

R 5
LÉON MORET

MANUEL
DE
PALÉONTOLOGIE
VÉGÉTALE



3^e éd.
MASSON ET Cie

Note. — La vignette de la couverture est la reconstitution du paysage végétal que montraient, au début de l'époque jurassique, nos actuelles régions polaires. Au premier plan, des frondes de Fougères (*Cladophlebis*, *Dictyophyllum*) accompagnées dans le haut de branchages de *Ginkgoites*, encadrent des marécages où croissent quelques Conifères primitives ressemblant aux Cyprès chauves de la Virginie (d'après des données empruntées à SEWARD).

La face postérieure de la couverture porte, en manière de cul-de-lampe, le fruit cornu d'une Châtaigne d'eau exotique (*Trapa bispinosa*) des Indes Orientales.

La vignette de la page du titre est une fleur de Cycadée archaïque (*Cycadeoidea dactensis*) de l'Infracrétacé des Etats-Unis.

Lion NORET

Maître de Conférences

Chaire de Paléontologie de la Faculté des Sciences de Clermont

UNIVERSITÉ CLERMONT AU 2

PALÉONTOLOGIE

VEGETALE

PALÉONTOLOGIE

VÉGÉTALE

3

S
491

MARON ET C^{ie} ÉDITEURS

121 Boulevard Saint-Germain, PARIS-VI

DL - 1 10 1954 - 13360

A LA MÊME LIBRAIRIE

PRÉCIS DE GÉOLOGIE, à l'usage des candidats à la licence ès sciences, au S.P.C.N. et aux grandes écoles, par L. MORET, 4^e édition, 1962. Un volume de 678 pages, avec 322 figures.

MANUEL DE PALÉONTOLOGIE ANIMALE, par L. MORET, 4^e édition complétée d'un addendum, 1958. Un volume de 772 pages, avec 274 figures, 12 tableaux.

LES SOURCES THERMOMINÉRALES. *Hydrogéologie. Géochimie. Biologie* par L. MORET, 1945. Un volume de 146 pages, avec 48 figures

GÉOLOGIE DAUPHINOISE. *Initiation à la géologie par l'étude des environs de Grenoble*, par M. GIGNOUX et L. MORET, 2^e édition, 1952. Un volume de 392 pages, avec 91 figures, 3 cartes.

TRAITÉ DE PALÉOBOTANIQUE, par Ed. BOUREAU, 8 volumes (*en préparation*).

TRAITÉ DE BOTANIQUE (*Systématique*). I. *Les végétaux non vasculaires (Cryptogamie)*, par M. CHADEFAUD, 1960. Un volume de 1.016 pages, avec 713 figures. II. *Les végétaux vasculaires*, par L. EMBERGER, 1960, 2 fascicules ensemble, 1.540 pages, avec 1.920 figures.

DÉTERMINATION PRATIQUE DES FOSSILES, par A. CHAVAN et A. CAILLEUX, 1957. Un volume de 388 pages, avec 586 figures.

PALÉONTOLOGIE STRATIGRAPHIQUE, par H. et G. TERMIER, 1958, 1960. Ouvrage en 4 fascicules.

ATLAS DE PALÉOGÉOGRAPHIE. *36 cartes paléogéographiques accompagnées de légendes explicatives*, par H. et G. TERMIER, 1960. Un volume de 100 pages, avec 36 cartes en couleurs, 8 figures.

PRÉCIS DE BOTANIQUE, par H. DES ABBAYES, M. CHADEFAUD, Y. DE FERRÉ, F. FELDMANN, H. GAUSSEN, P.-P. GRASSÉ, M.-C. LEREDDE, P. OZENDA et A.-R. PRÉVOT (*Précis de Sciences biologiques* publiés sous la direction de P.-P. GRASSÉ), 1963. Un volume de 1.040 pages, avec 618 figures.

LÉON MORET

Membre de l'Institut
Doyen honoraire de la Faculté des Sciences de Grenoble

PALÉONTOLOGIE VÉGÉTALE

*TROISIÈME ÉDITION REVUE, CORRIGÉE
ET AUGMENTÉE D'UN ADDENDUM*

AVEC 86 FIGURES



MASSON ET C^{ie}, ÉDITEURS
LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE
120, Boulevard Saint-Germain, PARIS-VI^e

1964

LEW MORT
Membre de l'Institut
D'après les travaux de la Société des Sciences de France
PALÉONTOLOGIE
VÉGÉTALE

— Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés même photographiques, — réservés pour tous pays —

Copyright 1964 by Masson et C^{ie},
(Printed in France)



MASSON ET C^{ie} ÉDITEURS
120 Boulevard des Capucines, PARIS-VI

PRÉFACE

LE PRÉSENT OUVRAGE est la suite naturelle du Manuel de Paléontologie animale publié par la Librairie Masson en 1940. On se rendra vite compte d'ailleurs qu'il est conçu suivant les mêmes principes, tant pour le texte que pour les illustrations qui, ici encore, sont de la main de l'auteur et aussi nombreuses qu'il a été possible.

Pour tout ce qui concerne les généralités sur les méthodes et les résultats de la Paléontologie, ainsi que l'indication des ouvrages géologiques généraux, dont la lecture est indispensable aux débutants, on voudra bien se reporter au précédent volume. Toutefois, je me hâte d'ajouter que ce nouveau manuel se suffit à lui-même et que j'ai pris soin d'y rappeler au début les notions générales et la bibliographie relatives à la Paléobotanique.

Les références bibliographiques spéciales les plus importantes se trouvent indiquées à propos des divers groupes étudiés ici dans l'ordre systématique. On remarquera seulement que, parmi ces groupes, celui des Protophytes, incorporé aux Protistes dans ma Paléontologie animale, y figure à nouveau, pour raison didactique, mais un peu modifié.

Autant que les animaux, les végétaux ont joué un rôle considérable au cours de l'histoire de notre planète. S'ils sont moins fréquents dans les sédiments, et de ce fait moins communément utilisés comme fossiles caractéristiques (n'oublions cependant pas que les échelles de plantes sont d'un intérêt capital en stratigraphie carbonifère), du moins sont-ils à la base de nombreuses roches organiques, matière première de la grosse industrie : qu'il me suffise de citer les charbons dont notre civilisation contemporaine est inséparable.

C'est pourquoi j'ai cru bon de réserver la dernière partie de ce livre aux végétaux considérés en tant qu'édificateurs de sédiments et singulièrement des roches combustibles comme les houilles.

Par ailleurs, la connaissance des plantes fossiles plaide d'une façon indéniable en faveur des théories évolutionnistes et l'on est aujourd'hui certain que le cadre de verdure dans lequel ont évolué les diverses faunes s'est lui-même transformé et perfectionné tandis que s'écoulaient les millénaires.

Tout géologue, tout biologiste se doivent donc de connaître, sinon de pratiquer, les plantes fossiles.

Aussi, j'ose espérer que ce petit volume sera susceptible de rendre quelques services, non seulement aux étudiants et aux spécialistes, mais même à tous ceux, et je les crois nombreux, qui s'intéressent au passé de la Terre pour en mieux comprendre le présent.

En terminant cette préface, je dois acquitter une dette de reconnaissance. Comme pour mon précédent volume, des collègues et amis ont bien voulu s'inté-

resser à mon travail et m'apporter spontanément leur concours dans la tâche ingrate de la correction des épreuves. M. le Prof. GIGNOUX a revu spécialement la cinquième partie de l'ouvrage et M. le Dr OFFNER en a vérifié l'ensemble, du point de vue botanique, en me faisant bénéficier de précieuses remarques et indications bibliographiques. M. J. LETOURNEUR et M^{lle} L. HERENGER ont également collaboré à ce travail ainsi qu'à l'établissement de l'index alphabétique. A tous, j'exprime ma très sincère gratitude.

Enfin, grâce à l'inoubliable hospitalité reçue au Laboratoire de Géologie de l'Université de Lausanne de la part de MM. les Prof. LUGEON et GAGNEBIN, j'ai pu profiter des trésors de leur belle bibliothèque et découvrir mainte référence utile.

Grenoble, le 9 octobre 1942.

PRÉFACE DE LA DEUXIÈME ÉDITION

IL EUT ÉTÉ FACILE d'augmenter sensiblement le volume de cette nouvelle édition en y faisant état des nombreux et importants travaux parus depuis quelques années. Outre que la chose a été faite dans d'excellents ouvrages de Paléobotanique destinés surtout aux Spécialistes, nous n'avons pas voulu perdre de vue ici le but didactique que nous nous étions fixé : limiter au strict minimum les compléments et renvois bibliographiques indispensables à un public d'étudiants et de paléontologistes non spécialisés.

L'épuisement rapide de la première édition de ce Manuel montre qu'il répondait bien à un besoin et qu'il n'était pas indiqué d'en trop modifier la structure générale.

Grenoble, novembre 1948.

PRÉFACE DE LA TROISIÈME ÉDITION

D'UN COMMUN ACCORD, l'auteur et son éditeur ont décidé d'adopter pour la troisième édition de ce Manuel de Paléontologie végétale la présentation utilisée pour les éditions successives de la Paléontologie animale. Autrement dit, sauf de minimes corrections, il n'a pas été procédé à des remaniements importants du texte.

En revanche, l'abondance des publications paléobotaniques ayant vu le jour au cours des quinze dernières années, a nécessité l'adjonction d'un Addendum bibliographique assez copieux, mais conçu dans le même esprit critique que celui qui accompagne les dernières éditions des autres ouvrages de l'auteur, solution qui, nous l'espérons, satisfera étudiants et spécialistes.

Grenoble, décembre 1963.

INTRODUCTION : GÉNÉRALITÉS

a) *Définition.* — La Paléontologie végétale ou Paléobotanique, ou encore Paléophytologie, est la science qui étudie les plantes fossiles (1).

Cette science fut fondée en France par Adolphe BRONGNIART, dont les principaux travaux s'échelonnèrent de 1822 à 1844. Son remarquable « Prodrôme d'une histoire des végétaux fossiles », publié en 1828, est le premier ouvrage d'ensemble sur la question. A sa suite, toujours dans notre pays, de nombreux savants, parmi lesquels SCHIMPER, GRAND'EURY, B. RENAULT, ZEILLER, DE SAPORTA, LIGNIER, contribuèrent pour une grande part au développement de la Paléobotanique. A l'étranger, l'émulation ne fut pas moins grande, et il faut citer HEER en Suisse ; NATHORST en Suède ; GEINITZ, GOPPERT, UNGER, GÜMBEL en Allemagne ; WILLIAMSON, KIDSTON en Angleterre ; LESQUEREUX, DAWSON en Amérique, parmi ceux qui participèrent à la fondation de cette jeune science.

De nos jours, une brillante phalange de paléobotanistes continue, dans le monde entier, les traditions tracées par leurs aînés, si bien que l'on peut dire que, par certains côtés et grâce à la beauté des matériaux extraits du sol, la Paléobotanique est peut-être plus avancée dans ses résultats que la Paléontologie animale.

b) *Importance de la Paléobotanique.* — Les découvertes de la Paléobotanique sont venues compléter les données fournies par l'étude des flores actuelles en remplissant les cases vides de la systématique (espèces disparues). D'autre part, elles nous renseignent sur la distribution stratigraphique et géographique des anciens végétaux et partant sur l'évolution et les perfectionnements progressifs des flores au cours des temps géologiques, ainsi que sur les causes de leur répartition actuelle.

Baucoup de plantes fossiles se sont révélées être d'excellents fossiles et l'on sait déjà que la stratigraphie de l'époque houillère est presque entièrement fondée sur des « échelles de plantes ».

Enfin, il n'échappera à personne, après la lecture de cet ouvrage, que les végétaux ont joué un rôle considérable dans l'élaboration de nombre de sédiments géologiques de nature diverse : calcaires, charbons, phosphates, etc., dont la plupart sont à la base de notre civilisation contemporaine.

(1) On trouvera, à la fin de l'introduction, une bibliographie sommaire des ouvrages généraux concernant la Paléobotanique.

c) *Fossilisation des végétaux*. — Les plantes se sont en général moins bien fossilisées que les animaux et la rareté des bons gisements est ici un fait qui frappe tous les paléontologistes. Cela tient sans doute aux conditions spéciales d'enfouissement, plus rarement réalisées pour les plantes dans la nature, et aussi à la délicatesse des organes végétaux. Les fruits et surtout les fleurs, certaines parties des rameaux, ne se sont conservés, comme nous le verrons, que dans des circonstances exceptionnelles et sont alors presque toujours incomplètement et imparfaitement fossilisés (1).

Par contre, les feuilles, formées de tissus cellulosiques résistants, certaines tiges ligneuses, les thalles d'Algues calcaires ou siliceuses, ont remar-

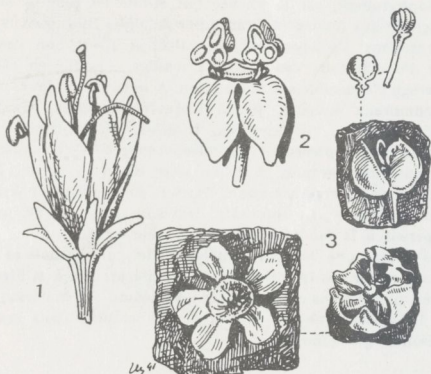


FIG. 1. — Fossilisations des végétaux.

- 1, *Billardites*, fleur conservée dans l'ambre oligocène du Samland (très grossie) (CONWENTZ).
— 2, *Antidesma* (id.). — 3, Moulages de fleurs et de fruits du travertin éocène de Sézanne (à peu près grandeur naturelle) (MUNIER-CHALMAS).

quablement résisté aux causes de destruction et au temps, aussi beaucoup de végétaux, surtout parmi les Thallophytes, nous sont-ils parvenus dans un état voisin de leur nature originelle et à peine fossilisés. Mais, dans la majorité des cas, il n'en est pas ainsi et des processus chimiques, parfois complexes, ont complètement modifié les débris végétaux.

Parmi les processus ayant permis la fossilisation des végétaux, citons tout d'abord l'*incrustation* par du carbonate de chaux ; c'est le cas notamment pour les tufs de Meximieux (Pliocène du Rhône) et les travertins de Sézanne (Éocène du Bassin de Paris) qui sont des dépôts ayant pris

(1) Il est aussi bien évident que certaines plantes comme les Cactacées, vivant dans des milieux arides et ayant acquis de ce fait une structure spéciale, charnue, n'ont pas pu se conserver aisément par fossilisation. Le seul Cactus fossile connu est, je crois, le genre *Eopuntia* de l'Éocène de l'Utah (CHANEY).

naissance dans des lacs au voisinage de sources incrustantes. Les plantes vivant au bord de ces bassins ont été empâtées par le calcaire et n'ont pas tardé à être détruites non sans y avoir laissé leur empreinte à l'état de vides. En coulant du plâtre dans les cavités du travertin de Sézanne, puis en attaquant les blocs ainsi traités par un acide, MUNIER-CHALMAS a réussi à mettre à jour de délicats moulages de plantes portant encore leurs fleurs et leurs fruits (fig. 1-3). On peut également citer, parmi les cas remarquables de conservation de plantes fossiles, celui de l'ambre oligocène du Samland

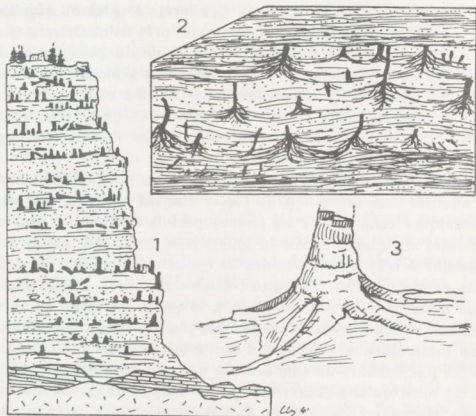


FIG. 2. — Sols et forêts fossiles.

1. Coupe de la face septentrionale des Montagnes d'Améthyste (Yellowstone Park) montrant une suite de forêts de l'époque Tertiaire détruites par des éruptions volcaniques cendreuseuses (sols fossiles en traits, cendres en pointillé) (hauteur de la coupe : 660 m. environ) (W. H. HOLMES). — 2. Coupe du Houiller de la Guinguette (Loire), avec plusieurs sols fossiles superposés portant des forêts (GRAND'EURY). — 3. Racine de Sigillaire (*Stigmaria*) du Houiller allemand (Osnabrück) (1/50) (in KAYSER, Lehrbuch der Geologie).

(régions baltiques) dans lequel des fleurs intactes, avec leurs étamines, ont été en quelque sorte confites (fig. 1-1 et 2). Cet ambre lui-même n'est qu'une résine fossilisée de Conifères.

Mais ce sont là des cas d'une extrême rareté et, le plus souvent, les débris végétaux, après un transport plus ou moins lointain par le vent ou l'eau et qui ne laissa subsister que les parties les plus coriaces, ont pu être enfouis dans des sédiments au sein desquels ils ont subi une lente *minéralisation*. La bonne conservation de ces fossiles s'y montre en rapport direct avec la finesse du grain des sédiments qui les ont recouverts ; parmi ceux-ci, ce sont les vases argilo-marneuses, les cinérites (fines cendres volcaniques stratifiées), les tripolis (roches siliceuses formées de Diatomées), qui four-

nissent les meilleurs échantillons de plantes, en général sur les feuillettes de parties schisteuses. Suivant la nature du milieu, la minéralisation peut conduire à des fossiles de nature bien différente : siliceux, calcaires, magnésiens (coal-balls de la houille), pyriteux, talqueux ou charbonneux.

Si, dans la plupart des cas, la fossilisation des végétaux implique un transport préalable, hâtons-nous d'ajouter qu'il n'en est pas toujours ainsi. On sait que des conditions spéciales de fossilisation ont été offertes aux plantes des immenses lagunes houillères où de véritables « sols fossiles » avec troncs d'arbres pourvus de racines en place ont été mis en évidence (forêts pétrifiées des anciens auteurs). Les forêts fossiles du Houiller de la Guinguette et de la fameuse carrière du Treuil près Saint-Etienne (Loire) (1) ainsi que celles du bassin de Joggins (Amérique du Nord) et de Victoria Park, près Glasgow (Angleterre), sont célèbres en géologie par leurs troncs *in situ* de Sigillaires ou de Lépidodendrons (fig. 2-2 et 3).

Citons encore les lits à racines de Cycadées et de Conifères ou « *Dirt Beds* » du Jurassique supérieur (Purbeckien) de l'Angleterre, qui sont également d'anciens sols de végétation.

Dans le Yellowstone Park, sur la face Nord des Montagnes d'Améthyste, on peut admirer une succession de forêts étagées détruites par des éruptions volcaniques cendreuses ; les troncs, parfois énormes, y sont silicifiés et transformés en quartz agate ou améthyste, mais sont restés en place, dressés les uns à côté des autres depuis les cataclysmes qui les ont périodiquement détruits durant l'époque tertiaire (fig. 2-1). Ici la silicification des troncs d'arbres peut être expliquée, d'abord par leur enfouissement dans un milieu siliceux, mais aussi par des phénomènes volcaniques tardifs de nature fumerolienne (vapeurs d'eau minéralisées).

Mais les phénomènes de silicification peuvent trouver une autre explication. C'est ainsi qu'une observation très curieuse de A. LACROIX nous a appris qu'à Madagascar, au cours de l'élaboration des latérites, la silice enlevée par les eaux pluviales a pu localement épigéniser des racines de plantes (observation de rhizomes silicifiés de Nymphéacées vivantes). Cette observation permet, par exemple, d'expliquer par des phénomènes analogues les troncs silicifiés des formations rouges subtropicales du Permien (2).

Quoi qu'il en soit, les végétaux silicifiés (tiges, troncs, racines) sont toujours admirablement conservés et leurs tissus peuvent être étudiés au microscope comme ceux des plantes actuelles.

d) Procédés d'étude. — L'examen des plantes fossiles se fait suivant les méthodes habituelles de la Botanique ; toutefois, comme les restes préservés sont surtout des thalles et des feuilles, l'étude de la nervation de

(1) Décrite tout d'abord par Alex. BRONGNIART (*Ann. des Mines*, 1821), qui ne s'était pas mépris sur sa signification, cette carrière a été étudiée plus tard, en 1900, par GRAND-EURY. Mais elle a complètement disparu par suite de l'éboulement et de l'émiettement progressif de ses parois. Il est regrettable qu'un tel gisement, véritable monument historique, n'ait pas été l'objet de mesures de préservation. On trouvera une figure de la forêt carbonifère de Victoria Park dans notre « Précis de Géologie » (*loc. cit.*), p. 223, fig. 109.

(2) P. LEMOINE : *La latérite* (Revue scientifique, n° 19, p. 627, 1923).

ces dernières a été très poussée. Ici également, il sera souvent nécessaire d'utiliser le microscope ; l'étude histologique d'un tissu peut nous renseigner sur le milieu dans lequel a vécu la plante (milieu aquatique, sec, plus ou moins éclairé, etc.) et c'est, en outre, surtout pour les bois fossiles, un précieux élément de détermination.

Mais la technique des coupes minces devra souvent se compléter par certains procédés destinés à éclaircir les préparations. Avant le montage dans le baume du Canada, on fait macérer la coupe dans un mélange de chlorate de potasse et acide azotique (méthode de Schulze), puis on lave à l'ammoniaque. Malgré ces précautions, certaines roches d'origine végétale, comme les charbons, résistent à ce traitement et il faut se servir du microscope métallographique grâce auquel on peut étudier, non plus par transparence, mais par réflexion, une surface polie. Cette dernière méthode donne des résultats excellents et c'est elle qui a permis de mettre définitivement au point ces dernières années le problème de la structure et de l'origine des combustibles minéraux (1). Lorsque l'on a affaire à des « coal-balls », ces concrétions calcaires ou dolomitiques qui se rencontrent fréquemment dans les couches de charbons à toit marin (Angleterre, Belgique, Russie), on utilise en outre pour étudier les nombreux restes végétaux à structure conservée qu'ils contiennent, le procédé récent des vernis au celluloid qui permet d'obtenir des films ou décalques parfaits des surfaces aplanies.

Ajoutons qu'il a été possible, grâce à des procédés spéciaux (méthode de Zetsche-Kälin), d'extraire de leur gangue charbonneuse, les spores dont certains charbons (durain) sont presque exclusivement formés. Les échantillons, réduits en menus fragments de 3 à 5 millimètres, sont soumis à une macération dans du brome et de l'acide azotique ; les spores ainsi isolées, sont tamisées puis classées pour l'étude (2). Les mégaspores se sont révélées être d'excellents fossiles caractéristiques et c'est de cette façon que ZERNDT a pu préciser récemment la stratigraphie du bassin houiller de Silésie.

Par des procédés analogues, on a même réussi le tour de force de dégager de leur gangue siliceuse des microfossiles aussi délicats que les Flagellés (3).

Si les vestiges végétaux ne subsistent dans un sédiment qu'à l'état d'empreintes, on peut faire des moulages en coulant du plâtre de Paris dans les vides de la roche ; pour les empreintes très fines, on utilise de préférence le collodion ou des injections de mastic.

Enfin, la Paléobotanique dispose aussi depuis peu de méthodes qui, basées sur les proportions relatives du pollen des différentes espèces forestières contenues dans divers matériaux (argiles et calcaires lacustres, schistes

(1) A. DUPARQUE : *Structure microscopique des charbons du bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais* (Mém. Soc. Géol. du Nord. Lille, 1933). Id. *L'étude microscopique des charbons* (Paris, 1934).

(2) Z. ZETSCHKE et O. KÄLIN : *Eine Methode zur Isolierung des Polymerbitumens aus Kohlen* (braun Kohle, 1932, p. 345). Voir les travaux de ZERNDT, cités p. 72.

(3) M^{me} LEJEUNE-CARPENTIER (Comptes Rendus Acad. Sc. Paris, t. 203, p. 435. 1936).

pétrolifères, tourbes, etc.), ont pour but de donner, grâce aux « diagrammes polliniques », une image plus ou moins approchée des associations végétales environnantes existant au moment de la formation de la roche considérée (LAGERHEIM, G. ERDTMAN), donc du climat régnant et de son évolution progressive.

Ces méthodes pollenanalytiques, ou analyses polliniques, sont surtout mises en œuvre pour l'étude des lignites et des tourbes des temps quaternaires (1).

e) *Classification des végétaux suivie dans cet ouvrage.* — 1° **Thalophytes.** — Ce sont les plantes les plus simples et les plus primitives, car formées soit d'une cellule (Protistes végétaux ou Protophytes), soit d'un amas de cellules appelé thalle. Dans la majorité des cas, il n'existe ni racine ni feuille. Nous étudierons successivement :

a) *Bactéries.* — Formes monocellulaires microscopiques, généralement dépourvues de chlorophylle.

b) *Flagellés.* — Protistes à affinités végétales.

c) *Algues.* — Végétaux pourvus de chlorophylle ; mais cette dernière y est souvent masquée par des pigments bruns, rouges ou bleus. Ce groupe, très touffu, a laissé de nombreux vestiges dans les sédiments se rapportant aux : Diatomées (Algues siliceuses), Schizophycées (Algues bleues), Chlorophycées (Algues vertes, comprenant les Botryococcacées, Codiacees, Dasycladacées et Cénobiées), Phaeophycées (Algues brunes), Floridées (Algues rouges, comprenant les Solénoporacées et les Corallinacées). Au voisinage des Algues, nous décrivons un certain nombre d'organismes énigmatiques fossiles qui en ont été rapprochés.

d) *Champignons.* — Végétaux parasites ou saprophytes dépourvus de chlorophylle

e) *Lichens* — Végétaux résultant de l'association d'une Algue et d'un Champignon.

f) *Charophytes.* — Groupe spécial, isolé, représenté actuellement par des formes d'eau douce.

2° **Bryophytes (Musciniées).** — Plantes sans racines ni vaisseaux, mais ordinairement pourvues de feuilles ; l'appareil femelle est un archégone. Leurs restes fossiles sont rares. Elles comprennent :

a) *Mousses.*

b) *Hépatiques.*

(1) J. GOURC : *La méthode pollenanalytique et son application à l'étude des temps post-glaciaires, Analyse du Marais des Echels (Ain)* (Rev. de Géographie région., Les études rhodaniennes, vol. XII, n° 1-2, 1936).

G. DUBOIS : *L'analyse pollinique et son application à l'étude du peuplement forestier des montagnes de l'Europe occidentale* (Rev. de géogr. alpine, t. XXVII, 1939, fasc. I).

G. ERDTMAN : *An Introduction to pollen analysis* (1939). Inaugurée en 1899 par C. E. BERTRAND, cette méthode a été appliquée à l'étude de la variation des climats par POST, dès 1909.

3° **Ptéridophytes (Cryptogames vasculaires)**. — Plantes caractérisées par l'apparition de racines et de vaisseaux ; il n'y a pas encore de fleur, donc pas de graine, et la reproduction se fait au moyen de spores (1).

a) *Psilophytales*. — Ce sont les premiers végétaux terrestres connus ; ils sont uniquement fossiles et comprennent les Rhyniées et les Astéroxy-lacées.

b) *Lycopodiales*. — Divisées en Lycopodiées (formes actuelles et fossiles), Lépido-dendracées et Sigillariées (formes éteintes).

c) *Equisétales* (Articulées). — Divisées en Equisétacées (formes fossiles et actuelles, Prêles), Calamariées (Prêles arborescentes) et Sphénophyllées (groupes entièrement disparus).

d) *Filicales*. — Les unes sont d'un type entièrement disparu et sont uniquement paléozoïques (Paléoptéridales), les autres se rattachent à des familles vivantes.

e) *Cladozylales*. — Groupe spécial, uniquement fossile.

4° **Spermatophytes (Phanérogames)**. — Ce sont les plantes à fleurs et graines. Il existe des racines et des vaisseaux, la plante est donc complète.

a) *Gymnospermes*. — Phanérogames chez lesquelles les graines sont à nu sur le carpelle. On y distingue les Ptéridospermées (Fougères à graines, uniquement fossiles) (2), les Cordaitales (Gymnospermes primitives, uniquement fossiles), les Cycadales (fossiles et actuelles), les Bennettiales (uniquement fossiles), les Ginkgoales (fossiles et actuelles), les Coniférales (fossiles et actuelles), les Gnétales (formes rares, douteuses comme fossiles), les Caytoniales (uniquement fossiles).

b) *Angiospermes*. — Phanérogames chez lesquelles les graines sont cachées. Ce sont les plantes supérieures ; d'après le nombre des cotylédons de la graine, on divise les Angiospermes en *Monocotylédones* (Blé, Palmier) et en *Dicotylédones* (Laurier, Hêtre).

(1) Les Bryophytes et les Ptéridophytes, chez lesquelles l'appareil femelle est un archégone, sont parfois groupées sous le nom d'Archégoniées.

(2) Certains auteurs trouvent plus pratique de décrire sous la rubrique « Feuilles de Fougères » les vraies Fougères ou Filicales et les Fougères à graines ou Ptéridospermées qui leur sont apparentées et font le pont entre ces plantes et les Cycadinées (Gymnospermes). Cette manière de faire ne présente aucun inconvénient pour les déterminations usuelles, car ces deux groupes sont en effet porteurs de feuilles filicoïdes et, en l'absence d'organes de fructifications, il est impossible de séparer chez les fossiles ce qui appartient aux Fougères de ce qui doit être rattaché aux Ptéridospermées.

La plus grande partie des épaisses séries géologiques qui constituent les terrains antérieurs au Cambrien sont certainement marines, et l'on en peut inférer que les océans dans lesquels se stratifièrent ces couches furent habités ; mais on y rencontre parfois des formations gréseuses de faciès subdésertiques qui semblent indiquer la présence de continents. L'hypothèse de la Panthalasse, cette mer universelle dans laquelle se seraient élaborées les premières cellules vivantes, ne trouve donc pas ici d'appuis décisifs.

Les êtres qui vécurent dans ces océans primitifs et qui furent la souche commune, puis les premiers représentants, des deux règnes organiques, n'ont pu, sans doute à cause de leur organisation trop frêle, se conserver jusqu'à nous par fossilisation. D'autre part, les phénomènes de métamorphisme qui sont intervenus pour modifier, souvent profondément, la base de ces séries au point d'en faire des roches entièrement cristallines, ont dû détruire à tout jamais ces premiers vestiges de la vie.

Il reste cependant probable que la vie a pu prendre naissance dans les zones peu profondes des océans primitifs, dès que la température de l'eau fut favorable (55-60° environ) et qu'elle s'y manifesta tout d'abord par des masses albuminoïdes indifférenciées. Mais, sous quelles influences, dans quelles conditions (action possible des rayons ultra-violet, de la radioactivité, de l'électricité, etc., au cours de la synthèse des premières albuminoïdes), nous l'ignorons totalement. Quoi qu'il en soit, c'est à partir de ces amas (probablement voisins des virus-protéines) que s'organisèrent, pendant l'Antécambrien, les premières cellules végétales, isolées tout d'abord, ou groupées, suivant le type réalisé chez les Bactéries et les Algues inférieures (Cyanophycées). De ces formes primitives pélagiques sortirent par évolution progressive toutes les Algues marines libres ou fixées (CHURCH) (1).

Dans les zones côtières, certaines Algues rudimentaires, possédant des propriétés ubiquistes, purent s'adapter à des milieux lagunaires ou même lacustres. Nous connaissons dans la nature actuelle des Algues qui vivent dans la zone de balancement des marées où elles peuvent rester très longtemps émergées sans périr. On peut donc supposer que, parmi les premières Algues du Cambrien ou du Silurien, quelques-unes étaient douées de telles propriétés et firent ainsi souche de formes continentales aériennes (2).

De fait, les plus anciens végétaux terrestres connus, les Psilophytales du Dévonien ont un appareil végétatif qui rappelle encore celui des Thallophytes : on peut dire que ce sont des Algues chez lesquelles ont apparu des

(1) Certaines Cyanophycées (*Oscillaria*) peuvent vivre à des températures très élevées (85°), notamment dans les sources chaudes du Yellowstone Park (U. S. A.) et de la Nouvelle-Zélande.

(2) Mais cette thèse de l'origine marine de la vie végétale continentale, due à CHURCH, a été très combattue par BOWER qui estime que la végétation terrestre a pu apparaître d'une manière indépendante de la végétation marine. Pour cet auteur, en effet, ce sont les feutrages gélatineux, formés d'Algues bleues, de Diatomées et de Bactéries, recouvrant les anfractuosités bordières des premières terres émergées, qui servirent de berceau aux ancêtres des Archégoniées. Ceux-ci furent sans doute des Algues vertes filamenteuses, semblables au protonema des Mousses ou au prothalle des Fougères primitives, et émigrées des eaux douces continentales (cf. M. F. O. BOWER, *Origine des végétaux vasculaires peuplant la surface des continents*. Trad. P. BERTRAND in Rev. gén. de Bot., t. 43, 1931).

trachéides. C'est à partir de ces formes qu'allaient s'organiser, puis se développer, avec le temps, toutes les flores si variées qui peuplèrent les continents aux époques qui suivirent.

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

- Ch. A. ARNOLD : *An introduction to Paleobotany* (New-York et Londres, 1947).
- F. BERNARD : *Eléments de Paléontologie* (Paris, 1895).
- P. BERTRAND : *La loi de récapitulation ontogénique et phylogénique appliquée aux plantes fossiles* (Comptes Rendus Acad. Sc., Paris, t. 213, p. 880, séance du 15 décembre 1941).
- P. BERTRAND : *Conférences de Paléobotanique* (Paris, Eyrolles, 1926).
- P. BERTRAND : *Les végétaux vasculaires* (Paris, Masson, 1947).
- G. BONNIER et LECLERC DU SABLON : *Cours de Botanique* (Paris. Libr. Gén. de l'Enseignement).
- A. BRONGNIART : *Histoire des Végétaux fossiles ou recherches botaniques et géologiques sur les végétaux dans les diverses couches du globe* (Paris, 1828-1844).
- A. CARPENTIER : *Les Plantes. Les grandes étapes de l'évolution* (Encyclopédie Française, Paris, 1903).
- W. C. DARRAH : *Principles of Paleobotany* (Leiden-Hollande, 1939).
- W. DEECKE : *Phytopaläontologie und Geologie* (Berlin, 1922). Id. *Die Fossilisation* (Berlin, 1923).
- L. EMBERGER : *Les plantes fossiles dans leurs rapports avec les végétaux vivants (Éléments de Paléobotanique et de morphologie comparée)* (Paris, Masson, 1944).
- P. H. FRITEL : *Paléobotanique* (Histoire Naturelle de la France, Paris, Deyrolle, 1903).
- A. GUILLIERMOND et G. MANGENOT : *Précis de Biologie végétale* (Paris, Masson, 2^e édit., 1946).
- M. HIRMER : *Handbuch der Paläobotanik, I, ThallopHYta-Bryophyta-Pteridophyta* (Munich et Berlin, 1927).
- L. JOLEAUD : *Atlas de Paléobiogéographie* (Paris, Lechevallier, 1939).
- F. PIA : *Pflanzen als Gesteinsbildner* (Berlin, 1926).
- H. POTONIÉ et W. GOTHAN : *Lehrbuch der Paläobotanik* (Berlin, 1921).
- D. H. SCOTT : *Studies in Fossil Botany, 1 et 2* (Londres, 1920-23). Id. *Extinct Plants and Problems of evolution* (Londres, 1924).
- A. C. SEWARD : *Fossil Plants, vol. I-IV* (Cambridge Univ. Press, 1910-19). Id. *Plant life through the Ages. A geological and botanical retrospect* (Cambridge Univ. Press, 1933).
- R. ZEILLER : *Éléments de Paléobotanique* (Paris, Carré et Naud, 1900).
- K. A. ZITTEL : *Traité de Paléontologie, partie II, Paléophytologie*, par W. Ph. SCHIMPER et A. SCHENCK (traduct. Ch. Barrois) (Paris, Doin, 1891).
- Les ouvrages de HIRMER et de SEWARD renferment d'importantes listes bibliographiques. De ce point de vue, on consultera également :
- A. CARPENTIER : *Revue des travaux de Paléontologie végétale*, publiés au cours des années 1910-1919. — I. Paléozoïque. — II. Mésozoïque du Trias au Wealdien (Rev. gén. de Botanique, t. XXXIII, 1923) et W. JONGMANS : *Fossilium Catalogus, Plantae* Berlin, 1913-15).
- Sur l'histoire de la Paléobotanique en France, on consultera spécialement l'article suivant : P. BERTRAND, *Leçon inaugurale faite au Muséum d'Histoire Naturelle de Paris le 12 Juin 1941* (Bull. Mus. Hist. nat., t. XIII, 1941, p. 369).
- Enfin, les lecteurs qui s'intéressent aux questions de nomenclature, trouveront des renseignements dans les deux articles suivants : W. J. ARKELL et J. A. MOY-THOMAS, *Paleontology and the Taxonomic Problem. « The new Systematics »* (Julian Huxley édit.) pp. 395-410, Oxford, 1940 ; W. JONGMANS, T. G. HALLE, W. GOTHAN, « Proposed additions to the International rules of botanical nomenclature adopted by the fifth International Botanical Congress, Cambridge, 1930 », Heerlen, 1935.

PREMIÈRE PARTIE

THALLOPHYTES

Ce sont les plus simples et les plus primitifs, des végétaux. L'appareil végétatif est une seule cellule, une suite filamenteuse de cellules ou un amas de cellules appelé thalle et qui n'est en aucune façon différencié en tige, racine ou feuilles. Ce sont aussi les premiers végétaux dont on trouve des traces certaines dans les sédiments, et peut-être ceux qui sont à l'origine de tous les autres (1).

CHAPITRE PREMIER

LES BACTÉRIES

Généralités. — Ce sont des Protistes microscopiques très primitifs, ordinairement dépourvus de chlorophylle et de pigment permettant l'assimilation directe du carbone et du gaz carbonique. Leur thalle, qui est une cellule imparfaite, est en général incolore et leurs spores sont endogènes.

On les connaît encore fort mal. Après les avoir tour à tour rapprochées des Champignons et des Cyanophycées, on est plutôt porté actuellement à en faire un petit groupe à part dans le monde végétal à cause de leur morphologie et de leur rôle biologique. On sait que leur action capitale dans les fermentations et comme agents pathogènes a été mise en évidence par PASTEUR qui a montré que les unes étaient aérobies, les autres anaérobies.

Très répandues dans la nature actuelle, et dans tous les milieux, elles existent également dans les milieux géologiques les plus variés, et y ont certainement joué un rôle analogue à celui que jouent les formes vivantes dans les transformations cycliques de la matière.

Si étonnant que cela puisse paraître, on connaît en effet des Bactéries fossiles et ce fait important a été découvert en 1879 par VAN TIEGHEM au cours de ses études sur les racines des plantes houillères (2).

Par la suite, Bernard RENAULT en 1896 confirma le fait en ce qui concerne les tissus végétaux houillers et l'étendit aux tissus animaux fossiles.

(1) Cf. la mise au point de J. PIA in HIRMER : *Handbuch der Paläobotanik* (loc. cit.).

(2) VAN TIEGHEM : *Sur le ferment butyrique* (Bacillus amylobacter) à l'époque de la houille (Comptes Rendus Acad. Sc., Paris, t. 89, p. 1102, 1879). — C. DECHASEAUX : *Les Bactéries fossiles* (La presse médicale, n° 23-24, mars 1941). Voir également la bibliographie relative aux Bactéries fossiles in HIRMER (loc. cit.).

Parmi ces Bactéries fossiles, les unes sont sphériques (type *Micrococcus*), d'autres allongées en bâtonnets (type *Bacillus*), et rappellent à s'y méprendre par leur forme et leurs dimensions (quelques μ ou fractions de μ) les Bactéries actuelles.

Plus récemment, les travaux de L. CAYEUX ont montré la grande dispersion de ces petits êtres dans les formations géologiques, des plus anciennes (minerais de fer huroniens du Minnesota et schistes algonkiens de la Colombie britannique) aux plus récentes.

Il est donc fort possible qu'une des premières manifestations de la vie végétale sur notre globe ait pris la forme bactérienne.

Un autre fait surprenant est celui de la découverte, faite simultanément en Amérique et en Russie en 1926, de flores bactériennes *vivantes* dans les eaux de gisements d'hydrocarbures profonds. Cette découverte met l'accent sur la vitalité presque inconcevable de ces Bactéries que ni la durée (il s'agit de gisements paléozoïques), ni la profondeur (elles ont été recueillies dans un sondage de 2.500 m.) n'ont pu altérer.

Nous allons voir que les actions bactériennes, tant constructives que destructrices, ont été prépondérantes dans la genèse de nombre de dépôts anciens.

1° Bactéries des hydrocarbures. — Les bactéries fossiles vivantes découvertes dans certains pétroles anciens de Russie et d'Amérique ont pu être cultivées et isolées, et leur action fermentescible s'est montrée très efficace sur les albuminoïdes, la cellulose, l'acide lactique, etc., confirmant ainsi la théorie sapropélienne de l'origine des pétroles, puisqu'en s'attaquant aux matières organiques et en brisant les molécules d'acides gras, elles peuvent conduire aux hydrocarbures (1).

Malgré le scepticisme qui a accueilli cette découverte et les critiques qui lui ont été adressées, elle semble de plus en plus s'avérer comme une réalité.

2° Bactéries des phosphates sédimentaires. — Découvertes en 1933 par L. CAYEUX (2), ces Bactéries ont pu être photographiées et identifiées par lui en 1936 grâce à l'emploi de la lumière infra-rouge. En général, ce sont des *Micrococcus* de $0 \mu 5$ à $2 \mu 5$, bien visibles à un grossissement de 800 diamètres, et qui se rencontrent dans tous les phosphates. On peut admettre, restreignant ainsi le rôle attribué jusqu'ici aux débris de Vertébrés (Reptiles et Poissons) dans la formation des phosphates, que ces Bactéries ont pu élaborer ces derniers aux dépens de l'eau de mer dont la teneur en acide phosphorique est constamment renouvelée par les apports des cours d'eau.

(1) G. MACOVEI : *Les gisements de pétrole. Géologie. Statistique, Economie* (Paris, Masson, 1938, p. 55).

(2) L. CAYEUX : *Existence de nombreuses Bactéries dans les phosphates sédimentaires de tout âge. Conséquences* (Comptes Rendus Acad. Sc., Paris, t. 203. p. 1198, 7 décembre 1936). — L. MORET : *Manuel de Paléontologie animale* (Paris, Masson, 1940, p. 8 et 490).

3° **Bactéries des minerais de fer.** — On sait que certaines Bactéries actuelles, appartenant aux genres *Gallionella*, *Leptothrix*, *Crenothrix*, peuvent provoquer la précipitation de l'oxyde de fer dans des conditions spéciales (minéral de fer des marais) à partir du carbonate ferreux dissous dans les eaux naturelles. Des formes analogues ont été mises en évidence en 1937 par L. CAYEUX (1) dans la plupart des oolithes ferrugineuses du Barrémien, du Jurassique (minerais de Lorraine), du Dévonien, du Silurien et même du Huronien (fig. 3-4), toujours en utilisant la lumière infrarouge. Etudiant ces minerais du point de vue pétrographique, et constatant qu'au cours des phénomènes de remaniements qui s'y manifestent, certains éléments ferrugineux apparaissent comme frappés d'arrêt de leur

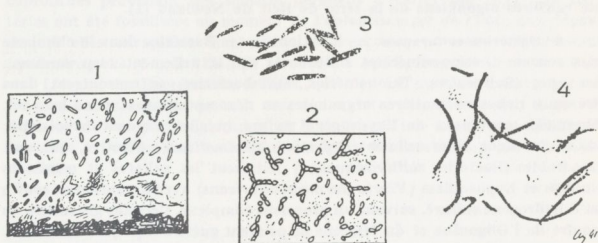


FIG. 3. — Bactéries fossiles.

- 1, *Bacillus permianensis*, dans un coprolithe du Permien d'Autun (Saône-et-Loire) (B. RENAULT). — 2, *Bacillus (Streptothrix) antracis* ($\times 400$) (B. RENAULT). — 3, *Bacillus vorax*, du Carbonifère inférieur de Saône-et-Loire ($\times 400$) (B. RENAULT). — 4, Bactéries ferrugineuses de l'Algonkien du Minnesota (Amérique du Nord) ($\times 250$) (GRUNER).

développement lorsqu'ils sont plongés dans un autre milieu, CAYEUX fut conduit à admettre que ces anomalies ne trouvaient leur explication que dans un travail bactérien, ce qui confirmait les vues de Bernard RENAULT sur la genèse de la houille (2).

4° **Bactéries des calcaires.** — Il apparaît de plus en plus certain que les Bactéries jouent un rôle très important dans la précipitation du calcaire. Dans les milieux non oxygénés et riches en matières organiques (milieux lagunaires, Mer Noire), la précipitation des carbonates se fait sous l'action de Bactéries anaérobies : en présence du méthane, les sulfates de chaux et de magnésie donnent des sulfures, de l'eau, du gaz carbonique, corps qui, à leur tour, réagissent en donnant des carbonates du type dolomie

(1) L. CAYEUX : *Nouvelles données sur l'existence de Bactéries dans les roches sédimentaires anciennes* (Comptes Rendus Acad. Sc., Paris, t. 204, p. 1517, 1937) ; *Existence de Bactéries dans les roches sédimentaires anciennes autres que les phosphates* (Comptes Rendus som. Soc. Géol. France, 24 mai 1937) ; *Les minerais de fer oolithiques de France*, fasc. 2 (Paris, 1922). — Voir également E. C. HARDER : *Iron-depositing bacteria and their geologic relations* (U. S. Géol. Surv. Prof. Pap., n° 113, p. 113, 1919).

(2) Toutefois, le rôle des ferro-bactéries dans la précipitation des oxydes de fer des minerais d'origine marine est contesté par A. RIVIÈRE (Comptes Rendus som. Soc. Géol. Fr., 21 décembre 1942).

et de l'hydrogène sulfuré. Dans les eaux bien aérées, au contraire, riches cependant en débris organiques, les Bactéries dénitrifiantes produisent de l'ammoniaque qui, en présence de gaz carbonique donne du carbonate d'ammonium ; ce dernier en présence du sulfate de chaux de l'eau de mer précipite le carbonate de chaux.

De telles actions, vérifiées dans la nature actuelle, ont pu se produire au cours des temps géologiques et conduire à de nombreux types de calcaires ; en particulier les calcaires finement rubanés, d'aspect ondulé et comme concrétionné, doivent avoir cette origine.

Dès 1914, d'ailleurs, WALCOTT était amené à supposer que ce sont les Bactéries qui ont joué le principal rôle dans la genèse des énormes masses de calcaires algonkiens de la série de Belt de Newland (1).

5° **Bactéries sulfureuses.** — L'action de ces Bactéries dans le chimisme des sources thermo-minérales sulfureuses est actuellement bien connue : les unes (Sulfuraires, Thiobactéries, Sulfobactéries) se rencontrent dans les eaux riches en matières organiques en décomposition et dans les eaux thermales contenant de l'hydrogène sulfuré qu'elles oxydent avec dépôt de soufre dans leurs cellules (*Beggiatoa*, *Chromatium*) ; d'autres, qui sont anaérobies (Bactéries sulfhydriques), y réduisent les sulfates et même les sulfites et hyposulfites (*Vibrio thermodesulfuricans*) avec formation de soufre et d'hydrogène sulfuré, suivant un processus complexe. Certains gisements de soufre de l'Oligocène et du Miocène ne peuvent guère s'expliquer autrement que par l'action de Bactéries analogues (2). Des vestiges de tels organismes auraient même pu être décelés dans les Kupferschiefer du Permien.

6° **Bactéries de la fermentation houillère.** — Ce sont les premières qui ont été mises en évidence au cours de l'étude des débris végétaux du terrain houiller ; leur action destructrice durant la fermentation houillère semble avoir été du même ordre que celle du *Bacillus amylobacter* actuel qui s'attaque à la cellulose des tissus, ne laissant subsister que les cuticules et les vaisseaux. Il existe en effet des combustibles minéraux, formés presque uniquement de cuticules de Bothrodendracées qui ne peuvent être expliqués que de cette façon.

Parmi ces Bactéries, citons *Bacillus vorax* du Carbonifère inférieur (fig. 3-3), *Micrococcus Guignardi* et *M. hymenophagus*, *Bacillus (Streptothrix) anthracis* (fig. 3-2) (3) découvert par B. RENAULT dans le parenchyme de végétaux houillers.

(1) C. D. WALCOTT : *Pre-Cambrian Algonkian algal floral* (Smithsonian Miscellaneous Collections, n° 2, p. 64, 1914).

(2) D. SCHNEEGANS : *Le problème de la réduction des sulfates par des Bactéries en présence d'hydrocarbures ou de matières charbonneuses et l'origine des dépôts de soufre de la France Méridionale* (Comptes Rendus Congrès intern. des Mines, Métallurgie, Géologie appliquée, 7^e session, Paris, 1935). L. MORET : *Les Sources thermominérales* (Paris, Masson, 1946, p. 87).

(3) B. RENAULT : *Les Bactéries fossiles et leur œuvre géologique* (Rev. Gén. Sc., Paris, t. 7, p. 804, 1896) et *Sur quelques microorganismes des combustibles fossiles* (Bull. Soc. Industr. Minér., Saint-Etienne, t. 13, p. 865, 1899 et t. 14, 1900). — H. WINTER : *Ueber Bakterien und ihre Beziehungen zur Kohle* (Der Bergbau, n° 7, 1935).

L'étude de ces organismes avait conduit RENAULT à une constatation importante qui fut vérifiée plus tard par CAYEUX à propos des Bactéries des minerais de fer, à savoir que des masses végétales arrivées à un degré déterminé de carbonisation et soustraites par remaniement à leur milieu originel, ne peuvent plus continuer leur évolution, même si elles sont remises dans ce milieu. « La remise en mouvement des matériaux met fin pour toujours à l'activité bactérienne qui engendre les combustibles aux dépens des débris végétaux (RENAULT). »

7° **Bactéries des caries.** — Elles ont été observées par RENAULT dans les cellules qui forment l'ivoire d'écaillés de Poissons conservées dans des coprolithes provenant des schistes permien d'Autun (fig. 3-1). Ces Bactéries ont été fossilisées au moment de l'enfouissement de l'hôte aux dépens duquel elles exerçaient leur action destructrice ; ce sont : *Micrococcus lepidophragmus* ($0 \mu 2$ à $3 \mu 2$) et *Bacillus lepidophragmus arcuatus* (4μ).

L'étude des Bactériacées fossiles, qui n'en est qu'à ses débuts, permet les plus beaux espoirs ; en tout cas, dès maintenant, elle montre la grande diffusion de ces microorganismes et la collaboration importante qu'ils ont apportée à l'édification de la plupart des sédiments géologiques au cours des âges.

CHAPITRE II

LES FLAGELLÉS

Ce sont des Protophytes pélagiques microscopiques (de 5 millièmes à 3 centièmes de millimètre) à thèque rigide, souvent cellulosique, et pourvus de flagelles. Ils possèdent en outre des plastes chlorophylliens auxquels s'ajoutent des pigments jaunes ou bruns. Les recherches récentes ont montré qu'ils existaient, souvent en abondance, dans la plupart des sédiments géologiques où ils sont parfois admirablement conservés. Les premiers se montrent au Silurien, peut-être même au Cambrien, et ils sont très répandus dans la nature actuelle.

Les uns possèdent une thèque calcaire, ce sont les *Coccolithophoridés*; chez d'autres la thèque est siliceuse, ce sont les *Silicoflagellés*; enfin chez les *Dinoflagellés* ou *Péridiniens*, elle est de nature chitineuse ou cellulosique (1).

I. — COCCOLITHOPHORIDÉS

Les formes vivantes de ce groupe sont extrêmement répandues dans les mers chaudes. Elles y furent découvertes en 1857 par HUXLEY, bien après qu'EHRENBERG les eût mises en évidence en 1836 dans les sédiments géologiques. Typiquement, se sont de minuscules gouttelettes flagellées de protoplasme renfermant un pigment brun assimilateur et revêtues de corpuscules calcaires de forme variable appelés coccolithes, rhabdolithes ou stéphanolithes (fig. 5-1 à 7). Ces corpuscules se dispersent sur les fonds marins au moment de la destruction du protoplasme de ces petits êtres et viennent s'enfouir dans la vase préservatrice. De telles conditions ont été réalisées depuis les temps les plus reculés, car on connaît des Coccolithophoridés dès le Primaire. Mais, c'est surtout durant le Crétacé supérieur qu'ils se sont multipliés, au point que l'on peut dire que la craie est un sédiment formé dans sa presque totalité (75 p. 100 de Coccolithes reconnaissables, soit au total, en faisant intervenir les débris, près de 10 millions par millimètre cube) de ces petits organismes.

La présence de Coccolithophoridés dans un sédiment est une preuve

(1) Sur l'ensemble du groupe, voir : G. DEFLANDRE : *Les Flagellés fossiles. Aperçu biologique et paléontologique. Rôle géologique* (Actualités scientifiques et industrielles, Paris, Hermann, 1936). Voir également du même, *Les Stéphanolithes, représentants d'un type nouveau de Coccolithes du Jurassique supérieur* (Comptes Rendus Acad. Sc., Paris, t. 208, p. 1331, 1939). A. BERSIER : *Discoastéridés et Coccolithophoridés des marnes oligocènes vaudoises* (Bull. Soc. Vaud. Sc. nat., vol. 60, 1937, p. 39).

LISTE DES FIGURES

1. Fossilisation des végétaux	2
2. Sols et forêts fossiles	3
3. Bactéries fossiles	13
4. Dinoflagellés actuels et fossiles	18
5. Flagellés fossiles (Coccolithophoridés, Silicoflagellés, Dinoflagellés, Ebridiés)	19
6. Diatomées fossiles	24
7. Stromatolithes	27
8. Stromatolithes et Schizophycées	28
9. Algues schizophycées	29
10. Algues perforantes, incrustantes et cariantes (Schizophycées)	32
11. Botryococcacées	35
12. Aspect microscopique des charbons d'Algues (bogheads)	37
13. Codiacées	39
14. Organisation des Dasycladacées	40
15. Dasycladacées (suite)	42
16. Dasycladacées (suite)	45
17. Dasycladacées (suite)	47
18. Phaeophycées et Chlorophycées	48
19. Reconstitution de <i>Nematophycus</i> Lafonti	49
20. Floridées	52
21. Floridées (suite)	53
22. Algues incertae sedis et Champignons	57
23. Champignons endophytes fossiles chez les <i>Rhynia</i>	59
24. Charophytes	61
25. Mousses et Hépatiques	63
26. Psilotales et Psilophytales	66
27. Psilophytales	69
28. Psilophytales et Lycopodiales archaïques	71
29. Lycopodiales	74
30. Lépidodendracées	76
31. Lépidodendracées (suite)	78
32. Lépidodendracées (suite)	79
33. Sigillariacées	82
34. Racines de Lépidophytes (Lépidodendracées et Sigillariacées)	83
35. Lycopodiales herbacées	84
36. Equisétales (Protoarticulées et Equisétinées)	87
37. Equisétacées	88
38. Equisétacées (suite)	89
39. Silhouettes de Calamariacées	90
40. Calamariacées	91
41. Calamariacées (suite)	94
42. Calamariacées (suite)	95

43. Fructifications de Sphénophyllées	97
44. Sphénophyllées	98
45. Cladoxylales	99
46. Structure des Ptéridophytes	103
47. Structure des Ptéridophytes (<i>suite</i>)	105
48. Paléoptéridales (Phyllophorales)	109
49. Paléoptéridales (Phyllophorales) (<i>suite</i>)	110
50. Paléoptéridales (Inversicaténales)	111
51. Types de Filicales fossiles (sporangies et frondes)	113
52. Types de Filicales fossiles (frondes et troncs)	116
53. Fougères arborescentes fossiles	119
54. Glossoptéridées et Ptéridospermées	120
55. Fougères douteuses	122
56. Gymnospermes (Structure anatomique)	130
57. Structure comparée de l'ovule des Ptéridospermées	132
58. Organes de reproduction des Ptéridospermées	133
59. Ptéridospermées (graines et feuillage)	136
60. Ptéridospermées (feuilles)	141
61. Ptéridospermées (feuilles) (<i>suite</i>)	143
62. Ptéridospermées et Cordaitales	145
63. Cordaitales	147
64. Cycadales	151
65. Cycadales et Bennettitales	155
66. Bennettitales	157
67. Bennettitales (<i>suite</i>)	159
68. Ginkgoales	161
69. Coniférales	165
70. Coniférales et Caytoniales	167
71. Monocotylédones	175
72. Monocotylédones (Palmiers)	177
73. Dicotylédones	179
74. Dicotylédones (<i>suite</i>)	183
75. Dicotylédones (<i>suite</i>)	184
76. L'évolution des grands types végétaux au cours des temps géologiques	188
77. Distribution géologique des grands groupes de plantes	189
78. La Terre vers la fin de l'époque carbonifère	191
79. La Terre au début de l'époque crétacée	192
80. La Terre pendant la grande transgression mésocrétacée	193
81. L'extension mondiale des glaciers au Quaternaire	196
82. Schéma destiné à mettre en évidence les relations et l'origine possible des grands groupes végétaux	197
83. Aspect microscopique des principaux constituants végétaux des houilles	204
84. Différents types de mégaspores des charbons de Silésie	205
85. Reconstitution d'une lagune houillère en période calme	208
86. Coupe schématique du bassin houiller de Commentry	210