozoaires, effectué à une très faible profondeur et à proximité du continent.

Distribution dans le temps des différents groupes de spicules. Au point de vue de la distribution des groupes entre lesquels se répartissent les différentes formes de spicules isolés dans le résidu insoluble, on peut décomposer l'ensemble du Turonien et du Sénonien en trois périodes distinctes :

1° La première est caractérisée par l'abondance des spicules de *Lithistidæ* et la rareté ou l'absence des restes d'*Hexactinellidæ*. Elle comprend les assises à *I. labiatus* et à *T. gracilis*. Seules les craies du S.-O. et de l'O. du Bassin de Paris rentrent dans cette catégorie.

2° Une deuxième période ne comprend que la craie à *M. breviporus* dont la faune de spicules isolés se présente partout avec une grande uniformité. Elle est invariablement composée de formes monoaxes et de spicules de *Tetractinellidæ*. Les *Hexactinellidæ*

manquent. L'existence des *Lithistidæ* est incertaine ; en tout cas si elle était établie, leur rôle serait presque nul.

3° La dernière période correspond à tout le Sénonien. Les spicules d'*Hexactinellidæ* réapparaissent dans le résidu avec la base de la craie à *M. c. testudinarium*, se multiplient rapidement et caractérisent cette troisième phase. Sauf dans le S.-O., je n'ai jamais rencontré de spicules d'*Hexactinellidæ* isolés dans les craies turoniennes, et en dehors de cette région l'apparition de spicules hexaradiés dans le résidu coïncide toujours avec le début de l'époque sénonienne.

On pourrait sans inconvénient réduire ces trois périodes à deux. Il y a, en effet, de très grandes affinités entre les faunes de spicules des assises à *M. breviporus* et à *M. c. testudinarium*.

Il est très difficile d'apprécier le rôle exact joué par les *Monactinellidæ*, par suite de l'état de conservation des spicules monoaxes qui sont presque constamment épigénisés par la glauconie. Les seules formes que l'on puisse rapporter à cet ordre en toute assurance relèvent des assises à *I. labiatus* (Sarthe) et à *T. gracilis* (Rouen). Il n'y a aucune raison pour révoquer en doute leur existence dans les autres assises, mais il est toujours impossible d'y faire le départ des spicules qu'il conviendrait de leur rapporter et des individus monoaxes qui font partie d'autres ordres.

Les *Calcispongidæ* sont représentés dans presque toutes les craies. On les trouve notamment en assez grande quantité dans le limon de lavage des différentes craies de l'Yonne. Dans le Nord, leurs spicules paraissent cantonnés dans le Turonien. Les assises à *M. breviporus* et à *M. c. testudinarium* du Bray en sont également pourvues.

État de conservation des spicules. Il est exceptionnel que les spicules d'Eponges siliceuses soient en *opale*. Ce mode de conservation ne s'observe sur une grande échelle que dans la craie à *I. labiatus* du Sud-Ouest (Château-du-Loir) et dans la craie à *T. gracilis* de Rouen. Les craies à *H. planus* et à *M. gibbus* de l'Yonne m'ont fourni quelques rarissimes individus monoaxes remarquables par une telle fraîcheur de conservation qu'on les croirait volontiers extraits de quelque vase océanique actuelle. A de rares exceptions près, les spicules du résidu sont *glauconieux*. La transformation en *calcite* est le mode de fossilisation le plus répandu. Les plus curieux exemples sont fournis par la craie à *Act. plenus* de Rouen, le sommet de la craie à *M. breviporus* du Nord et certaines craies de Meudon. Le nombre de formes ainsi calcifiées est très considérable. Elles témoignent de la mise en liberté d'une grande somme de silice d'où procèdent les silex de la craie. En un seul cas j'ai observé des spicules *pyriteux*. Il est tout à fait exceptionnel que la place des spicules siliceux dissous soit marquée par des *vides* (Maintenon) comme dans les gaizes. Je citerai comme curieux états de fossilisation des restes d'Éponges, les spicules en *phosphate* de la base de la craie à Bélemnitelles et les formes en *limonite* de la craie à *Act. plenus* de Rouen.

L'*absence absolue* de spicules du squelette de *Lithistidæ* transformés en glauconie est très remarquable. La raison de cette particularité m'est inconnue. Il convient peut-être d'expliquer les différences de composition si radicales entre la faune de spicules des craies ligériennes, très riches en formes de *Lithistidæ* et celle du sommet du Turonien et de tout le Sénonien qui en paraît dépourvue ou peu s'en faut, par une sorte d'affinité plus grande de la glauconie pour les spicules des autres groupes, et non à l'absence de ces Spongiaires dans la mer du Turonien supérieur et du Sénonien. Les formes de spicules glauconieux sont d'ailleurs beaucoup moins variées que celles de spicules en opale. Je suis tenté d'expliquer cette différence par la raison que la glauconie ne pseudomorphose pas tous les spicules, qu'un grand nombre sont calcifiés, de sorte que *le résidu ne donne qu'une idée imparfaite de la composition originelle de l'ensemble des débris de Spongiaires accumulés dans une craie.*

A tous les niveaux, on observe des spicules tronçonnés. Les formes entières existent surtout dans les craies à *I. labiatus* (Sarthe) et à *T. gracilis* (Rouen). La plupart des spicules glauconieux du sommet du Turonien et de la base du Sénonien sont imcomplets. J'attribue l'apparence fragmentaire des restes de Spongiaires à deux causes : 1° Elle est d'origine mécanique ; c'est le cas des individus en opale qui sont brisés et des formes glauconieuses ou calcifiées qui se montrent incomplètes dans les sections minces ; 2° Il arrive que des bâtonnets siliceux ne soient transformés en glauconie que sur une partie de leur longueur ; quand la matière siliceuse respectée par la glauconie est ultérieurement enlevée, puis remplacée par de la calcite — ce qui est relativement fréquent, — la dissolution de la craie donne un résidu où les spicules en question ne sont représentés que par leurs portions glauconieuses : dans ce cas particulier les spicules incomplets ne doivent leur aspect brisé qu'à un phénomène de fossilisation. Beaucoup de spicules glauconieux des résidus de craies doivent certainement leur état fragmentaire non à une cause dynamique, mais à leur mode de fossilisation.

Variations du volume des spicules. Le Nord est surtout intéressant à considérer à ce point de vue par suite de la présence de débris de Spongiaires dans une série ininterrompue de niveaux. A partir de la craie à *M. breviporus* où les spicules isolés commencent à devenir fréquents dans le résidu, on voit leur volume augmenter avec la proportion et le diamètre des éléments de transport. A la base du Sénonien, la variation inverse se produit ; elle est liée à la réduction du nombre et du volume des minéraux clastiques. Cette corrélation s'explique par le fait que les modifications qui affectent le résidu clastique, dans la quantité et dans le volume de ses éléments, sont liées à des variations bathymétriques qui ont affecté le volume du squelette des Spongiaires, comme elles le font de nos jours.

Examen comparatif des débris de Spongiaires de la craie avec ceux du S.-O. du Bassin. 1. Dans le S.-O. du Bassin de Paris les niveaux les plus riches en débris de Spongiaires

sont les termes extrêmes de la série étudiée : le Ligérien et le Campanien. Le maximum de fréquence des spicules isolés est réalisé dans le Campanien où la roche en est parfois presque exclusivement formée. Plus on s'écarte de ces terrains pour se rapprocher de la limite du Turonien et du Sénonien, moins on trouve de spicules.

2. En Touraine, tous les ordres de Spongiaires siliceux sont représentés par des spicules isolés dès le début du Turonien, tandis qu'à l'intérieur du Bassin les débris d'*Hexactinellidæ* n'apparaissent qu'avec le Sénonien — ce qui ne veut pas dire que ces Eponges n'y ont pas vécu plus tôt.

3. Dans le Nord (sommet du Turonien), dans la région de Rouen (craie à *Act. plenus*) et dans l'Yonne (craie phosphatée à Bélemnitelles), le maximum de fréquence des spicules isolés correspond à la profondeur minima de la mer [1]. Dans le S.-O., il est en relation avec la plus grande profondeur de la mer (Ligérien et Campanien).

Les documents que j'ai réunis sur les débris de Spongiaires de la craie sont très incomplets. Ils sont uniquement empruntés aux spicules détachés des organismes dont ils faisaient partie et disséminés dans la boue crayeuse. Donnent-ils une idée approchée ou exacte de la composition de la faune de Spongiaires de la craie, ou bien la notion en serait-elle notablement modifiée par la connaissance des Eponges intactes ? Cette question ne pourra être tranchée que par une étude systématique des Spongiaires de la craie de France.

RADIOLAIRES

Les Radiolaires ont été jusqu'ici considérés comme des organismes *rarissimes* dans la craie blanche. Dans sa belle monographie des Radiolaires du Crétacé, M. Rüst [2] ne signale dans le Crétacé supérieur que cinq genres représentés par six espèces, y compris les formes découvertes par M. Zittel dans le Crétacé du Nord de l'Allemagne. En se reportant à la revue bibliographique que j'ai consacrée aux Radiolaires de la « Smectique de Herve » (Chap. V), on peut s'assurer que plusieurs observateurs ont signalé leur présence dans les étages turonien et sénonien. Mais quand on porte spécialement l'attention sur la nature des roches dans lesquelles ces organismes sont inclus, on constate que le plus souvent elles diffèrent très sensiblement de la craie blanche. C'est ainsi que le gisement des Radiolaires du Crétacé supérieur de Halden, en Westphalie, et de Vordorf, en Brunswick, découvert par M. Zittel [3] en 1876 dans le Sénonien supérieur, n'est pas une craie typique, que les couches de Priesen (Sénonien inférieur) qui ont fourni de si jolies formes à M. Fristch [4] (décrites par M. Perner[5]) sont marneuses

1. La craie de Meudon formée à une très faible profondeur fournit des échantillons très riches en débris de Spongiaires.

2. RÜST. Beitrag zur Kenntniss, etc. *Palaeontographica*, vol. 34. pp. 187-189 (1887-88).

3. K. A. ZITTEL. Ueber einige fossile Radiolarien, etc. *Zeitsch. d. deutsch. Geol Ges.*, vol. 28, pp. 75-86 (1876).

4. A. FRISTCH. Stud. im Gebiete d. böhm., etc. *Arch. d. Naturw. Land. von Böhmen*, vol. 9, n° 1. Prag. (1893).

5. PERNER. O radiolariích z ceskeho, etc. *Sitz. d. kön. böhm. Ges. d. Wiss*, 17 April (1891).

et que le « Melbourn-Rock » (Turonien inférieur), dans lequel MM. Hill et Jukes-Browne [1] ont signalé tout récemment une très intéressante faune de Radiolaires, est loin d'être une craie blanche. De même les formes indiquées par M. Rüst dans le Turonien et le Sénonien d'Angleterre et de Rügen ont été trouvées dans des silex.

J'ai observé des Radiolaires dans différentes assises et en plusieurs points du Bassin de Paris. Je vais les mentionner ici par suite de l'intérêt qui s'attache à l'étude de ces organismes.

Assise à *T. gracilis*, région de Rouen : *Spumellaria* et *Nassellaria* (*Cyrtoidea*).

— *M. breviporus*, région de Rouen et Nord : *Spumellaria*.

— *Bélemnitelles*, Somme et Yonne : *Spumellaria* et *Nassellaria* (*Cyrtoidea*).

C'est seulement dans la craie à Bélemnitelles qu'ils se présentent avec quelque fréquence. Certaines plages phosphatées en montrent un nombre relativement grand et de forme variée. Le test des Radiolaires est *siliceux*, *calcaire* ou *phosphaté*.

Je crois utile de rappeler ici que j'ai trouvé des Radiolaires dans le Campanien siliceux de Saint-Avertin, près de Tours. Ce sont des *Cyrtoidea*, de la famille des *Lithocampida*. Le terrain qui les renferme est synchronique de la « Smectique de Herve » (Belgique), dans laquelle j'ai trouvé la faune de Radiolaires décrite au chapitre V.

La craie à *T. gracilis* de Rouen avec Radiolaires ne contient qu'une très faible proportion d'argile. Elle n'est pas une craie marneuse à proprement parler. Celle du niveau à *M. breviporus* de la même région est une craie normale. La craie à *M. breviporus* du Nord qui renferme des Radiolaires est un peu glauconieuse. Quant à celle de l'assise à Bélemnitelles, c'est une craie blanche des plus typique et phosphatée par places. On est donc bien ici en présence de Rhizopodes siliceux conservés dans de vraies craies.

Les conditions dans lesquelles gisent les Radiolaires en question dans le Bassin de Paris conduisent à penser qu'ils ont été beaucoup plus nombreux à l'origine et que les très rares formes qui nous sont parvenues doivent leur conservation à un milieu protecteur spécial. MM. Hill et Jukes-Browne [2] faisaient remarquer en 1895 que le test des Radiolaires est détruit avec une très grande facilité; l'observation des Radiolaires des Barbades leur a fourni la preuve de cette propriété. Aussi, dans un milieu comme la craie, qui a été si favorable à la dissolution de la silice des organismes siliceux, — témoins les innombrables spicules calcifiés de Spongiaires, — ont-ils presque toujours disparu. Si on les trouve dans le résidu de la craie à *T. gracilis* de la région de Rouen, c'est que ce dépôt a conservé intacts ses nombreux spicules siliceux, et qu'il s'est précipité dans le ciment de la roche une infinité de globules d'opale qui témoignent de conditions favorables à la conservation de la silice et non à sa destruction. C'est pour la

1. W. HILL and A.-J. JUKES-BROWNE. On the Ocurrence of Radiolaria, etc. *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol. 51, pp. 601-602 (1895).

2. W. HILL and A.-J. JUKES-BROWNE, Op. cit., p. 603 (1895).

même raison que les roches siliceuses sénoniennes de Battice, près de Herve (Belgique), ont conservé tant de formes intactes de Radiolaires. Les craies phosphatées du Nord, de la Somme et de l'Yonne ne renferment de Radiolaires que dans les plages imprégnées de phosphate. Or, il est des plus évident que ces organismes ont existé primitivement en dehors des points envahis par cette matière.

Bref, l'étude de la craie du Bassin de Paris conduit à la conclusion que *les Radiolaires ne sont si rares dans le Crétacé supérieur que parce qu'ils ont été détruits.* Eux aussi ont concouru à la formation des silex dans une mesure qu'il est impossible de préciser ; mais, à mon avis, la quantité de silice qui en procède n'est nullement négligeable.

Le gisement si particulier des Radiolaires de la craie et les enseignements qui en découlent indiquent quels échantillons il convient de choisir pour la recherche de ces organismes. Je suis convaincu qu'en s'adressant, soit à des craies très phosphatées, soit à des craies dont la silice organique ne s'est pas encore concentrée sous la forme de silex, soit enfin à des silex creux, on finira par mettre en évidence l'existence d'une riche faune de Radiolaires dans le Crétacé supérieur. Autrement dit, il faut chercher des milieux crayeux placés dans des conditions anormales vis-à-vis de la grande masse de craie ordinaire depuis que le phénomène sédimentaire a pris fin. Les recherches si fructueuses de M. Rüst ont d'ailleurs montré que les nodules de phosphate de chaux sont un des gisements les plus favoris des Radiolaires. Celles qui ont amené la découverte des nombreuses formes sénoniennes figurées sur les planches VI et VII de ce mémoire laissent entrevoir ce que l'on peut attendre de l'exploitation des roches siliceuses.

FORAMINIFÈRES

Il n'entrait pas dans mon dessein de donner dans ce travail une étude des Foraminifères de la craie, pas plus que je ne me suis proposé d'étudier les Mollusques, Bryozoaires et autres organismes qui concourent à la formation de ce dépôt. *Mon unique but était de montrer dans quelle mesure ils ont participé à la genèse de la craie et de dessiner à très grands traits les variations d'ensemble de la faune.* Les résultats de l'étude des Foraminifères de la craie du Bassin de Paris que je vais consigner ici sont le fruit de l'examen d'un nombre considérable d'échantillons, prélevés dans les différents points du bassin étudiés presque toujours à la fois en plaques minces et par dissociation des éléments dans l'eau.

On a longtemps considéré la craie comme essentiellement formée de Foraminifères. Ehrenberg [1], en 1838, dit que Lonsdale en a compté *mille* par livre de craie et que lui-même a trouvé plus d'*un million* de « Polythalames » par pouce cube dans les craies

1. EHRENBERG. Ueber die Bildung der Kreidefelsen, etc. *Abh. d. k. Akad. d. Wiss. zu Berlin*, p. 73 (1838).

de Meudon et du Danemark. D'Orbigny [1] les considérait également comme très répandus dans la craie. Marcel de Serres [2] estimait qu'il en existe plus de *dix millions* dans 500 gr. de craie.

Cette idée que la craie renferme dans son sein une proportion très élevée de Foraminifères est encore celle de beaucoup de géologues de notre époque. Mais depuis qu'on n'étudie plus seulement les éléments de ce dépôt en les désagrégeant, mais en les examinant en place dans les sections minces, cette opinion s'est profondément modifiée et l'on commence à enseigner que la craie est pauvre en Foraminifères. Ces deux opinions contradictoires sont exactes, tour à tour, suivant les craies que l'on considère.

C'est au naturaliste anglais Mantell que revient le mérite d'avoir établi le premier — il y a plus de cinquante ans — que les Foraminifères ne sont pas toujours répandus à profusion dans la craie. Mantell découvrit en 1845 que dans beaucoup de strates, il est rarement possible de mettre en évidence des spécimens bien définis de Foraminifères. Il s'exprime ainsi dans sa note sur l'examen microscopique de la craie :

« *I confess that frequent disappointement in my search of these bodies has made me somewhat sceptical of receiving at their full value, the glowing description of the Prussian philosopher* » [3].

M. Sorby [4] montra en 1861 combien le doute de Mantell était fondé. Il reconnut qu'il y a des craies riches en Foraminifères et d'autres qui sont presque uniquement formées d'une « fine matière granulaire » (= ciment). En général, dit M. Sorby, la composition de la craie est intermédiaire entre ces deux extrêmes.

On ne trouve trace en France des réserves de Mantell que quarante ans plus tard. MM. Munier-Chalmas et Schlumberger [5] écrivirent en 1885 que les « Foraminifères sont très disséminés dans la masse crayeuse. »

TABLEAU INDIQUANT LE POURCENTAGE DES CRAIES EN FORAMINIFÈRES

ÉTAGE	ASSISE	NORD	BRAY	RÉGION DE ROUEN	YONNE
SÉNONIEN	Craie à *Bélemmitelles* . .	»	5-10	»	2-70
	— *M. c. anguinum* .	5-15	10-15	5-25	8-10
	— *M. c. testudinarium*	5-65 5	35-60	25-35	10-65
TURONIEN	— *M. breviporus* . .	5-60	50 au moins.	50-75	70
	— *T. gracilis* . . .	30-55	35 50	très variable jusqu'à 75	8-10
	— *I. labiatus* . . .	20		80	
	— *Act. plenus* . . .	»	»	50-60	»

Degré de fréquence des Foraminifères dans chaque assise. Je n'ai fait figurer dans le tableau ci-contre que les craies des régions dont toute la série des assises a été soumise

1. A. D'ORBIGNY. Mém. sur les For., etc., *Mém. S. G. F.* vol. 4, p. 2 (1859 publié en 1840).
2. MARCEL DE SERRES. De l'origine des silex. *Actes Soc. lin. de Bordeaux*, pl. 16, pp. 26-27 (1850).
3. MANTELL. Note of a mic. Exam., etc. *Ann. and Mag. of N. Hist.*, vol. 16, p. 75 (1845).
4. H. C. SORBY. On the organic Origin, etc. *Ann. and Mag. of N. Hist.*, 3e S., vol. 8, p. 197 (1861).
5. MUNIER-CHALMAS et SCHLUMBERGER. Note sur les Miliolidées, etc. *B. S. G. F.*, 3e S., vol. 13, p. 274 (1885).

à l'étude micrographique. La teneur en Foraminifères est indiquée en chiffres ronds qui ne sont exacts qu'à plusieurs unités près. Ces chiffres sont d'ailleurs parfois très difficiles à établir en raison des changements que l'on observe d'un spécimen à l'autre. Quand l'écart est très grand entre plusieurs échantillons d'une même assise, j'ai noté leurs teneurs respectives. Il importe d'ajouter qu'un très grand nombre d'échantillons tant turoniens que sénoniens empruntés à d'autres points du Bassin ont donné des résultats concordants avec ces chiffres. Ce tableau met en évidence le fait important et général que *la proportion de Foraminifères atteint son maximum dans le Turonien* — une craie à *I. labiatus* de la région de Rouen en renferme au moins 80 % —, et qu'elle est très faible dans le Sénonien, à partir de l'assise à *M. c. anguinum*.

Je désire appeler l'attention sur les points suivants :

1. Le Turonien du Nord ne paraît relativement pauvre en Foraminifères qu'en raison de la forte teneur en argile qui caractérise les assises inférieures. Si on en calculait le degré de fréquence en le rapportant au carbonate de chaux total, les chiffres donnés pour les couches à *I. labiatus* et à *T. gracilis* se rapprocheraient beaucoup de ceux donnés pour les autres régions.

2. C'est pour une autre raison que les mêmes assises renferment si peu de coquilles de Foraminifères dans l'Yonne. Un grand nombre ont disparu par un processus que j'ai longuement analysé en étudiant les craies du Nord (p. 250). De plus la proportion de 10 % n'est pas une moyenne mais le résultat de l'examen d'un seul spécimen.

3. Les teneurs maxima indiquées pour les craies à *M. c. testudinarium* se rapportent aux couches inférieures de l'assise.

4. La craie blanche à Bélemnitelles de l'Yonne accuse des teneurs en Foraminifères très différentes : l'une correspond à une craie blanche de la base et l'autre à la même craie considérée dans les plages imprégnées de phosphate de chaux.

On voit par ce tableau qu'on ne peut pas dire *d'une façon générale* que la craie est très riche en Foraminifères ou qu'elle en est pauvre. Il est indispensable de toujours spécifier de quelle craie il s'agit, quand on exprime une opinion sur le degré de fréquence de ces organismes.

Transformation dans le temps de la faune de Foraminifères des craies turoniennes et sénoniennes. La faune de Foraminifères de la craie subit une profonde transformation au cours des époques turonienne et sénonienne. Sauf dans la partie tout à fait septentrionale et au S.-O. du Bassin, le Turonien est caractérisé par la présence de Foraminifères monothalamiens (*Fissurina* et accessoirement *Orbulina*) qui, dans certains cas, arrivent à constituer à eux seuls presque toute la faune de Rhizopodes (98-99 % de la craie à *I. labiatus* de la région de Rouen). Ces formes pénètrent en grand nombre dans le Sénonien et diminuent au fur et à mesure qu'on s'élève dans l'étage. Tantôt elles restent prépondérantes dans la craie à *M. c. testudinarium* (Bray et Yonne), tantôt les

formes pluriloculaires comme *Textularia* et *Rotalia* l'emportent dès la base du Sénonien, ce qui paraît être le cas plus général. Dans tous les cas, à partir de la craie à *M. c. anguinum*, ces deux genres, mais surtout le premier, représentent par leur fréquence les éléments les plus caractéristiques de la faune de Foraminifères.

Les géologues anglais ont reconnu l'existence de nombreuses formes monoloculaires dans la craie. M. W. Hill, en 1889, après avoir fait remarquer combien la proportion de Foraminifères est faible, dit qu'on trouve en abondance à certains horizons des corps ordinairement rapportés à des cellules détachées ou primordiales de Globigérines [1].

Il résulte de la description sommaire qu'il donne des assises de la craie des environs de Londres que c'est dans le Turonien qu'on les observe ainsi en quantité.

M. Jukes-Browne les a signalées en 1891 dans la partie moyenne du Middle Chalk de la région de Devizes [2].

Rareté des Globigérines. Le rôle des Globigérines considéré dans son ensemble est tout à fait secondaire et souvent presque négligeable. Lors de leur maximum de fréquence, ce sont encore des organismes très accessoires. C'est dans le Turonien qu'elles sont généralement le moins rares. Les premiers micrographes Ehrenberg et Mantell avaient déjà noté le fait, il y a une cinquantaine d'années, que *Rotalia* et *Textularia* étaient les genres dominants de la craie blanche. Ce n'est que plus tard que l'importance des Globigérines a été exagérée. M. Sorby a signalé des craies qui en renferment 90 °/₀, représentées par des individus entiers ou incomplets. Pareille proportion doit résulter de l'attribution à ces Foraminifères de formes monothalamiennes.

Existence de Foraminifères à test arénacé. A presque tous les niveaux, il y a association de différents Foraminifères dont il vient d'être question et de grandes formes à test épais et arénacé appartenant en majeure partie à la famille des *Textularidæ*. MM. F. Hume [3] et Chapman en ont signalé dans la craie d'Angleterre. On les trouve à raison de un à une dizaine d'individus au plus par section mince.

Dans le Nord, ils cessent d'apparaître dans les préparations à partir de la craie à *M. c. testudinarium* (Banc des Roux). Ils sont d'une grande rareté dans le Bray. On les retrouve beaucoup moins clairsemés dans la région de Rouen et de l'Yonne. C'est au sommet du Turonien et à la base de la craie à Bélemnitelles qu'ils paraissent le plus nombreux.

Transformation de la faune dans l'espace. Ces grands Foraminifères de fond dont le rôle est généralement très effacé dans la craie ordinaire se multiplient au N.-O. et au S.-O. du Bassin. Ils sont déjà beaucoup plus nombreux dans l'Eure ; dans certains

1. W. HILL in W. WHITAKER, op. cit. p. 519 (1881).
2. A. J. JUKES-BROWNE. The Geology of Devizes. *Proc. Geol. Ass.*, vol. 12, p. 263 (1891).
3. F. HUME. Chemical and microm. Res., etc., London (1893).
F. HUME. Oceanic Deposits, etc., *Nat. Science*, vol. 7. n° 44, pp. 270-276 (1895).

échantillons de la « craie » de Chartres, ils existent presque à l'exclusion des autres. Les couches à *I. labiatus* conservent leur caractère crayeux et leurs Foraminifères monoloculaires bien loin vers le S.-O. Ces dernières formes prédominent encore dans le tuffeau de Touraine où elles sont déjà associées aux *Textularidæ* à test arénacé qui l'emportent dans l'Angoumien. Elles sont prépondérantes ou non dans le Santonien, suivant les points considérés.

C'est dans la région de Chartres que l'on observe le mélange des grandes coquilles arénacées aux Foraminifères de petite taille, à test mince qui forment le fond de la faune de Rhizopodes calcaires de la craie typique.

Comme autre modification latérale de moindre importance, je citerai celle qui s'effectue au niveau des craies à *I. labiatus* et à *T. gracilis* du Nord où les individus pluriloculaires viennent en première ligne alors qu'ils sont relégués au second rang au même niveau dans les autres régions étudiées.

Changements rapides dans la faune. De grandes différences peuvent parfois se manifester entre deux faunes successives. C'est ainsi qu'à la faune de Rhizopodes très variée comme genre de la craie à *Act. plenus* de Rouen, composée par parties égales de formes mono- et pluriloculaires succède celle de la craie à *I. labiatus* dont l'uniformité est excessivement remarquable. Comme je l'ai rappelé plus haut, elle est formée de Foraminifères monothalamiens dans la proportion de 98 à 99 %. Le passage de cette dernière à la craie à *T. gracilis* se fait par une craie qui, au point de vue des Foraminifères, présente des caractères très particuliers. La faune à formes monoloculaires de la craie à *I. labiatus* est rapidement remplacée par une autre essentiellement composée de *Textularia* et de *Rotalia;* les individus monotholamiens en sont presque exclus. Ils réapparaissent en grand nombre et prédominent dans l'assise à *T. gracilis*. Il est probable que pareil changement est dû à l'intervention de courants de surface modifiant momentanément la composition de la faune pélagique.

Modifications dans le temps de l'épaisseur du test des Foraminifères. Elles sont des plus marquées dans la série du Nord. Tandis que dans les craies à *I. labiatus* et à *T. gracilis*, l'épaisseur des coquilles de Foraminifères est moyenne, elle diminue beaucoup dans la division inférieure de la craie à *M. breviporus* (craie à cornus) ; elle y est presque aussi faible que dans les craies où elle atteint son minimum. Les formes redeviennent très robustes dans la craie glauconieuse à *M. breviporus*, dans le premier Tun et tout à fait à la base de la craie à *M. c. testudinarium* (Banc du Tun). Puis brusquement le test prend une minceur extrême (Banc des Roux). La plupart des formes restent grêles jusqu'au sommet de la craie blanche du Nord. Dans les autres points du Bassin, la région occidentale exceptée, il est impossible de suivre ainsi pas à pas les modifications du test des Foraminifères, mais quand on compare deux échantillons de niveaux très distants, par exemple une craie turonienne avec une craie à *M. c. anguinum*, on constate une notable réduction

à ce dernier niveau. La diminution d'épaisseur doit être progressive et lente de telle sorte que deux craies successives ne la mettent pas en évidence.

Il est une modification d'épaisseur du test des Foraminifères qui présente un intérêt tout particulier. C'est celle que l'on observe dans la craie phosphatée de la base de l'assise à Bélemnitelles. Une préparation faite dans la craie blanche à *M. c. anguinum* traversée de perforations remplies de craie phosphatée permet de voir les deux craies juxtaposées dans la même section. Le contraste est frappant : d'une part, la craie blanche à Foraminifères très rares, petits, à test d'une grande minceur ; d'autre part, la craie phosphatée formée de Foraminifères pour ainsi dire pressés les uns contre les autres, tant ils sont nombreux ; leur taille est plus grande que ceux de la craie blanche et ils sont pourvus d'un test relativement épais. Là, où la base de l'assise à Bélemnitelles est marquée, même faiblement, par la production de granules phosphatés comme dans l'Yonne, l'épaisseur du test des Foraminifères augmente en passant dans cette assise.

L'épaisseur des coquilles de Rhizopodes calcaires actuels étant variable et liée à des conditions d'existence et de profondeur des eaux déterminées, on est en droit de rapporter les différences observées pour les Foraminifères de la craie aux variations des facteurs dont dépend ce caractère. Dans le Nord, par exemple, on peut dire qu'à partir de la craie à *M. breviporus* [1] les modifications qui affectent le test des Foraminifères se font parallèlement et dans le même sens à celles qui frappent le résidu minéral : Il y a accroissement de l'épaisseur du test quand il y a augmentation du résidu et inversement. C'est exactement ce qui se passe pour les spicules d'Eponges des mêmes craies (p. 449). Cette corrélation prouve à l'évidence que la considération de l'épaisseur du test des Foraminifères peut renseigner sur les profondeurs *relatives* des eaux correspondant à des assises consécutives. Dans le cas de la craie à Bélemnitelles, par exemple, il semble bien évident qu'une élévation très accusée du fond de la mer a marqué le début de l'assise. Je reviendrai plus loin sur cette dernière proposition en essayant de tracer la courbe des profondeurs dans le Bassin de Paris pendant les époques turonienne et sénonienne.

Foraminifères silicifiés. Toutes les craies renferment quelques individus silicifiés. Leur nombre est souvent très restreint et il est nécessaire de dissoudre un assez gros volume de craie pour mettre leur existence en évidence. MM. Judd [2] et F. Hume [3] en ont reconnu dans la craie d'Angleterre. Les poudres crayeuses des silex creux en contiennent une très notable proportion.

État fragmentaire des restes de Foraminifères. Je veux tout simplement l'indiquer à

1. On ne peut faire entrer en ligne de compte les assises plus anciennes en raison de la présence d'une forte proportion d'argile qui n'est pas nécessairement liée à des conditions de profondeur déterminées.

2. W. JUDD and C. HOMERSHAM. Supplem. Notes, etc., *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol 41, p. 526 (1885).

3. F. HUME. Chemical and micromin. Res., etc., p. 8, London (1893).

cette place, en me proposant de consacrer de longs développements à cette question de première importance. On peut considérer comme exceptionnelles les craies dont les Foraminifères sont tous entiers. En général un très grand nombre sont fragmentaires. C'est dans le Sénonien que cette manière d'être s'observe le plus fréquemment.

Les données qui précèdent concernent les Foraminifères tels qu'ils sont aujourd'hui dans la craie. On verra dans la deuxième partie de ce chapitre par quels artifices on peut remonter à la composition originelle de la faune de microorganismes, et arriver à une idée très exacte de leur état de conservation dès le principe.

DIATOMÉES

Le nombre total de carapaces de Diatomées trouvées dans la craie du Bassin de Paris se réduit à quelques unités, mais je dois ajouter que je n'ai pas porté mon attention sur ce groupe d'une façon spéciale. Ainsi que cela résulte d'observations très curieuses d'Ehrenberg, pour trouver des Diatomées dans ce terrain, il faut les chercher dans la poudre enfermée dans les silex creux. En 1839, ce savant en avait déjà reconnu 11 espèces [1] dans les silex. J.-B. Reade [2] en signala la même année dans des conditions identiques, et Mantell [3] répéta la même observation en 1845.

Celles que j'ai observées sont indépendantes des silex. J'en ai trouvé dans la craie à *I. labiatus* de la vallée du Cher et dans la craie à *M. breviporus* du Bray. Elles sont extrêmement rares de part et d'autre. La détermination n'en est pas encore faite. J'en ai également signalé la présence dans le Campanien siliceux du S.-O. du Bassin.

L'existence de cuirasses de Diatomées en proportion plus grande dans la poudre crayeuse des silex que dans la craie ordinaire conduit à penser que les Diatomées ont été plus nombreuses à l'origine qu'elles ne le sont aujourd'hui, et que c'est par suite de circonstances favorables à leur conservation, dues sans doute au silex lui-même dont la cavité est hermétiquement close, qu'elles sont restées en plus grand nombre dans ce milieu spécial.

Je rappelle que j'ai trouvé quelques Diatomées dans le système de la « Smectique de Herve » à *B. quadrata* des environs de Liège (p. 113).

COCCOLITHES ET RHABDOLITHES

Le problème de la nature des *Coccolithes* et des *Rhabdolithes* a reçu deux solutions différentes. L'une — celle d'Ehrenberg — appuyée par les expériences de Vogelsang et surtout de Harting et des observations de M. Ch. Barrois, considère ces corps comme *inorganiques*. L'autre, admise par Huxley, Wallich, Sorby, Hæckel, Carter, W. Thomson,

1. EHRENBERG. Neuere Beobachtungen, etc. *Berlin-Bericht*, p. 57 (1839).
2. J.-B. READE. On some new org. Remains, etc. *Ann. and Mag. of Nat. Hist.*, vol. 2, pp. 190-198 (1839).
3. MANTELL. Notes of a mic. Exam., etc., id., vol. 16, p. 75 (1845).

J. Murray, etc., les rapporte aux *Algues*. On voit donc que les naturalistes anglais qui ont pris part aux grandes campagnes sous-marines et qui se sont trouvés dans les meilleures conditions pour apprécier leurs affinités en font des *Algues pélagiques*. Je me rallie à cette dernière manière de voir qui est, à mon avis, de beaucoup la plus satisfaisante dans l'état actuel de nos connaissances [1].

Toutes les craies du Bassin de Paris renferment des *Coccolithes* et des *Rhabdolithes*, quel que soit leur niveau et le point où on les considère. Après avoir défalqué du limon crayeux obtenu par le lavage de la craie les mêmes fragments de Foraminifères, les vestiges d'Echinodernes, les produits de la destruction des Bryozoaires et en général tous les débris susceptibles d'être rattachés à des organismes autres que des Algues, il reste pour chaque craie une quantité variable et souvent considérable d'éléments calcaires très petits, comprenant dans tous les cas des *Coccolithes* et des *Rhabdolithes* et des particules calcaires inorganiques. Règle générale, les dernières prédominent dans le Turonien, soit jusqu'à la craie à *M. breviporus*, soit jusqu'au sommet de l'étage. Dans les échantillons de l'Yonne que j'ai étudiés, elles viennent en première ligne jusqu'à la craie à *M. gibbus*. Ce sont donc les *Coccolithes* et les *Rhabdolithes* qui l'emportent généralement dans tout le Sénonien et parfois au sommet du Turonien. Ces deux groupes sont très inégalement répandus. Les *Rhabdolithes*, sans exception, jouent un rôle qui, comparé à celui des *Coccolithes*, est toujours très effacé. Les *Coccolithes* se font remarquer par une extraordinaire variété de structure. Il serait facile de multiplier beaucoup le nombre de formes que l'on a distinguées dans ce groupe [2].

ORGANISMES DE POSITION SYSTÉMATIQUE INDÉTERMINÉE.

J'ai rencontré dans la craie des corps microscopiques qui, à certains niveaux, jouent un rôle très important. Nulle part, je ne les ai vus figurés. Aucun travail n'en fait mention à ma connaissance.

Dans les coupes minces, ils ne sont discernables qu'en petites sections rectangulaires allongées et étroites, parcourues par un trait noir axial (Pl. IX, fig. 4, partie inférieure). Dans le résidu de lavage, ce sont des bâtonnets mesurant de $0^{mm}008$ à $0^{mm}03$ de longueur. Ils sont droits, exceptionnellement arqués et leurs extrémités paraissent figurer des surfaces articulaires, comme on en observe chez les troncs qui composent les pinnules

1. Je renonce à reproduire les raisons que l'on a invoquées en faveur de chacune de ces solutions. Je tiens pourtant à noter que je considère les expériences de Vogelsang et de Harting comme n'ayant pas le caractère absolument démonstratif qu'on leur prête souvent. J'estime que les expériences de laboratoire les mieux conduites ne pourront jamais établir que la matière organique qui fait partie intégrante des *Coccosphères* et des *Rhabdosphères* des mers actuelles n'est pas douée de vie. Il n'y a que l'observation directe de ces corps qui puisse trancher la question d'une façon péremptoire.

2. Il existe des *Coccosphères* dans la craie. Elles ont été signalées pour la première fois par M. Sorby en 1861 : On the organic Origin, etc. *Ann. and Mag. of Nat. Hist.*, 3e S., vol. 8, pp. 193-201 (1861).

de Crinoïdes. Quelques-uns se terminent en pointe et figurent de petits cônes rappelant également des terminaisons de pinnules. Un très petit nombre montrent une amorce de bifurcation à une extrémité. La plupart de ces manières d'être sont représentées sur la planche IX, fig. 4, partie supérieure. J'ai observé des milliers de ces corps énigmatiques ; je n'en ai reconnu qu'un seul montrant une bifurcation très nette avec longues branches égales. Si on les plonge dans la glycérine, et si on leur imprime un mouvement lent, ils cheminent en roulant sur eux-mêmes ; on constate alors que la ligne noire axiale qui continue à être visible dans les bâtonnets extraits de la craie disparaît plusieurs fois au cours d'une rotation complète. Enfin, *il semble* que ces corps soient pénétrés de petits pores presque imperceptibles. Que sont ces éléments? Quelle place faut-il leur assigner dans le monde organique? Je l'ignore absolument; je ne puis même me prononcer entre le règne animal et le règne végétal. Les terminaisons de ces bâtonnets paraissent préparées en vue d'une articulation ; l'opinion qui me paraît la plus vraisemblable est qu'ils ont été groupés originellement en *tiges articulées*. J'ai songé à des Algues calcaires, à certains Alcyonaires, à des Hydroïdes à squelette calcaire, aux Crinoïdes, mais sans pouvoir me prononcer avec une entière certitude. Il est indispensable, pour élucider cette question, d'étudier plus à fond la structure de ces corps. Leur petitesse est malheureusement un obstacle avec lequel il faut trop compter et qui explique l'insuccès de mes recherches.

Cette indétermination est d'autant plus regrettable que ces restes d'organismes représentent un élément important de la craie à partir de l'assise à *M. c. anguinum*. Il n'est pas toujours possible d'en déceler l'existence à tous les niveaux du Turonien où leur rôle est invariablement négligeable. Ils se multiplient progressivement en s'élevant dans le Sénonien et deviennent très abondants dans la craie à *M. c. anguinum*. Ils sont nombreux dans tout le Sénonien supérieur, mais diminuent un peu dans la craie à Bélemnitelles. Pour donner une idée de leur fréquence, je rappellerai que pour la craie à Marsupites de l'Yonne par exemple, si par la pensée on évalue la surface totale que leurs sections occupent, elles représentent environ *un cinquième* de celle de la préparation. Les caractères de ces organismes paraissent rester constants dans le temps et dans l'espace.

Il résulte de ce que l'on sait sur les richesses respectives des différentes assises en Foraminifères que ce sont les plus pauvres en Rhizopodes qui sont justement caractérisées par l'abondance de ces organismes. Leur nature indéterminée n'en fait pas moins une excellente caractéristique des craies sénoniennes à partir du sommet de l'assise à *M. c. testudinarium*. Un morceau de craie blanche de la grosseur d'une noisette, taillé en section mince, ou soumis à un lavage, permet dans tous les cas de dire s'il appartient ou non à la craie blanche supérieure à l'assise à *M. c. testudinarium*.

3° CIMENT

Tout ce qui n'est pas minéraux et organismes d'un certain volume tels que débris de Mollusques, Brachiopodes, Bryozoaires, Ostracodes, plaques et radioles d'Oursins, spicules d'Eponges et Foraminifères, est groupé sous la rubrique *ciment*. C'est ainsi que les petites plaquettes polygonales d'Echinodermes, les menus débris de Bryozoaires, Coraux, Foraminifères et les organismes indéterminés font partie intégrante du ciment bien que je les aie examinés à part dans l'étude monographique de chaque craie. Je considère cette portion de la craie comme *la somme des éléments minéraux et organiques de dimensions tellement exiguës qu'il est impossible d'en préciser la forme et la nature par l'examen des sections minces aux faibles grossissements.*

L'argile est l'élément le plus important du ciment des craies du Turonien inférieur du Nord. *Elle est cristallisée.* Partout ailleurs, elle prend part à la composition de la craie dans la proportion de quelques unités pour cent, et dans les variétés les plus pures cette teneur peut être inférieure à 1 %.

Les Algues calcaires, des particules calcaires inorganiques, et dans certains cas les organismes indéterminés dont j'ai parlé plus haut, représentent la masse fondamentale du ciment. On est déjà renseigné sur la fréquence relative de ces différentes catégories d'éléments ; il me reste à indiquer la part qui revient au ciment dans la constitution de chaque craie et à rechercher l'origine des corps calcaires inorganiques.

Proportion du ciment dans chaque craie. J'ai réuni les données afférentes à chaque assise en un tableau où ne figurent que les craies étudiées en séries. Elles sont indiquées en chiffres ronds et doivent être considérées comme des moyennes.

ÉTAGE	ASSISES	NORD	BRAY	RÉGION DE ROUEN	YONNE
SÉNONIEN	As. à *Bélemnitelles* . .	»	$\frac{9}{10}$	»	$\frac{1}{6}$ - $\frac{11}{12}$
	— *M. c. anguinum* .	$\frac{5}{6}$	$\frac{5}{6}$	$\frac{2}{3}$ - $\frac{9}{10}$	$\frac{9}{10}$ - $\frac{11}{12}$
	— *M. c testudinarium*	$\frac{1}{4}$ - $\frac{3}{4}$	$\frac{1}{4}$ - $\frac{3}{5}$	$\frac{1}{10}$ - $\frac{2}{3}$	$\frac{1}{5}$ - $\frac{9}{10}$
TURONIEN	— *M. breviporus* . .	$\frac{1}{5}$ à $\frac{1}{2}$ au plus	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{5}$
	— *T. gracilis* . . .	$\frac{1}{3}$ - $\frac{1}{2}$		$\frac{1}{2}$ - $\frac{2}{3}$	
	— *I. labiatus* . . .	$\frac{3}{5}$	$\frac{1}{2}$ - $\frac{2}{3}$	$\frac{1}{10}$	$\frac{11}{12}$
	— *Act. plenus* . . .	»	»	$\frac{2}{5}$	»

Remarques. 1° On voit qu'il y a de grands écarts entre les différentes proportions de ciment d'une même assise considérée en plusieurs points du Bassin. Ils tiennent à deux causes principales : les variations dans la teneur en argile et la disparition de coquilles de Foraminifères.

2° Les fractions les plus faibles indiquées pour la craie à *M. c. testudinarium* correspondent aux couches inférieures de l'assise.

3° A partir de l'assise à *M. c. anguinum*, les craies sont très riches en ciment (M. W. Hill [1] avait déjà reconnu le fait que la craie de l'Upper Chalk de Taplow était presque uniquement composée de la matière du ciment).

4° Les craies à Bélemnitelles avec plages phosphatées font exception à cette règle tant dans l'Yonne que dans le Nord de la France. Le ciment y vient en seconde ligne et les organismes sont prépondérants. C'est aussi le cas général pour la craie de Meudon.

5° Le développement du ciment varie en raison inverse de la fréquence des Foraminifères, mais non dans la même proportion par suite du rôle important que jouent souvent les débris de Mollusques (prismes d'Inocérames).

La craie de Meudon qui ne figure pas dans le tableau précédent fournit des échantillons caractérisés par le très faible développement du ciment.

ORIGINE DU CIMENT. Les éléments qui constituent le ciment ont trois origines : 1. Les uns sont dus à l'activité *mécanique* : minéraux de transport de très faible volume, argile, produits ultimes de la trituration des organismes ; 2. Les autres dérivent de l'activité *physiologique* ; je citerai en particulier les menues plaquettes d'Echinodermes, les « organismes indéterminés », les Coccolithes et Rhabdolithes, etc. ; 3. La dernière catégorie est le résultat de l'activité *chimique* [2].

Éléments calcaires d'origine chimique. On peut les grouper en quatre [3] catégories correspondant chacune à des conditions de genèse différentes.

1° Au premier groupe se rattachent des éléments d'origine *mixte*. Leur point de départ est un organisme, mais les agents chimiques les ont modifiés au point de les rendre souvent méconnaissables. Ce sont par exemple de menus débris de Bryozoaires, des plaquettes microscopiques d'Echinodermes, des spicules de Calcisponges, des morceaux de test de Foraminifères, etc., corrodés, profondément rongés, réduits à l'état de squelettes spongieux et informes. Tous les organismes à test calcaire incorporés dans la craie participent à la composition de cette portion du ciment.

2° Sous l'influence de la décomposition de la matière organique, les éléments du

---

1. W. HILL in WHITAKER. The Geol. of London, etc. *Mem. Geol. Surv.*, vol. 1, p. 521 (1889).

2. Suivant M. W. HILL, le ciment (*Matrix, amorphous matrix, amorphous material*) des craies des environs de Londres comprendrait : 1° Des Cristalloïdes et Coccolithes ; 2° De petites particules aplaties à contours très irréguliers se comportant comme les cristaux de calcite en lumière polarisée. Les éléments de ces deux catégories disparaissent quand on les traite par Hcl ; 3° De petits grains anguleux et subanguleux dont une partie seulement disparaissent par l'action de l'acide chlorhydrique [Voir W. HILL in WHITAKER, op. cit. p. 518 (1889)].

3. On pourrait en ajouter une *cinquième* réservée à la silice isotrope qui, dans certains cas exceptionnels, prend part à la constitution du ciment [Craies à *I. labiatus* de Château-du-Loir (p. 380) et à *T. gracilis* des environs de Rouen (p. 292)].

squelette calcaire des Invertébrés peuvent se désagréger et conserver ou non des formes qui permettent de remonter à leur origine. Les Mollusques, Brachiopodes, Echinodermes ont fourni au ciment de la craie des particules qui ont conservé des caractères morphologiques permettant de déterminer le groupe dont elles procèdent [1].

3° Le ciment est redevable à l'instabilité de l'aragonite d'un troisième groupe d'éléments. Un certain nombre d'organismes de la mer crétacée étaient pourvus de coquilles constituées par l'aragonite : ce sont les Céphalopodes, beaucoup de Gastéropodes et de Mollusques, et les Anthozoaires (Alcyonaires non compris). D'autres étaient formés d'un mélange de calcite et d'aragonite. G. Rose [2] a appelé l'attention en 1858 sur la conservation des coquilles de calcite et sur la destruction de celles qui sont en aragonite. Depuis (1879) M. Sorby a signalé la désagrégation des *coquilles d'aragonite en granules de calcite*, dépourvus de toute espèce de caractère indiquant leur origine particulière.

La majeure partie du résidu dû à l'activité chimique est formée de très petits rhomboèdres de calcite, de particules calcaires de même volume, passant de la forme rhomboédrique à la forme arrondie, et de granules irréguliers. Au point de vue morphologique, ces éléments forment une série continue dans laquelle il ne manque aucun intermédiaire : Un très grand nombre dérivent certainement de la transformation en calcite de l'aragonite des coquilles. Ceux des grains anguleux ou subanguleux que M. W. Hill [3] a reconnus dans le ciment des craies de la région de Londres et qui disparaissent sous l'action des acides rentrent probablement dans cette catégorie.

On sait déjà que ces particules de calcite prédominent dans le ciment des assises inférieures du Turonien, et qu'on les rencontre encore quelquefois prépondérantes dans le Sénonien. Mais si au lieu de chercher quel rôle jouent les rhomboèdres et autres particules calcaires vis-à-vis des débris d'Algues, comme je l'ai fait dans l'étude monographique de chaque craie, on rapporte leur proportion à la teneur en carbonate de chaux des craies, on arrive à cette notion que la somme des particules inorganiques est généralement plus élevée dans le Sénonien que dans le Turonien.

4° Il n'est pas un seul échantillon de craie dont les organismes soient si bien conservés qu'ils ne montrent aucune trace de dissolution : Les prismes d'Inocérames, les vestiges de Bryozoaires sont dépolis et parfois profondément rongés; les différents débris d'Oursins portent des traces apparentes d'actions dissolvantes ; les spicules de Calcisponges ont une surface rugueuse ou même granuleuse. J'ai noté plus haut le témoignage de la destruction très avancée d'organismes par dissolution. Bref, tous les restes d'organismes calcaires inclus dans la craie payent un tribut plus ou moins lourd aux agents chimiques. Je n'ai pas encore mentionné les Foraminifères. Or, beaucoup de craies fournissent la preuve

1. Voir à ce sujet H. C. SORBY. Ann. Add., *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol. 35, p. 70 (1879).
2. G. ROSE. Ueber die heter. Zustände, etc. *Abh. d. kön. Ak. d. Wiss. zu Berlin*, pp. 63-113 (1858).
3. W. HILL in WHITAKER, op. cit., p. 518 (1889).

que c'est un des groupes d'organismes que les agents chimiques ont le moins respectés. Je montrerai plus loin qu'en de nombreux cas, ils ont disparu *en si grand nombre* que la physionomie originelle de la craie en est complètement dénaturée.

Ce phénomène de dissolution partielle et de destruction intégrale des organismes a pour résultat immédiat de mettre en liberté une proportion variable, mais toujours notable, de carbonate de chaux. C'est là, à mon avis, qu'il faut chercher la source d'une grande partie du calcaire qui a donné naissance aux corpuscules du ciment.

En résumé, deux catégories d'éléments (1° et 4°) sont en rapport direct avec un phénomène de *dissolution* des coquilles donnant naissance, d'une part à des débris rongés souvent réduits à l'état de squelettes, et d'autre part à de la calcite pulvérulente, résultant de la précipitation *in situ* du carbonate de chaux emprunté aux organismes en voie de destruction. L'élaboration des éléments de la deuxième catégorie est à proprement parler un phénomène essentiellement physique lié à l'activité chimique : elle correspond à une véritable désagrégation de particules calcaires sous l'influence de la décomposition de la matière organique qui leur est associée. Ceux du troisième groupe ont pour point de départ la *métamorphose* du carbonate de chaux passant d'un état très instable (aragonite) à un état définitif réalisé par la calcite.

Tous ces phénomènes concourent à donner une grande uniformité de composition à la craie : Les granules calcaires issus de la transformation de l'aragonite en calcite ne peuvent être distingués de ceux qui sont en rapport avec la dissolution des coquilles et qui résultent d'une précipitation chimique. D'autre part, beaucoup de ceux qui ont une origine clastique et qui dérivent de la trituration des débris organiques ne peuvent être séparés des précédents. C'est dire qu'il est de toute impossibilité de faire le départ des éléments qu'il convient de rapporter aux différentes catégories énumérées plus haut.

La présence de nombreuses particules inorganiques dans la craie signifie que ce sédiment, que l'on est tenté de prendre pour type de dépôt ayant conservé ses caractères originels — autrement dit non métamorphique, — est déjà bien loin de son état initial.

Carbonate de chaux d'origine extrinsèque. Il est possible que les eaux météoriques circulant dans la craie y introduisent une certaine proportion de carbonate de chaux venant de la surface. D'autre part, les conditions qui ont présidé à la genèse de l'argile à silex par dissolution de la craie ont été éminemment favorables à l'élaboration de solutions saturées de calcaire susceptibles d'abandonner cette substance, en pénétrant dans les craies restées intactes. Dans cet ordre d'idées, on ne peut émettre que des hypothèses, appuyées, il est vrai, par une très grande vraisemblance ; je suis disposé, pour ma part, à voir dans ces phénomènes une nouvelle source de carbonate de chaux inorganique pour la craie.

Existe-t-il dans la craie du carbonate de chaux résultant d'une précipitation chimique

contemporaine de la sédimentation ? L. Cordier [1] admettait que « les roches de calcaire et de dolomie sédimentaires, abstraction faite des débris de coquilles et de zoophytes, plus ou moins rares, plus ou moins abondantes, qu'elles peuvent renfermer, ont tous les caractères d'un dépôt chimique formé par la décomposition des chlorures de calcium et de magnésium dont l'Océan est un vaste réservoir... Cette décomposition a eu lieu par l'intermédiaire des carbonates. »

Kaufmann [2] se prononça en 1870 pour l'origine chimique du fin limon calcaire de la craie, parce qu'après avoir mis en présence du chlorure de calcium et du bicarbonate de soude dissous l'un et l'autre dans beaucoup d'eau, il avait obtenu un précipité blanc consistant en fines molécules cristallines ne pouvant être, selon lui, distinguées de la craie. Le fait reconnu par Kaufmann que la craie polarise au même titre qu'un précipité chimique de carbonate de chaux n'autorise nullement à conclure que la craie dérive en partie de l'activité chimique s'exerçant au cours de la sédimentation.

Prestwich [3] admit en 1886 qu'en plus des débris calcaires d'origine organique, il se déposait sur le fond de la mer crétacée un précipité chimique considérable de carbonate de chaux. Le raisonnement de l'éminent géologue anglais est celui-ci : Pour expliquer par exemple la conservation, dans la craie, des poissons avec leur squelette et leurs écailles en place, il faut supposer qu'ils ont été ensevelis rapidement. Or, un dépôt comme la Boue à Globigérines ne comportant de carbonate de chaux que celui qui fait partie du squelette de ses organismes se forme lentement; donc il est nécessaire de recourir à une autre activité que celle des organismes pour assurer un rapide enfouissement des poissons de la craie. D'où l'idée de précipitation chimique considérable de carbonate de chaux [4].

En 1891, M. de Mercey [5] considéra la pâte de la craie comme le résultat d'une précipitation chimique contemporaine de la sédimentation.

Il est un fait d'observation qui, à mon avis, doit dominer toute la question, c'est que, dans les mers actuelles, il est tout à fait exceptionnel que le carbonate de chaux se précipite directement. G. Bischof [6] faisait déjà remarquer, en 1863, qu'aucune des conditions nécessaires à la précipitation directe du carbonate de chaux ne se trouve réalisée dans la mer.

On connaît cependant un certain nombre de cas de précipitation directe du calcaire

---

1. L. CORDIER. De l'origine des roches calc., etc. *C. R. Ac. Sc.*, vol. 54, p. 295 (1862) (Pli cacheté déposé à l'Académie en 1844).

2 KAUFMANN. Seekreide, Schreibkreide, etc. *Verh. d. k. k. Geol. Reichanstalt*, pp. 205-207 (1870).

3. J. PRESTWICH. Geology chemical, etc., vol. 2, p. 327 (1886).

4. Si suivant les vues de l'auteur, l'accumulation des matériaux de la craie devait être rapide, il serait peut-être plus simple de supposer que la craie se déposait plus vite que la Boue à Globigérines. Rien ne s'y oppose.

5. DE MERCEY. Rem. sur les gîtes de phosphate, etc. *B. S. G. F.*, 3e S., vol. 19, p. 865 (1891).

6. G. BISCHOF. Lehrb. d. chem. und phys. Geologie, vol. 1, p. 581 (1863).

dans l'eau de mer ; ils ont été soigneusement relevés en raison même de la rareté du phénomène.

Von Buch[1] citait en 1825 la formation actuelle de conglomérats près de l'île Gde Canarie.

Darwin[2], dans son voyage à bord du *Beagle* (1831-36), observa que sur une partie de la côte de l'Ascension, l'eau de mer dépose sur les rochers exposés à l'action de la marée une incrustation qui ressemble à certaines plantes cryptogames (*Marchantia*) qu'on remarque souvent sur les murs humides.

A l'embouchure de plusieurs fleuves, les sables et galets sont transformés en roches dures. Bischof[3] signale, en 1863, l'existence au musée de Montpellier, d'un canon qui fut retiré de la mer dans le voisinage de l'embouchure du Rhône et qui se trouvait inclus dans un bloc de *calcaire cristallin*.

Justus Roth[4] admettait également que le carbonate de chaux peut se précipiter directement au voisinage des côtes. C'est aussi l'opinion de M. Zirkel[5].

M. J. Murray[6] signalait ce fait en 1880 que des sections microscopiques d'une roche prélevée à 50 pieds au-dessous du niveau de la mer aux Bermudes montrent qu'un dépôt de carbonate de chaux se forme maintenant ; les petites coquilles en sont remplies et les morceaux cassés de coquilles et de coraux sont cimentés par de la calcite.

M. Nivoit[7] a signalé en 1887 quelques cas très curieux d'agglutination de sables, de galets par des sels calcaires dont l'eau de mer est exceptionnellement très chargée. Le phénomène se passe toujours à l'embouchure de certains fleuves et dans le voisinage de falaises calcaires. Ex : poudingue de Biarritz, grès de La Rochelle, calcaires durs des côtes du Calvados. Dans les mers tropicales où l'évaporation est beaucoup plus active que sous nos climats, ces formations se développent avec une plus grande rapidité et prennent une puissance considérable. La ville de Bahia, au Brésil, est construite avec une roche marine moderne qui se forme dans les environs.

Les observations que je viens d'énumérer démontrent surabondamment que l'eau de mer peut éliminer directement son carbonate de chaux. Elle ne le fait que dans des conditions tout à fait particulières, seulement réalisées au voisinage immédiat de la terre ferme pour tous les exemples cités. On ne connaît pas de carbonate de chaux se précipitant de nos jours dans les vases calcaires pélagiques, à l'état de petits rhomboèdres ou autres formes s'y rattachant[8]. Tout le calcaire qui concourt à la formation des dépôts pélagiques

---

1. V. BUCH. Phys. Beschr. d. Canar. Inseln, p. 258 (1825).
2. CH. DARWIN. Voyage d'un natur. autour du monde. Trad. Ed. Barbier, 2e édit., p. 10 (1883).
3. G. BISCHOF. Op. cit., p. 584 (1863).
4. JUSTUS ROTH. Allgemeine und chemische Geologie, p. 538 (1879).
5. F. ZIRKEL. Lehrb. d. Petrographie, vol. 3, p. 483 (1894).
6. J. MURRAY. On the Structure, etc., *Proc. Roy. Soc. of. Edinburgh*, vol. 10, pp. 504-518 (1880).
7. NIVOIT. Géol. appl. à l'art de l'Ingénieur, vol. 1, pp. 69-70 (1887).
8. Il ne s'agit pas ici des Coccolithes.

est extrait de la mer par les organismes. On n'a aucune raison de supposer qu'il en a été autrement à l'époque crétacée. On trouve dans l'intervention des différents facteurs considérés plus haut et susceptibles d'élaborer des granules calcaires aux dépens des organismes une explication tellement rationnelle et suffisante de tout le carbonate de chaux pulvérulent et inorganique de la craie qu'il est vraiment inutile de recourir à l'hypothèse de la précipitation directe du carbonate de chaux. En abordant l'étude des calcaires paléozoïques de l'Andalousie, en 1882, après avoir rappelé les observations capitales de M. Sorby, mon maître, M. Ch. Barrois, écrivait : « Quand un calcaire contiendra beaucoup de débris reconnaissables d'organismes calcaires, il sera naturel de conclure que la masse des granules calcaires qui le constituent sont de même origine » [1]. C'est la conclusion qui me paraît s'imposer pour la craie.

Conclusions. A. *Le carbonate de chaux inorganique du ciment procède des organismes de la craie par des voies différentes.*

B. *Peut-être s'en trouve-t-il une certaine proportion d'origine exogène, introduite dans le dépôt, soit au moment de la destruction des masses de craie qui ont disparu, soit par les eaux météoriques des temps modernes.*

C. *Il n'existe pas dans la craie de carbonate de chaux résultant d'une précipitation chimique contemporaine de la sédimentation.*

D. J'admets que *la production du carbonate de chaux granuleux du ciment a commencé sur le fond de la mer, qu'elle s'est poursuivie pendant que s'accumulaient les sédiments supérieurs, après l'émersion de la craie et pendant sa consolidation, et qu'elle peut continuer de nos jours sous l'influence des eaux météoriques qui apportent du calcaire de la surface ou qui travaillent à la destruction des formes organiques de la craie.*

Bref, la transformation de la boue crayeuse et la production du carbonate de chaux cristallin embrasseraient toute la période de temps comprise entre son dépôt et l'époque actuelle.

La genèse de carbonate de chaux, après le dépôt de la craie est démontrée par diverses observations que j'ai consignées dans ce travail : C'est d'abord le développement *in situ* de rhomboèdres de calcite dans le ciment des craies et *sur l'emplacement du test des Foraminifères* (Ex. : Craie noduleuse du Pays de Bray) ; c'est surtout la formation abondante de calcite déterminée par la destruction chimique *sur place* du test des Foraminifères. (Je pourrais multiplier les preuves et en emprunter aux dépôts de Touraine qui montrent par exemple des débris organiques inclus dans des rhomboèdres, etc.).

---

1. CH. BARROIS. Rech. sur les ter. anciens, etc. *Mém. Soc. G. N.*, tome 2, mém. 1, p. 37 (1882).

4° COMPOSITION CHIMIQUE DE LA CRAIE

La question de la composition chimique de la craie fera l'objet de quelques commentaires au chapitre de la comparaison de la craie et de la boue à Globigérines. Je n'ai que très peu de particularités à signaler ici.

Carbonate de chaux. Si on laisse de côté les types aberrants comme la craie marneuse du Turonien du N. et du N.-E., les quelques variétés riches en débris de Spongiaires siliceux et enfin la plupart des craies du département du Nord dont la composition a été notablement modifiée par le voisinage d'une terre ferme ; bref, si on ne considère que la craie typique, la proportion de carbonate de chaux se tient entre 90 et 98 %. Ce dernier chiffre est rarement dépassé.

Silice. Dans les craies normales la proportion de silice totale et de silice soluble est toujours excessivement faible. Règle générale, la quantité de silice soluble (dans Hcl) est presque toujours inférieure à un demi pour cent. La proportion de silice totale dans les craies pauvres en minéraux de transport n'est notable que dans celles qui ont conservé beaucoup de spicules siliceux. Telle est la craie à *I. labiatus* de Château-du-Loir, qui a fourni à l'analyse 14,15 % de silice insoluble dans l'acide chlorhydrique.

Argile. L'argile n'est un élément essentiel que dans les assises à *I. labiatus* et *T. gracilis* du Nord et du N.-E. du Bassin. Elle fait partie intégrante de toutes les craies. Celles du Turonien en renferment une quantité généralement supérieure à 1 % et pouvant atteindre plusieurs unités. Dans le Sénonien sa proportion se tient au voisinage de 1 %; elle peut descendre à 5 %. Dans les craies marneuses turoniennes du Nord et du N.-E., où on distingue nettement les particules argileuses dans les préparations microscopiques, on constate qu'elles appartiennent à une variété cristalline.

Manganèse et *phosphate de chaux.* Toutes les craies — sans une seule exception — renferment des traces de ces deux substances.

II. PLACE DE LA CRAIE DANS LA SÉRIE DES SÉDIMENTS MARINS

Dans mes notes préliminaires, j'ai considéré la craie du Nord comme un dépôt terrigène. Cette conclusion, qui a reçu l'approbation de MM. Murray et Renard [1], a été combattue à plusieurs reprises par M. de Lapparent [2], qui fait rentrer ce terrain dans la catégorie des sédiments pélagiques. C'est une question de mots qui nous séparait comme l'a fort bien dit mon éminent contradicteur, et je regrette aujourd'hui d'avoir insisté,

1. J. MURRAY and A. F. RENARD. Challenger, Deep-sea Deposits, p. XXVIII (1891).
2. DE LAPPARENT. Lettres à M. Gosselet, etc. *Ann. Soc. G. N.*, vol. 19, pp. 251-252 et pp. 305-306 (1891). DE LAPPARENT. Réponse à M. Cayeux, etc., in *B. S. G. F.*, vol. 20, p. XXVIII (1892).

plus que de raison, sur un sujet d'aussi médiocre importance. La discussion telle qu'elle a été engagée roulait principalement sur un malentendu. La première note dont les conclusions ont été critiquées portait le titre « La Craie du Nord de la France et la Boue à Globigérines [1] ». Ces conclusions ne visaient donc que la craie du Nord. On peut d'ailleurs s'en convaincre en se reportant à ces notes. Voici comment je m'exprimais dans la seconde [2] « Je n'ai considéré dans mon travail que les craies du Nord et n'ai pas eu la prétention de préjuger de la nature et de l'origine de celles que je ne connaissais pas ou que je n'avais étudiées qu'imparfaitement. Je n'avais soumis à l'étude micrographique complète que des échantillons provenant de la série turonienne et sénonienne du Nord. Ce sont les craies de cette série que j'ai qualifiées de *terrigènes*. Ainsi donc mes conclusions ne visent pas la craie en général, mais celle d'une région bien définie et de niveaux bien déterminés. J'étais d'ailleurs en mesure d'affirmer que les faits qui ressortent de l'examen des craies du Pays de Bray, du centre du Bassin de Paris, etc., ne sont point superposables à ceux que j'ai mentionnés pour la craie du Nord. » Voici donc un point qu'on ne peut me contester, je n'ai appliqué le qualificatif terrigène qu'aux craies du Nord.

Les observations que M. de Lapparent a bien voulu communiquer à la Société géologique du Nord établissent sans la moindre ambiguïté que c'est la *formation crayeuse en général* qu'il considérait comme non terrigène. En cela, il avait absolument raison. Les solutions auxquelles nous nous sommes arrêtés, M. de Lapparent et moi, se rapportaient en somme à des problèmes différents. Je continue à considérer la craie du Nord comme un dépôt terrigène. Je fais exception pour la partie supérieure de l'assise à *M. c. testudinarium* et la craie d'Ennequin, que j'avais primitivement rattachées aux dépôts terrigènes et que je considère aujourd'hui comme pélagiques. Je rapporte sans aucune hésitation aux sédiments pélagiques la craie du Pays de Bray, celle de la région de Rouen, de l'Est et du Sud-Est, bref, la *craie typique du Bassin parisien*. Lorsque l'on parle de « la craie » en général ou de la « craie blanche », c'est parfaitement d'un dépôt pélagique qu'il est question. En formulant cette conclusion, je ne pense pas être le moins du monde en contradiction avec les idées que j'ai défendues naguère. J'applique pour la première fois le qualificatif pélagique à des craies que je m'étais réservé de classer dès que j'en aurais une connaissance suffisante. Le passage de ma seconde note que j'ai reproduit le prouve surabondamment.

En résumé, j'admets la coexistence dans le Bassin de Paris de craies terrigènes et de craies pélagiques, ces dernières formant la masse principale du dépôt. Cette conclusion ne préjuge nullement de la profondeur à laquelle elles ont pris naissance. Je reviendrai bientôt sur cet important sujet.

---

1. L. CAYEUX. *Ann. Soc. G. N.*, vol. 19, pp. 95-102 (1891).
2. L. CAYEUX. La craie du Nord est bien un dépôt terrigène, etc., *Ann. Soc. G. N.*, pp. 252-260 (1891).

De la nécessité de distinguer trois catégories de dépôts dans les formations sédimentaires anciennes. Dépôts benthogènes. Les sédiments recueillis par le Challenger ont été répartis en deux catégories respectivement qualifiées de *terrigènes* et de *pélagiques*. Les sédiments terrigènes ont pour caractéristique essentielle de renfermer une notable proportion de matériaux apportés de la terre. C'est la prépondérance des dépouilles d'organismes de surface dans les dépôts de la seconde catégorie qui les a fait appeler pélagiques.

Quand on essaye de faire rentrer dans ces groupes les différents sédiments du Crétacé du Bassin de Paris, on éprouve en certains cas des difficultés insurmontables. Voici par exemple les calcaires sénoniens à Bryozoaires du S.-O. Ils dérivent presque uniquement de Bryozoaires qui sont des organismes de fond. Le résidu minéral est très faible, parfois inférieur à 1 %. Il serait abusif de les appeler terrigènes puisque les éléments venus de la côte y sont en infime minorité; on ne peut pas davantage les qualifier de pélagiques, car leur composition organique et leur mode de formation les écartent complètement des sédiments actuels groupés sous ce nom. On peut en dire autant du Campanien siliceux de Touraine : les débris de Spongiaires sont l'élément essentiel de la « craie » campanienne. Il arrive même que la roche en soit un produit presque exclusif (Ex. : Spongolithe). *Pareil dépôt n'est ni terrigène ni pélagique.* Comme il s'agit de terrains jouant un très grand rôle dans la partie occidentale du Bassin parisien, tant en superficie qu'en épaisseur, il ne peut être indifférent de leur appliquer un qualificatif qui ne leur convient pas du tout. Je propose de les désigner sous le nom de sédiments *benthogènes* pour les opposer aux dépôts pélagiques, et mettre en relief la prépondérance des organismes de fond, qui leur donne une place à part dans les formations sédimentaires.

Le tableau suivant indique la répartition des sédiments turoniens et sénoniens de différents points du Bassin de Paris entre les trois catégories de dépôts terrigènes, pélagiques et benthogènes.

SOUS-ÉTAGES	SUD-OUEST	S.-E., E. CENTRE, ETC.	NORD	GOLFE DE MONS	ASSISES	ÉTAGES
CAMPANIEN.	benthogène	pélagique	»	pélagique	As. à *Bélemnitelles*	SÉNONIEN
SANTONIEN.	benthogène ou terrigène		pélagique	pélagique	— *M. c. anguinum*	
			pélagique ou terrigène	»	— *M. c. testudinarium*	
ANGOUMIEN	terrigène			»	— *M. breviporus*	
				pélagique	— *T. gracilis*	
LIGÉRIEN	pélagique benthogène ou terrigène		terrigène	benthogène ou terrigène	— *I. labiatus*	TURONIEN
	»			»	— *Act. plenus*	

III. DIAGNOSTIC DES DIFFÉRENTES CRAIES AU MOYEN DU MICROSCOPE

L'étude micrographique de la craie conduit à la connaissance de certaines caractéristiques de niveaux, d'assises, d'étages, susceptibles de présenter un grand intérêt au point de vue pratique. Chaque horizon de la craie du Nord en particulier en possède une ou plusieurs. L'examen d'une seule coupe mince fournit presque toujours le moyen de déterminer non-seulement l'assise, mais des divisions de moindre importance, comme les différents niveaux de la craie à *M. breviporus* et à *M. c. testudinarium*. L'étude d'une très faible quantité de résidu permet de lever l'incertitude quand il est impossible de se prononcer en toute sûreté par la considération des sections minces. Les données qui servent ainsi à différencier les craies sont tirées de la fréquence, de la nature et du volume des minéraux détritiques et secondaires. Les organismes sont d'un précieux concours par leur degré de fréquence, la prédominance de tel ou tel groupe et leur état de conservation. Le ciment intervient à son tour d'une façon très efficace pour compléter le diagnostic. On peut, en se reportant au chapitre consacré à la craie du Nord, prendre connaissance des caractéristiques qui appartiennent en propre à chaque craie. Il en existe également de très nettes pour les assises de la région de Rouen.

Ce résultat peut avoir une importance pratique pour le Nord où les sondages qui pénètrent dans le Crétacé sont légion. A chaque instant, on se trouve en présence de menus échantillons de craie rapportés par la sonde et qu'il est souvent difficile et parfois impossible de classer même approximativement. Or pour les questions hydrologiques, et notamment pour la recherche de telle ou telle nappe aquifère de la craie, il n'est pas indifférent de savoir quel niveau on a traversé et si l'on doit bientôt atteindre une nappe donnée. Et que d'indéterminations il sera possible de faire disparaître dans la nomenclature des échantillons recueillis par les nombreux sondages traversant les « terrains-morts » recouvrant le bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais.

Si maintenant l'on envisage non plus la région du Nord où l'on peut distinguer de nombreux horizons — par suite de conditions géologiques spéciales qui ont multiplié et accusé les différences minérales et organiques —, on jette un coup d'œil d'ensemble sur la craie de tout le bassin, on arrive à la notion de caractéristiques générales permettant de décomposer l'ensemble du Turonien et du Sénonien en plusieurs termes reconnaissables à la seule lumière de l'étude micrographique.

1. A partir des couches à *I. labiatus*, le Turonien crayeux est généralement caractérisé par une grande richesse en restes de Rhizopodes et particulièrement par une prédominance très marquée des formes monoloculaires.

2. Les couches du Turonien et du Sénonien voisines de la limite de ces deux étages

renferment généralement des spicules glauconieux ou calcifiés de forme spéciale que j'ai retrouvés dans le Nord, la Somme, le Bray, la région de Rouen, etc.

3. La craie à *M. breviporus,* mais surtout celle à *M. c. testudinarium* sont partout remarquables par leur richesse en prismes d'Inocérames.

4. Les organismes de position systématique indéterminée, signalés dans de nombreuses craies, permettent de faire une importante coupure dans le Sénonien. Les craies à *M. c. anguinum* et à Bélemnitelles en sont toujours très riches. Celles des assises inférieures en sont dépourvues ou très pauvres. L'examen d'une seule préparation de craie suffit pour les classer dans l'une ou l'autre catégorie.

5. Un groupement presque identique peut être fait en tablant sur le degré de fréquence des Foraminifères. Règle générale, les couches sénoniennes à facies de craie blanche sont très pauvres en Foraminifères depuis la partie supérieure de la craie à *M. c. testudinarium* jusqu'à la craie à Bélemnitelles (celle de Meudon non comprise). La considération de l'importance du ciment conduit au même classement.

M. W. Hill [1], à qui l'on doit de très remarquables études sur la craie d'Angleterre, est arrivé de son côté à reconnaître des craies par l'étude de leurs sections minces. Le Chalk-Rock se prête notamment très bien à une détermination par ce procédé. M. Jukes-Browne exprimait ainsi l'opinion de M. Hill sur ce niveau en 1891 : Quiconque a vu une préparation de Chalk-Rock ne peut la confondre avec celle de la craie d'un autre horizon.

Je suis convaincu que cette méthode de diagnostic appliquée aux formations sédimentaires qui se refusent à fournir des fossiles macroscopiques caractéristiques est appelée à rendre de grands services à la géologie française.

IV. MODIFICATIONS SUBIES PAR LA CRAIE DANS SA COMPOSITION ORGANIQUE APRÈS SON DÉPOT. CONSÉQUENCES

Ainsi qu'on l'a vu dans la première partie de ce chapitre, les Foraminifères sont loin de toujours représenter l'élément essentiel de la craie. La rareté de ces organismes tient à deux causes : 1° Les débris de Mollusques, de Bryozoaires, etc., n'ont parfois laissé qu'une place restreinte aux Rhizopodes calcaires. 2. Les Foraminifères qui ont pris part à la formation de ce dépôt n'ont pas tous été conservés. On ne connaît que ceux qui ont échappé à diverses influences destructives.

Destruction des Foraminifères de la craie. Dans beaucoup de craies, les Foraminifères dont les coquilles sont intactes forment minorité et les individus plus ou moins fragmen-

1. W. HILL in W. WHITAKER. Op. cit., pp. 517 et suiv. (1889).

taires viennent en première ligne. Lorsque les formes ne sont pas complètes, on trouve : 1° des loges isolées ou groupées par deux, par trois et plus; 2° une seule loge cassée, mais à laquelle il ne manque qu'une très faible portion du test pour être complète ; 3° des fragments arqués représentant une notable fraction d'une seule cellule ; 4° de menus débris qui, considérés isolément, sont dépourvus de caractères permettant de remonter à leur origine première, mais qui se relient par de nombreuses transitions à des éléments dérivant incontestablement des Foraminifères.

L'état fragmentaire des Foraminifères est trop apparent pour qu'il ait échappé aux savants naturalistes anglais qui se sont occupés de la craie. M. Sorby [1] le mentionna en 1861. Il considéra même les fragments les plus ténus comme un élément important de la fine boue crayeuse : « La matière granulaire (= ciment) vue avec des grossissements de 400 à 800 diamètres montre qu'une portion considérable est faite de tissu de Foraminifères décomposés. » En 1886, Prestwich [2] s'exprimait ainsi : Il y a des parties « où la craie est largement composée de matière amorphe impalpable qui peut dériver soit de la désagrégation des organismes... »

Fragmentation et destruction des coquilles de Foraminifères dans les mers actuelles. Une des découvertes les plus curieuses dont l'expédition du Challenger ait doté l'histoire naturelle, c'est la destruction des Foraminifères pélagiques après leur mort. Les faits observés sont les suivants : Etant données deux aires sous-marines d'inégale profondeur dont les eaux renferment la même quantité de Foraminifères pélagiques, les dépouilles de ces derniers s'accumulent beaucoup plus rapidement sur l'aire superficielle que sur la profonde. Si l'épaisseur d'eau est considérable pour la dernière, le dépôt organique est nul. Voici comment s'explique cette singularité :

Dans les dépôts très peu profonds, on trouve presque la totalité des coquilles de surface qui sécrètent du carbonate de chaux. La profondeur croissant, les coquilles pourvues d'un test de faible épaisseur sont détruites par dissolution au cours de leur chute, de sorte que de 1800 à 2000 brasses, il est rare de trouver autre chose que des traces d'*Hétéropodes*, de *Ptéropodes* et de Foraminifères pélagiques les plus délicats, tandis que ces mêmes coquilles peuvent à l'occasion représenter plus de la moitié du carbonate de chaux entre 700 et 1000 brasses. A de plus grandes profondeurs, à 3000, 4000 brasses et plus les *Foraminifères*, *Coccolithes* et *Rhabdolithes* ont complètement disparu ou ne sont représentés que par des fragments des coquilles les plus épaisses et les plus compactes. Il y a donc diminution graduelle de la quantité de carbonate de chaux au fur et à mesure que la profondeur croît. D'après MM. Murray et Irvine [3], il est probable

1. H. C. SORBY. Op. cit., p. 197 (1861).
2. J. PRESTWICH. Op. cit., p. 320 (1886).
3. J. MURRAY and ROBERT IRVINE. On Coral Reefs, etc. *Proc. of the Roy. Soc. of Edinburgh*, vol. 17, pp. 79-110 (1889).

qu'à une profondeur de 500 brasses, 80 % des coquilles calcaires atteignent le fond et s'y accumulent. De 1500 à 2000 brasses, il n'y en a plus que 50 % qui y arrivent, et encore ont-elles subi un commencement de dissolution. A une profondeur plus grande, la proportion des coquilles qui se déposent est encore plus faible, parce qu'un plus grand nombre sont dissoutes au cours de leur chute et qu'elles restent longtemps exposées à l'action de l'eau sur le fond de la mer.

Puisque les Foraminifères peuvent être corrodés, fragmentés et dissous dans les mers actuelles, au cours de leur mouvement *per descensum*, ne convient-il pas de rejeter toute intervention mécanique pour expliquer leur état fragmentaire dans la craie ?

Pluralité d'origine de l'état fragmentaire des Foraminifères de la craie. Les débris de coquilles de Foraminifères se comportent de deux façons bien distinctes :

1° On les trouve clairsemés ou parfois réunis en grand nombre et plus ou moins pressés les uns contre les autres. Dans le dernier cas, il est souvent impossible de prolonger les arcs de cercle qu'ils figurent sans qu'ils se rencontrent et se coupent (Pl. IX, fig. 3). Les terminaisons des fragments sont nettement tronquées. Les débris se sont exceptionnellement alignés suivant la même direction. L'état de division des Foraminifères remonte à l'origine même du dépôt.

2° Dans certains cas, on peut aisément s'assurer que plusieurs fragments isolés se raccordent parfaitement si on les prolonge, et qu'ils font partie d'une seule coquille divisée sur place (Pl. IX, fig. 8). Les différents fragments occupent une position quelconque et l'on n'observe jamais l'alignement des morceaux de test que j'ai indiqué plus haut. On se trouve donc ici en présence de Foraminifères qui se sont pour ainsi dire émiettés dans la craie même. Il existe tous les intermédiaires entre les formes intactes et celles qui ne sont plus représentées que par quelques menus débris qu'il n'est pas toujours facile de raccorder. L'état de division des coquilles est dans l'espèce un phénomène secondaire.

Les vestiges de Foraminifères affectent donc deux manières d'être absolument différentes correspondant chacune à des conditions de genèse bien distinctes. Il y a pluralité d'origine de l'état fragmentaire des coquilles de ces organismes.

Causes de la fragmentation originelle des coquilles de Foraminifères. J'ai établi que toute une catégorie de débris de coquilles se rapportent à des organismes dont l'état fragmentaire date de l'origine de la craie. Cette particularité est susceptible de trois explications : 1° Les Foraminifères de la craie, comme ceux des mers actuelles, ont été dissous partiellement ou complètement au cours de leur chute ; 2° la destruction des coquilles s'est effectuée dans la boue crayeuse même, sous l'influence de la décomposition de la matière organique ; 3° elle s'est faite par voie dynamique.

1° Malgré tout ce qu'elle a de rationnel au premier abord, la première hypothèse se heurte à plusieurs objections que je vais développer et dont quelques-unes peuvent être formulées contre la seconde.

A. Si la fragmentation est d'origine chimique et si les débris de Foraminifères accumulés en grand nombre dans la craie ne sont que les vestiges de coquilles qui ont eu à subir une forte corrosion, ce dernier phénomène a dû laisser une profonde empreinte sur les morceaux de test disposés comme je l'ai dit plus haut. Or, les fragments en question ne ressemblent rien moins qu'à des squelettes de test soumis à une action corrosive prolongée; ils sont dépolis, comme les formes entières, et leurs extrémités sont nettement tronquées. Je tiens pour inadmissible que des coquilles puissent être mises en pièces par voie chimique, après un long séjour dans l'eau de mer, sans que les débris ne souffrent beaucoup eux-mêmes de l'action dissolvante de l'eau. Bref, l'état de conservation des restes de Foraminifères, que j'ai spécialement en vue ici, est incompatible avec l'idée d'une fragmentation d'origine chimique.

B. On a constaté dans les mers actuelles que les coquilles délicates disparaissent les premières et que les plus épaisses et les plus compactes résistent le plus longtemps. On n'observe rien de pareil dans la craie. On trouve, par exemple, un Foraminifère à test épais et brisé à côté d'une très mince coquille parfaite de conservation. Le contraire se voit également. Le fait essentiel et dominant, c'est que l'état de conservation, qui est fonction de l'épaisseur de la coquille chez les Foraminifères actuels, en est indépendant chez ceux de la craie. On ne peut donc songer à expliquer l'état de division de la coquille par un commencement de destruction dans l'eau de mer.

C. Les raisons que j'ai invoquées jusqu'ici pour rejeter l'intervention d'un facteur chimique sont tirées directement des Foraminifères. On peut en emprunter aux éléments qui les accompagnent. Voici, par exemple, les *Coccolithes* et *Rhabdolithes* qui prennent une part importante à la constitution de la masse crayeuse qui réunit les organismes. Ces corps sont tombés sur le fond de la mer en suivant le même chemin que les Rhizopodes pélagiques. Si l'on suppose que ces derniers ont été détruits, ou tout au moins fortement corrodés dans leur mouvement de descente, pourquoi les Coccolithes et Rhabdolithes ont-ils entièrement échappé aux mêmes influences? Ce sont pourtant des corps assez délicats pour qu'une longue action dissolvante puisse les anéantir.

D. La conservation des Foraminifères des plages phosphatées et surtout des silex creux (Voir plus loin, p. 478 et suiv.) me paraît être une particularité d'une grande valeur démonstrative. Elle établit d'une façon péremptoire que des Foraminifères ont été introduits en grand nombre et absolument intacts dans la vase crayeuse d'où sont issues les craies phosphatées et celles qui sont pourvues de silex creux. Or, on trouve ces derniers dans différentes craies et notamment dans l'assise à *M. c. anguinum* qui correspond selon toute vraisemblance à l'une des plus grandes profondeurs de la mer crétacée. L'épaisseur d'eau traversée par les Foraminifères au cours de leur chute n'a donc eu aucune influence sur l'état de conservation de leur coquille.

Je crois donc, et ce sera ma conclusion, qu'il faut renoncer à demander l'explication

de l'état fragmentaire des Foraminifères de la craie au phénomène de destruction des Rhizopodes calcaires tel que je l'ai décrit plus haut. Ni les caractères que présentent les restes de ces organismes dans la craie, ni les particularités de conservation des éléments ambiants n'autorisent à supposer que les microorganismes de la mer crétacée ont été soumis aux mêmes conditions que ceux des mers actuelles.

2° M. de Grossouvre [1] écrivait en 1892 que « si la craie blanche est formée le plus souvent presque uniquement d'un dépôt pulvérulent et amorphe de carbonate de chaux et ne contient qu'accidentellement une certaine quantité de Foraminifères, tandis que la vase à Globigérines en renferme souvent jusqu'à 80 %.... on doit cependant tenir compte à cet égard des résultats fournis par certains dragages qui ont montré qu'alors que la couche superficielle de la vase à Globigérines était formée principalement de coquilles et de débris de coquilles de ces animaux, la couche sous-jacente était constituée uniquement par du limon calcaire très fin, comme si les coquilles de Globigérines entières dans la couche supérieure étaient au-dessous de celles-ci tombées en poussière à la suite de la décomposition de la matière organique ».

Le phénomène invoqué par M. de Grossouvre peut être une des causes de la pauvreté des craies en Foraminifères. Je suis d'autant plus disposé à recourir à son intervention que j'ai admis (p. 462) que la décomposition de la matière organique a concouru à la formation du ciment en désagrégeant les coquilles de plusieurs catégories d'organismes. Mais il faut reconnaître que dans l'état actuel de nos connaissances, il n'est démontré par aucun fait d'observation tiré de la craie. Il est même certaines particularités qui sont défavorables à cette opinion, ou tout au moins qui restreindraient beaucoup la généralité du phénomène si l'existence en était reconnue :

A. L'état de conservation des Foraminifères enfermés dans les cavités des silex et dans les plages de craie phosphatée prouve que la décomposition de la matière organique serait loin d'avoir toujours entraîné la destruction des coquilles de Rhizopodes de la craie. Les dépouilles des Foraminifères que le phosphate de chaux nous a léguées intactes et celles qui sont incluses dans les silex ont été placées, dès le principe, dans les mêmes conditions que les formes qui, suivant l'opinion de M. de Grossouvre, auraient été réduites en poussière par suite de la décomposition de la matière organique. L'hypothèse en question ne peut expliquer l'excellente conservation des coquilles de Rhizopodes à côté d'une plage dont tous les Foraminifères ont été détruits.

B. Elle rend difficilement compte de l'état fragmentaire des coquilles très épaisses, voisines de formes, très délicates et absolument intactes.

C. On ne peut d'ailleurs conclure du fait mentionné par M. de Grossouvre que la destruction des Foraminifères suivant le processus indiqué soit la règle : La Boue à

1. DE GROSSOUVRE. Sur les conditions de dépôt, etc. *Ann. Soc. G. N.* vol. 20, p. 7 (1892).

Globigérines émergée des Barbades que MM. Jukes-Browne et Hill [1] ont comparée à la craie d'Angleterre (Grey, Middle and Upper Chalk) a conservé de très beaux Foraminifères. Les vases à Globigérines et à Ptéropodes, découvertes par M. Guppy [2] aux îles Salomon, fournissent un exemple de plus de la bonne conservation des organismes inclus dans les vases pélagiques émergées.

En résumé, la destruction des Foraminifères dans la vase crayeuse même, par suite de la décomposition de la matière organique, reste une hypothèse dans l'état actuel de nos connaissances. On ne peut se refuser de lui accorder le bénéfice d'une grande vraisemblance, mais elle n'est pas indispensable, soit pour expliquer l'état de division des coquilles, soit leur rareté dans beaucoup de craies.

3° Je considère comme ayant été fragmentés par voie mécanique, tous les Foraminifères dont les débris, empruntés à des coquilles de taille et d'épaisseur très variables, gisent côte à côte et sont bien conservés, simplement dépolis, à terminaisons nettement tronquées, et disposés de façon que leurs directions prolongées se coupent (voir pp. 253 et 254).

Des trois explications proposées pour rendre compte de l'état fragmentaire originel de Foraminifères, j'élimine la première ; je considère la seconde comme une hypothèse très plausible et la troisième comme pouvant seule rendre compte dans certains cas des particularités de conservation et de gisement des vestiges de Rhizopodes calcaires.

Destruction des coquilles de Foraminifères par voie de dissolution longtemps après la sédimentation. De tous les facteurs jusqu'ici invoqués pour expliquer soit l'état fragmentaire des coquilles de Rhizopodes, soit la pauvreté de la craie en Foraminifères, il n'en est aucun qui puisse rendre compte de la fragmentation et de la destruction tardives de ces organismes. La conclusion qui découle de l'étude des Foraminifères en voie de destruction sur place par le processus que j'ai longuement analysé à la page 250, c'est que beaucoup de coquilles n'ont perdu leur intégrité que longtemps après la sédimentation. La matière organique dont elles étaient primitivement remplies, était depuis longtemps détruite. Le mécanisme du phénomène m'échappe. Tous les fragments qui font partie d'un même individu ont parfaitement conservé leurs positions respectives (Voir Pl. IX, fig. 8). Si la consolidation de la craie, pour faible qu'elle soit, n'avait pas été avancée au moment de la destruction des coquilles, les débris ne seraient pas restés en place ; des tassements les auraient dérangés, et il serait impossible de les raccorder aujourd'hui. On en arrive donc à la notion de la destruction des coquilles, non-seulement après la sédimentation, mais longtemps après le dépôt de la craie. S'il est ainsi prouvé

1. A. J. JUKES-BROWNE and J. B. HARRISON. The Coral Rocks, etc. *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol. 48, pp. 169-226 (1892).

2. H. B. GUPPY. Obs. of the recent calc. Formations, etc. *Trans. Roy. Soc. Edinburgh*, vol. 32, pp. 545-582 (1885).

que des coquilles entières peuvent disparaître sans laisser de traces, il se peut que l'absence ou la rareté des Foraminifères dans les préparations de certaines craies ne soient pas originelles. Il convient de les interpréter dans chaque cas.

Conséquences au point de vue de la composition du ciment. J'ai montré, par l'analyse microscopique, que les ciments calcaires d'origine chimique se répartissent en quatre catégories (p. 462), dont les deux dernières sont formées de particules calcaires inorganiques. Beaucoup de craies ont leur ciment en majeure partie formé par ce groupe d'éléments. En essayant de remonter à l'origine de ces corps, je me suis arrêté à l'opinion qu'ils ont dû, tous et sans exception, prendre naissance après la sédimentation. Un certain nombre des rhomboèdres microscopiques et des particules à forme non cristalline dérivent des Foraminifères. En suivant pas à pas la destruction des coquilles de Rhizopodes calcaires (p. 250), j'ai établi que l'emplacement des Foraminifères détruits n'est jamais occupé par un vide, mais par du carbonate de chaux distinct ou non de celui du ciment. Dans le premier cas, le carbonate de chaux de la coquille s'est transformé en éléments de calcite de plus grande taille que les particules du ciment, et très fréquemment le contenu des coquilles, de même que le ciment placé aux environs immédiats du test, ont également donné de la calcite. Dans le dernier cas, dont je connais beaucoup d'exemples, l'importance du ciment grandit au détriment des organismes : le carbonate de chaux, qui occupe la place des Foraminifères disparus et qui a pris naissance aux dépens de leur test, ne diffère en rien dans les sections minces de celui du ciment. De sorte qu'une craie originellement très riche en Rhizopodes peut se transformer, grâce à cette métamorphose, en une craie à ciment prédominant. Une grande partie de ce ciment est inorganique, mais, en dernière analyse, les éléments de carbonate de chaux amorphe ou rhomboédrique procèdent d'organismes.

Deux conséquences découlent de la destruction des Foraminifères :

1° Croissance du ciment par addition de particules de calcite.

2° Impossibilité de comparer le ciment de la craie à celui des boues modernes. Le ciment de la craie correspond aux « *Fine-Washings* » de la Boue à Globigérines, par exemple, mais augmentés des produits ultimes de la métamorphose du calcaire des organismes et souvent même de celle des éléments du ciment primordial.

Rôle conservateur des milieux marneux phosphatés, et quelquefois siliceux en faveur des microorganismes. On vient de voir que les coquilles de Foraminifères ont été soumises à une double influence destructive, qui paraît avoir profondément modifié la composition organique primitive de la boue crayeuse, mais dont il est impossible de mesurer directement le résultat exact. Fort heureusement, il s'est trouvé diverses substances qui, par places, ont protégé ces organismes et qui, de la sorte, permettent d'apprécier rigoureusement l'importance de la métamorphose qui a transformé en craie le limon crayeux originel. Ces substances sont au nombre de trois : l'*argile*, le *phosphate de chaux* et la *silice*.

Les diverses circonstances de l'action protectrice de ces matières restent à fixer. C'est évidemment en modifiant la porosité, la capillarité et autres facteurs physiques, concourant pour une large part à la métamorphose des sédiments, que ces différentes substances assurent la conservation des microorganismes.

1° *Milieux marneux.* Le rôle protecteur de la matière argileuse vis-à-vis des Rhizopodes calcaires se trouve parfaitement démontré dans le Turonien. C'est dans ce terrain que l'on peut observer la plus forte proportion de coquilles de Foraminifères intacts. Dans le Nord, par exemple, où les assises à *I. labiatus* et à *T. gracilis* renferment beaucoup d'argile, le nombre de formes complètes et à surface faiblement corrodée est proportionnellement très élevé.

Il me paraît évident que cette matière a joué un grand rôle dans la conservation des nombreux Foraminifères que M. Ant. Fristch [1] a signalés dans le Crétacé de Bohême.

MM. Munier-Chalmas et Schlumberger [2] ont noté, sans en donner la raison, que les Foraminifères se présentent souvent en quantités considérables dans des « calcaires plus ou moins marneux ou compacts », ainsi que cela a lieu dans les couches cénomaniennes de l'île Madame, dans les bancs à *Hippurites cornuvaccinum* et *H. bioculatus* des Martigues et des Pyrénées, ou bien encore dans les couches daniennes et sénoniennes de l'Istrie. J'incline à penser que l'argile de ces « calcaires plus ou moins marneux » n'est pas étrangère à la conservation d'aussi nombreux Rhizopodes.

Les Foraminifères les mieux conservés que j'aie jamais observés provenaient de l'Argile des Flandres.

L'argile disséminée dans la craie lui donne une certaine compacité qui protège les coquilles de Foraminifères en faisant obstacle à la circulation facile des eaux chargées d'acide carbonique. Au bout d'un temps donné, la quantité d'acide carbonique mis en présence des organismes inclus dans la craie est plus faible pour une craie marneuse que pour une craie presque exclusivement calcaire. D'où leurs chances de destruction sont ainsi diminuées.

Ce qui se passe pour la craie est à rapprocher des observations faites par M. Ch. Barrois sur des calcaires paléozoïques d'Espagne : Les Foraminifères font défaut dans les calcaires dévoniens des Asturies et de la Galice en raison de leur dissolution facile dans les eaux qui traversaient ces roches, de nature spongieuse par suite de leur origine corallienne. Au contraire ces organismes ont été conservés dans le calcaire carbonifère formé de Crinoïdes parce qu'il était plus *compact* que les calcaires coralliens et ne laissait pas aussi facilement filtrer l'eau [3].

---

1. ANT. FRISTCH, Studien im Gebiete der böhm. Kreideformation, etc. *Archiv d. Naturw. Landesdurchforschung v. Böhmen*, vol. 9, n° 1, Prag (1893).

2. MUNIER-CHALMAS et SCHLUMBERGER. Op. cit. p. 274 (1885).

3. CH. BARROIS. Rech. sur les ter. anc., etc. *Mém. Soc. G. N.*, tome 2, mém. 1, p. 45 (1882).

2° *Milieux phosphatés.* L'épigénie *partielle* d'une craie par la matière phosphatée a pour conséquence la conservation d'une infinité de coquilles qui ont disparu dans les portions respectées par le phosphate. J'ai appelé l'attention sur ce phénomène en étudiant la craie glauconieuse et le premier Tun du Nord, ainsi que la craie phosphatée à Bélemnitelles de l'Yonne. Celle de la Somme en donne de nombreux exemples (voir les différentes preuves du rôle protecteur du phosphate données au cours de l'étude de la craie à Bélemnitelles de l'Yonne, p. 322 et suiv.). C'est ainsi que les Foraminifères qui se montrent pressés les uns contre les autres dans les plages phosphatées sont partiellement et souvent complètement exclus — dans la même préparation — de celles que le phosphate n'a pas envahies. Il n'est pourtant pas douteux que leur distribution ait été originellement uniforme.

On rencontre même dans ces milieux phosphatés des organismes qui manquent dans la craie non phosphatée ambiante et dont on ne connaît qu'un très petit nombre de représentants dans la craie d'Europe. Ce sont les *Radiolaires.* Ils sont réunis en nombre parfois notable sur une aire de très faible étendue et disparaissent brusquement dès qu'on sort des parties imprégnées de phosphate. Il est impossible d'admettre que l'emplacement des plages phosphatées ait été marquée dès le principe par la présence des Rhizopodes et qu'il n'en ait point existé dans les îlots crayeux, enveloppés de toutes parts de craie phosphatée. Tout porte à croire que la distribution de ces organismes était uniforme, comme celle des Foraminifères, et que leur absence absolue en dehors des points phosphatés est l'œuvre de phénomènes qui ont profondément altéré la physionomie primitive de la craie. Je crois bon de rappeler ici que nombre des Radiolaires décrits par M. Rüst jusqu'à ce jour ont été trouvés dans des nodules phosphatés. Les Diatomées que j'ai récemment signalées dans les phosphates suessoniens de Tunisie [1] prouvent à l'évidence par leur état de conservation que le phosphate protège les organismes qu'il englobe.

Bref, il apparaît comme certain que, si l'on veut se rendre compte de la richesse en organismes de la craie, lorsqu'elle s'accumulait à l'état de boue sur le fond de la mer, c'est notamment aux portions phosphatées qu'il faut s'adresser. Elles nous révèlent ce fait, de la plus haute importance, que *des craies, aujourd'hui pauvres en organismes, étaient, à l'origine, des Boues à Foraminifères, et que les Radiolaires ont très probablement tenu une place notable dans la composition organique de la vase crayeuse.* C'est en partie grâce aux propriétés conservatrices du phosphate que l'on peut remonter à l'état initial du limon crayeux et mesurer d'un simple coup d'œil l'ampleur de la métamorphose qu'il a subie pour arriver au stade craie marqué par un appauvrissement en microorganismes.

3° *Milieux siliceux. Craie enfermée dans les silex.* Dès 1791 [2], de Luc mentionnait les silex en masses renfermant de la craie. En 1792 [3], le même auteur parlait de « boules de

1. L. CAYEUX. Note prél. sur la const. des phosph., etc. *C. R. Ac. Sc.*, vol. 123, pp. 273-276 (1896).
2. DE LUC. Sur les couches de craie, etc. *Journ. de Phys.*, vol. 38, p. 176 (1791).
3. DE LUC. Sur la nature des silex, etc. *Journ. de Phys.*, vol. 41, p. 33 (1791)

silex, plus légères que si elles étaient des masses solides de cette substance et qui ne montrent qu'une coque de silex remplie de craie ». A une époque beaucoup plus récente, les silex incomplètement formés et remplis de substance crayeuse ont appelé l'attention de plusieurs observateurs. On peut même dire qu'ils ont tenu un rôle de première importance dans la question de la comparaison de la craie et de la boue à Globigérines. On sait que l'une des objections considérées comme les plus fortes, présentées contre l'identification de ces deux dépôts, est tirée de leur grande différence de composition chimique. La craie typique ne renferme qu'un très faible résidu insoluble, tandis que ce dernier peut s'élever en moyenne à 35,53 % dans la boue à Globigérines. Pour expliquer cette différence radicale, Wallich admit que la craie était à l'origine un limon crayeux pareil à celui de l'Atlantique et qu'il a été très modifié depuis son dépôt. S'il était possible, dit-il, de comparer une quantité donnée de craie dans les conditions où elle fut déposée au fond de la mer crétacée avec une égale quantité de boue à Globigérines, il n'y aurait pas de différence dans le pourcentage de carbonate de chaux et de silice, autorisant à considérer ces deux formations comme lithologiquement distinctes.

Mais comment retrouver la craie avec la composition qu'elle présentait au moment de son dépôt? J. Wright [1] eut l'idée fort ingénieuse de s'adresser aux silex creux. En 1872, il découvrit que la poudre renfermée dans les silex contient des organismes, et il la considéra comme « *une portion du fond de l'ancienne mer de l'époque crétacée* ». Wallich [2] se fit plus tard le défenseur de cette idée. La craie enfermée dans ces silex aurait donc été emprisonnée assez tôt par la silice pour qu'elle ait conservé sa composition originelle. L'analyse chimique du contenu des silex creux sembla donner gain de cause à cette opinion. Wallich constata bien quelques différences entre la poudre crayeuse et la « craie moderne », mais elles étaient de celles qui sont compatibles avec l'assimilation de ces deux dépôts.

Si l'on porte sous le microscope une petite quantité de la farine crayeuse contenue dans les silex creux, voici ce qu'on observe :

1. Beaucoup d'organismes calcaires sont silicifiés. C'est ainsi que les Foraminifères et les Bryozoaires ont un test siliceux, que les valves d'Ostracodes sont conservées dans le résidu insoluble dans l'acide chlorhydrique. Il y a de ce chef une différence fondamentale avec la craie ambiante où la silicification des coquilles de Rhizopodes calcaires est tout à fait exceptionnelle. J'insiste sur ce point que c'est bien d'une silicification qu'il s'agit, et qu'on n'est point en présence de coquilles naturellement siliceuses. On rencontre par exemple des Globigérines, des Textulaires, des Rotalines pourvues d'un test en opale alors qu'elles étaient originellement calcaires. S'il en est ainsi, la proposition

1. J. WRIGHT. On the Discovery of Microzoa, etc. *British Assoc.*, Belfast, vol, 44, pp. 95-96 (1874).
2. WALLICH. A Contribution to the phys. Hist., etc. *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol. 36, pp. 68-93 (1880).

de Wright considérant la craie renfermée dans les silex creux comme ayant conservé la composition du limon crayeux n'est pas exacte, en ce qui concerne le point de vue chimique : *La craie des silex creux est de la boue crayeuse enrichie en silice,* et l'on verra bientôt que le nombre des Foraminifères silicifiés enfermés dans les silex creux est tel qu'il implique un enrichissement très notable. Les analyses qui n'ont pas tenu compte de cet apport secondaire de silice sont donc entachées d'erreur, si elles ont la prétention de nous renseigner sur la composition *chimique* de la craie au moment de son dépôt. Il est à peine besoin d'ajouter que, dans ces conditions, la différence de composition de la craie et de la boue à Globigérines que Wallich avait essayé d'atténuer en invoquant la teneur en silice de la craie des silex creux est beaucoup plus grande que cet auteur ne le pensait. Elle reste un caractère différentiel notable entre les deux dépôts.

2. Au point de vue organique, la considération de la poudre crayeuse des silex creux a, on peut le dire, une importance capitale. Cette poudre est très riche en organismes. J'ai déjà mentionné les Rhizopodes silicifiés. Ils y sont très nombreux. On y trouve généralement beaucoup de spicules de Spongiaires siliceux qui, on le sait, sont presque toujours calcifiés ou transformés en glauconie dans la craie. C'est dans ce milieu spécial qu'il faut chercher les valves d'Ostracodes. Je ne puis d'ailleurs citer d'observations plus probantes que les suivantes :

De Luc [2] notait déjà, en 1792, que Lefèvre avait remarqué « dans l'intérieur des silex beaucoup de pointes d'Oursins et des fragments de coquillages divers. »

L'éminent micrographe Ehrenberg signala, en 1839, onze espèces de *Bacillariacées* et des *Bryozoaires* dans des silex.

En 1852, M. Gaudry [3] soumit à l'examen microscopique le contenu de silex creux. Il y reconnut des spicules de *Spongiaires*, des *Foraminifères*, des débris de *Bryozoaires,* de *Brachiopodes* et des écailles de poissons.

En 1872, J. Wright [4] découvrit que la poudre enfermée dans des silex de la craie du Nord de l'Angleterre, contient des *Foraminifères*, des *Ostracodes* et des spicules d'*Eponges* en abondance. Il examina des poudres de trente-cinq localités différentes et reconnut, en plus des organismes cités, des *Coraux* et des *Bryozoaires*. Il réussit à distinguer 33 formes de spicules de Spongiaires. Quant aux Foraminifères et aux Ostracodes, ils étaient presque tous siliceux.

Wallich [5], en 1883, signala l'existence de plusieurs genres de *Radiolaires* dans les

---

1. DE LUC. Op. cit., p. 45 (1792).
2. EHRENBERG. Neuere Beobachtung über die Algen, etc., *Bericht-Berlin*, p. 158 (1839).
3. A. GAUDRY. Sur l'origine et la formation des silex, etc. Thèse de géologie, p. 22 (1852).
4. J. WRIGHT. Op. cit., pp. 95-96 (1872).
5. WALLICH. Note on the Detection, etc., *Ann. and Mag. of N. Hist.*, 5e S., vol. 12, pp. 52-53 (1883).

cavités des silex creux. Il remarqua que les *Foraminifères* accompagnant les Radiolaires étaient les plus beaux qu'il eût jamais observés ; les détails les plus délicats de la structure de la coquille étaient conservés.

Dans un seul silex mesurant environ un pied de diamètre, M. Hinde [1] a rencontré des *Foraminifères*, des *Entomostracés*, des fragments d'*Echinides*, de *Cirrhipèdes*, de *Bryozoaires*, de *Brachiopodes*, de *Lamellibranches* et de nombreux restes d'Eponges. Il a reconnu dans ce seul silex *21 genres de Spongiaires et 9 espèces nouvelles.*

M. Deecke [2] a reconnu des *Radiolaires* et des *Diatomées* dans des silex de la craie de Rügen.

J'ai étudié quelques silex creux de France ; j'ai constaté que les poudres crayeuses qui y sont enfermées sont une mine inépuisable de microorganismes, et que beaucoup d'entre eux sont transformés en silice.

Si on met en parallèle deux quantités égales de poudres de silex et de craie ambiante, il y a une disproportion très évidente entre le nombre de Foraminifères complets qu'elles renferment. La craie prélevée dans la cavité du silex en est beaucoup plus riche. L'observation se répétant un grand nombre de fois, il est permis de conclure que la craie qui entoure les silex s'est appauvrie en microorganismes. Ce qui est vrai pour les Rhizopodes l'est aussi pour les spicules qui ont parfois totalement disparu de la craie voisine et sans doute pour les Diatomées. L'opinion de Wright et de Wallich, que j'ai déclarée inexacte au point de vue chimique, paraît être l'expression de la vérité pour les organismes, et l'on peut dire que *le contenu des silex creux indique la composition organique de la craie à l'origine. La craie des silex devient donc une sorte d'étalon auquel il faut comparer la craie voisine, pour déterminer la somme de modifications qu'elle a subies dans sa teneur en organismes.*

Non-seulement la craie enfermée dans les silex est plus riche en organismes que celle qui les entoure, mais les coquilles sont beaucoup mieux conservées que dans la craie proprement dite. Cette observation n'avait pas échappé à M. Hinde, qui en a conclu que la formation du silex est antérieure à la consolidation de la craie.

Conséquences de la conservation des microorganismes dans les milieux de nature spéciale au point de vue de la composition organique originelle de la craie. Il résulte de l'étude de la craie :

1. Qu'une partie des Foraminifères ont été détruits par des agents mécaniques et surtout chimiques.

2. Que diverses substances (argile, phosphate de chaux et silice) sont douées de la propriété de préserver les coquilles de Foraminifères contre l'action destructive des agents chimiques.

---

1. G. J. HINDE. Fossil Sponge spicules, etc. Munich (1880).

2 W. DEECKE. Die Mesoz. Form., etc., *Mitth. d. naturw. Ver. für Neu-Vorpommern und Rügen*, p. 62 (1894).

3. Que la comparaison des parties de la craie ainsi protégées et de celles qui ont été altérées montre que la destruction des coquilles de Rhizopodes s'est faite sur une assez grande échelle sans laisser de trace à première vue.

Je crois que l'on peut affirmer aujourd'hui avec une entière certitude que toutes les craies blanches sénoniennes très pauvres en microorganismes étaient à l'origine des boues à Foraminifères.

Les premiers micrographes qui procédaient au lavage de la craie pour en isoler les Foraminifères ont introduit dans la science une idée très fausse, en déclarant que la craie blanche est entièrement constituée par des dépouilles de Foraminifères. Les naturalistes qui, dans ces dernières années, se sont fondés sur l'examen de quelques coupes minces de la craie blanche pour établir que les Foraminifères sont rares dans « la craie », et conclure qu'il y a de ce chef une différence fondamentale entre ce dépôt et la boue à Globigérines sont tout aussi loin de la vérité.

Comparer la craie blanche à la boue à Globigérines, c'est mettre en regard un sédiment dont la physionomie première a été profondément altérée, avec un dépôt né d'hier, et que les actions chimiques qui ont déterminé dans la craie des métamorphoses beaucoup plus nombreuses qu'on ne le croit généralement n'ont pas encore effleuré. Il faut pour faire cette comparaison dans des conditions qui assurent la validité des résultats, partir de craies qui ont conservé leurs organismes grâce à la présence d'un milieu protecteur. On sait maintenant que le choix des échantillons est de la plus haute importance.

Sauf de rares exceptions qu'il convient de laisser dans l'ombre tant le fait est général, les craies turoniennes toujours imprégnées d'argile sont très riches en dépouilles de Rhizopodes calcaires. Elles fournissent des spécimens qui renferment jusqu'à 80 % de Foraminifères. Si l'on ne perd pas de vue la signification de la richesse organique des craies silicifiées ou phosphatées, on peut tenir pour hors de doute que la craie blanche sénonienne a été beaucoup moins pauvre en Foraminifères qu'elle ne l'est de nos jours, et pour infiniment probable que la proportion moyenne de ces organismes a été au moins aussi élevée que celle de la boue à Globigérines. Il n'est pas impossible qu'elle ait été souvent plus forte. En effet, il n'y a pas à tenir compte pour la craie de l'important résidu minéral qui intervient dans la composition de la boue à Globigérines, et dont la place pouvait être en partie occupée par des Rhizopodes dans le limon crayeux sénonien.

En ne mettant en parallèle que la composition organique originelle de la craie et celle de la Boue à Globigérines, considérées toutes deux dans leurs grands traits, il est impossible de ne pas être frappé des analogies de ces deux dépôts. En gros, ce sont les mêmes groupes d'organismes calcaires et siliceux qui les constituent. La découverte de Radiolaires dans les parties phosphatées de la craie, organismes qui, en faible propor-

tion, font partie intégrante de la plupart des boues à Globigérines et l'existence de Diatomées dans les silex creux (Ehrenberg) rapprochent davantage encore ces deux sédiments. Je me représente le limon crayeux d'où est issue la craie blanche comme une boue à Foraminifères présentant les caractères physiques d'une boue à Globigérines très pauvre en résidu minéral — celui de la boue à globigérines est au minimum de 3,2 % — et dans laquelle les Globigérines ne joueraient qu'un rôle absolument accessoire et parfois presque nul. Est-ce à dire que les différentes conditions physiques et chimiques qui président de nos jours à la genèse de la vase à Rhyzopodes calcaires aient été celles de la mer supracrétacée du Bassin parisien, je suis loin de l'admettre. Je dirai dans le prochain chapitre quelles sont les multiples raisons qui m'empêchent d'étendre les analogies de ces dépôts jusqu'aux diverses circonstances de leur formation.

V. TRANSFORMATIONS DE LA TEXTURE DE LA CRAIE

Structure noduleuse. Je n'ai étudié qu'incidemment les craies qui se signalent à l'attention du géologue par un état d'agrégation spéciale de leurs éléments et leur structure noduleuse. Elles appartiennent aux niveaux suivants :

1. Craie à *I. labiatus* du Blanc-Nez ;
2. Tuns inférieurs de Lezennes (Nord), à *M. breviporus* ;
3. Craie à *M. breviporus* des environs de Rouen ;
4. Craie à *H. planus* de l'Yonne ;
5. Craie à *M. c. testudinarium* de Saint-Martin-le-Nœud, près Beauvais ;
6. Craie à *M. gibbus* de l'Yonne ;
7. Craie à Bélemnitelles de l'Yonne.

Le phénomène qui a troublé l'homogénéité primitive de la craie est essentiellement variable.

1° Les parties noduleuses en saillie, sur la surface des craies exposées aux actions atmosphériques, ne diffèrent en rien de la craie normale quand on les soumet au microscope. La texture noduleuse ne se révèle dans ce cas que sur la craie vue en masse. C'est la manière d'être de plusieurs spécimens empruntés à la craie à *M. gibbus* de l'Yonne. Je les considère comme des accidents superficiels et probablement d'origine récente.

2° Une transformation du ciment, parfois accompagnée de celle du test des organismes, est presque toujours la conséquence de la genèse de la structure noduleuse. On aperçoit dans le ciment de la craie vue en coupe mince, des taches claires et plus cristallines que le reste de la roche, correspondant à des nodules microscopiques. En d'autres cas, on voit des plages très étendues ayant atteint un degré de cristallinité telle que la

forme des Rhizopodes en devient indispensable et que le ciment lui-même est transformé en grands éléments de calcite. Pareille métamorphose, au lieu de se limiter à de petites masses qui figurent des nodules, peut s'étendre à de grandes épaisseurs de la roche. Toutes les craies énumérées plus haut présentent les modifications que je viens de décrire, sauf les numéros 1, 5 et 6. La texture noduleuse résultant d'une cristallisation partielle de la craie est de beaucoup la plus fréquente dans le Bassin de Paris. Elle a pris naissance après le dépôt de la craie, ainsi qu'on peut le prouver par la considération des organisme partiellement détruits sur place.

3° Elle peut se présenter dans de toutes autres conditions comme à la base de l'assise à *M. c. testudinarium* des environs de Beauvais. Là, le phénomène se déeompose en deux temps : A. Genèse de nombreux rhomboèdres de calcite après le dépôt de la craie et disposés indifféremment sur l'emplacement du ciment et des organismes. B. Dissolution intégrale de ces rhomboèdres, mais seulement par places. Les nodules correspondent aux portions de la craie où les rhomboèdres sont conservés. Ils sont noyés dans une craie criblée de vides marquant la place des cristaux disparus. Les circonstances qui ont présidé à cette succession de métamorphoses sont encore bien obscures, mais ce qui est hors de doute, c'est que la structure noduleuse est ici très postérieure au dépôt de la craie. Quant à la destruction des rhomboèdres, il se peut qu'elle soit très récente et due aux eaux météoriques qui circulent dans la craie.

La structure noduleuse n'est originelle dans aucun des cas qui précèdent. Il convient de la rattacher à cet ensemble complexe de phénomènes qui commencent à se manifester immédiatement après la sédimentation pour se continuer jusqu'à nos jours, et qui ont pour résultat de donner des physionomies très variées à des sédiments qui, considérés à l'origine, se ramènent à quelques types distincts.

4° La marne à *I. labiatus* du Nord se transforme en craie noduleuse dans le Boulonnais et dans le Sud-Est du Bassin de Paris. Le phénomène de la métamorphose de cette craie est entièrement différent pour le Boulonnais de ceux dont je viens de parler. Je me propose de lui consacrer quelques lignes ici, bien que ce chapitre soit spécialement réservé à l'indication des traits généraux qui caractérisent la craie.

L'origine de la texture noduleuse de cette craie est un des problèmes les plus ardus que peut offrir le Crétacé du Bassin de Paris ; je me bornerai d'ailleurs à l'énoncé de ses données, me proposant de la traiter à fond dans un travail qui est presque achevé. Un fait capital domine toute la question : *Les nodules ont une composition organique nettement différente de la craie qui les cimente.* Ils sont essentiellement formés de Foraminifères monoloculaires, si nombreux qu'ils sont pour ainsi dire pressés les uns contre les autres. Ils sont accompagnés de Globigérines complètes, de débris de grands Rhizopodes calcaires et de quelques prismes d'Inocérames. C'est en définitive la compo-

sition organique de la craie normale à *I. labiatus* du Pays de Bray, de la région de Rouen et non celle du Nord.

La masse fondamentale du ciment est formée d'innombrables prismes d'Inocérames entremêlés de quelques coquilles de Foraminifères reliés par de la calcite. Ainsi donc, ce sont les Foraminifères qui constituent les nodules, tandis que le ciment est en majeure partie formé de débris d'Inocérames. Cette opposition est d'une parfaite netteté dans les coupes minces. Ces données paraissent bien en faveur d'une dualité d'origine des nodules et du ciment. Quelle que soit l'opinion qui prévale, il faut admettre que cette structure a été préparée dès le dépôt même du sédiment, et qu'en ce sens elle comporte quelque chose d'originel.

M. W. Hill a observé les mêmes particularités pour le « Melbourn Rock » de la région de Londres. Il a admis pour les expliquer que la craie a été fragmentée alors que sa consolidation était commencée, puis *rearranged*, suivant l'expression de l'auteur.

5° La concentration de la matière phosphatée en différents points d'une craie blanche lui donne une apparence noduleuse dont la cause a été souvent méconnue (Ex. : craie à Bélemnitelles de l'Yonne, p. 321).

On voit par ces divers exemples qu'une craie peut acquérir une texture noduleuse par des voies bien différentes.

Bancs durcis. Les bancs durcis et perforés qui ont été relevés et étudiés par Hébert avec tant de soin, correspondent à des interruptions dans la sédimentation. Ce sont les « *hard grounds* » de l'époque crétacée. Comme ces derniers, ils ont pris naissance sur le fond de la mer. Quand ils forment le substratum de la craie phosphatée à Bélemnitelles, il est facile de démontrer que leur genèse est en relation avec un arrêt dans la sédimentation (voir p. 431). M. Gosselet [2], en a parfait la démonstration par les observations si intéressantes qu'il a réunies tout récemment sur les phosphates de la Somme.

La métamorphose de la craie durcie, cristalline et *non perforée* qui occupe la base de l'assise à Bélemnitelles dans les environs de Sens a pu prendre naissance sur le fond de la mer. Les campagnes du *Blake* ont mis en relief *la formation actuelle de calcaires solides* au large des côtes de Floride sur le plateau de Pourtalès. Ce peut être le cas de la craie dure (2e Tun) qui représente le Chalk-Rock dans les environs de Lille. Ces deux dernières formations correspondent à une rupture d'équilibre des mers dans lesquelles elles se sont développées, et par conséquent à un régime spécial des courants.

En résumé, on peut considérer comme démontrée l'existence de bancs durcis par

---

1. W. HILL in W. WHITAKER. Op. cit., p. 521 (1889).
2. J. GOSSELET. Des conditions, etc. *C. R. Ac. Sc.*, vol. 123, pp. 290 et suiv. (1896).
J. GOSSELET. Note sur les gîtes de phosphate, etc., *Ann. Soc. G. N.*, vol. 24, pp. 109-134 (1897).

suite d'interruption dans la sédimentation et correspondant aux nombreux *hard grounds* signalés par le Challenger dans les océans actuels.

La genèse directe de bancs durcis, sans arrêt du phénomène sédimentaire, reste hypothétique, malgré sa grande vraisemblance.

VI. TABLEAU DES MÉTAMORPHOSES DE LA CRAIE DANS LE TEMPS

Aux yeux de la plupart des géologues, la craie est un dépôt aussi peu différent que possible de la boue dont elle procède. Pour eux, la genèse de rognons de silex aux dépens des dépouilles d'organismes siliceux disséminés dans le sédiment en constitue la principale sinon l'unique métamorphose. La vérité est que le limon crayeux primitif n'est passé à l'état de craie qu'après avoir subi de profondes modifications au triple point de vue minéral, organique et chimique.

1. Celles du domaine minéral ne sont pas les moins curieuses. Le Crétacé de Touraine fournit plusieurs exemples de genèse de *quartz* secondaire sur une grande échelle. La craie proprement dite contient également un peu de quartz formé *in situ*. La grande diffusion de l'*orthose* néogène, la présence de la *leverrierite* dans l'Yonne comptent parmi les particularités les plus intéressantes de la craie. On peut encore mentionner la production de la *glauconie* et du *phosphate de chaux*, le développement accidentel de *silice globulaire* et enfin la formation des *silex*. Je puis inscrire ici la *dolomie* dont l'étude sera faite ultérieurement. L'introduction dans le ciment d'innombrables particules de carbonate de chaux inorganique complète l'ensemble des métamorphoses subies par la craie au seul point de vue minéral.

2. Dans le domaine organique tout changement ne peut être qu'une destruction partielle ou complète de formes préexistantes. La plupart des *Spongiaires* siliceux ont abandonné leur silice pour former les silex ou silicifier des coquilles calcaires et sont aujourd'hui glauconieux, calcifiés et exceptionnellement transformés en phosphate de chaux, en pyrite ou limonite. Sauf de très rares exceptions, les *Radiolaires* et *Diatomées* ont disparu. Un grand nombre de Foraminifères sont détruits. Beaucoup d'autres organismes ont subi un commencement de dissolution.

3. Les modifications d'ordre chimique sont en partie la conséquence du déplacement de la silice des organismes siliceux. La genèse de la texture noduleuse de la craie et de la structure pseudo-oolithique du Crétacé de Touraine complètent ce tableau.

Tous les changements qui ont affecté la craie se résument par la production de substances minérales nouvelles et la destruction de formes organiques. Le terme ultime auquel aboutissent invariablement la majeure partie des sédiments calcaires organogènes, après

de longues et nombreuses transformations est un calcaire cristallin dans lequel toute trace organique est effacée. J'ai observé dans le S.-O. du Bassin parisien maints dépôts rapprochés de ce stade final. La craie proprement dite en comporte quelques-uns. Toutes les craies qui paraissent les moins modifiées portent déjà l'empreinte d'une métamorphose qui n'est jamais négligeable.

On peut dire d'une façon générale que « la craie » est loin d'avoir conservé sa composition initiale. Malgré son apparence de sédiment non modifié, elle a commencé son évolution vers un état indéfiniment stable, caractérisé par l'anéantissement total des dépouilles organiques et la transformation de tout le carbonate de chaux en calcite largement cristallisée.

CHAPITRE XIII

COMPARAISON DE LA CRAIE ET DE LA BOUE A GLOBIGÉRINES

Sommaire. — I. Revue bibliographique.

II. Étude comparée de la craie et de la boue a Globigérines, 496. — 1°. *Minéraux de la craie et de la boue à Globigérines*, 497. — 2°. *Comparaison des faunes*, 498. Poissons, 499. Céphalopodes, 500. Brachiopodes, 500. Bryozoaires, 501. Mollusques, 502. Crustacés, 505. Annélides, 506. Echinodermes, 506. Coraux, 509. Spongiaires, 509. Radiolaires, 513. Foraminifères, 513. Diatomées, 515. Coccolithes et Rhabdolithes, 515. Arguments tirés de l'état de conservation des organismes de la craie. 516. Conclusions, 517.— 3°. *Comparaison au point de vue chimique*, 518. Conclusions, 521.

I. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

On ne peut écrire l'histoire naturelle de la craie sans la comparer avec la boue à Globigérines. Les rapports de ces dépôts ont beaucoup préoccupé les naturalistes d'Angleterre depuis cinquante ans. D'importants travaux publiés dans le même pays depuis quelques années ont donné un regain d'actualité à cette question, et l'on peut dire qu'elle est à l'ordre du jour plus que jamais. Avant d'en aborder l'étude à la lumière des données qui résultent de l'étude micrographique de la craie de France, je me propose de suivre pas à pas le mouvement des idées sur les conditions de genèse de la craie comparées à celles de la boue à Globigérines. On peut y distinguer trois phases successives : 1° Une époque antérieure aux grandes explorations sous-marines ; 2° une phase d'identification de la craie à la boue à Globigérines ; 3° une dernière période pendant laquelle la craie cesse d'être unanimement considérée comme un dépôt de mer profonde.

Première phase. Cette période qui finit un peu avant la moitié du siècle est essentiellement caractérisée par l'ignorance de la nature des dépôts qui s'effectuent dans les mers profondes. Zoologistes et géologues admettent que la vie est cantonnée dans les faibles profondeurs. La craie dans laquelle Lamarck [1], A. d'Orbigny [2], Nilsson [3] et Lonsdale [4] ont déjà reconnu des organismes microscopiques est cependant considérée comme un

1. Lamarck. Mém. sur les fossiles des env. de Paris (1804).
2. A. D'Orbigny. Tableau méthodique, etc., *Ann. des Sc. nat.*, vol. 7, p. 246 (1826).
3. Nilsson. Petrificata suecana Formationis cretaceæ (1827).
4. Lonsdale in Buckland. Geol. and Min., 2e éd., vol. 1, p. 448 (1837).

. dépôt de mer profonde. Je ne m'astreindrai pas à nommer les géologues qui se sont faits les champions de cette idée; elle est partout et n'appartient en propre à aucun naturaliste.

Deuxième phase. L'opinion que la craie est un sédiment de mer profonde cesse d'être intuitive; elle prend désormais son point d'appui sur l'étude des dépôts océaniques.

L'analogie de la craie et des dépôts qui s'effectuent de nos jours est déjà proclamée en 1839 par Ehrenberg [1].

Ed. Forbes [2] déclare en 1844, dans son rapport sur les Invertébrés de la mer Egée, que les strates formées par le remplissage des plus grands fonds qu'il a explorés (230 brasses au maximum) auront un caractère minéralogique uniforme, ressemblant complètement à celui de la craie; elles seront chargées de restes organiques caractéristiques et riches en Foraminifères [3].

Mantell [4] écrivait en 1845 : Il est manifeste que la craie, quand elle fut déposée au fond de l'Océan, se trouvait à l'état d'une fine boue ressemblant en apparence, et dans sa composition chimique et organique, à la craie qui est maintenant en formation le long des îles Bermudes.

La même année W. C. Williamson [5] signale des Foraminifères, Diatomées, spicules d'Eponges dans des boues de la Méditerranée.

Les études de Bailey [6] publiées en 1851, 1855 et 1856 doivent être considérées comme une contribution très importante à la connaissance des dépôts de mer profonde. Bailey établit en 1855 qu'aux profondeurs comprises entre 1080 et 2000 brasses, entre 42°4' et 54°17' lat. N. et 9°8' et 29° long. O, le fond est occupé par un sédiment presque entièrement formé de coquilles de Foraminifères (Globigérines et Orbulines) avec prédominance de *Globigerina*. On y rencontre également des Diatomées, des Radiolaires et des spicules d'Eponges, ainsi qu'une fine boue calcaire dérivant de la désagrégation des coquilles. Bailey fait remarquer que par la grande quantité de Foraminifères pélagiques et l'absence complète de particules minérales, ces sédiments ressemblent d'une manière frappante à la craie d'Angleterre; cela semble indiquer pour lui que *cette craie est un dépôt de mer profonde*.

Pourtalès [7] annonça en 1853 qu'il avait recueilli à 150 brasses (31° lat. N. et 79° long. O.) un dépôt formé de parties égales de Globigérines et de glauconie,

---

1. EHRENBERG. Ueber noch jetz zahlreiche, etc. *Abh. d. k. Ak. d. Wiss. zu Berlin*, pp. 81-164 (1839, publié en 1841).

2. ED. FORBES. Report on the Mollusca, etc. *Brit. Ass. for the adv. of Science*, p. 178 (1843).

3. Les premières données sur les organismes des grandes profondeurs remontent à une époque plus reculée. Dès 1818, l'expédition arctique du capitaine John Ross signala l'*Asterias caput-medusæ* à 800 brasses de profondeur; un sondage effectué à 1000 brasses ramena une boue verdâtre contenant des vers [(voir JOHN ROSS : A voyage of Discovery, etc., p. 178 (1819)]. De 1839 à 1843, l'expédition antarctique de J. Clarke Ross signala une grande abondance et une grande variété de vie animale à 270 brasses (voir J. C. Ross. A voyage of Discovery, etc., during the years 1839-1843, publié en 1847). Hooker qui faisait partie de l'expédition, découvrit les *Diatomées* entre 50 et 70° de latitude S.

4. MANTELL. Notes of a micr. Exam., etc., *Ann. and Mag. of Nat. Hist.*, vol. 16, p. 77 (1845).

5. W. C. WILLIAMSON. On some of the micr. Objects, etc. *Mem. Lit. and Phil. Soc. Manchester*, vol. 8, pp. 1-128 (1847).

6. J. W. BAILEY. Micr. Exam. of Soundings, etc., *Smithsonian Contributions to Knowledge*, vol. 2, art. III, pp. 1-15 (1851).

J. W. BAILEY. Micr. Exam. of deep Sound., *Quart. Journ. of mic. Sc.*, vol. 3, pp. 89-92 (1855).

J. W. BAILEY. On some Specimens of deep Sea of Kamtschatka collected by Lieut. Brooke, *Am. Journ. of Sc.*, 2e Sér., vol. 21, pp. 284-5 (1856). Les échantillons recueillis de 900 à 2700 brasses étaient très riches en Diatomées, Radiolaires, spicules de Spongiaires et ne renfermaient pas un seul fragment de « Polythalame ». Bailey oppose cette composition organique à celle des boues de l'Atlantique dans lesquelles les Foraminifères prédominent.

J. W. BAILEY. On the orig. of Greensand, etc., *Proc. of the Boston Soc. of Nat. Hist.*, vol. 5, pp. 364-368 (1854-56) et *The Am. Journ. of Sc.* 2e S., vol. 22, pp. 280-284 (1856).

7. POURTALÈS. *Rep. Un. St. Coast Surv.* for 1853, Append., p. 83.

La campagne du *Cyclops* en 1857, dirigée par le capitaine Dayman dans l'Atlantique nord, confirma les premières données précises données par Bailey. Le professeur Huxley [1], qui en a étudié les matériaux rapportés par les sondages effectués entre 1700 et 2400 brasses, a reconnu que les sédiments sont d'une remarquable uniformité et qu'ils renferment 85 % de Globigérines, 5 % d'autres Foraminifères et le reste 10 % de *Diatomées*, de *Radiolaires*, de fragments de *minéraux* et de *Coccolithes*. La découverte des *Coccolithes* constituait un précieux argument pour rapprocher la craie de la boue à Globigérines, puisque, dès 1836, Ehrenberg [2] en avait signalé l'existence dans la craie. Aussi, en 1858, Huxley appelle-t-il le « *limon de l'Atlantique* » la « *craie moderne* [3] ».

L'exploration méthodique de l'Atlantique nord, faite en 1860 par le *Bull-dog*, amena également Wallich [4] à rapprocher la craie des dépôts à Foraminifères de l'Océan.

En 1861, M. Sorby [5] étudiant de la boue de l'Atlantique recueillie à 2230 brasses, déclare que cette boue expliquerait complètement les caractères particuliers de nos formations de craie. Il considère les *Coccolithes* comme *caractéristiques des dépôts océaniques profonds*. D'où cette conséquence que la craie dans laquelle ils ont été reconnus, en très grande abondance, doit être rangée parmi ces dépôts.

Troisième phase. On peut admettre que c'est vers 1863 que la croyance à l'identité de la craie et de la boue à Globigérines cesse d'être absolument unanime.

En cette année, Ed. Hébert considéra le durcissement et les tubulures de la craie du Bassin de Paris comme déterminés par « une émersion de la craie, une exposition à l'air et un remaniement par des eaux basses [6] ». L'opinion de ce savant n'empêche pas l'hypothèse de l'identité de la craie et de la vase à Globigérines de rallier presque tous les suffrages pendant plusieurs années encore.

Dans ses Eléments de géologie de 1865, Ch. Lyell [7] dit qu'on peut considérer comme un fait certain que la craie blanche se forme maintenant dans les profondeurs des Océans, parce que *Globigerina bulloides* découvert sur le fond de l'Atlantique, dans la croisière du *Bull-dog* (1860), ne peut être distinguée spécifiquement d'un fossile qui constitue une grande partie de la craie d'Europe (Ehrenberg avait reconnu cette forme dans la craie dès 1838).

De 1868 à 1870 le gouvernement anglais organisa plusieurs expéditions de dragage (*Lightning* et *Porcupine*) sous la direction scientifique du Dr Carpenter, de Gwyn-Jeffreys et de W. Thomson. C'est dans le rapport préliminaire publié par Carpenter [8] en 1868 sur la première croisière, celle du *Lightning*, qu'on peut lire cette déclaration mémorable au sujet de la boue à Globigérines : « *This mud being not merely a Chalk-formation but a continuation of the Chalk-formation; so that we may be said to be still living in the cretaceous Epoch* ».

Les années suivantes (1869 et 1870), W. Thomson [9] reproduit la même affirmation à la Société royale de Dublin et déclare que les sondages de l'Atlantique ont démontré l'apparente identité de la matière de la craie et de la boue crayeuse de l'Atlantique.

En 1869, W. Carpenter [10] déclare que la continuité de la formation crayeuse est due à W. Thomson.

Les recherches de Gümbel[11] publiées, en 1870, sur la composition des boues de mer profonde ont montré des analogies de composition organique entre la craie et ces boues.

---

1. HUXLEY. Deep-Sea Soundings... in H. M. S. *Cyclops*, Appendix (1857).
2. EHRENBERG. Ueber mikrok. neue Charak. etc. *Ann. Pogg.*, vol. 39, pp. 101-106 (1836).
3. HUXLEY. Chalk ancient and modern. *Saturday Review* (1858).
4. WALLICH. The North-Atlantic Sea-Bed, etc., London (1862).
5. H. C. SORBY. On the organic Origin, etc. *Ann. and Mag. of Nat. Hist.*, 3e S., vol. 8, pp. 192-200 (1861).
6. ED. HÉBERT. Note sur la craie blanche, etc. *B. S. G. F.*, 2e S., vol. 20, p. 631 (1863).
7. CH. LYELL. Elements of Geology, p. 318 (1865).
8. W. B. CARPENTER. Prelim. Rep., etc. *Proc. Roy. Soc.*, vol. 17, pp. 168-201 (1868).
9. W. THOMSON. On the Depths of the Sea. *Ann. and Mag. of Nat. Hist.*, vol. 4, 4e S., pp. 112-124 (1869).
   W. THOMSON. On deep-sea Climates. *Nature*, vol. 2, pp. 257-261 (1870).
10. W. CARPENTER. *Nature*, vol. 2, p. 100 (1870).
11. C. W. GÜMBEL. Vorläufige Mitth. etc. *Neues Jahrb. für Min.*, etc., pp. 753-767 (1870).
    C. W. GÜMBEL. On deep-sea Mud. *Nature*, vol. 3, pp. 16 et 17 (1870).

La formule « *nous vivons encore à l'époque crétacée* » eut un grand retentissement. Des géologues illustres, comme Murchison et Ch. Lyell, lui refusèrent leur approbation. Ch. Lyell [1] (1870) la qualifia *d'erreur populaire*. Murchison [2] fit remarquer qu'en tenant le raisonnement de W. Carpenter et de Thomson, on pourrait affirmer que nous vivons encore à l'époque silurienne et que l'on trouve dans les dépôts siluriens beaucoup de Globigerina, des Terebratulidæ et des Lingula qui sont des formes génériques encore vivantes.

M. Thomson [3] expliqua alors comment cette opinion devait être interprétée. Pour Carpenter comme pour lui, elle signifie que la craie a continué à se former dans les profondeurs des océans depuis l'époque crétacée jusqu'à nos jours. « *Ce n'est pas seulement de la craie qui se trouve en voie de formation dans l'océan, mais bien la craie par excellence, la craie de la période crétacée.* » C'est en somme la théorie de la continuité de la formation de la craie que Carpenter et W. Thomson avaient voulu formuler. La comparaison des Mollusques, des Echinodermes et des Zoophytes de la craie avec ceux de la boue à Globigérines leur fournit un argument invoqué pour la première fois pour identifier les deux dépôts. W. Thomson a consacré à cette étude de longs développements dans « The Depths of the Sea [4] » (1872) où furent consignés les principaux résultats des campagnes du *Lightning* et du *Porcupine*.

En 1871. Prestwich [5] fit de la comparaison de la craie et de la boue à Globigérines le sujet d'un discours présidentiel à la Société géologique de Londres. Les traits communs aux deux dépôts y sont soigneusement notés. La plupart des éléments paléontologiques et zoologiques de ce travail sont tirés des rapports préliminaires de Carpenter, Gwyn-Jeffreys et W. Thomson. La craie est pour lui une ancienne boue de mer profonde (p. LXIII). La différence fondamentale entre la composition chimique de la craie et de la boue à Globigérines est indiquée pour la première fois. Prestwich invoque le témoignage de David Forbes qui a fait l'analyse de la craie blanche de Sussex dans laquelle il a trouvé 98,4 % de carbonate de chaux, alors que d'après le même auteur, le limon crayeux de l'Atlantique n'en contient pas plus de 60 %. Les échantillons de boues crayeuses que j'ai examinés, dit David Forbes, diffèrent essentiellement de composition de la craie, et aucun d'entre eux, s'il était consolidé, ne pourrait recevoir l'épithète de craie.

La même année, A. H. Green [6] fit remarquer qu'entre la craie d'aujourd'hui et celle du terrain crétacé, il y a de grandes différences de faune.

L'année suivante, en étudiant les Globigérines et les Rotalines crétacées, et en les comparant avec leurs représentants tertiaires et actuels, MM. Rupert-Jones et Parker [7] ont conclu que c'est improprement que la vase à Foraminifères de l'Atlantique est appelée craie.

M. Zittel [8], en 1877, écrit dans son Handbuch der Palæontologie : « On peut donc dire avec raison qu'il se forme encore de la craie blanche en certains points de l'Océan, et il est possible que la masse épaisse de la craie d'Angleterre, de la France et du Nord de l'Allemagne, se soit formée dans les mêmes conditions que la boue à Globigérines actuelle. »

Whitaker [9] dit, en 1875, que la craie prouve par ses fossiles qu'elle est un dépôt de mer profonde, présentant le même caractère que celui qui se forme maintenant dans le milieu de l'Atlantique.

M. Ch. Barrois [10] écrit la même année : « On doit admettre qu'au moins pendant le Cénomanien et le Turonien, la craie qui se formait dans le bassin de Paris n'était pas « l'abysmal chalk » des géologues anglais. »

Le rapport préliminaire [11] sur la campagne du Challenger dans l'Atlantique parut en 1877; la comparaison

---

1. CH. LYELL. Students'Elements of Geology (1870).
2. MURCHISON. Address to the *British Association*, Liverpool, pp. 161 et suiv. (1870).
3. W. THOMSON. The Continuity of the Chalk, *Nature*, vol. 3 (1871).
4. Voir « Les Abîmes de la mer », traduction de M. Lortet (1875).
5. J. PRESTWICH. Ann. Address, etc., Chapitre : Deep-sea Life and its Relation to Geology. *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol. 27, pp. XXX-LXXV (1871).
6. A. H. GREEN. The geological Bearings, etc. *Geol Mag.*, vol. 8, pp. 1-5 (1871).
7. RUPERT-JONES and W. K. PARKER. On the Foraminifera, etc. *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol. 28, p. 122 (1872).
8. K. A. ZITTEL. Traité de Paléontologie, trad. CH. BARROIS, vol. 1, p. 64 (1883)
9. W. WHITAKER. Guide to the Geol. of London. *Geol. Surv. of England and Wales* (1875).
10. CH. BARROIS. La zone à *B. plenus*, etc. *Ann. Soc. G. N.*, vol. 2, p. 147 (1875).
11. W. THOMSON. The Voyage of Challenger. The Atlantic., 2 vol. London (1877).

de la craie et de la boue à Globigérines que l'auteur, W. Thomson, avait si largement traitée, en 1872, dans « Les Abîmes de la mer » est passée sous silence.

La même année, Gwyn-Jeffreys [1] porta un coup vigoureux aux partisans de la continuité de la formation de la craie. L'étude attentive des Mollusques du Crétacé supérieur d'Angleterre l'amena à conclure que tous leurs genres étaient des formes d'eau peu profonde. L'aire de développement de ces organismes s'étendait, selon lui, de la ligne des basses eaux à 40-50 brasses. Il y avait loin de ces chiffres à ceux qui étaient connus pour les profondeurs où se dépose la boue à Globigérines.

Malgré la grande autorité de Gwyn-Jeffreys sur les questions de Conchyliologie, ses conclusions furent accueillies avec beaucoup de réserve, et la théorie de la continuité du dépôt de la craie continua à rallier presque tous les suffrages des géologues. L'idée de Gwyn-Jeffreys ne devait pourtant pas tarder à être brillamment défendue.

Les roches calcaires, et notamment la craie, fournirent à M. Sorby le sujet d'un très remarquable discours à la Société géologique de Londres, en 1879. M. Sorby [2] déclara que « la craie est très loin d'être identique à la boue à Globigérines de nos océans modernes profonds quoiqu'il y ait entre elles une connexion très intéressante ».

En 1880, Moseley traitant la question des rapports des faunes anciennes avec les faunes marines actuelles dit que « toutes les plus anciennes formes qui survivent maintenant se trouvent dans l'eau peu profonde [3] ».

En 1880, M. A. R. Wallace [4] se prononça très catégoriquement contre l'identité de la craie et de la boue à Globigérines. La profonde différence de la composition chimique des deux sédiments et les déductions tirées par Gwyn-Jeffreys de l'étude des Mollusques crétacés sont les deux points importants de l'argumentation de M. Wallace.

En cette même année, Wallich [5] se fit le champion des idées de W. Thomson et de Carpenter et il écrivit qu'il n'existe aucune distinction lithologique entre la craie et la boue moderne de l'Atlantique, que cette boue est selon toutes probabilités la continuation de la formation crétacée. Pour faire une comparaison rationnelle de la composition chimique de ces deux éléments, Wallich suggère qu'il faudrait restituer à la craie toute la silice qu'elle a perdue et comparer avec une quantité donnée de boue calcaire la même quantité de craie choisie dans les conditions où elle s'est déposée au fond de l'Océan crétacé. Wallich pensait qu'une telle comparaison supprimerait les différences de composition invoquées pour séparer les craies anciennes et modernes. Il fit ressortir l'intérêt de la découverte de *Coccosphères* [6] faite dans la craie d'Angleterre qui est à ses yeux une preuve de plus de l'identité de la craie et des dépôts crayeux modernes.

M. A. Geikie [7], en 1882, dans la première édition de son « Text-Book of Geology », dit qu'il n'est pas évident que la profondeur de la mer crétacée approche de celle des abysses où se dépose la boue à Globigérines.

La même année, Gardner [8] considérait la craie comme un dépôt océanique sans mélange de sédiments originaires de la terre ferme.

L'identité de la craie et de la boue à Globigérines trouva encore un défenseur en Crosby [9] en 1883. Répondant aux arguments de Wallace contre cette identité, Crosby explique la différence de composition chimique des deux sédiments en faisant remarquer que l'équivalent de la silice de la boue à Globigérines se trouve aujourd'hui dans les silex de la craie. C'est l'explication précédemment donnée par Wallich.

---

1. GWYN-JEFFREYS. *British Assoc.*, Plymouth, Notices and Abstracts, pp. 79-88 (1877).
2. H. C. SORBY. Anniv. Address. *Quart. Journ. Geol. Soc.* vol. 39, p 78 (1879).
3. H. N. MOSELEY. Deep-Sea dredging and Life in the Deep-Sea. *Nature*, vol. 21, p. 571 (1880).
4. A. R. WALLACE. Island Life, 1re Ed. (1880).
5. WALLICH. A Contribution to the Phys. Hist., etc. *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol. 36, pp. 68-93 (1880). WALLICH. On the Origin and Formation of the Flints, etc. *Ann. and Mag. of Nat. Hist.*, 5e S., vol. 7, pp. 162-204 (1880).
6. WALLICH. Supplementary Notes on the Flints, etc., id., vol. 8, pp. 46-59 (1881).
7. A. GEIKIE. Text-Book of Geology, 1re Ed., p. 821 (1882).
8. GARDNER. The Fallacy of the Theory, etc. *Geol. Mag.*, New Ser., vol. 9, pp. 546-8 (1882).
9. W. O. CROSBY. Origin of Continents. *Geol. Mag.*, N. S., vol. 10, p. 241-253 (1883).

La même année, Th. Fuchs [1] déclare qu'il lui paraît impossible qu'un dépôt de Foraminifères pélagiques d'une puissance, d'une extension et d'une régularité comme celles de la craie blanche ait pu s'édifier en eau peu profonde.

En 1884, MM. Munier-Chalmas et Schlumberger [2] critiquent l'opinion d'après laquelle « les Foraminifères actuels qui occupent les grands fonds de l'océan représentent la continuité de l'époque crétacée jusqu'à nos jours » parce que les Foraminifères « sont très disséminés et rares » dans la craie.

Prestwich [3] a consacré dans son traité de géologie (1886) de longs développements à la question de l'analogie de la craie et de la boue à Globigérines Sa conclusion est que la profondeur de la mer crétacée ne dépassait pas 2000 à 3000 pieds. Il admet même la possibilité d'une profondeur de 1000 à 2000 pieds.

En 1887, le regretté P. Fischer [4] faisait remarquer au sujet de la parenté des organismes de la craie et ceux de la mer profonde, défendue par W. Thomson, que « les Mollusques des abysses n'ont de rapports qu'avec ceux des couches pliocènes et post-pliocènes ».

La même année, M. Peron [5] appelle la faune de la craie supérieure du S.-E. du bassin parisien, une faune très caractéristique des « grands fonds océaniens » et il la qualifie d'abyssale.

Neumayr [6], en 1887, considérait encore la craie comme une formation de mer profonde tout en reconnaissant qu'on avait exagéré l'importance de l'analogie de la craie avec la boue à Globigérines. Il cite notamment l'absence de silex dans les dépôts de mer profonde.

La même année, MM. Renard et Klément [7], en étudiant le mode de formation des silex de la craie, furent conduits à établir que la sédimentation des masses de la craie et celle des vases calcareuses modernes présentent des différences, et que les caractères de dépôt pélagique proprement dit, manquent à la craie. MM. Renard et Klément admettent que la formation crétacée n'est pas un dépôt de mer profonde, mais ils n'apportent aucun fait nouveau à l'appui de cette manière de voir.

En 1888, M. Al. Agassiz [8], dans son rapport sur les campagnes du « Blake », écrit qu'aucune distinction lithologique de quelque valeur n'a été établie entre la craie et la boue calcaire de l'Atlantique et que « le dépôt de la craie s'est continué sans interruption depuis l'époque crétacée ». Il considère la craie marneuse comme étant apparemment une sorte de boue à Globigérines et la craie blanche comme un « dépôt océanique » ou « d'eau profonde ».

M. Gümbel [9] dit, la même année, que la boue à Globigérines est analogue à la craie, mais que l'analogie n'est pas complète.

Dans la 3e édition de leur Manuel de Paléontologie, publié en 1889, MM. Nicholson et Lydekker [10] ont également recours à une eau de profondeur considérable pour expliquer les caractères de la craie.

C'est en 1890 que j'ai fait connaître les premiers résultats de mes études micrographiques de la craie. Il n'est pas exagéré de dire que jusqu'à cette date les opinions les plus contradictoires ont été émises sur les conditions de genèse de la craie. On a vu le début de ce que j'ai appelé la troisième phase marqué par une réaction très vive contre le principe de la continuité de la craie. Puis de 40 à 50 brasses d'eau considérées par Gwyn-Jeffreys comme nécessaires et suffisantes pour assurer le développement des Mollus-

1. TH. FUCHS. Welche ablagerungen, etc., *Neues Jahrb. für Min.*, Beil.-Band II, pp. 487-584 (1883).
2. MUNIER-CHALMAS et SCHLUMBERGER. Note sur les Miliolidées, etc. *B. S. G. F.* 3e S., vol. 12, p. 629 (1884).
3. J. PRESTWICH. Geology chemical, physical and stratigraphical, Oxford, vol. 2, p. 326 (1886).
4. P. FISCHER. Manuel de Conchyliologie, p. 303 (1887).
5. A. PERON. Notes pour servir à l'hist. etc., *Bull. Soc. Sc. hist. et nat. de l'Yonne*, p. 163 (1887).
6. M. NEUMAYR. Erdgeschichte, vol. 2, p. 342 (1887).
7. RENARD et KLÉMENT. Sur la nature min. des silex, etc. *Bull. Ac. roy. des Sc. de Belgique*, 57e année, 3e S., vol. 14, pp. 775-809 (1887).
8. AL. AGASSIZ. Three Cruises, etc., vol. I, p. 148 (1888).
9. v. GÜMBEL. Grundzüge der Geologie, vol. I, p. 93 (1888).
10. H. A. NICHOLSON and LYDEKKER. Manuel of Palæontology, vol. I, pp. 18 et 19 (1889).

ques de la craie, on est revenu à l'ancienne notion de mer très profonde, de faune abyssale, etc.

J'ai essayé, en 1891 [1], de montrer, en m'appuyant sur les résultats de mes recherches, que les caractères micrographiques de la craie éloignent ce sédiment de la boue à Globigérines. J'ai eu la vive satisfaction de voir mes conclusions recevoir l'approbation de MM. Murray et Renard [2] dans leur rapport général sur le voyage du Challenger, mais d'autre part elles ont provoqué des observations de la part de M. Ch. Janet [3] et de M. de Grossouvre [4].

Depuis cette époque plusieurs travaux très remarquables, publiés en Angleterre par MM. Jukes-Browne [5] et F. Hume [6], ont donné une nouvelle force aux partisans des analogies de ces deux dépôts.

En France, ces idées ont été acceptées par M. Thoulet [7], qui écrivait en 1893: « La craie se formait à l'époque crétacée comme elle se forme encore aujourd'hui dans l'Atlantique... Les échantillons modernes et anciens, quelle que soit leur origine, ne diffèrent pas sensiblement les uns des autres. »

Je me propose de reprendre ici, de développer et de compléter les arguments que j'ai donnés en 1891 en faveur de la séparation de la craie du Nord et de la boue à Globigérines. Afin d'élargir le débat et de mettre le lecteur en possession de tous les éléments de la cause, je passerai en revue et je discuterai tous les faits qui ont été invoqués pour établir tantôt l'analogie, tantôt la distinction de la craie et de la boue à Globigérines.

II. ÉTUDE COMPARÉE DE LA CRAIE ET DE LA BOUE A GLOBIGÉRINES

L'étude comparée de la craie et de la boue à Globigérines sera faite au triple point de vue minéral, organique et chimique.

---

1. L. CAYEUX. La craie du Nord de la France et la boue à Globigérines. *Ann. Soc. G. N.*, vol. 19, pp. 95-102 (1891).

L. CAYEUX. La craie du Nord est bien un dépôt terrigène, etc. Id., pp. 252-260 (1891).

2. J. MURRAY et A. F. RENARD. Rep. Challenger. Deep-Sea Deposits, p. XXVIII (1891).

3. DE GROSSOUVRE. Sur les cond. de dépôt, etc. *Ann. Soc. G. N.*, vol. 20, pp. 1-9 (1892).

4. CH. JANET. Note sur les conditions, etc. *B. S. G. F.*, 3e S., vol. 19, pp. 903-914 (1891).

5. A. J. JUKES-BROWNE. The Building of the Brit. Isles, 2e éd., pp. 855-864. London (1892).

A. J. JUKES-BROWNE. The microsc. Struct., etc. *Proc. Yorksh geol. and polyt. Soc.*, vol. 12, pp. 385-395 (1894).

6. F. HUME. Chemical and microm. Res., etc. London (1893).

F. HUME. The Genesis of the Chalk. *Proc. of the Geologist's Ass.*, vol. 13, pp. 211-246 (1894).

F. HUME. Oceanic Deposits, etc. *Nat. Science*, vol. 7, pp. 270-276 et 385-394 (1895).

7. J. THOULET. Les courants de la mer. *Rev. scient.*, vol. 51, n° 9, p. 262 (1893).

1° MINÉRAUX DE LA CRAIE ET DE LA BOUE A GLOBIGÉRINES

C'est pour la première fois en 1891, qu'on a fait intervenir les minéraux dans la comparaison de la craie et de la boue à Globigérines. Dans deux notes publiées dans les Annales de la Société géologique du Nord [1], j'ai fait ressortir la profonde différence que présentent ces deux dépôts en ce qui touche leurs minéraux. MM. Murray et Renard ont bien voulu donner à mes conclusions l'appui de leur autorité.

Les minéraux de la boue à Globigérines représentent de 1 à 50 °/₀ du dépôt et en moyenne 3,33 °/₀. Leurs dimensions variant de $0^{mm}06$ à $0^{mm}08$; elles sont en moyenne de $0^{mm}089$. Ceux de la craie débarrassés de l'argile, — considérés à l'intérieur du Bassin parisien — représentent toujours moins de 1 °/₀, et très souvent même la proportion en est négligeable. Le résidu insoluble comprenant les minéraux et l'argile est toujours très faible dans la craie blanche. Les dimensions moyennes des minéraux varient entre $0^{mm}04$ et $0^{mm}08$, mais à tous les niveaux, il existe des grains dont le diamètre est de plusieurs dixièmes de millimètre.

Comparée à la vase à Globigérines, la craie blanche typique s'en distingue par : 1. l'invariabilité très grande de son résidu minéral ; 2. son extrême pauvreté en minéraux ; 3. la coexistence de particules minérales de dimensions très différentes.

La boue à Globigérines ne reçoit d'éléments terrigènes qu'exceptionnellement. La nature des minéraux qui y sont inclus est très spéciale ; ils n'ont presque rien de commun avec ceux qui font partie intégrante de la craie. Ce sont surtout des produits de l'activité volcanique sous-marine. Ils consistent en :

Feldspath, augite, particules volcaniques vitreuses, hornblende, quartz, ponce, manganèse, mica, plagioclase, sanidine, olivine, lapilli, glauconie, palagonite, enstatite, bronzite, pyroxène, grenat, actinolite, tourmaline, zircon, microline, serpentine, phillipsite et sphérules magnétiques [2].

Je conclus en 1891, en opposant la craie qui reçoit de la côte ses minéraux non secondaires, à la boue à Globigérines qui les emprunte à l'océan même [3].

---

1. L. CAYEUX. La craie du Nord de la France et la boue à Globigérines. *Ann. Soc. G. N.*, vol. 19, pp. 95-102 (1891).

L. CAYEUX. La craie du Nord est bien un dépôt terrigène, etc. id., pp. 252-260 (1891).

2. J. MURRAY et A. F. RENARD. Notice sur la classif., etc. *Bull. Mus. Roy. Hist. nat. de Belgique*, vol. 3, p. 42 (1884).

J. MURRAY et A. F. RENARD. Rep. Challenger. Deep-Sea Deposits, p. 217 (1891).

3. On peut toutefois se demander, et je m'étonne qu'on n'ait pas encore songé à poser la question, que serait la boue à Globigérines si l'activité volcanique sous-marine qui lui imprime un cachet si particulier venait à s'éteindre? Il faut bien reconnaître qu'un grand pas serait fait vers le rapprochement des deux sédiments. Au seul point de vue inorganique, auquel je me place ici, on peut remarquer que le résidu de la vase à Globigérines ne comporterait aucune particule minérale détritique dans la majorité des cas. Or, la craie en renferme toujours si peu que ce soit. Ce serait la principale différence — bien faible — relevant du domaine minéral.

Il existe encore une autre différence que je n'ai pas encore fait ressortir : Je veux parler des minéraux formés *in situ* dans la craie et la boue à Globigérines. Cette dernière renferme plusieurs minéraux engendrés sur le fond de la mer. Tels sont la *phillipsite*, la *glauconie*, le *phosphate de chaux* et le *manganèse* en nodules. Seule la première substance est spéciale aux vases pélagiques actuelles. C'est d'ailleurs à l'activité volcanique qu'elles en sont redevables.

Sur 118 échantillons de vases à Globigérines recueillies par le Challenger, 13 seulement renferment de la glauconie. Par contre aucune craie n'en est dépourvue.

Quant au phosphate de chaux, ses éléments sont disséminés dans toutes les craies ; on ne connaît pas dans les mers actuelles de gisements en cours de formation rappelant ceux du Sénonien de France, de Belgique et d'Angleterre.

Prestwich a noté en 1886, comme différence des deux dépôts, l'absence de concrétions de manganèse dans la craie. J'ai montré que cet élément est représenté dans tous les échantillons, sans exception, mais le plus souvent à l'état de traces. Quand par suite de dissolution de ce terrain sur une grande épaisseur, le bioxyde de manganèse est concentré comme dans l'argile à silex, on peut se rendre compte qu'il est susceptible d'exister en notable proportion [1] dans la masse de la craie.

Comme minéraux néogènes particuliers à la craie, on peut citer l'*orthose* et la *leverrierite*.

Les silex de la craie ont également servi à différencier les deux dépôts. Neumayr [2] insistait en 1887 sur l'absence de silex dans la boue à Globigérines. La même année, MM. Renard et Klément notèrent que « la formation du silex aligné suivant les couches de stratification ne peut s'interpréter en admettant le mode de sédimentation qu'on observe dans les Océans modernes aux grandes profondeurs loin des côtes » (p. 807). « Nous sommes donc amenés, disaient-ils, à admettre, pour expliquer d'une manière adéquate la formation des nodules siliceux de la craie, que les sédiments de cette formation ont été accumulés d'une manière bien différente de celle des dépôts pélagiques proprement dits », p. 809 [3].

2° COMPARAISON DES FAUNES DE LA CRAIE ET DE LA BOUE A GLOBIGÉRINES.

Cette question, déjà tant étudiée, est loin d'être épuisée. Je reproduirai ici et discuterai tous les arguments qui ont été donnés pour ou contre l'analogie des deux dépôts. Je ferai entrer en ligne de compte diverses observations personnelles. Je m'attacherai tout particulièrement à rechercher les formes spécifiques et surtout génériques qui ont

1. H. LASNE. Sur les terr. phosph., etc. *B. S. G. F.*, 3e S., vol. 18, p. 458 (1890).
2. M. NEUMAYR. Erdgeschichte, vol. 2, p. 342 (1887).
3. RENARD et KLÉMENT. Sur la nat. min. du silex, etc., *Bull. Ac. Roy. de Belgique*, 57e an., vol. 14 (1887).

continué à vivre depuis l'époque crétacée, et à l'aide de leur *distribution bathymétrique actuelle*, j'essayerai de déterminer dans quelle mesure les conditions qui président au dépôt de la boue à Globigérines ont été celles de la craie.

Je tiens à bien préciser à quel point de vue je me place pour traiter la question des analogies et différences organiques de la craie et de la boue à Globigérines. Tous les naturalistes qui ont proclamé l'analogie de ces dépôts, en raisonnant sur les organismes qui leur sont communs, ne se sont nullement préoccupés des différences que les mêmes genres d'animaux peuvent présenter dans leur distribution bathymétrique en passant d'une époque à une autre qui en est très éloignée. C'est là une question préjudicielle qui est pourtant capitale et qu'on ne peut ainsi laisser de côté. Ceux qui admettent à la suite de Moseley — et ils sont, je crois, nombreux aujourd'hui — que les organismes pélagiques et abyssaux sont partis autrefois des eaux littorales pour peupler la surface des océans, et conquérir les abysses, pourraient reprocher à ce système de comparaison d'avoir un point de départ inexact. Si les idées de Moseley et de ses disciples sont justes, *les genres d'Invertébrés de la craie auraient vécu à une profondeur moindre que dans les mers actuelles.*

Tout récemment, M. W. F. Hume [1] a essayé de trancher cette délicate question par la considération des Foraminifères de la craie d'Angleterre et celle des Mollusques crétacés du Nord de l'Europe. On peut condenser les conclusions du travail très original de M. Hume en disant que les Foraminifères arénacés de la craie et la faune de Mollusques du Crétacé supérieur du Nord de l'Europe, la France non comprise, ont une distribution remarquablement similaire à celle qu'ils présentent dans les Océans actuels. L'examen détaillé et critique du mémoire de M. Hume comporte de trop longs développements, et se rapporte à une question qui ressort trop de l'histoire naturelle générale pour que je l'aborde à cette place. Je le réserve pour un travail que je compte publier à bref délai.

Dans l'étude qui va suivre, j'adopterai le principe d'identité de distribution bathymétrique aux époques crétacée et actuelle, sans que je veuille ainsi montrer que je le trouve exact, mais pour me placer dans les conditions les plus défavorables à ma démonstration, et partant donner plus de force aux conclusions qui en découlent.

Poissons

En 1871, Prestwich [2] mettait au nombre des analogies des deux dépôts, l'existence du genre crétacé *Beryx*, vivant encore actuellement. En 1886, dans la seconde édition de sa Géologie [3], il faisait figurer le même groupe *Beryx* à la fois parmi les traits d'analogies

1. W. F. HUME. Oceanic Deposit, etc., *Nat. Sc.*, vol. 7, nos 44 et 46 (1895).
2. J. PRESTWICH, Ann. Address, etc., *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol. 27, p. LII. (1871).
3. J. PRESTWICH. Geology chemical, etc., vol. 2, pp. 324-329 (1886).

et de différences de la craie et de la vase à Globigérines. La différence est fondée sur ce fait que les familles et les genres de poissons qui sont communs à la craie et aux mers actuelles se trouvent à des profondeurs modérées. Il signalait également les *requins* de la craie comme un trait de séparation des deux sédiments parce que d'après Günther, ils ne descendent pas à une profondeur considérable.

Sur cette question, j'ai fait appel aux lumières d'un savant anglais, M. A. Smith Woodward, du British Museum. Il a bien voulu me répondre que « les Poissons téléostéens ne paraissent pas avoir vécu dans une eau très profonde ; le squelette est toujours plus robuste que celui des vrais poissons de mer profonde ».

Céphalopodes

L'absence, dans les mers actuelles, de Céphalopodes, comme les *Bélemnites* et les *Ammonites*, a été notée comme une différence entre les deux sédiments. Ce fait pourrait présenter quelque intérêt si je me proposais de rechercher si le dépôt du limon à Foraminifères continue celui de la craie. Il ne peut à aucun titre intervenir dans le débat qui doit éclairer la question de l'analogie des conditions de la mer crétacée et de l'océan où se dépose actuellement la vase crayeuse.

Brachiopodes

Dans son rapport préliminaire sur les opérations de dragage du *Lightning*, au nord des Iles Britanniques en 1868, W. B. Carpenter [3] signalait deux *Terebratulidæ* actuelles dont l'une, *T. caput serpentis* peut être identifiée à une espèce crétacée, et l'autre, *Waldhemia cranium*, peut être regardée comme représentant un type de cette famille si abondant dans la craie. L'existence de Brachiopodes dans la boue à Globigérines a été considérée depuis par Huxley, W. Thomson, Prestwich, etc., comme un caractère d'analogie entre ce sédiment et la craie. On va voir ce qu'il faut en penser.

Des nombreux Brachiopodes de la craie, il n'est resté que les genres *Terebratula*, *Terebratulina*, *Thecidea*, *Rhynchonella* et *Crania*.

Les Térébratules actuelles vivent de 5 à 2900 br. Aucune espèce mentionnée par M. Th. Davidson [4] n'est exclusivement cantonnée au-dessous de 150 brasses.

Les *Terebratulina* s'étendent de 0 à 1180 br. D'après M. Th. Davidson, sur 13 espèces, 7 ne dépassent pas 100 brasses, 2 existent au-dessous et au-dessus de cette limite, 4 vivent dans des eaux beaucoup plus profondes.

Thecidea a été recueilli de 30 à 300 br. Des deux espèces décrites par M. Th. Davidson, l'une vit à 60 br., l'autre de 30 à 300 br.

---

1. W. B. CARPENTER. Prelim. Report, etc., *Proc. Roy. Soc.*, vol. 17, p. 192 (1868).
2. TH. DAVIDSON. Rep. on the Brachiopoda, *Challenger*, vol. 1 (1880).

Trois espèces de *Rhynchonella* sur 5 ne dépassent pas 150 br. ; 1 se développe à des profondeurs à la fois inférieures et supérieures à 150 br. ; la dernière est exclusivement d'eau profonde. Ce genre a été dragué par le Challenger de 6 à 690 br.

Sur 3 espèces de *Crania*, 2 n'atteignent pas 100 br. ; la 3e est connue de 3 à 808 br.

L'analyse détaillée des profondeurs occupées par les genres de Brachiopodes crétacés est bien loin d'être favorable à l'idée d'une mer crétacée très profonde et aux partisans de l'analogie de la craie et de la Boue à Globigérines. Le nombre des espèces qui ont leur habitat dans la boue crayeuse océanique est d'ailleurs tout à fait insignifiant.

Les chiffres que j'ai mentionnés pour la distribution des genres et des espèces ne sont pas incompatibles avec les limites fixées par P. Fischer pour la zone des Brachiopodes, c'est-à-dire 72 à 184 mètres. Chaque genre descend à des profondeurs souvent très grandes, mais il vit en même temps dans des eaux très basses et ceux qui s'avancent le plus vers les abysses commencent à se développer à quelques brasses de profondeur.

Bryozoaires.

C'est un des groupes les plus intéressants à faire entrer en ligne de compte, en raison du rôle important qu'il a joué dans la craie ; on a négligé jusqu'ici de le faire intervenir dans la composition de la craie et de la Boue à Globigérines.

En utilisant les documents fournis par d'Orbigny [1] sur les Bryozoaires des craies de Fécamp et de Meudon, par M. Peron [2] sur la craie à Bélemnitelles de Reims et d'Epernay et par le Challenger [3] sur les formes vivantes, j'ai pu dresser le tableau de la page suivante. Il donne la distribution de chaque genre dans les trois craies considérées.

Les Bryozoaires ne représentent qu'une portion insignifiante du carbonate de chaux des dépôts pélagiques actuels. En quelques points, ils forment une grande partie des sédiments comme à Tristan da Cunha par exemple, où ils sont à des profondeurs comprises entre 110 et 150 brasses.

Le nombre des genres reconnus s'élève à 31 dont 14 pour les *Cheilostomata* et 17 pour les *Cyclostomata*. Comme les *Marginaria* sont rattachés aux *Membranipora* par G. Busk et les *Crisina* aux *Idmonea* et que les *Pyripora* et *Cricopora* n'ont pas été dragués par le Challenger, le nombre de genres vivants (indiqués en italique dans le tableau) dont la distribution bathymétrique m'est connue est de 16. Ils sont représentés par 117 espèces.

1. Parmi ces 16 genres, 9 vivent à des profondeurs inférieures à 150 br. ; les 7 autres existent à la fois à des profondeurs inférieures et supérieures à 150 br., mais le nombre

1. A. D'ORBIGNY. Prod. de Pal., vol. 2, pp. 261-268 (1850).
2. PERON. Notes pour servir, etc., *Bull. Soc. Sc. hist. de l'Yonne*, vol. 41, p. 225 (1887).
3. G. BUSK. Rep. on the Polyzoa (Cheilostomata), *Challenger*, vol. 10 (1884).
G. BUSK. id. (Cyclostomata, etc.), id. vol. 17 (1887).

des espèces appartenant à cette seconde catégorie est beaucoup plus considérable, au-dessous de 150 br. que celui des espèces, vivant exclusivement à de grandes profondeurs.

2. Des 117 espèces :

51 vivent exclusivement au-dessous de 50 brasses.
63 — — 100 brasses.
81 — — 150 brasses.

TABLEAU DES BRYOZOAIRES DE LA CRAIE SÉNONIENNE DU BASSIN DE PARIS

SOUS-ORDRE	GENRES	Craie de Fécamp	Craie de Meudon	Craie à Bélemnitelles de Reims et Épernay	SOUS-ORDRE	GENRES	FÉCAMP	MEUDON	REIMS et ÉPERNAY
Cheilostomata	*Membranipora*	+	+	+	Cyclostomata	*Idmonea*.....	+		
	Marginaria...		+			*Crisina*.....	+		
	Biflustra.....			+		*Cricopora*....	+		
	Vincularia ...	+	+	+		*Entalophora*.	+	+	
	Retepora			+		*Alecto*.....	+	+	
	Eschara.....			+		*Stomatopora*..			+
	Escharina ...	+	+			*Proboscina*...			+
	Berenicea.....			+		*Diastopora*...	+		+
	Cellepora.....			+		*Defrancia*....	+	+	
	Pyripora.....		+			*Fasciculipora*.	+		
	Reptescharella			+		Multelea.....			+
	Reptoflustrella			+		Pavotubigera.			+
	Semiflustrina .			+		Bidiastopora..		+	+
	Reptoflustrina.			+		Reticulipora..	+		
						Crisisina	+		
						Pyripora.....		+	
						Osculipora ...	+		

Un certain nombre existent à la fois à des profondeurs inférieures et supérieures à 150 br. Il n'y en a que 16 dont 1 douteuse qui vivent exclusivement à plus de 150 br.

3. Sur les 117 espèces, 1 seule a été trouvée dans la boue à Globigérines.

Il résulte de ces données que les Bryozoaires crétacés qui ne sont pas éteints vivent de préférence à de très faibles profondeurs et que la zone bathymétrique limitée à 150 brasses est celle qui favorise le plus leur développement spécifique.

Mollusques

Les Mollusques de la craie ont donné le jour à des propositions contradictoires. Parmi les raisons invoquées en 1871 en faveur de l'analogie de la craie et de la boue à Globigérines, Prestwich [1] faisait remarquer que sur 103 genres de Mollusques trouvés dans la craie 80 vivaient encore.

1. J. PRESTWICH. Op. cit. (1871).

Les études de l'éminent conchyliologiste Gwyn-Jeffreys [1] aboutirent en 1877 à une toute autre conclusion puisqu'il admit que la profondeur à laquelle les Mollusques de la craie avaient vécu pouvait s'étendre entre la ligne des basses-eaux et 40-50 br.

J. Prestwich [2], en 1886, nota comme différence entre les deux formations que la plupart des Mollusques des abysses actuelles sont de petites dimensions.

En utilisant les documents paléontologiques réunis par Hébert, MM. de Mercey, Ch. Barrois, Péron, Parent, J. Lambert et les miens sur la craie du Bassin de Paris et, d'autre part, les nombreuses données recueillies par le Challenger sur la distribution bathymétrique actuelle des Mollusques, j'ai pu dresser le tableau ci-contre. La première partie indique la répartition de chaque genre dans les différentes assises turoniennes et sénoniennes et même dans les différents facies d'une même assise. (Les noms de genres en italique se rapportent à ceux qui sont encore vivants). Dans la seconde, j'ai noté sur sept colonnes la distribution bathymétrique des genres qui ne sont pas éteints. Je ne présente pas ce tableau comme absolument complet, mais je ne crois pas qu'il y manque aucune forme importante.

45 genres de Mollusques sont représentés dans le Turonien et le Sénonien du Bassin de Paris. L'existence de 4 d'entre eux est douteuse. Je ne raisonnerai dans la suite que sur les 41 genres dont la présence est regardée comme certaine. *31 vivent encore de nos jours* (30 seulement ont été dragués par le Challenger).

En conséquence, *les trois quarts des genres de Mollusques de la craie proprement dite se sont perpétués jusqu'à nos jours.* La répartition de ces 30 genres dans les mers actuelles donne lieu aux remarques suivantes :

1. *Tous les genres de Mollusques encore vivants sont représentés dans la zone bathymétrique qui s'étend de 0 à 100 brasses et aucun d'eux n'est spécial aux zones plus profondes.*

2. 7 d'entre eux ne franchissent pas cette première zone et le nombre des genres représentés entre 100 et 500 brasses se réduit à 23.

3. La troisième division ne comprend que 10 genres. Ce nombre diminue encore avec les zones plus profondes. Il descend à *trois* au-dessus de 2500 br.

4. Considérons maintenant plus spécialement quelques-uns des genres qui vivent à la fois dans la zone inférieure à 100 brasses et dans celle qui s'étend jusque 500 br. L'unique espèce représentant le genre *Anomya* dans la 2e zone a été trouvée de 100 à 150 br. *Cardita*, *Astarte* et *Fasciolaria* ne dépassent pas 150 br.

En conséquence, *sur les 30 genres crétacés qui peuplent les mers actuelles, 11 vivent exclusivement au-dessous de 150 br.*

---

1. GWYN-JEFFREYS. Address to the sect. of Biol , *Brit. Ass.*, Plymouth, p. 85 (1877).
2. J. PRESTWICH. Geology chemical, etc., vol. 2, p. 325 (1886).

TABLEAU DES MOLLUSQUES DE LA CRAIE DU BASSIN DE PARIS ET DISTRIBUTION BATHYMÉTRIQUE DES GENRES QUI ONT PERSISTÉ JUSQU'A NOS JOURS

CLASSES	ORDRES	SOUS-ORDRES	GENRES	TURONIEN						SÉNONIEN			Distribution bathymétrique actuelle, en brasses, des genres de la craie. (Les chiffres indiquent le nombre d'espèces).						
				Act. plenus	*I. labiatus* Faciès marneux	*I. labiatus* Faciès calcaire	*T. gracilis* Faciès marneux	*T. gracilis* Faciès calcaire	*Micraster breviporus*	*M. c. testudinarium*	*M. c. anguinum*	*Belemnitelles*	Au-dessous de 100	100-500	500-1.000	1.000-1.500	1.500-2.000	2.000-2.500	Au-dessus de 2.500
Lamellibranches.	ASIPHONÉS .	Monomyaires. .	*Ostrea*	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1	»	»	»	»	»	»
			Anomia	....	+	+	....	+	....	....	....	+	1	1	»	»	»	»	»
			Plicatula	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1	»	»	»	»	»	»
			Spondylus	....	+	+	+	+	+	+	+	+	2	»	1	»	»	»	»
			Lima	+	....	+	+	+	+	+	+	+	10	9	2	4	2	»	1
			Pecten	+	....	+	....	+	+	+	+	+	14	14	2	2	»	»	»
			Vola (Janira)	+	+	+	....	+	+	+	+	+	»	»	»	»	»	»	»
		Heteromyaires .	*Avicula*	....	....	....	....	....	....	....	....	+	4	»	»	»	»	»	»
			Inoceramus	+	+	+	+	+	+	+	+	+	»	»	»	»	»	»	»
			Pinna	....	....	....	....	+	+	+	....	....	1	»	»	»	»	»	»
		Homomyaires. .	*Arca*	+	....	....	....	....	....	....	....	+	16	5	»	2	1	2	2
			Nucula	+	+	....	....	....	....	....	....	....	4	5	2	1	»	1	»
	SIPHONÉS . .	Integripalliata .	*Cardita*	+	....	....	....	....	....	....	....	+	10	1	»	»	»	»	»
			Astarte	....	+	....	....	....	+	+	....	....	1	1	»	»	»	»	»
			Crassatella	+	....	....	....	....	....	....	....	....	3	1	»	»	»	»	»
			Eriphyla ?	....	+	....	....	....	....	....	....	....	»	»	»	»	»	»	»
			Opis	+	....	....	....	....	....	....	....	....	»	»	»	»	»	»	»
			Caprotina	+	....	....	....	....	....	+	....	+	»	»	»	»	»	»	»
			Radiolites	+?	+	....	....	+?	+	+	+?	....	»	»	»	»	»	»	»
			Corbis ?	....	....	....	....	....	....	....	....	+	»	»	»	»	»	»	»
			Cyprina	+	....	....	....	....	....	....	....	....	»	»	»	»	»	»	»
			Cypricardia	....	....	....	....	....	+	+	....	....	»	»	»	»	»	»	»
		Sinupalliata . .	*Venus ?*	....	....	....	....	....	+	+	....	....	21	2	1	»	»	»	»
			Siliqua	....	....	....	....	....	+	....	....	+	»	»	»	»	»	»	»
Scaphopodes . .	. . . . .	. . . . .	*Dentalium*	+	+	....	....	....	+	....	....	+	6	9	3	4	3	2	1
Gastéropodes . .	. . . . .	Cyclobranchia .	*Patella*	....	....	....	....	....	....	....	....	+	5	»	»	»	»	»	»
		Aspidobranchia.	*Emarginula* ?	....	....	....	....	....	....	....	....	+	3	2	»	»	»	»	»
			Pleurotomaria	+	+	+	....	+	+	+	+	+	»	»	»	»	»	»	»
			Turbo	+	....	+	....	+	+	+	....	+	8	2	1	»	»	»	»
			Trochus	+	....	+	....	+	+	+	....	+	44	18	4	6	1	1	»
		Ctenobranches .	*Solarium*	+	....	+	....	+	+	....	....	....	4	3	»	»	»	»	»
			Scalaria	+	+	....	....	....	....	....	....	....	6	7	1	»	»	»	»
			Turritella	+	+	....	+	....	....	....	....	+	18	2	»	»	»	»	»
			Vermicularia	+	....	....	....	....	....	+	....	....	»	»	»	»	»	»	»
			Calyptræa	....	+	....	....	....	....	....	....	+	3	»	»	»	»	»	»
			Natica	+	+	....	....	....	....	....	....	....	23	9	3	2	»	»	»
			Cerithium	+	+	....	....	....	+	+	+	+	19	2	»	»	»	»	»
			Rostellaria	+	+	....	....	....	....	....	....	....	»	»	»	»	»	»	»
			Rapella (Rupa)	....	+	....	....	....	....	....	....	....	»	»	»	»	»	»	»
			Fasciolaria	+	....	....	....	....	....	....	....	....	6	1	»	»	»	»	»
			Mitra	....	....	....	....	....	....	....	+	....	23	2	»	»	»	»	»
			Voluta	....	....	....	....	....	....	....	....	+	9	2	»	»	»	»	»
			Pleurotoma	....	+	....	....	....	....	....	....	+?	28	35	12	11	4	1	»
Hétéropodes. . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	....	....	....	....	....	....	....	....	....	»	»	»	»	»	»	»
Opisthobranches.	. . . . .	. . . . .	*Actaeon* (Tornatella) .	+	....	....	....	....	....	....	....	....	6	3	»	4	»	»	»
			Cinulia (Avellana) . .	+	....	....	....	....	....	....	....	+	»	»	»	»	»	»	»
Ptéropodes . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....

5. Si des genres on passe aux espèces, on arrive à des résultats aussi expressifs. Les 30 genres en question sont représentés par 266 espèces dans la zone de 0-100 br., et dans la zone suivante par 132 dont 14 communes aux deux zones. De plus si l'on compare le nombre d'espèces qui représentent chacun des 23 genres de la 2e zone à celles de la 1re, on voit qu'il n'y a que 4 genres qui ont un plus grand nombre d'espèces dans la 2e zone que dans la 1re. Tous les autres sont, ou stationnaires, ou en perte.

6. Si au lieu de considérer en bloc tous les genres turoniens et sénoniens, on ne passe en revue que les derniers, on obtient des résultats au moins aussi décisifs : 20 genres sénoniens existent encore. Tous sont représentés dans la zone 0-100 br. On n'en rencontre que 12 entre 100 et 500 br., et seulement 9 entre 150 et 500 br.

7. Les 20 genres de la première zone comportent 191 espèces et les 12 genres de la deuxième 67 espèces seulement. Le rapport du nombre d'espèces était de 2 à 1 pour le Turonien et le Sénonien réunis. Il s'élève à 3 pour le Sénonien seul.

Il ressort avec évidence de ces faits, *que si l'on tient pour immuable la distribution bathymétrique des Mollusques, il faut considérer les profondeurs inférieures à 150 br., comme pouvant seules permettre le développement de la faune des Mollusques de la craie.*

Crustacés

D'après Gwyn-Jeffreys [1], Woodwards considérait les Crustacés de la craie comme des formes d'eau non profonde.

On connaît dans la craie des *Cirrhipèdes* et des *Décapodes*.

Décapodes. Le genre *Nephrops* qui vit actuellement paraît être représenté géologiquement, d'après Milne-Edwards, par *Astacus leachii* Mantell (= *Clytia leachii* Reuss). Deux espèces de *Nephrops* sont citées par M. Spence Bate [2] dans son rapport sur les Crustacés Macroures recueillis par le Challenger. L'une a été trouvée à 100 br. et à 275 br. J'ignore quelle est la plus grande profondeur à laquelle la seconde a été draguée, mais elle est déjà connue à une cinquantaine de mètres.

Cirrhipèdes. Trois genres de la craie se retrouvent dans les mers actuelles : *Pollicipes*, *Scalpellum* et *Verruca*.

Les *Pollicipes* sont littoraux.

Les *Scalpellum* vont de 15 à 2.850 br. Sur 43 espèces décrites par M. Hœck [3] dans le Challenger, il n'y en a que 6 qui ne franchissent pas la profondeur de 150 br. Presque toutes sont d'eau très profonde.

Quant aux *Verruca*, leur habitat est compris entre 7 et 1.900 br.

1. GWYN-JEFFREYS. Op. cit., p. 86 (1877).
2. SPENCE BATE. Rep. on the Crust. Macroure, *Challenger*, vol. 24 (1888).
3. P. P. C. HŒCK. Rep. on the Cirrhipeda, *Challenger*, vol. 8 (1883).

En résumé, aucune forme crétacée n'est spéciale aux grands fonds, et les plus faibles profondeurs auxquelles vivent ces genres sont parfaitement compatibles avec la distribution bathymétrique actuelle des principaux organismes de la craie précédemment considérés.

Annélides

Les principales Annélides Polychètes de la craie appartiennent aux genres *Serpula* et *Spirorbis*. D'après M. M'Intosh [1] les quatre espèces de Serpules draguées par le Challenger vivent de 53 à 1050 br. Aucune n'a été rencontrée dans la boue à Globigérines. Une espèce est limitée à 53 br., une autre s'étend de 60 à 175 br., les deux dernières sont exclusivement d'eau profonde.

L'unique espèce de *Spirorbis* mentionnée par M. M'Intosh se trouve à 110 br.

Les profondeurs auxquelles vivent de nos jours les genres d'Annélides de la craie sont aussi parfaitement conciliables avec les conclusions bathymétriques tirées de la considération des Mollusques, Bryozoaires, etc.

Échinodermes

Depuis les campagnes du *Porcupine* et du *Lightning*, on considère généralement la faune d'Echinodermes des parties profondes des Océans comme renfermant un ensemble de formes qui représentent à un degré remarquable le groupe correspondant de la craie blanche. Les genres d'Echinodermes crétacés encore vivants appartiennent aux *Crinoidea*, *Asteroidea* et *Echinoidea*.

1° *Crinoidea*. Les *Pentacrinus* ont persisté jusqu'à nos jours. Les 9 espèces dont Herbert Carpenter [2] a donné la distribution bathymétrique vivent à des profondeurs comprises entre 80 et 1350 br. Aucune ne vit exclusivement à une profondeur inferieure à 150 br.

La découverte faite par Sars du genre *Rhizocrinus*, considéré comme un type dégradé d'*Apiocrinidæ*, et comme le représentant actuel du genre *Bourguetticrinus* de la craie, a été regardée par d'éminents naturalistes anglais comme W. Thomson, Prestwich, etc., comme créant un solide lien entre la craie et la boue à Globigérines. Je ne puis me ranger à cet avis pour deux raisons : A. On n'est nullement autorisé à attribuer à un genre de Crinoïde crétacé la distribution bathymétrique d'un genre voisin actuel, celui-ci en fût-il considéré à tort ou à raison comme le descendant direct. B. Même en admettant que *Bourguetticrinus* ait vécu aux mêmes profondeurs que *Rhizocrinus*, la question de l'analogie de la craie et de la boue à Globigérines n'en pourrait pas davantage être

1. W. C. M'INTOSH. Rep. on the Annelida Polychæta, *Challenger*, vol. 12 (1885).
2. HERBERT CARPENTER. Rep. on the Crinoidea, *Challenger*, vol. 11 (1884).

résolue dans le sens affirmatif puisque les *Rhizocrinus* ont été trouvés à partir de 73 br. (la profondeur maxima à laquelle on les a rencontrés étant de 1900 br.).

2° *Asteroidea.* Quatre genres crétacés sont connus dans les mers actuelles. Ce sont : *Astropecten, Stellaster, Astrogonium* et *Goniaster.*

Des 30 espèces d'*Astropecten* dont j'ai trouvé la distribution bathymétrique dans le Challenger [1], 24 ne dépassent pas 100 br. et beaucoup d'entre elles vivent au-dessous de 50. Parmi les 6 autres, il en est 5 qui vivent à la fois au-dessous et au-dessus de 100 br. Celle qui fait exception existe à 450 br.

Les 3 espèces de *Stellaster* dont je connais la distribution bathymétrique vivent entre 4 et 60 br.

Sur 14 espèces d'*Astrogonium*, 9 vivent entre 7 et 150 br. Des 5 autres, 3 se trouvent à la fois au-dessous et au-dessus de 150 br. Je n'en connais que 2 vivant exclusivement à une profondeur plus grande.

Parmi les 8 espèces de *Goniaster* actuels, 6 ont été draguées entre 5 et 150 br. ; les deux autres sont représentées au-dessus et au-dessous de 150 br.

C'est donc à partir de très faibles profondeurs et jusqu'à 150 brasses que les genres d'*Asteroidea* crétacés qui ont persisté jusqu'à nos jours vivent avec une préférence très marquée.

3° *Echinoidea.* Plusieurs genres de la craie ont survécu à l'époque crétacée et se sont perpétués jusqu'à nos jours. Ce sont : *Cidaris, Salenia, Echinothuria, Conoclypus* et *Catopygus.*

Les six espèces de *Cidaris* dont M. A. Agassiz [2] a fait connaître la distribution bathymétrique vivent toutes, sauf une, à une profondeur maxima de 100 br. La sixième a été draguée au-dessous et au-dessus de cette profondeur. Aucune n'est en rapport avec la boue à Globigérines.

L'habitat des *Salenia* s'étend de 60 à 1675 br.; trois espèces sur quatre vivent simultanément au-dessous et au-dessus de 150 br.; la quatrième est fixée à 180 br.

Le genre *Echinothuria* s'étend de 10 à 1400 br. Sur huit espèces actuelles, il y en a trois qui vivent exclusivement au-dessous de 150 br., deux qui se trouvent à la fois au-dessous et au-dessus de cette profondeur et trois qui vivent à plus de 150 br.

Le genre *Conoclypus* est représenté par une seule espèce de 84 à 450 br.

Le genre *Catopygus* ne comporte également qu'une seule espèce à 129 br.

Le genre *Pourtalesia* des mers actuelles appartenant à la famille des *Spatangidæ* et qui montre beaucoup d'affinités avec la *Dysasteridæ* a été souvent considéré comme un trait d'union entre la craie et le limon crayeux de l'Atlantique. Il se place dans le voi-

1. W. P. Sladen. Rep. on the Asteroidea, *Challenger*, vol. 30 (1889).
2. A. Agassiz. Rep. on the Echinoidea, *Challenger*, vol 3 (1881).

sinage des genres *Holaster*, *Cardiaster*, *Ananchytes* et *Infulaster* sans s'y rattacher d'une façon immédiate.

D'après M. A. Agassiz, le genre *Spatagocystis* actuel le relie à ces quatre genres crétacés. *Pourtalesia* étant éminemment une forme de mer profonde (242-2900 br.), on en a conclu que des Oursins de la craie comme *Ananchytes* indiquaient des eaux très profondes. Je remarquerai comme je l'ai déjà fait à propos de *Rhizocrinus* et de *Bourguetticrinus* que rien n'autorise une semblable induction, et que la distribution bathymétrique d'un genre actuel peut très bien ne pas s'appliquer du tout à un genre voisin, surtout lorsque celui-ci s'est éteint à l'époque crétacée. Quand on voit, par exemple, une seule et même espèce de *Pourtalesia (P. laguncula)* vivre à des profondeurs aussi différentes que 345 et 2900 br.; quand on observe des écarts de profondeur parfois considérables pour des genres voisins actuels, on peut hésiter beaucoup à assigner aux genres *Holaster*, *Ananchytes*, etc., la place occupée par *Pourtalesia* dans l'échelle des profondeurs.

D'ailleurs, *les Spatangidæ de la craie portent avec eux-mêmes la preuve qu'ils n'ont certainement pas vécu dans des eaux aussi profondes que Pourtalesia*. Un très grand nombre de *Holaster*, d'*Ananchytes* supportent des coquilles parasites telles que petites *Ostrea*, *Plicatula*, *Bryozoaires* encroûtants, etc. Les *Ostrea* actuelles ne franchissent pas la zone des Brachiopodes (72-184^{m}). Les *Plicatula* ne dépassent pas 100 br. Les unes et les autres n'auraient pu s'accommoder des profondeurs énormes qui conviennent aux *Pourtalesia*. J'en pourrais dire autant des Bryozoaires et des autres parasites des Oursins de la craie. J'ai toujours été très frappé que les naturalistes qui ont vu dans *Ananchytes*, *Holaster*, etc., des organismes de mer très profonde n'aient pas remarqué l'*étiquette de profondeur* qui leur est fournie par leurs parasites.

Cet exemple est à méditer. Il prouve qu'on n'est pas fondé à étendre à des genres anciens les données bathymétriques que l'on possède sur des genres *voisins* actuels.

Il ressort de la considération des profondeurs auxquelles vivent actuellement les genres d'Echinodermes crétacés qui se sont maintenus jusqu'à nos jours :

1. Qu'aucun genre n'est spécial à une profondeur supérieure à 150 br., et par conséquent à la vase à Globigérines.

2. Que le plus grand nombre se tiennent au-dessous de cette limite.

3. Que le nombre des *espèces* qui vivent dans la boue à Globigérines est excessivement faible.

Il y a concordance parfaite entre les indications bathymétriques données par les Echinodermes et les autres groupes déjà étudiés.

Coraux

Les Coraux de la craie blanche sont des types dits de mer profonde. Une espèce de *Caryophyllia cylindracea* Reuss est arrivée sans modification de l'époque de la craie dans les mers actuelles.

Je ne connais de genres de la craie blanche qui se soient maintenus jusqu'à nos jours que *Caryophyllia*, *Parasmilia*, *Cœlosmilia* et *Stephanophyllia*.

Moseley [1] signale 10 espèces actuelles de *Caryophyllia*. Elles s'étendent de 100 à 1525 br. Deux ne dépassent pas 150 br., deux autres ont leur habitat au-dessous et au-dessus de cette limite. Le plus grand nombre vivent dans des eaux très profondes.

Parasmilia et *Cœlosmilia* vont l'un et l'autre de 50 à 300 br.; *Stephanophyllia* ne dépasse pas 100 br.

On voit par ces données qu'aucun genre de Madrépore de la craie n'est spécial aux grandes profondeurs. Bien que les *Caryophyllia* vivent de préférence à plus de 150 br., l'habitat de plusieurs espèces se concilie très bien avec les profondeurs auxquelles vivent maintenant le plus grand nombre des organismes de la craie.

Spongiaires

Il n'est guère de groupe d'organismes qui ait mieux servi la cause de l'identification de la craie et de la boue à Globigérines que les Spongiaires. Depuis longtemps W. Thomson a fait remarquer que le limon crayeux actuel renferme beaucoup d'*Hexactinellidæ*. Or, des Eponges de ce même ordre, les *Ventriculites*, existent en abondance dans la craie, par places, et longtemps avant les premiers dragages profonds Toulmin Smith en avait publié une étude approfondie (1840).

Les campagnes sous-marines du *Porcupine* et du *Lightning* (1868-70) établirent non-seulement le fait que le limon crayeux des grandes mers est parfois littéralement chargé d'*Hexactinellidæ* mais qu'il y existe des formes telles que *Aphrocallistes*, *Iphitron*, *Holtenia* et *Askonema* qui appartiennent à la même famille que les Ventriculites de la craie. W. Thomson [2] ajoutait même en 1872, en parlant de ces formes récentes d'*Hexactinellidæ*, qu'on ne peut conserver le moindre doute qu'elles n'appartiennent dans certains cas à des *genres voisins* des *Ventriculites* de la craie. Le même savant resserrait encore les liens existant entre les Spongiaires de la craie et des mers actuelles en faisant remarquer que d'autres Eponges qui relèvent principalement des *Lithistidæ* reproduisent avec une singulière exactitude les formes les plus irrégulières des Eponges de la craie.

De cette parenté des Spongiaires, on tira naturellement des déductions bathymétriques

1. MOSELEY. Rep. on certain Hydroid, etc., *Challenger*, vol. 2 (1882).
2. W. THOMSON. Les Abîmes de la mer, trad. Lortet, pp. 351 et suiv. (1875).

et depuis plus de trente ans nombre de naturalistes répètent le raisonnement suivant : *Les Hexactinellidæ peuvent être considérées comme des habitants des grands fonds. Il existe beaucoup d'Hexactinellidæ* (Ventriculites) *dans la craie. Donc la craie est un dépôt de mer profonde.*

Avant de procéder à l'examen critique de ce syllogisme, il me paraît opportun de donner un coup d'œil d'ensemble sur la composition des faunes de Spongiaires de la craie. Jusqu'ici on n'a fait entrer en ligne de compte que les Ventriculites. Or les *Hexactinellidæ* ne sont jamais seules dans la craie. Elles sont toujours escortées de formes appartenant à d'autres ordres. Il est de la plus haute importance d'ajouter que dans les résidus insolubles des craies où l'on trouve pèle-mêle des spicules de tous les ordres, leur rôle est toujours accessoire si on le compare à celui des autres ordres réunis. Là, où elles tiennent une place notable comme dans la craie à *I. labiatus* des vallées du Cher et du Loir et la craie à *T. gracilis* de Rouen, elles sont associées à des *Monactinellidæ*, *Tetractinellidæ* et *Lithistidæ* beaucoup plus nombreuses qu'elles. Dans le Sénonien qui ne m'a guère fourni que des spicules glauconieux, et où par conséquent je n'ai pu faire la preuve de l'existence de *Monactinellidæ* (que je n'hésite pas à admettre), les spicules isolés de *Tetractinellidæ* l'emportent toujours sur ceux d'*Hexactinellidæ*.

La craie n'apparaît donc plus comme un dépôt caractérisé par les Hexactinellidæ, mais comme un sédiment renfermant tous les ordres d'Eponges siliceuses parmi lesquels celui des *Hexactinellidæ* n'est pas prépondérant.

M. G. J. Hinde [1] a fourni un très curieux exemple de cette association de représentants de tous les ordres d'Eponges dans la craie en faisant connaître la composition organique d'une poudre crayeuse enfermée dans un seul échantillon de silex creux de Horstead (Norfolk) appartenant à l'Upper Chalk, niveau à *B. mucronata*. M. Hinde a reconnu dans cette poudre

Monactinellidæ	4	espèces réparties	en	3 genres.
Tetractinellidæ	20	—	—	7
Lithistidæ	6	—	—	5
Hexactinellidæ	7	—	—	7
	38	espèces réparties	en	22 genres.

Dans ces conditions, la question des analogies de la craie et de la boue à Globigérines établies par la considération des Spongiaires prend un tout autre aspect, comme on va le voir. On sait depuis la publication des Reports sur les Eponges draguées par le Challenger quelle est la distribution bathymétrique actuelle des espèces de chacun des ordres de ces organismes. M. J. Sollas [2] l'a résumée en un tableau qu'il me paraît utile de reproduire (p. 511). Il en ressort :

1. G. J. HINDE. Fossil Sponge spicules, etc. Munich (1880).
2. W. J. SOLLAS. Rep. on the Tetractinellidæ, vol. 25 (1888).

1. Que les *Hexactinellidæ* n'apparaissent qu'au-delà de 50 brasses et qu'elles deviennent prépondérantes à partir de 1000 brasses [1].

2. Que le nombre des espèces de cet ordre est déjà plus élevé entre 51 et 200 brasses que celui des *Tetractinellidæ*.

3. Que les points les plus riches en espèces de *Tetractinellidæ* sont compris entre 51 et 200 br.

4. Que les *Monactinellidæ* sont très abondantes aux plus faibles profondeurs, bien qu'elles soient surtout communes dans les eaux profondes de 201 à 1000 br.

Par conséquent, en s'en tenant aux traits les plus généraux de la faune des spicules de Spongiaires de la craie, on pourrait dire que des profondeurs très faibles sont compatibles avec sa composition. Si la deuxième zone comprise entre 51 et 200 br. était décomposée en deux sous-zones, le nombre des *Hexactinellidæ* serait beaucoup plus faible dans la moins profonde, tandis que celui des *Tetractinellidæ* et des *Monactinellidæ* resterait prédominant. Une telle association serait assez conforme au degré de fréquence respective de chacun des ordres dans la craie. Je n'ai garde d'attribuer une parfaite rigueur à ces raisonnements, d'autant plus qu'il est bien probable que l'ensemble des spicules isolés et disséminés dans la craie ne donnent qu'une idée incomplète de la faune de Spongiaires disséminés sur le fond de la mer crétacée, mais on voudra bien convenir que tout autre est le problème des profondeurs auxquelles les Eponges de la craie ont pu vivre, quand on tient compte des formes qui accompagnent les *Hexactinellidæ*, ou lorsqu'on considère ces dernières comme si les autres n'existaient pas, comme on l'a fait jusqu'ici. Je crois avoir ainsi montré en quoi pêche le syllogisme indiqué plus haut.

ORDRES	0-50 br.	51-200 br.	201-1000 br.	1000 br. et au-dessus
Tetractinellidæ	16	23	18	8
Hexactinellidæ	»	27	43	55
Monactinellidæ	44	45	53	25

Reste maintenant la question de la parenté mentionnée par W. Thomson entre les Ventriculites de la craie et certaines formes actuelles d'*Hexactinellidæ*. J'ai déjà dit pour d'autres groupes, qu'on n'est nullement autorisé à étendre à des fossiles crétacés les profondeurs auxquelles vivent aujourd'hui des formes de la même famille, voire même des genres voisins. Cette réserve s'applique également aux Spongiaires. Elle a été explicitement formulée par M. J. Sollas [2] dans l'étude qu'il a faite d'une partie des Spongiaires dragués par le Challenger. M. Sollas fait remarquer que la distribution bathymétrique des *Hexactinellidæ* a pu varier dans le temps. Il cite en particulier de nombreuses

1. On les a trouvés jusque 2900 br.
2. J. SOLLAS. Op. cit. p. 399 (1888).

formes de cet ordre (*Lyssacina*, d'après Hall) dans le Dévonien de l'Amérique où elles sont associées à des roches certainement déposées sous une faible profondeur d'eau. M. Sollas ajoute qu'on a supposé que la craie est un dépôt de grande profondeur par suite du grand développement des *Hexactinellidæ*, mais que cet argument manque de valeur.

La présence de vestiges d'*Hexactinellidæ* dans les roches siliceuses que j'ai étudiées dans la première partie de ce mémoire conduit d'ailleurs à la conclusion que les Eponges de ce groupe s'accommodaient très bien de profondeurs très faibles aux époques albienne et cénomanienne. On les trouve dans les gaizes dont la proportion de minéraux détritiques peut dépasser 50 %. Leurs spicules possédaient des formes très robustes en vue d'une résistance aux actions mécaniques particulièrement marquées dans le milieu où elles vivaient.

Il serait du plus haut intérêt de pouvoir considérer à part les genres de Spongiaires de la craie qui se sont maintenus jusqu'à nos jours et de rechercher quelle est leur répartition bathymétrique actuelle. Malheureusement l'étude des Spongiaires fossiles est complètement délaissée en France, et l'on ne connaît des Eponges de la craie que leurs spicules isolés. C'est dire que les termes de comparaison empruntés à la craie du Bassin de Paris avec les Spongiaires qui vivent de nos jours sont tout à fait insuffisants.

Le groupe des *Hexactinellidæ* ne fournit aucune forme générique commune aux époques crétacées et actuelles bien plus sans doute parce que les *Hexactinellidæ* de la craie de France sont inconnues qu'en raison de la non-persistance des formes crétacées.

Deux genres de *Tetractinellidæ* se retrouvent parmi les genres actuels. Ce sont *Geodia* et *Pachastrella*.

Les *Geodia* recueillis par le Challenger vivent depuis des profondeurs inférieures à 50 br. jusqu'à 632 br.; sur huit espèces de ce genre, quatre sont exclusivement cantonnées au-dessous de 65 br.; deux se trouvent à la fois au-dessus et au-dessous de 150 br.; deux autres ne vivent qu'au-delà de cette profondeur.

Deux espèces actuelles de *Pachastrella* sont signalées par le Challenger : l'une vit à 5-7 br. et l'autre à 110-292 br.

Deux genres de *Monactinellidæ* [1] de la craie sont également connus aujourd'hui. Ce sont *Reniera* et *Axinella*.

Des cinq espèces du premier genre, quatre se trouvent de 50 à 200 br. et la cinquième à 200-1000 br.

Des dix espèces d'*Axinella* indiquées comme authentiques, il n'en est qu'une qui vive exclusivement à de très grandes profondeurs (1000-3000 br.), 6 ne dépassent pas 60 br. et les 3 autres sont connues à partir de 50 br.

En résumé, sur les 25 espèces représentant actuellement les 4 genres crétacés, 16 ne

1. ST. O. RIDLEY and A. DENDY. Rep. on Monaxida, *Challenger*, vol. 20 (1887).

dépassent pas 150 br., 6 se trouvent à la fois à des profondeurs inférieures et supérieures à 150 br. et 3 seulement vivent exclusivement au-delà de cette profondeur.

La pénurie de nos connaissances sur les Spongiaires de la craie proprement dite du Bassin de Paris est telle que les conclusions qui se dégagent des considérations qui précèdent pourront être modifiées avec le temps. Sous cette réserve, on peut dire que les indications à tirer de l'état actuel de nos connaissances sont absolument défavorables à l'idée de grandes profondeurs pour les eaux de la craie.

Radiolaires

Ces organismes qu'on n'a pas encore fait entrer en ligne de compte ne fournissent aucune lumière sur la question. Ils existent en petites quantités dans la boue à Globigérines, mais d'autre part, ils se trouvent dans les dépôts terrigènes dans la proportion de 2 ou 3 % au maximum. L'existence des Radiolaires que j'ai signalée dans la craie du Bassin de Paris ne peut donc servir à rapprocher cette craie de la vase à Foraminifères actuelle plutôt que des dépôts terrigènes.

Foraminifères.

L'étude si succincte que j'ai faite de ce groupe ne peut introduire dans le débat que peu d'arguments qui ne soient déjà connus. Ce n'est guère qu'en se livrant à une longue étude systématique des Foraminifères du bassin parisien que l'on pourra fonder des déductions bathymétriques sur leur connaissance. En Angleterre, où l'étude de ces organismes a été et se trouve encore fort en honneur on est arrivé à des résultats contradictoires. C'est l'existence de nombreux Rhizopodes calcaires dans la craie et dans le limon crayeux océanique qui a fourni le principal argument en faveur de l'analogie des deux dépôts. La parenté parut d'autant plus étroite qu'Ehrenberg avait reconnu, il y a un demi-siècle, que plusieurs genres crétacés de Foraminifères tels que *Globigerina*, etc., ont des espèces encore vivantes et qu'une espèce de Globigérine (*Gl. bulloïdes*) est commune au limon de l'Atlantique et à la craie d'Europe. Une erreur qui contribua pour une large part à accréditer en France l'idée que la craie et la boue à Globigérines se confondent, c'est la présence d'une notable proportion de Globigérines dans la craie. On a vu que ces organismes jouent dans la composition de la craie un rôle tout au plus très accessoire et souvent presque nul.

Dans le savant résumé donné en 1871, sur la parenté paléontologique de la craie et de la vase à Globigérines, le regretté Prestwich [1] présenta un tableau, préparé par Rupert-Jones, de 19 espèces sur 110 provenant de la « craie moderne » et qui sont

1. J. PRESTWICH. Op. cit., p. LI (1871).

identiques aux formes de la craie. Une telle proportion de formes crétacées persistant jusqu'à nos jours fut naturellement indiquée par Prestwich comme un trait d'analogie entre les deux dépôts.

Tout récemment (1895), M. F. Hume [1], en se fondant sur les déterminations du savant spécialiste M. Chapman, déclarait que beaucoup d'espèces de Foraminifères arénacés de la craie sont spécifiquement identiques à ceux qui vivent de nos jours et que celles de ces espèces qui sont spéciales au Chalk Marl et au Lower Grey Chalk se trouvent aujourd'hui à des profondeurs inférieures à 400 br. Quant aux espèces qui pénètrent dans les zones supérieures à celles du Lower Grey Chalk, ce sont précisément celles qui ont de nos jours une large distribution, à des profondeurs dépassant 500 br.

Dès l'année qui suivit le discours de Prestwich (1872), des objections furent élevées contre le rapprochement des deux dépôts. Rupert-Jones et Parker [2] dirent à propos des Rotalines et des Globigérines qu'il y a une distinction assez forte entre les groupes crétacés et actuels pour montrer que c'est improprement que la vase calcaire atlantique est appelée craie.

En 1885, M. Rupert-Jones [3] déclarait que les Foraminifères de la craie ont la taille et l'aspect que présentent les Foraminifères vivant à des profondeurs beaucoup moindres qu'abyssales.

Dans la seconde édition de sa Géologie, Prestwich [4] signale, entre autres différences que présentent les deux dépôts en question, cette observation de M. Rupert-Jones que les Foraminifères de la craie sont tels que ceux qui vivent à des profondeurs de 100 brasses ou un peu plus.

En résumé, deux opinions dominantes se trouvent en présence: l'une favorable à l'identification des deux dépôts, basée sur la comparaison d'une faune de l'Atlantique et de celle de la craie d'Angleterre accusant environ *un cinquième* de formes communes aux deux sédiments (Prestwich) et l'existence de part et d'autre de mêmes espèces de fond (Hume et Chapman), l'autre fondée sur la mise en parallèle des caractères physiques des Foraminifères de la craie et du limon de l'Atlantique et qui conclut à la dissemblance des deux dépôts [5].

---

1. F. HUME. Oceanic Deposits, etc., *Nat. Sc.*, vol. 7, nos 44 (1895).

2. RUPERT-JONES and W. K. PARKER. On the Foraminiferes, etc. *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol. 28, p. 122 (1872).

3. RUPERT-JONES. The Origin and Constitution of Chalk, etc. *Trans. Hertfordshire Nat. Hist. Soc.*, vol. 3, p. 153 (1885).

4. J. PRESTWICH. Geology chemical, etc., vol. 2, p. 326 (1886).

5. Il n'est pas sans intérêt d'ajouter que MM. Munier-Chalmas et Schlumberger regardent l'identification des espèces actuelles de Foraminifères avec celles de l'époque crétacée comme « étant loin d'être exacte » [op. cit., p. 275 (1885)]. Suivant eux « il est probable qu'une étude plus approfondie fera découvrir des caractères qui permettront de séparer ces espèces ». Ils pensent qu'on ne peut établir de points de comparaison certains qu'entre les Foraminifères actuels et les espèces du Pliocène et du Miocène moyen.

J'ajouterai pour terminer qu'il faut renoncer à faire de la rareté des Foraminifères de la craie blanche un argument pour la séparer du limon crayeux de l'Atlantique. On a vu plus haut qu'elle n'est pas un caractère originel et que tout porte à croire que la proportion totale de Foraminifères dans la boue crayeuse ne le cédait en rien à celle de la « craie moderne ».

Que conclure si ce n'est qu'il est assez difficile de faire choix d'une solution. Je suis disposé pour ma part à restreindre beaucoup l'importance attachée à l'existence des espèces communes de Foraminifères même dans le cas où il serait bien établi qu'il s'en trouve une notable proportion. Le tableau, tracé par M. Rupert-Jones, des espèces de Foraminifères qui existent à la fois dans la craie et le limon de l'Atlantique était suivi dans le discours de Prestwich dont j'ai parlé plus haut d'un second tableau dû au même savant, indiquant les formes de Rhizopodes calcaires communes à la vase à Globigérines et à diverses formations géologiques d'Angleterre. Il enseigne que des 110 espèces de l'Atlantique, on en retrouve 53 dans le Crag, 28 dans l'argile de Londres, 19 dans la craie, 7 dans le Jurassique supérieur, 7 dans le Jurassique inférieur, 7 dans le Rhétien et le Trias, 1 dans le Permien et 1 dans le Carbonifère. Que peuvent prouver les 19 formes de la craie, si des terrains comme le Crag et l'argile de Londres, formés dans des conditions très différentes de la boue à Globigérines possèdent respectivement 53 et 28 espèces qui leur sont communes avec ce dépôt ?

Tout ce que l'on peut dire, c'est que dans l'état actuel de nos connaissances, la considération des Foraminifères est loin d'être très favorable à l'opinion encore si profondément enracinée que la craie est une ancienne boue à Foraminifères, *formée dans les mêmes conditions que la vase à Globigérines actuelles.*

Diatomées

L'existence de quelques Diatomées dans les silex de la craie fut mentionnée comme un trait commun à la craie et au limon à Foraminifères de l'Atlantique. A la vérité on ne peut tirer argument de la présence de quelques cuirasses d'Algues. Ces organismes existent non-seulement dans les sédiments pélagiques, mais ils sont encore très répandus dans les dépôts terrigènes actuels.

Coccolithes et Rhabdolithes

Les *Coccosphères* et les *Rhabdosphères*, ainsi que leurs éléments dissociés, forment quelquefois jusqu'à 15 % de la boue à Globigérines. La présence des *Coccolithes* et *Rhabdolithes* dans la craie a été interprétée comme une analogie avec la boue à Globigérines. L'extrait suivant de « The Depths of the Sea » de W. Thomson montre à quel point cet éminent naturaliste identifiait les deux dépôts :

« Si l'on prend un morceau de craie blanche commune dans le Midi de l'Angleterre, qu'on le désagrège dans l'eau au moyen d'une brosse et qu'on place ensuite sous le microscope une goutte du liquide laiteux qui résultera de l'opération, on voit que, comme le limon de l'Atlantique, cette craie est composée en grande partie par de fines particules amorphes de chaux, avec quelques fragments de coquilles de Globigérines, plus rarement de ces coquilles entières et d'une proportion considérable (près d'un dixième dans certains échantillons) de *Coccolithes* qu'aucun caractère ne distingue de ceux du limon océanique. Dans leur ensemble, deux préparations, l'une de craie désagrégée, l'autre de limon de l'Atlantique, se ressemblent si parfaitement, qu'il n'est pas toujours facile, même pour un micrographe expérimenté, de les distinguer [1]. »

On sait, depuis les intéressantes recherches de M. Gümbel [2] que l'existence des Coccolithes n'est pas particulière à la formation crétacée, qu'on en trouve dans d'autres terrains, le Jurassique et le Lias notamment. M. Gümbel a établi que les Coccolithes sont extrêmement abondantes dans les marnes éocènes des Alpes dans lesquelles il en a compté *800 billions par mètre cube* [3]. Leur extrême diffusion dans le temps leur enlève toute valeur comme titre de parenté spéciale entre la craie et la vase à Globigérines.

Arguments tirés de l'état de conservation des organismes de la craie

J'ai noté dans le chapitre précédent l'état fragmentaire que présentent diverses catégories d'organismes. Il accuse des conditions de dépôt qui ne sont pas réalisées aujourd'hui pour la boue à Globigérines.

A certains niveaux, l'état de division des coquilles de Foraminifères est sans aucun doute d'origine dynamique ; les spicules de Spongiaires sont souvent tronçonnés ; les colonies de Bryozoaires ont été réduites en morceaux comportant une ou plusieurs cellules ; les Mollusques et Brachiopodes sont à leur tour imparfaitement conservés ; les volumineux prismes d'Inocérames séparés, souvent brisés, disséminés dans toutes les craies, où ils sont parfois réunis en telle proportion qu'ils en forment la majeure partie, témoignent peut-être mieux que tout autre débris organique, d'un régime des eaux crétacées différent de celui qui correspond actuellement au dépôt de la vase à Globigérines.

Jusqu'à ce jour on n'avait guère mis en avant que le groupe des Oursins pour plaider en faveur de cette différence, mais les opinions fondées sur leur étude ne sont rien moins que contradictoires ; il est curieux qu'elles le soient depuis plus d'un siècle. De Luc écrivait déjà en 1792 :

« Les Oursins sont cités en particulier par M. de Dolomieu, comme un signe de mouvement violent de la mer quand ils ont été enfermés dans nos couches, parce qu'on les y trouve souvent sans leurs pointes, mais je citerai au contraire cette famille en preuve du calme dans les lieux où elle vivait. Il n'est pas surprenant que la plupart des Oursins fossiles soient privés de leurs pointes, et qu'elles ne se trouvent qu'éparses autour d'eux, puisqu'il en est de même dans notre mer, dès que l'animal est mort depuis quelque temps [4]. »

---

1. W. THOMSON. Les Abîmes de la mer, trad. Lortet, pp. 396-397 (1875).
2. C. W. GÜMBEL. On Deep-Sea Mud, *Nature*, vol. 3, pp. 16-17 (1870).
3. C. W. GÜMBEL. Coccolithen in Eocänmergel, *Neues Jahrb. für Min.*, p. 350 (1873).
4. De LUC. Sur la nature du silex, etc., *Journ. de Phys.*, vol. 41, p. 45 (1792).

MM. Renard et Klément [1] professent l'opinion contraire. En parlant de la craie, ils disent : « L'examen des fossiles, spécialement des Echinodermes, nous prouve à l'évidence qu'ils ont été soumis à des remaniements mécaniques. Or ceux-ci sont inexplicables si la craie s'est déposée comme les vases océaniques. »

C'est en partant du groupe des *Cidaris* que M. Ch. Janet [1] a plus récemment essayé de tirer la notion d'eaux tranquilles pour la mer crétacée. J'aurai l'occasion d'examiner longuement ce dernier point.

En laissant de côté les Echinodermes qui servent ainsi tour à tour à étayer les opinions les plus divergentes, on reste en présence d'un ensemble de données concordantes qui impliquent pour la craie des conditions de dépôt différentes de celles des vases océaniques.

Conclusions

Si l'on tient particulièrement en vue la distribution bathymétrique actuelle des genres d'organismes qui ont continué à vivre depuis l'époque de la craie jusqu'à nos jours, on constate :

1. *Que pas un seul genre d'Invertébré ne vit exclusivement aujourd'hui à une profondeur supérieure à 150 brasses.*

2. *Qu'un très grand nombre de genres ne dépassent pas cette profondeur.*

3. *Que la grande majorité des espèces représentant la somme des genres considérés ne franchissent pas la profondeur de 150 brasses.*

4. *Que parmi les autres, un grand nombre sont disséminés à la fois au-dessus et au-dessous de cette limite.*

5. *Qu'un nombre assez restreint ne se rencontrent qu'à une profondeur supérieure à 150 brasses.*

6. *Qu'enfin un nombre d'espèces, plus réduit encore, — quelques unités — sont exclusivement cantonnées dans la boue à Globigérines.*

On voit qu'en considérant de très près les genres d'organismes de la craie, qui ont persisté jusqu'à nos jours, ils enseignent que les profondeurs auxquelles ils vivent aujourd'hui ne sont pas du tout celles qui correspondent aux aires de dépôt de la vase à Globigérines, mais aux zones de sédiments terrigènes. Les nombreux genres d'Invertébrés communs à la craie et au limon crayeux actuel condamnent d'une façon définitive les analogies reconnues entre les deux dépôts.

---

1. RENARD et KLÉMENT. Op. cit., p. 809 (1887).
2. CH. JANET. Op. cit., p. 905 (1891).

3° COMPARAISON DE LA CRAIE ET DE LA BOUE A GLOBIGÉRINES AU POINT DE VUE CHIMIQUE

La chimie a fourni pendant longtemps l'argument le plus décisif pour séparer la craie de la boue à Globigérines. Une analyse de la craie blanche de Shoreham (Sussex), faite par David Forbes et citée dans le discours présidentiel de Prestwich [1] en 1871, fit ressortir pour la première fois la différence considérée comme fondamentale, qui sépare les deux dépôts au point de vue chimique. L'analyse de David Forbes accusait 98,4 °/₀ de carbonate de chaux sans trace de silice. On estimait alors à 60 °/₀ le carbonate de chaux du limon crayeux de l'Atlantique, et la silice de 20 à 30 °/₀. Grâce à la croisière du Challenger on connaît plus exactement aujourd'hui la composition de la boue à Globigérines, et l'on sait que la proportion de carbonate de chaux y est de 35,15 °/₀ à 2575 br. et de 96,8 °/₀ à 425 br. et que la moyenne pour les 118 échantillons recueillis par le Challenger est de 64,47 °/₀. Les indications suivantes empruntées aux « Deep-Sea Deposits » du Challenger montrent comment varie cette teneur avec la profondeur :

3	échantillons	au-dessous de	500	brasses,	renfermant	87,07	de moyenne de $CaCO^3$
2	»	entre	500-1.000	»	»	68,47	»
13	»	»	1.000-1.500	»	»	63,69	»
35	»	»	1.500-2.000	»	»	72,66	»
49	»	»	2.000-2.500	»	»	61,74	»
16	»	au-dessus de	2.500	»	»	49,58	»
118							

La silice soluble dans l'acide chlorhydrique varie de 1,36 à 16,9, et la silice insoluble de 1,51 à 18,75. La teneur en silice totale varie de 4,57 à 32,3 o/o.

On peut dire d'une façon absolument générale, que la craie typique, la « craie blanche » est beaucoup plus riche en carbonate de chaux, et beaucoup plus pauvre en silice que la boue à Globigérines.

Pour atténuer les différences de composition mises en relief par l'analyse de D. Forbes, Prestwich fit remarquer qu'il existe des craies renfermant une proportion de chaux moins élevée que celle du Sussex, et le savant anglais cita à l'appui de son opinion une couche de la « craie blanche » de Touraine dont le carbonate de chaux est entièrement absent [2].

En dépit de cette différence, W. Thomson proclamait en 1869 « que ce n'est pas seulement la *craie* qui se trouve en voie de formation dans l'Océan, mais bien la *craie par excellence*, la *craie de la période crétacée.* »

Wallich, un des esprits les plus originaux qui se soient occupés de l'étude chimique

1. J. PRESTWICH. Anniv. Addr., etc. *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol. 27, pp. XLVIII et XLIX (1871).

2. Il s'agit probablement d'une roche siliceuse campanienne que l'on continue à désigner improprement sous le nom de craie, bien qu'elle dérive presque exclusivement de Spongiaires.

comparée de la craie et de la boue à Globigérines, entreprit en 1880 de démontrer que les différences entre ces dépôts ne sont qu'*apparentes*, et qu'elles résultent de ce que l'on compare un sédiment qui vient de prendre naissance avec un terrain comme la craie profondément modifié dans le cours des temps. S'il était possible, dit Wallich [1] de comparer une quantité donnée de craie telle qu'elle se présentait sur le fond de l'Océan crétacé avec une égale quantité de craie moderne, il n'y aurait pas de différence, dans les proportions respectives de carbonate de chaux et de silice, *autorisant* à considérer ces deux formations comme lithologiquement distinctes. Et il ajoute que si l'on pouvait comparer des quantités égales de boue crayeuse récente et du même dépôt consolidé, les différences de teneur en carbonate de chaux et en silice correspondraient à celles que l'on observe aujourd'hui entre la craie et la boue à Globigérines. Pour Wallich, les différences tiennent essentiellement à l'appauvrissement considérable de la craie en silice, du fait de la genèse des silex. Il termine son remarquable plaidoyer en faveur de l'identification des deux dépôts, en disant que la comparaison d'une centaine de pieds cubes de boue calcaire récente avec le même volume de *craie à silex* fournirait les mêmes proportions moyennes de carbonate de chaux et de silice. Wallich essaya même de sortir du domaine spéculatif et de démontrer par des faits d'observation que la composition chimique originelle de la craie se rapprochait de celle du limon crayeux de l'Atlantique. J. Wright avait déclaré en 1874 que la poudre crayeuse enfermée dans les silex « était en fait une portion du fond de l'ancienne mer crétacée » [2]. Wallich eut l'idée ingénieuse de demander la confirmation de ses idées à cette poudre des silex creux qu'il considérait également comme une portion de la boue crétacée, isolée du reste du dépôt par l'enveloppe de silex, et conservée sans modification jusqu'à nos jours. L'expérience ne réussit que dans une certaine mesure, mais elle permit tout au moins de conclure que les différences étaient beaucoup moins tranchées qu'on ne l'avait dit. Wallich établit ainsi que la teneur en silice de la craie étant de 0,5 à 3 et au plus 4 °/₀, *celle de la poudre est doublée, triplée et même quadruplée.*

J'ai noté plus haut (p. 482) qu'en réalité la craie des silex creux ne donne pas une idée exacte de la composition chimique originelle de ce dépôt. Nombre d'organismes calcaires y sont silicifiés. Dans certains échantillons j'ai constaté la présence, à côté des Foraminifères silicifiés, de valves d'Ostracodes, de fragments de Bryozoaires également transformés en silice. L'idée de Wright et de Wallich avait cependant quelque chose de très juste, en ce sens qu'on retrouve dans cette craie des dépouilles d'organismes siliceux qui ont disparu de la craie ambiante. Les spicules d'Éponges y sont parfois réunis en grand nombre; on peut y trouver des Radiolaires et des Diatomées. Il est donc vrai,

1. WALLICH. A Contribution to the phys. Hist., etc. *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol. 36, p. 72 et suiv. (1880).

2. J. WRIGHT. On the Discovery of Microzoa, etc. *Brit. Ass.*, Belfast, p 95 (1874).

dans une certaine mesure, que la composition chimique primordiale de la boue crayeuse a été conservée à l'intérieur des silex creux.

S'il était possible de faire les différentes comparaisons imaginées par Wallich, je suis loin de croire qu'elles seraient favorables à l'opinion dont il s'est fait l'ardent défenseur. Il y a notamment dans le Bassin de Paris des craies blanches dépourvues de silex sur une grande épaisseur, dans lesquelles les organismes à squelette siliceux paraissent n'avoir joué qu'un rôle tout à fait restreint, à moins qu'on n'admette qu'ils ont été dissous sur le fond de la mer. Leur teneur en carbonate de chaux était presque à l'origine ce qu'elle est aujourd'hui. En se plaçant dans les conditions les plus favorables à l'hypothèse de Wallich, et en comparant la craie du Bassin de Paris avec silex avec la boue à Globigérines, la proportion du carbonate de chaux serait *toujours* plus élevée dans la première que la moyenne de 64,4 % de la seconde. Bref, il resterait une très notable différence entre la composition chimique des deux dépôts. Ceci n'est vrai que si l'on met en parallèle avec la moyenne des boues à Globigérines, des craies de composition normale, des craies typiques renfermant de 90 à 98 % de carbonate de chaux ; c'est dans ces conditions qu'il importe de se placer pour avoir une idée moyenne des deux formations considérées dans leur ensemble.

Il existe dans la série supracrétacée du Bassin de Paris quelques termes qui, rapprochés de la boue à Globigérines, conduisent à la notion d'une certaine analogie des deux dépôts. C'est par exemple la craie à *I. labiatus* de Château-du-Loir qui renferme 14,40 % de silice totale et 0,25 % de silice soluble dans l'acide chlorhydrique. M. Jukes-Browne en a signalé plusieurs pour la craie d'Angleterre.

Ainsi que ce savant l'a fait remarquer avec beaucoup de raison, les boues à Globigérines les plus riches en calcaire se rapprochent beaucoup de la craie. Les trois échantillons dragués par le Challenger, au-dessous de 500 br., renferment en moyenne 87,07 de $CaCo^3$ et si l'on considère le chiffre qui représente la teneur maxima en carbonate de chaux de la vase à Globigérines, soit 96,8 % à 425 br., il faut convenir qu'il n'y a plus de différence entre les deux dépôts. On peut donc dire que *les deux formations, essentiellement distinctes, quand on les prend en masse et dans leur composition moyenne, se rapprochent et se confondent même par leurs termes extrêmes.*

Bien que les différences de composition chimique de la craie et de la boue à Globigérines paraissent à première vue un sérieux argument pour séparer les deux dépôts, je suis disposé à en restreindre beaucoup l'importance. Ce qui imprime à la boue à Globigérines un caractère particulier qu'on ne retrouve à aucun degré dans la craie, ce sont les produits de l'activité volcanique sous-marine qui en font partie intégrante. Leur existence est tout à fait indépendante des conditions physiques qui président au dépôt de la « craie moderne ». Elle est la conséquence d'un phénomène général qui étend son action au-delà de l'aire occupée par les vases à Globigérines. L'existence de volcans sous-

marins à l'époque crétacée aurait profondément altéré la composition chimique et la physionomie de la craie sans que pour cela, la nature des organismes qui ont concouru à sa formation, la profondeur et la température de la mer eussent été nécessairement modifiées. Pour cette raison, j'estime que la différence de composition chimique imputable à l'activité interne ne peut servir à établir une séparation radicale entre la craie et la boue à Globigérines.

CONCLUSIONS

J'ai examiné dans ce chapitre les différents éléments susceptibles d'éclairer les rapports de parenté entre la craie et la vase à Foraminifères. Je crois avoir fait avec impartialité le départ des données qui favorisent l'idée d'analogie étroite ou d'identité, et de celles qui conduisent à la notion de différences marquées entre les deux dépôts. La balance est manifestement en faveur des différences. L'une et l'autre procèdent — pour une partie — des mêmes groupes d'organismes (Foraminifères et Algues). C'est le seul titre de parenté étroite qu'ils peuvent revendiquer.

Cela ne veut point dire que la craie ne soit pas, dans une certaine mesure, le représentant crétacé de la boue à Globigérines. En modifiant les idées qui ont cours sur le degré de fréquence des Foraminifères dans la craie, on est amené à considérer ce dépôt comme étant le plus souvent une ancienne boue à Foraminifères qui, dans l'échelle des sédiments du Crétacé, occuperait la même place que la vase à Globigérines parmi ceux de l'époque actuelle, mais elle en est très distincte notamment par la faune d'Invertébrés qu'elle renferme. Les naturalistes qui ont proclamé l'analogie de ces sédiments avaient en vue non-seulement la parenté organique, mais encore les conditions de dépôt. Parmi celles qui ont présidé à la formation de la craie, il en est d'essentielles — comme la profondeur — que je tiens pour absolument différentes de celles qui concourent à la genèse de la boue à Globigérines.

CHAPITRE XIV

CONDITIONS DE LA MER CRÉTACÉE

Sommaire. — I. Profondeur et conditions physiques de la mer crétacée. Revue bibliographique, 522. Profondeur du Bassin de Paris, déduite de la considération des Invertébrés de la craie, 526. Arguments d'ordre stratigraphique et tectonique favorables à l'idée de faible profondeur du Bassin de Paris, 527. Courbes des profondeurs du Bassin de Paris aux différentes périodes du dépôt de la craie, 531. Opinion de M. de Grossouvre sur la profondeur du Bassin de Paris, 533. La longévité d'un grand nombre d'organismes de la craie est incompatible avec l'idée de grandes variations dans la profondeur de la mer entre le Turonien inférieur et le Sénonien supérieur, 534. D'importantes variations dans la proportion du résidu minéral des craies n'ont pas d'influence bien marquée sur les organismes; Conséquences, 535. Echelle de distribution bathymétrique des sédiments modernes et anciens; Différences, 537. Température de la mer crétacée; Zones climatériques de l'époque; Glaces flottantes, 539. Le dépôt de la craie a été rapide, 542. Causes de la pureté de la craie, 543.

II. Action dynamique des eaux de la mer crétacée dans le bassin de Paris. Courants et traces diverses de leur action. Preuves de l'action dynamique des eaux de la mer crétacée, 544. Courants, 545. De la nécessité d'admettre que l'action mécanique de l'eau s'est exercée sur le fond de la mer, 545. Objections de M. Ch. Janet, 550. Objections tirées de l'état de conservation de divers organismes, 552. Accidents lithologiques de la craie déterminés sous l'influence des courants; Durcissement; « Hard-Grounds » et interruptions dans la sédimentation; Structure noduleuse; Perforations, 553. Conclusions, 555.

III. Limites du bassin de Paris; ses relations avec les différentes mers de l'Europe occidentale, 558. Conclusions, 562.

Je considérerai successivement dans ce chapitre :

I. Profondeur et conditions physiques de la mer crétacée.

II. Action dynamique des eaux de la mer crétacée dans le Bassin de Paris. Courants et traces diverses de leur action.

III. Limites du Bassin de Paris. Ses relations avec les différentes mers de l'Europe occidentale.

I. PROFONDEUR ET CONDITIONS PHYSIQUES DE LA MER CRÉTACÉE

Revue bibliographique. Les naturalistes anglais se sont occupés depuis longtemps des conditions physiques qui ont présidé au dépôt de la craie. Dans la revue bibliogra-

phique qui va suivre, je ferai connaître la manière de voir des principaux d'entre eux, ainsi que celles des rares géologues français qui ont exprimé une opinion sur ce sujet.

En 1833, Mantell fait remarquer que la nature des strates et les fossiles qui y sont inclus prouvent que la craie fut déposée dans les eaux calmes d'un océan profond [1].

En 1843, Austen [2] (R. A. C.) fait de la craie un dépôt de mer profonde formé dans un large océan.

Godwin-Austen [3], en 1858, écrit que A. d'Orbigny et E. Forbes voyaient dans la craie blanche pure un dépôt de mer profonde et ouverte. Il considère les formes les plus communes et les plus caractéristiques de la craie blanche comme *fragmentaires*, tandis que la nature des couches qui les renferment indique des *conditions de sédimentation tranquille ;* aussi est-il disposé à regarder la plus grande partie des restes organiques de la craie comme ayant été emportés des aires de faible profondeur, et dispersés dans les eaux profondes. Il emprunte quelques arguments aux Polypiers, Bryozoaires et Echinodermes, mais il faut bien reconnaître que ses preuves sont rarement décisives. Répondant à Ch. Lyell, qui considérait l'hypothèse de l'intervention des glaces pour le transport des galets de la craie d'Angleterre comme incompatible avec les conditions de climat, en raison de l'abondance des Céphalopodes cloisonnés, Godwin-Austen déclare qu'à toutes les époques, le globe doit avoir eu des zones climatériques. Aussi fait-il intervenir des *glaces côtières* pour transporter les roches trouvées dans la craie de Purley.

Dès 1863, Hébert [4] attribuait à la mer de la craie une profondeur assez faible pour que la craie durcie et tubulée du Bassin de Paris soit en relation avec un phénomène d'émersion.

Delesse [5], en 1866, comparait la température des eaux du Bassin de Paris à l'époque de la craie à celle du Gulf-Stream.

Selon W. Thomson [6] (1870), la plus grande ressemblance de la craie européenne et de la boue à Globigérines a lieu à une profondeur de 400 à 900 brasses.

Dans son célèbre discours présidentiel de 1871, Prestwich [7], s'appuyant sur des données physiques et paléontologiques, suppose que l'ancien océan crayeux était séparé de la mer arctique par une barrière de terres, circonstance à laquelle il devait sa température plus élevée et plus égale au fond.

En 1875, Whitaker [8] exprime l'opinion que la craie est un dépôt de mer profonde.

L'année suivante (1876) M. J. Murray [9] fait remarquer que les boues à Globigérines obtenues dans l'eau peu profonde ressemblent beaucoup plus à la craie que celles trouvées dans l'eau plus profonde, c'est-à-dire au-dessus de 1000 brasses.

La première note discordante est jetée en 1877 par Gwyn-Jeffreys [10] qui déclare que les Mollusques de la craie sont des formes d'eaux peu profondes et tropicales. Il estime à 40-50 br. la profondeur de la mer crétacée au-dessous de la ligne des basses eaux.

Cette idée de très faible profondeur d'eau fut appuyée en 1879 par M. Geikie [11]. Suivant ce savant, les eaux crétacées n'eurent probablement nulle part plus de quelques centaines de pieds sur l'emplacement de notre continent même à leur plus grande profondeur.

Les Eponges qui ont fourni les spicules des nodules siliceux de Trimmingham ont vécu, d'après M. J. Sollas [12], à des profondeurs de 100-400 brasses.

---

1. MANTELL. The Geology of the S. E. of England, p. 343 (1833).
R. A. C. AUSTEN. On the Geology of the South-East, etc., *Proc. Geol. Soc. of London*, vol. 4, p. 169 (1843).
3. GODWIN-AUSTEN. On a Boulder of Granite, etc., *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol. 14, p. 259 (1858).
4. ED. HÉBERT. Note sur la craie blanche, etc., *B. S. G. F.*, 2e S., vol. 20, p. 631 (1863).
5. DELESSE. Lithologie du fond des mers, etc., p. 418, Paris (1866).
6. W. THOMSON. On deep-sea Climates, *Nature*, vol. 2, pp. 257-261 (1870).
7. J. PRESTWICH. Anniversary Address, etc., *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol. 27, pp. LXIII (1871).
8. W. WHITAKER. Guide to the Geology of London, *Geol. Surv. of England and Wales*, p. 19 (1875).
9. J. MURRAY. Prelim. Rep. etc., *Proc. of Roy. Soc.*, vol. 24, p. 523 (1876).
10. GWYN-JEFFREYS. Address to the Section of Biology. *British Assoc.*, Plymouth, p. 85 (1877).
11. A. GEIKIE. Geogr. Evol., *Proc. of the Roy. Geogr. Soc.*, vol. 1. pp. 422-444 (1879).
12. J. SOLLAS. On the Flint Nodules of Trimmingham, etc., *Ann. and Mag. of Nat. Hist.*, 5e S., vol. 6, p. 395 (1880).

Wallich [1] fit remarquer l'année suivante que ce n'est pas dans les aires à Globigérines les plus pures que s'effectuent les dépôts se rapprochant le plus de la craie blanche. Il déclare que la profondeur à laquelle s'est déposée l'ancienne boue crayeuse est considérablement en excès sur la profondeur maxima (400 br). indiquée par M. J. Sollas pour la craie de Trimmingham.

En 1881, M. Lambert [2] considère la craie comme formée à de grandes profondeurs et dans des conditions de calme particulières.

Th. Fuchs [3], en 1883, tient pour impossible qu'un dépôt de Foraminifères pélagiques comme la craie blanche ait pu s'édifier en eau peu profonde.

De la comparaison de la craie et de la boue à Globigérines, Prestwich [4] conclut en 1886 que la profondeur de la mer dans laquelle la craie s'est déposée ne dépassait pas 2000 à 3000 pieds. Il admet même la possibilité d'une profondeur de 1000 à 2000 pieds. Selon lui, la pureté de la craie n'est due, ni à la grande profondeur de l'eau, ni à la grande distance de la terre, mais peut-être à ce que la mer crétacée était une mer fermée avec peu de courants, ou une mer d'archipel avec des îles dépourvues de rivières. La sédimentation était rapide. Dans le même chapitre, Prestwich reproduit l'opinion de M. Rupert-Jones que les Foraminifères de la craie sont tels que ceux qui vivent maintenant à des profondeurs de 100 br. ou un peu plus.

M. Peron [5], en 1887, considère la faune de la craie comme « très caractéristique des grands fonds océaniens »; il regarde les eaux de la mer crétacée comme ayant été « absolument calmes et profondes ».

La même année Melchior Neumayr [6] fait de la craie un dépôt de mer profonde.

M. Al. Agassiz [7] en 1888 définit la craie blanche un dépôt océanique ou d'eau profonde. Il mentionne le fait que le « Blake » a dragué à Nuevitas, à 994 br., « de la craie » récente que M. J. Murray a considérée comme se rapprochant plus de la craie blanche que tout ce qu'il a vu.

Dans sa note sur la Géologie de Devizes (1891), M. Jukes-Browne [8] déclare qu'il n'est pas certain que les sommets des plus hautes montagnes du Pays de Galles restèrent émergés à l'époque de l'Upper Chalk.

L'année suivante, le même auteur et M. J. B. Harrison [9], dans leur intéressant mémoire sur les Barbades, admettent avec M. W. Hill que la boue à Globigérines émergée des Barbades peut être comparée à la craie d'Angleterre (Grey, Middle and Upper Chalk).

M. A. R. Wallace [10] (1892), est d'avis que la mer crétacée était plus large que la Méditerranée. Il suppose l'existence d'une barrière de terres australes réunissant la Scandinavie au Groënland et arrêtant le Gulf-Stream. (*Il avait déjà exprimé cette opinion en 1880*). *La partie centrale de la mer* n'aurait pas eu plus de quelques milliers de pieds de profondeur et souvent beaucoup moins.

Dans les deux notes que j'ai publiées en 1891 [11], sur la craie du Nord et la boue à Globigérines, j'ai formulé la conclusion, en me basant principalement sur les éléments

---

1. WALLICH. Supplem. Notes on the Flint etc., *Ann. and Mag. of Nat. Hist.* 5e S., vol. 8, pp. 46-59 (1881).

2. J. LAMBERT. Note sur l'étage tur., etc., *Bull. Soc. Sc. hist. et nat. de l'Yonne*, vol. 35, p. 158 (1881).

3. TH. FUCHS. Welche Ablagerungen, etc. ? *Neues Jahrb. für Min.*, Beilage-Band II, p. 549 (1883).

4. J. PRESTWICH. Geology chemical, etc., vol. 2, p. 326 (1886).

5. PERON. Notes pour servir à l'histoire, etc. *Bull. Soc. Sc. hist. et nat. de l'Yonne*, vol. 41, p. 163 (1887).

6. M. NEUMAYR. Erdgeschichte. vol. 2, p. 341 (1887).

7. A. AGASSIZ. Three Cruises of the Un. States Coast, etc., vol. 1, p. 148 (1888).

8. A. J. JUKES-BROWNE. The Geol. of Devizes, *Proc. Geol. Ass.*, vol. 12, p. 263 (1891).

9. A J. JUKES-BROWNE and J. B. HARRISON. On the Geology of Barbados, *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol. 48, p. 179 (1892).

10. A. R. WALLACE. Island Life, 2 éd., p. 94 (1892).

11. L. CAYEUX. La craie du Nord de la France et la boue à Globigérines, *Ann. Soc. G. N.*, vol. 19, p. 102 (1891).

L. CAYEUX. La craie du Nord est bien un dépôt terrigène, id., p. 258-259 (1891).

minéraux de la craie et sur des considérations stratigraphiques, que les craies du Nord s'étaient déposées sous une « faible profondeur d'eau. »

Cette opinion a été critiquée l'année suivante par M. de Grossouvre [1] qui estime que la craie du Bassin de Paris s'est déposée sous « un millier de mètres au moins ». On verra plus loin par quel raisonnement M. de Grossouvre est arrivé à cette notion de la profondeur du Bassin de Paris.

La même année (1892) parut en Angleterre la seconde édition du très remarquable livre de M. Jukes-Browne « The Building of the British Isles » où il est longuement question de la craie. L'auteur en fait un dépôt océanique, et considère la mer crétacée européenne comme ayant été beaucoup plus chaude que l'Atlantique Nord. Il attribue aux différents terrains les profondeurs suivantes :

LOWER GAULT.	50-70 brasses.
UPPER GAULT	100 br. et au-dessus.
UPPER GREENSAND. . .	100-300 br.
CHALK MARL	Formée en eau plus profonde que le Gault.
LOWER CHALK	300-500 br.
MIDDLE CHALK	Déposé dans une mer profonde à une distance considérable de la terre, avec courants venant du Nord.
CHALK ROCK.	Formé dans une eau beaucoup moins profonde.
UPPER CHALK	Profondeur supérieure à 1.000 br.

C'est la première échelle bathymétrique indiquée pour le Crétacé.

La question de la profondeur de la mer crétacée a été traitée avec beaucoup d'ampleur par M. Fraser Hume, une première fois dans son travail « The Genesis of the Chalk » [2], et une seconde fois dans sa note « Oceanic Deposits Ancient and Modern » [3]. Les éléments que M. Hume a fait entrer en ligne de compte pour arriver à la connaissance des conditions bathymétriques de la craie sont tirés de sa composition chimique, de ses caractères lithologiques, de la considération des organismes grands et petits, etc. Les conclusions auxquelles il s'est arrêté pour les grandes divisions de la craie à partir du Cénomanien sont les suivantes :

Cénomanien. Sables verts supérieurs : 150 br. de profondeur moyenne.

Marne chloriteuse à *Pecten asper* : 100 br. au moins.

Craie marneuse et craie grise (zone à *H. subglobosus*). M. Hume estime la profondeur supérieure à 400-500 br., ou au-dessus, à la fin de la période.

Turonien. Environ 600 br. L'approfondissement de la mer est continu depuis le début du Turonien jusque vers le milieu de l'assise à *T. gracilis*, puis il y a exhaussement du fond jusqu'au Chalk-Rock.

Sénonien. Le mouvement d'affaissement recommence; il continue jusqu'à la zone à Marsupites et M. Hume considère comme possible que cette zone corresponde à la profondeur maxima qu'il n'a pas traduite par un chiffre comme pour les autres étages. La courbe des degrés bathymétriques qu'il a tracée

1. DE GROSSOUVRE. Sur les cond. de dépôt, etc., *Ann. Soc. G. N.*, vol. 20, p. 8 (1892).
2. F. HUME. *Proc. of the Geologist's Association*, vol. 13, p. 7, pp. 211-246 (1894).
3. F. HUME. *Nat. Science*, vol. 7, pp. 270-276 et 385-394 (1895).

montre le point correspondant à la craie à Marsupites un peu plus bas que celui de la dépression maxima du Turonien. La profondeur irait ensuite diminuant pour la craie à Bélemnitelles avec silex, et s'accusant au contraire pour celles qui en sont dépourvues.

Tous ces documents se rapportent à la craie d'Angleterre. M. Hume fait de la mer crétacée une sorte de méditerranée ouverte dont la profondeur aurait pu être non-seulement de 500 br. mais de 1000 et même 2000 brasses. Les dépôts effectués aux plus grandes profondeurs seraient rencontrés aujourd'hui, soit sous la mer du Nord, soit sous les alluvions de la grande plaine du Nord de l'Europe.

En utilisant les résultats obtenus par M. F. Hume dans son travail « Chemical and micromineralogical Researches on the Upper cretaceous Zones of the South England, » (1893), et les études de M. W. Hill, M. Jukes-Browne [1] est revenu en 1894 sur la question de la profondeur de la mer crétacée d'Angleterre aux différentes époques :

Le Chalk Marl (zone à *A. varians*) se serait déposé de 200 à 500 br.
Le Lower Chalk, de 400 à 600 br.
La craie à *T. gracilis* du Hampshire, de 700 à 800 br.

La profondeur n'aurait guère diminué que de 100 à 150 br. à l'époque du Chalk-Rock. M. Jukes-Browne ne donne pas de chiffre pour la craie sénonienne, mais il admet que son dépôt a été lent et qu'elle s'est formée à une profondeur considérable. Le chiffre de 800 br. admis pour la craie à *T. gracilis* fait pressentir un nombre forcément supérieur à 1000 br. pour la craie blanche. Le fait que certaines variétés de boues à Globigérines ressemblent à la craie plus que tout autre dépôt le conduit à inférer que cette ressemblance implique des conditions physiques similaires. M. Jukes-Browne va plus loin encore, et il est d'avis que si la craie ne montre pas de tendance à passer à la boue rouge, c'est grâce à l'absence de la matière volcanique.

Profondeur du Bassin de Paris déduite de la considération des Invertébrés métazoaires de la craie. Si l'on veut bien se reporter aux conclusions que j'ai formulées à la suite de l'étude détaillée des différents groupes d'organismes qui ont vécu dans la mer crétacée (p. 517), on verra que parmi les nombreux genres d'Invertébrés métazoaires qui ont persisté jusqu'à nos jours, il n'en est aucun qui vive exclusivement à une profondeur supérieure à 150 br., et que le plus grand nombre occupent des fonds de moins de 150 br. Une profondeur de 150 br. pourrait donc satisfaire aux exigences des naturalistes qui sont partisans de l'invariabilité dans le temps de la distribution bathymétrique des organismes. On a vu que des formes comme les Oursins qui ont si souvent servi à revendiquer le bénéfice d'une très grande profondeur pour la mer crétacée doivent recevoir une interprétation nouvelle, en raison des coquilles parasites qu'ils supportent et

1. A. J. JUKES-BROWNE. The microscopic Structure, etc. *Proc. of the Yorkshire geol. and polyt. Soc.*, vol. 12, part. 5, pp. 385-395 (1894).

qui témoignent de conditions de vie radicalement différentes de celles des Oursins des abysses.

Ma pensée est que la profondeur du Bassin de Paris est restée inférieure à 150 br., même dans les périodes de plus grande dépression, correspondant au dépôt de la craie à *M. c. anguinum* et de la craie blanche à Bélemnitelles. Bref, *je considère la profondeur maxima du Bassin parisien comme beaucoup plus faible que la profondeur minima à laquelle on trouve aujourd'hui la boue à Globigérines.*

On ne peut espérer de pouvoir jamais traiter cette question avec une précision mathémathique ; je me borne à donner mon opinion sur la profondeur maxima approximative du Bassin de Paris. Les courbes que je tracerai plus loin montrent que la profondeur du Turonien se serait tenue bien au-dessous de cette limite et que la base, la partie moyenne et le sommet du Sénonien se trouvent dans les mêmes conditions.

J'insiste tout particulièrement sur ce point que les chiffres qui précèdent ont pour but principal de *fixer les idées* et de montrer ce que j'ai entendu par très faible profondeur en parlant de la craie du Nord.

Je vais maintenant passer à des considérations d'ordre stratigraphique et tectonique qui prêtent un grand appui aux déductions bathymétriques de l'étude des organismes.

ARGUMENTS D'ORDRE STRATIGRAPHIQUE ET TECTONIQUE FAVORABLES A L'IDÉE DE FAIBLE PROFONDEUR DU BASSIN DE PARIS. 1° On peut observer en divers points de la ceinture du Bassin de Paris des faits d'ordre stratigraphique que je ne crois pas compatibles avec l'idée d'analogie dans les conditions de dépôt de la craie et de la boue à Globigérines. Ces faits sont de plusieurs natures :

A. **Phénomènes de discordance et de ravinement entre deux craies consécutives.** Le mémoire d'Hébert sur les ondulations de la craie du Nord de la France comporte l'observation de plusieurs faits du plus haut intérêt.

a. Entre Fécamp et Dieppe, à la falaise occidentale de Veulette, Hébert a signalé une discordance de stratification entre la craie à *M. c. testudinarium* et la craie à *M. c. anguinum* : « La surface de la craie à *M. c. testudinarium* coupe obliquement les bancs de silex de cette craie, et le banc limite durci et percé de tubulures est par suite formé par plusieurs couches successives [1] ». Hébert en a conclu que la craie à *M. c. testudinarium* avait subi un dérangement avant le dépôt de la craie qui la surmonte et il a même admis l'existence d'un rivage en ce point. Je ne crois pas qu'il y ait aujourd'hui un seul géologue français qui souscrive à cette dernière opinion [2].

1. ED. HÉBERT. Op. cit., p. 522 (1875).

2. Je ne sais si l'étude sur place commande l'adhésion immédiate à l'interprétation d'Hébert; en tout cas, on peut se poser cette question : Les bandes de silex marquent-elles bien la stratification de la craie? En cas d'affirmative, la discordance est évidente; dans l'hypothèse contraire, qui n'a rien de très invraisemblable *à priori*, la discordance ne serait qu'apparente.

b. Hébert a observé que la craie à silex zonés (partie inférieure de la craie à *M. c. anguinum*) a été ravinée par la mer du *M. c. anguinum* à silex cariés (division supérieure de l'assise). Cet autre phénomène important s'observe bien sur la falaise orientale de Saint-Valéry, où la craie à silex cariés coupe en biais les roches de la craie à silex zonés.

A l'intérieur du Bassin de Paris, M. Gosselet [1] a tout récemment signalé un curieux phénomène de ravinement de la craie blanche qui forme le substratum de la craie phosphatée à Hem-Monacu, près Péronne (Somme).

Ces phénomènes de discordance et de ravinement sont on ne peut plus favorables à l'opinion que je défends ici, à savoir que la craie s'est déposée dans de toutes autres conditions de profondeur que les dépôts pélagiques actuels.

B. Lacunes dans la série des dépôts. Il en existe dans les falaises de la Manche et surtout au N. du Bassin de Paris.

a. Falaises de la Manche. Hébert a montré qu'entre Le Havre et Fécamp, la craie marneuse à *I. labiatus* apparaît entre Cauville et Heuqueville ; elle n'est représentée en ce point que par des couches très peu épaisses comprises entre la craie glauconieuse et la craie à *M. c. testudinarium*. Hébert en a conclu que l'absence de la craie à *I. labiatus* à l'ouest montre qu'un mouvement d'exhaussement avait émergé la partie occidentale de cette falaise. Y a-t-il eu réellement émersion? La découverte de la craie à *I. labiatus* à Honfleur permet de résoudre la question d'une façon négative pour la base du Turonien, mais on peut accepter la conclusion d'Hébert pour la craie à *H. planus* qui n'est pas connue entre les craies à *I. labiatus* et à *M. c. testudinarium*. Les craies de ces deux assises, ainsi mises directement en contact, montrent-elles des différences essentielles en rapport avec cette importante lacune? En aucune façon.

On pourrait proposer une interprétation des faits, différente de celle présentée par Hébert et admettre que la mer n'a pas quitté la région. Deux explications se présentent alors à l'esprit : α. Il y a eu interruption dans la sédimentation ; β. la craie a été déposée, puis enlevée. Quand la sédimentation s'interrompt dans les grandes profondeurs des océans actuels, le fond de la mer est un « *hard ground* ». On a maintes preuves qu'il n'en était pas autrement à l'époque crétacée, et que l'interruption momentanée du dépôt de la vase crayeuse à la base de la craie à Bélemnitelles, a laissé entre autres traces l'existence d'un durcissement de la craie à *M. c. anguinum*. La craie à *I. labiatus* en question ne montre rien de pareil à son contact avec la craie à *M. c. testudinarium*; aussi je rejette sans hésitation la première explication. Quant à la seconde, je ferai remarquer que l'enlèvement de tout un dépôt sur le fond de la mer évoque immédiate-

---

1. J. GOSSELET. Des conditions, etc. *C. R. Ac. Sc.*, vol. 123, p. 291 (1896).
J. GOSSELET. Note sur les gîtes, etc. *Ann. Soc. G. N.*, vol. 24, pp. 109-135 (1897).

ment l'idée de conditions vraiment tout autres que celles que les explorations sous-marines ont relevées pour les aires couvertes de sédiments pélagiques.

Quel que soit le phénomène auquel il convient de rapporter l'absence de la craie à *H. planus*, il faut admettre que la région considérée a été placée, en raison même de cette lacune, dans des conditions essentiellement différentes de celles qui président à la genèse des dépôts actuels des mers profondes, conditions qui n'ont pas altéré sensiblement, je le répète, les caractères propres de la craie à *M. c. testudinarium*.

b. Nord du Bassin de Paris. Dans mes notes préliminaires consacrées à l'étude comparée de la craie et de la boue à Globigérines, j'ai déjà insisté sur l'importance des lacunes que présente la série crétacée vers la frontière belge : A Chercq, près de Tournay, l'assise à *I. labiatus* fait entièrement défaut et les couches à *T. gracilis* reposent directement sur un conglomérat résultant de la destruction des marnes à *Act. plenus* et parfois même sur le Tourtia de Tournay.

La région connue sous le nom de « Golfe de Mons » offre un phénomène du même genre et plus intéressant encore. La craie à *M. breviporus* qui a une vingtaine de mètres à Valenciennes présente une réduction d'épaisseur *progressive* vest l'est, et disparaît tout à fait dans le golfe de Mons. La craie à *M. c. testudinarium* dont l'épaisseur est notable dans le Nord n'y pénètre pas; sa puissance diminue progressivement vers l'est. A l'intérieur du « golfe » on passe de l'assise à *T. gracilis* à la craie à *M. c. anguinum* sans dépôt intermédiaire.

On peut imaginer telle explication que l'on voudra à ce phénomène, elle plaide toujours en faveur de l'idée de très faible profondeur d'eau nécessaire au dépôt de la craie. Deux hypothèses seulement peuvent entrer en ligne de compte : Ou bien il y a eu émersion, ou bien la lacune résulte d'une puissante érosion sous-marine. Envisageons d'abord la première hypothèse (je l'ai admise dans la première partie de ce mémoire, p. 108.) C'est la plus vraisemblable en raison de la diminution d'épaisseur que les deux assises montrent, en se dirigeant de Valenciennes vers le bassin de Mons, et de l'existence de ravinements très marqués à la surface de la craie à *T. gracilis*. La craie à *M. c. anguinum* du bassin de Mons ne repose sur l'horizon à *T. gracilis* que par l'intermédiaire d'une très mince couche glauconieuse. Il est remarquable qu'elle se présente dès sa base pour ainsi dire à l'état de craie blanche normale et que le phénomène d'émersion n'ait pas laissé une profonde empreinte sur la physionomie du dépôt. *Dans ce cas, il est de toute évidence que la vase crayeuse pouvait se déposer avec ses caractères ordinaires aussitôt après le retour de la mer et dans une eau très peu profonde.*

La seconde hypothèse conduit au même résultat. Où trouver une action mécanique assez puissante pour détruire sous l'eau des dépôts correspondants à deux assises, si ce n'est dans une eau de très faible profondeur?

Il ressort de la considération des particularités stratigraphiques que je viens d'étudier

qu'en plusieurs points du bassin de Paris la boue crayeuse — relevant de différents niveaux — a conservé son caractère normal tout en étant affectée, soit par un phénomène d'émersion, soit par un phénomène de simple exhaussement du fond suivi d'une puissante érosion sous-marine. Cette vase crayeuse est le produit d'eaux d'une profondeur particulièrement faible.

2° Il est curieux que les géologues qui attribuent au bassin de Paris une grande profondeur de 1000^{m} et plus n'aient pas été frappés de l'absence absolue de grands accidents qui sembleraient devoir être la conséquence du mouvement qui a déterminé l'émersion complète du fond de la mer. Si l'on songe que le Jurassique qui formait le fond et la bordure du bassin avait déjà été exondé avant le dépôt de la craie, qu'il a dû ensuite participer à un affaissement tel que plusieurs centaines de mètres de craie ont pu se déposer sous une épaisseur d'eau d'un millier de mètres, et qu'enfin le phénomène d'émersion supracrétacée a dû revêtir une ampleur exceptionnelle, on peut s'étonner que le bassin de Paris ne fournisse pas de témoignage d'une histoire aussi mouvementée. On ne peut pas avancer qu'il y ait là une impossibilité matérielle, mais il y a tout au moins une singularité.

Si l'on considère les rapports du bassin de Paris avec celui de Mons à la fin de l'époque crétacée, la profondeur attribuée au premier devient tout à fait invraisemblable et inadmissible. On sait que la région de Mons montre une série marine continue entre le Crétacé et le Tertiaire. L'émersion qui a chassé la mer du bassin de Paris, avant le dépôt du calcaire pisolithique n'a donc pas affecté le golfe de Mons. Dans l'hypothèse d'une profondeur de 1.000 mètres pour le bassin de Paris, il faut admettre que la craie a continué à se déposer dans celui de Mons dans les mêmes conditions bathymétriques alors que le fond du bassin de Paris subissait une élévation d'un millier de mètres, et sans que la région qui a servi de « charnière » — le Nord de la France — ait conservé la moindre preuve d'un événement aussi important. Il faut encore accepter que le bassin de Mons a été émergé à la fin de l'époque turonienne pendant que le bassin de Paris restait sous une profondeur d'eau d'un millier de mètres, puisqu'il a subi un affaissement correspondant à ce chiffre pour recevoir les dépôts sénoniens à partir de la craie à *M. c. anguinum*, et qu'enfin il s'est de nouveau relevé pour recevoir des sédiments de mer très peu profonde comme ceux qui représentent la fin de la période crétacée et le début de l'ère tertiaire, et tout cela sans que les dépôts n'aient enregistré, par quelque grande fracture, le mouvement qui les a affectés. C'est peut-être beaucoup demander à la plasticité des terrains de tous âges qui auraient eu à subir le contre-coup de phénomènes de pareille ampleur.

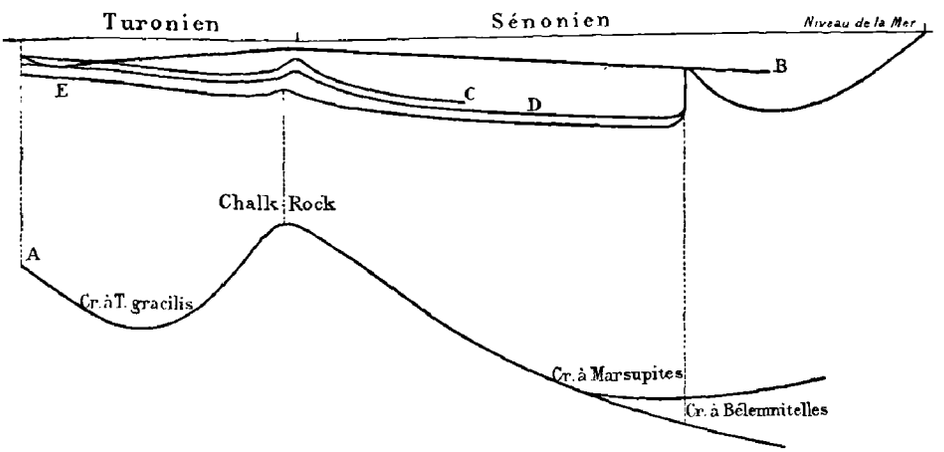
Je conclurai en disant que la notion de très faible profondeur — moins de 150 brasses — de la mer crétacée du bassin de Paris me paraît seule compatible avec l'allure régu-

lière des terrains qui ont participé aux divers mouvements qui ont marqué la fin de l'époque secondaire, dans la France septentrionale et le Sud de la Belgique.

Courbes des profondeurs du Bassin de Paris aux différentes périodes du dépôt de la craie. M. F. Hume a donné dans son travail « The Genesis of the Chalk » un schéma indiquant les variations de profondeur de la mer crétacé, au Sud de l'Angleterre. La courbe a été tracée à l'aide de chiffres représentant les profondeurs présumées de chaque assise. Je suis loin d'être en mesure de faire entrer en ligne de compte des données aussi précises pour le bassin de Paris. La considération des principaux groupes organiques de la craie m'a permis de fixer, d'une façon approximative, la profondeur maxima nécessaire pour que tous les genres d'Invertébrés métazoaires crétacés, qui ont persisté jusqu'à nos jours, aient pu vivre à l'époque de la craie. Dans l'état actuel de nos connaissances, c'est la seule donnée *numérique* qui nous soit accessible pour le bassin de Paris. Les courbes que je vais donner n'ont d'autre but que d'exprimer l'idée que je me suis faite des profondeurs relatives aux différents niveaux, après une longue étude de la craie, et en supposant la profondeur absolue maxima voisine de 200 m. L'avenir dira si la solution de la question comporte une moins grande somme d'impression personnelle. On ne peut introduire plus de précision dans le problème, sans admettre que la distribution bathymétrique des différents types de sédiments et des organismes n'a pas varié depuis l'époque crétacée. Or, il y a des raisons de croire que celle des sédiments a dû changer. Pour les organismes les avis sont partagés, et ils le seront peut-être toujours ; l'invariabilité bathymétrique de leur distribution est absolument hypothétique.

Angleterre. La courbe A empruntée au travail de M. Hume se rapporte à la craie du Sud de l'Angleterre. Elle accuse une grande réduction de profondeur à l'époque du Chalk-Rock. Elle montre que la dépression maxima correspond à la zone à *T. gracilis* pour le Turonien, et à

Fig. 19. Courbes des profondeurs aux époques turonienne et sénonienne.



A. Sud de l'Angleterre.
B. Sud-Ouest du Bassin de Paris.
C. Département du Nord.
D. Somme et centre du Bassin.
E. Yonne.

la craie à Marsupites pour le Sénonien, mais seulement dans le cas où la craie blanche à Bélemnitelles est pourvue de silex. La profondeur continue à s'accroître dans le Campanien lorsque les silex manquent. (J'ai donné à la p. 525 les chiffres des profondeurs afférentes à chaque assise.)

Sud-Ouest du Bassin de Paris. La courbe B indique les profondeurs relatives au S.-O. du Bassin de Paris. Le maximum de profondeur pour le Turonien correspond à la craie à *I. labiatus*; il n'est pas réalisé à la limite même du Cénomanien et du Turonien, mais pendant le dépôt de l'assise à *I. labiatus*. Le minimum de profondeur correspond à la séparation des étages turonien et sénonien.

Nord. La courbe C montre un accroissement régulier de la profondeur avec grande réduction à la même époque que pour le S.-O. du Bassin.

Somme et centre du Bassin. La courbe D se comporte comme la précédente jusqu'au Campanien. Le début de l'assise à Bélemnitelles est marqué dans la Somme (l'Aisne, l'Oise et le Pas-de-Calais) par un mouvement d'exhaussement suivi du dépôt de la craie phosphatée. Comme la sédimentation a été interrompue pendant le mouvement ascensionnel du fond, ce phénomène se traduit sur la figure par une remontée brusque. La courbe devrait être arrêtée à sa partie la plus déclive pour la région de la Somme. Je l'ai prolongée pour noter la diminution de profondeur, puis l'émersion du fond indiquées par les caractères de la craie des environs de Paris.

Yonne. La courbe E relative à l'Yonne est à peu de chose près pareille à la précédente. Je l'ai soudée à celle de la Somme parce que la base du Campanien de cette région accuse à son tour une réduction de profondeur avec développement de phosphate de chaux.

Remarques. 1. Les points d'inflexion indiquant le minimum de profondeur ne se correspondent pas pour toutes les courbes. Le mouvement d'exhaussement si prononcé dans le Nord, à la jonction du Turonien et du Sénonien, a laissé des traces jusque dans la Somme. Il est postérieur à celui du Chalk-Rock d'Angleterre. La légère remontée que j'ai indiquée pour l'Yonne est hypothétique ; elle est en rapport avec la structure noduleuse de la craie à *H. planus* et avec l'existence de grands spicules de Spongiaires. Elle serait contemporaine de celle que M. Hume a dessinée pour le Chalk-Rock.

2. Le Campanien de Touraine ne semble pas avoir subi le contre-coup du mouvement qui a marqué le début de cet étage en d'autres points du bassin.

3. *Les phosphates se sont développés aux périodes de grande rupture d'équilibre de la mer* (voir p. 432).

A. Ceux du département du Nord se trouvent au sommet de la craie à *M. breviporus* et à la base de la craie à *M. c. testudinarium;* ils correspondent à la forte inflexion de la courbe C. Le même niveau dans la Somme (courbe D) est plus phosphaté que

les autres craies entre lesquelles il est compris. C'est une période de *régression* de la mer crétacée qui abandonne le Bassin de Mons.

B. La rupture d'équilibre est plus marquée pour la craie à Bélemnitelles. Elle correspond au grand mouvement de transgression de la mer campanienne.

Opinions de M. de Grossouvre sur la profondeur du Bassin de Paris. J'ai dit dans ma note préliminaire sur la « Craie du Nord de la France et la boue à Globigérines » que les craies du Nord « se sont déposées à une petite distance des côtes et sous une faible profondeur d'eau » [1]. J'ai ajouté dans un second travail sur le même sujet, que dans mon esprit cette faible profondeur « ne peut correspondre à un chiffre déterminé » et que « les limites entre lesquelles peut varier la profondeur d'eau que je qualifie de faible peuvent être assez grandes » [2].

M. de Grossouvre [3] a trouvé que la question ainsi posée était « beaucoup trop vague ». Il est incontestable qu'un chiffre faisant connaître la profondeur exacte de la mer crétacée mériterait un meilleur accueil que cette vague formule. Je n'en ai pas donné parce que mes recherches n'étaient pas assez avancées pour arrêter une solution définitive au problème posé, et surtout pour l'excellente raison qu'il ne comporte pas de solution mathématique ainsi que je l'ai dit plus haut.

Pour déterminer la profondeur approximative de la mer crétacée, M. de Grossouvre a recours à la distribution actuelle des organismes en profondeur. Il reproduit un tableau des zones bathymétriques données par M. Douvillé dans son cours de paléontologie de l'Ecole des Mines. Ce tableau comprend sept zones dont la dernière commence au-dessus de 1000 mètres et présente comme caractéristique « l'abondance des Eponges siliceuses ».

« Si maintenant, dit M. de Grossouvre, on se demande dans quelle case de ce tableau devra être placée la craie avec les nombreuses éponges siliceuses qui l'ont peuplée et qui sont représentées aujourd'hui par les lits de silex maintes fois répétés sur la hauteur des sédiments, avec sa faune d'échinides de mer profonde (Salenia, Holaster), je crois que l'on n'hésitera pas à la classer dans la septième zone, et à en conclure qu'elle s'est déposée sous une profondeur d'un millier de mètres au moins ».

Je ne pense pas que le problème de la profondeur de la mer crétacée comporte une solution aussi simple. Les « Eponges siliceuses » considérées *en bloc* ne peuvent servir à trancher la question. Pour ce qui est des Echinides, j'ai démontré plus haut (p. 507) qu'on a des raisons de croire que les formes de la craie vivaient dans des conditions tout autres que les genres voisins actuels.

---

1. L. CAYEUX. La craie du Nord de la France et la boue à Globigérines, *Ann. Soc. G. N.*, vol. 19, p. 102 (1891).

2. L. CAYEUX. La craie du Nord est bien un dépôt terrigène, etc., id., p. 259 (1891).

3. DE GROSSOUVRE. Op. cit., p. 5 (1892).

Il ne suffit pas de parler d'Éponges siliceuses nombreuses pour évoquer l'idée de profondeur d'au moins mille mètres [1]. On pourra s'en convaincre en se reportant aux développements que j'ai consacrés au groupe des Spongiaires au chapitre XIII (pp. 446 et suiv.). Pareil raisonnement conduirait à attribuer une profondeur d'un millier de mètres au moins à la mer qui a déposé la craie à *I. labiatus* du S.-O. du bassin parisien, la craie à *T. gracilis* des environs de Rouen et certaines craies de Meudon sous prétexte que ce sont les craies les plus riches en débris de Spongiaires siliceux que j'ai observées dans le bassin de Paris. Quelle serait alors la profondeur de la mer à l'époque de la craie blanche à *Micraster cor anguinum ?*

On ne pourrait non plus refuser le bénéfice de cette profondeur à la « craie » siliceuse campanienne du S.-O. qui est souvent un produit presque exclusif de l'activité des Spongiaires. Les nombreuses roches à spicules que j'ai étudiées dans la première partie de ce travail se réclameraient également des mêmes conditions bathymétriques. Or l'une d'elles, le *Spongolithe de Bracquegnies* (p. 99), *n'est formée que de spicules d'Eponges siliceuses, bien qu'elle soit intercalée dans des couches qui étaient à l'origine des sables littoraux.*

Etant données la grande diffusion des débris de Spongiaires siliceux et leur abondance à des *profondeurs très diverses,* on pourrait tirer de la considération des « Eponges siliceuses » toutes les conclusions que l'on voudrait sur la profondeur de la mer où elles ont vécu. Les spicules ne peuvent servir à donner des indications, au point de vue bathymétrique, que si on connaît les groupes entre lesquels ils se répartissent. Même dans ce cas, il ne faut les utiliser qu'avec prudence, en ne perdant jamais de vue la réserve si sage de M. J. Sollas, que les Spongiaires ont pu vivre en d'autres temps à des profondeurs différentes de celles qu'ils affectionnent aujourd'hui.

Pour ces différentes raisons, je considère comme non fondée la conclusion de M. de Grossouvre que la craie « s'est déposée sous une profondeur d'un millier de mètres au moins ».

La longévité d'un grand nombre d'organismes de la craie est incompatible avec l'idée de grandes variations dans la profondeur de la mer entre le Turonien inférieur et le Sénonien supérieur. MM. J. Lambert et Peron à qui l'on doit de très remarquables études sur la craie de l'Est et du S.-E. du bassin de Paris ont signalé la longévité de nombreux fossiles crétacés. M. J. Lambert écrivait en 1881 :

« Les espèces fossiles, au milieu de sédiments toujours semblables ont continué à vivre pendant

---

1. Les Éponges siliceuses sont parfois très répandues dans les mers actuelles à de très faibles profondeurs. A Kerguelen, à 120 brasses, plus de cent spécimens de *Rossella antarctica* furent recueillis dans un seul coup de filet. A Zébu (Philippines), un grand nombre d'*Euplectella* (*Hexactinellidæ*) et d'autres Éponges ont été trouvées à 100 brasses.

de longues périodes.... Toutes celles qui peuplèrent au début les bas-fonds de la mer turonienne, franchissant les limites de plusieurs zones, sont venues lentement, et pour ainsi dire une à une, s'éteindre à d'immenses intervalles dans la série des temps crétacés [1]. »

Dans le tableau de « l'Unité du terrain de craie » que M. Peron a tracé de main de maître, je relève le passage suivant :

« Plus nous étudions les fossiles de ce terrain, plus nous sommes convaincu de ce fait qu'un grand nombre d'espèces ont parcouru toutes, ou presque toutes, les époques de la craie sans présenter aucune variation sensible.... Toutes ces espèces ont vécu dans presque tous les étages de la craie, franchissant notamment la limite de la craie turonienne et de la craie sénonienne et ayant apparu même, à peu près en totalité, dès la craie la plus ancienne. Elles n'ont pu évidemment se perpétuer ainsi qu'en se retrouvant d'une facon continue dans les mêmes conditions biologiques. Leur présence simultanée dans toutes les assises successives montre clairement combien sont étroits les liens qui unissent ces assises.... Tout cet ensemble constitue incontestablement une seule et même faune [2]. »

Les conditions biologiques invariables réclamées par M. Peron pour assurer la longévité des espèces pendant toute la durée du dépôt de la craie peuvent-elles se concilier avec de grands changements dans la profondeur du bassin pendant les époques turonienne et sénonienne? je ne le crois pas. Elles impliquent l'idée de conditions bathymétriques constantes, ou variables dans de faibles limites, tout au moins dans le temps. Cette déduction est conforme à l'opinion que je me suis faite de la profondeur du bassin de Paris par l'étude d'ensemble de ses dépôts, et notamment par la considération de leurs Invertébrés métazoaires. C'est cette opinion que j'ai essayé de traduire par les courbes de profondeur de la p. 531.

D'importantes variations dans la proportion du résidu minéral des craies n'ont pas d'influence bien marquée sur les organismes. Conséquences. Le Crétacé supérieur du bassin de Paris offre deux démonstrations de cette proposition.

1. Celui du département du Nord est particulièrement remarquable par le facies spécial que présentent les craies à *M. breviporus* (partie supérieure) et à *M. c. testudinarium* (base). Elles renferment jusqu'à près de 10 °/₀ de minéraux. Ces mêmes niveaux considérés dans le Bray, l'Est et le Sud-Est du bassin se présentent dans de toutes autres conditions. Le résidu minéral y est négligeable. La première explication qui se présente à l'esprit pour rendre compte de différences aussi tranchées est que la région centrale, l'Est et le Sud-Est du bassin correspondent à des profondeurs *beaucoup plus grandes* que le Nord. Si cette opinion répond à la réalité des faits, de telles différences ont dû marquer profondément leur empreinte sur les organismes qui ont vécu sur le fond de la mer comme les Oursins et les Mollusques. On n'a rien signalé de pareil à ma connaissance.

---

1. J. LAMBERT. Note sur l'étage turonien, etc. *Bull. Soc. des Sc. hist. de l'Yonne*, vol. 35, p. 159 (1881).
2. PERON. Notes pour servir à l'histoire, etc. id., vol. 41, p. 163 (1887).

Faut-il admettre que *M. breviporus*, *H. planus*, *M. c. testudinarium*, les *Inoceramus* et d'autres formes prospéraient également dans la craie terrigène du Nord et dans celle du S.-E. du bassin de Paris considérée comme un dépôt comparable à celui des « grands fonds océaniens ». Pour ma part, je ne saurais souscrire à l'idée d'une pareille plasticité des espèces de fond, surtout quand on doit la supposer pour tout un ensemble d'organismes.

On peut répéter cette démonstration en considérant les rapports des organismes, non plus dans l'espace mais dans le temps. Quand on étudie comme l'a fait M. de Mercey [1], les rapports paléontologiques de la craie à *M. breviporus* avec les différentes assises de notre craie turonienne et sénonienne, on constate que la parenté de la faune de Mollusques de la craie à *M. breviporus* et de la craie à *M. c. testudinarium* est des plus étroite même dans le Nord. M. de Mercey a reconnu que sur 32 espèces de la première, il y en a 29 qui passent dans la seconde, c'est-à-dire 91 °/₀. Quelques-uns de nos confrères d'Angleterre admettent que la craie noduleuse à *H. planus* correspond à des eaux beaucoup moins profondes que les craies à *T. gracilis* et à *M. c. testudinarium* (voir schéma de M. Hume, p. 531) ; dans le Nord de la France où le sommet du Turonien porte l'empreinte d'un mouvement d'exhaussement bien plus prononcé qu'en Angleterre, 91 °/₀ de ses espèces de Mollusques se retrouvent dans la craie blanche sénonienne. N'est-ce pas la preuve que la profondeur n'a certainement varié que dans de très faibles proportions malgré l'apparence du contraire.

La grande uniformité de la faune, dont a bénéficié le Nord à l'époque du Turonien supérieur et du Sénonien inférieur, prouverait plutôt que *les variations de composition qui séparent les craies en question du Nord et des autres régions sont liées à des différences d'éloignement du rivage, bien plus qu'à des conditions bathymétriques très dissemblables.* Il n'y a, à mon sens, aucune distinction radicale à faire entre les profondeurs qui ont présidé au dépôt des craies terrigènes à *M. breviporus* et *M. c. testudinarium* du Nord et celles des autres points du bassin de Paris.

2. Le Sud-Ouest du bassin conduit à la même conclusion. Considérons par exemple le Santonien de cette région. Si on l'étudie successivement sur les bords de la Loire à Langeais, Tours, Cangey, puis dans la vallée du Loir à Saint-Paterne, Vendôme et Châteaudun, on constate que le résidu minéral parfois supérieur à 20 °/₀ à l'ouest atteint au plus la proportion de 1 °/₀ dans la haute vallée du Loir. Le changement est radical comme on voit. Quel retentissement a-t-il sur la constitution organique des dépôts ? Il n'y en a pas d'apparent. De Langeais à Châteaudun, le calcaire est uniformément composé de Bryozoaires, abstraction faite des minéraux. Si l'épuration des sédiments était consécutive d'un approfondissement notable de la mer, la composition

1. N. DE MERCEY. Rem. sur la classif., etc. *B. S. G. F.*, 3ᵉ S., vol. 7, p. 361 (1879).

organique des calcaires ne revêtirait pas une aussi grande uniformité. Elle devrait se modifier au fur et à mesure qu'on s'éloigne des rivages. La conclusion qui me paraît découler de la constance des caractères organiques des dépôts santoniens, sur une aussi grande distance, est la faible variabilité des conditions bathymétriques auxquelles ils ont été soumis dans l'espace.

Echelle de distribution bathymétrique des sédiments modernes et anciens. Différences. Les explorations sous-marines ont doté la Géologie d'un tableau des sédiments marins actuels, classés suivant leur composition et leur distribution en profondeur. Quel usage peut-on en faire ? Pourra-t-il servir à la détermination des conditions bathymétriques qui ont présidé à la genèse d'un dépôt ancien ? Telles sont les questions que je vais examiner.

Il se manifeste à ce sujet une tendance qui consiste à fixer les profondeurs auxquelles se sont formés les terrains anciens, en les comparant aux formations marines modernes. Etant donné un sédiment ancien, on cherche quelles sont ses analogies avec les dépôts terrigènes ou pélagiques actuels. Si par exemple sa composition organique en fait une ancienne vase à Foraminifères, on le considère comme équivalent à la boue à Globigérines. Et comme cette dernière se dépose entre 400 et 2925 brasses, on conclut que l'ancienne boue à Foraminifères s'est déposée à des profondeurs comprises entre ces deux limites. Et l'on procède de même pour les sédiments que leur composition place en regard des boues vertes, etc. Pareil raisonnement implique l'idée de *fixité dans le temps* de l'échelle des profondeurs afférentes à chacun des dépôts actuels. Cette fixité est supposée être grande puisque les déductions que je viens de mentionner intéressent les terrains crétacés. Or, *la distribution des sédiments actuels dans l'espace, et dans une certaine mesure en profondeur, est fonction de certaines conditions physiques de la terre que tout démontre être variables.* Les principales de ces conditions sont les suivantes : *importance de la surface continentale, température, courants marins et atmosphériques, composition chimique des terres émergées.*

Reportons-nous par la pensée à une période ancienne de l'histoire de notre globe, et choisissons à volonté l'action isolée ou combinée de ces conditions :

1. La surface des continents émergés est beaucoup plus restreinte que de nos jours. *Toutes choses égales d'ailleurs,* la somme des matériaux détritiques mise à la disposition des eaux marines est plus faible, tandis que la surface couverte par ces eaux est plus grande. Voici une première raison pour que la superficie occupée à cette époque par les sédiments organogènes soit proportionnellement plus grande qu'aujourd'hui, et que l'aire des dépôts pélagiques empiète sur celle des dépôts terrigènes.

2. A cette époque ancienne, la température est plus égale. Or, les courants marins qui sont un facteur essentiel de la répartition des sédiments n'auraient pas apparemment

de raison d'être, si la température de la mer et de l'atmosphère étaient absolument uniformes. Ils n'existeraient pas avec la puissance de transport qu'on leur connaît aujourd'hui, si l'équilibre de cette température était moins rompu qu'il ne l'est de nos jours (c'est le cas de l'époque supracrétacée).. Les mouvements de l'atmosphère dépendent de la température, au même titre que les courants de la mer sur lesquels ils ont d'ailleurs une large influence. Leur intensité doit diminuer avec un échauffement plus égal de la surface terrestre. Or l'activité érosive de l'eau, et partant la quantité de matières inorganiques en suspension dans la mer varient en proportion directe de cette intensité. D'où une température beaucoup plus uniforme d'une période ancienne de l'histoire de la terre a cette double conséquence d'affaiblir les courants et de diminuer la quantité de matériaux détritiques abandonnés par les continents, qu'une première circonstance, la réduction de la surface continentale, avait déjà restreinte.

3. Les dernières phases de l'histoire de notre planète accusent une grande variabilité dans les précipitations atmosphériques. Ce point de vue est également à considérer. Le régime pluvieux qui nous a valu les glaciers de l'époque quaternaire a dû avoir à lui seul un grand retentissement sur le domaine marin par suite de l'énorme augmentation dans les matières minérales transportées par les eaux douces. Un régime sec succédant à une période diluvienne aurait certainement pour contre-coup le retrait de la zone des boues terrigènes et une extension de l'aire des vases pélagiques. Bref, la profondeur et la distance de la terre à laquelle se fait la jonction des dépôts pélagiques et terrigènes dépend, dans une certaine mesure, de l'activité des précipitations atmosphériques.

4. Un dernier facteur qui est d'importance est la composition chimique des terres émergées soumises à l'action des eaux marines et douces. Des terrains calcaires (la craie blanche, par exemple), ne peuvent fournir qu'une maigre contribution à la formation des boues terrigènes ; les dépôts siliceux (quartzites compactes et phtanites, par exemple), que les eaux ne peuvent entamer que par dissolution sont dans le même cas. Si des courants n'introduisaient pas de matériaux exogènes dans les régions marines empruntant leurs éléments minéraux à de pareils terrains, il n'y aurait aucune raison, pour que les vases pélagiques qui résultent de l'activité organique cantonnée au large, dans les eaux débarrassées de la plus grande partie de leurs impuretés, ne se rapprochent beaucoup de la côte.

De ces différents changements dans les conditions dont dépend la distribution des sédiments terrigènes et pélagiques actuels, il en est qui n'ont aucun caractère hypothétique ; il me paraît difficile de ne point faire bénéficier les autres d'une très grande vraisemblance. L'un d'entre eux, choisi au hasard, est susceptible à lui seul de modifier la répartition des dépôts marins. L'action combinée des deux premiers — qui a dû être toujours réalisée — a pu être le point de départ d'une importante régression des dépôts

terrigènes, compensée par une plus grande extension des formations pélagiques. Ces deux facteurs agissant de concert pendant une période de sécheresse et d'équilibre des terres et des mers ; si en même temps, les terres émergées ne fournissent que peu d'éléments clastiques, en raison de leur composition spéciale, la limite des dépôts terrigènes et pélagiques se rapprochera davantage de la côte.

J'en conclus que :

1. La limite supérieure de l'extension bathymétrique des sédiments pélagiques a pu être considérablement remontée à l'époque secondaire.

2. Que dans ce cas, les vases océaniques se sont beaucoup plus rapprochées des continents qu'elles ne le font de nos jours.

Il faut admettre comme corollaire que les boues calcaires, et notamment celle à Foraminifères, placée à la jonction des dépôts terrigènes et pélagiques, ont commencé à se déposer à des profondeurs inférieures à 400 brasses. La vase à Foraminifères d'où est issue la craie est dans ce cas. C'est ce que démontrent d'une façon péremptoire les craies à composition normale, qui se sont formées dans des eaux de très faible profondeur, immédiatement après les mouvements d'émersion ou de puissante érosion des falaises de la Manche (p. 528) et surtout du bassin de Mons (p. 529).

Je suis loin de supposer que les différents facteurs dont j'ai parlé ont toujours combiné leur action dans le passé pour assurer l'extension des formations pélagiques [1], mais je considère comme évident que, dans certains cas, les conditions favorables à la genèse des dépôts organogènes se sont réalisées à une profondeur moindre que dans les mers actuelles. J'admets que *chaque époque comporte une échelle de distribution bathymétrique des sédiments qui lui est propre*, et que par conséquent celle qui a été fixée par les explorations sous-marines ne peut être appliquée aux terrains anciens.

Température de la mer crétacée. Zones climatériques de l'époque. Glaces flottantes. Les géologues qui ont émis une opinion sur la température de la mer crétacée s'accordent pour en faire une mer chaude.

Gwyn-Jeffreys [2] considérait les Mollusques de la craie d'Angleterre comme des formes tropicales.

M. Jukes-Browne [3] pense que la mer crétacée fut beaucoup plus chaude que l'Atlantique nord où se dépose la boue à Globigérines.

La distribution actuelle des Coccosphères et Rhabdosphères peut éclairer ce sujet

---

1. Cette question est des plus complexes ; il y a lieu de tenir compte de la grande mobilité de l'écorce terrestre à certaines époques. La formation des chaînes de montagne en rompant l'équilibre des terres et des mers a jeté un grand trouble dans la sédimentation et favorisé le développement des dépôts terrigènes.

2. GWYN-JEFFREYS. Address to the section of Biology. *Brit. Ass.* Plymouth. Notices, p. 86 (1877)

3. A. J. JUKES-BROWNE. The Building of the british Isles, 2e Ed., p. 437 (1892).

dans une certaine mesure : Les *Rhabdosphères* sont spécialement développées dans les régions équatoriales et tropicales; elles sont rarement rencontrées là où la température de la surface descend au-dessous de 65° F. Les *Coccosphères* sont abondantes dans les eaux tropicales, elles existent dans les eaux dont la température descend à 45° F. mais elles atteignent leur plus grand développement dans les eaux tempérées.

Les Coccosphères et Rhabdosphères sont représentées dans la craie par un grand nombre de Coccolithes et de Rhabdolithes séparés. Les premiers sont très prédominants et prennent une part importante à la composition du ciment des craies surtout dans le Sénonien. Les Rhabdolithes ne jouent qu'un rôle accessoire, mais on les rencontre dans toutes les craies. C'est dans le Sénonien qu'ils sont le moins rares. *Si les conditions de température nécessaire au développement de ces Algues étaient les mêmes que de nos jours les eaux qui couvraient le Bassin de Paris étaient chaudes comme celles de l'équateur et des tropiques.* Cette opinion est en parfait accord avec les déductions tirées par Gwyn-Jeffreys de l'étude des Mollusques de la craie d'Angleterre. L'éminent géologue anglais J. Prestwich considérait également les eaux de la mer crétacée comme chaudes. C'est pour expliquer cette particularité qu'il avait été amené à supposer dans son discours présidentiel de 1871, que l'ancien océan crayeux qui formait une grande zone à travers l'Europe était séparé de la mer arctique par une barrière de terres, circonstance à laquelle il devait sa température plus élevée.

Dans une note publiée en 1892 sur les courants en France pendant le Crétacé supérieur, M. Munier-Chalmas [1] a distingué dans les mers secondaires et tertiaires trois zones principales : Une première renferme les « *mers chaudes* » et méridionales comprises en Europe dans les régions préméditerranéennes. La deuxième correspond aux « *mers tempérées* » du Jura et du bassin anglo-parisien. La troisième comprend les « *mers boréales* » du Nord de l'Europe dont la température est encore « relativement plus froide ». Chacune de ces zones a des Invertébrés qui lui sont propres. Leur caractère primordial est d'être des provinces *zoologiques*. On peut hésiter beaucoup à les considérer avec M. Munier-Chalmas comme autant de provinces *climatériques*.

Examinons successivement les rapports des « mers tempérées » avec les « mers boréales ».

1. Au début du Crétacé supérieur, les Rudistes des mers chaudes entrent dans le bassin de Paris par le Poitou. Ils ne pénètrent que dans la région occidentale voisine du détroit. Puis ils disparaissent. Est-ce une raison de température qui les a empêchés d'envahir tout le bassin et d'y prospérer ? Je ne vois pour le moment aucun fait qui impose cette opinion. Peut-être exigeaient-ils pour vivre des fonds de nature déterminée qu'ils n'ont pas trouvés dans le bassin de Paris ; peut-être la rapide accumulation de la

1. MUNIER-CHALMAS. Sur le rôle, la distribution, etc. *C. R. Ac. Sc.*, vol. 144, pp. 851-854 (1892).

boue crayeuse a-t-elle entravé leur développement. Peut-être enfin les courants descendant du Nord en ont-ils contrarié la dispersion. Bref, diverses hypothèses très plausibles peuvent rendre compte de l'absence des Rudistes dans la craie, sans recourir à l'intervention de la notion de température. Si ce facteur était la raison même de la distribution géographique des Rudistes en France, il serait bien singulier que ces organismes eussent choisi le moment de l'époque crétacée où la différence de température devait être plus tranchée pour s'avancer brusquement vers le Nord et gagner la mer boréale (Maëstricht).

2. Ainsi que l'a montré M. Munier-Chalmas, le bassin de Paris (mer tempérée) doit ses Bélemnitelles aux « mers boréales ». Nous ignorons absolument quelles étaient les exigences de ces organismes au point de vue de la température. Ceux qui leur formaient cortège dans les eaux boréales ne fournissent à ce sujet aucune indication décisive. Bref, les Bélemnitelles descendant du Nord et pénétrant jusque dans les « mers chaudes » ne portent pas en elles-mêmes la preuve qu'elles sont originaires d'eaux relativement froides.

D'éminents géologues, et notamment l'illustre Ch. Lyell, ont considéré les Céphalopodes de la craie — et par conséquent les Bélemnites — comme des formes tropicales. Lyell voyait même dans leur existence à l'époque de la craie un argument pour rejeter l'intervention de glaces servant au transport des matériaux étrangers trouvés dans ce terrain.

En résumé, on voit nettement à l'époque du Crétacé supérieur des provinces zoologiques bien tranchées, des *phénomènes de migration* ayant pour résultat l'introduction d'organismes d'une province zoologique dans une autre, mais il n'apparaît pas évident, sans démonstration, que ces provinces zoologiques ont été des provinces climatériques. Bien des causes autres que la température règlent la distribution des faunes, et elles ont sur ce dernier facteur l'avantage incontestable de pouvoir intervenir dans tous les temps et dans tous les lieux. Pour ma part, c'est à ces autres causes que je songe de préférence en cherchant le pourquoi des provinces zoologiques de l'époque crétacée.

Dans l'état actuel de nos connaissances la notion des zones climatériques, aussi bien définies et aussi bien prononcées, pendant la période supracrétacée paraît peu conciliable avec différents faits. C'est d'abord la nature de la flore. Il y a encore à cette époque une assez grande uniformité climatérique. La réduction de la zone tropicale primitivement étendue à tout le globe se dessine peu à peu, mais les régions circumpolaires nourrissent encore des bambous, des figuiers et des cycadées.

Il y a cet autre point plus important, c'est que les Mollusques de la craie d'Angleterre (zone boréale) ont été reconnus par Gwyn-Jeffreys pour des *formes tropicales*, et que suivant P. Fischer, « *les fossiles éocènes* du bassin de Paris appartiennent à des genres actuellement confinés dans les mers tropicales. »[1] L'opinion de deux conchyliologistes aussi éminents ne peut être indifférente dans l'espèce.

1. FISCHER. Manuel de Conchyliologie, p. 303, Paris (1887).

La considération des Algues de la craie conduit au même résultat. Ainsi que je l'ai rappelé au début de ce paragraphe, les *Rhabdosphères* sont aujourd'hui confinées dans les eaux équatoriales et tropicales; or elles ont vécu à l'époque supracrétacée jusque dans la « zone boréale. » Que l'on admettre ou non la nature organique de ces corps, il n'en reste pas moins acquis à la science que leur distribution géographique est fonction de la température des eaux: Elles caractérisent une zone climatérique. Leur présence dans l'aire boréale a donc une grande signification au point de vue de la température de l'époque.

L'objectif que je vise plus particulièrement ici, c'est la température de la mer supracrétacée du bassin de Paris. Je n'hésite pas à la considérer comme chaude. Les particularités de la flore de l'époque font supposer qu'il y avait déjà des zones climatériques esquissées et que les eaux boréales étaient moins chaudes que celles de l'Europe centrale. Il serait plus conforme aux données que j'ai indiquées plus haut de considérer la mer à Rudistes et celles du bassin de Paris comme appartenant à la même zone climatérique, que diverses circonstances physiques ont partagée en deux provinces zoologiques distinctes.

Glaces flottantes. Plusieurs savants anglais ont fait intervenir des glaces flottantes pour expliquer le transport des galets trouvés dans la craie. J'ai déjà dit en 1891 [1] que je n'admettais pas ce genre de véhicule pour les galets de la craie du bassin de Paris. Depuis cette époque, M. Ch. Janet [2] s'est déclaré favorable à l'idée de glaces flottantes. M. de Grossouvre ne regarde pas leur existence comme absolument impossible. En essayant de déterminer l'agent de transport des volumineux éléments minéraux de la craie, j'ai montré (p. 424) que la répartition des galets ainsi que leur isolement dans la craie sont en désaccord formel avec cette opinion. La température qui régnait à l'époque supracrétacée la rend d'ailleurs invraisemblable. Dans la dernière édition de son traité de géologie, M. de Lapparent termine la description de la flore du Crétacé supérieur en disant avec beaucoup de raison que « la présence des palmiers en Silésie, des figuiers au Groënland, par 70° de latitude, interdit de croire à l'existence de glace autour du pôle » [3].

Le dépôt de la craie a été rapide. Cette idée a été introduite dans la science par les naturalistes anglais. Prestwich [4] fit remarquer en 1886 que la conservation des poissons de la craie avec leur squelette et leurs écailles en place et le corps peu écrasé exige, à son avis, un rapide ensevelissement. On ne peut comprendre suivant le même savant la préservation des Crinoïdes avec leurs bras et les Cidaris avec leurs épines, s'ils n'ont pas été recouverts rapidement. C'est la nécessité de supposer une sédimentation rapide

1. L. CAYEUX. La craie du Nord est bien un dépôt terrigène, etc. *Ann. Soc. G. N.*, vol. 19, p. 255 (1891).
2. CH. JANET. Op. cit., p. 904 (1891).
3. DE LAPPARENT. Traité de Géologie, 3 éd., p. 1179 (1892).
4. J. PRESTWICH. Geology chemical, etc., vol. 2, p. 327 (1886).

qui entraîna Prestwich à admettre qu'un précipité considérable de carbonate de chaux s'effectuait sur le fond de la mer.

Un grand calme des eaux a souvent été invoqué pour expliquer la conservation de plusieurs organismes de la craie. Des formes délicates comme *Bourguetticrinus* pourvu d'une tige longue et flexible, certains *Cidaris* avec des radioles grêles et de longueur démesurée réclameraient des eaux absolument calmes et profondes. Même en admettant que telles ont été les eaux de la craie, il n'en faut pas moins supposer que ces organismes ont été soumis à un prompt ensevelissement. Les articles de *Bourguetticrinus* auraient été mis rapidement en liberté par la décomposition de la matière organique, si la boue crayeuse n'avait pas recouvert ces organismes après leur mort.

Rien ne peut mieux établir la rapidité du dépôt de la craie que la comparaison des épaisseurs qu'elle montre en différents points. Les 350 mètres de craie turonienne et sénonienne de l'Yonne sont représentés dans la partie occidentale du bassin par une épaisseur de dépôt notablement inférieure à 100 mètres. Or, dans cette dernière région les minéraux de transport tiennent une place souvent importante dans la constitution des sédiments. L'activité organique a donc été considérable — et partant la sédimentation rapide —, dans l'aire crayeuse du bassin, puisqu'elle est arrivée à édifier presque à elle seule une épaisseur de sédiment bien supérieure à celle d'une région où l'activité mécanique s'exerçait de concert avec la première.

Causes de la pureté de la craie. Diverses raisons ont déjà été invoquées pour expliquer la pureté de la craie blanche :

1° *Composition chimique des terrains formant le littoral.* Delesse [1] supposait en 1866 que le golfe formant le bassin de Paris était bordé par un rivage de calcaire jurassique ne fournissant à la mer que des matériaux calcaires renfermant une faible proportion d'impuretés.

2° *Influence de constructions coralliennes et de l'éloignement de la terre.* M. A. R. Wallace [2] émit l'hypothèse, combattue en 1883 par Crosby [3], que la mer crétacée était bordée d'îles et de récifs coralliens fournissant à la craie d'innombrables débris calcaires. Il considérait également l'éloignement de la terre comme une cause de pureté de la craie.

3° *Conditions spéciales de la mer.* En 1886, Prestwich mit en avant plusieurs hypothèses susceptibles de rendre compte de ce caractère : A. La mer était fermée avec peu de courants. B. Elle était peut-être comme une mer d'archipel avec des îles dépourvues de grandes rivières.

L'influence de la composition des côtes et des parties continentales soumises à l'action

1. DELESSE. Lithologie, etc., p. 418 (1886).
2. W. R. WALLACE. Island Life, 1re éd. (1880).
3. W. O. CROSBY. Origin of Continents, *Geol. Mag.*, New S., Dec. II, vol. 10, pp. 247 (1883).

des eaux marines et douces peut être un facteur important de la pureté de la craie. Malheureusement, il est impossible de fixer même approximativement l'emplacement des rivages du bassin parisien, et partant de connaître la nature des roches qui le limitaient. L'éloignement du rivage a aussi sa part d'influence.

Parmi les facteurs dont l'intervention a contribué à donner à la craie du Bassin de Paris une forte teneur en carbonate de chaux, je citerai les suivants :

1° *Rapidité du dépôt.* La pureté de la craie dépend surtout à mon avis de la rapidité de son dépôt. Etant donnés deux sédiments comme la boue à Globigérines qui s'accumule lentement et la craie dont le dépôt a été rapide, il est évident que si la même somme d'impuretés leur est incorporée dans le même temps, l'effet produit sera très différent dans les deux cas. La craie sera beaucoup plus pure, mais elle ne devra ce caractère qu'à elle-même et non aux circonstances habituelles qui influent sur la composition d'un dépôt.

2° *Nature des matériaux détritiques introduits dans le Bassin par les courants du S.-O.* Les courants qui pénétraient dans le bassin de Paris par le détroit du Poitou étaient très peu chargés en matière argileuse. Le Crétacé littoral et sublittoral du S.-O en est très pauvre quels que soient le point considéré, l'abondance et le volume des matériaux de transport. Par suite de la grande distance des rivages, et probablement aussi en raison de la faible intensité des courants, seuls les minéraux de faible volume et un peu de matière argileuse ont pénétré dans le centre du bassin. L'accumulation rapide des produits organiques ayant donné naissance pendant le même temps à des dépôts beaucoup plus épais qu'en Touraine, le rôle de ces matériaux s'est progressivement effacé.

Le Nord et le Nord-Est ont été influencés à l'époque turonienne par le voisinage immédiat d'une terre émergée située en Ardenne et en Belgique. Les assises à *I. labiatus* et à *T. gracilis* y sont très riches en matière argileuse. L'action continentale ne s'est pas fait sentir dans le Boulonnais où les sédiments de la même époque sont beaucoup plus purs. La vase argileuse en suspension dans l'eau semble avoir été refoulée au N. et au N.-E. par le courant qui descendait du Nord et traversait le bassin de Paris pour se diriger vers le détroit morvano-vosgien.

II. ACTION DYNAMIQUE DES EAUX DE LA MER CRÉTACÉE DANS LE BASSIN DE PARIS. COURANTS ET TRACES DIVERSES DE LEUR ACTION

Preuves de l'action dynamique des eaux de la mer crétacée. Quel que soit le point du bassin de Paris considéré, quelle que soit l'assise en vue, on trouve toujours des traces de l'activité mécanique de l'eau mais en proportions très inégales. Que l'on s'adresse aux coupes minces de la craie, que l'on examine son résidu, on en voit à

chaque instant se multiplier les preuves. Je crois opportun de résumer ici les principales :

1. Transport et dissémination des matériaux détritiques :

2. Etat fragmentaire des coquilles de Mollusques et de Brachiopodes ; dissociation, tronçonnement et répartition régulière des innombrables prismes d'Inocérames qui concourent à la formation de la craie ;

3. Trituration et transport des restes de Bryozoaires ;

4. Etat de division des plaques d'Oursins ; distribution régulière des plaquettes polygonales dérivées d'autres Echinodermes, Astéries, etc.

5. Fragmentation de spicules simples, séparation des rayons de spicules polyaxes en même temps que leur dissémination qui s'est faite avec régularité.

6. Destruction de coquilles de Rhizopodes.

7. Introduction dans le bassin de Paris de formes organiques propres aux mers voisines.

Que devient en présence d'un pareil bilan la notion de mer calme et profonde où les sédiments s'accumulent comme dans les grandes profondeurs de nos océans ? Où trouver dans la « craie moderne » des traits compatibles avec ces manifestations aussi éloquentes de l'activité dynamique de la mer crétacée ?

Courants. Le bassin de Paris possédait des courants dans plusieurs directions :

1. Un courant pénétrait dans le bassin par le S.-O. L'existence en a été signalée par M. Munier-Chalmas en 1892.

Ce courant a laissé des traces dans le domaine minéral : des cristaux de disthène, si abondants dans les résidus des couches turoniennes et sénoniennes du S.-O. et totalement absents dans la craie du Nord, ont été portés jusque dans le Bray. Ce courant envoyait-il une branche vers le S.-E. ? Je n'ai pu trancher cette question.

2. Un courant descendait du Nord vers le Sud. J'en ai démontré l'existence en 1891 par la considération des éléments minéraux de la craie. La composition du Turonien au N.-E. du bassin me fait supposer qu'il se dirigeait vers le S.-E. M. Jukes-Browne a signalé en 1892 l'existence de courants venant du Nord à l'époque du Middle Chalk d'Angleterre.

Les courants de surface de l'époque ont-ils exercé leur influence jusque sur le fond du bassin ? La chose n'est pas improbable, puisque la profondeur de la mer était très faible et que les courants de surface se font sentir à de grandes profondeurs. Dans l'Atlantique Nord, l'influence du courant de surface est encore sensible à plus de 900 m. de profondeur.

DE LA NÉCESSITÉ D'ADMETTRE QUE L'ACTION MÉCANIQUE DE L'EAU S'EST EXERCÉE SUR LE FOND DE LA MER. Les minéraux de la craie et surtout les organismes en fournissent la preuve.

1 **Eléments inorganiques détritiques.** Je laisserai complètement de côté les galets pour ne m'occuper que des minéraux.

A. *Minéraux détritiques.* Daubrée a établi que lorsqu'un courant ou une vague entraînent des matériaux de dimensions différentes, les grains les plus petits sont susceptibles de flotter tandis que les plus volumineux tombent au fond et s'arrondissent entre eux : Les premiers conservent la fraîcheur de leurs arêtes, les seconds deviennent frustes. D'après le même savant « les dimensions de grains qui peuvent flotter dans l'eau très faiblement agitée paraissent être d'environ 1/10 de mm. de diamètre moyen » [1].

J'ai montré qu'il existe dans chaque craie deux catégories de grains de quartz: *a.* des éléments de forme générale arrondie et usés dont le diamètre est supérieur à $0^{mm}1$, lorsque celui des grains du second groupe est inférieur à ce chiffre. Je n'ai pas observé une seule craie, si fine qu'elle soit, qui ne renferme d'éléments de quartz arrondi, mesurant au moins $0^{mm}2$. Les diamètres $0^{mm}3$ et $0^{mm}4$ sont fréquents pour ces grains ; ils peuvent être dépassés dans le Turonien. *b.* La seconde catégorie comprend des grains anguleux de forme irrégulière dont les angles et les parties saillantes sont simplement émoussés. Le contraste des caractères des éléments des deux groupes est surtout marqué pour les craies sénoniennes dont le diamètre moyen des particules de quartz anguleux se tient notablement au-dessous de $0^{mm}1$. Dans une préparation faite avec le résidu insoluble de ces craies, on voit par exemple des quartz anguleux mesurant en moyenne $0^{mm}06$ et au milieu d'eux un quartz arrondi de $0^{mm}3$ de diamètre. La différence est telle qu'il apparaît immédiatement comme évident que l'histoire de ces deux ordres de grains n'est pas la même. Je me vois obligé pour expliquer ces particularités d'admettre qu'en raison de leur volume, les éléments arrondis ont cessé de flotter avant les grains anguleux et qu'ils ont continué à descendre vers des profondeurs plus grandes, en cheminant plus ou moins longtemps sur le fond de la mer.

B. *Minéraux secondaires. Glauconie.* J'ai constaté dans le Nord que le volume des grains de glauconie suit les variations de celui des minéraux détritiques et notamment du quartz. Pareil fait ne peut s'expliquer que si la glauconie a été enlevée par les courants, des fonds sur lesquels elle a pris naissance.

Phosphate de chaux. Ainsi que je l'ai noté plus haut le phosphate de chaux est disséminé dans toutes les craies, sous la forme d'éléments beaucoup plus volumineux que les minéraux de transport qui les accompagnent. On reconnaît fréquemment parmi eux des grains paraissant dériver du tissu osseux des Vertébrés. Les conditions de fragmentation des éléments du squelette des Vertébrés ainsi que la diffusion de leurs débris dans la craie blanche sont difficiles à interpréter. J'admets que l'eau en mouvement peut seule en rendre compte.

---

1. DAUBRÉE. Etudes synthétiques, etc., p. 256 (1879).

2. **Organismes.** La plupart des groupes d'organismes peuvent contribuer à démontrer l'action mécanique de l'eau sur le fond de la mer. Je me contenterai de faire appel aux plus importants :

Vertébrés. Dans la très grande majorité des cas, on trouve épars, les éléments du squelette des grands poissons de la mer crétacée. On recueille à de longs intervalles dans une crayère, une ou deux vertèbres de squale, des dents appartenant à différents genres gisant pêle-mêle, et jamais on ne rencontre une colonne vertébrale complète accompagnée de toutes les dents des deux mâchoires du même animal. A quoi peut tenir cette particularité ? Ces organismes ont pourtant été nombreux dans la mer de l'époque. Peut-être dira-t-on que leurs dépouilles ont été entraînées vers le littoral par les courants, mais il faut bien admettre de nombreuses exceptions, puisqu'on en voit partout des vestiges dans la craie blanche. Quand on trouve une grosse vertèbre isolée, comment est-elle arrivée à sa place et où sont les autres pièces du squelette dont elles faisaient partie ? La même question se pose pour d'autres Vertébrés, et elle se représente pour toute la craie. Une activité mécanique de l'eau assez grande pour disloquer, et entraîner les différentes parties du squelette des plus gros squales peut paraître invraisemblable et je suis le premier à le proclamer. Quel autre agent faire intervenir ? Il m'est impossible de résoudre ce problème dans l'état actuel de nos connaissances.

Mollusques. On sait le grand rôle joué par les débris d'Inocérames dans la constitution de la craie du bassin de Paris. On les trouve sous forme de prismes séparés complets ou tronçonnés et de volumineux fragments de coquilles. La dissociation des prismes pourrait à la rigueur s'expliquer sans intervention mécanique, si l'on admettait que ces corps étaient doués de la propriété de se séparer par la décomposition de la matière organique comme sont susceptibles de le faire de nos jours les prismes de *Pinna*, mais il resterait de toute façon à interpréter leur tronçonnement et surtout leur étonnante diffusion dans certaines assises de la craie. Si l'on prête cette propriété aux Inocérames, ce ne peut être que dans une certaine mesure, car le grand nombre de volumineux débris placés dans la craie, suivant toutes les positions possibles, semble montrer que la désagrégation des prismes n'était pas très facile.

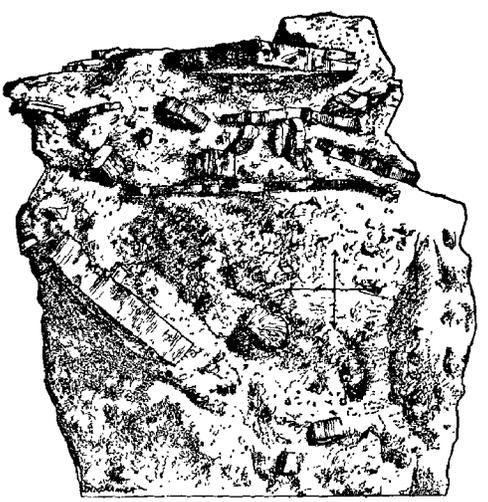


Fig. 20. Craie à *M. gibbus* de Rosoy (Yonne) avec fragments d'Inocérames (Grandeur naturelle)

La figure 20 a pour but de montrer l'un des modes de gisement des fragments de test d'Inocérames. Ils sont disposés pêle-mêle en grand nombre avec des épaisseurs diffé-

rentes et dans toutes les positions imaginables, particularité qui est très peu conciliable avec l'idée d'eaux très calmes. On y trouve réunis des morceaux qui paraissent dériver d'individus différents. Vient-on à les dégager et à essayer de les réunir pour reconstituer une coquille, on n'y parvient pas. Bref, ils ont cheminé si peu que ce soit sur le fond de la mer. D'ailleurs le dépôt de la craie, assez rapide pour conserver des individus de *Bourguetticrinus* et des *Cidaris* avec leurs baguettes, aurait pu assurer la conservation des coquilles d'Inocérames, s'ils étaient arrivés intacts sur le fond de la mer. Le musée de la Faculté des Sciences de Lille renferme une remarquable collection de grands Inocérames démontrant que de grandes formes de ce groupe peuvent rester presque intactes.

Un second mode de gisement beaucoup plus répandu que le précédent est caractérisé par l'existence de fragments de test, isolés au sein de la craie. Leur distribution est absolument incompréhensible si l'on se refuse à admettre qu'elle est due à l'action mécanique de l'eau.

La façon dont sont disposés les prismes isolés dans la craie est très intéressante à considérer : 1° Ils y sont répartis assez régulièrement. Quand un bloc de craie fournit une préparation avec nombreux prismes, toutes les préparations prélevées dans l'échantillon se présentent dans les mêmes conditions. On ne trouve pas ces corps empilés les uns sur les autres — et par points seulement — comme s'ils dérivaient d'une coquille d'Inocérame tombée sur le fond de la mer et dont les éléments auraient été dissociés sur place. Les prismes sont répartis au hasard dans les coupes et séparés par la matière de la craie. Une section pratiquée dans un échantillon de craie et *dans n'importe quelle direction* coupe les prismes en tous sens. On voit côte à côte des sections longitudinales et transversales. Leur orientation est quelconque. Un dépôt absolument calme ne présenterait rien de pareil ; les prismes s'y accumuleraient en se disposant tous dans le même sens, allongés sur le fond de la mer et non plantés dans le limon crayeux comme beaucoup l'ont été à l'origine.

En résumé, il semble évident que l'action de l'eau de mer en mouvement a tout au moins contribué à fracturer les coquilles et à répartir leurs fragments sur le fond de la mer; c'est elle qui a brisé les prismes et qui les a éparpillés dans la boue crayeuse.

Bryozoaires. On sait que les Bryozoaires sont loin d'être cantonnés au S.-O. du bassin de Paris et que des débris de colonies font partie intégrante de toutes les craies. Leur état est très fragmentaire. Pour expliquer leur présence, il faut recourir à cette alternative : Ou bien, ils ont vécu en place, et ils ont été soumis à l'action mécanique de l'eau qui les a brisés, ou bien ils ont été réduits en miettes en certains points et de là les morceaux ont été répandus partout.

La première solution est de rigueur pour les craies qui renferment des Bryozoaires plus ou moins complets associés à des débris empruntés à des colonies morcelées. C'est

le cas du Crétacé du S.-O. et de l'O. du bassin de Paris : c'est aussi celui de la craie à *M. c. anguinum* de Fécamp, de certaines craies de Meudon, etc. Elle implique l'action de l'eau en mouvement sur le fond occupé par les Bryozoaires non-seulement sur la bordure du bassin mais partout où se sont développés ces organismes.

La seconde convient mieux pour expliquer la manière d'être des Bryozoaires de la grande majorité des craies où ils ne sont connus qu'à l'état de menus fragments isolés dans la masse de la craie.

Spongiaires. L'action dynamique de l'eau s'est encore exercée sur les Spongiaires qui sont au plus haut degré des animaux de fond et dont un grand nombre de spicules sont brisés. Il importe de remarquer que les preuves d'action mécanique de l'eau fournie par ces organismes se raréfient beaucoup à partir de la craie à *M. c. testudinarium.*

Le groupe des Spongiaires fournit un des arguments les plus décisifs que l'on puisse invoquer en faveur du *déplacement des éléments de la craie sur le fond de la mer* et partant de l'action mécanique de l'eau sur les dépôts en voie de formation. On observe invariablement dans les craies à spicules d'Eponges *un mélange confus de formes se rapportant à des espèces et à des genres différents.* Après la mort de ces organismes, les spicules ont subi un transport qui, si faible qu'il soit, ne peut s'expliquer avec des eaux absolument tranquilles au fond de la mer. Le *charriage* et le *brassage* des éléments ont eu lieu d'une façon continue. L'action dynamique de l'eau n'a pourtant pas été assez marquée pour procéder à un triage des éléments et réunir les spicules en petits lits. On les trouve pêle-mêle, dans toutes les positions, au milieu des différentes particules minérales et organiques de la craie. M. J. Sollas a noté pareil fait pour la craie de Trimmingham.[1]

Foraminifères. J'ai reconnu l'existence de Rhizopodes de fond à l'état fragmentaire.

Une dernière particularité tirée de l'observation des organismes et qui met bien en évidence l'intervention dynamique de l'eau sur le fond de la mer est la suivante : Les éléments organiques réunis dans une même préparation se groupent parfois comme s'ils avaient subi une véritable *préparation mécanique* : les fragments de Bryozoaires, les prismes d'Inocérames, les grands Foraminifères arénacés sont réunis. Il en va de même pour les débris de plus petite taille qui vont par groupes. Les rares exemples que je connaisse de cette manière d'être s'observent au sommet du Turonien (voir notamment craie à *M. breviporus* de l'Yonne, p. 311).

Les arguments que je viens de développer pour montrer que la mer crétacée était loin d'être d'une grande tranquillité et que l'action mécanique de l'eau s'exerçait sur le fond de la mer peuvent être empruntés à n'importe quelle craie du bassin de Paris. Toute-

1. W. J. SOLLAS. On the Flint Nodules, etc. *Ann. and Mag. of Nat. Hist.*, 5e S., vol. 6, pp. 441-442 (1880).

fois les assises à *M. c. anguinum* et à Bélemnitelles (craie blanche) témoignent en général de conditions notablement différentes des autres ; les traces de l'action dynamique de l'eau y sont incomparablement plus rares. L'idée de calme rappelant celui des abysses ne se dégage de l'examen d'aucune craie.

Remarque. Je crois utile de faire remarquer que l'idée de courant et d'eau en mouvement qui est la conséquence de la composition et de l'état de conservation des éléments de la craie n'évoque pas nécessairement celle d'eaux très agitées balayant tout sur leur passage. Je reconnais de bonne grâce que le grand rôle que j'avais fait jouer aux courants dans le transport des galets de la craie du Nord impliquait pour eux une puissance inconciliable avec maints caractères de la craie. Les réserves faites à ce sujet par MM. de Grossouvre et Ch. Janet sont on ne peut plus fondées. J'ai restreint ce rôle comme on l'a vu plus haut. En limitant l'action de l'eau au transport des différents minéraux et à la préparation mécanique des éléments organiques, on reste encore en présence d'une activité dynamique très notable, s'exerçant sans discontinuité, mais considérablement affaiblie dans le Sénonien au niveau des craies blanches à *M. c. anguinum* et à *Bélemnitelles*. Si l'on essaye de pénétrer toutes les circonstances qui ont marqué le développement de cette activité, il faut aussitôt entrer dans le domaine de l'hypothèse.

Objections de M. Ch. Janet. L'idée de l'action dynamique de l'eau s'exerçant d'une façon régulière et continue a été combattue en 1891, par M. Ch. Janet, dans un travail dont voici la conclusion :

> Le fond de la mer crétacée était normalement d'une grande tranquillité. Les courants qui ont laissé des traces de leur passage dans les parties éloignées du rivage étaient tout à fait accidentels. Cette conclusion ne doit pas être infirmée par la présence de débris minéraux provenant de la désagrégation des roches, débris qui, vu leur très grande finesse et leur très faible proportion dans la constitution de la craie ont parfaitement pu être entraînés, même loin des rivages, par les courants superficiels [1] ».

M. Ch. Janet admet des courants tout à fait accidentels, même loin des rivages, pour expliquer un des phénomènes remarquablement étudiés par Hébert dans ses travaux sur les « Ondulations de la craie dans le Nord de la France » (2). Je veux parler des « surfaces-limites discordantes » signalées dans les falaises crayeuses de la Manche. Si de tels accidents étaient seuls pour démontrer l'existence de courants affectant le fond de la mer, il faudrait convenir que ces derniers n'ont joué qu'un rôle épisodique. Il n'en est rien comme on le sait.

Voyons maintenant quels sont les arguments invoqués par M. Ch. Janet en faveur de la grande tranquillité des eaux de la mer crétacée.

1. M. Ch. Janet considère les *Cidaris* comme « assez abondants » dans la craie. Il

1. CH. JANET Op. cit., p. 913 (1891).
2. ED HÉBERT. *B. S. G. F.*, 3e S., vol. 3, p. 522 (1875).

en a recueilli à tous les niveaux sans exception. Or d'intéressantes observations de M. Prouho sur *Dorocidaris papillata* de la Méditerranée montrent que la « vraie Cidaride ne peut vivre que dans les eaux relativement calmes ». Le point important est de s'entendre sur ce que signifie « assez abondant » comme mesure du degré de fréquence de *Cidaris*. J'avais considéré jusqu'ici ces organismes comme d'une grande rareté, en me plaçant à un point de vue absolu. J'ajouterai que pendant les multiples campagnes que j'ai consacrées à l'étude de la craie sur le terrain pour la revision des feuilles de Cambrai et d'Amiens, je n'en ai pas recueilli un seul emplaire. Quand on s'attache à collectionner les fossiles de la craie d'une région, on peut, après de longues et méritantes recherches, arriver, comme l'a fait M. Ch. Janet, à réunir un certain nombre de formes que le géologue qui passe ne trouve pour ainsi dire jamais. S'en suit-il qu'elles doivent être considérées comme assez abondantes? En aucune façon. J'ai l'intime conviction que si l'on notait avec la plus grande attention le nombre de *Cidaris* et de *Micraster* recueillis dans la même carrière en un temps donné, le pourcentage de *Cidaris* serait excessivement faible. S'il en est ainsi, le problème qui se pose change d'aspect. Il s'agit d'expliquer comment une mer qui porte de graves atteintes à la conservation de ses organismes et assure à leurs débris une égale distribution dans le sédiment, a pu permettre à de *rares Cidaris* de se développer. Je crois pour ma part que l'on pourrait soutenir que c'est justement parce que les conditions requises par le mode de vie des *Cidaris* n'ont été qu'imparfaitement remplies, que ces organismes sont si peu répandus dans la craie. Au lieu de voir dans les *Cidaris* un argument en faveur d'une grande tranquillité des eaux, je les considère comme susceptibles de prouver tout le contraire.

M. Ch. Janet fait encore remarquer au sujet des *Cidaris* qu'ils ne pourraient s'acclimater « dans une eau agitée que si un fond accidenté leur offrait des abris, condition que le fond de la mer crétacée de devait jamais remplir ». On peut se demander à ce sujet si le calme relatif des eaux regardé comme nécessaire pour les *Cidaris* actuels l'était au même degré pour ceux de la craie. On connaît également des *Cidaris* — les mêmes espèces — dans le Sénonien de Touraine. Les calcaires dans lesquels on les trouve renferment parfois des matériaux de transport volumineux et abondants; ils sont principalement formés de Bryozoaires brisés. Tous les éléments de ces roches portent l'empreinte la plus indéniable de l'action dynamique des eaux et cependant les *Cidaris* y ont vécu comme dans la craie. Rien ne prouve d'ailleurs que l'on puisse appliquer sans réserve aux organismes des époques passées, les données éthologiques que l'on possède sur les mêmes organismes vivant encore de nos jours. Les explorations sous-marines ont doté la géologie d'une méthode d'identification de beaucoup de phénomènes anciens et actuels qui se rattachent à l'activité organique. Je ne cesserai pour ma part de souligner l'incertitude des éléments qui servent de base à ces rapprochements.

2. M. Ch. Janet indique comme deuxième preuve de la tranquillité de la mer crétacée « l'existence de petites accumulations de fossiles souvent très variés, toujours très disloqués et en partie brisés » (p. 908) qu'il considère comme des coprolithes de poissons. Il est d'avis que la disposition de ces agglomérations coprolithiques conduit à la notion d'eau calme.

Avant de raisonner sur ce point, il serait utile d'établir d'une façon indiscutable la nature coprolithique de ces accumulations ; elle ne ressort pas avec évidence de la description de M. Janet. Il se peut que l'on soit en présence de simples *agglomérations mécaniques* d'organismes brisés. On trouve d'ailleurs des coprolithes de poissons, et bien authentiques, à des niveaux plus anciens (As. à *Act. plenus* par exemple). Ils y sont absolument intacts bien qu'ils soient associés à de nombreux et volumineux éléments de transport. Il est probable qu'ils étaient doués à leur sortie du tube digestif d'une ténacité telle qu'ils ont pu garder leur individualité pendant tout le temps nécessaire à leur enfouissement. L'action dynamique de l'eau a d'ailleurs pu s'exercer d'une façon très inégale sur le fond de la mer ; certains points ont pu être momentanément épargnés. L'existence de quelques coprolithes intacts ne saurait infirmer la notion d'eau agitée dont la généralité s'affirme avec tant de preuves, d'autant plus, je le répète, que des coprolithes de poissons ont été conservés dans des milieux où les traces de l'activité mécanique de l'eau sont autrement éloquentes que dans la craie blanche.

3. J'en pourrais dire autant des « lits nettement argileux de quelques centimètres d'épaisseur » dont parle M. Ch. Janet et qui peuvent « être suivis, dans les falaises par exemple, sur une étendue de plusieurs kilomètres » (p. 910). La genèse de ces lits pourrait exiger des eaux calmes sans que la craie à laquelle ils sont subordonnés se réclame des mêmes conditions. Ce que prouvent par dessus tout de pareilles intercalations, c'est un changement momentané de régime, phénomène qui va à l'encontre avec tant d'autres, de l'idée que l'on se fait communément des conditions qui ont présidé à la genèse de la craie.

Objections tirées de l'état de conservation de divers organismes. L'idée d'eau tranquille avait été formulée avant M. Ch. Janet par MM. J. Lambert [1] et Peron. Ce dernier savant a admis que le fond de la mer était absolument calme. Il a notamment appuyé son opinion d'exemples de conservation très remarquable d'organismes comme *Cidaris*, *Bourguetticrinus* et certains Bryozoaires qui, il faut le reconnaître, prêtent un grand

1. M. J. LAMBERT admet cependant que les eaux ont pu exercer leur action dynamique sur le fond de la mer. Il signale le fait suivant dans la craie à Bélemnitelles de la région de Sens : « Les couches de la base ont conservé en quelques endroits les traces d'un mouvement des eaux contemporaines des premiers dépôts, et la craie y présente des *fragments roulés* ou des bancs noduleux » (in *Bull. Soc. des Sc. de l'Yonne*, vol 32, p. 168 (1878).

appui à sa manière de voir. Je n'ai rien à ajouter à ce que j'ai dit sur *Cidaris*. Quant aux Bryozoaires, le microscope démontre que pour un petit nombre d'individus intacts, on trouve d'innombrables *fragments* incorporés dans la craie. C'est à ces derniers qu'il faut s'adresser pour avoir une idée moyenne du régime des eaux. La conservation de *Bourguetticrinus* est un problème autrement difficile que les précédents. Elle peut s'expliquer facilement, si l'on admet que le délicat organisme s'est couché sur le fond de la mer après sa mort, et qu'il a été enseveli avant que la décomposition de la matière organique n'ait mis les articles en liberté. Le nombre des *Bourguetticrinus* bien conservés est d'ailleurs extrêmement limité. Si on le mettait en regard de celui des formes qui sont loin d'être intactes, et surtout de celles qui ont été entièrement détruites et qui ne se révèlent à nous que par des articles isolés, l'idée de calme absolu souffrirait beaucoup de ce rapprochement. La notion de la grande rapidité du dépôt de la craie aide beaucoup à rendre compte de ces cas de conservation de formes qui paraissent réclamer des eaux calmes pour qu'elles nous soient transmises dans toute leur intégrité.

La loi reconnue plus haut, à savoir que l'activité mécanique de l'eau a laissé des traces dans toutes les craies, n'est nullement atteinte dans sa généralité par les objections que je viens d'examiner. Plusieurs d'entre elles sont fondées sur des particularités exceptionnelles qu'il est fort intéressant de mettre en relief, mais qui ne peuvent servir à caractériser le régime moyen de la mer supracrétacée.

ACCIDENTS LITHOLOGIQUES DE LA CRAIE DÉTERMINÉS SOUS L'INFLUENCE DES COURANTS. **Durcissement. « Hard Grounds » et interruptions dans la sédimentation. Structure noduleuse. Perforations.** Dans sa belle étude sur les ondulations de la craie du bassin de Paris [1], Hébert a appelé l'attention sur des bancs de craie durcie (banc-limite, surface-limite) percée de tubulures que l'on peut observer dans les falaises de la Manche. Ils sont de deux sortes : 1° Les uns sont concordants avec la stratification de la craie dont ils épousent les ondulations ; 2° les autres, d'après le même savant, sont discordants et coupent en biseau les couches sur lesquelles ils reposent. Hébert a vu dans ces manières d'être de la craie la preuve d'interruptions dans la sédimentation, de mouvements oscillatoires, d'exhaussement et même d'émersion du fond de la mer. La discordance de stratification était liée selon lui à des phénomènes de ravinement et de rivage.

Hébert admettait que la limite des assises de la craie est marquée par des bancs de craie dure, compacte, noduleuse à surface souvent percée de tubulures en relation avec un phénomène d'émersion. « Il a fallu, pour cela, disait-il, une émersion de la craie,

1. ED. HÉBERT. Ondulations de la craie, etc. *B. S. G. F.*, 2e S., vol. 29, pp. 446-472 et 583-594 (1872).
ED. HÉBERT. Ond. de la craie du N. de la Fr. *B. S. G. F.*, 3e S., vol. 3, pp. 512-546 (1875).

une exposition à l'air, un remaniement par des eaux basses; en un mot ces lignes de démarcation présentent tous les caractères de rivage [1] ».

Les accidents du premier groupe (bancs de craie durcie) sont loin d'être des exceptions. En lisant par exemple le chapitre consacré par Hébert aux ondulations de la craie de Fécamp à Dieppe, on peut se convaincre qu'ils correspondent à un phénomène d'une certaine généralité et susceptible de plusieurs récurrences dans la même assise. M. Ch. Janet qui s'est occupé de cette question dans la note intéressante dont j'ai parlé plus haut, repousse avec raison, je crois, toute idée d'émersion. Pour lui, les « bancs-limites concordants avec la stratification sont dus, sinon à une interruption, du moins à une modification momentanée et probablement à un ralentissement dans la sédimentation, accompagné peut-être d'un léger changement dans la composition chimique de l'eau de mer [2]. » Quant aux surfaces-limites discordantes, M. Ch. Janet admet comme Hébert, qu'elles indiquent des ravinements de la craie sous-jacente, mais avec cette réserve qu'il n'y a pas eu émersion. « Ces ravinements sont des affouillements du fond de la mer creusé par des courants *tout à fait accidentels* ».

Récemment M. Hume [3] a réservé aux courants une très grande place dans l'histoire de la craie d'Angleterre. Il leur attribue la structure noduleuse du Melbourn-Rock, de la craie à *I. labiatus* et du Chalk-Rock. Pour M. Hume le courant est la cause immédiate de la structure noduleuse, mais celle-ci peut être consécutive soit d'un approfondissement de la mer (Melbourn-Rock et craie à *I. labiatus*), soit d'un mouvement d'exhaussement du fond (Chalk-Rock). D'une façon plus générale, elle est en relation avec des modifications dans les conditions physiques du milieu.

Si l'on essaye de serrer de très près ces phénomènes, on s'aperçoit qu'en réalité ils sont très complexes et que la somme des données bien positives que l'on possède sur eux est malheureusement très faible.

Observations recueillies dans les campagnes du Challenger et du Blake. On doit aux croisières du Challenger et du Blake, quelques observations dont on ne saurait trop faire ressortir l'intérêt et que je désire faire connaître sommairement, avant de donner mon opinion sur la question de la craie durcie et de la structure noduleuse.

1. En quelques points des Océans, la sonde du Challenger a rencontré un fond dur — *hard ground* — sans trace de dépôt en voie de formation. Ailleurs, elle s'est arrêtée sur des fonds également durs formés de coquilles et de fragments de roches volcaniques. Là encore on a constaté l'absence de phénomène sédimentaire. Les profondeurs auxquelles s'observent ces points singuliers s'échelonnent entre 85 et 1100 brasses.

---

1. ED. HÉBERT. Note sur la craie blanche, etc. *B. S. G. F.*, 2e S., vol. 20, p. 631 (1863).
2. CH. JANET. Op. cit. p. 911 (1892).
3. W. HUME. The Genesis of the Chalk. *Proc. of the Geologist's Assoc.*, vol. 13, p. 234 (1895).

Certains d'entre eux, tels que ceux qui ont été relevés au large de l'Espagne (325-950 br.), se trouvent dans la zone des dépôts terrigènes où la sédimentation est active. Selon toute vraisemblance, le fond de la mer est comme décapé en ces points par des courants qui enlèvent la totalité des dépôts ou qui n'en laissent que les plus volumineux éléments [1].

2. On sait depuis les campagnes du Blake, qu'il se développe de nos jours des *calcaires solides* sur le parcours des courants chauds. Ainsi, au large des côtes de Floride, sur le plateau de Pourtalès, il se forme du calcaire solide à partir de 160 m., et jusqu'à 500 et 600 m. Ce calcaire se résout en une accumulation de Polypiers, d'Echinodermes et de Foraminifères. Il renferme 97 % de carbonate de chaux [2].

3. Les deux exemples précédents montrent que le fond de la mer peut être accidentellement constitué par des roches dures. Les suivants empruntés au Challenger mettent en évidence l'existence de la *texture noduleuse* dans les sédiments océaniques.

A. Par 1700 brasses de profondeur, des Bermudes à Halifax (Atlantique), sur un fond de boue bleue renfermant 24,61 % de carbonate de chaux (station 44), on a trouvé plusieurs galets roulés mesurant 2-6cm de diamètre, quelques fragments irréguliers de dépôt durci formant un *conglomérat* de couleur jaune verdâtre. Parmi eux se trouvaient « *plusieurs nodules calcaires, compacts, arrondis, apparemment formés dans le dépôt*, mesurant de 1-3 cm. de diamètre [3] ».

B. Dans la mer de Banda (Malaisie), entre les îles Banda et Arrou, on a recueilli à 129 br. (st. 192. A) « beaucoup de nodules plus ou moins durs, entièrement composés de coquilles de *Globigerina, Pulvinulina* et *Orbulina* » ; ils présentent la dureté de la calcite. C'est une « boue à Globigérines plus ou moins durcie. »

D'après MM. J. Murray et Renard, il n'est pas impossible que ces concrétions ne soient des portions durcies d'un dépôt formé à une profondeur beaucoup plus grande et ultérieurement relevé par les mouvements qui ont soulevé les îles voisines, p. 171. La station 192 a rencontré la boue bleue à 140 brasses.

C. Dans la même région, d'Amboine à Samboangan (Stat. 196) sur un fond dur (*hard ground*) à 825 br, le Challenger recueillit des fragments d'un *conglomérat*, dur, irrégulier de couleur blanc jaunâtre, renfermant 93,7 % de carbonate de chaux. Les plus volumineux mesuraient 20-30 cm. Les sections microscopiques montrent que toute la masse est composée dans sa plus grande partie de *Foraminifères* et d'*Algues* calcaires transformés en *calcaire cristallin*. Des cristaux microscopiques de carbonate de chaux ont été formés dans tous les vides de ces concrétions et le ciment est également cristallin (p. 99).

Ces nodules sont perforés en tous sens. Les perforations sont les unes grandes, les autres petites, leur diamètre varie de 1-4 cm. Les plus petites paraissent quelquefois avoir été produites par des Mollusques lithophages.

Conclusions. Les observations du Challenger et du Blake établissent que les phénomènes

---

1. Il existe des courants sous-marins à de bien plus grandes profondeurs que celles indiquées par les points à fonds durs : C'est ainsi que l'énorme courant d'eau froide allant du pôle sud vers l'équateur dans l'Atlantique se trouve en certains endroits à 3.500 mètres de profondeur.

2. Il s'y développe fréquemment des concrétions phosphatées. L'une renferme 35,5 % de phosphate de chaux, 10-12 de carbonate de magnésie et 15 % d'oxyde de fer.

3. J. MURRAY and A. F. RENARD. Rep. on deep-sea Deposits, p. 51 (1891).

de durcissement et de développement de la texture noduleuse qui affectent accidentellement la craie du bassin de Paris sont susceptibles de se produire, pour les sédiments de l'époque actuelle et sur le fond même des océans. Dans quelles conditions exactes, on ne le sait pas. Le mécanisme du phénomène échappe. *Le durcissement du fond est consécutif d'une interruption de la sédimentation et dû à l'action des courants.*

Les conditions de genèse de la structure noduleuse sont plus obscures encore. Dans un cas (Obs. C.), elles paraissent celles du durcissement de la craie, puisque la structure noduleuse est en rapport avec un fond dur, c'est-à-dire qu'elles comporteraient l'intervention des courants sous-marins. Pour les deux autres, la question est extrêmement complexe, en raison même de la différence si radicale dans la composition des nodules, et des sédiments qui les enveloppent (Obs. A. et B.). La difficulté que présente l'interprétation des nodules dragués entre les îles Arrou et Banda a fait émettre à MM. Murray et Renard l'opinion qu'ils pourraient être des portions durcies d'un dépôt formé à une profondeur plus grande et ultérieurement exhaussé par les mouvements qui ont fait sortir de l'onde les îles voisines. En ce cas, ils seraient en relation avec une rupture d'équilibre déterminant des perturbations dans la sédimentation.

C'est certes un grand progrès pour la géologie que la connaissance des faits précédents, mais il convient de n'en tirer parti qu'avec la plus grande réserve, pour expliquer les accidents lithologiques de la craie. Le durcissement de la craie peut s'expliquer sans avoir recours à une émersion — je crois que tous les géologues en demeurent d'accord aujourd'hui —, mais il faut bien se garder de considérer le problème comme susceptible de la même solution dans tous les cas.

Je ne dirais rien des bancs-limites discordants reconnus par Hébert. Je n'ai pu en faire l'étude sur place. Les bancs durcis et perforés correspondent, je crois, aux *hard grounds* du Challenger. Ils comportent comme eux une interruption dans la sédimentation en rapport avec l'action des courants. Je n'ai soumis à l'étude micrographique que de rares échantillons empruntés à des bancs durcis et perforés. Le résidu minéral ne paraît pas avoir été influencé par les conditions spéciales qui ont présidé à leur genèse. Seuls les Foraminifères se font remarquer par un état très fragmentaire. Je citerai comme très remarquables à ce dernier point de vue quelques sections pratiquées dans des échantillons prélevés à la séparation des bancs durcis à *M. c. anguinum* et de la craie à *B. quadrata* de la Somme. La preuve d'une interruption dans la sédimentation est notamment fournie par les Huîtres recouvertes d'un enduit phosphaté et soudées à la surface des bancs durcis à *M. c. anguinum* au contact de la craie phosphatée (voir p. 431). J'ai peine à croire qu'un léger changement de la composition chimique de l'eau de mer puisse intervenir comme l'a supposé M. Ch. Janet. L'idée de mer calme à laquelle il

s'est rallié se concilie assez mal avec l'hypothèse de *modifications périodiques et locales* dans la composition chimique de l'eau.

Il est absolument certain que le phénomène de durcissement local de la craie est dans certains cas postérieur à son émersion. La preuve de cette affirmation m'entraînerait trop loin, tout en me faisant perdre de vue l'objectif de cette étude qui est de prouver, une fois de plus, l'existence de courants agissant sur le fond de la mer [1].

En ce qui concerne la structure noduleuse, je suis également arrivé à la notion de *pluralité d'origine* ainsi que je l'ai déjà dit. La craie noduleuse à *I. labiatus* est celle qui a le plus de points de contact avec le dépôt conglomeré reconnu à la station 196. Son étude m'a amené à cette conclusion que sa texture spéciale ne peut être expliquée sans admettre *une action dyamique énergique s'exerçant sur le fond de mer*, au moment même de la sédimentation. La texture noduleuse est manifestement *postérieure à l'émersion de la craie* dans certains cas (voir craie noduleuse à *M. c. testudinarium* du Bray).

Les traces d'animaux perforants constatés sur des nodules à 825 brasses montrent que l'existence de perforations dans les dépôts anciens, et notamment dans la craie, ne peuvent être *exclusivement* interprétés en faveur d'une très faible profondeur de la mer, ainsi qu'on le fait communément. Dans l'état actuel de nos connaissances, *elles ont perdu toute signification au point de vue bathymétrique*, à moins que la nature des animaux perforants soit connue, ainsi que les conditions de profondeur approximative à laquelle ils vivent.

L'étude des accidents lithologiques de la craie montre que les phénomènes actuels ne peuvent en fournir une explication intégrale. Il peut se développer dans les sédiments émergés, et sous l'influence de causes différentes de celles qui interviennent sur le fond de la mer, des transformations qui reproduisent exactement celles qui prennent naissance au cours de l'accumulation des dépôts. C'est là un des phénomènes les plus remarquables que peuvent offrir les formations sédimentaires et qui en compliquent beaucoup l'étude. Chaque cas réclame un examen spécial.

On voit par ce qui précède que l'activité dynamique a droit à une grande place dans l'histoire de la craie. A aucune époque, elle n'a été nulle. Elle s'est exercée en servant de véhicule aux minéraux et aux organismes, en fragmentant des coquilles et squelettes d'Invertébrés, et enfin en modifiant profondément la physionomie et la texture de la craie.

---

1. Je traiterai cette question dans un travail spécial.

III. LIMITES DU BASSIN DE PARIS. SES RELATIONS AVEC LES DIFFÉRENTES MERS DE L'EUROPE OCCIDENTALE.

Limites du Bassin de Paris à l'époque supracrétacée. Mes recherches ne m'ont fourni aucun document nouveau sur cette question. Dans le Nord, la mer du Turonien ne paraît pas avoir beaucoup dépassé la limite des affleurements actuels de cet étage. Le *facies* littoral de la base de la marne à *T. gracilis* et l'absence des dièves près de Tournay, le remaniement des fossiles du premier Tun, le changement de caractères de la partie supérieure de l'assise à *M. breviporus* et de la base de la craie à *M. c. testudinarium*, et enfin l'émersion du golfe de Mons à la fin du Turonien et au commencement de l'époque sénonienne confirment cette opinion. La craie à *M. c. anguinum* s'est avancée assez loin dans la vallée de la Sambre.

Du côté du N.-E. la composition du Turonien laisse deviner le voisinage de la côte. Toute la craie de l'E. et du S.-E. est nettement pélagique ; dans ces régions la mer a dû s'étendre au-delà des affleurements du Crétacé supérieur. C'est aussi le cas du Sud du Bassin où l'on a d'ailleurs la preuve de l'existence de la craie à Micraster sur une partie du Morvan.

Le Crétacé du S.-O. est le seul qui fournisse des termes littoraux ou sublittoraux du Sénonien. La craie à *I. labiatus* conserve ses caractères pélagiques bien loin vers le S.-O. Le reste du Turonien et presque tout le Santonien ont des représentants non pélagiques.

En résumé, ce n'est qu'en deux points diamétralement opposés, la Touraine et le Nord, que l'on connaît non sans une notable incertitude, la limite du bassin, et seulement pendant une partie des périodes turonienne et sénonienne (de la craie à *T. gracilis* à l'assise à *M. c. testudinarium* y comprise).

Où étaient les rivages à l'époque sénonienne à l'Est et au Sud-Est du bassin parisien ? Si l'on prenait pour exemple sa partie occidentale, et si l'on admettait que la craie typique était partout séparée de la terre ferme par une très large bande de sédiments comme ceux qui reliaient la craie de la vallée de l'Eure aux terres émergées de l'Ouest, on pourrait conclure que dans l'Est et le Sud-Est le rivage était reporté à de grandes distances de la ligne d'affleurements de la craie blanche. Telle n'est pas ma manière de voir.

1° En étudiant le phénomène de suppression de couches dans la série crétacée (pp. 528 et 529) soit par érosion, soit par émersion, j'ai insisté sur ce fait que les dépôts qui se sont effectués dès que la sédimentation a repris son cours sont des craies normales. D'où cette conséquence que la craie proprement dite pouvait se déposer dans des eaux excessivement peu profondes et tout près du rivage.

2° A Chercq, près Tournay, j'ai noté la particularité suivante : L'assise à *T. gracilis* débute par un banc renfermant un grand nombre de cailloux remaniés empruntés au calcaire carbonifère sous-jacent ; elle continue par des marnes dépourvues de volumineux éléments clastiques, présentant les caractères qu'elles ont partout dans le département du Nord. Si l'on procède à l'étude micrographique du banc de base, on est frappé du fait très nettement indiqué que les débris organiques y sont plus abondants que dans les marnes typiques ; on y trouve notamment des Globigérines en proportion très notable ; les prismes d'Inocérames sont très répandus (ils forment plus de la moitié de certains échantillons). Bref, la sédimentation tumultueuse qui a marqué le début de l'assise à *T. gracilis* a donné naissance à un dépôt très rapproché de la craie ordinaire dans des conditions de profondeur tellement faibles que le calcaire carbonifère sous-jacent lui a fourni des matériaux détritiques.

On voit par ces exemples qu'un grand éloignement de la côte n'est pas absolument nécessaire pour rendre compte des caractères de pureté et de composition organique de la craie dans la partie du bassin de Paris où l'on ne trouve aucun vestige des formations contemporaines non pélagiques.

M. Ch. Barrois a fait remarquer avec beaucoup de raison, dans son mémoire sur le Crétacé d'Angleterre et d'Irlande, que la présence de Ptérodactyles et de Tortues dans la craie implique l'existence de terres peu éloignées (p. 224).

RELATIONS DU BASSIN DE PARIS AVEC LES DIFFÉRENTES MERS DE L'EUROPE OCCIDENTALE. On s'accorde à admettre que le bassin de Paris communiquait à l'époque du Crétacé supérieur avec la mer qui couvrait l'Aquitaine, et qu'il livrait également passage à ses eaux vers le Sud-Est.

1° **Rapports avec l'Aquitaine.** On a reconnu que les affinités aquitaniennes du Crétacé du S.-O. du bassin demeurent sensibles en s'avançant dans l'intérieur du Bassin de Paris. On les a signalées jusqu'à Nogent-le-Rotrou, Châteaudun et même jusqu'à Chartres, où *Orthopsis miliaris* a été trouvé dans la craie à *M. c. anguinum*.

Je considère les Rudistes de la craie du Nord comme ayant pénétré dans le bassin de Paris par le S.-O. La communication avec l'Aquitaine par le détroit du Poitou a permis l'introduction dans la mer anglo-parisienne de Mollusques, de Brachiopodes et d'Oursins. La faune microscopique de la craie a-t-elle subi l'influence du courant qui entrait dans le bassin de Paris ? C'est un point sur lequel l'attention n'a pas encore été appelée. Il est tout naturel de supposer que des Rhizopodes pélagiques de l'Océan à Rudistes y ont été introduits par la Touraine, et que la craie proprement dite doit renfermer dans son sein le témoignage de leur contribution à la genèse de la vase crayeuse. Une longue étude de la craie m'a pénétré de l'opinion contraire. Je ne fais de réserve que pour la période correspondant au dépôt de la craie à *I. labiatus*. Celle-ci conserve les caractères

lithologiques et organiques qu'elle présente dans l'intérieur du bassin, bien au-delà de la Touraine, et il est possible — la démonstration reste à faire — que la communication se faisait par des eaux relativement profondes où prospéraient les mêmes Foraminifères que dans le bassin de Paris. Mais à partir de la période de formation du tuffeau de Touraine, la faune de Foraminifères pélagiques de la craie n'a certainement pas été alimentée par le S.-O. C'était de toute impossibilité à l'époque du Turonien supérieur qui a été marquée dans la région du détroit du Poitou par le dépôt de sédiments littoraux où l'on ne rencontre jamais trace des Foraminifères pélagiques de la craie, mais *exclusivement* des formes de grande taille et à test arénacé, très épais, organisés pour vivre dans des eaux chargées de matériaux détritiques. Si l'on considère les dépôts à Bryozoaires sénoniens la démonstration est encore facile. Je les ai suivis, comme on l'a vu plus haut, point par point, jusque dans l'Eure-et-Loir, et j'ai démontré que les Foraminifères pélagiques de la craie proprement dite ne se mêlent aux vestiges de Bryozoaires qui forment partout le fond de la roche que dans la région de Chartres [1]. Ainsi donc malgré le facies crayeux que revêtent déjà les sédiments sénoniens à l'ouest de Chartres, et malgré le caractère de transition de la faune macroscopique du Sénonien de Châteaudun, les formes de Rhizopodes pélagiques propres à la craie typique font encore défaut dans les échantillons que j'ai étudiés, et il faut pénétrer plus avant dans le bassin de Paris pour les rencontrer. Peut-on supposer que les Foraminifères de la craie blanche soient venus par le S.-O. sans laisser de traces de leur passage dans les dépôts qui s'effectuaient sur leur trajet ? Je ne saurais souscrire à pareille opinion.

Recherche d'une autre communication avec l'océan à Rudistes. M. Munier-Chalmas est d'avis que le bassin de Paris fut en rapport pendant tout le Crétacé avec l'océan par un détroit correspondant au « Synclinal de la Manche ». Il dit à la page 853 de la note précédemment citée : « Aux époques qui nous occupent — il s'agit du Cénomanien, du Turonien et du Sénonien — les mers crétacées du bassin de Paris communiquaient avec les mers voisines par quatre détroits, — le synclinal de la Manche assurait des relations avec l'Océan Atlantique ». Cette communication est généralement considérée comme évidente à l'époque maëstrichtienne parce qu'elle paraît nécessaire. M. Douvillé en est partisan pour expliquer l'apparition des Rudistes dans la région de Mons et de Maëstricht. Mais aux époques turonienne et sénonienne, je ne connais aucun fait qui soit en faveur de l'existence d'un détroit sur l'emplacement de la Manche, reliant la mer anglo-parisienne à l'océan. Je ne vois au contraire que des objections à élever contre cette manière de voir.

1. Je ne connais d'exception que pour un point de la Sarthe (Torchay).

1. Grande réduction de l'épaisseur des couches turoniennes et sénoniennes entre Le Hâvre et Fécamp.

2. Absence dans cette région des couches à *Holaster planus* qui n'apparaissent que vers l'est en augmentant progressivement d'épaisseur.

3. Grand rôle que jouent les Bryozoaires dans la craie blanche typique accusant une diminution de profondeur en ce point.

4. Les craies turoniennes et sénoniennes des falaises de la Manche n'ont pas fourni comme le Crétacé du S.-O. du bassin de Paris des organismes macroscopiques qui auraient pénétré dans le bassin par le « synclinal de la Manche ».

Dans son curieux travail sur l'évolution de la Manche, M. Jukes-Browne [1] a également repoussé toute idée de communication aux époques considérées, et il a admis que la Bretagne formait alors une terre continue avec l'Angleterre.

Les dépôts d'Ecosse et d'Irlande ne satisfont pas aux conditions requises pour correspondre au large bras de mer reliant l'Océan au bassin anglo-parisien pendant le Turonien et le Sénonien. D'ailleurs les bassins crétacés du Hampshire, de Londres, du Nord de l'Angleterre et de l'Écosse-Irlande sont considérés par M. Ch. Barrois comme des golfes dépendant de la mer du Nord [2]. On ne peut supposer *une communication jalonnant son emplacement par des dépôts pélagiques*, qu'en faisant contourner les Iles Britanniques par la mer supracrétacée. La jonction des deux mers en cette région est hypothétique. Il importe toutefois de remarquer qu'en Angleterre *le Turonien et le Sénonien ont leur épaisseur maxima à l'est*, circonstance qui prouve que la mer du Nord a dû recevoir les dépôts crayeux sur une grande surface. Le climat très chaud dont la région arctique jouissait à cette époque ne pouvait d'ailleurs que favoriser l'extension vers le Nord des vases pélagiques à Foraminifères.

2° **Rapports avec la région rhodanienne.** L'existence de Micraster en silex trouvés en différents points sur le Morvan démontre que la craie s'est déposée sur une partie au moins de cette région et qu'elle a été enlevée par dénudation. En l'absence de tout témoignage de cette nature, cette déduction s'imposerait par suite de l'extrême pureté de la craie du S.-E. C'est la région du bassin de Paris où ce terrain réalise le mieux son caractère de dépôt pélagique. Il faut admettre l'existence non d'un détroit mais d'une communication de largeur telle que toute la région qui sépare aujourd'hui les Vosges du Morvan a dû recevoir des dépôts crayeux. On a retrouvé quelques paquets de craie blanche conservés à la faveur des failles au pied de la côte chalonnaise. Quelle direction prenait le prolongement de la mer anglo-parisienne en pénétrant dans la haute région rhodanienne? Dans son essai de reconstitution de la mer crétacée

1. A. J. JUKES-BROWNE. The geogr. Evol. etc. *Contemporary Review*, June, pp. 855-864 (1891).
2. CH. BARROIS. Recherches sur le terr. crét. etc., *Mém. Soc. G. N.*, t. I, n° I, p. 224 (1876).

de l'Europe occidentale, M. F. Hume [1] l'a fait descendre sous forme de golfe rattaché au bassin de Paris jusqu'à la Méditerranée actuelle, admettant ainsi que le bassin d'Uchaux en était tributaire. Telle n'est point l'opinion reçue en France. Mon maître, M. Marcel Bertrand, enseigne dans son cours de l'École des Mines que le bassin d'Uchaux était un golfe s'ouvrant directement dans la mer à Hippurites et que la mer anglo-parisienne s'avançait au cœur de la région jurassienne. De la craie blanche à *Echinoconus conicus* et à Micraster a été trouvée près de Lains (canton de Lons-le-Saulnier), par 520 m. d'altitude [2] et bien loin vers le sud sur l'emplacement de la chaîne alpine. Ce que l'on sait du Crétacé de la Savoie, du Dauphiné, de la Haute-Provence et des Alpes prouve surabondamment que c'est de ce côté que se prolongeait la mer crétacée du bassin parisien et non dans la vallée du Rhône.

3° **Rapports du Bassin de Paris avec la mer crétacée du Nord de la Belgique.** Les affleurements crétacés de La Hesbaye, du pays de Herve et des environs d'Aix-la-Chapelle ne comportent que du Campanien. Pendant le Turonien et le Sénonien inférieur cette région était séparée du Nord du Bassin de Paris par un grand promontoire du massif ardennais échancré par le « golfe de Mons ». Les eaux turoniennes ont pénétré dans la région de Mons ; elles en ont été chassées avant la fin du Turonien ; puis elles y sont rentrées à l'époque du *M. c. anguinum*, suivant M. Gosselet. A Tamines, près de Charleroi, on trouve à la surface du sol une argile jaune remplie de Micraster [3]. Il semble, dit M. Gosselet, que ce soit un témoin de la présence ancienne de la craie à *M. c. anguinum* dans cette localité. A partir du Campanien, la mer envahit la Belgique, et le « bassin de Mons » est relié à celui de Liège. M. Gosselet admet que la mer couvrait toute la partie de la Belgique qui est au nord de la Meuse, à l'exception peut-être d'une grande île qui s'étendait au S. de Bruxelles. Il considère comme possible l'existence d'une communication directe entre la mer crétacée de Belgique et le bassin de Paris. Cette liaison ne fait pas de doute à mes yeux. La craie blanche à *B. quadrata* qui surmonte souvent la craie phosphatée de la Somme et de l'Aisne et la craie d'Obourg qui lui correspond dans le Hainaut sont des dépôts tellement purs et de caractère pélagique si tranché que l'existence d'une terre émergée entre les deux régions me paraît inadmissible.

Conclusions. Parmi les conquêtes dont la science est redevable aux explorations sous-marines, la notion de haute antiquité des profondes dépressions océaniques peut être considérée comme l'une des plus importantes. Cette idée que les grandes lignes des principaux bassins océaniques ont été tracées dès le commencement des âges géologiques

1. W. F. HUME. The Genesis of the Chalk, *Proc. of the Geologist's Ass.*, vol. 13, p. 213 (1894).
2. BOURGEAT. Contr. à l'étude du Crétacé, etc., *B. S. G. F.* 3e S., vol. 15, p. 328 (1887).
3. J. GOSSELET. Esquisse géol., Terr. second., p. 271 (1881).

compte beaucoup de partisans en Angleterre. Elle est loin d'avoir la faveur de tous les géologues. Ses adversaires la considèrent comme incompatible notamment avec l'existence d'une mer crétacée, pourvue de fonds de 1000 et 2000 brasses et plus, et coupant l'Europe en écharpe. Si la preuve de pareilles profondeurs présidant à la genèse de la craie était faite, la théorie de la permanence des océans et des continents aurait vécu, mais on a vu par l'étude comparée de la craie et de la boue à Globigérines et par la nature des conditions de la mer crétacée du Bassin de Paris, qu'il existe entre cette dernière et les aires océaniques profondes actuelles des différences radicales au point de vue bathymétrique. Une longue étude de la craie de France m'oblige à conclure que l'existence d'une mer crétacée européenne, disposée suivant les parallèles, et par conséquent en sens inverse des grands océans actuels de l'hémisphère nord, ne peut infirmer l'idée de permanence des profondes dépressions océaniques.

BIBLIOGRAPHIE

1. 1745. Linné. De Coralliis balticis (Itinera gothlandica).
2. 1748. Linné. Systema naturæ.
3. 1749. Buffon. Histoire naturelle.
4. 1791. de Luc. Sur les couches de craie et celles de houille et sur leurs catastrophes, *Journal de Phys.*, vol. 38, pp. 174-191.
5. 1792. de Luc. Sur la nature des silex et sur l'origine des substances minérales des couches coquillières, *Journal de Phys.*, vol. 41, pp. 32-53.
6. 1804. Lamarck. Mémoire sur les fossiles des environs de Paris.
7. 1817. Buckland. On the Paramoudra and Formation of Flint in the Chalk, *Trans. Geol. Soc. of London*, 1re S., vol. 4, pp. 413-424.
8. 1819. Ross, John. A voyage of Discovery made under the Orders of the Admiralty in this Majesty's ships Isabella and Alexander for the perpose of exploring Baffin's Bay (1818).
9. 1825. von Buch. Physikalische Beschreibung der canarischen Inseln.
10. 1826. d'Orbigny, A. Tableau méthodique de la classe des Céphalopodes, *Ann. des Sc. Nat.*, vol. 7.
11. 1827. Nilsson, S. Petrificata suecana Formationis cretaceæ.
12. 1833. Mantell. The Geology of the South-East of England, London.
13. 1836. Ehrenberg. Ueber mikroskopische neue charaktere der erdigen und derben Mineralien, *Poggendorf's Annalen*, vol. 39, pp. 101-106.
14. 1836. Lyell, Ch. Address to the Geological Society. *Proc. Geol. Soc. of London*, vol. 2, pp. 357-390.
15. 1837. Buckland. Geology and Mineralogy, 2e éd., vol. 1.
16. 1837. Lyell, Ch. Principles of Geology, London.
17. 1838. Ehrenberg. Ueber die Bildung der Kreidefelsen und des Kreide mergels durch unsichtibare Organismen, *Abh. k. Ak. d. Wiss. Berlin*, pp. 87-148.
18. 1839. Ehrenberg. Neuere Beobachtungen über die Algen und Bryozoen der Feuersteine der Kreide, *Berlin Bericht*, p. 157.
19. 1839. Ehrenberg. Ueber dem blossen Auge unsichtbare Kalkthierchen und Kieselthierchen als Hauptbestandtheile der Kreidegebirge. *Ann. d. Phys. und Chemie*, vol. 47, pp. 502-508.
20. 1839. Ehrenberg. Ueber noch jetzt lebende Thierarten der Kreidebildung, *Abh. d. k. Ak. d. Wiss. Berlin.*
21. 1839. Mantell. The Wonders of Geology, 2 vol.
22. 1839. Reade, J.-B. On some new organic Remains in the Flint of Chalk, *Ann. and Mag. of Nat. Hist.*, vol. 2, pp. 190-198.
23. 1840. d'Orbigny, A. Mémoire sur les Foraminifères de la craie blanche du bassin de Paris, *Mém. S. G. F.*, vol. 4, 1re partie, pp. 1-52.
24. 1841. Bowerbank J. S. On the siliceous Bodies of the Chalk, Greensands and Oolithes, *Trans. Geol. Soc. of London*, 2e S., vol. 6, part 1, pp. 181-194.
25. 1841. Lyell, Ch. Elements of Geology, 2e éd.
26. 1841. Sauvage et Buvignier. Statistique minéralogique et géologique du département des Ardennes.
27. 1843. Austen R. A. C. On the Geology of the South-east of Surrey, *Proc. Geol. Soc. of London*, vol. 4, pp. 167-173.
28. 1843. Forbes Ed. Report on the Mollusca and Radiata of the Ægean Sea and on their distribution, considered as bearing on Geology. *Brit. Ass. Adv. of Sc.*, pp. 130-193.
29. 1844. Mantell. The Medals of Creation, 2 vol., London.
30. 1844. Raulin. Note sur la position géognostique de la gaize ou pierre morte de l'Argonne, *B. S. G. F.*, 2e S., vol. I, pp. 171-175.

31. 1844. WILLIAMSON, W. C. On the Light thrown on Geology by submarine Researches. *Edinburgh New. Phil. Journ.*, vol. 36.
32. 1845. MANTELL. Note of a microscopical Examination of the Chalk and Flint of the South-East of England. *Ann. and Mag. of Nat. Hist.*, vol. 16, pp. 73-88.
33. 1845. VICAT. Sur la découverte d'une pouzzolane naturelle non volcanique dans le département des Ardennes. *Ann. des Mines*, 4e sér., vol. 8, p. 527-529.
34. 1846. WILLIAMSON, W. C. On the real nature of the minute Bodies in Flints supposed to be Sponge spicules. *Ann. and Mag. of nat Hist.*, vol. 17.
35. 1847. ROSS, J. C. A voyage of Discovery and Researches in the Southern and Antartic Regions during the years 1839-1843.
36. 1847. WILLIAMSON, W. C. On some of the microscopical Objects found in the Mud of the Levant and other Deposits, *Mem. Lit. and Phil. Soc.*, Manchester, vol. 8, pp. 1-118.
37. 1850. D'ORBIGNY, A. Prodrome de Paléontologie, vol. 2.
38. 1850. SORBY, H. C. On the microscopical Structure of the calcareous Grit of the Yorkshire Coast *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol. 6, pp. 1-16.
39. 1850. DE SERRES, M. De l'origine des silex. *Actes Soc. linn. de Bordeaux*, vol. 16.
40. 1851. D'ARCHIAC. Histoire des progrès de la géologie de 1834 à 1850, vol. 4 (Formation crétacée).
41. 1852. BUVIGNIER. Statistique géologique, minéralogique, métallurgique et paléontologique du département de la Meuse.
42. 1852. GAUDRY, A. Sur l'origine et la formation des silex de la craie et des meulières des terrains tertiaires, Paris.
43. 1853. POURTALÈS. Report Un. States Coast Survey for 1853.
44. 1853. BAILEY, J. Microscopical Examination of Soundings made by the U. S. Coast Survey off the Atlantic Coast of the United States, *Smithsonian Contribution to Knowledge*, vol. 2, part. 3, pp. 1 et suivantes.
45. 1854. EHRENBERG, G. Mikrogeologie, Leipzig.
46. 1855. BAILEY, J. Microscopical Examination of deep Soundings from the Atlantic Ocean, *Quart. Journ. Mic. Sc.*, vol. 3, p. 89, et *Am. Journ. Sc.*, 3e S., vol. 17, pp. 176-178.
47. 1855. EHRENBERG. Ueber den Grünsand und Seine Erläuterung des organischen Lebens, *Abth. d. k. Akad. Wiss.*, Berlin. *Phys. Abth.*, pp. 85-176.
48. 1856. BAILEY, J. On the Origin of Greensand and its Formation in the Oceans of the present Epoch, *Proc. Boston Soc. of Nat. Hist.*, vol. 5, pp. 364-368 et *Am. Journ. Sc.*, 2e S., vol. 22, pp. 280-284.
49. 1856. BAILEY, J. On some specimens of deep sea bottom from the Kamtschatka collected by Lieutenant Brooke, *Am. Journ. Sc.*, 2e S., vol. 21, pp. 284-285.
50. 1857. HUXLEY. Deep sea Soundings in the North-Atlantic Ocean, between Ireland et Newfoundland, made in H. M. S. Cyclops, in June and July 1857. Appendice A.
51. 1857. MEUGY. Sur la découverte du phosphate de chaux en France et sur l'emploi de cet engrais dans la culture. *Ann. des Mines*, 5e Sér., vol. 11, p. 149.
52. 1858. GODWIN-AUSTEN. On a Boulder of Granite found in the White Chalk near Croydon and the extraneous Rocks from that Formation. *Quart. Jour. Geol. Soc.*, vol. 14, pp. 252-267.
53. 1858. HUXLEY. Chalk ancient and modern. *Saturday Review*.
54. 1858. ROSE, G. Ueber die heteromorphen Zustande der kohlensauren Kalkerde. *Abh. d. kön. Ak. d. Wiss. zu Berlin*, pp. 63-113.
55. 1859. BENNETT, George. Notes on Sharks, more particularly on two enormous Specimens of *Carcharias leucas* captured in Port Jackson, Sydney, *Proc. Zool. Soc.*, p. 223.
56. 1860. REUSS, E. Die Foraminiferen der westphalischen Kreideformation, *Sitzungsb. d. Mathem. Naturw. Classe d. k. k. Akad. d. Wissen*, vol. 40, pp. 147-239.
57. 1861. RAMMELSBERG. Ueber das Verhalten der aus Kieselsäure bestehenden Mineralien gegen Kalilange, *Pogg. Ann.*, vol. 112, pp. 177-193.
58. 1861. SORBY, H.-C. On the organic Origin of the so-called «Crystalloids» of the Chalk. *Ann. and Mag. of Nat. Hist.*, S. 3, vol. 8, pp. 193-200.
59. 1862. CHURCH, A.-H. Observations on Silica, *Journ. Chem. Soc. of London*, vol. 15, pp. 107-110.
60. 1862. CORDIER, L. De l'origine des roches calcaires qui n'appartiennent pas au sol primordial, *C. R. Ac. Sc.*, vol. 54, pp. 293-299.
61. 1862. D'OMALIUS D'HALLOY. Abrégé de Géologie, 7e édit.
62. 1862. WALLICH. The North-Atlantic Sea-Bed.
63. 1863. BISCHOF, G. Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie, Bonn.
64. 1863. HÉBERT, E. Note sur la craie blanche et la craie marneuse dans le bassin de Paris, *B. S. G. F.*, 2e S., vol. 20, pp. 605-631.
65. 1864. BECQUEREL, A. C. Eléments d'électrochimie appliquée aux sciences naturelles et aux arts, 2e édit. Paris.
66. 1865. LYELL, Ch. Elements of Geologie, 6e éd., London.
67. 1865. PHILLIPS. Oxford Fossils. *Geol. Mag.*, vol. 2, pp. 292-293.

68. 1866. BECQUEREL, A. C. Mémoire sur la formation en vertu d'actions lentes de divers composés et notamment de silicates terreux. *C. R. Ac. Sc.*, vol. 63, pp. 4-9.
69. 1866. CORNET, F. L. et BRIART, A. Description minéralogique, paléontologique et géologique du terrain crétacé de la province de Hainaut, Mons.
70. 1866. SEELY. Th. Rock of the Cambridge Greensand. *Geol. Mag.*, vol. 3, pp. 303-307.
71. 1867. DE LAPPARENT. Note sur la gaize du Pays de Bray, *B. S. G. F.*, 2e S., vol. 25, pp. 868-872.
72. 1868. BRIART, A. et CORNET, F. L. Description minéralogique, géologique et paléontologique de la Meule de Bracquegnies. *Mém. cour. et Mém. des Savants étrangers, Ac. roy. Belgique*, vol. 34
73. 1868. CARPENTER, W. B. Preliminary Report of Dredging Operations in the Seas to the North of the British Islands, carried in H. M. Steam-Vessel Lightning, by — et W. THOMSON, *Proc. Roy. Soc. of London*, vol. 17, p. 168-201.
74. 1868. CORDIER, P. L. A. Description des roches de l'écorce terrestre (publié par C. D'ORBIGNY), Paris.
75. 1868. DEWALQUE, G. Prodrome d'une description géologique de la Belgique, Liège.
76. 1868. HUXLEY. Lecture on Chalk, *Macmillan's Magazine*, p. 396.
77. 1868. MURCHISON. Address to the British Association, Section of Geography, pp. 158-166.
78. 1868. D'OMALIUS D'HALLOY. Précis élémentaire de Géologie, 8e Ed., Bruxelles.
79. 1869. THOMSON, W. The Depths of the Sea. A Lecture delivered in the theatre of the Royal Dublin Society, April 10.
80. 1870. CARPENTER, W. B., GWYN-JEFFREYS and W. THOMSON. Preliminary Report on the Scientific Exploration of the Deep-Sea. in H. M. Surveying Vessel Porcupine, during the Summer 1869. *Proc. Roy. Soc. of London*, vol. 18, pp. 397-493.
81 1870. CARPENTER, W. B. Lettre sur « The Cretaceous Epoch », *Nature*, vol. 2, p. 100.
82. 1870. CARPENTER, W. B. The Geological Bearings of recent deep-sea Explorations, *Nature*, vol. 2, pp. 513-515.
83. 1870. GÜBMEL, C. W. Vorlaufige Mittheilungen über Tiefseeschlamm, *Neues Jahrb. für Min.*, pp. 753-767.
84. 1870. GÜMBEL, C. W. On deep-sea Mud, *Nature*, vol. 3, pp. 16 et 17.
85. 1870. KAUFMANN. Seekreide, Schreibkreide und die sogenannten dichten Kalksteine sind krystallinische Niederschlage, *Verh. d. k. k. Geol. Reichanst.* Wien, pp. 205-207.
86. 1870. ORTLIEB et CHEILLONNEX. Etude géologique des collines tertiaires du département du Nord, comparées avec celles de la Belgique, Lille.
87. 1870. SAVOYE, E. Analyse comparative des calcaires du département du Nord, employés pour le marnage et le chaulage des terres, *Mém. Soc. Sc. de Lille*, 3e Sér., vol. 8.
88. 1870. THOMSON, W. On deep-sea Climates, *Nature*, vol. 2, pp. 257-261.
89. 1871. DELESSE. Lithologie du fond des Mers.
90. 1871. GREEN, A.-H. The geological Bearings of recent Deep-Sea Soundings, *Geol. Mag.*, vol. 8, pp. 1-4.
91. 1871. LYELL, Ch. Students' Elements of Geology.
92. 1871. PRESTWICH, J. The Anniversary Address of the President of the Geological Society of London, *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol. 27, pp. XXX-LXXV.
93. 1871. THOMSON, W. The Continuity of the Chalk, *Nature*, vol. 3.
94. 1872. HÉBERT, E. Ondulations de la craie dans le Bassin de Paris, *B. S. G. F.*, 2e S., vol. 29, pp. 446-472 et 583-594.
95. 1872. POURTALÈS. Report of the superintendant of the United States Coast Survey for 1869 Washington (1872).
96. 1872. RUPERT JONES and PARKER, W.-K. On the Foraminifera of the family Rotalinæ, found in the cretaceous Formations ; with Notes on their tertiary and recent Representatives, *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol. 28, pp. 103-131.
97. 1872. SCHMIDT. O. On Coccoliths and Rhabdoliths. *Ann. and mag. of Nat. Hist.*, 4e S., vol. 10. pp. 359-370.
98. 1872. SOLLAS, W.-J. Some Observations on the Upper Greensand Formation of Cambridge. *Geol. Mag.*, vol. 9, pp. 332 et 333.
99. 1872 VOGELSANG, H. Études cristallogéniques (suite). *Arch. néerl. des Sc. exactes et nat.* vol. 7.
100. 1873. GWYN-JEFFREYS in SOLLAS. On the coproliths of the Upper Greensand Formation and on Flints, *Quart. Journ. Geol. Sc.*, vol. 29, pp. 76-81.
1. 1873. GÜMBEL, C. W. Coccolithen in Eocänmergel, *Neues Jahrb. für Min.* pp. 299-302.
2. 1873. MEUGY et NIVOIT. Statistique agronomique de l'arrondissement de Vouziers.
3. 1873. SOLLAS, W.-J. On the Foraminifera and Sponges of the Upper Greensand of Cambridge, *Geol. Mag.*, vol. 10, pp. 268-274.
4. 1873. SOLLAS, W.-J. and JUKES-BROWNE, J. On the Included Rock-Fragments of the Cambridge Upper Greensand. *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol. 29, pp. 11-17.

105. 1874. BARROIS, Ch. Sur le Gault et les couches entre lesquelles il est compris dans le bassin de Paris, *Ann. Soc. G. N.*, vol. 2, pp. 1-61.
6. 1874. KNOP. Ueber Kieselsäure-Abscheidung, *Neues Jahr. für Min.*, pp. 281 et suiv.
7. 1874. SLACK, H.-J. On certain beaded silica Films artificially formed, *Month. Micr. Journ.*, vol. 11, pp. 237-241.
8. 1874. THOMSON, W. The Depths of the Sea (ou les Abîmes de la Mer, traduits par le Dr Lortet, 1875).
9. 1874. WRIGHT, J. On the Discovery of Microzoa in the Chalk-Flints of the North of Ireland. *Report British Association*, Belfast, vol. 44, Geology, pp. 95-96.
110. 1875. BARROIS, Ch. La zone à *Belemnites plenus*. Etude sur le Cénomanien et le Turonien du Bassin de Paris, *Ann. Soc. G. N.*, vol. 2, pp. 146-193.
1. 1875. DOUVILLÉ. Légende de la feuille de Gien.
2. 1875. HÉBERT, Ed. Ondulations de la craie du Nord de la France, *B. S. G. F.*, 3e S., vol. 3, p. 522.
3. 1875. WHITAKER. Guide to the Geology of London, *Geol. Surv. of England and Wales.*
4. 1876. BARROIS, Ch. Recherches sur le terrain crétacé supérieur de l'Angleterre et de l'Irlande. *Mém. Soc. G. N.*, t. 1, n° 1.
5. 1876. HÉBERT, Ed. Note sur le terrain crétacé du département de l'Yonne, *Bull. Soc. Sc. de l'Yonne*, vol. 30, pp. 15-46.
6. 1876. MICHEL-LÉVY. Note sur divers états globulaires de la silice, *B. S. G. F.*, 3e S., vol. 5, pp. 140-146.
7. 1876. MURRAY, J. Preliminary Report on some surface Organisms and their relation to Ocean Deposits. *Proc. Roy. Soc. London*, vol. 24, pp. 553-537.
8. 1876. SOLLAS, J.-W. On the glauconitic Granules of the Cambridge Greensand, *Geol. Mag.*, Déc. 2, vol. 4, pp. 377-378.
9. 1876. TÖRNEBOHM. Bildrag till frågan om qvartsiternas bildningssätt, *Geol Fören. i Stockholm Förhandlingar*, vol. 3, pp. 217-218 (1876-77).
120. 1876. ZITTEL, K. A. Ueber einige fossile Radiolarien aus der norddeutschen Kreide. *Zeits. d. deutsch. Geol. Ges.*, vol. 28, pp. 75-86.
1. 1876. ZITTEL, K.-A. Handbuch der Palæontologie, vol. 1, München.
2. 1877. DUVILLIER, E. Sur la présence de l'acide phosphorique dans toute la série géologique, Lille.
3. 1877. GWYN-JEFFREYS. Address to the section of Biology, *British. Assoc.*, Plymouth, pp. 79-88.
4. 1877. THOMSON, W. The Voyage of the Challenger. The Atlantic, 2 vol., London.
5. 1877 WALLICH. Observations on the Coccospheres. *Ann. and Mag. of Nat. Hist.*, 4e S., vol. 19, pp. 342-350.
6. 1878. BARROIS, Ch. Rudistes trouvés dans le Terrain crétacé du Nord de la France, *Ann. Soc. G. N.*, vol. 5, pp. 75-77.
7. 1878. BARROIS, Ch. Mémoire sur le Terrain crétacé des Ardennes et des régions voisines. *Ann. Soc. G N.*, vol. 5, p. 227-488.
8. 1878. DIXON, The Geology of Sussex, New Edition, Brighton.
9. 1878. DUMONT, A. Mémoires sur les terrains crétacés et tertiaires préparés par feu —, édités par M. MOURLON, 4 vol.
130. 1878. LAMBERT, J. Notice stratigraphique sur l'étage sénonien aux environs de Sens. *Bull. Sc. hist. et nat. de l'Yonne*, vol. 32, pp. 129-280.
1. 1878. MEUGY et NIVOIT. Explication de la carte géologique et agronomique de l'arrondissement de Rethel, Charleville.
2. 1878. MICHEL-LÉVY. Note sur quelques minéraux contenus dans les sables du Mesvrin, près Autun. *Bull. Soc. fr. de Min.*, vol. 1, pp. 39-41.
3. 1878. RENARD, A. Recherches lithologiques sur les phtanites du calcaire carbonifère de Belgique. *Bull. Acad. roy. Belg.*, 2e S., vol. 46.
4. 1878. RUPERT-JONES. Note on the Foraminifera and other Organisms in the Chalk of the Hebrides, *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol. 34, pp. 739-741.
5. 1878. SOLLAS, J. On the Structure and Affinities of the Genus *Catagma*, *Ann. and Mag. of Nat. Hist.*, 5e S., vol. 2, p. 361.
6. 1879. BONNEY. The Precambrian Rocks of Shropshire (by C. CALLAWAY) with Notes on the microscopic Structure of some of the Rocks, *Quart. Journ. Geol. Soc.*, pp. 643-673.
7. 1879. DAUBRÉE Etudes synthétiques de géologie expérimentale, Paris.
8. 1879. DOLLFUS, G. Esquisse des terrains tertiaires de la Normandie, *Bull. Soc. Géol. Normandie*, vol. 6, pp. 478-520.
9 1879. DOUVILLÉ. Légende de la feuille de Bourges.
140. 1879. FOUQUÉ et MICHEL-LÉVY. Minéralogie micrographique, Paris.
1. 1879. GEIKIE, A. Geographical Evolution, *Proc. roy. geogr. Soc.*, vol. 1, pp. 422-444.
2. 1879. LAMBERT, J. Note sur la craie du département de l'Yonne, *B. S. G. F.*, 3e S., vol. 7, pp. 202-207.
3. 1879. DE LAPPARENT. Le Pays de Bray. *Mém. carte geol. détaillée de la France.*
4. 1879. DE MERCEY, N. Remarques sur la classification du terrain crétacé supérieur. *B. S. G. F.*, 3e S., vol. 7, pp. 355-386.
5. 1879. SOLLAS, W.-J. On the Formation of Flints, *British. Assoc.*, Southampton, pp. 549-550.
6. 1879. ROTH, Justus. Allgemeine und chemische Geologie. Berlin.

147 1879. SORBY, H. C. The Anniversary Address of the President, Chap. Chalk, *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol. 35, pp. 78-79.
8. 1879. THOULET, J. Séparation mécanique des éléments des roches, *Bull. Soc. franc. Min.*, vol. 2, pp. 17-24.
9. 1879. ZITTEL, K. A. Studien über die fossile Spongien. *Abth. d. Math. Phys. Classe d. k. Ak. d. Wissench.* München.
150. 1880. BARROIS, Ch. Légende de la feuille de Rethel.
1. 1880. DAVIDSON, Ch. Report on the Brachiopoda, *Challenger*, vol. 1.
2. 1880. HINDE, G. J. Fossil Sponge spicules from the Upper Chalk, found in the interior of a single Flint-stone from Horstead in Norfolk, München.
3. 1880. MOSELEY. Deep-Sea dredging and Life in the deep Sea, *Nature*, vol. 21, pp. 563, 569, 591.
4. 1880. MOURLON, M. G. Géologie de la Belgique, 2 vol. Bruxelles.
5. 1880. MURRAY, J. On the Structure and Origin of Coral Reefs and Islands. *Proc. of Roy. Soc. of Edinburgh*, vol. 10, pp. 504-518.
6. 1880. PANTANELLI. I Diaspri della Toscana e i loro Fossili, *Mem. della Reale Accad. dei Lincei* S. 3, vol. 8, pp. 35-66.
7. 1880. SOLLAS, W. J. On the Flint Nodules of the Trimmingham Chalk. *Ann. and Mag. of Nat. Hist.*, 5e S., vol. 6, pp. 384-395 et 437-460.
8. 1880. SORBY. H. C. On the Structure Origin of non-calcareous stratified Rocks. *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol. 36, pp. 46-92.
9. 1880. WALLICH. A Contribution to the physical History of the cretaceous Flints. *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol. 36, pp. 68-93.
160. 1880. WICHMANN. Turmalin als authigener Gemengtheil von Sanden. *Neues Jahrb. für Min.* vol. 2, pp. 294-297.
1. 1881. AGASSIZ, A. Report on the Echinoidea,, *Challenger*, vol. 3.
2. 1881. DOUVILLÉ. Sur la partie moyenne du terrain jurassique dans le Bassin de Paris et sur le terrain corallien en particulier. *B. S. G. F.*, 3e S., vol. 9, pp. 439-474.
3. 1881. GOSSELET, J. Esquisse Géologique du Nord de la France et des contrées voisines. Terrains secondaires, Lille.
4. 1881. LAMBERT, J. Note sur l'étage turonien du département de l'Yonne, *Bull. Soc. Sc. hist. et nat. de l'Yonne*, vol. 35, pp. 144-173.
5. 1881. LANG, Otto. Ueber Sedimentär-Gesteine aus der Umgegend von Göttingen. *Zeits. d. deuts. geol. Ges.*, vol. 33, pp. 217-281.
6. 1881. MOSELEY, H. N. Report on certain Hydroid, Alcyonarian and Madreporian Corals, *Challenger*, vol. 2.
7. 1881. PHILLIPS. On the Constitution and History of Grits and Sandstones. *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol, 37, pp. 6-28.
8. 1881. WALLICH. On the Origin and Formation of the Flints of the Upper or White Chalk. *Ann. and Mag. of Nat. Hist.*, S. 5, vol. 7.
9. 1881. WALLICH. Supplementary Notes on the Flints and the lithological Identity of the Chalk and recent calcareous Deposits in the Ocean. *Ann. and Mag. of Nat. Hist.*, S. 5, vol. 8.
170. 1882. BARROIS, Ch. Recherches sur les terrains anciens des Asturies et de la Galice. *Mém. Soc. G. N.*, vol. 2, mém. n° 1.
1. 1882. GARDNER. The Fallacy of the Theory of the Permanence of Continents, *Geol. Mag.*, N. Ser., D. 2, vol. 9. pp. 546-548.
2. 1882. GEIKIE, A. Text-Book of Geologie. 1re Ed., London.
3. 1882. KLEMM. Mikroskopische Untersuchungen über psammitische Gesteine. *Zeits. d. deutsch. geol. Ges.*, vol. 34, pp. 771-805.
4. 1883. CROSBY. Origin of Continents, *Geol. Mag.*, N. Ser., D. 2., vol. 10, pp. 241-253.
5. 1883. FUCHS. Légende de la feuille de Vassy.
6. 1883. FUCHS, Th. Welche Ablagerungen haben wir als Tiefseebildungen zu betrachten ? *Neues Jahrb. für Min.* Beilage-Band 2, pp. 487-584.
7. 1883. DARWIN, Ch. Voyage d'un naturaliste autour du monde fait à bord du navire Le Beagle, de 1831 à 1836, traduction par M. E. Barbier, 2e édit., Paris.
8. 1883. GOSSELET, J. Esquisse géologique du Nord de la France. Terrains tertiaires.
9. 1883. HOEK, P. P. C. Report on the Cirrhipedia, *Challenger*, vol. 8.
180. 1883. WALLICH. Note on the Detection of Polycystina with the hermetically closed Cavities of certain nodular Flints, *Ann. and Mag. of Nat. Hist.*, 5e S., vol. 12, pp. 52-53.
1. 1883. WOHLGEMUTH, J. Recherches sur le Jurassique moyen à l'Est du Bassin de Paris, Nancy.
2. 1883. ZITTEL, K.-A. Traité de Paléontologie. Traduction de M. CH. BARROIS, vol. 1.
3. 1884. BARROIS, Ch. Galets trouvés dans la craie. *Ann. Soc. G. N.*, vol. 11, p. 102.
4. 1884. BUSK, G. Report on the Polyzoa (The Cheilostoma), *Challenger*, vol. 10.
5. 1884. CARPENTER, P.-H. Report on the Crinoidea, *Challenger*, vol. 11.
6. 1884. DOUVILLÉ. Légende de la feuille de Blois.
7. 1884. GOSSELET, J. Galet dans la craie de Lezennes, *Ann. Soc. G. N.*, vol. 11, p. 102.

188. 1884. MUNIER-CHALMAS et SCHLUMBERGER. Présentation d'une note sur les Miliolidées trématophorées, *B. S. G. F.*, 3e S., vol. 12, pp. 629 et 630.
9. 1884. MURRAY, J. et RENARD, A.-F. Notice sur la classification, le mode de distribution géographique des sédiments de mer profonde. *Bull. Musée royal d'Hist. nat. de Belgique*, vol. 3, pp. 25-63.
190. 1884. THOULET, J. Sur les spicules siliceux d'Eponges vivantes. *C. R. Ac. Sc.*, vol. 98, pp. 1000 et suiv.
1. 1884. THÜRACH, H. Ueber das Vorkommen mikroskopischer Zirkone und Titan Mineralien in den Gesteinen, *Verh. d. Phys.-med Ges. zu Würzburg.*, vol. 18.
2. 1885. FOCKEU. Note sur la craie de Lille, *Ann. Soc. G. N.*, vol. 12, p. 255.
3. 1885. FOCKEU. Quarzophyllade silurien dans la craie d'Hellemmes, *Ann. Soc. G. N.*, vol. 12, p. 401.
4. 1885. GUPPY, H.-B. Observations on the recent calcareous Formations of the Salomon Group, made during 1882-84, *Trans. Roy. Soc. of Edinburgh*, vol. 32, pp. 545-582.
5. 1885. HINDE, G.-J. On Beds of Sponge-remains in the Lower and Upper Greensand of the South of England, *Phil. Trans. Roy. Soc.*, part. II, pp. 403-453.
6. 1885. JUDD, W. and HOMERSHAM, C. Supplementary Notes on the deep Boring at Richmond, Surrey, *Quart. Jour. Geol. Soc.* vol. 41, pp. 523-528.
7. 1885 M'INTOSH, W.-C. Report on the Annelida Polychæta, *Challenger*, vol. 12.
8. 1885. MUNIER-CHALMAS et SCHLUMBERGER. Note sur les Miliolidées trématophorées, *B. S. G. F.*, 3e S., vol. 13, pp. 273-323.
9. 1885. RUPERT-JONES. The Origin and Constitution of Chalk and Flints, *Trans. Hertfordshire Nat. Hist. Soc.*, vol, 3, pp. 143-156.
200. 1885. RÜST. Beiträge zur Kenntniss der fossilen Radiolarien aus Gesteinen des Jura, *Palaeontographica*, vol. 31.
1. 1885. WALTHER, J. Die gesteinbildenden Kalkalgen des Golfes von Neapel und die Entstehung structurloser Kalke. *Zeits. d. deuts. Geol. Ges.*, vol. 37, pp. 329-357.
2. 1886. G. BUSK. Report on the Polyzoa Cyclostomata, Ctenostomata, Pedicellinea, *Challenger*, vol 17.
3. 1886. CASTRACANE, Fr. Report on the Diatomaceæ, *Challenger*, vol. 2.
4. 1886. GUILLIER, A. Géologie du département de la Sarthe, Paris.
5. 1886. GÜMBEL, V. Ueber die Natur und Bildungsweise des Glaukonits, *Sitz. d. Math. Phys. Clas. d. k. Akad. Wiss. zu München*, pp. 417-449.
6. 1886. HILL, W. and JUKES-BROWNE, A.-J. The Melbourn Rock and the zone of *Belemnitella plena*, from Cambridge to the Chiltern Hills. *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol. 42, pp 216-230.
7. 1886. HILL, W. On the Beds between the Upper and Lower Chalk of Dover and their comparison with the Middle Chalk of Cambridgeshire, *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol. 42, pp. 232-248.
8. 1886. v. KRUSTSCHOFF, K. Beitrag zur Kenntniss der Zirkone in Gesteinen, *Min. und Petr. Mitth. von G. Tschermak.* Neue Folge, vol 7. pp. 423-441.
9. 1886. LORY, Ch. Sur la présence de cristaux microscopiques de minéraux du groupe des feldspaths dans certains calcaires jurassiques des Alpes, *C. R. Ac. Sc.*, vol. 103, p. 309.
210. 1886. PÖHLMANN, B Gesteine aus Paraguay, *Neues Jahrb. für Min.*, pp. 244-248.
1. 1886. PRESTWICH, J. Geology chemical, physical and stratigraphical, 2 vol. Oxford.
2. 1887. BOURGEAT. Contribution à l'étude du crétacé supérieur dans le Jura méridional, *B. S. G. F.*, 3e S., vol. 15, pp. 328-331.
3. 1887. CAYEUX, L Compte-rendu de l'excursion de la Société Géologique du Nord à Lezennes et à Cysoing, *An. Soc. G. N.*, vol. 14, pp. 240-247.
4. 1887. FAVARCQ et GRAND'EURY. Sur un grès d'origine organique découvert dans les couches du bassin houiller de la Loire, *C. R. Ac. Sc.*, vol. 104, pp. 398-400.
5. 1887. FISCHER, P. Manuel de Conchyliologie, Paris.
6. 1887. HAECKEL, E. Report on the Radiolaria, *Challenger*, vol. 18.
7. 1887. HINDE, G.-J. A monograph of the british fossil Sponges. *Pal. Soc.*, vol. 40.
8. 1887. JUKES-BROWNE and HILL. On the Lower Part of the Upper cretaceous Series in West Suffolk and Norfolk, *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol. 43, pp. 544-598.
9. 1887. NEUMAYR, M. Erdgeschichte, 2 vol., Leipzig.
220. 1887. NIVOIT, E. Géologie appliquée à l'art de l'ingénieur, 2 vol.
1. 1887. PERON, A. Notes pour servir à l'histoire du terrain de craie dans le Sud-Est du bassin anglo-parisien, *Bull. Soc. Sc. hist. et nat. de l'Yonne*, vol. 41, pp. 145-366.
2. 1887. RENARD, A.-F. et KLÉMENT. Sur la nature minérale des silex de la craie de Nouvelles ; contribution à l'étude de leur formation. *Bull. Ac. roy. Belgique*, 57e année, 3e S., vol. 14, pp. 773-810.
3. 1887. RIDLEY, St. O. and DENDY. A. Report on Monaxonida, *Challenger*, vol. 20.
4. 1888. AGASSIZ, Al. Three Cruises of the United States Coast and geodetic Survey Steamer « Blake », 2 vol.
5. 1888. BALL, V. On the probable Mode of Transport of the Fragments of Granite and other Rocks which are found imbedded in the carboniferous Limestone of the Neighbourhood of Dublin, *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol. 44, pp. 371-375.
6. 1888. BATE Ed., Spence. Report on the Crustacea Macrura, *Challenger*, vol. 24.

227. 1888. GUILLIER et KILIAN. Légende de la feuille de Tours.
8. 1888. v. GÜMBEL. Grundzüge der Geologie, vol. 1, Kassel.
9. 1888. HILL, W. On the Lower Beds of the Upper cretaceous Series in Lincolnshire and Yorkshire. *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol. 14, pp. 320-368.
230. 1888. NIVOIT, E. Légende de la feuille de Mézières.
1. 1888. RÜST. Beiträge zur Kenntniss der Fossilen Radiolarien aus Gesteinen der Kreide, *Palaeontographica*, vol. 34, pp. 181-214.
2. 1888. SOLLAS-W. J. Report on the Tetractinellida, *Challenger*, vol. 28.
3. 1888. TEALL, Harris. British Petrography, London.
4. 1889. BRUN, J. et TEMPÈRE, J. Diatomées fossiles du Japon, *Mém. Soc. de l'hys. et d'Hist. nat. Genève*, vol. 30, n° 9.
5. 1889. CAYEUX, L. Notes sur le crétacé de Chercq, près Tournay, *Ann. Soc. G. N.*, vol. 16, pp. 142-156.
6. 1889. CAYEUX, L. La faune du Tun ; extension en épaisseur de la zone à *Micraster brevi-porus*, *Ann. Soc. G. N.*, vol. 16, pp. 123-131.
7. 1889. DE GROSSOUVRE. Sur le terrain crétacé dans le Sud-Ouest du Bassin de Paris, *B. S. G. F.*, 3e S., vol. 17, pp. 475-524.
8. 1889. JUKES-BROWNE, J. and HILL, W. The Occurence of colloid Silica in the Lower Chalk of Berkshire and Wiltshire, *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol 45, pp. 403-422.
9. 1889 LADRIÈRE et CAYEUX. Compte-rendu de l'excursion faite par la Société géologique du Nord à Pernes-en-Artois, *Ann. Soc. G. N.*, vol. 16, pp. 185-202.
240. 1889. LORY, Ch. Etude sur la constitution et la structure des massifs de schistes cristallins des Alpes occidentales, Grenoble.
1. 1889. MEUNIER, Stanislas. Examen des roches houillères à *Baccillarites* Stur, *C. R. Ac. Sc.*, vol. 108, pp. 468-470.
2. 1889. MURRAY, J. and IRVINE, Robert. On Coral Reefs and other Carbonate of Lime Formations in modern Seas, *Proc. Roy. Soc. of Edinburgh*, vol. 17, pp. 79-110.
3. 1889. NICHOLSON, H.-A. and LYDEKKER, R. Manuel of Palæontology, 3e édit.
4. 1889. SLADEN, W. P. Report on the Asteroidea, *Challenger*, vol. 30.
5. 1889. WATERS, A. W. Supplementary Report on the Polyzoa, *Challenger*, vol. 31.
6. 1889. WHITAKER, W. The Geology of London, 2 vol.. *Mem. Geol. Survey of England and Wales.*
7. 1890. BUCHANAN, J. Y. On the Occurence of Sulphur in marine Muds and Nodules, and its bearing on their Mode of Formation, *Proc. Roy. Soc. of Edinburgh*, vol. 18, pp. 17-39.
8. 1890. CAYEUX, L. Mémoire sur la craie grise du Nord de la France, *Ann. Soc. G. N.*, vol. 17, pp. 105-141.
9. 1890. CAYEUX, L. Etude micrographique de la craie des environs de Lille ; Dièves à *Inoceramus labiatus*, *Ann. Soc. G. N.*, vol. 17, pp. 342-381.
250. 1890. GRAND'EURY, Géologie et Paléontologie du Bassin houiller du Gard.
1. 1890. LASNE, H. Sur les terrains phosphatés des environs de Doullens, *B. S. G. F.*, 3e S., vol. 18, pp. 441-490.
2. 1890. MURRAY, J. and IRVINE, R. On Silica and the siliceous Remains of Organisms in modern Seas. *Proc. Roy. Soc. of Edinburgh*, vol. 18. pp. 229-250.
3. 1890. TERMIER. Etude sur la leverrierite, *Ann. des Mines*, 8e S., vol. 17, pp. 372-401, et *C. R. Ac. Sc.*, vol. 108, pp. 1071-1073.
4. 1891. CAYEUX, L. Observations sur la nature des minéraux signalés par M. Lasne dans la craie sénonienne des environs de Doullens, *Ann. Soc. G. N.*, vol. 18, pp. 168-170.
5. 1891. CAYEUX, L. Etude comparée des résidus des craies à *T. gracilis* et à *M. breviporus* des environs de Lille, *Ann. Soc. G. N.*, vol. 19, p. 9.
6. 1891. CAYEUX, L. De l'existence des Diatomées dans le Landénien inférieur du Nord de la France et de la Belgique. *C. R. Ac. Sc.*, vol. 112, p. 969.
7. 1891. CAYEUX, L. Etude micrographique du Tuffeau à *Cyprina planata* du Nord de la France et de la Belgique. Du rôle des Diatomées dans la formation de ce tuffeau, *Ann. Soc. N.*, vol 19, pp. 90-95.
8. 1891. CAYEUX, L. La craie du Nord de la France et la boue à Globigérines, *Ann. Soc. G. N.*, vol. 19, pp. 95-102.
9. 1891. CAYEUX, L. Examen microscopique du grès de Belleu, *Ann. Soc. G. N.*, vol. 19, pp 111-112.
260. 1891. CAYEUX, L. De l'existence des Diatomées dans l'Yprésien du Nord, *Ann. Soc. G. N.*, vol. 19, pp. 131-132 et *C. R. Ac. Sc.*, vol. 107, p. 969.
1. 1891. CAYEUX, L. Diffusion des trois formes distinctes de l'oxyde de titane dans le Crétacé du Nord de la France, *Ann. Soc. G. N.*, vol. 19, pp. 132-134, et *C. R. Ac. Sc.*, vol. 112, pp. 1279-1280.
2. 1891. DE LAPPARENT. Lettre à M. Gosselet contre l'épithète de terrigène attribuée à la craie par M. Cayeux, *Ann. Soc. G. N.*, vol. 19, pp. 251-252.
3. 1891. CAYEUX, L. La craie du Nord est bien un dépôt terrigène. Observations sur la lettre de M. de Lapparent à M. Gosselet, *Ann. Soc. G. N.*, vol. 19, pp. 252-260.
4. 1891. CAYEUX L. Composition minéralogique des sables glauconieux landéniens du Nord de la France, *Ann. Soc. G. N.*, vol. 19, pp. 264-265..

265. 1891. DE LAPPARENT. Lettre à M. Gosselet, *Ann. Soc. G. N.*, vol. 19, pp. 305-306.
6. 1891. CAYEUX, L. Observations au sujet de la lettre précédente, *Ann. Soc. G. N.*, vol. 19, pp. 306-307.
7. 1891. CAYEUX, L. De l'existence de nombreux Radiolaires dans le Jurassique et dans l'Eocène du Nord de la France. Origine de la silice de la gaize et des tuffeaux éocènes, *Ann. Soc. G. N.*, vol. 19, pp. 309-315.
8. 1891. JANET, Ch. Note sur les conditions dans lesquelles s'est effectué le dépôt de la craie dans le Bassin parisien, *B. S. G F*, 3e S., vol. 19, pp 903-914.
9. 1891. JUKES-BROWNE, A. J. The Geology of Devizes, *Proc. Geol. Ass.*, vol. 12.
270. 1891. DE MERCEY, N. Remarques sur les gîtes de phosphate de chaux de la Picardie, *B. S. G. F.*, 3e S., vol. 19, pp. 854-876
1. 1891. MURRAY, J. and RENARD, A. F. Report on the scientific Results of the Voyage of H. M. S. Challenger during the years 1873-76. Deep sea Deposits.
2. 1891. PERNER. O radiolariích z českého útvaru křidového. *Sitz. d. könig. böhm. Ges. d. Wiss.*, 17 april.
3. 1891. RENARD, A. F. et CORNET, J. Recherches micrographiques sur la nature et l'origine des roches phosphatées (Notice préliminaire). *Bull. Ac. roy. de Belgique*, 3e Sér., vol 31, pp. 126-161.
4. 1891. STRAHAN, A. On a phosphatic Chalk with *Belemnitella quadrata* at Taplow, *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol. 47, pp. 356-367.
5. 1892 CAYEUX, L. Sur la présence de nombreuses Diatomées dans les gaizes jurassiques et crétacées du Bassin de Paris. De l'existence de Radiolaires dans les gaizes crétacées de ce même bassin, *Ann. Soc. G. N.*, vol. 20, pp. 57-60.
6. 1892. CAYEUX, L. Notes sur la glauconie, *Ann. Soc. G. N.*, vol. 20, pp. 381-389.
7. 1892. DE GROSSOUVRE. Sur les conditions de dépôt de la craie blanche, *Ann. Soc. G. N.*, vol. 20, pp. 1-9.
8. 1892. JUKES BROWNE, J. The geographical Evolution of the english Channel, *Contemporary Review* (June), pp. 855-864.
9. 1892. JUKES-BROWNE, J. The Building of the British Isles, 2e éd., London.
280. 1892. JUKES-BROWNE, A. J. and HARRISON, J. B. The Coral Rocks and oceanic Deposits of Barbados, *Quart Journ. Geol. Soc.*, vol. 48, pp. 169-226.
1. 1892. DE LAPPARENT. Réponse à M. Cayeux sur l'épithète terrigène appliquée à la craie, *B. S. G. F.*, 3e S. vol. 20, p. XXVIII.
2. 1892. LASNE, H. Sur les terrains phosphatés des environs de Doullens (2e note), *B. S. G. F.*, 3e S., vol 20, pp. 211-236.
3. 1892. MICHEL-LÉVY et MUNIER-CHALMAS. Mémoire sur les diverses formes affectées par le réseau élémentaire du quartz, *Bull. Soc. fr. Min.*, vol. 15, pp. 166-190.
4. 1892. MUNIER-CHALMAS. Origine des phosphates de la Somme et formation de la craie, *C. R. Soc. G. F.*, 3e S., vol. 20, pp. XLVII-L.
5. 1892. MUNIER-CHALMAS. Sur le rôle, la distribution et la direction des courants marins en France pendant le crétacé supérieur, *C. R. Ac. Sc.*, vol. 114, pp. 851-854.
6. 1892. VAILLANT, Léon. Sur la possibilité du transport des galets dans l'appareil digestif des poissons, *B. S. G. F.*, 3e S., vol 20, pp. 111-114.
7. 1892. WALLACE, A., Russel Island Life, 2e édit., Londres.
8. 1893. ABBOTT, G. Was the Deposit of Flint and Chalk contemporaneous? *Geol. Mag.*, N. Ser., D. 3., vol. 10, pp. 275-277.
9. 1893. FRITSCH, A. Studien im Gebiete der böhmischen Kreideformation. Palæontologische Untersuchungen der einzelnen Schichten. Priesener Schichten. *Arch. d. Nat. Landesdurchforschung von Bohmen*, vol. 9, n° 1 (Geol. Abth.) Prag.
290. 1893. HUME, W. Fraser. Chemical and micromineralogical Researches of the Upper cretaceous Zones of the South-England. Londres.
1. 1893. JUKES-BROWNE, J. The Amount of disseminated Silica in Chalk considered in relation to Flints, *Geol. Mag.*, N. Ser., D. 2, vol. 10, pp. 541-547.
2. 1893. JUKES-BROWNE, J. The relative âge of Flints, *Geol. Mag.*, N. Ser., D. 3, vol. 10, pp. 315-318.
3. 1893. LACROIX, A. Minéralogie de la France et des colonies, vol. 1, Paris.
4. 1893. DE LAPPARENT. Traité de Géologie, 3e éd. Paris.
5. 1893. THOULET, J. Les courants de la mer, *Rev. Scient.*, vol. 51, pp. 257-266.
6. 1894. CALDERON, S. et CHAVES, F. Contribuciones al Estudio de la Glauconita, *An. de la Soc. Espan. de Hist. Nat.*, vol. 22, pp. 5-17.
7. 1894. DEECKE. Die mesozoischen Formationen der Provinz Pommern. *Mitth. d. Nat. Vereines für Neu-Vorpommern and Rügen*, Greifswald.
8. 1894. HUME, W.-F. The Genesis of the Chalk. *Proc. of the Geologist's Association*, vol. 13, pp. 211-246.
9. 1894. JUKES-BROWNE, J. The microscopic Structure of the zones of the Chalk. *Proc. of the Yorkshire geol. and polyt. Society*, vol. 12, pp. 385-395.
300. 1894. ZIRKEL, F. Lehrbuch der Petrographie. Leipzig.

301. 1895. CAYEUX, L. Existence de nombreux cristaux de feldspath orthose dans la craie du bassin de Paris. Preuves de leur genèse *in situ*, *C. R. Ac. Sc.*, vol. 120, pp. 1068-1071.
2. 1895. HILL, W. and JUKES BROWNE, A. J. On the Occurence of Radiolaria in Chalk. *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol. 51, pp. 600-608.
3. 1895. HUME, W. Fraser. Oceanic Deposits ancient and modern. *Nat. Science*, vol. 7, pp. 270-276 et 385-394.
4. 1895. TERMIER, P. Sur la structure des grès de Fontainebleau, *B. S. G. F.*, 3e S., vol. 23, pp. 344-348.
5. 1895. CAYEUX, L. De l'existence de nombreux Radiolaires dans le Tithonique supérieur de l'Ardèche, *C. R. Ac. Sc.*, vol. 122, pp. 342-343.
6. 1896. CAYEUX, L. Note préliminaire sur la constitution des phosphates de chaux du Sud de la Tunisie, *C. R. Ac. Sc.*, vol. 123, pp. 273-276.
7. 1896. CAYEUX, L. Structure bréchoïde du Tithonique supérieur du Sud de l'Ardèche. Preuves de son origine à la fois post-sédimentaire et chimique, *C. R. Ac. Sc.*, vol. 122, pp. 1560-1562.
8. 1896. CAYEUX, L. De l'existence de silex formés en deux temps, *Assoc. fr. Av. Sc.*, 25e Session à Carthage, 2e part., pp. 290-293.
9. 1896. GOSSELET, J. Des conditions dans lesquelles s'est fait le dépôt de phosphate de chaux de la Picardie, *C. R. Ac. Sc.*, vol. 123, pp. 290-292.
310. 1896. STRAHAN, A. On a phosphatic Chalk with *Holaster planus* at Lewes, *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol. 52, pp. 463-476
1. 1896. Légende de la carte géologique de Belgique à l'échelle de 40.000e, Bruxelles.
312. 1897. GOSSELET, J. Note sur les gîtes de phosphate de chaux d'Hem-Monacu, d'Etaves, du Ponthieu, *Ann. Soc. G. N.*, vol. 24, pp. 109-134.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION 9

PREMIÈRE PARTIE

DÉPÔTS SILICEUX

Étude de quelques dépôts siliceux secondaires et tertiaires du Bassin de Paris et de la Belgique

CHAPITRE I

Gaizes jurassiques et crétacées du Bassin de Paris

Définition de la gaize ; ses propriétés 14
Répartition stratigraphique et géographique 15
I. GAIZE OXFORDIENNE A *Cardioceras Mariæ* 16
1° et 2° Gaize siliceuse et gaize calcifiée 18
Calcification de la gaize à corps globuleux siliceux 24
3° Calcaire du niveau de la gaize 25
Conclusions 25
II. GAIZE A *Acanthoceras mamillare* et *Hoplites interruptus* 26
Nodules siliceux 30
Résumé 31
III. GAIZE A *Schlœnbachia inflata* 31
Distribution géographique et caractères stratigraphiques 31
1. Gaize de l'Argonne 33
Nodules siliceux 39
Conclusions 39
2. Gaize du massif de Marlemont 39
Résumé 44
3. Gaize du Pays de Bray et du cap de la Hève 44
A. Gaize siliceuse à débris de Spongiaires 45
Conclusions 47
B. Gaize calcarifère à Foraminifères 47
Noyaux cornés de la gaize d'Octeville 49
Conclusions 50
4. Gaize de l'Yonne 50
IV. GAIZE A *Acanthoceras Mantelli* DU CHER 52
1. Gaize siliceuse 53
2. Gaizes calcaires 56

Conclusions 57
V. RÉSULTATS GÉNÉRAUX DE L'ÉTUDE DES GAIZES ALBIENNES ET CÉNOMANIENNES . . . . . .
1. *Minéraux*. Degré de fréquence 57
Minéraux détritiques. 57
Minéraux secondaires (Glauconie et Pyrite) 58
2. *Organismes*. Spongiaires. 58
Radiolaires 60
Foraminifères 60
Diatomées 60
Diatomées calcifiées 61
3. *Ciment*. Composition minérale du ciment 62
Structure du ciment. 62
a. Silice. Opale et ses variétés; structure globulaire de l'opale. 63
Calcédoine, chert et silex 64
b. Matière argileuse 66
4. *Composition chimique des gaizes* 68
Silice 68
Alumine et Carbonate de chaux 70
VI. CONCLUSIONS ; ORIGINES DE LA SILICE DU CIMENT DES GAIZES. . . . . .
Définition et caractères de la gaize typique 70
De la nécessité d'introduire définitivement le terme gaize dans la nomenclature des roches sédimentaires. 71
Variétés de gaizes représentées dans le Bassin de Paris 72
Origines de la silice minérale des gaizes 72
Première source de silice : dissolution des spicules sur le fond de la mer . . 73
Deuxième source : dissolution des spicules à l'intérieur du sédiment. 74
Troisième source : intervention des dépôts supérieurs à la gaize 75
Quatrième source : destruction de la matière argileuse 76
Conclusions 77
Durée de la métamorphose de la gaize 77
Période de différenciation de l'opale et de la genèse de la calcédoine; chert. . 78
Etat initial de la gaize ; somme de ses métamorphoses 79

CHAPITRE II

Étude de quelques formations siliceuses du Crétacé de Belgique

1. MEULE DE BRACQUEGNIES ET DE THIVENCELLES 81
Caractères pétrographiques. 81
Distribution géographique ; puissance de l'étage; position stratigraphique 82
Composition chimique 82
1° Meule siliceuse de Bracquegnies. 83
A. Meule quartzeuse 83
Silicification du test des Mollusques 86
Origine du ciment de la meule quartzeuse 87
B. Meule presque uniquement formée de restes de Spongiaires 89
Conclusions . . . . . .
C. « Silex » de la Meule. 90
Comparaison de la Meule presque uniquement formée de débris de Spongiaires et des « Silex ». 91

2° Meule de Thivencelles 91
A. Meule calcaréo-siliceuse 92
B. Meule calcaire silicifiée 94
3° Résultats de l'étude de la Meule. . . . . .
Conclusions 95
Remarques sur la composition chimique de la Meule 96
Genèse de la Meule 96
Comparaison de la gaize et de la Meule de Bracquegnies 98
Types pétrographiques à distinguer dans la Meule. Spongolithe 99
I. TÊTES DE CHAT DE MAISIÈRES (As. à *I. labiatus*). 100
Comparaison avec les gaizes 104
III. RABOTS DE SAINT-DENIS (As. à *T. gracilis*) 104
Genèse des rabots. 107
Origine intrinsèque de la silice 107
Origine extrinsèque 108
Conclusions 109
IV. SMECTIQUE DE HERVE (As. à *B. quadrata*) 110
Origine de la silice du ciment. 114
Place de la smectique dans la nomenclature des roches sédimentaires. 114
V. COUP D'ŒIL D'ENSEMBLE SUR LES ROCHES ÉTUDIÉES DANS CE CHAPITRE 115

CHAPITRE III

Tuffeaux éocènes du Nord de la France et de la Belgique

Aperçu général sur les roches siliceuses ; rôle des organismes siliceux dans la nature

Ce qu'on entend par tuffeau 117
Terminologie employée pour désigner le tuffeau 117
Allure stratigraphique 117
I. TUFFEAUX LANDÉNIENS A *Cyprina planata* (THANÉTIEN) ; Distribution géographique. 118
Composition de l'étage ; puissance 118
Caractères pétrographiques des tuffeaux 118
1° Tuffeaux siliceux 119
A. Tuffeaux quartzeux 119
Minéraux 120
Conclusions à tirer de leur présence 122
B. Tuffeau à Diatomées 126
C. Tuffeau à Spongiaires et à Radiolaires. 129
D. Tuffeau à Spongiaires. 132
2° Tuffeaux calcaréo-siliceux 133
A. Tuffeau d'Orp-le-Grand (Belgique) 133
B. Tuffeau de Lincent (Belgique) 134
II. TUFFEAUX YPRÉSIENS 135
1° Tuffeau du niveau des Sables de Mons-en-Pévèle. 135
2° Tuffeau du niveau de la Glauconie du Mont-Panisel. 137
A. Tuffeau du Mont-des-Cats 137
B. Tuffeau (argilite) de Piéton (Belgique) 139
C. Grès lustré du Mont-Panisel (Belgique). 140

III. RÉSULTATS GÉNÉRAUX DE L'ÉTUDE DES TUFFEAUX. CONCLUSIONS 142
1° *Minéraux*. 142
2° *Organismes*. 142
Spongiaires 143
Radiolaires 143
Foraminifères 143
Diatomées 143
3° *Ciment* 144
Composition chimique 145
Distinction d'un ciment primordial et d'un ciment secondaire 145
Etat originel du ciment primordial des tuffeaux 146
Pluralité d'origine de la silice du ciment des tuffeaux 147
1re Source de silice : Genèse de la silice par dissolution des organismes siliceux sur le fond de la mer 147
2me Source : Décomposition de la matière argileuse 147
3me Source : Intervention des dépôts supérieurs aux tuffeaux 148
Durée de la formation et de la métamorphose du ciment 149
Silice globulaire et calcédoine. 149
Des réformes qu'il convient d'opérer dans la désignation des roches du groupe du tuffeau 149
Répartition des roches étudiées dans ce chapitre entre les groupes grès, gaize et calcaire . 151
Résumé et Conclusions 152
Comparaison du tuffeau avec la gaize et la Meule de Bracquegnies 153
IV. APERÇU GÉNÉRAL SUR LES ROCHES SILICEUSES ; RÔLE DES ORGANISMES SILICEUX DANS LA NATURE . 154
La gaize considérée comme type d'une famille naturelle de roches siliceuses . . . 154
Classification des roches siliceuses cohérentes 155
1° La silice est exclusivement ou en majeure partie détritique. 155
2° La silice est détritique, organique et chimique 155
3° La silice est presque exclusivement organique 156
4° La silice est exclusivement ou en majeure partie chimique 156
Classification des gaizes. 157
Comparaison des dépôts siliceux étudiés avec les sédiments actuels 158
Rôle des organismes siliceux dans la nature 159

CHAPITRE IV

Etude de la glauconie des roches siliceuses

I. DESCRIPTION DE LA GLAUCONIE 163
Caractères 163
Structure 164
Clivages 165
Inclusions. 166
Propriétés optiques 167
Polychroïsme 167
Double réfraction 167
Phénomènes d'altération 168
Pyrite des grains de glauconie. Cas particulier de sa genèse indépendante des phénomènes d'altération. 168

II. CIRCONSTANCES DIVERSES DE LA GENÈSE DE LA GLAUCONIE DES ROCHES SILICEUSES. 170
Aperçu bibliographique sur cette question 170
Relations de la glauconie des roches siliceuses avec les organismes 172
Association de la glauconie avec les minéraux terrigènes; conséquences qui en découlent. 173
Glauconie considérée dans ses rapports avec les minéraux clastiques. . . . 174
Glauconie pigmentaire 175
Glauconie globulaire et genèse de grains composés sans intervention des organismes. 176
Grains incomplets limités par une enveloppe glauconieuse continue. 178
Genèse ou croissance de grains de glauconie après le dépôt de la roche. 178
Formation de la glauconie en plusieurs temps 179
Autres preuves de la genèse de la glauconie postérieure au dépôt de la roche; glauconie contemporaine de sa consolidation. 179
Glauconie épigénique de la calcite 181
De la part qui revient aux organismes dans la production de la glauconie 182
Intervention de la matière organique dans la genèse de la glauconie 183

CHAPITRE V

Description des Radiolaires de la « Smectique de Herve » (Belgique)

Bibliographie 185
Description des Radiolaires 186
Conclusions 205
Tableau récapitulatif de la faune de Radiolaires 206

DEUXIÈME PARTIE

CRAIE DU BASSIN DE PARIS

Revue bibliographique 209

CHAPITRE VI

Craie du Nord

1° Marnes à *Inoceramus labiatus* 216
Elimination de la matière du ciment de l'intérieur des coquilles de Foraminifères. 219
2° Marnes à *Terebratulina gracilis*. 220
Appendice : Marne à *T. gracilis* de Chercq, près Tournay. 223
3° Craie à *Micraster breviporus* 224
A. Craie à cornus 224
B. Deuxième et troisième tuns 228
C. Craie glauconieuse et phosphatée à *Micraster breviporus*. 230
Glauconie. 231
Phosphate de chaux 232

a. Phosphate de chaux en enduit sur les grains de quartz 232
b. Phosphate en grains 232
c. Phosphate en concrétions microscopiques. 232
Rapports de la glauconie et du phosphate de chaux 233
Conclusions 233
Genèse de grains de phosphate après la sédimentation. 233
De l'intervention des Rhizopodes dans la genèse des éléments phosphatés de la craie glauconieuse 234
D. *Premier tun* 237
Phosphate de chaux 237
Glauconie. 238
Étude des îlots de craie enveloppés de ciment phosphaté ; rôle conservateur du phosphate en faveur des Rhizopodes ; destruction *in situ* des Foraminifères de la craie 241
Genèse des concrétions phosphatées du 1er Tun 242
Appendice : Craie phosphatée du Cambrésis 242
4° Craie à *Micraster cor testudinarium* 243
A. « Banc du Tun » 243
B. « Banc des Roux ». 247
Fragmentation des coquilles de Foraminifères par voie chimique et postérieurement à la sédimentation ; Conséquences 250
C. « Banc des Soies ». 252
5° Craie d'Ennequin 255
6° Résultats généraux de l'étude de la craie du département du Nord 256
Minéraux 256
Éléments détritiques 256
a. Argile 256
b. Galets 257
c. Minéraux 257
Pluralité d'origine des éléments détritiques de la craie 258
Minéraux secondaires 258
Glauconie. 258
Orthose 259
Phosphate de chaux 260
Organismes. 261
Mollusques et Brachiopodes 261
Bryozoaires 261
Ostracodes 261
Echinodermes 261
Spongiaires 2 1
Radiolaires 262
Foraminifères 262
Organismes de position systématique indéterminée 263
Ciment 263
Conclusions. 264

CHAPITRE VII

Craie du Pays de Bray

1. Craie à *Inoceramus* et à *Terebratulina gracilis* 265
2. Craie à *Micraster breviporus*. 267

3. Craie à *Micraster cor testudinarium* 269
A. Craie noduleuse. 269
Origine de la structure noduleuse 272
B. Craie blanche à *M. c. testudinarium* 273
4. Craie à *Micraster cor anguinum* 275
Organismes indéterminés 276
5. Craie à Bélemnitelles 277
6. Résultats généraux de la craie du Pays de Bray 279
Minéraux 279
Minéraux détritiques. 279
Minéraux secondaires 279
Orthose 279
Glauconie 279
Phosphate de chaux 280
Calcite 280
Organismes. 280
Mollusques et Brachiopodes 280
Bryozoaires 280
Echinodermes 280
Spongiaires 281
Foraminifères 281
Corps organiques de position systématique indéterminée 282
Ciment 282
Résumé et conclusions. 282
7. Appendice. Craie à *M. c. testudinarium* de Marieux (Somme) 283

CHAPITRE VIII

Craie de la région de Rouen

1. Craie à *Actinocamax plenus* 286
2. Craie à *Inoceramus labiatus* 288
Craie à *Rhynchonella Cuvieri* et *Terebratula semiglobosa*. 289
3. Craie à *Terebratulina gracilis* 289
4. Craie à *Micraster breviporus*. 293
Structure noduleuse 295
5. Craie à *Micraster cor testudinarium* 296
A. Craie de la base de l'assise 296
B. Partie moyenne de l'assise. 297
6. Craie à *Micraster cor anguinum* 299
7. Craie à Marsupites 300
8. Résultats généraux de l'étude de la craie de la région de Rouen 303
Minéraux 303
Minéraux détritiques. 303
Minéraux secondaires. 303
Glauconie. 303
Orthose 303
Phosphate de chaux 303

Organismes 303
Mollusques et Brachiopodes 304
Bryozoaires 304
Echinodermes 304
Alcyonaires 304
Spongiaires 304
Radiolaires 305
Foraminifères 305
Organismes indéterminés 306
Ciment 306
Résumé et conclusions. 306

CHAPITRE IX

Craie du Sud-Est du Bassin de Paris

Généralités 307
1° Craie à *Inoceramus labiatus* 308
2° Craie à *Micraster breviporus* et *Holaster planus* 309
Texture noduleuse 311
3° Craie à *Micraster cor testudinarium* 311
A. Craie de Béon à *Micraster cor bovis* et *M. c. testudinarium*. 312
B. Craie de Rosoy à *M. c. testudinarium* (zone à *M. gibbus*) 313
4° Craie à *Micraster cor anguinum* 317
Craie à Marsupites 318
5° Craie à *Belemnitella quadrata*. 318
A. Craie dure à Bélemnitelles 319
B. Craie blanche à Bélemnitelles de la partie inférieure de l'assise 320
Relations des grains de phosphate de chaux avec les Foraminifères. 320
C. Craie noduleuse. 321
Comparaison de la craie normale et de la craie phosphatée; Foraminifères et Radiolaires protégés contre la dissolution par le phosphate de chaux . . 322
D. Craie blanche à Bélemnitelles supérieure aux niveaux précédents 324
E. Phosphate de chaux de la craie à Bélemnitelles et principaux caractères de cette craie. 324
6° Résultats généraux de l'étude de la craie de l'Yonne 326
Minéraux. 326
Minéraux détritiques. 326
Minéraux secondaires. 327
Glauconie. 327
Leverrierite 327
Diffusion de la leverrierite dans les craies de l'Yonne 327
Caractères morphologiques 327
Propriétés 328
Phosphate de chaux. 328
Orthose 329
Organismes. 329
Mollusques et Brachiopodes 329
Bryozoaires 329
Echinodermes 329

Spongiaires 329
Radiolaires 330
Foraminifères 330
Organismes indéterminés 330
Ciment 331
Texture noduleuse de la craie 331
Résumé et conclusions 332

CHAPITRE X

Crétacé du Sud-Ouest du Bassin de Paris

I. VALLÉE DE LA LOIRE 333
1. **Crétacé de Langeais** 334
A. « Tuffeau » angoumien 334
Quartz secondaire 335
B. Tuffeau immédiatement inférieur au niveau à *Rynchonella vespertilio* 337
C. « Craie » à Bryozoaires 338
D. « Craie » noduleuse à *Spondylus truncatus* 338
E. « Craie » de la base du Campanien 339
F. « Craie » siliceuse campanienne 340
G. Résultats généraux de l'étude du Crétacé de Langeais 341
Minéraux 341
Quartz secondaire 341
Glauconie 342
Organismes 342
Bryozoaires 342
Echinodermes 342
Spongiaires 342
Foraminifères 342
Diatomées 343
Ciment 343
Résumé et conclusions 343
2. **Crétacé de St-Avertin, près Tours** 344
A. « Craie » à Trigonies 344
B. « Craie » jaune sableuse à nodules aplatis 346
C. « Craie » jaune supérieure à la « Craie » à nodules aplatis 347
D. « Craie » à Bryozoaires 348
E. « Craie » noduleuse à *Sp. truncatus* 349
F. « Craie » grise à « silex » 350
Etude micrographique des *cherts* de ce niveau 350
G. Résultats généraux de l'étude du Crétacé de St-Avertin 353
Minéraux 353
Glauconie 353
Organismes 353
Bryozoaires 353
Spongiaires 353
Radiolaires 353
Foraminifères 353
Ciment 354

3. **Crétacé de Cangey** 355
A. Calcaire à *Ostrea columba gigas* 355
B. Calcaire blanc à *A. tricarinatus* 355
C. Calcaire crayeux à *Micraster turonensis* 357
D. Résultats généraux de l'étude du Crétacé de Cangey 358

II. VALLÉE DU CHER, **Crétacé entre Selles et Saint-Georges** 359
1. Craie à *I. labiatus* 360
Etude des *silex* composés de la craie à *I. labiatus* 361
Interprétation des silex composés 364
Conséquences générales qui découlent de la formation de silex composés . . . 365
2. Tuffeau de Bourré et de Montrichard 365
A. Tuffeau calcaréo-siliceux 366
B. Cherts 368
Origine de la silice des cherts et du tuffeau calcaréo-siliceux 369
Conclusions 371
3. Calcaire jaune de Saint-Georges-sur-Cher 371
4. Résultats généraux de l'étude du Turonien de la vallée du Cher 373
Minéraux 373
Glauconie 374
Organismes 374
Bryozoaires 374
Echinodermes 374
Alcyonaires 374
Spongiaires 374
Foraminifères 374
Ciment 375
Diatomées 375
Résumé et conclusions 375

III. VALLÉE DU LOIR 376
1° Craie à *I. labiatus* 377
Spongiaires 377
Origine de la silice du ciment 380
2° Tuffeau de St-Paterne 381
A. Tuffeau de la gare de St Paterne 381
B. Tuffeau à pinces de Callianassa 383
Genèse de grains de quartz *in situ* 383
C. Tuffeau de la base de la tranchée de Torchay 384
3° Calcaire saccharoïde à *Ostrea auricularis* 385
4° « Craie » glauconieuse à *Rh. vespertilio* 387
5° « Craie » à Bryozoaires 389
A. « Craie » sableuse à Bryozoaires 389
B. « Silex » 390
Conclusions 392
6° « Craie » de Vendôme 392
7° Résultats généraux de l'étude du Crétacé de la vallée du Loir 393
Minéraux 393
Organismes 394
Glauconie 394
Quartz secondaire 394
Bryozoaires 394

Spongiaires 394
Foraminifères 395
Ciment 395
Rognons siliceux 396
Résumé et conclusions 396
IV. RÉSULTATS GÉNÉRAUX ET CONCLUSIONS DE L'ÉTUDE DU TURONIEN ET DU SÉNONIEN DU SUD-OUEST DU BASSIN DE PARIS. 396
1° *Minéraux*. 397
Étude comparée des résidus minéraux. 397
Minéraux secondaires.
Minéraux détritiques. 397
Glauconie. 398
Quartz. 398
2° *Organismes* 399
Bryozoaires 399
Spongiaires 400
Foraminifères 401
3° *Ciment* 402
Fausses oolithes 403
Sources de la silice 404
Silex et Chert 405
Réformes à introduire dans la terminologie employée pour désigner les différentes roches du Crétacé du S.-O. du Bassin de Paris. 405
Etat initial des dépôts étudiés ; somme de leurs métamorphoses 406

CHAPITRE XI

Crétacé de l'Ouest et de la bordure Nord-Ouest du Bassin de Paris

1. « Craie » de Châteaudun. 407
2. « Craie » de Chartres 408
A. Craie à *M. intermedius* 409
B. Craie à *M. c. anguinum* et à *Marsupites* 409
Conclusions. 411
3. Craie de Maintenon 411
Conclusions 412
4. Craie à *M. c. anguinum* de Caumont (Eure) 413
5. Craie de Fécamp à *M. c. anguinum* 413
Conclusions. 414

CHAPITRE XII

Résultats généraux de l'étude du Bassin de Paris

I. CONSTITUTION DE LA CRAIE 416
1°. **Minéraux** 416
A. Eléments détritiques 417
a. Minéraux proprement dits 417

b. Galets 418
Origine des galets de la craie du Nord 420
Modes de transport des galets à l'époque actuelle. 421
Transport par les plantes 421
Transport par les animaux. 422
Transport par les courants 423
Transport par les glaces. 423
Modes de transport proposés pour la craie du Nord 423
c. Bois fossile dans la craie 425
B. Minéraux secondaires. 426
a. Glauconie 426
b. Phosphate de chaux 427
Objections contre l'hypothèse du transport des grains de phosphate des côtes vers la haute mer 428
Explication nouvelle de la formation des gisements de phosphate de la craie du Bassin de Paris. 430
Connexion entre les gisements de phosphate du Crétacé supérieur du Bassin de Paris et les grandes ruptures d'équilibre de la mer crétacée 432
c. Orthose. 432
d Leverrierite 435
Données sur la genèse de la leverrierite de la craie. 435
e. Calcite 437
f. Pyrite, Limonite et Oxyde de manganèse 438
g. Quartz. 439
h. Opale 440
i. Silex 440
Destinées de la silice des roches calcaires; phénomènes de divergence et de convergence présentés par les dépôts calcaires 442
2° **Organismes.** 444
Mollusques et Brachiopodes 444
Bryozoaires 444
Ostracodes 445
Echinodermes 445
Anthozoaires 446
Spongiaires 446
Parenté des faunes 447
Distribution dans le temps des différents groupes de spicules. 447
Etat de conservation des spicules 448
Variations du volume des spicules 449
Examen comparatif des débris de Spongiaires de la craie avec ceux du S.-O. du Bassin 449
Radiolaires 450
Foraminifères 452
Degré de fréquence des Foraminifères dans chaque assise 453
Transformation dans le temps de la faune de Foraminifères des craies turoniennes et sénoniennes 454
Rareté des Globigérines 455
Existence de Foraminifères à test arénacé. 455
Transformation de la faune dans l'espace 455
Changements rapides dans la faune. 456
Modifications dans le temps de l'épaisseur du test des Foraminifères. 456
Foraminifères silicifiés. 457
Etat fragmentaire des restes de Foraminifères 457
Diatomées 458

Coccolithes et Rhabdolithes 458
Organismes de position systématique indéterminée 459
3° **Ciment** 461
Proportion du ciment dans chaque craie 461
Origine du ciment 462
Éléments calcaires d'origine chimique 462
Carbonate de chaux d'origine extrinsèque 464
Existe-t-il dans la craie du carbonate de chaux résultant d'une précipitation chimique contemporaine de la sédimentation? 464
Conclusions 467
4° **Composition chimique de la craie** 468
Carbonate de chaux 468
Silice 468
Argile 468
Manganèse et Phosphate de chaux 468
II. PLACE DE LA CRAIE DANS LA SÉRIE DES SÉDIMENTS MARINS 468
De la nécessité de distinguer trois catégories de dépôts dans les formations sédimentaires anciennes. Dépôts benthogènes. 470
III. DIAGNOSTIC DES DIFFÉRENTES CRAIES AU MOYEN DU MICROSCOPE 471
IV. MODIFICATIONS SUBIES PAR LA CRAIE DANS SA COMPOSITION ORGANIQUE APRÈS SON DÉPÔT. CONSÉQUENCES 472
Destruction des Foraminifères de la craie 472
Fragmentation et destruction des coquilles de Foraminifères dans les mers actuelles. 473
Pluralité d'origine de l'état fragmentaire des Foraminifères de la craie 474
Causes de la fragmentation originelle des coquilles de Foraminifères. 474
Destruction des coquilles de Foraminifères par voie de dissolution longtemps après la sédimentation. 477
Conséquences au point de vue de la composition du ciment. 478
Rôle conservateur des milieux marneux, phosphatés et quelquefois siliceux en faveur des microorganismes 478
Conséquences de la conservation des microorganismes dans les milieux de nature spéciale au point de vue de la composition organique originelle de la craie 473
V. TRANSFORMATION DE LA TEXTURE DE LA CRAIE 485
Structure noduleuse 485
Bancs durcis. 487
VI. TABLEAU DES MÉTAMORPHOSES DE LA CRAIE DANS LE TEMPS 488

CHAPITRE XIII

Comparaison de la craie et de la boue à Globigérines

I. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE 490
II. ÉTUDE COMPARÉE DE LA CRAIE ET DE LA BOUE A GLOBIGÉRINES 496
1. *Minéraux de la craie et de la boue à Globigérines* 497
2. *Comparaison des faunes* 498
Poissons 499
Céphalopodes 500
Brachiopodes 500
Bryozoaires 501
Tableau des Bryozoaires de la craie sénonienne du Bassin de Paris 502
Mollusques 502

Tableau des Mollusques de la craie du Bassin de Paris et distribution bathymétrique des genres qui ont persisté jusqu'à nos jours 504
Crustacés 505
Décapodes 505
Cirrhipèdes 505
Annélides 506
Echinodermes 506
Crinoidea 506
Asteroidea 507
Echinoidea 507
Coraux 509
Spongiaires 509
Radiolaires 513
Foraminifères 513
Diatomées 515
Coccolithes et Rhabdolithes 515
Arguments tirés de l'état de conservation des organismes de la craie 516
Conclusions 517
3. *Comparaison au point de vue chimique* . . . 3 518
Conclusions 521

CHAPITRE XIV

Conditions de la mer crétacée

I. PROFONDEUR ET CONDITIONS PHYSIQUES DE LA MER CRÉTACÉE 522
Revue bibliographique 522
Profondeur du Bassin de Paris, déduite de la considération des Invertébrés métazoaires de la craie 526
Arguments d'ordre stratigraphique et tectonique favorables à l'idée de faible profondeur du Bassin de Paris 527
A. Phénomènes de discordance et de ravinement entre deux craies consécutives. 527
B. Lacunes dans la série des dépôts 528
Courbes des profondeurs du Bassin de Paris aux différentes périodes du dépôt de la craie 531
Opinion de M. de Grossouvre sur la profondeur du Bassin de Paris 533
La longévité d'un grand nombre d'organismes de la craie est incompatible avec l'idée de grandes variations dans la profondeur de la mer entre le Turonien inférieur et le Sénonien supérieur 534
D'importantes variations dans la proportion du résidu minéral des craies n'ont pas d'influence bien marquée sur les organismes ; Conséquences 535
Echelle de distribution bathymétrique des sédiments modernes et anciens ; Différences. 537
Température de la mer crétacée ; Zones climatériques de l'époque ; Glaces flottantes. 539
Le dépôt de la craie a été rapide 542
Causes de la pureté de la craie 543
II. ACTION DYNAMIQUE DES EAUX DE LA MER CRÉTACÉE DANS LE BASSIN DE PARIS. COURANTS ET TRACES DIVERSES DE LEUR ACTION 514
Preuves de l'action dynamique des eaux de la mer crétacée 544
Courants 545

De la nécessité d'admettre que l'action mécanique de l'eau s'est exercée sur le fond de la mer 545
1° Eléments inorganiques détritiques 546
A. Minéraux détritiques 546
B. Minéraux secondaires 546
Glauconie 546
Phosphate de chaux 546
2° Organismes 547
Vertébrés 547
Mollusques 547
Bryozoaires 548
Spongiaires 549
Foraminifères 549
Remarque 549
Objections de M. Ch. Janet 550
Objections tirées de l'état de conservation de divers organismes 552
Accidents lithologiques de la craie déterminés sous l'influence des courants; Durcissement; « Hard-Grounds » et interruptions dans la sédimentation; Structure noduleuse; Perforations 553
Observations recueillies dans les campagnes du Challenger et du Blake 554
Conclusions 555
III. LIMITES DU BASSIN DE PARIS; SES RELATIONS AVEC LES DIFFÉRENTES MERS DE L'EUROPE OCCIDENTALE 557
Limites du Bassin de Paris à l'époque supracrétacée 557
Relations du Bassin de Paris avec les différentes mers de l'Europe occidentale 559
1° Rapports avec l'Aquitaine 559
Recherche d'une autre communication avec l'Océan à Rudistes 560
2° Rapports avec la région rhodanienne 561
3° Rapports du Bassin de Paris avec la mer crétacée du Nord de la Belgique 562
Conclusions 562

BIBLIOGRAPHIE 565

DEUXIÈME THÈSE

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

MINÉRALOGIE. — Les Feldspaths.

ZOOLOGIE. — Les Radiolaires.

BOTANIQUE. — Les Diatomées.

Vu et approuvé
Lille, le 3 avril 1897.

Le Doyen de la Faculté des Sciences,
J. GOSSELET

Vu et permis d'imprimer
Lille, le 4 avril 1897.

Le Recteur,
J. MARGOTTET

Explication de la Planche I

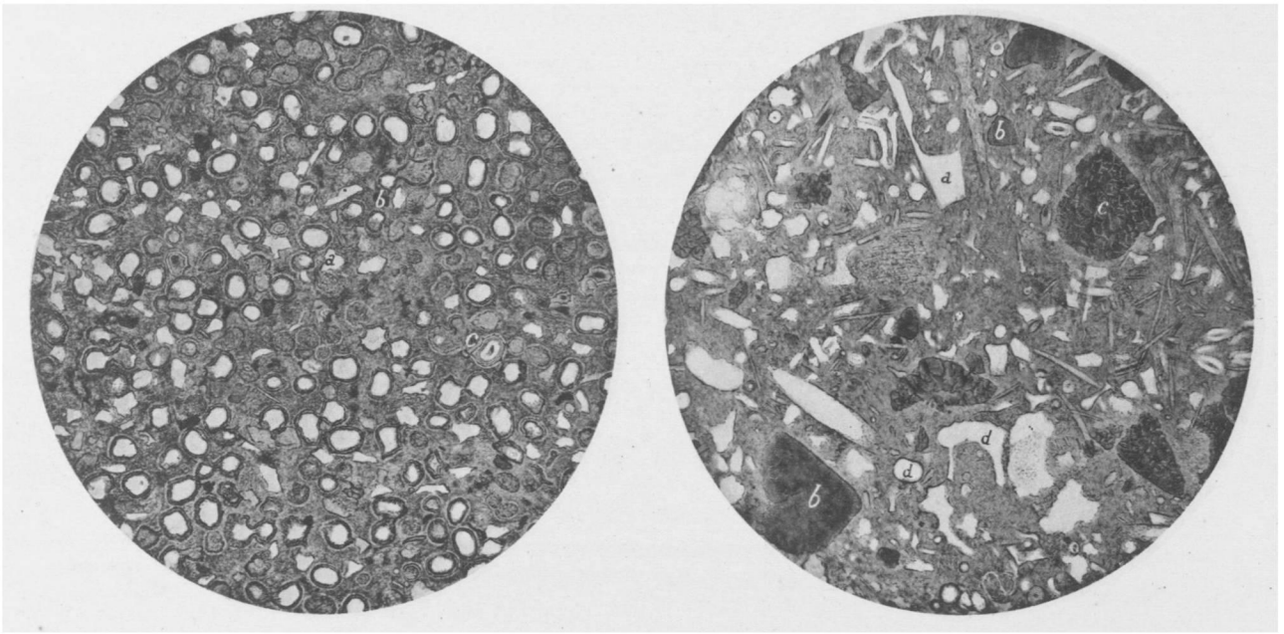
Dépôts siliceux

Fig. 1. Gaize de Launois a *Cardioceras Lamberti.* (gross. 40 diamètres). *a.* Quartz ; *b.* Glauconie ; *c.* Sphérule dont le centre est pyriteux. Les taches blanches représentent la calcédoine enfermée dans les corps globuleux.

Fig. 2. Gaize de La Reupette a *Acanthoceras mamillare* (gross. 40 diamètres). *a* et *d.* Restes de spicules calcédonieux ; *b.* Grains de glauconie homogène ; *c.* Grain de glauconie à structure granuleuse. Tous les bâtonnets allongés ainsi que les sections circulaires ou elliptiques appartiennent à des spicules de Spongiaires.

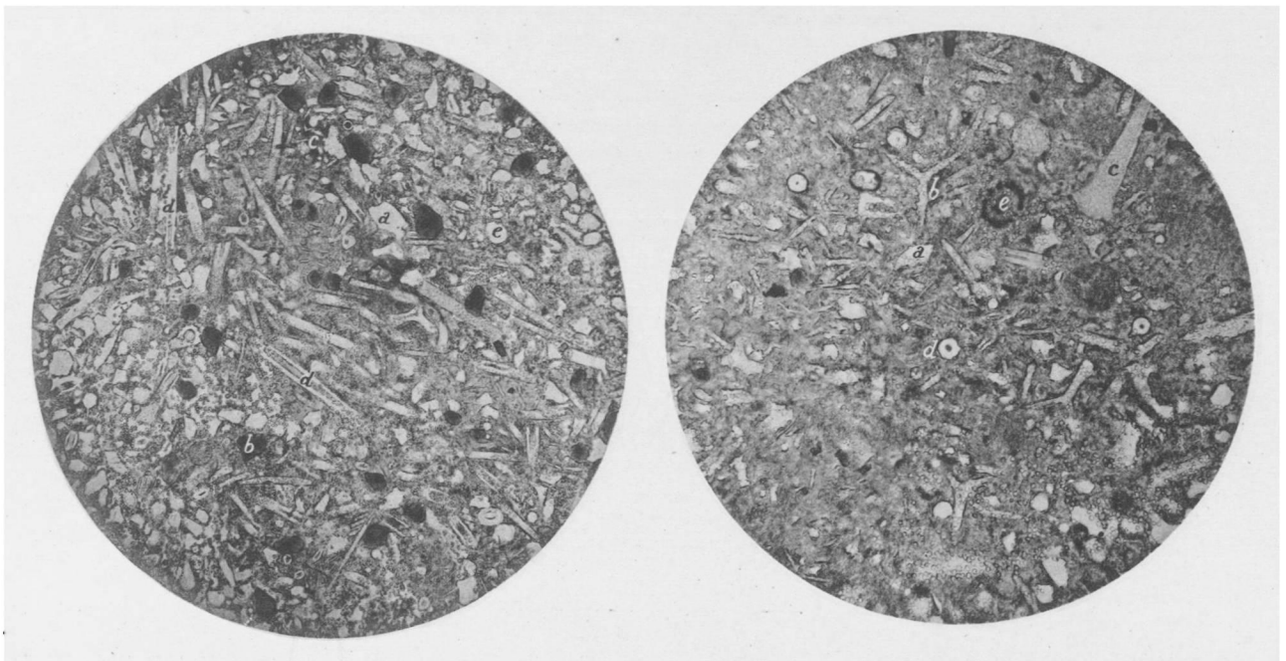
Fig. 3. Gaize de Grandpré a *Schlœnbachia inflata* (gross. 28 diamètres). *a.* Quartz ; *b.* Glauconie ; *c.* Limonite ; *d.* Spicule en partie calcédonieux avec canal très élargi occupé par de l'opale ou détruit ; *e.* Section transversale d'un spicule calcédonieux. Tous les bâtonnets sont des spicules. La figure examinée à la loupe montre un commencement de différenciation du ciment d'opale en petits globules soudés.

Fig. 4. Gaize de Vouziers a *Schlœnbachia inflata* (gross. 45 diamètres). *a.* Quartz ; *b.* Spicule de *Tetractinellidæ* transformé en calcédoine avec bords mamelonnés ; *c.* Spicule en opale différenciée en couronnes et croissants peu visibles ; *d.* Section transversale d'un spicule calcédonieux avec canal en opale ; *e.* Pyrite et limonite sur l'emplacement d'un Radiolaire ou d'un spicule globuleux. Toutes les taches blanches à contours irréguliers sont des grains de quartz. Le ciment montre un commencement de différenciation en opale globulaire (examiner la figure à la loupe). Les parties nuageuses de la figure correspondent aux plages les plus argileuses.



1. Gaize de Launois

2. Gaize de La Reupette



3. Gaize de Grandpré

4. Gaize de Vouziers

Clichés et Phototypie Dr G. Pilarski, 15, rue Morère, Paris

Jacquemin correx.

Explication de la Planche II

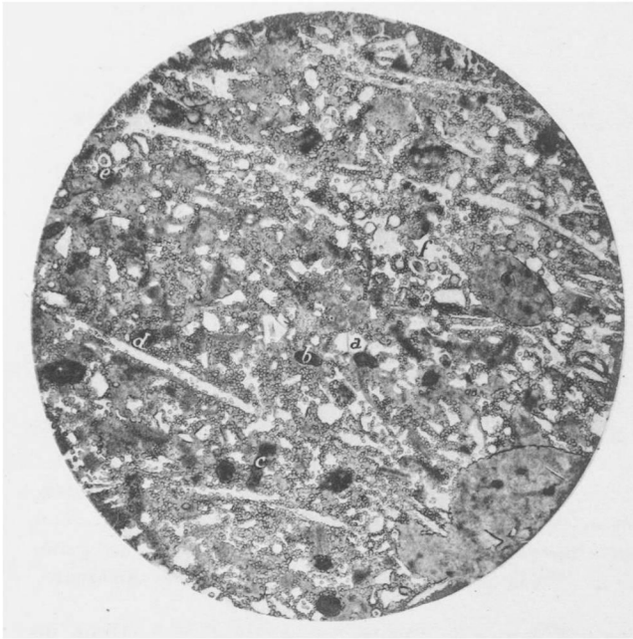
Dépôts siliceux

Fig. 1. Gaize d'Octeville a *Schlœnbachia inflata* (gross. 40 diamètres). *a*. Quartz ; *b*. Grain de glauconie : *c*. Spicule glauconieux ; *d*. Spicule calcédonieux ; *e*. Section transversale d'un spicule calcédonieux avec canal élargi rempli d'opale ; *f*. Calcédoine du ciment. Les taches blanches à contours très irrégulièrement découpés sont de petites plages de calcédoine. La structure globulaire du ciment est très apparente.

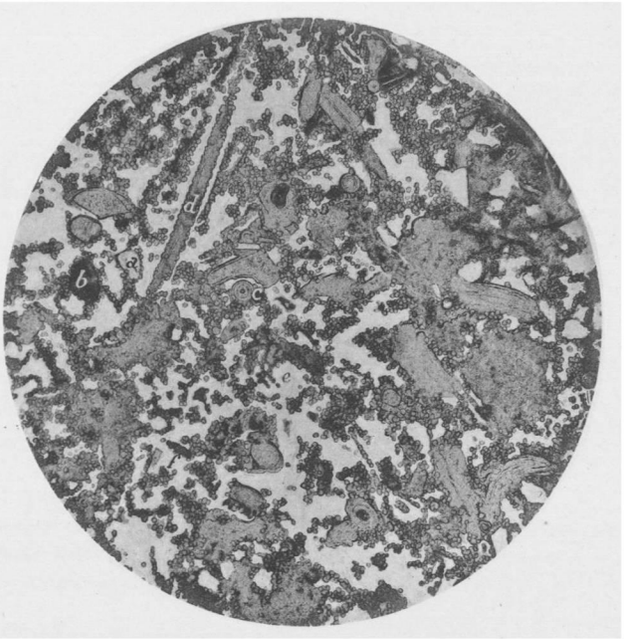
Fig. 2. Gaize d'Humbligny a *Acanthoceras Mantelli* (gross. 40 diamètres). *a*. Quartz ; *b*. Grain de glauconie ; *c*. Section transversale d'un spicule en opale avec canal peu élargi ; *d*. Spicule dont le canal rempli d'opale occupe presque toute l'épaisseur du bâtonnet ; *e*. Calcédoine très abondante entourée d'opale globulaire et renfermant des îlots formés de globules d'opale plus ou moins soudés ; *f*. Glauconie sur de l'opale mamelonnée.

Fig. 3. « Meule » de Bracquegnies (= **Spongolithe**). Assise à *Schlœnbachia inflata* (gross. 40 diamètres). *a*. Quartz ; *b*. Glauconie épigénisant un spicule ; *c*. Spicule brisé de *Tetractinellidæ* ; *d*. Section transversale d'un spicule entièrement en opale avec canal élargi (les deux sections circulaires qui lui font suite, représentent l'une un spicule en opale avec canal calcédonieux, l'autre, la plus petite, un spicule calcédonieux, avec canal en opale entouré d'une gaine d'opale grise) ; *e* et *f*. Spicules en opale sans trace de canal ; *g*. Spicule en opale ayant conservé un canal très fin, à peine élargi ; *h*. Spicule calcédonieux avec canal rempli d'opale ; *i* et *j*. Spicules entièrement calcédonieux limités par une couronne de silice amorphe ; *k*. Ciment de calcédoine. Tous les éléments de la section teintés en gris sont des restes de Spongiaires.

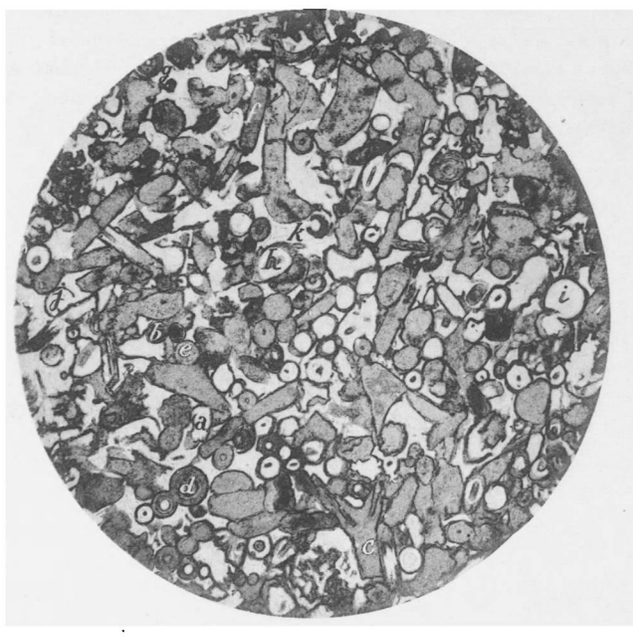
Fig. 4. « Meule » de Bracquegnies (= **Gaize**). Variété quartzeuse à spicules d'Eponges et Radiolaires (gross. 40 diamètres). *a*. Quartz ; *b*. Grain de glauconie ; *c*. Glauconie globulaire ; *d*. Spicule ayant conservé une partie de son canal élargi et rempli d'opale ; *e*. Section transversale d'un spicule ; *f*. Spicule glauconieux ; *g*. Spicule détruit dont l'emplacement est occupé par de la pyrite ; *g*. Corps globuleux dissous dont l'emplacement est marqué par de la pyrite (les grandes sections noires circulaires ou elliptiques rentrent dans cette catégorie ; *i*. Radiolaire.



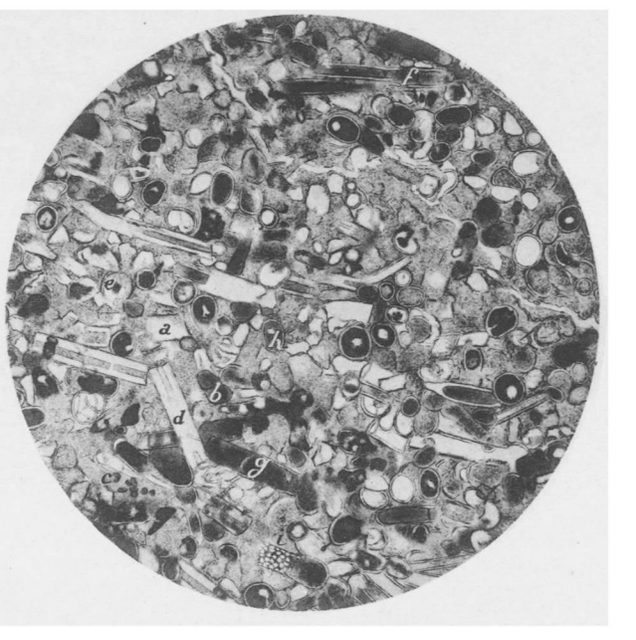
1. Gaize d'Octeville



2. Gaize d'Humbligny



3. Meule de Bracquegnies



4. Meule de Bracquegnies

Clichés et Phototypie De G. Pilarski, 15, rue Morere, Paris

Jacquemin correx.

Explication de la Planche III

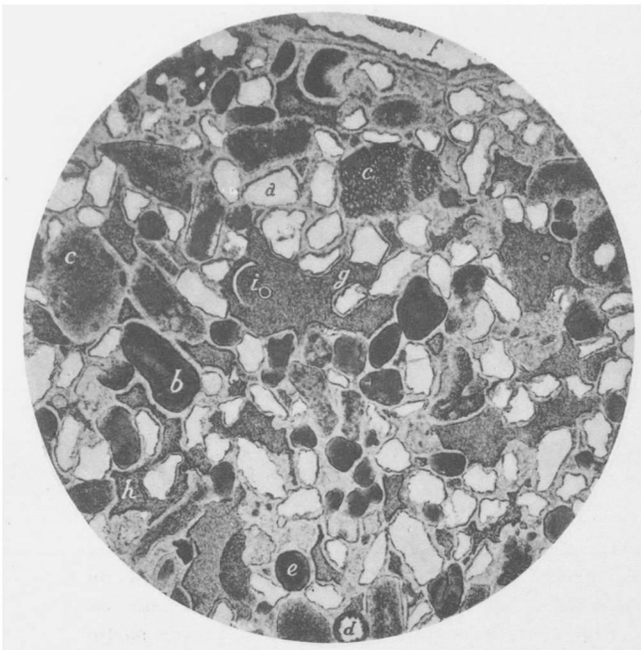
Dépôts siliceux

Fig. 1. « Meule de Bracquegnies (= **Grès opalifère**). Assise à *Schlœnbachia inflata*. Variété quartzeuse avec débris silicifiés de coquilles de Mollusques (gross. 43 diamètres). *a*. Quartz; *b*. Grain de glauconie; *c*. Glauconie en globules indépendants ou soudés; *d*. Section transversale de spicule en grande partie calcédonieux; *e*. Spicule glauconieux; *f*. Fragment de coquille silicifiée et en grande partie calcédonieuse; *g* et *h*. Ciment primordial gris; *i*. Trace de spicule.

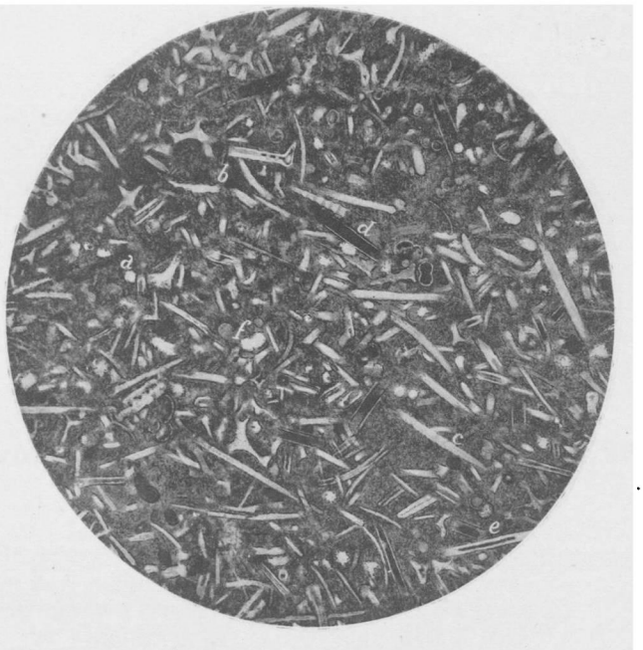
Fig. 2. « Tête de chat » de Maisières a *Inoceramus labiatus* (= **Gaize** passant au **Spongolithe**) (gross. 40 diamètres). *a*. Quartz; *b*. Grain de glauconie; *c*. Spicule calcédonieux; *d*. Spicule glauconieux; *e*. Foraminifère silicifié; *f*. Spicule globuleux transformé en calcédoine. Cette roche, en majeure partie formée de restes d'Eponges, est une *gaize* passant au *Spongolithe*.

Fig. 3. « Smectique de Herve » a *Belemnitella quadrata* (= **Gaize calcarifère**) (gross. 35 diamètres). *a*. Quartz; *b*. Pyrite; *c*. Glauconie; *d*. Spicule de *Lithistidæ* (Megamorina); *e*. Spicule monoaxe avec canal; *f*. Spicule globuleux calcédonieux. — La section est tirée d'un échantillon dépourvu de Radiolaires, très riche en débris de Spongiaires.

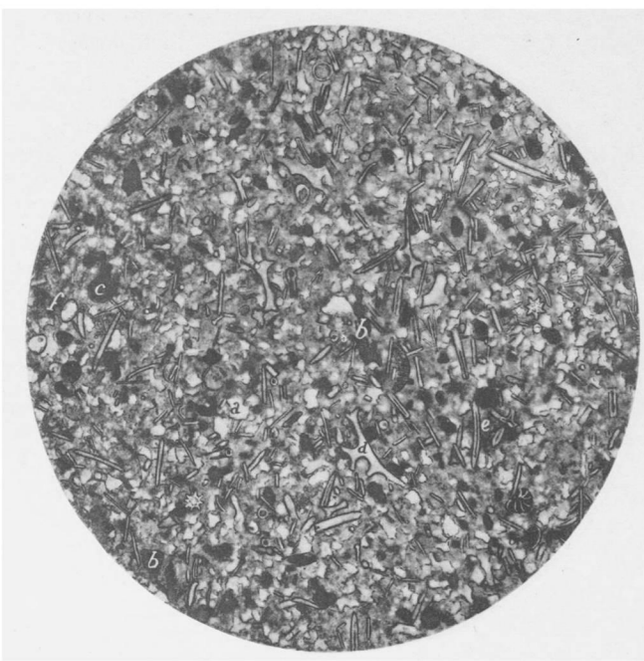
Fig. 4. « Tuffeau » landénien de Radinghem (= **Grès opalifère**) (gross. 42 diamètres). *a*. Quartz; *b*. Zircon; *c*. Magnétite; *d*. Grain de glauconie; *e*. Grain de glauconie incomplètement formé.



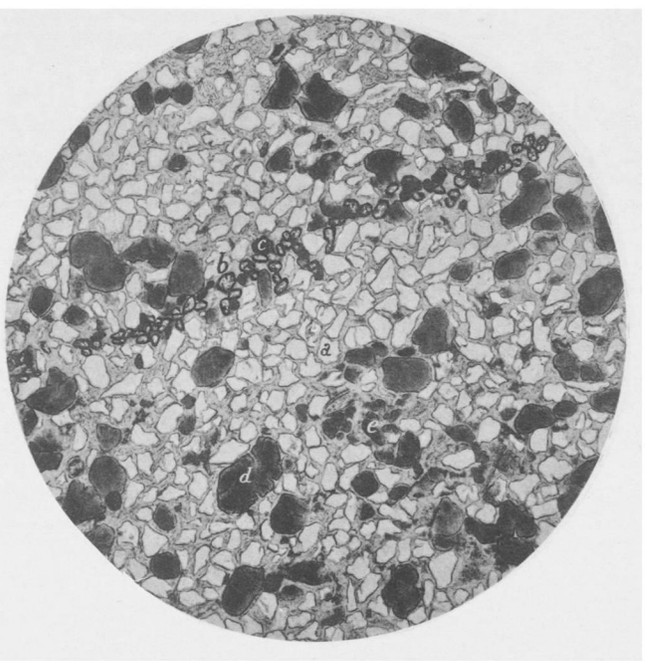
1. Meule de Bracquegnies



2. Tête de chat de Maisières



3. Smectique de Herve



4. Tuffeau de Radinghen

Clichés et Phototypie De G. Pilarski, 15, rue Morère, Paris

Jacquemin correx.

Explication de la Planche IV

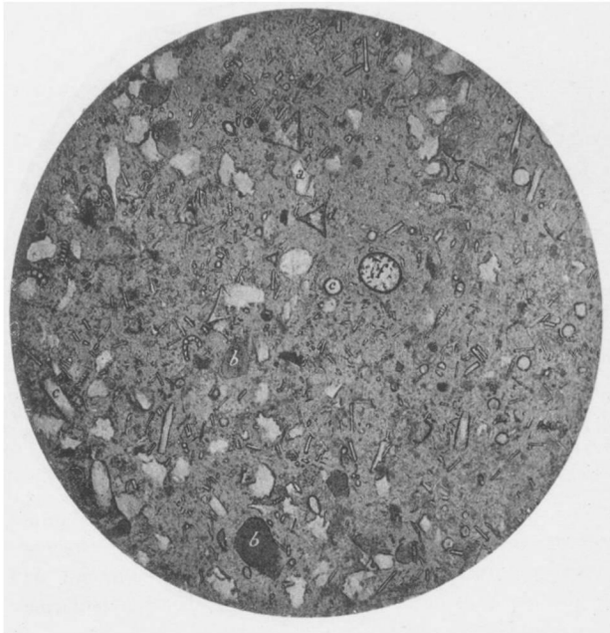
Dépôts siliceux

Fig. 1. « Tuffeau » landénien de Lille (Gross. 100 diamètres). *a*. Quartz ; *b*. Grain de glauconie *c*. Sections transversale et longitudinale d'un spicule ; *d*. Diatomée (*Triceratium*) ; *e*. Radiolaire ou spicule globuleux de Spongiaire transformé en calcédoine. La section est pratiquée dans une sorte de nid de microorganismes d'où les éléments détritiques sont presque entièrement exclus. La roche qui renferme ces noyaux riches en organismes est un *grès opalifère* comme celui de Radinghem (Pl. III, fig. 4).

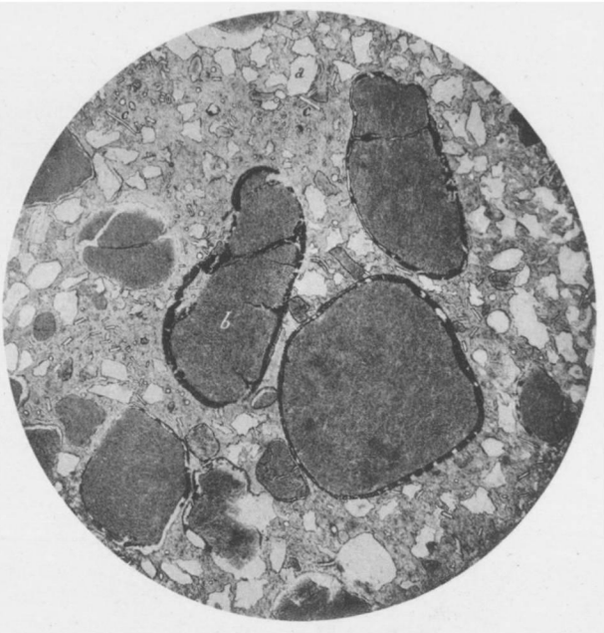
Fig. 2. « Tuffeau » landénien d'Angre (= **Gaize quartzeuse**) (gross. 37 diamètres). *a*. Quartz ; *b*. Glauconie avec zone pyriteuse sortant de l'élément glauconieux et pénétrant dans le ciment ; *c*. Petits spicules dans le ciment.

Fig. 3. « Tuffeau » landénien de Bouchavesnes (= **Gaize quartzeuse**) (gross. 48 diamètres). *a*. Quartz ; *b*. Grain de glauconie ; *c*. Spicule complètement transformé en calcédoine ; *d*. Spicule glauconieux dans la partie où le canal est le plus apparent ; ce dernier est en glauconie, dans celle où il est le plus visible ; *f*. Section transversale un peu oblique d'un spicule calcédonieux montrant un rudiment de canal ; *g*. Petits spicules fragmentaires isolés dans le ciment ; *h* et *i*. Radiolaires ; *j*. Diatomée ; *k*. Ilot de ciment primordial.

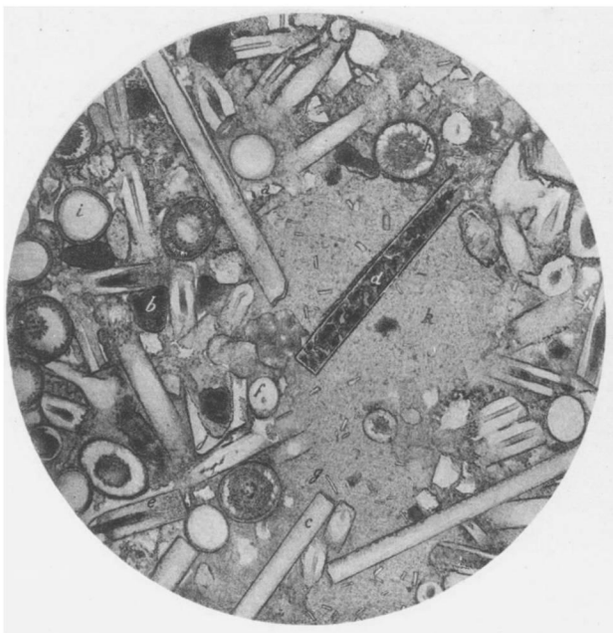
Fig. 4. Id. (gross. 40 diamètres). *a*. Quartz ; *b*. Grain de glauconie ; *c*. Spicule dont les extrémités sont en calcédoine et la partie moyenne en opale avec canal d'une grande finesse ; *d*. Spicule calcédonieux avec vestiges de canal ; *e*. Spicule calcédonieux avec canal élargi, arqué et en grande partie calcédonieux ; *f*. Spicule calcédonieux ayant perdu une partie de ses contours, par suite de la transformation en calcédoine du ciment ambiant ; *g*. Section transversale d'un spicule calcédonieux avec canal glauconieux très large ; *h* et *i*. Radiolaire ; *j*. Spicule globuleux d'Eponge ; *k*. Diatomée.



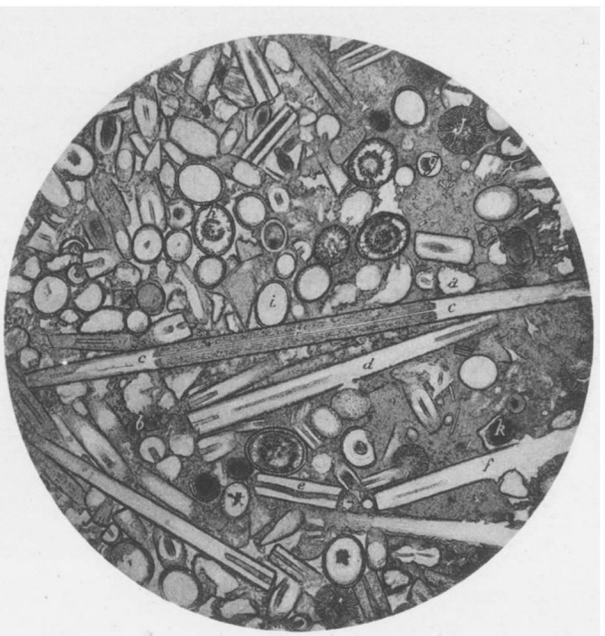
1. Tuffeau de Lille



2. Tufreau d'Angre



3. Tuffeau de Bouchavesnes



4. Tuffeau de Bouchavesnes

Clichés et Phototypie De G. Pilarski, 15, rue Morere, Paris Jacquemin correx

Explication de la Planche V

Dépôts siliceux

Fig. 1. « Tuffeau » yprésien de Morlanwelz (**Calcaire glauconieux silicifié**) (gross. 45 diamètres). *a*. Quartz ; *b* et *c*. Grains de glauconie ; *d*. Fragment de Nummulites roulée ; *e*. Test de Nummulites coupé tangentiellement ; *f*. Calcédoine ; *g*. Pyrite.

Fig. 2. « Tuffeau » yprésien du Mont-des Cats (= **Gaize quartzeuse**) (gross. 48 diamètres). *a*. Quartz ; *b*. Glauconie ; *c*. et *d*. Spicules d'Eponges ; *e*. Diatomée (*Triceratium*) Le ciment renferme une infinité de petits spicules.

Fig. 3. « Tuffeau » yprésien de Piéton (= **Gaize quartzeuse**) (gross. 47 diamètres). *a*. Quartz ; *b*. Grain de glauconie de forme très irrégulière ; *c*. Grain de glauconie criblé de solutions de continuité.

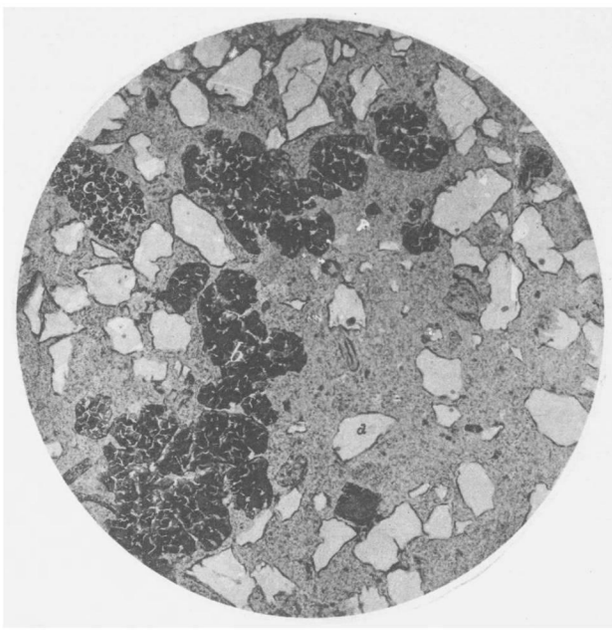
Fig. 4. « Silex » campanien de Chenonceaux (gross 40 diamètres). *a*. Section transversale de spicule ; *b*. Calcédoine. La roche est en majeure partie formée d'opale hyalitique et relève du groupe *chert*.



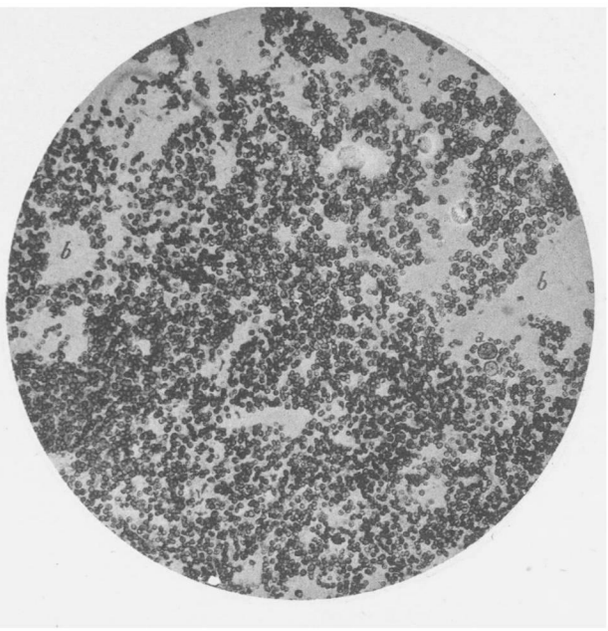
1. Tuffeau de Morlanwelz



2. Tufteau du Mont-des-Cats



3. Tuffeau de Piélon



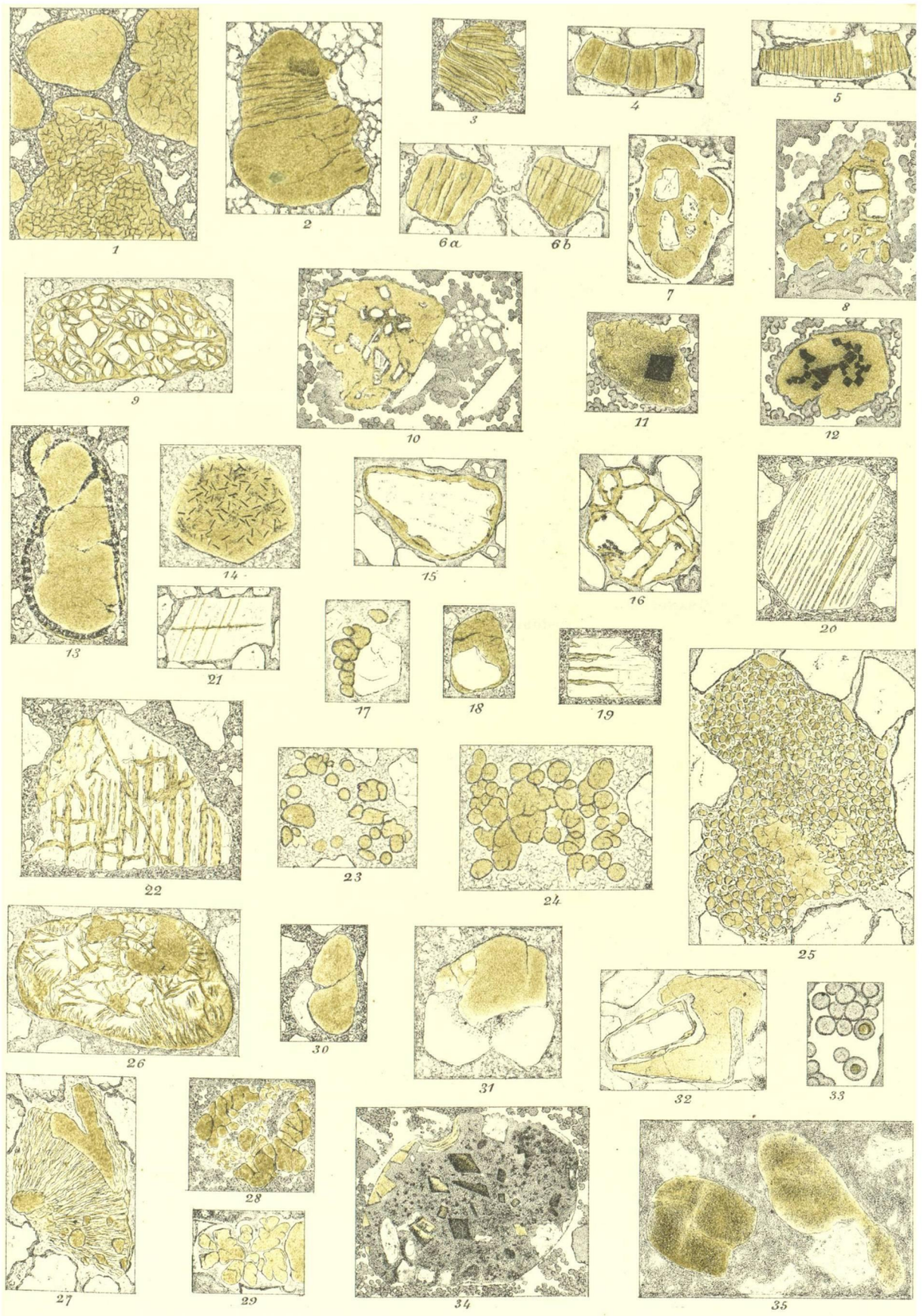
4. Silex de Chenonceaux

Clichés et Phototypie De G. Pilarski, 15, rue Morere, Paris Jacquemin corr.

Explication de la Planche VI

Glauconie des roches siliceuses

1. Glauconie homogène et glauconie granulée. Gaize de La Reupette.
2. Grain en partie clivé. « Tuffeau » (= grès opalifère) de Lille.
3-6. Glauconie clivée. Grès lustré du M[t] Panisel.
7. Glauconie avec inclusions de quartz. « Tuffeau » de Morlanwelz.
8. Glauconie avec inclusions de quartz. « Meule » (= Calcaire silicifié » de Thivencelles.
9. Glauconie avec inclusions de quartz. « Tuffeau » (= gaize) du M[t] des Cats.
10. Glauconie avec inclusions de quartz. « Meule » (= calc. silicifié) de Thivencelles.
11-12. Glauconie avec inclusions de pyrite. Gaize de Foigny.
13. Glauconie entourée d'une zone de pyrite qui envoie des prolongements dans les grains et pénètre dans le ciment. « Tuffeau » (= Gaize quartzeuse) d'Angre.
14. Glauconie avec inclusions indéterminées. Gaize de Montblainville.
15-16. Glauconie à la surface du quartz. « Tuffeau » (= Grès) de Radinghem.
17. Glauconie globulaire sur quartz. « Tuffeau » (= Gaize quartzeuse) de Malincourt.
18. Grain de quartz entouré de glauconie. « Tuffeau » (= Gaize quartzeuse) du M[t] des Cats.
19-20. Clivages de feldspath soulignés par la glauconie. Grès lustré du M[t] Panisel.
21. Clivages de feldspath soulignés par la glauconie. « Tuffeau » (= Grès) de Radinghem.
22. Clivages de feldspath soulignés par la glauconie. Grès lustré du M[t] Panisel.
23. Globules libres de glauconie. « Meule » (= gaize et grès) de Bracquegnies.
24-25. Globules plus ou moins soudés. « Meule » (= gaize et grès) de Bracquegnies.
26. Grain de glauconie inachevé dont le contour est arrêté. « Meule » (= gaize et grès) de Bracquegnies.
27. Grain inachevé. « Meule » (= gaize et grès) de Bracquegnies.
28. Grain incomplet résultant de la soudure de globules irréguliers sans relation avec les organismes. Gaize de Draize.
29. Grain incomplet résultant de la soudure de globules irréguliers sans relation avec les organismes. « Tuffeau » de Morlanwelz.
30. Glauconie se déformant sur le quartz. Grès lustré du M[t] Panisel.
31. Glauconie se déformant sur deux éléments de quartz. Gaize de Montblainville.
32. Glauconie moulant un élément de quartz entouré d'une gaine glauconieuse elle-même enveloppée d'opale. « Tuffeau » (= grès) de Radinghem.
33. Globules d'opale avec nucleus de glauconie. Gaize d'Humbligny.
34. Glauconie pseudomorphosant des rhomboèdres de calcite. « Meule » (= calcaire silicifié) de Thivencelles.
35. Glauconie en grain homogène et en tache. Gaize de Vouziers.

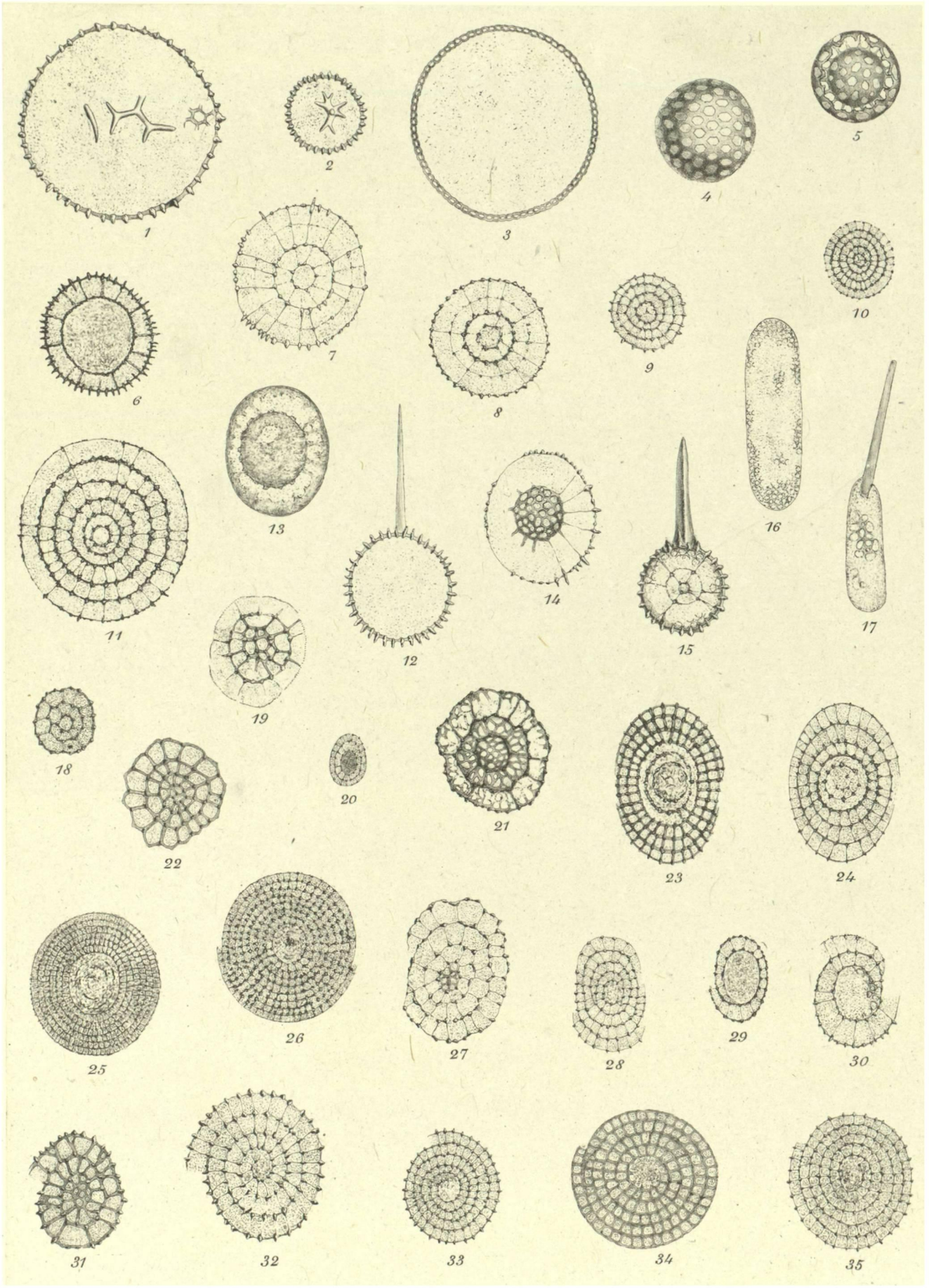

1
2
3
4
5
6a
6b
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
20
21
17
18
19
22
23
24
25
26
30
31
32
33
27
28
29
34
35

Explication de la Planche VII

Radiolaires de la « Smectique de Herve » (Belgique)

Assise à *Belemnitella quadrata*

1. *Protosphæra hexagonalis*, nov. sp.
2. *Protosphæra multifurca*, nov. sp.
3. *Cenosphæra micropora*, nov. sp.
4. *Cenosphæra Rutoti*, nov. sp.
5-6. *Liosphæra*, sp.
7-9. *Cromyosphæra*, sp.
10-11. *Caryosphæra*, sp.
12. *Monostylus hirsutus*, nov. sp.
13. *Druppula*, sp.
14. *Druppocarpus*, sp.
15. *Druppastylus hirsutus*, nov. sp.
16. *Spongurus*, sp.
17. *Spongoprunum*, (?) sp.
18-35. *Porodiscida*, sp.

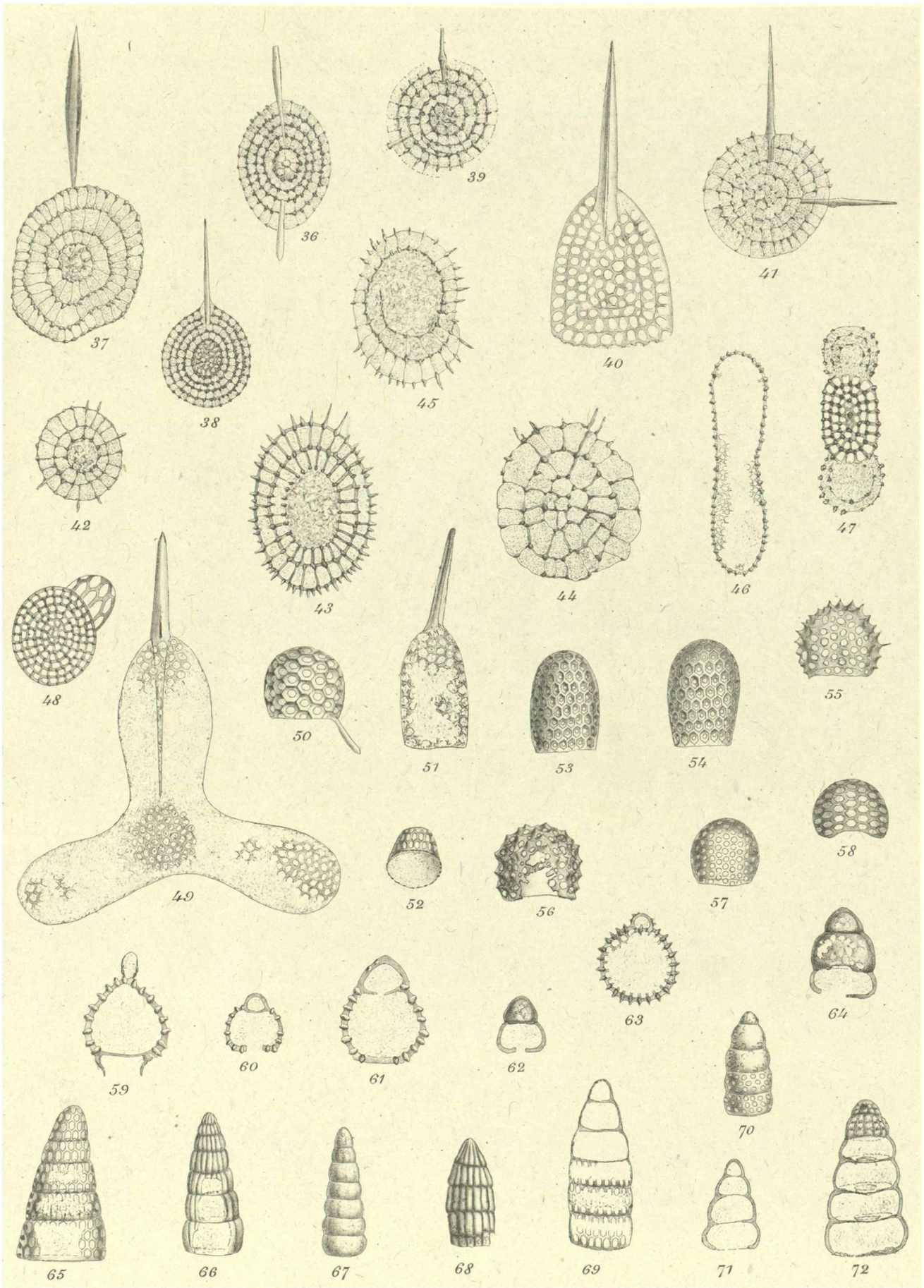

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35

Explication de la Planche VIII

Radiolaires de la « Smectique de Herve » (Belgique)

Assise à *Belemnitella quadrata*

36. *Xiphodictya* ou *Staurodictya*, sp.
37-38 *Xiphodictya* ?, sp.
39-40. *Tripodictya* ?, sp.
41. *Staurodictya*, sp.
42. *Stylodictya*, sp.
43-45. *Porodiscida*, indéterminés.
46. *Amphibrachium*, sp.
47. *Porodiscida*, indéterminé.
48. *Dictyastrum* ? ou *Rhopalostrum* ?
49. *Dictyastrum*, sp.
50. *Tripodiscium*, sp.
51. *Tripocalpida*, indéterminé.
52. *Cornutanna breviconus*, sp. nov.
53-54. *Cyrtocalpis favosa*, sp. nov.
55-57. *Cyrtocalpis*, sp.
58. *Cyrtocalpis Gosseleti*, sp. nov.
59. *Dicyrtida*, indéterminé.
60-62. *Dictyocephalus*, sp.
63. *Dicolocapsa*, sp.
64. *Theocampe*, sp.
65. *Dictyomitra macrocephala*, sp. nov.
66. *Dictyomitra*, sp. nov.
67. *Dictyomitra gracilis*, sp. nov.
68. *Stichomitra costata*, sp. nov.
69. *Stichomitra*, sp. nov.
70. *Stichomitra microcephala*, sp. nov.
71-72. *Lithocampe*, sp.


37
36
39
41
38
45
40
42
43
44
46
47
48
49
50
51
53
54
55
52
56
57
58
59
60
61
62
63
64
70
65
66
67
68
69
71
72

Explication de la Planche IX

Craie du Bassin de Paris

Fig. 1. Craie à *Inoceramus labiatus* du sud d'Ernemont. Pays de Bray (Gross. : 50 diamètres). — Type de craie à Foraminifères monoloculaires. — 1. Spicule calcifié. — 2. *Orbulina*. — 3. *Fissurina*.

Fig. 2. Premier Tun de Lezennes, Nord (= passage de la craie à *M. breviporus* à la craie à *M. c. testudinarium*) (Gross. : 42 diamètres). Cette figure a pour but de montrer la coexistence de coquilles de Foraminifères de taille et d'épaisseur très différentes. — 1. Glauconie. — 2. Spicules calcifiés. — 3 et 4. Grands Foraminifères indéterminés.

Fig. 3. « Banc des Soies » de Lezennes, Nord (Assise à *M. c. testudinarium*) (gross. : 140 diamètres). Type de craie à Foraminifères fragmentaires. — 1. Extrémité d'un prisme d'Inocérame.

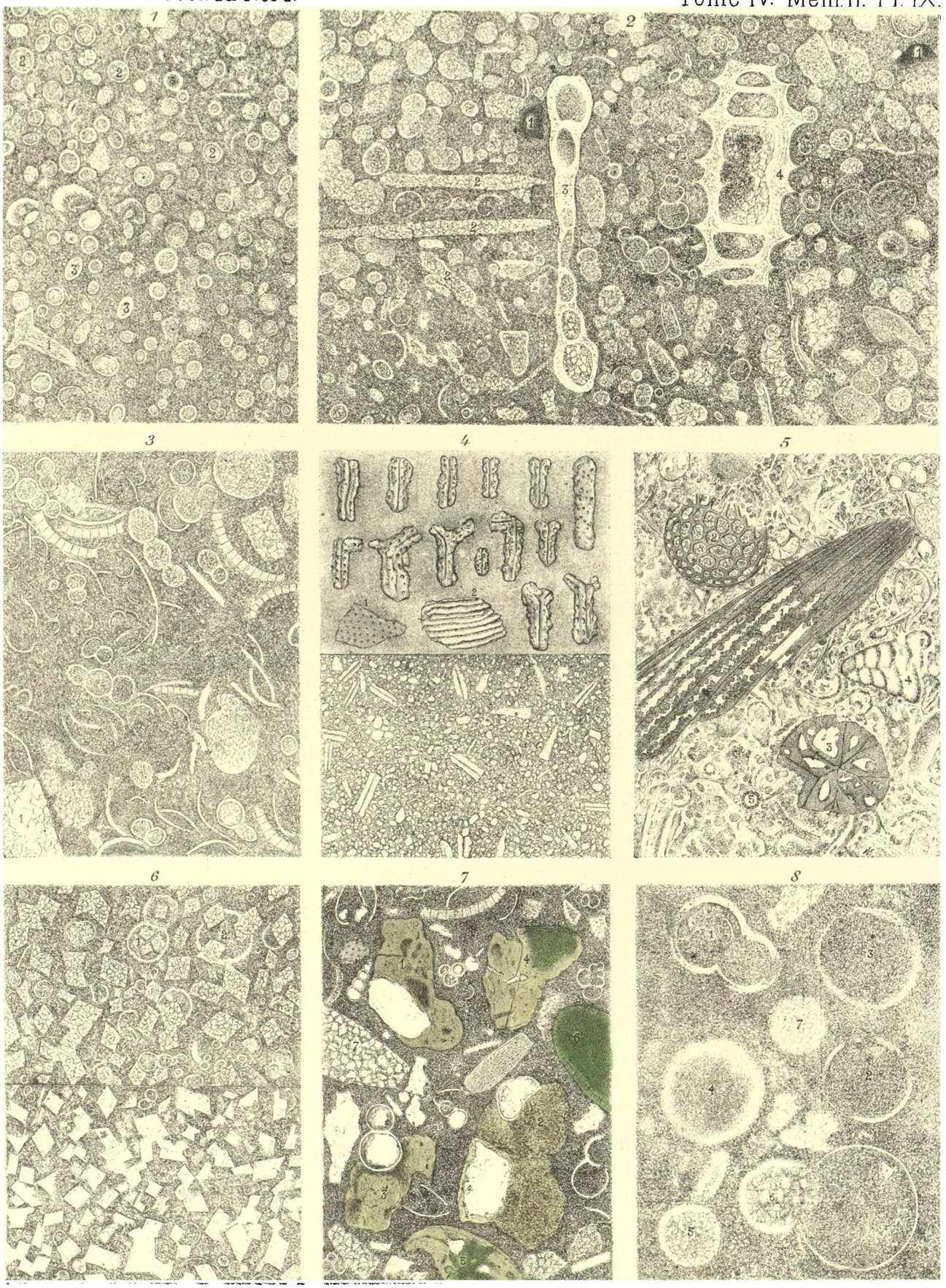
Fig. 4. La partie inférieure de la figure représente une section de la craie à *M. c. anguinum* des environs de Beauvais (gross. : 350 diamètres). Elle montre la physionomie que revêtent, en coupe mince, les restes d'organismes de position systématique indéterminée qui sont très répandus dans la craie à partir de l'assise à *M. c. anguinum*. Les bâtonnets simples ou bifurqués de la moitié supérieure de la figure représente ces débris d'organismes isolés de la craie par lévigation et grossis 400 fois. — La plaque perforée 1, est un fragment de plaquette d'Echinoderme; le numéro 2 est un débris de coquille de Foraminifère en voie de destruction, vu isolé dans le résidu de lavage.

Fig. 5. Calcaire à Bryozoaires de Cangey, Indre-et-Loire (Sénonien inférieur) (gross. : 45 diamètres). — 1, 2 et 3. Bryozoaires. — 4. Foraminifère arénacé (*Textularidæ*). — 5. *Orbulina*. Le ciment est exclusivement formé de débris de Bryozoaires.

Fig. 6. Craie noduleuse à *Micraster cor testudinarium* de St-Martin-le-Nœud, près Beauvais (gross. : 80 diamètres). La partie supérieure représente la craie des nodules avec rhomboèdres de calcite, et la partie inférieure la craie avec rhomboèdres dissous qui entoure les nodules. — 1. Section transversale de *Textularia* avec rhomboèdres inclus dans les loges. — 2. Section d'une chambre de Foraminifère avec trois rhomboèdres perçant le test.

Fig. 7. Craie glauconieuse à *Micraster breviporus* de Lezennes (Nord) (gross. : 110 diamètres). — 1. Grain de phosphate enveloppant incomplètement un élément de quartz. — 2. Grain de phosphate entourant un élément de quartz et s'appliquant sur une loge de Foraminifère. — 3. Phosphate moulant en partie une coquille de *Textularia*. — 4. Phosphate moulant un grain de glauconie. — 5. Phosphate renfermant de la glauconie. — 6. Grain de glauconie avec couronne, à structure fibro-radiée, très biréfringente. — 7. Extrémité d'un prisme d'Inocérame.

Fig. 8. « Banc des Soies » de Lezennes (Nord) (Assise à *M. c. testudinarium*) (gross : 180 diamètres). Cette figure est destinée à montrer différentes physionomies de Foraminifères en voie de destruction sur place : 1. Foraminifère présentant un commencement de dissolution. — 2. Destruction plus avancée et fragmentation de la coquille. Dans ces deux cas, le carbonate de chaux développé sur l'emplacement de la partie détruite présente un aspect identique à celui du ciment. — 3. Emplacement d'une coquille détruite occupé par de la calcite formée d'éléments incolores de plus grande taille que ceux du ciment. — 4. Transformation en calcite envahissant l'intérieur des loges. — 5. Tout le carbonate de chaux qui remplit les loges commence à s'éclaircir ; on y voit apparaître de grands éléments de calcite. — 6. Id. Le test d'une loge est resté intact. — 7. Une tache de calcite incolore marque l'emplacement d'une chambre de Foraminifère.



E. Jacquemin ad. nat. lith.

Imp. Ed. Bry, Paris.

Explication de la Planche X

Minéraux lourds de la craie et des dépôts siliceux

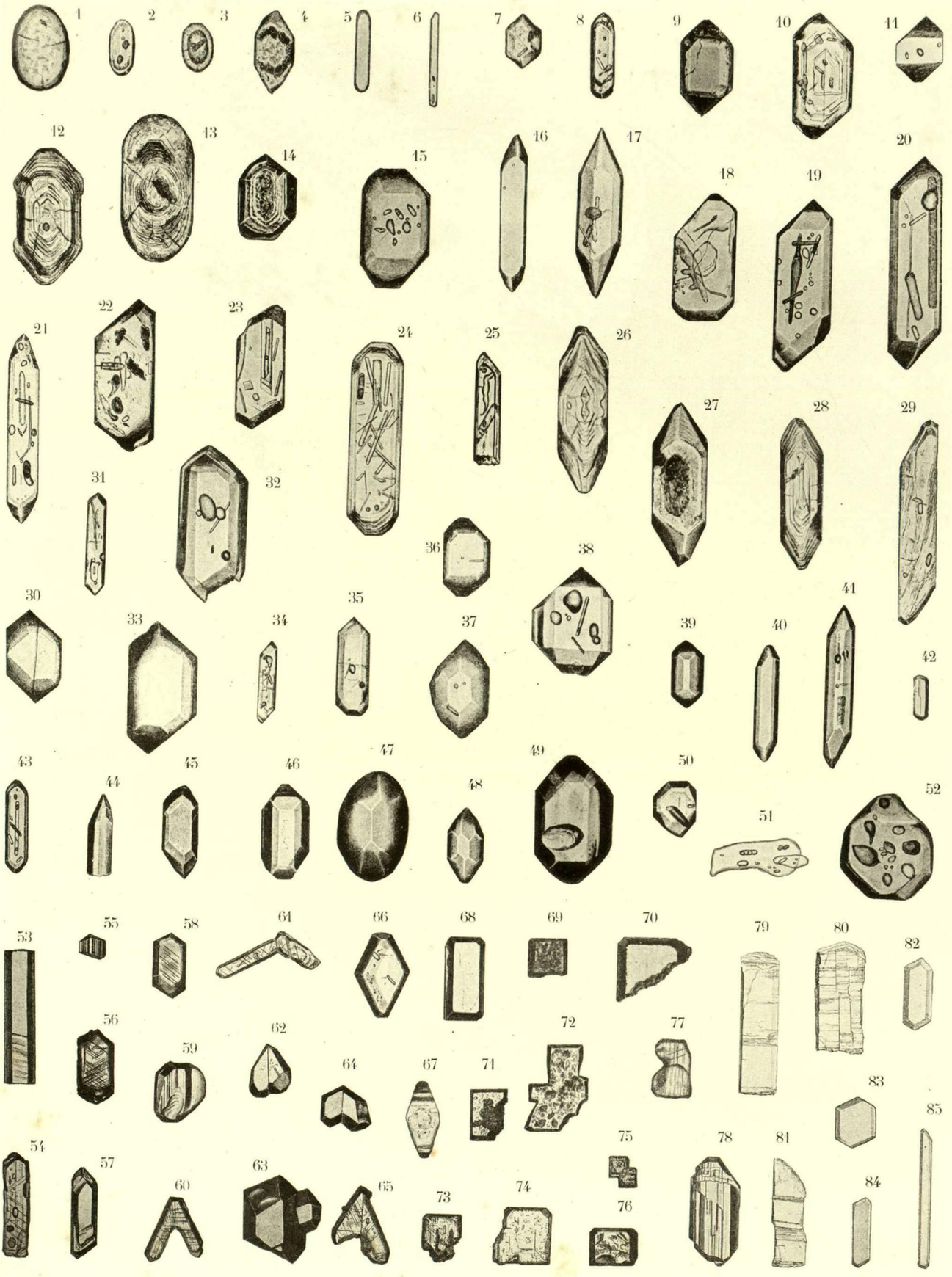
Zircon (1-52), Rutile (53-65), Anatase (66-76), Brookite (77-73), Disthène (79-81), Tourmaline (82-85), des dépôts siliceux et crayeux étudiés dans ce mémoire.

Craie du Nord. — *Zircon.* Fig. 1, 4, 5, 8, 9, 11, 12, 22, 37, 44, 45, 49, 51, 52. — *Rutile,* 53, 56, 58, 63. — *Anatase,* 66, 71, 72, 76. — *Brookite,* 78.

Craie du Pays de Bray. — *Zircon.* 6, 14, 16, 23, 24, 25, 27, 30, 39, 40, 42, 43, 47, 48. — *Rutile.* 55. — *Anatase.* 75. — *Tourmaline.* 84-85.

Turonien et Sénonien du Sud-Ouest du Bassin de Paris. — *Zircon.* 7, 15, 17, 20, 21, 26, 28, 29, 31, 33, 34, 35, 36, 38, 41, 46, 50. — *Rutile.* 60. — *Anatase.* 67, 68, 70. — *Disthène.* 79. — *Tourmaline.* 82 et 83.

Dépôts siliceux éocènes. (« Tuffeaux »). — *Zircon.* 2, 3, 10, 13, 18, 19, 32. — *Rutile.* 54, 57, 59, 61, 62, 64, 65. — *Anatase.* 69, 73, 74. — *Brookite.* 77. *Disthène.* 80, 81.



Dr G. Pilarski. — 45, rue Morère. Paris

E. Jacquemin, ad nat.

ERRATA

Pages	63,	ligne	36,	lire	Slack	au lieu de	Sclack
	66	—	16	—	magma	—	magna
	77	—	20	—	ces sulfures	—	ces sulfates
	213	—	5	—	Lydekker	—	Lyddeker
	222	—	2	—	deux tiers	—	d'un tiers
	274	—	26	—	trois cinquièmes	—	deux cinquièmes
	294	—	5	—	de la moitié aux trois quarts	—	de la moitié
	296	—	34	—	25-35 %	—	25-55 %
	417	—	35	—	Gemengtheil	—	Gementheil
	421	—	26	—	*Fucus*	—	*Ficus*
	451	—	36	—	Occurrence	—	Ocurrence
	453	—	34	—	1889	—	1859
	485	—	8	—	Rhizopodes	—	Rhyzopodes
	497	—	19-20	—	l'activité volcanique sous-marine et des cendres volcaniques		
	567	—	28	—	Gümbel	au lieu de	Gübmel