

LA  
GÉOLOGIE BIOLOGIQUE

## DU MÊME AUTEUR

LIBRAIRIE FÉLIX ALCAN

- La Géologie comparée**, avec 35 figures dans le texte. 1 vol. in-8 (*Bibliothèque scientifique internationale*), 1895 . . . . . 6 fr.
- La Géologie expérimentale**, 2<sup>e</sup> édition, 1 vol. in-8<sup>e</sup>, avec 56 figures dans le texte (*Bibliothèque scientifique internationale*), 1904. . . . . 6 fr.
- La Géologie générale**, 2<sup>e</sup> édition. 1 vol. in-8<sup>e</sup>, avec 34 gravures dans le texte (*Bibliothèque scientifique internationale*), 1909 . . . . . 6 fr.
- L'Évolution des théories géologiques**. 2<sup>e</sup> édition, 1 vol. in-16 (*Nouvelle Collection scientifique*), 1912. . . . . 3 fr. 50
- Nos Terrains**. 1 vol. in-4<sup>e</sup> avec 102 figures en couleur et 320 figures en noir. Paris, Armand Colin, 1898.
- Géologie**, ouvrage destiné aux élèves des Ecoles d'agriculture et de l'Institut agronomique, aux candidats à ces Établissements, aux aspirants aux grades universitaires, aux agronomes, aux ingénieurs, aux industriels, aux coloniaux et aux amateurs de sciences naturelles. 1 vol. grand in-8<sup>e</sup> illustré. Paris, Vuibert, 1908.
- La Terre qui tremble**. 1 vol. in-4<sup>e</sup>, avec 72 figures et photographies. Paris, Delagrave, 1910.
- Les Convulsions de l'écorce terrestre**. 5<sup>e</sup> mille. 1 vol. in-18, avec 35 illustrations. Paris, Flammarion, 1910.
- Géologie des environs de Paris**; *description des terrains et énumération des fossiles qui s'y rencontrent suivi d'un index des localités fossilifères*. 2<sup>e</sup> édition; 1 vol. in-8<sup>e</sup> avec 247 fig. dans le texte, 25 planches tirées à part et 1 carte géologique. J.-B. Baillière et fils, 1912.

## BIBLIOTHÈQUE SCIENTIFIQUE INTERNATIONALE

VOLUMES IN-8, CARTONNÉS A L'ANGLAISE A 6, 9 ET 12 FRANCS

### Derniers volumes parus.

- DUBOIS** (le Dr Raphael), professeur à l'Université de Lyon, directeur du laboratoire de physiologie maritime de Tamaris-sur-Mer. **La Vie et la Lumière**. 1 vol. in-8, avec 46 fig. dans le texte . . . . . 6 fr.
- LANESSAN** (J.-L. de), professeur agrégé d'histoire naturelle à la Faculté de médecine de Paris, ancien ministre, député. **Transformisme et créationisme. Contribution à l'histoire du transformisme depuis l'antiquité jusqu'à nos jours**. 1 vol. in-8 . . . . . 6 fr.
- CRESSON** (A.), docteur ès lettres, professeur au collège Chaptal. **L'espèce et son serviteur (sexualité, moralité)**. 1 vol. in-8, avec 42 gravures . . . . . 6 fr.
- PEARSON** (K.), professeur au Collège de l'Université de Londres. **La grammaire de la science (La physique)**. Traduit de l'anglais par Lucien March. 1 vol. in-8 . . . . . 9 fr.
- CYON** (E. de). **L'oreille, organe d'orientation dans le temps et dans l'espace**. 1 vol. in-8 avec 45 grav. dans le texte, 3 planches hors texte et un portrait de Flourens . . . . . 6 fr.
- ANDRADE** (J.), professeur à la Faculté des sciences de Besançon. **Le Mouvement. Mesures de l'étendue et mesures du temps**. 1 vol. in-8, avec 46 fig. dans le texte. . . . . 6 fr.
- CUENOT** (L.), professeur à la Faculté des sciences de Nancy. **La Genèse des espèces animales**. 1 vol. in-8 avec 123 grav. dans le texte (*Couronné par l'Académie des Sciences*). . . . . 12 fr.

ST/1967/184

LA  
GÉOLOGIE BIOLOGIQUE

PAR

STANISLAS MEUNIER

Professeur - administrateur au Museum national d'Histoire Naturelle,  
Ancien Président de la Société Géologique de France.

Avec 20 gravures dans le texte.

FACULTÉ DES SCIENCES  
DE LILLE  
DÉPT SCIENCES DE LA TERRE

54

PARIS

LIBRAIRIE FÉLIX ALCAN

108, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, 108

1914

Tous droits de reproduction, de traduction et d'adaptation  
réservés pour tous pays.

Centre des Sciences et Technologies de

Sciences de la Terre MEUN.

Laboratoire de Paléontologie et  
Paléogéographie du Paléozoïque

UMR 8014 du CNRS

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

50655 Villeneuve d'Ascq Cedex (France)

DEPT. SCIENCES DE LA TERRE  
DE LILLE  
FACULTÉ DES SCIENCES

## AVANT-PROPOS

---

Par Géologie biologique, nous entendons la partie de la science de la Terre qui concerne la collaboration de la force caractéristique de la vie, dans le concert des énergies concourant à l'évolution du globe.

Le sujet est abordé dans tous les traités de Géologie, où une espèce de bilan sommaire est établi de certaines formations dues à l'accumulation de produits organiques et à des travaux tels que des modifications de roches, dont les auteurs sont tantôt des animaux, tantôt des végétaux, parfois les deux catégories d'êtres travaillant ensemble, et bien souvent des agents chimiques dérivant de la vie organique.

Cette étude comprend nécessairement la comparaison, avec les êtres vivants en même temps que nous, des bêtes et des plantes qui ont composé les faunes et les flores antérieures et qui, manifestement, se sont comportées, d'une façon générale, exactement comme nos contemporains. Cette circonstance a des conséquences peut-être imprévues et sur lesquelles on nous permettra d'insister parce

qu'elles supposent un programme d'études qui, croyons-nous, n'a pas été généralement suivi jusqu'ici.

A côté du géologue, qui se livre aux travaux auxquels nous venons de faire allusion, nous assistons aux efforts des zoologistes et des botanistes, cherchant à englober dans un même système taxonomique tous les êtres qui ont successivement existé, de façon à en conclure, s'il est possible, une notion complète des deux règnes animal et végétal, dont l'époque actuelle, considérée seule, ne nous fournit évidemment que des fragments. Nous savons comment ce procédé de recherche, en compliquant pour ainsi dire chacune de nos espèces et chacun de nos genres contemporains de toutes les formes qui ont été successivement abrogées au cours des temps géologiques, conduit fatalement à des spéculations, quant aux relations mutuelles de ces formes qui se sont succédé et c'est ainsi par exemple qu'est née la célèbre doctrine de la descendance.

Nous avons été conduit à opérer tout autrement. Tout d'abord placé au point de vue du recensement des divers agents qui collaborent à l'équilibre actuel de la Terre, nous avons été frappé de la symétrie manifestée par l'ensemble des êtres vivants, considéré comme un appareil destiné à l'accomplissement d'une tâche définie dans l'œuvre générale, avec le mode d'action de tel autre appareil inorganique, comme l'océan, le volcan, le glacier.

Ceci posé, et de même que le géologue doit comparer les travaux de l'océan ou du volcan, à l'époque tertiaire, à l'époque secondaire, à l'époque primaire, avec leur fonctionnement actuel, de même nous nous sommes proposé de rechercher en quoi diffèrent les unes des autres, ou bien en quoi se ressemblent, les diverses allures de l'appareil biologique à ses divers moments, avec l'appareil actuel.

Depuis longtemps, les géologues se sont attachés à reconnaître, pour les différentes périodes, des faciès parmi lesquels figure le faciès biogène; et leurs travaux conduisent à la conclusion d'une grande unité entre les différents moments.

Nous nous sommes proposé de rechercher si l'observation peut éclairer le mode de substitution de certains organismes à des organismes antérieurs, dont ils continuent exactement le rôle, dans des localités homologues à tous égards de celles qu'habitaient leurs prédécesseurs. Il nous a semblé que des conséquences auxquelles on n'a pas attaché assez d'importance jusqu'ici, à notre sens, permettent d'esquisser une véritable histoire de la vie, en restreignant considérablement le rôle des hypothèses. La complexité de l'œuvre biologique actuelle étant évidemment en relations de cause à effet avec la prodigieuse variété des formes de végétaux et d'animaux qui composent la faune et la flore, on peut en conclure que tous les *biocosmes* antérieurs ont nécessairement compris les principaux types fonctionnels concourant

aujourd'hui, sous peine de modifier complètement l'équilibre planétaire. Cet équilibre, dépendant de la collaboration d'êtres placés à tous les niveaux de la classification, et l'existence des êtres les plus élevés étant aussi indispensable à la prospérité des êtres les plus élémentaires que ceux-ci le sont à la leur, la question de structure de la première faune et de la première flore se pose sous un jour nouveau. En outre, le naturaliste est conduit à appliquer ses procédés ordinaires d'observation à l'examen des vicissitudes auxquelles chaque forme vivante a été soumise, chaque variété ou chaque espèce, au cours de son existence.

Les conséquences paraissent être dignes d'attention, en révélant une véritable autonomie de chacune de ces formes, une indépendance même qui la délivre de ce lien qu'on aime à supposer tout d'abord entre elle et les autres êtres faisant partie à un moment donné de la même faune et de la même flore.

On verra comment la continuité des manifestations de la source créatrice porte à reconnaître que chaque être constitue, au point de vue purement géologique, un simple détail de toute la masse cosmique dont il fait partie et que, par définition, il doit être en harmonie parfaite avec elle, comme tous les détails de cet ensemble, comme chacun de ces détails eux-mêmes se trouve être en harmonie avec les autres.

En somme, la vie nous apparaît en nous restreignant pour un moment au domaine purement géologique

eten considérant seulement les effets matériels qu'elle produit, comme une entité dynamique parmi les autres forces qui président à l'évolution de la surface de la Terre.

Il paraît superflu de constater que le rôle de la vie est ordinairement tenu par des êtres qui en tuent d'autres et qui meurent eux-mêmes, de sorte qu'on pourrait le qualifier aussi bien de rôle de la mort, si l'observation attentive ne conduisait à nier la réalité de celle-ci. Ceci mérite d'être précisé et il faut avant tout éviter les malentendus qui reposeraient sur de simples jeux de mots. Il est clair que personne ne pense à nier qu'un animal ou qu'un homme puisse mourir ; mais il ne s'agit vraiment là que de la séparation de l'entité dynamique ou animique, du corps dont elle réunissait les diverses parties en un tout. Mais au point de vue où nous sommes placés, le cadavre est au premier chef un foyer de vie ; chacune de ses cellules continue à réagir sur le milieu pour le modifier et chacune d'elles se peuple de micro-organismes qui, chacun pour son compte, et tous ensemble, procèdent à des opérations incessantes. Sans compter la portion du corps mort considéré et qui, devenant la proie d'autres êtres qui s'en nourrissent, pénètre de nouveau dans l'architecture et l'activité des êtres jouissant de la vie proprement dite.

Cette vie proprement dite, qui anime les animaux et les végétaux, est consommée à chaque seconde avec

une ampleur déconcertante. Il n'y a autour de nous que massacres incessamment renouvelés. Quant à l'équilibre de la Terre, les êtres vivants sont créés avant tout pour être tués, ayant pendant leur vie, quelle qu'en soit la durée, procédé à l'élaboration de substances dont la Nature a un besoin incoercible, en même temps qu'à la transformation de forces appelées aussi à la réalisation de phénomènes fondamentaux.

Lorsque Berthelot a étudié la terre végétale, il a conclu en disant que « c'est quelque chose de vivant » ; Pasteur a découvert que l'atmosphère tout entière est le siège d'une véritable « panspermie » ; l'eau de mer se présente comme de la vie liquide. Toute la surface du globe est un réceptacle d'énergie biologique.

Un pas de plus conduit à faire de la masse des êtres vivants considérée dans son ensemble un chapitre de la Géologie générale ; ou, si l'on aime mieux, un rouage dans le mécanisme planétaire. Déjà, on a distingué dans ce mécanisme une série d'appareils strictement définis, dont chacun est dévolu à la réalisation d'une fonction déterminée.

La fonction biologique qui s'est déclarée tard et qui caractérise l'âge auquel la Terre est parvenue actuellement, se comporte à cet égard comme les autres. Au point de vue géologique (dont nous tenons essentiellement à ne pas sortir), la raison d'être du tout constitué par la réunion de la faune et de la

flore, c'est d'assurer la réalisation de certains phénomènes qui, au même titre que les actions plus anciennes et dites minérales, auxquelles cet ensemble est venu se joindre, sont indispensables au maintien de l'équilibre de la Terre.

Le géologue qui s'est pénétré de la nécessité inéluctable de chacune des fonctions telluriques, et par conséquent de l'inévitable harmonie qui doit exister entre ces fonctions, ne peut échapper à la conclusion que le *biocosme* a été créé en vue de son but défini, exactement comme la mer, comme le volcan, comme le glacier l'ont été de leur côté. C'est de ce plan antérieur, qui est celui de l'Univers physique tout entier, que résultent les liens si intimes de chaque être avec le milieu dans lequel il est destiné à vivre, et qui ont été parfois appréciés de si singulière façon.

Notre but, dans les pages qui suivent, est de justifier cette assertion fondamentale, par l'application de la méthode ordinaire des naturalistes, c'est-à-dire par l'observation aussi soustraite que possible aux écarts de l'imagination.

Au Muséum, le 4<sup>r</sup> février 1914.

---



# LA GÉOLOGIE BIOLOGIQUE

---

## CHAPITRE PREMIER

### CARACTÈRE PROPRE DE L'ACTIVITÉ GÉOLOGIQUE DE LA VIE A L'ÉPOQUE ACTUELLE

Un organisme vivant, animal ou végétal, nous apparaît comme une forme spéciale de laboratoire de chimie : ce qui frappe le plus, c'est la transformation subie par la matière alimentaire ingérée. L'exemple classique de l'herbivore qui change les substances végétales en chair animale, constitue le type des appareils de synthèse. Depuis longtemps, la chimie s'est divisée d'elle-même en deux branches, l'une minérale et l'autre organique. On se rappelle comment Gerhardt s'est attaché à faire ressortir les contrastes entre les facultés synthétiques de la nature organique et les seuls travaux d'analyse auxquels la chimie minérale est réduite. « Le chimiste, écrivait-il en 1848, fait tout l'opposé de la nature vivante ; il brûle, détruit, opère une analyse ; la force vitale seule opère par synthèse ; elle reconstitue l'édifice abattu par les forces chimiques. » « La formation des matières organiques, ajoutait-il, dépend de l'action mystérieuse de la force vitale, action opposée, en lutte continuelle avec celles que nous sommes habitués à regarder comme la cause des phénomènes chimiques ordinaires. » En 1849, Berzélius, faisant allusion à la synthèse de l'urée, réalisée en 1828 par

Wöhler, disait : « Dans la nature vivante, les éléments chimiques paraissent obéir à des lois tout autres que dans la nature inorganique. Les résultats imprévus obtenus par Berthelot et ses émules, tout en nous procurant des produits organiques de pure synthèse, n'ont pas supprimé, quoiqu'ils l'aient adoucie, la limite dont il s'agit. »

Un autre motif d'étonnement, devant les organismes à l'œuvre dans cette voie chimique, c'est l'allure tranquille, presque occulte, de leurs procédés pour obtenir des produits auxquels nous ne pouvons parvenir dans nos laboratoires que par des méthodes si énergiques que leur premier effet, si elles se développaient dans les tissus vivants, serait de les détruire.

Voici un morceau de feldspath dont nous nous proposons d'isoler l'alumine, il faudra commencer par une attaque, dont seuls sont capables les acides le plus corrosifs ou les températures le plus élevées. Cependant, la microscopique diatomée, au sein d'un milieu que l'eau dilue extrêmement, désarticule le silicate alumineux, construit avec la silice son élégante frustule et abandonne l'alumine au charriage du liquide ambiant. Opérant dans l'air, d'autres organismes, peut-être de la catégorie des microbes, recouvrent d'immenses territoires granitiques d'une couche, sans cesse épaissie, de *latérite*, c'est-à-dire précisément d'alumine hydratée.

Cet exemple est bien loin d'être isolé et, de tous côtés, nous voyons l'entité dynamique qui anime les êtres vivants, manifester son intervention de la même manière. Il suffira, pour qu'il n'y ait plus le moindre doute à cet égard de rappeler la merveilleuse synthèse des hydrates de carbone par la réaction mutuelle de l'eau et de l'acide carbonique. Grâce à l'énergie que lui communique la radiation du soleil, la matière verte, dite chlorophylle, jouit de la faculté de réaliser cette production et de devenir

ainsi une source abondante d'oxygène, « l'air vital » de Lavoisier.

Et, ce qui complète à notre point de vue particulier la caractéristique de la chimie biologique, c'est que ces produits, véritables matériaux géologiques, atteignent un volume prodigieux. Les mêmes éléments chimiques, indéfiniment repris d'âge en âge, et incorporés dans des associations successives et innombrables, ont fini par prendre à la surface du globe toute la place occupée précédemment par les substances minérales, si bien que les réactions, habituelles avant l'apparition de la vie, y sont devenues pour ainsi dire exceptionnelles. C'est au point qu'on est amené à cette conclusion que, par sa seule collaboration aux phénomènes dont l'ensemble détermine l'évolution de la Terre, la force biologique a radicalement modifié les conditions, jusque-là essentielles, du milieu géologique. Nous aurons à revenir avec détails sur le changement profond que l'explosion de la vie a déterminé dans le régime de la surface terrestre : bornons-nous, pour le moment, à constater que la raison d'une pareille influence d'un ensemble d'appareils qui, à première vue, peuvent sembler insignifiants à côté du volume de la planète, s'explique par une remarque très simple. C'est que l'intervention de la vie détermine l'acquisition par la Terre d'une énergie chaque jour plus importante et qui dérive directement du Soleil. Ce n'est plus seulement une radiation directe de notre astre central qui réalise, comme dans le cas des marées, ou dans celui de la formation des nuages, un travail immédiatement dépensé, c'est une véritable accumulation de puissance, dans des produits matériels qui pourront se conserver très longtemps et qui, le jour où leur équilibre chimique sera modifié, la remettra en activité visible. Le type de ces phénomènes merveilleux nous est fourni par l'action chlorophyllienne

dont nous parlions tout à l'heure, et qui suffirait à elle seule pour faire sentir à quel degré doivent être inexactes les supputations relatives à la vitesse des modifications terrestres et par exemple du refroidissement spontané du globe. Poisson aura beau y avoir mis l'empreinte de son génie, le problème qu'il a essayé de résoudre ne saurait être éclairci par des calculs dont la donnée, privée de la considération biologique, manque d'une partie essentielle.

Le rôle géologique des êtres vivants ne se comprendrait pas en dehors des rapports qu'ils nous laissent saisir, entre leur substance et les énergies dynamiques dont ils sont le foyer. A cet égard, il y a d'extrêmes différences d'un être à un autre et c'est ce que feront comprendre des exemples convenablement choisis.

Un animal supérieur, le castor si l'on veut, se comporte comme un agent géologique, en ce sens qu'il déplace de la matière minérale comme feraient un cours d'eau, une vague, un glacier ou le vent. Il creuse ici, accumule là ; il détourne un ruisseau, en barre le cours et en fait un lac ; dans ses travaux, il est manifestement guidé par un centre dynamique analogue au *moi* humain.

Mais pendant qu'il opère ainsi, ses organes travaillent d'une manière automatique, inconsciente pour l'individu-castor, et il en résulte aussi des travaux géologiques ; par exemple, un dégagement de gaz carbonique fabriqué dans la profondeur physiologique et qui, une fois libéré, agira sur les roches, comme le gaz carbonique d'origine minérale.

En étudiant les choses de plus près, on constate que chacune des cellules dont les organes sont constitués jouit, pendant qu'elle est vivante, d'une activité comparable. On sait même qu'un morceau de tissu séparé de l'animal vivant dont il faisait partie, peut continuer de

vivre plus ou moins longtemps et poursuivre le cours des travaux qu'il accomplissait dans sa place anatomique. La preuve péremptoire qu'il vit, c'est qu'il est capable de mourir. A côté du centre dynamique général, il faut donc admettre des centres dynamiques cellulaires.

Or, le spectacle de la vie cellulaire a porté plus d'un auteur à contester la vie générale. Frappé de la vitalité des tissus, vitalité qu'on peut entretenir un certain temps par des procédés physiques et chimiques, on a parfois émis l'opinion que la vie générale est comme l'intégration de toutes ces activités localisées. C'est cependant un point de vue contredit par des observations fort simples et la différence radicale entre l'être vivant et son cadavre supposé encore en possession de cette vie cellulaire, n'est pas contestable. Ce qui nous frappe c'est que la nature des travaux géologiques réalisés dans les deux cas vient corroborer notre conclusion d'une manière tout à fait précise. On ne sera pas étonné cependant que la séparation rationnelle de ces deux catégories de phénomènes ne soit pas possible, par la raison qu'il existe des régions d'êtres cumulant ces deux qualités : de jouir d'une indépendance personnelle dans le milieu général et de se réduire cependant à une seule cellule. Comme transition, se présentent des agrégats ou colonies d'êtres cellulaires qui se comportent comme s'ils étaient régis dans leur vie multiple par une conscience collective. Tout le monde a admiré ces gigantesques éponges, dites « coupes de Neptune » et qui frappent par la symétrie de leurs formes générales, malgré leur dimension atteignant jusqu'à un mètre de diamètre, et qui sont composées de petits individus distincts les uns des autres, semblant travailler suivant un plan général et dans un but défini.

Il y a lieu de mentionner aussi des cas où l'entité biologique paraît subir, au cours du développement, une

espèce de pulvérisation. D'un œuf pondu par la douve du foie, sort un embryon cilié qui va s'établir dans la coquille d'une lymnée vivante où il se nourrit, puis s'enkyste, pour se convertir en un grand nombre de petits êtres parfaitement distincts les uns des autres, qui, sous la forme de cercaires, s'en vont nager au sein de l'eau pour devenir autant de nouvelles douves.

Il faut reconnaître d'un autre côté, que, par cela seul qu'une substance a fait partie d'un être vivant, elle se trouve souvent dans des conditions telles, vis-à-vis du milieu extérieur, qu'elle y détermine des résultats chimiques qui lui sont propres. Par exemple, l'épaisseur des tests de coquilles est apte, en conséquence de son état antérieur de chose vivante, à déterminer la cristallisation de la silice avec des détails et spécialement une fibrosité qui ne sont pas réalisés par les voies minérales.

Nous ferons aussi une catégorie à part pour des substances qui sont avant tout des contre-coups des activités biologiques et qui se signalent par leur puissance géologique. Nous voulons parler des résidus, sorte de matière morte dérivant d'êtres encore parfaitement vivants, et qui sont appelés à jouer un rôle immense, à cause du siège favorable qu'ils constituent pour une exubérance de vie microbienne dont le spectacle conduirait à nier la réalité de la mort.

Dans tous ces cas, on est ramené à la considération de la cellule comme foyer d'activité chimique, qu'elle soit noyée dans les profondeurs d'un tissu, ou qu'elle jouisse d'une indépendance apparente sous la forme d'être microscopique. Toujours, le mécanisme de son activité tient aux caractères différentiels du protoplasma qui la remplit, vis-à-vis des liquides en circulation dans le milieu général. Il en résulte pour chaque cellule la faculté d'emprunter au mélange banal de tous les éléments con-

fondus, des corps spéciaux qu'elle élabore et qu'elle concentre. Le fait si connu de la nutrition des diverses cellules composant l'alimentation de l'animal supérieur, grâce auquel, plongée dans le liquide interstitiel des éléments anatomiques, une cellule fait du muscle, pendant que sa voisine fait de l'os, ou du nerf, etc., est comme une répétition, à une échelle réduite, de l'allure des mollusques marins qui, de la même eau de mer, tirent les éléments si différents de leurs tissus.

La même faculté nous fera comprendre comment les organismes deviennent si souvent les artisans de véritables masses rocheuses. Les différences que celles-ci pourront offrir réciproquement dépendront du pouvoir d'analyse qui atteint son maximum de netteté chez les êtres vivants capables de concentrer dans leur substance des éléments chimiques particulièrement rares ou spécialement dilués dans le milieu vital. Rappelons la potasse concentrée dans les arbres, l'iode et le bore dans les algues, le zinc dans la violette et le thlaspi, le rubidium dans la betterave, en vertu d'une sélection qui fait d'un végétal un poison, pendant qu'un autre est un aliment, la ciguë et le froment pouvant pousser côte à côte dans la même motte de terre.

**Le calcaire et les organismes.** — A la longue, ce phénomène a pris des proportions telles que l'équilibre chimique de portions entières du globe s'est modifié par l'intervention du genre d'activité qui nous occupe.

Forcé de choisir, nous nous bornerons à quelques exemples particulièrement riches en conséquences géologiques.

L'examen des roches calcaires y révèle si ordinairement des vestiges fossiles, et il arrive même si fréquemment que ces formations soient exclusivement composées de débris

organiques, que l'opinion s'est longtemps accréditée dans le public que la chaux dérive de la vie. S'il faut renoncer à l'idée d'une création de substance calcaire par les êtres vivants, on doit au moins reconnaître qu'ils se sont livrés à des triages d'une extraordinaire énergie. Ils ont en outre employé, pour réaliser les migrations de cette substance, des procédés complètement différents de ceux qui avaient cours sur la Terre avant eux.

L'eau de mer renfermant du carbonate de chaux en dissolution, et même, pour le dire en passant, du carbonate de chaux destiné avant tout à régulariser la proportion, qui doit être constante, de l'acide carbonique dans l'atmosphère<sup>1</sup>, l'idée a paru simple que les mollusques et les autres animaux dont les tests sont plus ou moins calcaires, entretiennent leurs tissus à l'aide de cet aliment tout formé. Paul Fischer<sup>2</sup> a fait des calculs très suggestifs établissant combien de mètres cubes d'eau de mer sont nécessaires pour fournir à la construction d'une coquille d'huître. Mais des expériences et des observations plus précises ont montré que le mécanisme de la production est notablement différent, et le fait a d'autant plus d'intérêt qu'il permet de dénoncer l'idée fausse et anti-naturaliste qu'on s'est faite et qu'on se fait encore de la mécanique animale, en admettant qu'une coquille de mollusque vivant est composée de carbonate de chaux. En réalité, la matière du test renferme de quoi fabriquer de la chaux et de l'acide carbonique, mais à l'état d'éléments associés à une série d'autres matières, comme l'azote, l'hydrogène, le phosphore, le magnésium, etc. Aussi, il est bien probable que les mollusques et les animaux analogues laissent, sans y toucher, la proportion

1. Scloësing. *C. R. Acad. Sc.*, t. XC, p. 1410, 1880.

2. *Manuel de conchyliologie*, p. 15, 1 vol. in-8°. Paris, 1887.

insignifiante de carbonate contenue dans la mer et qui ne saurait résulter d'une réaction qui le libérerait sans le modifier. Comme l'ont montré Murray et Irvine<sup>1</sup> c'est du sulfate de chaux, relativement très abondant dans la mer, que les organismes tirent le calcium qui s'associe ensuite à des éléments fournis par le carbonate d'ammoniaque et par les albumines dont l'eau est largement fournie, pour donner aux cellules du manteau les matières premières de la coquille.

Cette conclusion s'applique non seulement aux mollusques, mais aussi à une longue catégorie d'animaux, et en particulier aux crustacés dont la carapace contient les éléments du calcaire, mais en proportion infiniment plus faible par rapport aux matériaux organiques que celle des mollusques. On a vu nettement des crabes enrichir leur cuirasse chitineuse de calcium dans une eau privée de calcaire, mais contenant du sulfate de chaux. C'est en résumé la répétition des phénomènes qui permettent aux vertébrés de sécréter les os de leur squelette. L'examen de cette question serait très fécond en remarques relatives à la résistance opposée par les premiers observateurs, pour reconnaître que la minéralogie perd à peu près tous ses droits, quand on cherche à la retrouver dans la profondeur des organismes vivants. Les savants qui croient reconnaître dans les lames minces de tissus organiques, tantôt de la calcite, tantôt de l'aragonite, ont fait des confusions inspirées par des idées préconçues.

Sans épuiser la question, remarquons que la réaction dont l'isolement d'un composé calcique est le résultat, peut se produire de différentes façons. Tout d'abord, la fonction chlorophyllienne peut avoir, comme contre-

1. *Proc. roy. Soc. Edimb.*, XVII, 79 et 109. 1890.

coup, la précipitation de carbonate de chaux, et c'est même l'origine d'un certain nombre de tufs ou travertins remarquables avant tout par l'abondance, dans leur substance, d'empreintes ou même de restes d'algues, de mousses ou d'autres plantes analogues. Aux griffons de sources carboniquées froides, se développent, parfois, quantité de végétations plus ou moins variées : les diatomées y jouent généralement un grand rôle. Sous l'influence de la lumière solaire, ces végétaux s'adressent tout naturellement à l'acide carbonique dissous dans l'eau qui les baigne, pour le faire réagir, dans la cellule verte, sur les éléments de l'eau et pour déterminer ainsi la production simultanée des hydrates de carbone et du gaz oxygène qui se dégage. Mais cette soustraction de l'acide carbonique prive du même coup le carbonate de chaux de son dissolvant : le calcaire se dépose donc avec une structure et une cohésion qui, dans chaque cas particulier, dépendent des conditions locales. Dans le canton de Vaud, où les placages d'éboulis à cailloux striés alimentent de si nombreuses incrustations qui s'épanchent autour des amas de travertin, comme du côté des Avants, le rôle actif paraît surtout dévolu aux diatomées.<sup>1</sup> Ailleurs, ce sont plutôt des mousses, et en particulier des *Hypnum*, ainsi qu'on l'observe d'une manière si remarquable à la Burbanche, dans le département de l'Ain. Et sans vouloir généraliser d'une manière prématurée des résultats disséminés, constatons que le caractère botanique des agents de précipitation se traduit souvent par l'état physique du produit. Avec les diatomées, nous voyons une roche cohérente, conservant avec précision le moulage des corps organiques, tels que feuilles et coquilles ; avec les mousses, au contraire, le calcaire

1. Stanislas Meunier. *C. R. Acad. Sc.*, t. CXXIX, p. 659, 1899.

se dépose volontiers en fine poussière, qui semble *travailler* plus tard, c'est-à-dire devenir de plus en plus cristalline et même s'agglomérer en masses continues.

Une variante importante des phénomènes précédents consiste dans la production du calcaire, comme conséquence de la vie normale des plantes en pleine masse aqueuse, et par exemple, dans la profondeur de certains lacs. Tel est le cas des terrasses submergées du lac d'Annecy.

C'est précisément à la délicatesse du mécanisme employé par les plantes dans les réactions chimiques qu'elles impriment aux masses qui les avoisinent, que l'on peut rattacher l'explication de particularités restées longtemps incompréhensibles : depuis quand n'est-on pas surpris de rencontrer au sein de bancs calcaires, des cavités ayant si exactement la forme de coquilles, qu'en les reprenant avec de la cire, on obtient des moulages de spécimens zoologiquement déterminables ? Et a-t-on perdu le souvenir des longues dissertations tendant à démontrer qu'un dissolvant convenable, circulant dans la roche, a pu respecter intégralement la calcite qui la compose, pour dissoudre, sans laisser de traces, l'aragonite qui aurait formé les tests ? A la place de cette supposition à caractère métaphysique, l'observation de certaines vases actuelles, fortement odorantes, et qu'on drague dans les bassins des ports en réparation, donne directement la solution du problème. On y voit les coquilles enfouies, en proie à une âpre dissection, de la part de légions de microbes qui les décomposent de façon à ne laisser dans le lieu qu'elles occupaient qu'une quantité très faible de résidu minéral. Il suffit de supposer que la vase en question, n'ayant pas été dérangée artificiellement, a pu acquérir une compacité et une cohésion qui lui ont permis de conserver ses cavités intérieures, pour

imaginer la reproduction, à notre époque, du phénomène géologique (fig. 1), si problématique encore pour beaucoup de personnes <sup>1</sup>.

**La silice et les organismes.** — On sait qu'un très grand nombre de terrains statifiés sont comme imprégnés de

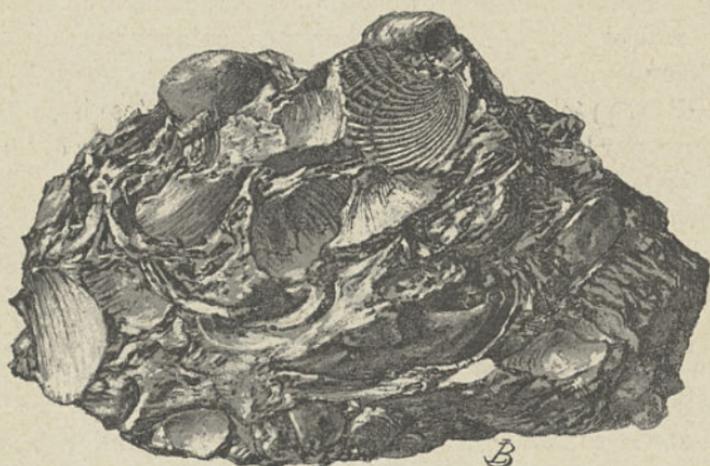


Fig. 1. — Calcaire grossier inférieur d'Arcueil, renfermant d'innombrables empreintes, admirablement conservées, les unes externes, les autres internes, de coquilles de mollusques, dont aucune n'a persisté, ayant été détruites avec la plus grande délicatesse par l'activité microbienne.

silice hydratée, en dissolution évidemment très étendue. Si l'on fait bouillir de la craie pulvérisée dans une lessive très atténuée de soude ou de potasse, le liquide filtré donne par les acides un dépôt gélatineux qui, après calcination, est entièrement formé de silice. Il y a lieu de se demander quelle est l'origine de cette silice libre, dont on sait dès longtemps la curieuse aptitude à se concréter autour de certains centres d'attraction, de façon à en-

1. Stanislas Meunier. *C. R. Acad. Sc.*, t. CLVII, p. 408, août 1913.

gendrer des nodules dont le silex de la craie est le type.

Les propriétés les plus connues de la silice ne sont guère propres à répondre à la question. Si l'on remonte à l'origine, les sources vraisemblables de silice sont le quartz, ou silice pure et cristallisée, et les silicates : tout spécialement les feldspaths. Pratiquement, le cristal de roche est inattaquable aux agents superficiels ; les feldspaths, au contraire, sous l'influence de réactifs minéraux, donnent naissance à des sels alcalins ou alcalino-terreux, en général solubles, et abandonnent un résidu d'argile. Tout le monde connaît à cet égard le travail classique d'Ebelmen et on peut rappeler que la kaolinisation, — cependant bien différente de la production des argiles ordinaires, — se rattache en somme au même ordre de réactions, mais réalisées en profondeur par les corps métallo-gènes et non plus par des agents de l'intempérisme. Mais ces décompositions ne mettent aucune trace de silice en liberté.

Or, les organismes se comportent tout autrement. Certains êtres sécrètent de la silice en abondance. Parmi les animaux, on peut citer les radiolaires, qui sont des protozoaires et les silico-spongiés, qui sont des éponges dont la charpente, au lieu d'être constituée par la matière soyeuse qui fait les éponges de toilette, est composée, sinon de cristal de roche, au moins de silice peu hydratée. Parmi les plantes, on citera surtout les diatomées, algues ordinairement microscopiques, et dans lesquelles on peut voir comme un pendant botanique des radiolaires. En outre, d'innombrables végétaux accumulent de la silice dans leurs tissus : les graminées et en particulier le blé, sont dans ce cas, au point que leurs cendres donnent par fusion, des silicates tout à fait comparables à ceux des roches cristallines. Bien des fois, après l'incendie d'une meule provoqué par la foudre, la rencontre dans les débris

carbonisés, de blocs pierreux et vitrifiés a fait croire à la chute de météorites qu'on était disposé à rendre responsables de l'incendie. Les *Bambusa arundinacea* (Bambou Illy) et *Bambusa verticillata*, employés l'un et l'autre aux constructions en Chine et au Japon, sécrètent dans leurs entre-nœuds des nodules d'opale vulgairement appelés *tabaschir* et dont tous les caractères extérieurs sont ceux des productions d'origine minérale. Le mécanisme de cet isolement de la silice est maintenant bien dévoilé, et c'est par l'étude des êtres microscopiques de la mer que MM. Murray et Irvine <sup>1</sup> ont pu le préciser. Si on se rappelle que l'eau de l'Océan contient de 1/500.000 à 1/200.000 de silice en dissolution, on reconnaîtra que cette proportion est absolument insuffisante pour expliquer la quantité colossale de ce composé qui est renfermé dans les organismes. Il faut donc lui trouver une autre origine. Après avoir constaté qu'on peut cultiver les diatomées dans l'eau additionnée de silice gélatineuse, les naturalistes anglais ont reconnu que l'addition du silicate de chaux est tout aussi efficace, d'où la conclusion que les algues peuvent défaire des combinaisons chimiques et en retirer la silice. En recommençant l'essai avec de l'argile pure et très finement pulvérisée, on provoque la prolifération des algues qui se montrent cette fois aptes à attaquer une substance des plus abondantes dans la nature.

Ces mêmes résultats se reproduisent, aux dépens de silicates faisant partie de massifs rocheux continentaux, et c'est ainsi que dans l'Afrique tropicale comme dans l'Inde, on trouve d'innombrables diatomées dans les terres rouges qui recouvrent les régions granitiques et gneissiques. C'est évidemment la source des frustules de

1. *Expédition du Challenger*, passim.

diatomées que le microscope révèle si ordinairement dans les pluies de poussières rouges, fréquentes en Sicile, par exemple, et qui ne sont que des retours à la surface du sol de particules arrachées par les trombes aux sables du Sahara.

On a vu plus haut comment les tissus vivants se montrent aptes à isoler la silice, sous la forme de coquilles ou de frustules, et parfois aussi de concrétions où l'influence biologique ne se verrait pas du premier coup d'œil. Il faut nous arrêter un moment sur un point singulièrement voisin et qui cependant conduit à des conséquences tout à fait nouvelles. Cette fois, nous allons voir que des tests abandonnés en pleine masse de sédiments, et même ayant subi de ces modifications profondes qui sont si nombreuses et si variées dans l'histoire de la fossilisation, ont manifesté, vis-à-vis de la matière siliceuse, des propriétés très particulières et qu'on ne peut attribuer à nulle autre cause, sinon au sceau de l'origine biologique dont ces tests sont marqués.

Imaginons une coquille devenue calcaire, enfouie dans la craie, calcaire aussi. Des infiltrations siliceuses sont venues baigner également la coquille et ses entours, et elles ont rencontré des causes déterminantes de précipitation dans l'un des milieux comme dans l'autre. La craie s'est laissé remplacer, molécule à molécule, par du silex qui a parfois conservé des témoignages de la structure initiale de la roche et qui fréquemment empâte le test de mollusques, d'Inocérames, par exemple. Souvent, la silicification du test est extrêmement faible et la plus grande partie est restée calcaire. En brisant le rognon de silex à coups de marteau, on voit sur la surface de fracture des coupes diversement orientées de l'animal : il en résulte même quelquefois des dessins bizarres et on ne peut résister au plaisir de rappeler comment le célèbre Père Kircher a réuni toute une série de ces spécimens

dont chacun représente une lettre de l'alphabet<sup>1</sup>. Cependant, si on attaque ces tests à l'acide chlorhydrique, on voit qu'ils n'ont pas échappé à l'action envahissante de la silice, car ils sont remplis de petits noyaux cristallins, insolubles, durs à rayer le verre et qui, progressivement, se réunissent de façon à envahir toute la place occupée par la chaux carbonatée. L'étude microscopique et optique de ces granules leur fait reconnaître, avec la composition de l'acide silicique, une structure toute différente de celle du quartz ou cristal de roche. Leur substance constituante se rapproche pour la structure de ces minéraux fibreux que Munier Chalmas et Michel Lévy ont décrits sous les noms de lutécite, de quartzine et de calcédonite. L'espèce minéralogique paraît cependant en être différente et nous l'avons appelée *zoésite*, pour rappeler la part que la vie semble avoir prise dans la condition de ce milieu générateur<sup>2</sup>. D'après une savante lettre manuscrite datée du 6 janvier 1914 de M. C.-N. Fenner (de l'Institution Carnegie de Washington) il pourrait se faire que la nouvelle substance, contenant peut-être de la silice amorphe, consistât surtout en quartz dont la forme fibreuse lui donnerait des apparences de calcédoine. En tout cas, la vie a eu ici une influence incontestable sur la cristallisation.

Cet incident ne doit pas nous faire oublier que des débris organiques subissent aussi à l'occasion, la silicification ordinaire, et sans nous attarder à des exemples bien connus, nous mentionnerons, pour les animaux, le fait offert par le célèbre *Diplodocus* de M. Carnegie, d'avoir ses os intégralement transformés en silex, avec les cavités médullaires tapissées de géodes d'améthyste<sup>3</sup>.

1. *Mundus subterraneus*, t. II, p. 23. Amsterdam, 1678.

2. *C. R. Acad. Sc.* t. CLII, p. 1877, 1911.

3. Holland. *Memoirs of Carnegie museum*, in-4°, II. Pittsburg, 1904, 1906.

Pour les végétaux, on ne peut mieux faire que de mentionner ces admirables et colossaux spécimens dont nos collections s'enrichissent, aux dépens de la forêt pétrifiée de l'Arizona. Il importe, pour éviter les confusions, de noter les étapes par lesquelles ont passé les substances avant d'acquérir les caractères qui les rendent à présent si remarquables. La notion concernera du même coup toutes les forêts silicifiées et spécialement celle, si connue, des environs du Caire. Il s'agit d'anciennes forêts qui, à la suite d'affaissements lents du sol, semblables à celui qui, à notre époque, a abimé les arbres de Cherbourg sous les flots de la Manche, ont été recouvertes par des séries de sédiments accumulées sur le sol devenu sous-marin. C'est seulement quand l'épaisseur de cette couverture a permis, en conséquence du degré géothermique, l'établissement d'une température suffisante, pour donner à l'eau d'infiltration une grande activité chimique, que la silicification a pris naissance. Et c'est beaucoup plus tard encore qu'un soulèvement général s'étant développé et ayant détruit les effets de l'affaissement précédent, la région, redevenue continentale, a subi l'action érosive de la pluie et s'est épluchée successivement de toutes ses parties superficielles. Dans l'Arizona, comme au Caire, cette décortication en est arrivée aujourd'hui au niveau où gisait la forêt pétrifiée, et celle-ci spécialement résistante, est restée insoluble à la surface du sol dissous, désagrégé et entraîné tout autour d'elle.

**L'alumine et les organismes.** — En réfléchissant aux faits précédents, on arrive à cette conclusion que l'argile ayant livré aux organismes de la silice libre, une certaine quantité d'alumine doit nécessairement s'être isolée de son côté. Or, les études d'Ebelmen n'avaient montré rien de pareil dans la décomposition sub-aérienne des silicates.

L'organisme manifeste donc ici l'aptitude refusée aux réactions chimiques ordinaires. C'est l'explication de la présence de l'alumine dans l'eau de mer filtrée<sup>1</sup>. Cette alumine mélangée aux vases reste à la disposition d'une série de réactions, tantôt organiques et plus souvent minérales.

La mise en liberté de l'alumine est encore plus sensible dans les pays tropicaux où nous venons de mentionner l'abondance des diatomées. Soumise à l'analyse, la terre rouge qui les accompagne se présente comme un mélange de ces deux oxydes isomorphes, la limonite ou oxyde de fer hydraté et la latérite, oxyde d'aluminium hydraté.

La terre rouge elle-même a été décrite sous ce même nom de latérite, imposé par la ressemblance de sa couleur avec celle des briques et des tuiles et elle a d'abord été considérée comme une argile. Sa production se présente pour nous comme un des contrastes les plus frappants entre le mode d'action sur une même roche, de l'intempérisme purement physique, qui produit une argile résiduelle, et celui de la météorologie biologique, c'est-à-dire compliqué par la collaboration de la vie et qui réalise la séparation complète de la silice et de l'alumine, abandonnées chacune à des destinées géologiques distinctes. Un fait semblable justifie à lui seul notre assertion que l'explosion de la vie a apporté des modifications fondamentales dans l'équilibre jusqu'alors réalisé du milieu planétaire.

**Le fer et le manganèse.** — Une forme particulièrement nette de l'action chimique spéciale aux organismes con-

1. Thoulet. *L'océan, ses lois et ses problèmes*, p. 86, 1 vol. in-8°, Paris, 1904.

cerne le régime d'un grand nombre d'êtres marins qui, pour se nourrir, soumettent la vase marine à une sorte d'analyse digestive, reproduisant ainsi l'allure de nos vers de terre relativement au sol exondé. C'est comme s'ils faisaient passer la boue sous-marine au travers de leur corps pour la remettre ensuite en contact avec l'eau de la mer, mais cette fois imprégnée de sucs organiques. D'innombrables réactions se développent alors. Des sulfures métalliques n'ont pas une autre origine et en première ligne ceux de fer et de manganèse. Ces composés rejetés dans l'eau s'y transforment en oxyde grâce au gaz oxygène dissous et alors le fond sous-marin se tapisse en maintes localités d'enduits métalliques. L'une des variétés de ces produits, spécialement digne de mention, est formée de manganite (acérodèse) ou hydrate de manganèse. Sous le nom de *wad*, c'est-à-dire d'ouate, certaines localités en produisent en quantités d'autant plus remarquables que la proportion du manganèse dans la mer est extrêmement faible. Ces concrétions donnent par la chaleur une grande quantité d'eau ammoniacale qui suffirait à révéler leur origine organique. Sur les côtes d'Ecosse, la boue qui recouvre les coquilles et tapisse les trous de vers contient plus de 30/100 de nodules de manganèse. Dans son premier voyage le *Challenger*<sup>1</sup> a recueilli entre les Bermudes et les Açores nombre de concrétions dont beaucoup étaient perforées de trous de vers tapissés d'oxyde de manganèse. Déjà la relation entre ce manganèse et les trous de vers avait conduit Buchanan à croire que le dépôt métallique résulte de l'action biologique.

Sur le plateau de l'île de Kermadec, on recueille des blocs de grès tuffacé avec des trous de serpules enduits de manganèse. Même fait sur la côte du Japon. Buchanan

1. *Voyages du Challenger*, t. I, in-4°, 1873 à 1876, Londres.

constate que le corps des vers trouvés dans les trous ne renfermait pas de manganèse; mais la manganite constituait toujours un amas sous le cadavre des animaux. Ici encore il y a connexion intime entre le manganèse et la vie. Et voilà un type de dépôt métallifère qui, par son origine, tranche absolument avec ceux qui datent des époques préorganiques.

La considération exclusive des forces physico-chimiques proprement dites, a conduit parfois à déclarer que certains cycles de transformations minérales trouvaient leur terme dans un état d'équilibre définitif, toutes les fois que les dissolvants ordinaires demeuraient inactifs. La note biologique est venue bien souvent déjouer ces raisonnements, et parmi les faits de cet ordre, ceux qui concernent l'histoire de la limonite, sont particulièrement frappants. La limonite, ou sesqui-oxyde de fer hydraté  $\text{Fe}^2\text{O}^3, 3\text{H}^2\text{O}$ , représente la condition d'équilibre du fer dans un très grand nombre de réactions aqueuses. Que ce soit la sidérose qui s'altère, ou la marcasite qui s'oxyde, c'est de la limonite qui se produit, « rubéfiant » les roches qui forment le chapeau d'une série de dépôts gris ou verts. Mais tout est changé à cet égard, là où la vie des plantes peut entrer en jeu. Les racines, végétant au travers des argiles ou des sables rubéfiés, y dissolvent la matière colorante qui ne cède dans nos laboratoires qu'aux acides forts, à l'aide de substances aux réactions bénignes. Les composés organiques que Berzélius <sup>1</sup> a découverts dans les sources minérales et qu'en conséquence de ce gisement, il a nommés acides crénique et apocrénique, en s'exhalant lentement des racines, contractent, avec le fer imprégnant le sol, des combinaisons solubles, crénate et apocrénate, qui pénètrent dans la

1. *Poggendorfs Annalen*, XIII, 84.

profondeur à la faveur des eaux d'infiltration. Et, plus ou moins vite, des couches que signalaient leur nuance sanglante, sont rentrées dans la gamme des roches claires, que le fer ne caractérise plus. Il va sans dire que les suintements de sel ferrugineux très dilués ne tardent pas à reconstituer, dans quelque localité favorable, des dépôts de limonite, et l'on peut noter que ceux-ci, entièrement dus à l'activité vivante, atteignent fréquemment des dimensions compatibles avec l'installation d'exploitations industrielles.

Ajoutons que le phénomène de décoloration est bien plus général qu'on ne se l'imaginerait. L'étude microscopique de beaucoup de limons, et spécialement du loess, nous a montré que ces roches, d'ailleurs très peu riches en fer, en sont privées tout à fait dans les points où circulent les radicelles les plus ténues de végétaux variés. Ces limons prennent ainsi, en lames minces, un aspect tigré qu'on retrouve jusque dans les concrétions qui, sous le nom de marnolites, ont pris naissance dans leur sein. Si l'on songe que ces phénomènes ont été continus, depuis l'éclosion de la vie, dans les régions continentales, on ne peut douter qu'ils aient apporté un coefficient aussi important que nouveau dans l'allure générale des choses. En Belgique, le schiste du *mur* des couches de houille contient des racines (*Stigmaria*) et, tandis que le schiste du toit cuit en rouge à cause du fer qu'il renferme, le schiste du mur cuit en blanc. On peut en conclure que le mur représente la terre végétale sur laquelle s'élevaient les forêts de l'époque houillère, dont les arbres avaient, comme ceux d'aujourd'hui, la propriété d'enlever le fer disséminé dans le sol.

**Le soufre.** — Depuis les publications de Bischof<sup>1</sup> on est

1. *Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie*, 163, I, 31, 358.

édifié sur l'action réductrice des substances organiques à l'égard des sulfates. Déjà, les phénomènes observés dans le bassin de certaines mers sont fort éloquents. L'expédition du *Challenger*<sup>1</sup> a fourni à Buchanan, dès 1879, un échantillon provenant de 155 brasses de fond, dans le détroit de Roasey, une boue gris clair effervescente aux acides et répandant l'odeur de l'hydrogène sulfuré. Par lavage, il en sépara des débris coprolithiques et du sable fin, d'une notable quantité de carbonate de chaux en poussière ténue. L'auteur émet l'avis que ce calcaire résulte de l'attaque de la boue par les substances animales qui ont engendré du sulfure de calcium, bientôt carbonaté par le gaz carbonique dissous dans l'eau. M. Buchanan constata même que la boue dont il s'agit a été le siège d'une réaction si intense qu'elle est devenue une espèce de minerai de soufre. En ayant placé 50 grammes préalablement desséchés à 80°, dans une bouteille contenant 236 grammes de sulfure de carbone, il distilla le liquide après 24 heures et en retira plus de 0,30 p. 100 de soufre pur. L'auteur a renouvelé cette découverte avec des résultats variables, dans des localités très diverses.

Comme symétrique, nous pouvons noter ici des faits qui se produisent dans les régions superficielles du sol exondé. Chaque fois que l'on démolit dans Paris des chaussées bétonnées, comme type desquelles nous choisirons la rue de Buffon, on est émerveillé de la couleur bleu céleste que présente la conglomerat artificiel et qui contraste autant que possible avec sa nuance grise originelle. Ceux qui ont la naïveté de recueillir quelque échantillon pour conserver un témoignage du phénomène, sont fort déçus,

1. *Transac. Roy. Soc. Edimburgh*, t. XVIII, p. 47, 1879. V. aussi *Report of British Association*, vol. de 1881, p. 584, York.

après un jour ou deux, de constater la disparition complète de la teinture qui les avait charmés. Il est facile d'expliquer ces apparences successives : Dans les pores de la roche artificielle, se rencontrent des suintements aqueux de sulfate de chaux et de sels ferrugineux en présence de matières telles que les déjections organiques, et la genèse successive du sulfure terreux puis du sulfure de fer en résulte nécessairement. Il faut se résoudre à admettre, malgré l'apparence et conformément au résultat publié par Ebelmen<sup>1</sup> que la matière céruléenne n'est autre chose que du protosulfure de fer. C'est ce même corps qui teint également en un bleu fugace certains points de l'argile plastique d'Arcueil et un lit épais des marnes superposées au gypse entre Romainville et Pantin et ailleurs. Remis au contact de l'air, le corps bleu s'oxyde avec la plus grande rapidité et se résout partiellement en limonite. Nulle roche, plus que les marnes bleues supra-gypseuses, n'est apte à nous procurer des témoignages de cette *rubéfaction*.

A une profondeur un peu plus grande, sous Paris même, on a constaté depuis longtemps des phénomènes de réduction poussés encore plus loin, et à la base desquels il n'est pas possible de contester l'action microbienne. C'est ainsi que déjà Haüy<sup>1</sup> en 1778, lors de la démolition de la porte Saint-Antoine, constatait que d'anciens plâtras étaient tout imprégnés de soufre cristallisé en cristaux mesurables reproduisant les variétés de forme du soufre naturel. Bien plus récemment, les travaux de construction du chemin de fer métropolitain ont procuré à M. Dollo de magnifiques échantillons qu'il a déposés au Muséum national et qui proviennent de 10 mètres de

1. *Ann. des Mines*, 4, VII, I, 1845.

2. *Mém. Acad. Sc.*, 1780, p. 405.

profondeur, sous la place de la République. Ils consistent en plâtras employés à combler le fossé qui limitait Paris à l'époque de Charles V, à l'emplacement actuel du boulevard Saint-Martin. Le sulfate de chaux qui les constituait a été par places réduit chimiquement par les suintements organiques venant de la surface.

On conçoit que les eaux d'infiltration, en présence des réactions que nous venons de résumer, doivent se charger de sulfures et d'autres composés sulfurés : c'est ce qui explique la rencontre, même dans Paris, de sources ayant la composition et les propriétés thérapeutiques des eaux sulfurées calciques. En 1820, on analysa des suintements de ce genre aux environs du pont d'Austerlitz. Les eaux de Belleville, découvertes en 1876, et dont on a vanté les qualités médicinales ; celles qu'on trouva en 1888 à l'amont de l'île Saint-Louis, ont la même origine.

Un paragraphe bien voisin du précédent est nécessaire pour montrer comment l'histoire naturelle du soufre a encore à compter autrement avec les propriétés réductrices des matières organiques. Quand celles-ci peuvent s'attaquer, non plus à du sulfate de chaux, mais à du sulfate de fer, il se fait du sulfure métallique qui, suivant les circonstances, se présente de façons fort différentes. Il y a déjà bien longtemps que deux chimistes distingués, analysant les vases qui se déposent actuellement un peu au-dessous du niveau de la haute mer, à Saint-Malo, y ont trouvé, en association avec du sable fin, de l'argile et du calcaire, deux millièmes et demi de sulfure de fer de fer qui donne au dépôt une couleur bleuâtre. C'est la répétition de ce que nous donnait tantôt le béton bleu de nos chaussées. Seulement, il semble qu'ici nous soyons seulement en face de la première étape d'une formation qui se modifie en se continuant.

Ce composé bleu est donc, selon Ebelmen, du protosul-

ture de fer. Nous allons le voir cristalliser avec le temps et se compliquer beaucoup. Il s'enrichit alors en soufre et passe à l'état de bisulfure reconnaissable, au premier coup d'œil, à son éclat métallique et à sa couleur jaune qui bien souvent l'ont fait passer pour de l'or natif aux yeux des ignorants. Le temps joue manifestement un rôle décisif dans cette transformation. En effet, nous retrouvons le protosulfure de fer, plus ou moins bleu, quelquefois noir, dans beaucoup de formations tout à fait modernes. Chevreul l'a reconnu dans la boue noire accumulée sous le pavé de Paris et dans la vase si mal odorante de la rivière de Bièvre. Il est dissimulé aussi dans les parties fines des tourbières de la Somme, de l'Aisne, de l'Oise, etc., et sa facile oxydabilité à l'air explique comment les combustibles de ces régions deviennent souvent ocreux en se desséchant, c'est-à-dire en s'aérant.

Citons enfin la présence du même composé dans le bois des arbres qui constituent la forêt submergée de Cherbourg. En naviguant par le beau temps au large de cette ville, on aperçoit, couchés sur le fond sous-marin, des troncs d'arbres très nombreux et parfois très volumineux. On en a exposé quelques-uns dans la galerie de Géologie du Muséum, car malgré leur nature botanique, ils fournissent des documents intéressants pour l'histoire de la Terre. Dans les premiers temps qui suivent leur émergence, ils se garnissent souvent de petites efflorescences blanches qu'on pourrait, à première vue, confondre avec des croûtes de sel marin ; mais en y regardant de plus près, on constate que la matière cristalline est formée de sulfate de fer, qui décèle la présence antérieure du sulfure dans les vases de Cherbourg, comme dans celles de Saint-Malo.

Il est intéressant d'ajouter qu'à diverses reprises, on a vu la réduction du sulfate de fer amener la cristalli-

sation, non plus de la marcasite, mais de la pyrite proprement dite qui, avec la même composition, présente cependant des propriétés physiques et chimiques, comme la densité, comme la forme cristalline et comme la résistance à l'oxydation atmosphérique, bien nettement différentes. Il y a une quarantaine d'années, alors qu'on réparait à l'arsenal de Porthmouth, le yacht royal « Osborne », John Percy a trouvé, dans une fissure traversant une des charpentes, un enduit mince de pyrite, jaune d'or, présentant les caractères de symétrie cubique, et résistant aux acides.

C'est encore à des phénomènes physiologiques qu'il faut rattacher la production d'un grand nombre de sources sulfureuses. Avant l'apparition de la vie sur la Terre, il pouvait évidemment sourdre du sol des griffons d'eaux tenant en dissolution du sulfate de soude ou du sulfate de chaux. Les sels ainsi charriés pouvaient aller jusqu'à la mer ou s'accumuler dans quelque lieu propice ; en tout cas, on ne voit pas quelle cause pouvait modifier leur composition. Mais un jour est venu où dans le suintement chargé de sulfate de soude s'est déclarée la présence de certains organismes végétaux de la catégorie des algues. Alors, tout a changé et, simplement pour vivre, c'est-à-dire selon la formule magistrale de Lavoisier, *pour se brûler*, ces êtres ont emprunté l'oxygène qui leur était nécessaire à la substance même du sel dissous, et c'est ainsi que le sulfate est devenu du sulfure, associé à des proportions, variables suivant les cas, de composés diversément oxydés de la série thionique, et même à du soufre libre. Les botanistes, qui ont découvert ces formes vivantes dans la substance visqueuse, jusqu'alors mal définie, qu'on appelait *glairine* ou *barégine*, en ont dressé toute une liste de formes distinctes, maintenant désignées sous le nom de bactéries thiogènes ou sulfobactéries.

Les unes sont incolores comme les Béjotes et les Thio-triches, les autres richement colorées en rouge comme les Chromates, Rhabdochromates, Thiotèces, Thiocystes, etc., les unes et les autres mélangeant à leur protoplasma des globules de soufre libre.

Pendant que tous ces travaux se réalisent dans la portion exondée de la surface terrestre, des phénomènes comparables se renouvellent sans relâche dans le bassin des mers. La vase qui se dépose sur le sol submergé est, pour une notable partie, composée d'organismes vivants. M. Russel a trouvé au large de Naples, à 1.100 mètres de profondeur, 24.000 bactéries par centimètre cube de vase. On ferait la même récolte partout : l'eau renferme de semblables organismes en tous ses points, depuis la surface jusqu'au fond. Quelques-uns sont phosphorescents et ont pu être cultivés sur des cadavres de poissons, de mollusques et de crustacés. Ce n'est qu'exceptionnellement que les bactéries de la mer sont anaérobies et, dans ce cas, elles sont quelquefois sulfurifères. Leur abondance dans les golfes et dans les baies tranquilles, où sont accumulés des débris organiques, s'explique par la présence du sulfate de chaux qu'elles réduisent. Il existe, dans le golfe de Kiel, un dépôt richement pourvu de bactéries thiogènes qu'on appelle le dépôt blanc (*weissen Grund*). Une odeur intense d'hydrogène sulfuré se répand le long des côtes de Danemark, où des monceaux de plantes marines sont soumis à l'active décomposition microbienne.

**Le carbone et la chlorophylle.** — Dans cette énumération des travaux chimiques réalisés par les organismes, il nous faut de nouveau citer la fonction chlorophyllienne, dont l'oubli constituerait une lacune grave. Quoique nous ayons à revenir plus loin sur les roches qui

y puisent leur origine, il importe de rappeler ici quelques détails à son sujet. Avant même d'avoir découvert l'oxygène et dès 1771, Priestley s'aperçut que les feuilles vertes absorbent *l'air fixe* et restituent à une atmosphère viciée par la combustion d'une chandelle, ses qualités respiratoires. On doit ajouter que l'influence de la lumière lui avait échappé. En 1870, Bæyer a émis l'opinion que dans la cellule végétale, et par l'action chlorophyllienne, c'est le plus simple des hydrates de carbone qui prend naissance, c'est-à-dire l'aldéhyde formique  $\text{CH}^2\text{O}$ , avec absorption notable de chaleur. Par polymérisation, autrement dit en s'unissant à lui-même, ce corps donnerait naissance aux sucres.

Cependant, l'observation directe fait voir qu'il se fait un dépôt d'amidon autour des grains de chlorophylle, quoiqu'il paraisse plus simple de penser que l'amidon dérive de certains sucres.

En tout cas, les produits de la fonction chlorophyllienne sont : de l'amidon, des sucres, de la cellulose et des matières azotées ; de telle façon qu'on peut dire que la plante crée de la nourriture et du combustible en absorbant de l'énergie. Par un calcul intéressant, M. Jacques Duclaux<sup>1</sup> arrive à estimer avec une grande exactitude la quantité d'énergie que la chlorophylle retient.

Ajoutons qu'on ignore absolument le rôle de la chlorophylle dans ces merveilleuses productions. Les rayons ultra-violets transforment l'acide carbonique en un mélange d'oxyde de carbone et d'oxygène ; et, d'un autre côté, Berthelot a produit des formiates, en faisant absorber l'oxyde de carbone par des alcalis ; mais passer de ces formiates à l'aldéhyde formique, c'est une transfor-

1. *Chimie de la Matière vivante*, 1 vol. in-16, Paris, F. Alcan, 1910.

mation qui n'a pu être esquissée qu'au moyen de sels d'urane, lesquels manquent évidemment dans l'économie végétale. Il est vrai que d'autres corps capables d'absorber l'oxygène au fur et à mesure de sa production, peuvent exister dans la plante ; mais on ne les connaît pas. Et l'on peut dire que, si le chimiste arrivait à la rigueur à transformer une molécule d'eau et une molécule de gaz carbonique en une molécule d'oxygène et une d'aldéhyde formique, ce serait non seulement au prix de réactions incompatibles avec la vie, mais même par des moyens qui ne paraissent pas avoir jamais été mis en œuvre par la nature minérale.

Remarque sur quelques minéraux actuels d'origine organique des houillères embrasées. — Certaines productions minérales, imputables à l'activité spéciale des substances organiques, présentent cette particularité de n'avoir pu se manifester qu'en conséquence de l'intervention humaine. Si nous n'exploitions pas les combustibles fossiles, les amas de houille et de substances analogues pourraient bien subir de temps en temps à leurs affleurements des combustions lentes et c'est en général par la trouvaille de couches fortement intempérisées qu'on est averti de l'existence des dépôts houillers. Mais une fois les puits foncés et les galeries poussées au travers des couches houillères, l'agent comburant par excellence, l'air, et les causes d'incendie y ont pénétré avec nous. Quand le feu prend dans les parties précieuses par l'abondance du charbon, on l'éteint et le géologue n'a aucune récolte à faire dans ces conditions. Mais fréquemment, l'incendie sévit dans des parties inexploitable, à cause de la minceur des lits de combustible associés à une masse tout à fait prépondérante de schistes sans emploi. Alors on néglige de l'éteindre, et c'est ainsi que sur des

espaces considérables, dans les bassins de Saint-Etienne, d'Aubin, de Commentry, le feu a brûlé sans relâche pendant de très nombreuses années. Quand, après l'extinction spontanée, on peut pénétrer dans les localités ainsi sinistrées, on rencontre une foule de résultats dus à la fois à l'action de la chaleur sur les roches encaissantes et au pouvoir réducteur de la houille en combustion, sur des séries de minéraux. Quoique nous soyons ici un peu en dehors des strictes frontières de l'histoire naturelle, nous avons intérêt à faire quelques remarques dont plusieurs seront fécondes.

Tout d'abord, les masses en ignition ont imité un certain nombre de produits métallurgiques. Quand du carbonate de fer (sphérosidélite des houillères) s'est trouvé en contact avec la houille brûlante, il a nécessairement subi les mêmes réactions que dans nos hauts fourneaux ; il s'est transformé en une variété de fonte qu'on a souvent, bien à tort, décrite sous le nom de fer natif. Là où des phosphates intervenaient, il s'est engendré des phosphures assez analogues à certains minéraux caractéristiques des météorites, et qui, par une oxydation ultérieure, se sont transformés çà et là en cristallisations de vivianite. En divers points, et notamment à Commentry, les schistes soumis au régime incendiaire ont pris d'abord l'état des roches vitrifiées connues sous le nom de thermantides ou porcelanites ; mais en plusieurs occasions, elles se sont transformées davantage. Après s'être liquéfiées par une véritable « fusion aqueuse », puisque la vapeur d'eau sous pression y présidait, ces roches ont arrangé une partie de leurs éléments constituants, sous les formes de minéraux chimiquement définis et parfaitement cristallisés. Deux espèces principales se signalent par la perfection de leur cristallisation : ce sont le pyroxène augite et le feldspath anorthite, les deux éléments les plus caractéristiques

de nombreuses roches volcaniques. Et ce serait outrepasser les limites de notre sujet que de développer les conséquences de ces synthèses, quant à la compréhension du phénomène des volcans.

En somme, la présence de matériaux organiques dans la substance d'un très grand nombre de roches ne peut pas être mise en doute, et c'est à elle qu'il faut attribuer sans hésitation le pouvoir si énergiquement réducteur du milieu géologique.

**Le phosphore.** — La fonction spéciale de distributeurs infatigables d'engrais à la surface de la planète est dévolue aux animaux. Ceux qui traversent sans cesse la masse atmosphérique ou la masse océanique, comme les oiseaux d'un côté, et les poissons de l'autre, procédant constamment au travail de la digestion, déversent les résidus de celle-ci dans le milieu général. La plus grande partie de cette pluie fertilisante en vertu d'une disposition harmonique, passe en général inaperçue, la résistance des fluides à traverser, air ou eau, amenant la pulvérisation des substances et souvent même leur dissolution. Une grande partie de l'influence fertilisante de la pluie dans les régions exondées, représente le résultat du lavage de l'atmosphère par l'eau qui tombe, et la qualité diverse des sols superficiels détermine d'ordinaire une dérivation des eaux nutritives qui quittent rapidement les surfaces dures et dépourvues de végétation, pour aller s'arrêter dans les parties meubles et crevassées où elles entretiennent la vie des plantes.

A chaque pas, on rencontre des localités où se constituent des concentrations de matières résiduelles. Dans la mer, ce peut être en conséquence des courants et on a cité des côtes le long desquelles s'accumulent des déjections de poissons, au point que des réactions phosphatées peu-

vent s'y développer. D'après Buchanan<sup>1</sup> l'existence de la boue sous-marine, qu'il qualifie de coprolithique, est pratiquement universelle le long des rivages. Dans le golfe de Guinée, sur un rayon considérable autour de l'embouchure du Congo, la boue coprolithique (*coprolitic mud*) a une structure granuleuse caractéristique et chaque grain, suivant l'expression de l'auteur, est gros comme une « crotte de souris ».

Dans les régions exondées, une autre cause amène la concentration des déjections animales. A ce point de vue, les îles qui bordent, entre le 2<sup>e</sup> et le 3<sup>e</sup> degré de latitude sud, le littoral occidental de l'Amérique du Sud, au Pérou et au Chili, et avant tout, les Gallapagos, Chinha, Guanape, etc., ont servi pendant des siècles de pied à terre à des légions innombrables d'oiseaux de mer qui viennent s'y reposer après la pêche pour procéder à la digestion des masses de poisson qui remplissent leur estomac. C'est le résidu de ce travail continu qui a reçu des naturels les noms de *guano* ou *huano* et dont les propriétés fertilisantes ont développé une si héroïque exploitation, que les gisements qui semblaient inépuisables ont été, au bout de peu d'années, réduits à bien peu de chose. Les coupes faites dans le prodigieux dépôt y ont montré les résultats de toute une chimie particulière dont Chevreul a pris plaisir à détailler les diverses phases. Une légion de sels à base d'ammoniaque y ont été reconnus et analysés. La tescémachérite, ou carbonate d'ammoniaque ; la phosphamite ou phosphate d'ammoniaque ; la stercosite, ou phosphate double de soude et d'ammoniaque ; la guanapite, ou oxalate d'ammoniaque ; la mascagnine, ou sulfate d'ammoniaque, sont quelques-uns de ces pro-

1. Challenger, *loc. cit.*

duits chimiques, dont la liste pourrait être singulièrement allongée et qui n'existeraient pas sans l'intervention de la force vivante. D'autres substances sont résultées de l'intervention de l'eau de mer mouillant les détritux animaux : la monétite, la bruschite, la rondontite, comptent parmi les mieux définies des espèces ainsi produites. En outre, la circulation des eaux au sein de la masse en a modifié la structure et la composition de manière extrêmement variée.

Enfin, les roches qui supportent ces dépôts ont été fréquemment attaquées, corrodées et profondément transformées. Si ce substratum est calcaire, comme les couches coralliennes recouvertes de guano aux Antilles, il est très ordinairement épigénisé par les sels solubles provenant des déjections et transformé, par exemple, en colophonite, sans altération de sa structure qui peut être coquillière, bréchiforme, oolithique, etc. Si la roche sous-jacente est au contraire de nature silicatée, comme c'est le cas en Guyane, à l'île du Grand-Connétable, il se fait du phosphate d'alumine qui a donné lieu à une exploitation industrielle. Dès 1896, nous avons indiqué dans *Le Naturaliste*<sup>1</sup> la composition de ce phosphate, en en rattachant la production à la fermentation du guano. L'intervention des microbes détermine encore un contraste entre la chimie biologique et les réactions minérales ordinaires. Le phosphate bi-ammoniacal consécutif à des actions microbiennes, attaque les silicates, particulièrement le feldspath orthose, avec élimination de la silice, des alcalis, de la chaux et de la magnésie.

D'autres animaux que les oiseaux de mer, causent des accumulations excrémentielles. Les pigeons, en Espagne, et en Terre-Sainte, auprès de Génésareth, édifient de vastes

1. Livraison du 15 août 1896, n° 227, p. 183.

dépôts de colombine. Les chauves-souris, durant leur long séjour diurne au fond des cavernes, se livrent à une formation semblable. Nous avons étudié une vraie petite colline de ce guano de mammifères, dans la grotte d'Arcy-sur-Cure. On en fait des exploitations en différentes régions. Et dans ce cas aussi, on a observé des réactions sur des roches sous-jacentes comparables à celles que nous citions tout à l'heure. M. Carnot a analysé un produit de ce genre que M. Gautier a qualifié de minervite et qui est un phosphate hydraté d'alumine, d'ammoniaque et de chaux. Cette matière, qui a l'aspect du kaolin, forme dans les grottes de Minerve-en-Fauzan (Hérault) un lit de 50 à 80 centimètres d'épaisseur.

Bien plus récemment, M. Teilhard de Chardin a décrit un phosphate produit dans la grotte de Castillo, près Santander, par la réaction des produits de décomposition de débris osseux paléolithiques (quaternaire ancien) sur un calcaire carbonifère très dur et très massif. M. Pisani l'a analysé.

**L'azote et les organismes.** — Les faits qui mettent en pleine lumière l'autonomie véritable de la chimie biologique concernent, entre autres, un chapitre remarquable par l'importance du détail méconnu de l'économie générale de la Terre, qu'il est venu nous révéler. Il s'agit de l'utilisation directe, par certaines plantes, de la substance, de beaucoup la plus abondante dans l'atmosphère, et qui n'avait manifesté dans les laboratoires qu'une inertie chimique universelle. Cette substance, c'est l'azote, que Lavoisier n'a jamais considérée que comme une espèce de délayant de l'oxygène, destiné à conjurer les effets corrosifs sur les organes respiratoires de l'air vital concentré, à peu près comme l'eau, mêlée au vin, prévient les accidents de l'ébriété. Pour l'incomparable chimiste,

ce gaz est caractérisé « par la propriété de priver de la vie les animaux qui le respirent ; nous l'avons donc, ajouté-t-il, nommé azote, de l' $\alpha$  privatif des Grecs et de ζοο, vie <sup>1</sup> ».

Les progrès de la science ont démontré, cette fois encore, que la Nature n'est point, comme on en a eu le sentiment si souvent, un ensemble imparfait que son Auteur a dû corriger, pour en harmoniser les différentes parties. Si l'oxygène constitue l'atmosphère respiratoire pour les plantes comme pour les animaux, l'azote forme une réserve destinée à satisfaire directement aux besoins alimentaires des végétaux. Ce sera un durable titre de gloire pour Georges Ville <sup>2</sup> que d'avoir montré, par des expériences d'une précision exceptionnelle, que divers végétaux, et spécialement des légumineuses, s'enrichissent en matière azotée, sans que l'azote leur soit fourni par d'autres sources que l'atmosphère. Et le fait, qu'il n'a pas connu dans le phénomène le rôle des microbes, qu'il était réservé à MM. Wilfarth et Hellriegel <sup>3</sup> de mettre en lumière, ne retire rien à la valeur de la découverte primordiale.

Quant à la théorie de cette merveilleuse fixation, les chimistes pensent que l'un des premiers composés azotés formés dans la plante, est l'asparagine, substance qui, d'après Grimaud <sup>4</sup>, entre dans la molécule azotée qui forme le protoplasma de la cellule.

Le phénomène de la fixation botanique de l'azote nous amène à remarquer que la terre végétale, qui résulte

1. Lavoisier. *Traité élémentaire de Chimie*, t. I, p. 55, 3 vol. in-8°, 3<sup>e</sup> édition.

2. *Recherches expérimentales sur la végétation*, C. R. Acad. Sciences, 1853, 1855 etc., Paris, 1801.

3. V. *Annales agronomiques*, t. XII, 521, 1887.

4. V. *la Chimie agricole* de P. P. Deherain, p. 123, vol. in-8°, Paris, 1892.

avant tout du mélange de matériaux organiques avec des débris rocheux, est le siège d'innombrables réactions chimiques, de caractère très spécial. Quand Humphry Davy disait : « Le sol est une espèce de laboratoire dans lequel se prépare une partie des aliments destinés à la végétation », il n'avait pas vu et ne pouvait pas voir que les principaux artisans de cette préparation sont déjà des êtres vivants, et c'est ce que Berthelot a exprimé en ajoutant : « Le sol arable est quelque chose de vivant. » Il est vivant comme la mer est vivante, et comme elle, c'est un réceptacle de vie intense. Non seulement, les racines des plantes pleines de vie, représentent une partie notable de son volume ; non seulement, il est le siège de la vie de plantes souterraines, comme la truffe, et d'animaux souterrains, comme le lombric ; mais il est rempli de micro-organismes, de *microbes*, qui sans relâche réalisent des transformations chimiques et recommencent indéfiniment le *cycle évolutif de l'azote*.

Grâce à leur intervention, les débris végétaux renfermés dans le sol sont consommés et donnent naissance à l'humus : c'est la phase réalisée par des ferments dits humificateurs. Dans les sols aérés, des ferments oxydants déterminent l'éremacausie. Les moisissures vulgaires, telles que des *Mucor*, des *Pezizza*, des *Cladosporium*, des *Botritis*, détruisent la cellulose, grâce à la présence d'une solution nutritive, renfermant les sels qui leur donnent un maximum d'énergie. Des microbes particuliers, ferments nitrificateurs, contribuent au même ordre de phénomènes. Dans les sols humides et marécageux la production de l'humus réclame l'intervention d'organismes anaérobies. Le principal, qui est le ferment de la cellulose, détermine la production du gaz des marais, de l'hydrogène et du gaz carbonique.

Dans une circonstance comme dans l'autre, la gangue

cellulosique et pectique, qui formait l'enveloppe des cellules, est détruite, et alors, la matière albuminoïde est envahie par un nouveau genre de modifications, qualifié de fermentation ammoniacale et suivi de la fermentation nitreuse, puis de la fermentation nitrique.

C'est seulement en 1868 que l'intervention des microbes dans ces phénomènes fut mis en évidence par MM. Schloësing et Müntz, puis par M. Winogradsky <sup>1</sup>.

Mais le travail accompli dans la terre végétale ne s'arrête pas là. On assiste souvent à la destruction de ces nitrates que nous venons de voir se former. En 1882, le ferment dénitrificateur fut signalé par Dehérain et M. Maquenne. C'est un bacille qui réduit les nitrates en dégageant un mélange d'acide carbonique et d'azote. Un microorganisme tout à fait voisin amène dans les mêmes circonstances la production du carbonate de potasse.

Des bacilles d'espèces très variées associés à certaines moisissures, se livrent activement à la production de l'ammoniaque. Des organismes qualifiés de *Nitrosococcus* et *Nitrosomonas*, savent transformer l'ammoniaque en acide nitreux ; et les nitrites que celui-ci engendre sont enfin et rapidement transformés en nitrates par la *Nitrobacteria* (V. la fig. 3, p. 64).

Rappelons à cette occasion que la théorie de la production du salpêtre dans la terre s'appuya d'abord exclusivement sur le phénomène observé par Kuhlmann, qui avait constaté comment en présence de l'air, la mousse de platine détermine la transformation de l'ammoniaque en acide nitrique. Le sol passait pour agir en conséquence de sa porosité. Or on retrouverait ici le correspondant des microbes fixateurs d'azote <sup>2</sup>, mais avec quelques

1. *Annales de l'Institut Pasteur*, IV, 213.

2. D'après MM. Portier et Richard. V. Thoulet, *l'Océan*, p. 92.

variantes. M. Brandt s'est assuré que certaines bactéries très fréquentes, s'emparent de l'azote engagé dans des combinaisons variées telles que des nitrites et l'ammoniaque, pour le dissoudre dans l'eau, après l'avoir mis en liberté. On est allé jusqu'à attribuer à ces bactéries dénitrifiantes, le rôle d'agents de purification de la mer, dont ils diminueraient la matière azotée. L'élévation de la température augmentant l'énergie de cette réaction, elle pourrait être la cause de la pénurie relative en plankton des mers équatoriales, comparées aux régions polaires.

**L'écume de la mer et l'albumine.** — La question de l'albumine contenue dans l'eau de la mer a des conséquences très importantes auxquelles nous avons déjà fait allusion, car il n'est pas douteux que les matières albuminoïdes, en donnant au flot une certaine viscosité, ne contribuent à la production de l'écume, et celle-ci, qui dérive de la présence de nombreuses excréments des animaux et des plantes, constitue un caractère différentiel de haute valeur, de la mer des époques biologiques comparée à celle des temps antérieurs.

Une dernière remarque est nécessaire. Tout à l'heure à propos des régions exondées, nous insistions sur le rôle des microbes fixateurs d'azote qui habitent le sol. L'azote engagé d'abord dans les produits végétaux, passe dans l'économie animale, puis figure en grande abondance dans les résidus et se mêle à tous les éléments du sol, sous les formes principales de nitrates et d'ammoniaque. Or, il faut remarquer que les nitrates entraînés par les eaux, et parvenant dans la mer, y rencontrent des êtres vivants qui les convertissent en ammoniaque. L'ammoniaque de la mer est d'ailleurs en partie dégagée dans l'atmosphère et, marchant pour ainsi dire à la rencontre des êtres orga-

nisés terrestres, elle contribue à leur nutrition, repasse à l'état de nitrate et recommence indéfiniment la même circulation. C'est en 1855 que Marchand a signalé la présence de l'ammoniaque dans la mer où Boussingault l'a dosée. Cette base est à l'état de carbonate, sel qui donne à l'eau de mer une réaction franchement alcaline reconnaissable aux réactifs colorés, comme le tournesol.

D'après les résultats de M. Schuessing, l'eau de mer contient par litre 2 à 3 dixièmes de milligramme d'acide azotique et 4 à 5 dixièmes de milligramme d'ammoniaque : c'est donc bien l'opposé de ce que donnent les eaux continentales, où la proportion d'azote nitrique dépasse celle de l'azote ammoniacal. La décomposition des êtres organisés, qui est une active cause de production de nitre sur les continents, détermine dans la mer le dégagement de l'ammoniaque. On a quelquefois résumé cette conclusion en disant que les nitrates des continents sont convertis en ammoniaque par les êtres marins. A propos de quoi, le professeur Thoulet a écrit : « A la surface d'un monde sans soleil et sans vie, l'équilibre s'établirait bientôt entre les quantités d'ammoniaque contenues dans l'eau des mers, dans l'atmosphère ou dans les sols : la vie seule détruit l'équilibre et transforme cette immobilité en un cycle de mouvement. »<sup>1</sup>

L'albumine étant comme tous les corps albuminoïdes, c'est-à-dire d'après les recherches fondamentales de Schutzenberger, une matière qu'on peut défaire en ammoniaque, acide carbonique, acide oxalique et résidu fixe constituant la leucine de l'auteur<sup>2</sup>, sa décomposition donne aisément du carbonate d'ammoniaque et l'on peut croire que les organismes inférieurs et spécialement les

1. *L'Océanographie* (statique), 278, 1890.

2. *C. R. Acad. Sciences*. LXXXI, 1108, 1875.

bactéries, interviennent de la manière la plus active dans la production des phénomènes qui lui sont imputables.

Pour le bien comprendre, il est nécessaire de préciser quelques faits concernant la matière organique de la mer. D'abord, d'après M. Thoulet<sup>1</sup>, on constate, à la suite de nombreux dosages au permanganate de potasse, qu'une substance grasse existant partout est cependant plus abondante à la surface qu'en profondeur. Sa faible densité l'entraîne vers l'atmosphère où elle doit se détruire en partie par oxydation. L'alcalinité de la mer la saponifiant, l'eau peut en être comparée à la lessive faible d'un savon animal et, dès lors, l'agitation y produirait de la mousse comme dans toutes les eaux de savon. L'écume est un agent efficace d'épuration des eaux marines, car la mince couche qu'elle constitue sur les vagues y provoque une oxydation intense, c'est-à-dire une combustion ; donc, une destruction de la matière organique résiduelle. S'il est vrai que le milieu où se développe la vie tend à se vicier par le fait seul de celle-ci qui y accumule ses résidus quand le renouvellement n'est pas assez rapide, il est tout aussi remarquable que dans des circonstances favorables, la vie développe des conditions dont elle doit profiter. En face de la persistance de l'air respirable, là où cohabitent des animaux et des plantes vertes, l'histoire de l'écume nous montre la vie assainissant un milieu vicié par la vie. En effet, dans les régions où les eaux marines restent stagnantes, comme dans bien des localités tropicales basses, à l'embouchure de certains fleuves, elles se corrompent et donnent des miasmes pernicioeux. Au contraire, par l'agitation, et grâce à leur faculté d'écumer, elles brûlent toutes les matières malfaisantes qu'elles contenaient.

1. *L'Océan*, p. 88.

## CHAPITRE II

### LES GISEMENTS ACTUELS DE LA VIE

Après avoir constaté, comme nous venons de le faire, la dimension et le caractère spécial de l'intervention biologique dans la chimie planétaire, nous devons examiner maintenant le gisement de la force dont nous analysons les effets. Contrairement à ce que réserve l'étude des principaux organes de la Terre, tels que le glacier, le volcan, l'océan, etc., ce qui nous frappe relativement à l'énergie vitale, c'est son exceptionnelle diffusion. A l'époque actuelle, on retrouve des êtres vivants dans des conditions les plus variées ; et de toutes parts, maints produits géologiques de toutes les époques sédimentaires ont conservé des témoignages du rôle assumé par la collaboration organique, dans leur élaboration.

Cette circonstance a même été l'origine de singulières erreurs où sont tombés les plus grands esprits, ne répugnant pas à voir les animaux et les végétaux créer même des corps simples, calcium, aluminium, silicium et autres : c'est en particulier l'avis du grand Lamarck, qui laisse percer dans un passage de son *Hydrogéologie*<sup>1</sup> la

1. A la page 111, on lit : « De même que le carbone est formé par l'acte immédiat de la végétation, de même aussi, les éléments de l'alumine, de la potasse, de toutes les argiles, du fer (selon les intéressantes observations de Faujas), etc., etc., sont uniquement produits par cet acte qui en fait exister partout où il y a eu des végétaux ». 1 vol. in-8°, Paris, an X.

crainte d'être frustré aux yeux de la postérité de ce qu'il regarde comme une grande découverte.

Laissant de côté ces rêveries, nous nous proposons de faire le recensement des régions où la vie se manifeste sous nos yeux avec le maximum de ses caractères, puis de rechercher dans les entrailles du sol, où Buffon voyait, avec tant d'exactitude comme les archives de la Nature, des manifestations comparables, pour les temps qui nous ont précédé.

En abordant ainsi l'examen du gisement de la vie et en nous bornant d'abord à ce qui concerne l'époque actuelle, la première remarque à faire, c'est l'existence de trois milieux biologiques qui, malgré le caractère particulier fortement accentué de chacun d'eux, présentent de l'un aux autres des analogies remarquables et une véritable symétrie.

Le premier peut être appelé *hydrosphère*, car il consiste dans la masse des eaux océaniques et douces, superficielles et infiltrées dans les zones du globe dont la température est compatible avec la vie. Le deuxième, c'est l'*atmosphère*, qualifiée si souvent d'océan aérien et qui, à notre point de vue, se prête aux mêmes genres de descriptions que la mer. Le dernier est plus difficile à voir tout d'abord ; mais il a une existence aussi réelle que les deux autres et son étude se prêtera aux mêmes classifications que la leur : c'est la *zoésphère*, consistant dans l'ensemble qu'on peut concevoir, malgré l'éparpillement de ses supports, de tous les êtres vivants considérés comme milieu habité par des infinités d'organismes, séparés les uns des autres sous les noms bien connus de parasites, de symbiotes et de commensaux. Non seulement on verra que cette zoésphère a des analogies incontestables avec le milieu océanique et avec le milieu atmosphérique ; mais encore on constatera qu'elle leur est si intimement

unie que des êtres qu'elle abrite interrompent le séjour qu'ils y font, par des excursions dans les deux autres ; exactement comme des séries d'êtres marins ou d'êtres-aériens passent une partie de leur évolution normale, les premiers dans l'air et les autres dans l'eau.

**L'hydrosphère.** — L'hydrosphère comprend avant tout l'océan qui recouvre les trois quarts de la surface terrestre. Il faut considérer aussi les lacs et tous les cours d'eau, avec leurs différents degrés de fleuves et de rivières, de ruisseaux et de ruissellements temporaires, sans oublier les infiltrations que le sol renferme dans les régions superficielles, dans les cavernes, dans les fissures et jusque dans les pores des roches. On va voir que tous ces genres de localités peuvent être des réceptacles de vie ; et que, dans chacune d'elles, des êtres vivants, pourvus de facultés spéciales, y collaborent à l'œuvre géologique.

Il importe de constater que, malgré la connexion de ces différentes formes du milieu aqueux, les êtres vivants y ont des caractères qui permettent de reconnaître dans laquelle chacun d'eux a vécu. Comparez des coquilles pêchées, les unes dans la mer, les autres dans un lac aussi volumineux que vous voudrez, et vous reconnaîtrez entre les unes et les autres comme un contraste de physiologie, qui permet d'apprécier le *facies*, suivant l'expression adoptée, qui rattache chaque genre de localité géologique aux matériaux dont il est formé. C'est un point sur lequel il y a d'autant plus lieu d'insister ici, que notre but étant de comparer, dans un chapitre ultérieur, le passé au présent, nous aurons grandement à profiter de la persistance des faciès au travers des âges. Nous verrons même qu'à côté de ces divisions dominantes, qui distinguent le faciès marin du faciès lacustre, les

êtres trahiront par des particularités de leur allure, les régions spéciales de la mer ou du lac, où ils auront vécu : selon qu'ils viendront de leurs parties marginales, de leur surface, ou de leurs grands fonds, ils présenteront certains détails reconnaissables. Aussi, nous ne craignons pas d'allonger la liste des faciès possibles, par exemple pour le cas qui se présente à l'embouchure des fleuves, ou dans les emprises de la mer où des mélanges des deux liquides, doux et salé, se sont opérés. D'un autre côté, il sera légitime d'ajouter le faciès pluvial, le faciès cavernicole, etc., dont chacun fait preuve d'une existence réelle.

Laissant de côté pour le moment les conséquences possibles de nos études, nous allons passer en revue d'une manière très rapide ce qui concerne la distribution biologique dans les milieux aqueux, en commençant par l'océan.

La multitude que nourrit la mer est divisée avec une grande précision d'après les qualités de chacune des régions naturelles du bassin aqueux. Tout d'abord, nous y distinguerons ainsi : le *plankton*, le *necton* et le *benthon*.

Par *plankton* (du grec flotter) on entend toute la série des êtres organisés qui font corps avec la mer, étant incapables de lutter contre les mouvements de celle-ci et se bornant à flotter, d'une manière presque passive, dans la masse aqueuse. Les animaux ou les végétaux qui associent une extrême petitesse avec le caractère de n'être pas fixés, nous donnent bien l'idée de ce que sont les éléments du *plankton*. Mais nous devons les examiner d'un peu plus près, étant donné notre programme, qui est avant tout géologique. Le but principal des observations dans cette direction est de nous procurer des éléments de reconnaissance, à l'endroit des vestiges de *planktons* fossiles qui pourraient subsister dans les entrailles du sol.

Or, il va de soi que les êtres planktoniques, supposés parvenus à la limite de leur existence normale, doivent tomber sur le fond submergé, et, quand les circonstances s'y prêtent, y subir les mêmes modifications que les êtres benthoniques auxquels ils sont mélangés. Il faut donc rechercher quelque caractère qui, malgré les modifications du gisement, permettra de retrouver l'origine de ces débris avec certitude.

On peut y distinguer une portion superficielle et une portion profonde, souvent désignée sous le nom de bathyplankton. Le plankton de surface donne à l'eau de mer une viscosité que tout le monde a observée et qui tient au nombre immense de tous petits organismes, que souvent le microscope peut seul y découvrir. En certains cas, on croirait que les flots sont entièrement vivants, comme lors du phénomène connu sous le nom de mer de lait. L'apparence spéciale d'où vient ce nom et la luminosité qui l'accompagne, tiennent exclusivement à la présence de micro-organismes de la catégorie des protozoaires et dont, par exemple, le vaisseau allemand *National* a traversé un banc qui mesurait plus de 260 kilomètres de longueur.

Les êtres constitutifs du plankton sont aussi variés en espèces que nombreux en individus. On y voit côte à côte des foraminifères, des radiolaires, des diatomées, des méduses, des cténophores et des siphonophores (les vellèles bleues font parfois à elles seules des bancs de centaines de kilomètres), des mollusques de classes diverses, et spécialement des ptéropodes, comme les hyales, les limacines, les *Cleodora* ; des tuniciers, comme les salpes ; enfin, les larves et même les œufs des animaux les plus divers, pouvant représenter un volume considérable dans les flots.

Suivant les localités, la masse vivante est plus ou moins

dense. C'est dans les régions polaires que se voit le maximum à cet égard, et il explique la quantité énorme des poissons dans ces régions. Plus au sud, le plankton va rapidement en diminuant et on cite une portion du littoral occidental de l'Amérique du Sud qui, sur une étendue gigantesque, constitue véritablement un désert planktonique. Les oiseaux y manquent presque totalement, ce qui vient de ce que les poissons s'abstiennent de fréquenter une localité où l'alimentation leur serait impossible ; et l'on regarde les nombreuses dents de requin que la drague a rapportées au jour, comme des témoignages de la mort, par inanition, de requins imprudents, qui n'avaient pas su s'échapper de ces régions déshéritées.

Dans le milieu des grands océans, le plankton acquiert des caractères tout spéciaux par la présence des sargasses, algues flottantes et vraisemblablement arrachées à des côtes plus ou moins distantes, qui viennent s'accumuler dans la zone centrale, presque stagnante, étant encadrée par les courants réguliers de la mer. C'est la mer de sargasses de l'Océan atlantique, qui fit jadis si grand'peur par son immobilité, aux compagnons de Christophe Colomb. L'inextricable lacis des plantes flottantes renferme des formes innombrables d'animaux.

Quant au bathyplankton, il est beaucoup moins connu, étant de récolte plus difficile. Il est remarquable par la nuance foncée de bien des animaux qui le composent, et comprend des vers, des crustacés (copépodes et autres); mais il paraît complètement dépourvu de l'élément végétal. Il se soude d'une manière presque inséparable, avec le groupe d'êtres que nous mentionnerons sous le nom de benthon vagile.

Le *necton* tire son nom du mot grec qui veut dire nager. Il comprend tous les êtres doués d'une énergie personnelle suffisante pour lutter contre les mouvements généraux

de la mer, remonter les courants, plonger ou revenir vers la surface, à volonté. Il faut y distinguer, comme pour le plankton, un groupe de grande profondeur, nettement séparé du groupe de surface.

Ce dernier est relatif avant tout à l'innombrable série des poissons, dont certaines espèces se livrent à des migrations périodiques, qui, tout en affirmant leur allure automobile, prennent la dimension de phénomènes sociaux : on sait que du passage des sardines dépendent la prospérité ou la détresse de certains ports. On connaît l'affluence des morues, dans les bonnes années, autour du banc de Terre-Neuve, où les amènent à la fois la concentration du plankton et la multiplicité des êtres qui succombent au conflit du courant d'eau chaude venant du golfe du Mexique et du courant froid de retour, parti du Groënland.

Beaucoup d'animaux du necton sont dignes d'être cités au même titre que les poissons. Nous nous bornerons à mentionner les cétacés, dauphins, marsouins, cachalots et baleines, ces dernières, les plus colossaux des animaux actuellement vivants, pouvant mesurer plus de 30 mètres et peser plus de 200 tonnes (autant qu'une armée de trois mille hommes).

Quant au necton de profondeur ou bathynecton, il est devenu célèbre, depuis les explorations abyssales, et par ses crustacés décapodes, rouge écarlate comme des homards cuits, et par ses poissons de couleur sombre, parfois phosphorescents, et dont plusieurs ont des formes étranges et sans analogue dans la faune de surface : tels sont *Macrurus*, *Malacosteus*, *Euripharynx*.

Le *benthon*, dont le nom vient du mot grec qui veut dire profondeur, est relatif aux êtres vivants en contact immédiat avec le fond de la mer, même dans le cas où ce fond est tout à fait voisin de la surface. On y distingue deux

catégories d'animaux : les uns qui sont fixés à demeure au contact du sol submergé, les autres qui peuvent se déplacer soit en rampant, soit en marchant, soit en pénétrant dans la vase. De là, la distinction du benthon sessile et du benthon vagile. Il y a lieu évidemment de faire ici, comme précédemment, une différence d'après la plus ou moins grande distance de la surface marine ; et nous avons ainsi la notion d'un bathybenthon, c'est-à-dire d'êtres qu'on est parvenu à arracher de la surface sous-marine, située à des centaines et à des milliers de mètres de profondeur.

A cet égard, le fait le plus remarquable concerne les échinodermes fixés, de la catégorie des encrines, qui frappent tout d'abord par leur intime ressemblance avec des fossiles de tous les âges et dont, récemment encore, on croyait le type abrogé. Guettard <sup>1</sup> avait bien, à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle, décrit sous le nom de « palmier marin » un de ces animaux ; mais l'origine en était restée singulièrement douteuse.

D'une façon générale, le benthon sessile comprend des animaux et des végétaux. Parmi les animaux, nous rappellerons, outre les huîtres et les moules, agglomérées en bancs, des crustacés comme les balanes et les anatifes (pouce-pieds), dont les coquilles recouvrent des étendues de rochers ; les serpules parmi les vers ; et surtout les polypiers qui édifient des récifs, des îles, des parties de continents. Beaucoup de plantes seraient à citer ici, et avant tout les algues innombrables que découvre la marée basse et celles qui, habitant des régions plus profondes, constituent de véritables prairies, — pâturages des laman-tins. Là, des laminaires peuvent atteindre 5 mètres de longueur. Les *Lessonia* font de vraies forêts d'arbres,

1. *Mémoires de l'Académie royale des Sciences*, in-4<sup>o</sup>, Paris, 1756.

au moins pour l'apparence de leurs troncs et de leurs branches, de 2 mètres 50 de hauteur ; et les *Macrocystis* étendent leurs ramifications jusqu'à des longueurs de 200 à 500 mètres. Il y a enfin à mentionner la série des algues incrustantes ou calcaires, nullipores, melobésies, *Lithothamnium* et corallines, qui prennent parfois l'apparence d'incrustations minérales.

Le benthon vagile nous offre tout d'abord des crustacés, comme les crabes, les Bernard-l'hermite, les homards, qui déambulent sous les eaux ; beaucoup de mollusques qui rampent, comme les oscabrions, et d'innombrables gastropodes (buccins, natices, cyprées, etc.) ou pelecypodes (nucules, arches, cardium) des vers, comme les aphrodites et les eunices, des échinodermes, comme la comatule, les holothuries, dont la famille a des représentants dans les abîmes les plus profonds, comme les singuliers *Psychroptes* et *Oneirophanta*, dont le nom signifie « vision de rêve » et dont la station est de 4.000 à 5.000 mètres de profondeur, et le *Næra*, qui a été pêché à plus de 5.000 mètres ; même certains poissons, comme des pleuronectes qui retombent sur le sable après l'avoir quitté de quelques décimètres au plus, et l'hippocampe, qui, au moyen de sa queue prenante, se perche sur les rameaux d'algues et de madrépores. Enfin, nous distinguerons dans le benthon vagile, les animaux fouisseurs, comme les vers (arénicoles), les mollusques lithophages, comme les pholades, les oursins, qui se ménagent des logettes dans les roches même les plus dures, comme le *Strongylocentrotus lividus*, et enfin, ces élégantes éponges sili-ceuses, euplectelles, *Hyalonema*, *Pheronema*, enfouies dans les vases de 900 à 2.400 mètres de profondeur.

On pourrait résumer les points essentiels des descriptions précédentes, en disant qu'aux diverses profondeurs marines, correspondent des formes différentes d'êtres

vivants. Dans une mer suffisamment profonde, chacune des régions superposées est représentée par une faune et une flore particulières.

Cependant il ne faut pas chercher en cette matière de classification précise ; les limites sont nécessairement très estompées et les faunes varient d'une localité à l'autre. Néanmoins, il persiste une allure générale que beaucoup d'auteurs ont cherché à décrire et qui a été réduite en une espèce de tableau schématique par Pourtalès.

En partant du rivage même de la mer, pour parvenir à ses régions les plus profondes, entre 8 et 9.000 mètres évaluation qui n'a rien d'exagéré, on divise la série des dépôts biologiques retenus par le fond sous-marin en trois zones parallèles auxquelles ont été appliqués les trois noms de zone côtière ou littorale, de zone thalassique ou moyenne, de zone pélagique ou profonde. Et sans faire intervenir cette fois la qualité planktonique, nec-tonique, ou benthonique, des êtres considérés, on se borne à caractériser chaque type de dépôt, accumulé au fond de la mer.

La zone côtière comprend d'abord une bande tout à fait littorale, soumise au jeu des marées, caractérisée par des dépôts riches en millioles, et qui peut atteindre des points situés à 30 mètres de profondeur. Au niveau de la basse mer, commence la bande à laminaires, dans laquelle vivent surtout des mollusques herbivores, comme les *Lacuna* et les *Rissoa*. Enfin, et pouvant se prolonger jusqu'à 90 mètres, vient la bande à corallines, où vivent des mollusques carnivores, buccins, fuseaux, natices, aux dépens de massifs plus ou moins considérables de madréporaires.

La zone thalassique ou moyenne, à *Marginula* et à *Cristellaria* descendrait jusqu'à 1.200 mètres : c'est la bande des boues grises et bleues des océanographes.

On y rencontre les débris innombrables d'un benthon vagile et d'un benthon sessile extrêmement variés. C'est aussi la grande région de pêche où fréquentent la morue, la merluche, le turbot, la plie et la sole. Et, pour le dire en passant, on voit qu'il fut peut-être hasardeux d'expliquer la forme aplatie de ces derniers comme le fait Lamarck<sup>1</sup>, par le peu de profondeur de l'eau. Bien plus près du rivage nagent d'innombrables poissons qui n'ont pas pensé à se laminer.

Puis viennent les dépôts d'eau profonde dits pélagiques et tout d'abord la bande à ptéropodes, ainsi nommée parce qu'on y rencontre, dans l'Atlantique et le Pacifique, mais non dans la mer des Indes, d'innombrables coquilles d'hyales et de carinaires. Puis se présente de 2.300 à 2.600 mètres, une vase d'une nuance jaunepaille claire qui, une fois desséchée, ressemble à de

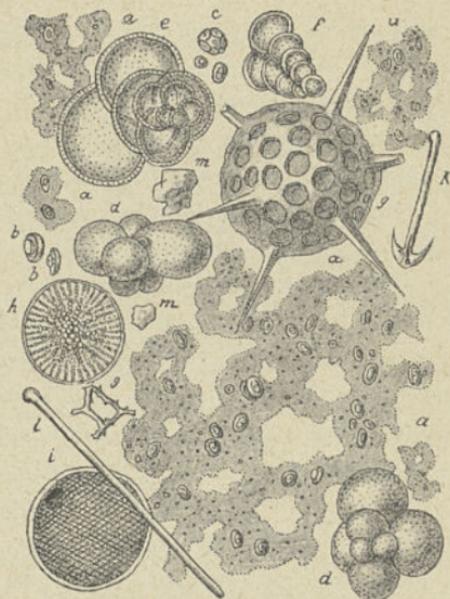


Fig. 2. — Boue des mers profondes sous un grossissement de 450 fois.

*a*, *Bathybius* avec *Coccolithes*; *b*, *Discolithes* isolés et *Cyatholithus*; *c*, *Coccosphères*; *d*, *Globigérine*; *e*, une *Globigérine* brisée; *f*, *Textularia*; *g* et *g'*, *Radiolaires*; *h* et *i*, *Diatomées*; *k* et *l*, *Spicules* siliceux d'*Éponges*; *m*, fragment de nature minérale. — D'après Zittel.

1. *Philosophie zoologique*, I, p. 251, 2 vol. in-8°, Paris, 1809.

la farine siliceuse et qui renferme 25 p. 100 seulement de calcaire. On la connaît sous le nom de vase à diatomées. Avec les frustules de ces algues, on trouve des spicules d'éponges. D'après les naturalistes du *Challenger*, cette sorte de dépôt occupe de 27 à 28 millions de kilomètres carrés, soit 7 à 8 centièmes de la surface entière des océans. A la suite de ce dépôt, viennent les vases ou les boues à globigérines, riches comme le nom l'indique en tests de foraminifères (fig. 2). Cette formation, qui manque dans les bassins sous-marins fermés, est caractéristique du lit de l'Atlantique. On peut la recueillir déjà à 450 mètres de profondeur ; mais elle s'étend jusqu'à près de 6 000 mètres et nous devons la signaler tout de suite comme nous réservant de grands motifs d'intérêt, lorsque nous procéderons à des comparaisons entre les dépôts des anciennes mers et les dépôts actuels. Les foraminifères qui y sont associés sont extrêmement nombreux. Nous citerons spécialement les *Globigerina bulloïdes*, *G. equilateralis*, *G. sacculifera*, *G. dubia*, *G. rubra*, *G. conglobata*, *G. inflata*, *Orbulina universa*, *Pulvinulina Menardi*, *P. Canariensis*, *P. Micheliana*, *P. tumida*, *Pullenia obliquiloculata*, etc. Dans le gulf-stream, d'après Pourtalès, la vase est faite de parties égales de globigérines et de sables glauconieux de couleur foncée. Enfin, les régions les plus profondes des océans sont revêtues d'une vase à radiolaires, alternant parfois avec les vases à globigérines ; mais surtout développée dans l'océan Pacifique, rare dans l'Atlantique et manquant totalement dans l'Océan Indien. Elle est caractérisée avant tout, malgré la variation de sa couleur, grise, bleue ou rouge, par la présence de plus de 2.000 espèces de carapaces siliceuses microscopiques, admirables de délicatesse et de symétrie et qui résistent à l'action des réactifs les plus énergiques. Max Schultze a calculé qu'au môle de Gaete,

un gramme de sable marin contient 50.000 tests de radio-laires. Alcide d'Orbigny en a compté 128.000. Citons parmi les formes les plus remarquables les *Dorataspis*, *Lychnocanium*, *Petalospyris*, etc.

**L'hydrosphère lacustre.** — Les lacs ont été l'objet d'études très nombreuses et la distribution des animaux qu'ils nourrissent s'est prêtée à la division en plankton, necton et benthon, constituant le faciès lacustre.

Le plankton du Léman et de lacs analogues comprend d'abord des algues flottantes, comme *Clathrocystis rubiginosa*, de la famille des cyanophycées. En bien des points du littoral, se rencontrent des lentilles d'eau : *Lemna trisulcata*, *L. minor*, *L. gibba*, *L. polyrhiza*.

C'est à l'occasion de ces végétaux qu'il y a lieu, en vue d'observations géologiques ultérieures, de signaler le phénomène connu sous le nom de floraison des lacs. Il consiste dans des taches colorées formées par l'accumulation d'organismes végétaux où les *Clathrocystis*, déjà cités, sont associés à des *Gloëotrichia*, des *Oscillatoria*, des *Anabaëna*. Ce phénomène, fréquent sur les lacs du Nord, en Suède, en Finlande, en Prusse et dans le centre de l'Europe, se développe aussi sur le Léman et d'après Schnetzer<sup>1</sup>, l'accumulation botanique renferme, en face de Vevey beaucoup de protozoaires, tels que *Monas lens*, *Kerona pustulata*, *Anchelys pupa*, *Amœba difluens*, *Vorticella convallaria*, *Kolpoda cucullus*, *Paramecium caudatum*, *Trachelius fasciata*, etc.

Avec ces éléments microscopiques, se trouvent associés très ordinairement des copépodes, des cladocères, des accariens du groupe des arachnides, des larves de divers mollusques et spécialement de *Dreissensia*, des œufs de

1. Forel. *Le Léman*, t. III, 3 vol. in-8°, Lausanne, 1872-1904.

poissons, des germes d'éponges, etc. L'abondance de ce plankton est très variable d'une localité à une autre. D'après Forel<sup>1</sup> le lac de Neuchâtel a fourni 90 centimètres cubes de plankton par mètre carré ; le lac de Zurich, 1.006 centimètres cubes et le Léman, devant Montreux, 47 centimètres cubes, à Morges 57, à Genève, 26 seulement. Le lac Saint-Clair (Michigan) a donné 74 centimètres cubes ; des lacs de Norvège, 240 et le lac danois de Dobersdorf, 30.997. On s'est livré aussi au recensement par centimètre cube<sup>2</sup>.

	LAC DE DOBERSDORF		LAC DE PLÖN
	19 août 1891.	20 septembre 1891.	14 août 1891.
Algues . . . . .	1.205.000	910.000	12.178.000
Flagellés . . . . .	19.300	5.720	148.500
Protozoaires . . . . .	59	300	1.125
Rotateurs . . . . .	22.500	470	9.142
Copépodes . . . . .	723	538	4.618
Cladocères . . . . .	394	488	1.367
Hydrachnides (acariens). . . . .	1	5	1
Larves de <i>Dreissensias</i> . . . . .	7.750	1	2.500
Nombre d'individus. . . . .	1.255.727	917.522	12.345.253

Forel évalue à 153 tonnes le poids total de matière organique solide du plankton supposée desséchée, contenue dans le lac Léman tout entier.

On retrouve un plankton analogue dans toutes les mares, même les plus petites.

Le necton lacustre comprend, avant tout, des poissons et nous n'avons rien de spécial à en dire.

Pour le benthon, au contraire, quelques remarques

1. *Loc. cit.*, t. III, 208.

2. D'après Apchein. *Das Susswasser*, Kiel, 1896.

seront ici à leur place. Des éponges peuvent y être mentionnées : *Spongilla lacustris*, formant sur le fond du Léman des plaques verdâtres ou jaunâtres ; des larves de beaucoup d'insectes et en particulier de phryganes, représentent un benthon vagile avec des crustacés parmi lesquels figure *Molina bathycola*. Il nage fort mal et marche sur le sol au milieu des détritiques et du limon, dans la région profonde. Il n'a qu'un œil qui est de grande dimension. Dans les abîmes du Léman, habite un crustacé isopode *Asellus Foreli* qui, cependant, monte parfois jusqu'à 40 mètres de la surface de l'eau. Il présente des caractères qui porteraient à lui supposer un habitat tout à fait privé de lumière, et c'est une remarque dont il conviendra de faire état, à cause des conclusions qu'on a souvent formulées pour des animaux moins connus. Sa couleur générale est d'un gris de limon ; sa carapace est absolument privée de pigment, et il est absolument aveugle. Le cas n'est d'ailleurs pas unique et le lac contient aussi un amphipode d'un blanc rosé qui existe normalement par 30 mètres de fond, région où il fait très clair et qui n'est pas moins dépourvu d'appareils visuels que le précédent.

Le benthon lacustre comprend des quantités de végétaux et par exemple des conferves, d'autres algues et des *Chara*, qui sont entièrement submergés et des plantes qui, bien qu'enfonçant leurs racines dans le limon, portent leurs têtes, c'est-à-dire leurs feuilles et leurs fleurs au sein de l'atmosphère : nénuphars, *Villarsia*, roseaux, juncs, prêles, etc. Dans les régions littorales, les pierres et les pilotis sont recouverts de plaques veloutées d'un vert nuancé de jaune composées d'*Oscillaria limosa*. Un feutre continu sur la terrasse submergée du lac est composé d'*Oscillaria Frælichii*. Au printemps, cette formation se détache en plaques larges comme la main,

qui viennent flotter à la surface, puis sont entraînées par le courant et entrent alors dans la composition du plankton. Au-dessous de 25 mètres de profondeur, on ne voit plus de végétation, à l'exception unique de *Thamnium Lemani* qui va jusqu'à 60 mètres. Il se présente cependant une série d'organismes végétaux qui forment un feutre organique qu'on ne distingue pas tout d'abord facilement du limon. Ce feutre comprend *Palmella hyalina*, *Zooflea termo*, *Beggiottea arachnoidea*, qui en forment la masse principale et retiennent dans leur réseau des algues globuleuses, comme *Pleurococcus roso-pericinus* et des diatomées extrêmement abondantes, comme *Achnanidium microcephalum*, *Amphora operculata*, *Cyclotella operculata*, *Navicula gracilis*, *N. Viridis*, *Synedra sigmoidea*, etc. Tout cet ensemble que Forel appelle le *feutre organique*, revêt le limon du fond du lac dans les régions encore éclairées, jusqu'à 80 et 100 mètres de profondeur.

A côté de ces deux grands types d'eaux superficielles, les océans et les lacs, il serait facile d'en mentionner beaucoup d'autres. En première ligne, se présentent des formes qui peuvent être considérées comme intermédiaires : tels sont les amas d'eau saumâtre, résultant, tantôt du mélange d'eau douce se déversant dans les mers à l'embouchure des fleuves et constituant les estuaires, tantôt des régions marines subissant une dessalure progressive, comme la mer Baltique et la mer Noire, tantôt représentant des portions séparées du bassin général et qui se sont peu à peu concentrées, comme la mer Morte. Il y a aussi des amas aqueux qui, bien que situés dans des régions continentales, sont pourvus, comme le grand lac salé des Mormons, de matières salines résultant du voisinage d'amas de sel gemme subordonnés aux couches du sol. Dans chacun de ces cas, on peut enregistrer des par-

ticularités de faciès dont l'application à la géologie est tout indiquée et il en est de même pour des régions souterraines où existent fréquemment des rivières et des lacs en relations plus ou moins intimes avec les eaux subaériennes et qui nourrissent aussi fréquemment des faunes et des florules particulières.

Tandis qu'un grand nombre d'espèces organiques ne peuvent passer de l'eau salée à l'eau douce (et *vice versa*) sans dépérir et mourir il en est d'autres qui vivent indistinctement dans les deux milieux alternativement, comme l'anguille ou le saumon. Et la série innombrable des nuances à cet égard serait plus éloquente que tout autre chose pour montrer qu'il a été créé des espèces, spécialement en vue de tous les genres de milieux ; même de ceux qui, par essence, doivent changer de composition avec les instants. Une foule de régions voisines du littoral sont baignées par des eaux où la proportion de sel diminue chaque fois qu'il pleut pour augmenter par les sécheresses. Des êtres variés leur sont destinés et y trouvent la satisfaction de tous leurs appétits, comme les Muges ou Mulets qui sont des poissons, et les *Artemia* qui sont des crustacés.

Les puits artésiens amènent souvent au jour des êtres vivants qu'ils ont reçus en même temps que la nappe jaillissante située souvent à plusieurs centaines de mètres. C'est ce qui a eu lieu pour les anguilles rejetées par un puits foré à Elbeuf en 1838. Par des profondeurs moindres, c'est ce qui se passe dans nombre de puits du Sahara qui donnent des crustacés comme *Telphusa fluvialis* et des poissons des genres *Chromis*, *Cyprinodon* et autres. Les sources sulfurées des Pyrénées sont caractérisées par les algues thiogènes qui y prospèrent.

Enfin, des eaux d'origine profonde peuvent être ad jointes aux précédentes quand leur déversement à la sur-

face remplit des bassins particuliers. Malgré leur température qui peut être très élevée, comme les geysers siliceux ou calcaires de l'Amérique du Nord, des êtres vivants y prospèrent et fournissent des documents de valeur quant à l'élasticité des tissus vivants vis-à-vis des variations thermométriques. Nous n'avons pas à nous arrêter longtemps sur ce sujet qui nous ramènerait aux travaux chimiques que les plantes microscopiques réalisent et qui ont pour effet la génération de certaines espèces minérales. Disons seulement que dans les geysers à la température de 60°, des algues sont facilement déterminables qui rappellent la flore marine de nos côtes. Elles sont fortement pénétrées de silice et leur couleur varie avec la température des eaux, d'où les colorations si merveilleuses du lac Prismatique, dans le bassin de Midway. A la source d'Emeraude, le travertin siliceux est recouvert d'algues d'un jaune serin. Quelques mousses du genre *Hypnum* leur sont associées, ainsi que des conferves.

L'atmosphère. — Considérée au point de vue biologique, l'atmosphère se présente à nous comme un pendant exact de l'hydrosphère et les différents modes de gisements des êtres organisés y seront avec avantage classés de la même façon. Dès le premier regard, nous y distinguerons un plankton, un necton et un benthon, ce dernier se répartissant comme de lui-même en sessile et vagile.

Le plankton, composé des êtres qui flottent dans l'air, au gré des vents, ou même en conséquence des modifications de densité que les mouvements de la chaleur lui communiquent, est d'une complication extrême. Certains êtres y passent leur vie, d'autres y traversent certaines phases de leur évolution, d'autres encore n'y font que des séjours proprement accidentels. Les nuages de mouches font en l'air la figure de ces nuées de ptéropodes

ou d'autres organismes qui envahissent à certains moments des portions plus ou moins considérables de la mer. Dans le règne végétal, on citerait de même des nuages de pollen ou de spores qui, tombant sur le sol, ont été pris quelquefois pour des manifestations miraculeuses. A cette occasion, il est intéressant de noter que le séjour atmosphérique de semblables organismes, leur offre parfois des conditions favorables à leur évolution. Ainsi un lichen bien connu, *Lecanora esculenta*, qui se présente sous la forme de petits tubercules, dont les propriétés alimentaires sont fort appréciées de nombreuses populations asiatiques, tombe de temps en temps sur le sol de façon à faire penser que c'est lui qui fut décrit comme la célèbre manne des Hébreux. Les individus qui composent cette pluie peuvent atteindre un centimètre cube et leur forme générale rappelle celle de nos mûres. Les Kurdes les qualifient de *blé céleste* et les broient pour les mélanger à la farine. Nous avons eu l'occasion d'en étudier un excellent échantillon tombé à Diarbékir, Turquie d'Asie, peu avant l'éclipse du 17 juin 1890, circonstance qui n'a pas peu contribué à confirmer, chez les populations, l'idée de son origine surnaturelle <sup>1</sup>.

En plusieurs circonstances des spores ont par leur nombre obscurci l'atmosphère et donné lieu par leur collection en certaines localités abritées, à des accumulations d'épaisseur notable. MM. Edouard Bureau et Jules Poisson <sup>2</sup> ont décrit un phénomène de ce genre qui a eu pour théâtre la plaine des Palmistes, à la base du piton des Roches, à l'altitude de 1.200 mètres, dans l'île de la Réunion. Le pied de la montagne est percé d'une grotte de 10 mètres de profondeur et de 6 mètres de largeur,

1. *Le Naturaliste* du 1<sup>er</sup> avril 1891.

2. *C. R. Acad. Sc.*, séance du 17 juillet 1876.

dans laquelle on ne peut entrer qu'en rampant. Tout le sol y est formé, sur un mètre et plus d'épaisseur, par une substance légère, douce au toucher, d'un jaune d'ocre, insipide, inodore et combustible, où le microscope a fait voir exclusivement les spores d'une fougère de la famille des Polypodées.

On sait avec quelle néfaste efficacité, le vent a contribué à l'invasion de nos vignobles par le phylloxéra et il est utile de rappeler que le premier peuplement des îles de nouvelle formation, érigées par les polypiers dans le Pacifique, a pour l'une de ses causes la pluie de semences végétales qui peuvent venir de très loin. Nous avons sous les yeux des faits qui montrent que la nature a prévu ce mode de diffusion des organismes par des dispositions spéciales. Non seulement un nombre infini de graines sont munies de véritables appareils aérostatiques, mais il est des animaux qui s'en construisent pour la traversée des airs. De petites araignées, telles que les *Thomisius*, savent profiter d'une allure propice du vent pour sécréter ce « fil de la Vierge » qui les emporte et qu'elles résorbent quand il leur faut revenir sur le sol. Les trombes interviennent de leur côté dans le transport des espèces organiques : c'est par leur intervention qu'il faut expliquer et les volumineuses pluies de feuilles, dans des régions dépourvues d'arbres et les pluies de grenouilles ou de poissons, qui ont à tant de reprises étonné les populations.

Sous l'appellation d'*athmonecton* se présentent à nous les innombrables êtres qui jouissent de la faculté de se mouvoir volontairement au travers de l'air. Les oiseaux sont dans ce cas et certains d'entre eux font dans le milieu gazeux de très longs séjours : on a vu les frégates, les albatros, les pélicans dormir à de grandes hauteurs où les soutient le faible mouvement devenu automatique de

leurs ailes. Leur allure est d'autant plus ressemblante à celle des membres du necton marin que l'on compte parmi eux des êtres migrants, hirondelles, canards, etc. Les chauves-souris ne représentent pas seules les mammifères dans le monde qui fréquente les airs : les polatouches ou écureuils volants, exécutent des descentes, grâce aux membranes de leurs flancs, véritables parachutes. Les dragons, parmi les reptiles, se comportent de même et nous aurons à allonger cette liste quand nous nous occuperons des époques géologiques. Les insectes ailés ne se comptent pas : les sauterelles font dans les airs de véritables bancs, à la façon des sardines et des harengs. Nombreux aussi sont ceux qui ne jouissent de la faculté de voler qu'au moment d'apogée correspondant à la reproduction : l'éphémère en est le type, puisqu'il a vécu trois ans à l'état de larve aquatique, appartenant ainsi à l'hydronecton, pour s'échapper quelques heures dans l'atmosphère d'où il retombe expirant. Chez les fourmis, les deux sexes sont également pourvus d'ailes pour s'en servir aussi quelques instants : les mâles en meurent ; quant aux femelles, avant de les laisser rentrer dans leurs galeries souterraines, les ouvrières les amputent des quatre ailes.

Mentionnons comme une sorte de lien entre les populations de l'hydrosphère et celles de l'atmosphère, l'allure de certains poissons, dits volants qui, grâce à la disposition de leur nageoire pectorale et de la puissance musculaire de leur queue, peuvent s'élancer hors de l'eau et franchir dans l'air des distances si considérables et à des hauteurs telles, qu'il passent aisément par-dessus le pont des navires. Des êtres beaucoup plus petits, comme le *Calocalamus pavo*, crustacé copépode, émergent de même au-dessus de la surface de la mer et se laissent capturer, dans les nuages irisés qu'ils composent, au moyen de

filets à papillons. C'est en somme l'équivalent atmosphérique des plongées qu'accomplissent les loutres parmi les animaux terrestres, les cincles parmi les oiseaux et bien d'autres.

Nous ne saurions, sans des développements exagérés, mentionner toutes les catégories d'êtres qui composent l'*atmobenthon*. Nous pouvons nous citer nous-mêmes, comme représentants de sa partie vagile. La grande majorité des mammifères est dans le même cas, ainsi que les reptiles des types lézard, serpent et tortue de terre, et aussi que les batraciens terrestres, crapaud et salamandre. Parmi les mollusques, les escargots et les limaces (au moins une partie de leur temps); quantité d'insectes; parmi les arachnides, les scorpions et les araignées nous offrent des exemples bien connus d'êtres appartenant à l'*atmobenthon* vagile.

Les organismes souterrains, au moins à certains moments de leur existence, jouent un rôle considérable, et de façons très diverses dans l'*atmobenthon*. La forme la plus immédiatement sensible est celle des animaux fouisseurs. Le lapin pourrait suffire à représenter le groupe des animaux qui se creusent des terriers ou des tanières, soit pour y habiter et y trouver un abri, soit seulement à l'époque de la reproduction, comme font certains oiseaux (martin-pêcheur). Et, à cette occasion, comment passer sous silence la singulière association qui s'est conclue dans les pampas de l'Amérique du Sud, entre les *Dolychotis* ou chiens de prairies, des serpents et des oiseaux de nuit analogues à nos chouettes, pour tirer parti d'immenses réseaux de conduits souterrains, qui sont l'œuvre des *Dolychotis*, mais à l'entretien desquels semblent contribuer les autres? Dans nos pays, les courtilières vivent sous la terre d'une vie active, comportant un déplacement incessant dont le but est la rencontre de proies.

La taupe est fortement dépassée, paraît-il, quant à la rapidité souterraine, par l'australien *Nautorychtes*, qui a les mêmes dehors qu'elle, mais qui fait partie de l'ordre des marsupiaux et qui se meut sous la terre avec autant d'aisance qu'un poisson dans l'eau. Le ver de terre mérite une mention spéciale, car il donne au séjour souterrain une signification et une portée dont le monopole lui appartient. Son mode d'alimentation est intéressant entre tous, par la transition imprévue qu'il constitue entre le régime des animaux supérieurs et le mode de vie des plantes.

Il y a longtemps qu'on a signalé l'analogie fonctionnelle du poil radical des végétaux et de la villosité intestinale des animaux. On a pu dire, sans une licence trop forte, que l'animal est une plante qui a ses racines à l'intérieur du tube digestif, lequel est pourvu d'une terre végétale particulière. Or, le ver de terre a justifié pleinement cette hardiesse, en avalant au propre la vraie terre végétale des plantes et en la soumettant, à l'aide de sa paroi intestinale, à la sélection que réalise la villosité. La conséquence, c'est qu'une fois l'absorption terminée, l'appareil digestif se trouve rempli de terre résiduelle. Pour s'en débarrasser, l'oligochète est contraint de se transporter à la surface du sol et d'expulser un cylindre que tout le monde a vu le matin sur la terre battue, à côté de l'orifice que l'animal y a pratiqué. Rappelons ici que la terre végétale est habitée par des populations microbiennes, d'une singulière densité (fig. 3), et qui expliquent les phénomènes cités plus haut.

L'immense majorité des végétaux, à l'aide de leurs racines, soumettent le sol à un travail de remaniement incessant et gigantesque, et en même temps ouvre des voies à la pénétration d'agents inorganiques et à la sortie d'émanations souterraines.

Les forêts et les tourbières nous rappellent les zones

sous-marines recouvertes d'algues ou de zoophytes. Aussi, les plantes terrestres font-elles partie du benthon sessile de l'atmosphère.

Si nous nous préoccupons maintenant de préciser les conditions d'existence des différents membres de la faune et de la flore atmosphériques nous nous trouvons en pré-

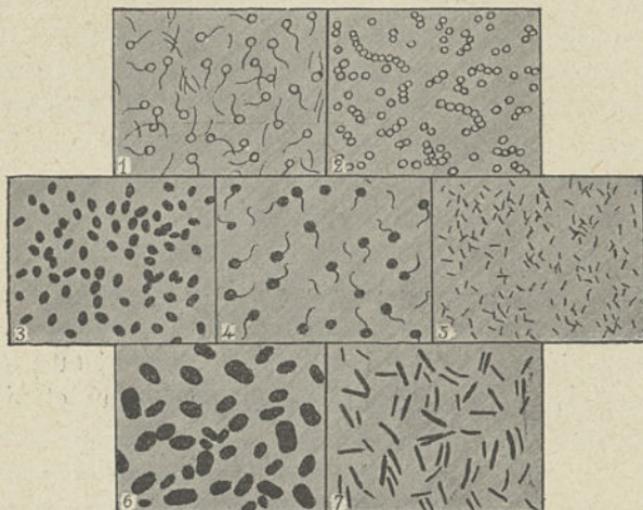


Fig. 3. — Les ferments du sol.

1, Ferments de la cellulose grossis 800 fois; 2, *Bacillus mycoïdes* (ferment nitrificateur); 3, *Nitrosococcus*; 4, *Nitrosomonas*; 5, *Bacillus butyricus* (ferment dénitrificateur); 6, *Azotobacter chroococcum* (ferment fixateur d'azote); 7, *Clostridium Pasteurianum*.

sence de questions tout à fait symétriques de celles qui nous occupent dans l'hydrosphère. Tout d'abord, il y a lieu de distinguer une espèce de stratification biologique qui rappelle la distribution bathymétrique des êtres marins. Sous telle ou telle latitude, l'altitude intervient d'une façon décisive pour déterminer des groupements et des séparations d'animaux et de végétaux, comme il est facile de l'observer pendant l'ascension d'une montagne suffisamment élevée.

En partant de Chamonix, dont l'altitude est de 1.000 mètres, on traverse, jusqu'à 2.000 mètres, des forêts de sapins, auxquels succèdent jusqu'à 3.000 mètres des bouleaux et des genévriers rampants. Puis, on est jusqu'à 3.600 mètres sur les gazons désignés sous le nom d'*alpagnes*. A 3.600 mètres, la végétation cesse, si ce n'est sous la forme de plaques de lichens à la surface des roches érodées, bientôt recouvertes de neiges agglutinées en névés qui se continuent jusqu'au sommet (4.810 mètres).

Des exemples plus frappants encore, et surtout plus pittoresques, se rencontrent dans les pays tropicaux : dans les Andes équatoriales, le Cayembé s'élève assez pour que le sommet de ce volcan porte une calotte de neiges persistantes, tandis que, sur ses flancs, se succèdent des flores rappelant celles qui s'échelonnent au niveau de la mer, de l'équateur jusqu'au pôle.

Pour le volcan de Chiriqui, sur la côte de la mer des Antilles, Wagner a ainsi mesuré les zones : du niveau de la mer à 600 mètres, prospèrent les palmiers ; de 600 à 1.300, on traverse des fougères arborescentes ; de 1.300 à 1.700 mètres, ce sont des rosacées qui dominent et de 1.700 à 3.300, qui est le sommet, on ne voit plus que des chênes et des bouleaux.

A côté de la distribution hypsométrique, nous devons arrêter notre attention sur une circonstance qui ne s'est pas présentée avec autant d'importance au sujet de l'hydrosphère. Elle concerne la distribution méridienne des êtres vivants, c'est-à-dire en conséquence de la latitude. Plusieurs auteurs ont cherché à préciser des zones biologiques de l'équateur aux deux pôles. Unger a de la sorte établi :

1<sup>o</sup> La zone polaire, caractérisée par l'absence absolue de forêts et qui comprend dans notre hémisphère, l'archi-

pel glacial de l'Amérique, le Groënland, le Spitzberg, la Sibérie du Nord ;

2° La zone arctique avec les premiers arbres, essentiellement rabougris ;

3° La zone subarctique, avec ses tourbières, ses toundras, ses forêts de pins, de sapins, de mélèzes, de bouleaux, qui comprend le Canada, la Russie du Nord ;

4° La zone tempérée froide, qui s'étend jusqu'au 45° de latitude et qui est caractérisée par les prairies et les bois ;

5° La zone tempérée chaude, où les prairies sont plus rares, les arbres plus abondants et plus grands ;

6° La zone subtropicale avec les palmiers et les bananiers ;

7° La zone tropicale avec les fougères arborescentes.

L'auteur mentionne même, sous le n° 8, une zone équatoriale qu'il qualifie de théorique.

On sera frappé du manque de précision d'une pareille échelle ; mais il faut reconnaître qu'une foule de facteurs interviennent pour modifier, ici ou là, dans un sens ou dans un autre, les influences spéciales de la latitude.

De Candolle a remarqué, en présence de semblables données, que la variété des formes de chaque flore ou de chaque faune, augmente en même temps que leur puissance, à mesure qu'on s'éloigne des pôles, pour se rapprocher de l'équateur. Il constate que le Spitzberg (78° L. N.) comptant actuellement 90 espèces végétales distinctes, la Silésie (53°) en a 1.300 ; la Suisse (48°) 2.400, et la Sicile (36°) 2.650. Cette localisation se retrouve jusqu'à un certain degré, à la surface des mers, pour le plankton, pour le necton et même pour le benthon littoral ; mais on se rappelle qu'en profondeur, il tend à s'établir une température uniforme, voisine de zéro, depuis les pôles jusqu'à l'équateur.

**La zoosphère.** — C'est au moment où il était légitime de croire terminée la revue des principaux gisements de la force biologique, que surgit devant nous, avec une puissance irrésistible, un milieu d'activité vivante qui forme un exact pendant de l'atmosphère et de l'océan : c'est le milieu vivant lui-même.

En partant de la constatation répétée chaque jour et fortifiée sans cesse, que chaque animal et que chaque plante sont peuplés, dans toutes leurs parties, d'êtres différents, trouvant dans ces organismes, soit un support, soit un aliment, soit un abri pour traverser les phases de leur développement, on arrive à concevoir le milieu biologique, indépendamment de sa localisation et de ses variétés.

Un grand arbre est un monde d'êtres auxquels il fournit un asile et des aliments. Sur l'écorce vivent des champignons, des lichens, des mousses et des plantes variées, des insectes, des myriapodes, des mollusques, des vers et bien d'autres formes encore. Dans le bois, le gui enfonce ses suçoirs, les larves de *Botryschus*, de *Cerambyx* se creusent des galeries. Sur les feuilles, les gallinsectes (*Cynips* et autres), provoquent par leurs piqûres le développement de tumeurs protectrices de leurs œufs et alimentaires de leurs larves. Sur les racines, des bêtes très variées, surtout des larves, sont associées à des champignons, même à des truffes.

Un gros animal est dans le même cas. Qu'on songe au véritable monde habitant la peau d'une baleine, la carapace d'une tortue, aux populations grouillantes enfermées dans les cavités et les viscères de ces mêmes animaux.

L'abondance et la variété des êtres qui vivent sur un même hôte sont telles que cet hôte nous apparaît comme un univers en miniature. Même, on lui trouvera plus d'une analogie avec l'un ou l'autre des milieux décrits précédemment, ayant comme eux les légions d'êtres qu'il

nourrit auxquels il sert de centre, distribuées en catégories distinctes, correspondant à celles des habitants de la mer ou de l'atmosphère. Les microbes des sucs intestinaux et des liquides de la bouche, ne constituent-ils pas comme une variété de plankton ? Ne voit-on pas comme un necton dans les êtres qui circulent à leur gré dans la masse des tissus, comme les tripanosomes dans le sang, les trichines dans les muscles, et les cysticerques dans le cerveau ? Enfin, n'est-ce pas un vrai benthon, divisible même en sessile et vagile que l'ensemble des créatures établies sur la peau et sur la muqueuse, soit fixés comme le ténia, parmi les bêtes, ou l'*oëdium albicans*, soit errants comme les poux et fousseurs comme les sarcoptes ?

De même que nous avons considéré l'océan ou l'atmosphère, abstraction faite des formes et des situations relatives des localités, de même nous pouvons étudier le milieu biologique, sans faire intervenir les qualités personnelles des animaux ou des plantes qui nous en offriront successivement les diverses particularités.

Nous savons déjà que les dimensions de ce milieu sont gigantesques, comparables à celles de la mer, tellement que nous avons renoncé à faire la liste de tous les points du globe où la vie a marqué son action. On va voir par quelques exemples que les procédés employés dans l'étude de la mer et de l'atmosphère s'appliquent à la zoésphère.

Le *zoéplankton* se compose d'êtres qui sont plongés dans l'économie animale et végétale et qui sont dépourvus d'une allure indépendante.

A notre point de vue, les microbes sont des associations de la matière et de la force biologique, avec prépondérance considérable de cette dernière. On en a fait naguère des cellules réduites dissociées par le parasitisme et dérivant d'algues et de champignons ; on pourrait y

voir comme le produit d'une espèce d'ionisation de la matière vivante.

Le *zoénecton* se compose des êtres qui se meuvent dans la masse de leur hôte d'une manière indépendante et avec l'allure des poissons qui traversent la mer ou des oiseaux qui fendent l'air. L'embryon hexacante du *Tænia solium* traverse la paroi intestinale et chemine ensuite en suivant les vaisseaux et en perforant le tissu conjonctif, à travers le corps du porc, pour aller se fixer dans les muscles, ou plutôt dans le tissu de soutien de ceux-ci. Il dirige ordinairement sa marche de façon à venir s'établir dans les parties inférieures de la langue, d'où est venue la pratique du languoyage, pour établir le diagnostic de la ladrerie.

En présence de ces faits, on en arrive à ne plus bien distinguer le monde parasite ou commensal d'un être donné de certaines cellules constitutives propres de ce même être : les globules blancs, leucocytes ou phagocytes, ont la faculté de circuler dans les vaisseaux sanguins et dans les chylifères, de traverser la membrane des capillaires et de se rendre au travers des tissus, dans les points où leur intervention peut être utile, tantôt pour procéder à quelque cicatrisation, tantôt pour mettre à mal quelque microbe pathogène.

Le *zoébenthon*, symétrique de l'atmobenthon et de l'hydrobenthon, consiste dans l'ensemble des êtres qui s'établissent au contact des parties solides de l'être envahi. Pour nous en faire une idée précise et rapide, le mieux est de passer en revue quelques exemples parmi les différentes associations possibles. Voici le cas où le milieu vivant, représenté par un végétal, est envahi par des végétaux parasites : le gui, sur les arbres, en offre une première ébauche ; les lichens revêtant de vieux troncs d'arbres, représentent une association beaucoup plus intime,

qui en comprend une autre idéalement complète puisque chaque lichen est le résultat de la symbiose d'un champignon et d'une algue. Aussi, faut-il en rapprocher le fait d'algues parasites sur d'autres algues, comme *Elachista* sur *Himanthalia*, *Ectocarpus* sur *Rhodhymenia*, *Rhizophyllis* sur *Peyssonelia*, *Polydiphonia* sur *Fucus*, etc.

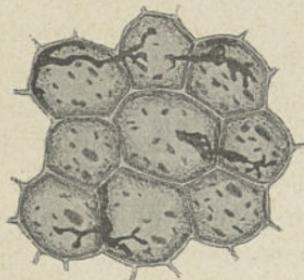


Fig. 4. — Tissu cellulaire de nodosité d'une légumineuse, montrant les microbes fixateurs d'azote, les uns à forme bacillaire simple, les autres à forme ramifiée.

Et nous sommes ainsi conduits à rappeler les bactéries vivant en symbiose sur les légumineuses (fig. 4) (*Bacillus radicicola* et *Rhizobium leguminosarum*). Une association fréquente nous montre des champignons variés, depuis les polypores jusqu'aux moisissures, déterminant sur la racine de nos arbres la production des mycorhizes.

C'est en 1885 que le botaniste Frank<sup>1</sup> a décrit le manchon de mycelium qui enveloppe les racines des arbres forestiers et y a montré un remarquable phénomène de symbiose, sur lequel M. Mangin a récemment appelé l'attention<sup>2</sup>. Ces champignons paraissent activer la décomposition de l'humus et faciliter l'absorption par les poils radicaux, de façon qu'on les regarde comme d'utiles collaborateurs, dont bénéficient les forêts.

Une deuxième disposition concerne le développement d'un végétal sur un animal qui, le plus ordinairement, en est la victime. L'*Oïdium albicans*, vivant sur les muqueuses de l'homme, est bien connu sous le nom de mu-

1. *Ber. deutsch. bot. Gesell.*, vol. III, 125, 1885.

2. *Nouvelles archives du Muséum* (5<sup>e</sup>) II, 215, 1910.

guet. Le *Trichophyton* est un champignon qui produit la teigne, l'*Achorium*, le favus. Certaines conferves et des Sapro-légniées se développent sur des poissons qu'elle finissent par tuer. Des hydres communes, dans nos eaux douces (*Hydra viridis*) ont une belle couleur verte, due à une couche d'algues du genre *Zoochlorella* qui ne se rencontrent jamais en dehors de l'hydre. Ces algues se transmettent de générations en générations par l'intermédiaire d'œufs et sont utiles à l'hydre en lui fournissant un aliment carboné et en enrichissant l'eau en oxygène de telle façon que l'hydre verte peut vivre dans l'eau filtrée, c'est-à-dire débarrassée de cellules végétales, où, au contraire, l'hydre brune (*Hydra fusca*) est rapidement asphyxiée. Les radiolaires présentent un fait analogue : leur ectoplasma étant tout parsemé de zooxanthelles, algues qui fonctionnent comme les précédentes.

Les animaux s'établissent dans un grand nombre de circonstances sur les végétaux. Rappelons pour bien fixer les idées, les chenilles de lépidoptères, qui s'attaquent à tant de plantes cultivées : piéride du chou, piéride du navet, piéride du colza, etc. ; anguillules des graminées, de la betterave, innombrables parasites de la vigne, coléoptères comme l'écrivain, lépidoptères comme la pyrale (*Cochylis*), hémiptères comme le phylloxéra.

Enfin, le cas si fréquent d'un animal sur un animal, complète la série. La puce pénétrante peut servir de type. D'autres exemples moins connus sont fournis par des anémones de mer (*Epizoanthus parasiticus*) qui nous fournissent une association aussi élégante qu'imprévue dans leurs rapports avec les Pagures : le Bernard-l'hermite, ayant à protéger son abdomen trop mou, l'abrite dans une coquille choisie à sa taille, provenant fréquemment d'un Buccin ; par le fait même de son alimentation et des résidus auxquels elle donne lieu, l'eau qui enveloppe le

crustacé possède des propriétés nutritives fort appréciées des anémones de mer ; aussi quelqu'une vient-elle bientôt s'établir sur la coquille, pour suivre le décapode dans toutes ses pérégrinations ; mais il arrive un moment où la coquille devenant trop étroite par suite de la croissance de l'animal, celui-ci en choisit une autre, de hauteur plus élevée, et dispose les choses de façon à abandonner la première et à se glisser dans l'autre assez prestement pour déjouer les ambitions d'une foule d'ennemis aux aguets. Mais l'actinie est aussi rapide que lui et glisse du test abandonné sur le test choisi, de façon à reprendre sur le Bernard-l'hermite, exactement la situation qu'elle avait auparavant.

Certains crustacés cirrhipèdes, appelés sacculines, exercent le parasitisme d'une manière fort originale. Au sortir de l'œuf, la sacculine passe successivement par les deux étapes embryonnaires de *Nauplius*, puis de *Cypris* et à ce moment, elle se fixe par les antennes sur un point quelconque de la carapace d'un crabe. Elle acquiert, à sa partie céphalique, une pointe rappelant l'aiguille d'une seringue de Pravaz et perfore avec cet outil la chitine du crabe, puis elle se désorganise elle-même et s'injecte tout entière par cette aiguille sous la forme d'un *mycelium* qui envahit tout le crabe de filaments. Devenue adulte, elle fait sortir sous la queue du crabe un sac rempli d'œufs et qui rappelle pour la forme l'appareil sporifère des agarics.

C'est parmi les commensaux, plutôt que parmi les parasites, qu'il faut citer le célèbre *Pinothere* qui se trouve si ordinairement par couples, à l'intérieur d'une foule de mollusques pélécy-podes, comme *Pinna*, *Tridacna*, *Modiola*, *Mytilus*, *Maetra*, *Pintadina*. Logé entre les lobes du manteau et atteignant parfois 1 centimètre de diamètre, le petit crabe est solidement cramponné aux filaments bran-

chiaux de son hôte. Il est protégé par la coquille et alimenté par les résidus de nutrition du mollusque ; on pense qu'il s'acquitte envers ce dernier, en le prévenant avec sa pince du voisinage de quelque proie ou de l'approche d'un danger.

Le petit poisson qualifié de *Fierasfer* vit en commensal dans les holothuries.

Un récif madréporique est un milieu où viennent s'établir des populations de commensaux et de parasites, appartenant, les uns au règne animal, les autres au règne végétal. Ils recherchent parallèlement les éléments dont ils ont besoin, fournissant quelquefois en échange des produits dont bénéficie le madrépore. Un grand nombre de mollusques, les stombes, les cyprées, etc., broutent les polypes comme des moutons broutent une prairie ; les saxicaves et les lithodomes percent la charpente des coraux et y trouvent un abri et la substance de leur coquille. Les algues calcaires enveloppent les îlots de concrétions qu'on dirait minérales. Et de toutes part, des protozoaires des éponges, des microbes y passent leur vie et accomplissent leurs fonctions spéciales. Il est intéressant de mentionner l'abondance et la variété des diatomées qui habitent les amas de guano de l'époque actuelle. Citons comme spécialement nets *Triceratium*, *Amphitetras*, *Actynocyclus* (*A. undatus*), *Archnodiscus*.

**Liaison réciproque des trois milieux biologiques.** — Après la description des trois régions qui composent l'empire de la vie, l'hydrosphère, l'atmosphère et la zoosphère, il faut ajouter que ces trois milieux, malgré leur caractéristique nettement différente, entretiennent des relations mutuelles, parfois très intimes et remarquablement variées. Sans épuiser le sujet, il suffira de citer quelques faits qui permettront de concevoir les autres.

Le benthon marin devient aérien, au moins en partie, pendant la durée de la marée basse : des crabes prennent complètement l'allure d'animaux terrestres ; les *fucus* se comportent comme les herbes des prairies ; et parfois, la transformation s'accroît de façon à permettre une durée de vie atmosphérique beaucoup plus longue. Le crabe des cocotiers (*Birgus latro*) est un véritable pagure ou bernard-l'hermite, bâti en vue de la vie aérienne. Au voisinage de ses branchies, sont des masses spongieuses, destinées à leur conserver assez d'humidité pour fournir à des excursions continentales. Aussi, l'animal, quoiqu'il se trouve successivement dans des conditions très variées, vit-il toujours hors de l'eau, tantôt sous les rochers qui bordent la mer, tantôt se creusant des terriers sous les cocotiers ; il grimpe le long des arbres, surtout des palmiers et s'abrite dans les bouquets de branchages ; il est très fort, ayant 50 centimètres de longueur et transporte facilement des noix de coco, dont les fibres lui servent à tapisser son nid et dont l'amande, qu'il extrait en brisant la coquille, est un de ses principaux aliments.

Mais, c'est dans une autre direction qu'il nous faut chercher les faits vraiment décisifs pour proclamer la liaison indissoluble des différents milieux biologiques. Une quantité d'êtres ne sauraient exister sans changer d'habitat au cours de leur évolution, c'est-à-dire sans utiliser, les uns après les autres, les ressources vitales propres à l'hydrosphère et à la zoosphère. Un premier type très simple nous est procuré par de très nombreux insectes : une libellule interrompt un moment son vol, si déconcertant quand on compare à la masse musculaire dont l'animal dispose la quantité de travail qu'il dépense pour traverser l'air, et pendant ce moment, elle pond quelques œufs sur le bord d'une mare. De ces œufs sortent bientôt des êtres aquatiques qui n'ont guère de ressemblance exté-

rieure avec leur mère, et qui, pendant des mois et quelquefois des années, vont vivre sous l'eau, en chassant inlassablement des proies vivantes et en subissant de nombreuses mues, dont chacune est caractérisée par l'abandon d'une tunique chitineuse devenue trop petite. Un jour, la dernière nymphe vient flotter sur l'eau et de la fissure qui la déchire d'un bout à l'autre, sort une libellule, toute pareille à la première, et qui n'attend pour vivre une existence entièrement aérienne que le temps strictement nécessaire pour que ses ailes se dessèchent et se défrisent. Entre ces deux existences successives, aquatique et atmosphérique, il n'y a aucun trait commun, aucun trait d'union, et si l'un des deux milieux manquait, l'existence même de l'espèce deviendrait impossible.

Des faits parallèles à ceux-ci concernent des animaux appartenant à des groupes très éloignés les uns des autres. L'histoire de la salamandre est établie sur un plan bien voisin de celui qui règle l'histoire de la libellule. Mais la nature s'est plu à la modifier en vue d'étendre le domaine de certains types, au delà des limites de régions ayant un caractère géographique nettement défini. C'est ainsi que certaines salamandres, destinées à vivre en des localités élevées des montagnes, dans lesquelles n'existent pas les mares nécessaires à l'évolution de leur larve, ont été pourvues de l'ovoviviparité, de façon que les transformations qui demandaient tout à l'heure le concours d'un bassin aqueux extérieur, se réalisent avant la naissance, dans le milieu maternel.

Divers êtres nous révèlent des relations aussi intimes que les précédentes de la zoosphère, soit avec l'atmosphère, soit avec l'hydrosphère. L'œstre, qui est une mouche, évolue à l'état larvaire dans le tube intestinal de mammifères, où ses œufs ont été introduits, et il habite l'air à l'état parfait. De même, le microbe de la fièvre

typhoïde vit d'abord dans l'eau et passe avec elle dans la zoésphère où il exerce ses ravages. Et il est des animaux qui se livrent à un vrai luxe de transformations et de déplacements. La douve, le terrible parasite du foie, pond des œufs qui, par la voie des canaux hépatiques et de l'intestin de l'être envahi, sont expulsés avec les déjections et séjournent sur le sol plus ou moins longtemps. Les ruissellements de la pluie les charrient comme de petits corps inertes, jusque dans des pièces d'eau. Alors, a lieu l'éclosion et l'apparition de larves couvertes de cils vibratiles et ayant l'apparence de protozoaires. Ces animalcules cherchent et trouvent (sous peine de mourir) une certaine lymnée, dans laquelle ils pénètrent pour s'établir dans sa cavité générale. Ils s'y enkystent, passent à l'état de sporocystes et subissent une segmentation qui les décompose en une multitude de petits organismes qu'on appelle des rédies. Celles-ci percent l'enveloppe du sporocyste, et sous la forme de cercaires, sortent de la lymnée, retournent à l'eau, nagent un certain temps et s'enkystent à la base des brins d'herbe de la berge. Elles attendent alors qu'un mouton les avale avec l'herbe et les cercaires deviennent douves, traversent les tissus et vont se fixer sur le foie, pour pondre à leur tour et recommencer cette histoire, qui comprend cinq états successifs et le séjour dans deux animaux bien différents, un mollusque et un mammifère.

Pour compléter la série de faits qui tendent à définir le rôle de la force biologique dans l'évolution terrestre. il importe de faire justice d'une opinion très répandue et d'après laquelle il y aurait mauvaise pondération des choses dans la nature et échec fréquent d'organismes qui manqueraient leur but.

Il est incontestable que dans toutes les localités où la vie se développe, on assiste à la guerre continue et sans

merci que se livrent les êtres des diverses catégories. Le vaste bassin des mers est un champ de carnage ininterrompu : qu'on s'imagine la baleine, dont la bouche est haute de trois mètres, se mouvant au sein du plankton et avalant, d'une seule déglutition, des dizaines de mille de proies !

Pour être moins frappantes, les formes plus modestes se comportent de même, selon leurs moyens et le résultat est parfois plus considérable encore, le nombre des individus rachetant, et au delà, l'exiguïté de leur volume. Michelet a décrit ce massacre<sup>1</sup> : « Pleine de vie à la surface, la mer en serait comble, si cette puissance indicible de production n'était violemment combattue par l'âpre ligue de toutes les destructions. Qu'on songe ajoute-t-il, que chaque hareng a quarante, cinquante, jusqu'à soixante-dix mille œufs. Si la mort violente n'y portait remède, chacun se multipliant en moyenne par cinquante mille, et chacun de ces cinquante mille se multipliant de même à son tour, ils arriveraient, en fort peu de générations, à combler, solidifier l'Océan, ou même à le putréfier, à supprimer toute race et à faire du globe un désert. La vie, impérieusement, réclame ici l'assistance de la mort. Elles se livrent un combat, une lutte immense, qui n'est qu'harmonie et fait le salut. »

Il semble que l'illustre auteur n'ait pas compris lui-même cette dernière conclusion, qui est la seule partie vraie de cette page pittoresque. Aussi, quelques lignes plus bas, affirmant que c'est près des côtes (?) que se fait la plus grande destruction, il ajoute : « D'abord, les petits des petits, les moindres poissons, avalent le frai et les œufs du hareng, se gorgent de laite, mangent l'avenir. Pour le présent, pour le hareng tout venu, la nature a fait un

1. *La Mer*, 1 vol. in-18, Paris.

genre glouton qui, de ses yeux écartés, ne voit guère, n'en mange que mieux, qui n'est qu'un estomac, la gourmande tribu des gades (merlan, morue, etc.). Le merlan s'emplit, se comble de harengs et devient gras. La morue s'emplit, se comble de merlans et devient grasse, si bien que le danger des mers, l'excès de la fécondité, recommence ici plus terrible.

« La morue est bien autre chose que le hareng ; elle a jusqu'à neuf millions d'œufs. Une morue de cinquante livres en a quatorze livres pesant, le tiers de son poids. C'est elle qui met le monde en péril. Au secours ! lançons des vaisseaux, équipons des flottes ! »

Et enfin : « Il faut que la nature invente un suprême dévorateur, mangeur admirable et producteur pauvre, de digestion immense et de génération avare. Monstre secourable et terrible, qui coupe ce flot invincible de fécondité renaissante, par un grand effort d'absorption, qui avale toute espèce, indifféremment, les morts, les vivants, que dis-je ! tout ce qu'il rencontre. Le beau mangeur de la nature, mangeur patenté, le requin <sup>1</sup>. »

D'après Wilkes <sup>2</sup> « la nature a confié à la *Phalena graminis* (*Bombyx graminis*), le soin de remédier à la croissance exubérante des graminées. Sans cela, celles-ci détruiraient un grand nombre de végétaux, dont l'équilibre se trouve ainsi maintenu par cet insecte. »

Le même auteur dit expressément <sup>3</sup> « qu'il est assigné à chaque plante un insecte particulier qui met un frein à son trop grand développement. »

Nous retrouvons ainsi de toutes parts le point de vue de Lavoisier, lançant, comme nous l'avons vu plus haut, l'azote au secours des êtres vivants, que l'atmosphère

1. *La Mer*, p. 103, Paris.

2. *Amæn. Acad.*, VI, 17.

3. D'après Lyell, *Principes de Géologie*, t. IV, p. 267.

d'oxygène pur aurait consommés. Dans tout cela, c'est toujours la nature imparfaite, dont il faut réparer les erreurs, à laquelle il faut s'adapter et qui, à chaque instant, nous offre des spectacles dont nous disons que nous, personnellement, nous aurions bien mieux arrangé les choses.

En réalité, c'est la nature incomprise. Et sans nous arrêter un moment sur la merveilleuse harmonie qui subordonne si rigoureusement les dépenses aux recettes, nous nous bornerons à demander à Michelet s'il continuerait à déplorer le gaspillage, alors qu'on substituerait à la considération des œufs de hareng, celle des grains de blé, dont nous faisons une si gigantesque consommation, et quelle estime il concevrait pour lui-même, s'il était contraint de se regarder comme un simple frein destiné à sauver la Nature menacée de ruine, par l'extension sans limite du *Triticum sativum*. Jamais dans le plan de la Nature, les cinquante mille œufs pondus par un seul hareng n'ont été destinés à faire des harengs : ce sont les harengs qui sont destinés à pondre des œufs, lesquels ont un but très défini, qui résulte de leur composition, de leurs propriétés nutritives et de leur abondance : Ils sont appelés à entrer dans des cycles de transformations matérielles et dynamiques, et si tous les œufs ne sont pas consommés, c'est qu'il en faut pour assurer les générations ultérieures de harengs qui continueront d'alimenter en œufs le monde des mers. En fermier prévoyant, la Nature arrête sur le chemin du moulin, le grain nécessaire aux prochaines semailles.

L'idée que nous devons nous faire de la véritable ubiquité de la vie ne serait pas complète, si nous ne disions pas un mot des températures extrêmes qui sont compatibles avec elle.

Dans sa *Geology of the Nome and grand Central quadrangles Alaska*, publiée dans les Bulletins de *United*

*States geological Survey*, M. F. H. Moffitt a décrit, dans la *Spruce Creek*, des exemples de végétation très luxuriante poussant sur d'épais bancs de glace<sup>1</sup>.

Dans l'Antarctique, comme dans les régions boréales, plusieurs oiseaux couvent sur la glace. D'après Nordenskjold<sup>2</sup> un pétrel du Spitzberg (*Procellaria glacialis*), pond un œuf directement sur la glace, et le couve sans nid. Jamais le bas de l'œuf n'est à plus de zéro. On cite des oiseaux couvant, dont le pied est collé à la glace par du verglas. Le même voyageur a décrit, dans la Terre du Nord-Est, un crustacé copépode (*Metridia armata*) de 5 millimètres de longueur qui, par sa prodigieuse abondance, et malgré sa minuscule dimension, rend, au moyen de son appareil phosphorescent, la neige lumineuse sur des surfaces considérables. Au cap Tcheljuski (le cap le plus septentrional de l'Ancien Monde), de petits coléoptères errent sur la glace, tels que *Micralimna Dicksoni*, staphyllinide de 3 millimètres de longueur. A l'île de Waigastch, on recueille six coléoptères; à la Nouvelle-Zemble, neuf (*Feronia borealis*, *Amara alpina*, *Chrysomela septentrionalis*, etc.). Tous ces animaux ont subi, soit à l'état d'œufs, soit à l'état de larve, soit à l'état d'imago, des températures de — 40° et même de — 50°, qui se reproduisent tous les ans.

Dans nos Alpes, les saxifrages et les soldanelles fleurissent jusque sur la neige. Tout le monde connaît ce *Protococcus nivalis*, petite algue, tout à fait voisine de la matière verte et glissante de nos pierres humides, mais qui est teinte du rouge le plus vif, de façon que quand une expédition enlève en marchant la mince couche de

1. Des photographies de ces curieuses circonstances sont insérées dans le 433<sup>e</sup> *Bulletin du Geological Survey des Etats-Unis* (*Geology of the Salomon quadrangle Alaska* by Philip. S. Smith, p. 410), Washington, 1910.

2. *Voyage de la Vega*, I, 97, Paris.

neige qui a pu tomber sur la plante microscopique, il reste sur le tapis blanc une trace véritablement sanglante. Dans l'Antarctique, M. de Gerlache a décrit la couleur verte de la glace, imprégnée dans toute sa substance de certaines algues<sup>1</sup>.

Nordenskjold et Berggren ont rencontré dans les glaces du Groënland, une algue de la famille des desmidiacées qui, comme la précédente, constitue une source incessante d'oxygène, grâce au phénomène chlorophyllien.

Les localités très chaudes offrent des observations symétriques. Les geysers des Etats-Unis sont célèbres par l'abondance de certaines plantes, dans des eaux dont la température varie entre 66° et 72°. Dans toutes les sources chaudes, on rencontre des populations de diatomées (oscillariées et palmellées principalement) et parfois jusqu'à des températures qui semblent dépasser celles où a lieu la coagulation des albumines.

**Conséquence générale de l'ubiquité de la vie.** — L'ubiquité de la vie à l'époque actuelle, est un fait d'une très haute portée philosophique. Elle témoigne de l'extrême importance de l'agent biologique comme complément de toutes les entités dynamiques qui, jusqu'à son éclosion, avaient suffi aux circulations de matière et de force, dont l'ensemble harmonieux constitue au propre l'activité planétaire. L'équilibre réalisé avant le phénomène vivant était parfait et pourvu de conditions de durée aussi longues que le sera l'alimentation elle-même des forces motrices dont le globe a été pourvu à son début. L'intervention de la vie a modifié cet équilibre, sans l'altérer, ajoutant des phénomènes nouveaux aux anciens et enrichissant la Terre de matériaux sans analogues parmi ceux dont elle était jusque-là composée.

1. *Voyage de la Belgica.*

### CHAPITRE III

#### LES GISEMENTS DE LA VIE AUX ÉPOQUES PASSÉES

Après avoir constaté la présence d'êtres, vivant actuellement dans les conditions les plus diverses de la superficie terrestre, nous avons à nous préoccuper de chercher, dans l'épaisseur des formations géologiques, des témoignages de l'ordonnance suivant laquelle les centres d'énergie biologique pouvaient y être distribués et associés. Notre but étant avant tout de reconstituer, dans un chapitre ultérieur, l'allure des phénomènes géologiques et par conséquent la marche générale de l'évolution terrestre, nous recueillerons ainsi des documents de grande importance.

**Les faciès géologiques.** — Or, il se trouve que certains détails de cet ensemble sautent aux yeux, même d'observateurs non préparés, si bien que la notion est maintenant plusieurs fois séculaire que maintes masses rocheuses, actuellement continentales, se rattachent à des origines marines diverses, révélées par les traits essentiels des fossiles qu'elles contiennent.

Déjà au xvii<sup>e</sup> siècle, Sténon signalait la manière d'être de certains végétaux fossiles et de certaines coquilles pétrifiées, comme un caractère infaillible pour distinguer les couches sédimentaires dues à la mer, de celles qu'il faut rapporter aux eaux fluviales. Depuis lors, ce genre

d'études s'est développé d'une façon continue et aujourd'hui la considération des *facies* intervient péremptoirement dans toutes les déterminations stratigraphiques. La première venue des coupes fossilifères, même aux environs de Paris, fournit d'amples documents propres à préciser les limites des caractéristiques locales.

Ainsi, en d'innombrables régions, les couches sableuses qualifiées de sables moyens ou de grès de Beauchamp, supportent des lits marneux, dits travertin de Saint-Ouen ; dans ces deux formations, les coquilles fossiles abondent, et des coquilles d'animaux très comparables, par exemple de mollusques gastropodes dans les deux cas et de mollusques pélécy-podes. En les étudiant, on acquiert la conviction que nulle confusion n'est possible d'un groupe à l'autre. Et en rapprochant les fossiles recueillis de forme actuellement vivantes, on voit tous les vestiges provenant du Beauchamp, manifester des affinités évidentes avec les coquilles marines actuelles, tandis que toutes les formes fournies par le Saint-Ouen sont, sans hésitation, de la même catégorie que les habitants de nos lacs et de nos étangs.

Nous en concluons nécessairement que certaines formes de mollusques ont été établies par la nature en vue de l'habitation marine, et d'autres, en vue de l'habitation lacustre. Dès lors, nous sommes autorisés à considérer toute la masse du sable de Beauchamp, qui a servi à nos premières observations, comme représentant un dépôt océanique de l'époque tertiaire, de même que les assises du Saint-Ouen se révèlent comme les dépôts d'un lac qui avait pris possession du terrain, à la suite du retrait de la mer après une surrection locale.

Sans insister sur les détails, il suffira de constater que de pareilles remarques ont été accumulées relativement

aux époques géologiques les plus différentes les unes des autres, depuis les plus récentes jusqu'aux plus anciennes, pour qu'on se trouve en possession d'un procédé d'étude dont les applications ne peuvent manquer d'avoir la plus haute portée.

La distinction élémentaire entre les deux milieux aqueux que nous avons pris pour types se complique très vite de notions plus intimes, et il sera intéressant d'énumérer quelques faits relatifs à la variété des conditions offertes par telle localité ancienne comparativement aux subdivisions que nous avons établies dans le chapitre précédent.

Notre programme va donc, par la force des choses, se calquer sur celui que nous venons de suivre et consistera à rechercher les témoignages de l'existence aux temps passés des différents milieux biologiques avec leurs principales subdivisions.

**L'Hydrosphère fossile.** — En commençant nos études par la mer nous devons rechercher tout d'abord des traces de sa subdivision, aux anciennes époques comme aujourd'hui, en zones planktonique, nectonique et benthonique.

**L'Hydroplankton fossile.** — Le plankton géologique marin est naturellement réduit à ceux des êtres qui, après s'être laissé balloter par la mer, ont été précipités sur le fond submergé. Ils se sont par conséquent mélangés aux témoins du necton et du benthon. Pour les en distinguer, il faudra constamment avoir présents à l'esprit les enseignements que l'observation actuelle nous a procurés et nous laisser guider par cette ressemblance, indéfinissable d'une manière précise, entre les physionomies d'êtres qui sont voués aux mêmes fonctions.

Par exemple, une très grande partie des protozoaires que nous fourniront les entrailles du sol, devront être considérés comme le précipité fourni sur le fond, par des animaux qui habitaient à des profondeurs très inégales. L'étude de la mer actuelle nous a montré, en effet, qu'au-dessus des abîmes où s'accumulent les coquilles des globigérines, les eaux voisines de la surface sont remplies des mêmes animaux à l'état de vie active. Si nous rencontrons dans une roche d'âge quelconque des êtres comparables

ces foraminifères, nous devons en conclure que les sédiments dont nous avons des échantillons étaient recouverts d'épaisseur d'eau plus ou moins comparables à celles de nos mers profondes. Or, on a fait valoir à cet égard la considération que, pendant la chute d'un test de globigérine destiné à parvenir au fond, ce petit corps de moins en moins différent du carbonate de chaux, à mesure qu'il perd de sa substance organique, subit de la part des eaux ambiantes, une corrosion qui va constamment en s'accroissant, et dont l'intensité relative peut faire apprécier, jusqu'à un certain point, la longueur du trajet qu'il a parcouru. On comprendra donc, malgré le peu de précision de ces appréciations, qu'il est des localités de profondeur extrême où ce genre de débris ne parviendra jamais et qui, pour cette catégorie de roches, n'existera pas.

Les roches à foraminifère d'apparence planktonique sont très nombreuses dans toute la série géologique, et les formes des animaux qui les constituent, tout en étant très variées, conservent des caractères analogues entre eux, et qui leur constituent comme un air de famille, malgré des variantes très accentuées. On peut citer comme particulièrement nettes, des fusulines des temps primaires et avecelles les *Endothyra*, les *Textularia*, les *Nodosaria*, etc. les *Lagénidés* du temps jurassique, les *Rotalia* de l'é-

poque crétacée, les quinqueloculines et les triloculines de l'époque tertiaire.

Les dépôts où on les rencontre sont, à n'en pas douter, les correspondants de la boue à globigérines d'aujourd'hui.

D'ailleurs, certaines formes composant l'embranchement des protozoaires ont joui d'une longévité spécifique tout à fait surprenante. On en rencontre d'identiques à travers des périodes géologiques successives. Pour n'en citer que deux exemples, la globigérine de la mer actuelle aurait existé depuis l'époque triasique et l'*Operculina* qui l'accompagne dans nos océans se trouve déjà dans la craie <sup>1</sup>.

Cependant, bien des formes sont caractéristiques de niveaux spéciaux. Les *Saccamina*, les *Trochamina*, les *Lituola* abondent dans les calcaires carbonifères <sup>2</sup>. Dans le lias, on trouve en abondance des *Lagena*; Terquem et Scumberger les y ont étudiées d'une manière remarquable <sup>3</sup>. Le turonien du Nord a donné : *Textularia*, *Rotalia*, *Globigerina*, *Dimorphina*, *Lagena*, *Miliola*, *Dentalina*, *Nodosaria*, *Orbulina*, *Bulima*, *Frondicularia*, *Gaudryia*, etc.

Les nummulites, qui sont des foraminifères rattachables à diverses formes déjà citées, sont strictement cantonnées dans le terrain tertiaire, et il y en a d'aussi petites ou presque, que les formes mentionnées tout à l'heure. Toutefois, il en est de bien plus grosses, et même de si volumineuses et de si lourdes, qu'il paraît difficile de concevoir qu'avec le seul secours de leurs pseudopodes

1. Flint. *A contribution to the oceanography of the Pacific*, Washington, 1905.

2. Stanislas Meunier. *Le calcaire à Saccamina, de Cussy en Morvan*. C.-R. Acad. sc. C. 921 (1885).

3. *Memoires de l'Acad. impér. de Metz*, 1858 à 1870.

sarcodiques, elles aient pu se maintenir à l'état flottant, c'est-à-dire planktonique, dans la masse des mers. Vraisemblablement, une partie des nummulites s'est cantonnée dans les régions littorales, présentant dans son allure comme un passage du plankton au benthon vagile.

En mettant provisoirement de côté, comme non suffisamment déterminés jusqu'ici, les *Bactryllium* qui abondent dans le trias (keuper) de la Haute-Italie et du sud de la Suisse, on peut admettre que les diatomées ont apparu dans le crétacé supérieur<sup>1</sup>. Depuis lors, ces plantes élémentaires se retrouvent à maints horizons. Pour ma part, j'ai décrit un calcaire qui semble marin et dont l'âge est probablement crétacé, recueilli dans le Marigot de Bops, non loin de Rufisque, au Sénégal, et qui contient beaucoup de vestiges que j'ai rapprochés des diatomées du genre *Achnantes*, qui n'avait encore été cité que dans le tripoli tertiaire d'Oran<sup>2</sup>.

Le tuffeau de la Côte aux Buis (Grignon) en est un type éocène ; on y voit surtout des *Gallionella* et des *Fragilia* auxquelles s'ajoutent *Synedra*, *Navicula* et plus rarement *Triceratium*.

Des diatomées ont été citées dans le tuffeau landénien de Lille et de Bouchavesnes (Nord) et dans le tuffeau yprésien du Mont des Cats, comme dans la meule de Braquegnies. Dans le pliocène, des lits à diatomées, tantôt marins, tantôt saumâtres, tantôt d'eau douce, se rencontrent en différentes régions comme la Suède, la Prusse, l'Italie, les Etats-Unis, avec *Eunotia*, *Ceratoneis*, *Stauroneis*, *Grammotophora*.

Pendant le quaternaire, les radiolaires ont joué le même rôle dans les mers géologiques que dans l'océan d'aujourd'hui.

1. Zittel. *Paléontologie*, I, 19.

2. *Le Naturaliste* du 15 octobre 1906, avec figures.

d'hui, et ils se signalent par la haute antiquité des représentants qui nous en sont parvenus. Dans le cambrien des environs de Lamballe, Côtes-du-Nord, et au sein des bancs de phtanite noire, argile charbonneuse entièrement silicifiée et transformée en jaspe, M. Cayeux <sup>1</sup> a reconnu

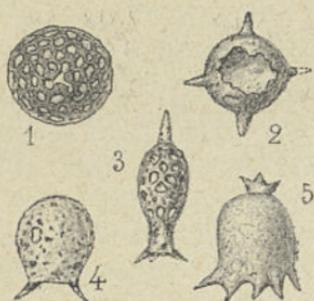


Fig. 5. — Radiolaires du précambrien des environs de Lamballe (Côtes-du-Nord) pour montrer leur intime ressemblance avec les radiolaires de la faune actuelle.

1, *Cenosphaera*; 2, *Staurosphaera*; 3, *Tripitidium*; 4, *Tripodiscium*; 5, *Anthocyrtis*. — D'après M. Cayeux.

la présence d'une longue série de radiolaires qui, avec une ressemblance intime aux formes d'à présent (fig. 5), sont d'une taille moindre, ce qui ne peut s'expliquer que par une contraction consécutive à la fossilisation. Des radiolaires abondent dans des roches de tous ces âges, et en particulier à Bracquagnies, aux Monts des Cats, à Lille, à Bouchavesnes et la Côte aux Buis, que nous venons de citer pour les diatomées.

Un autre type des boues actuelles s'est présenté à nos études antérieures, comme spécialement rattachable à l'étude du plankton : c'est la boue à ptéropodes. On se rappelle ces *Hyales*, ces *Criseis* et ces *Cleodora* qui se sont signalées par leur inertie vis-à-vis de la mer, laquelle détermine tous leurs déplacements par ses changements de température. C'est le moment d'ajouter que tous les terrains récents contiennent des débris de ptéropodes, tellement voisins de ceux qui vivent encore, qu'on a fait entrer leurs espèces, généralement spéciales aux époques fossiles, dans des genres déjà institués par des zoologistes. Le pliocène et le miocène de Dax,

1. *Bull. Soc. Géol. de France*. XXII, 197, 1894.

de Turin, de la Sicile et des Açores, ont fourni dix espèces de *Cavolinia* et quelques espèces de *Cleodora*. Une boue fossilisée, pleine de ptéropodes, fait partie des assises tertiaires de Seravalle-di-Scivia et d'Acqui.

Jusqu'ici on n'a pas rencontré de gisement secondaire présentant avec évidence des dépôts de ptéropodes, mais en échange, les assises primaires s'en montrent très riches et contiennent des formes très voisines de celles d'aujourd'hui. Les hyolithes, qui rappellent nos hyales, se montrent aussi bien en Australie, en Amérique du Nord et en Europe, dans des gisements échelonnés du cambrien au permien. Les *Pterotheca* rappelant nos *Cavolinia*, caractérisent le silurien de la Bohême, de la Grande-Bretagne et du Canada. *Conularia* rappelle notre *Cleodora* et fournit une centaine d'espèces du silurien au permien, en Europe, en Amérique, dans la Nouvelle-Galles du Sud, dans la Nouvelle-Calédonie. *Conularia inornata*, d'Australie, mesure 40 centimètres, c'est-à-dire un nombre prodigieux de fois le volume des ptéropodes de nos océans. *Conularia pyramidata*, un peu moins grand, est un des plus beaux fossiles des grès caradociens de May, non loin de Caen.

Mentionnons enfin, dans le silurien, la présence du genre *Tentaculites*, représentant une soixantaine d'espèces, en Europe, aux Etats-Unis, au Brésil, au Cap de Bonne-Espérance. « Ces animaux, dit Paul Fischer<sup>1</sup>, ont la structure des ptéropodes du groupe des *Criseis* et vivaient probablement en bancs comme ces animaux pélagiques. »

**L'hydronecton-fossile.** — Les témoins de l'existence d'un véritable necton dans les mers géologiques sont four-

1. *Conchyliologie*, p. 538, 1 vol. in-8°, Paris, 1887.

nis par les roches contenant des accumulations de fossiles animaux et spécialement des poissons. Tout le monde en a vu des exemples.

Nous nous sommes trouvé, il y a un certain nombre d'années, en présence de lits du calcaire grossier, dit à Milioles, exploité à Puteaux, à la porte de Paris, et qui renfermait d'innombrables squelettes, enveloppés encore des écailles et des nageoires, d'*Hemirhynchus Deshayesi*, qui est grand comme le thon <sup>1</sup>. De même, les schistes des environs d'Autun qui appartiennent au terrain permien, contiennent des quantités d'empreintes complètes de *Palæoniscus* et d'*Amblypterus*. Les schistes tongriens d'Aix-en-Provence offrent à certains niveaux des centaines de petits *Lebias cephalotes* ; et, pour borner les exemples, les marnes du Monte Bolca, en Italie, ont fourni une telle masse d'échantillons admirablement conservés, que, lors de la campagne de 1796, Bonaparte les a mis au même rang que les œuvres d'art et les a arrachés aux Musées d'Italie, pour en enrichir le Muséum. Il paraît d'ailleurs que nos voisins transalpins n'ont pas fait un rapprochement aussi complet, car, s'ils ont repris les tableaux, ils nous ont laissé les fossiles.

D'autres animaux que les poissons fourniraient des exemples analogues.

L'observation de tous les jours ne suffit pas pour faire reconnaître dans les océans actuels les conditions favorables à la persistance, sur le sol submergé, de cadavres de poissons pendant un temps suffisant pour qu'ils soient recouverts d'un limon protecteur et soustraits ainsi à la voracité des innombrables agents de nettoyage qui, au fond de la mer, remplissent la même fonction que les vautours. Il est pourtant des circonstances où la préci-

1. Stanislas Meunier. *C. R. Acad. Sc.* LXXIV, 822 (1872).

pitiation des corps peut se faire dans des eaux favorables à cette destruction et l'on a cité bien des fois le nombre des poissons mis à mal par des dégagements gazeux, rattachables de plus ou moins loin, à des phénomènes souterrains. Il faut évidemment résister à la tentation de supposer comme on l'a fait, pour expliquer les schistes cuprifères de Mansfeld, où les empreintes de poissons sont incluses dans des roches minéralisées par des réactions qui eussent évidemment été toxiques, de croire que la mer contemporaine du dépôt a été le siège de ces réactions métallifères. C'est, sans qu'on en puisse douter, bien longtemps après, quand le dépôt considéré était recouvert d'épaisses sédimentations ultérieures, que la minéralisation s'est produite, par la circulation des eaux souterraines.

**L'hydrobenthon fossile.** — Les entrailles du sol nous procurent des preuves que les mers géologiques ont été pourvues de benthon, tout comme les mers actuelles. On reconnaît même dans ces formations des zones de différentes profondeurs et en particulier des zones tout à fait littorales. L'action physiologique donne à celles-ci un cachet qui les distingue de toutes les autres formations. Il s'agit surtout des perforations que divers animaux pratiquent dans la roche submergée, et il en est dès les niveaux les plus anciens. Souvent ces cavités renferment encore les mollusques qui en sont les auteurs, et beaucoup de détails de leur structure et de leur disposition coïncident avec ceux qui concernent les productions contemporaines.

Toutefois, et justement parce qu'on n'a pas toujours été assez pénétré de la ressemblance qui se révélera de plus en plus au fur et à mesure du progrès de nos études, entre la mer passée et la mer actuelle, on a quelquefois

méconnu un détail intéressant de cette histoire. Dans la plupart des cas, on a attribué au mollusque lithophage (fig. 6), l'âge même de la roche qu'il a perforée. Or, l'observation contemporaine montre que si quelquefois en effet les animaux actuels creusent des limons ou des marnes qui viennent de se déposer, le plus souvent ils demandent leur abri aux masses qui forment des rochers ou des escarpements sur le fond marin et qui sont d'époques antérieures et quelquefois très antérieures à l'époque moderne. Il n'est pas possible qu'il n'en ait pas été de

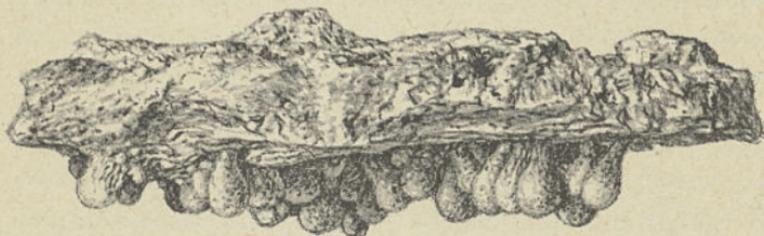


Fig. 6. — *Gastrochæna* et *Spongiomorphis Saportai* du terrain bartonien de la rue Lhomond à Paris.

même dans un très grand nombre de cas géologiques et il y aura lieu de bien reviser certaines déterminations d'espèces lithophages, qu'on trouvera moins anciennes qu'on ne se l'était d'abord imaginé.

Le benthon contient dès les plus anciennes époques, des gastropodes que leurs affinités avec des formes actuelles conduisent à reconnaître comme herbivores. Ils nous dévoilent donc une végétation sous-marine.

Comme autre forme cadrant avec des détails de l'océanographie, nous citerons la rencontre dans les grès ferrugineux du Niger, que M. Vuillet, ingénieur agronome, a recueillis à Tienfala, entre Bamako et Koulokorro, des empreintes si analogues à celles que donnent les laminaires de la Manche ou de l'Océan, qu'on peut croire que ces grès,

d'âge non précisément défini encore, mais très antérieurs aux temps modernes, ont occupé un gisement analogue à celui que caractérise aujourd'hui la zone à laminaires<sup>1</sup>.

Tous les terrains renferment des bancs d'huîtres, et bien que ces mollusques appartiennent, suivant les étages, à des espèces différentes, leur manière d'être et leur groupement sont si rigoureusement identiques aux particularités qui concernent les bancs d'huîtres modernes, qu'on ne peut douter de la conformité des milieux.

Une foule de localités procure à l'observateur la vue d'accumulations fossiles reconnaissables immédiatement pour des massifs de madrépores ou d'êtres plus ou moins voisins. Sans les décrire, car il faudra y revenir, bornons-nous à y constater un témoignage évident de l'une des conditions sous-marines les plus caractérisées du benthon sessile actuel. Non seulement des coelentérés très variés se signalent comme les auteurs de pareilles constructions, mais des bryozoaires en font autant ; et les encrines, ainsi que bien d'autres échinodermes, montrent qu'il y a eu au fond de bien des mers, maintenant desséchées, de véritables forêts animales, comme celles que les sondages en mer profonde ont révélé vivantes dans les abîmes de l'Atlantique.

Nous avons aussi à enregistrer comme essentiellement benthoniques, les éponges, dont les vestiges se rencontrent depuis les terrains les plus anciens sous la forme de spicules détachés ou même d'individus entiers complètement pétrifiés. Le premier cas se présente dans la substance d'innombrables tuffeaux, comme dans le département du Nord et à Grigon, en compagnie de radio-laires et de diatomées ; l'autre est spécialement dans le

1. Stanislas Meunier. *C. R. du Congrès des Sociétés savantes pour 1904*, p. 156 (avec figures) et tiré à part. Paris, 1905 (Imprimerie Nationale).

terrain crétacé où sont les *Jerea*, les *Amorphospongia*, les *Halirhoa* et les *Cælostychium*.

A côté des renseignements que procure l'étude des dépôts marins, nous devons faire une place à ceux qui vont témoigner de l'allure des eaux continentales.

La certitude qu'il y a eu des lacs à des époques antérieures à la nôtre, résulte de la rencontre de fossiles dont nous avons déjà indiqué la physionomie particulière. On connaît, par exemple, de véritables lacs fossiles des temps tertiaires, soit autour d'Aix en Provence, soit sur une partie de la Limagne d'Auvergne, et même aux environs de Paris, à Saint-Ouen, en Beauce et en Brie. Les formes organiques y comprennent surtout des mollusques, lymnées, planorbes, physes, — ou des crustacés, comme des *Cypris* ou des poissons, comme des *Lebias*. Les plantes sont tout aussi caractéristiques : roseaux, nénuphars, charas, etc. Les charas ont été retrouvés dans le muschelkalk de Moscou ; on les connaît dans le jurassique et le crétacé. « Chose remarquable, dit Zittel <sup>1</sup> toutes les espèces fossiles connues, concordent complètement avec les formes vivantes, aussi bien pour les dimensions que pour la structure et surtout pour les fruits qui sont souvent presque entièrement conservés. On peut admettre en conséquence que pendant la durée infiniment longue de son existence, ce type n'a subi aucune modification. »

Ces êtres donnent le faciès lacustre aux sédiments qui les contiennent.

De même, des lits de rivières fossiles, d'âges fort divers, prouvant les faciès fluviaux, ont été reconnus, et toujours d'après le témoignage de vestiges organiques. Au Bas-Meudon passait la rivière qui, aux débuts des temps

1. *Traité de Paléontologie*, I, 41.

tertiaires, a déposé le conglomérat ossifère, avec crocodiles et tortues, grands oiseaux de rivage, tels que les *Gastornis* et une série d'autres formes retrouvées dans cette autre rivière qui coulait à une époque peu distante de la précédente, à Cernay, non loin de Reims.

Un exemple plus ancien, puisqu'il se rapporte à la limite mutuelle du terrain jurassique et du terrain créacé, a été découvert à Bernissart, en Belgique : une vallée qui devait être très pittoresque, à en juger par ses escarpements de marbre carbonifère, est maintenant enfouie à une centaine de mètres au-dessous de la surface du sol. Ce qui a permis d'en reconnaître le caractère, c'est la trouvaille de squelettes de gigantesques reptiles dinosauriens, dits *Iguanodon Bernissartensis* et dont le Musée de Bruxelles a réuni près d'une vingtaine d'individus complets<sup>1</sup>.

Les couches du sol contiennent des associations de débris marins et de débris d'eau douce qu'on ne peut expliquer, qu'en y reconnaissant des estuaires fossiles. Ainsi, dès les débuts de la sédimentation, les lits du vieux grès rouge d'Ecosse offrent le mélange de poissons marins et de débris provenant du continent. M. Dawson<sup>2</sup> a décrit avec beaucoup de détails les couches de Hamilton (Amérique du Nord) où les poissons marins sont associés à des troncs flottés de sigillaires et d'autres plantes terrestres, où l'on a même trouvé des insectes analogues à ceux qui vivent dans nos forêts.

Un détail plus délicat encore concerne les deltas, que certains de nos fleuves édifient dans la mer ou dans les grands lacs. Ces deltas ont une structure spéciale, main-

1. Dupont (E.). Sur la découverte d'ossements d'*Iguanodon*, de poissons et de végétaux dans la fosse Sainte-Barbe du charbonnage de Bernissart. *Bull. de l'Acad. Roy. de Belgique*, 2, XLVI, 387, 1878.

2. *Geology of Nova Scotia, or Acadian Geology*, in-8°, Londres, 1894.

tenant bien connue, et qu'on retrouve avec la plus grande perfection dans des terrains de tous âges, et même dépendant de l'époque primaire. C'est ainsi que, d'après les travaux de M. Fayol<sup>1</sup>, le dépôt de houille exploité à Commentry (Allier) résulte du mécanisme générateur des deltas.

Quant aux lacs fossiles, ils ont laissé pénétrer dans le détail de leur économie. On y a distingué parfois des particularités très menues et qui coïncident avec des traits des eaux douces actuelles. Pour nous borner à un seul fait, notons qu'un lac, remontant à l'époque permienne, c'est-à-dire à la fin des temps primaires, et qui a accumulé ses dépôts aux environs d'Autun, a donné naissance à une épaisse couche du curieux combustible désigné sous le nom de boghead et qui, d'après l'examen microscopique, résulte de l'accumulation d'innombrables thales d'algues sans aucun mélange de matière étrangère.

Bien d'autres particularités encore pourraient confirmer la ressemblance des lacs anciens avec les lacs actuels et c'est ce que nous montrerait l'histoire des phryganes. Pendant les belles journées d'été, nous voyons au travers des eaux claires au bord des lacs, des mares, des ruisseaux au cours tranquille, des objets qui ne peuvent manquer d'attirer l'attention : de petits cylindres de 2 centimètres de longueur et de 5 à 6 millimètres de diamètre, portant des pattes à l'un des bouts et se promenant activement sur le sol submergé. Ce sont des larves d'insectes destinés à voler un jour à travers les airs et qui, en attendant, sont sortis des œufs sous la forme de vers au tégument très fragile. Guidés par leur instinct, ils ont augmenté leurs chances de survie à bien des causes d'accident, en s'enve-

1. *Etudes sur le terrain houiller de Commentry*, liv. I, 4 vol. in-8° et atlas. Paris, 1887.

loppant d'une gaine de petits corps étrangers qu'ils ont agglutinés à la surface adhérente de leur épiderme. Suivant les espèces, les matériaux employés à la construction de cet étui protecteur changent : les uns sont formés de brindilles, les autres de grains de sable ténus, d'autres encore plus raffinés, de tests de mollusques, et spécialement de très petits planorbes. Quand la métamorphose finale est accomplie et que la phrygane (ou indusie) s'est envolée, les tubes laissés au fond de l'eau s'accumulent en lits de plus en plus épais ; et ce qui nous intéresse, c'est de savoir qu'à diverses époques géologiques, des phryganes se sont fossilisées de façon à témoigner de l'existence de lacs tertiaires, sinon plus anciens.

Peut-être n'est-il pas inutile d'ajouter qu'on pourrait reconnaître le plankton lacustre de différents âges à la présence de petits crustacés ostracodes, appelés *Cypris*, qui abondent dans nos eaux douces, et se retrouvent pareils, non seulement dans les couches dépendant de l'extrême base de terrain crétacé (wealdien de Wimereux) mais même en plein terrain carbonifère (butte de Saint-Priest, à Saint-Etienne <sup>1</sup>).

L'habitat thermal que nous avons reconnu pour les êtres que nourrissent les sources chaudes et même le bassin des geysers, semble devoir être attribué à divers organismes maintenant fossiles. C'est le cas pour des algues et spécialement des diatomées qui abondent dans l'opale concrétionnée de quelques localités et avant tout dans celle qui se présente au sein des assises tertiaires de Saint-Nectaire-le-Bas, en Auvergne.

**L'atmosphère fossile.** — En ce qui concerne l'atmosphère fossile, la distinction en plankton, necton,

1. Brongniart (Charles). *C. R. Acad. Sc.* LXXXII, 518, 1876.

SR. MEUNIER. — La Géologie biologique.

benthon, est extrêmement difficile à faire, bien que les trois états aient manifestement existé. Une foule de vestiges organiques sont renfermés dans les couches de tous âges qui sont tombées de l'atmosphère, même quand le sol était submergé et passent alors à l'état de plankton marin. Ce qui concerne la surface continentale, qui devrait nous transmettre les documents d'origine atmosphérique, est frappé par une cause de destruction permanente, tandis que le fond des mers est soigneusement emballé sous les sédiments qui se déposent à sa surface. La zone superficielle sub-aérienne est avant tout soumise à une érosion incessante, ce n'est que dans des points particuliers qu'il peut s'en conserver quelques portions, et encore seront-elles toujours fortement modifiées par les dépôts qu'elles supporteront. Nous en sommes réduits à rattacher aux dépôts planktoniques des lambeaux de sable à structure de dunes, pouvant renfermer des fossiles tombés de l'atmosphère, et surtout quelques lambeaux de terre végétale. L'exemple le plus classique concerne le *dirt bed*, de l'île de Portland, consistant en assises argileuses plus ou moins calcarifères, dans lesquelles sont encore en place des souches de cycadées. L'examen des échantillons permet de rattacher à des actions secondaires toutes les différences chimiques qui distinguent ces sols fossiles des terres végétales modernes, et l'on peut sans imprudence regarder comme démontré que l'histoire du sol arable est depuis l'origine parfaitement homogène.

M. Grand'Eury a étudié des sols fossiles dépendant du terrain houiller et qui confirment cette conclusion<sup>1</sup>. La disposition des racines des sigillaires, des arthro-

1. *Recherches géobotaniques sur les forêts et sols fossiles et sur la végétation et la flore houillère*, in-4°, 2 livraisons parues. Paris, 1912 et 1913.

pitus (fig. 7) et d'autres arbres dans les coupes de Saint-Etienne est en tous points comparable à celle de certains arbres actuels et surtout des *Taxodium* des marais américains. Il y a longtemps que les falaises du Cap-Breton, en Nouvelle-Ecosse, ont été signalées comme montrant, sur leur tranche toujours remise à vif par le travail de la mer, des forêts en place disposées suivant des



Fig. 7. — Coupe du terrain houiller de la Guinguette, auprès de Saint-Etienne (Loire), montrant la superposition de plusieurs sols fossiles portant les souches de forêts d'*Arthropitus*. — D'après M. Grand'Eury.

plans parallèles les uns aux autres, mais qui ont été fortement inclinés par des bossellements généraux postérieurs au dépôt.

Les êtres qui ont composé l'atmonecton, comme les reptiles, les oiseaux et les mammifères volants, aussi bien que les insectes, proclament que les conditions du régime atmosphérique devaient être sensiblement les mêmes que de nos jours. Le fait que des reptiles ont été en de certains moments en possession de la locomotion aérienne n'implique aucunement que l'atmosphère fut différente, mais simplement que ces animaux, pendant

DEPT SCIENCES DE LA TERRE  
DE LILLE  
FACULTE DES SCIENCES

une période plus ou moins longue, ont joui d'une énergie mécanique maxima. Pour l'expliquer, on pourrait à la rigueur recourir simplement à la supposition d'une modification anatomique très simple, grâce à laquelle le mélange, avec le sang richement hématosé, d'une proportion de sang noir, serait remplacée par une circulation complète. On remarquera aussi qu'une époque géologique, et précisément l'une de celles pour lesquelles on avait cru légitime de déclarer d'avance que des traces d'insectes n'y seraient jamais rencontrées, jouit précisément d'une série de formes entomologiques exceptionnellement volumineuses. Malgré leur grande taille, les phasmes, les blattes, les libellules houillères de Commeny, paraissent avoir eu exactement l'organisation de nos orthoptères et de nos pseudonévroptères modernes.

Il est indispensable d'ajouter que les insectes se sont rencontrés dans un grand nombre de gisements, dont quelques-uns sont plus anciens que l'époque carbonifère. Ainsi, l'on connaît au Nouveau-Brunswick, à Fern Ledges, près Saint-John, des couches dévoniennes qui ont procuré des vestiges de névroptères et même de pseudonévroptères décrits dans une demi-douzaine de genres divers.

Le terrain carbonifère a de son côté fourni des spécimens dans des localités très diverses, non seulement en Amérique, comme au Cap Breton, en Pensylvanie, dans l'Illinois, dans l'Arkansas, dans l'Ohio, mais encore en Belgique, à Saarbruck, en Bavière, en Angleterre et ailleurs.

En outre, il existe beaucoup de gisements plus récents depuis le trias de la Suisse et le lias d'Angleterre, jusqu'au jurassique de Solenhofen, le crétacé des Etats-Unis et le tertiaire de Provence.

Le necton atmosphérique a donc de tout temps été richement pourvu d'insectes.

La distinction entre le necton et le benthon vagile est ici particulièrement indécise, au moins en ce qui concerne les animaux supérieurs. Bien des oiseaux, bien des chauves-souris ont abandonné leur dépouille dans des cavités du sol correspondant à nos cavernes.

C'est à ce même benthon qu'il faut rattacher les traces ou pistes laissées par les animaux terrestres, comme les batraciens du terrain permien et du trias (*Cheirotherium*), les oiseaux du gypse et bien d'autres, avec cette circonstance que la conservation de ces intéressants vestiges suppose nécessairement dans les atmosphères géologiques les conditions qui déterminent de nos jours des pluies de poussière.

C'est bien entendu au benthon sessile qu'appartiennent les plantes constituant les forêts dont on a trouvé des représentants à toutes les époques, soit en place, soit dans les sédiments, où leurs débris avaient été charriés. Déjà dans le silurien, on trouve des branches d'arbres dans des dépôts d'estuaires, et dès le carbonifère, on a la preuve de la conformité du régime des végétaux arborescents avec ceux qui nous entourent.

**La zoosphère fossile.** — On voit nettement dans le passé, l'existence de la zoésphère, avec ses trois formes principales de parasitisme, de commensalisme et de symbiose et aussi avec ses trois subdivisions précédemment définies de plankton, de necton et de benthon. Et, bien qu'il soit difficile de retrouver tous ces détails et que les comparaisons qu'on en peut faire avec le présent soient pleines de lacunes, ce qu'on en sait suffit à démontrer l'uniformité complète des grandes lignes à travers le temps. Cette conclusion se présente avec un caractère d'autant plus intéressant que l'être vivant est un réactif incomparable, pour préciser les conditions de la vie, et qu'il ac-

quiert une acuité nouvelle quand il agit dans un milieu également vivant, intervenant de son côté par son propre témoignage.

Au point de vue du parasitisme, les documents sont fort nombreux. Des tests de coquilles de tous les âges présentent des perforations exactement circulaires, dues, sans aucun doute possible, aux entreprises d'animaux parasites cherchant à pénétrer jusqu'à l'animal enfermé dans la coquille. On est toujours frappé de l'identité de forme et de dimension de ces perforations, qu'elles se présentent sur un test actuel où l'on sait *de visu* comment elles ont été produites, ou sur un test géologique. Elles révèlent, chez bien des mollusques fossilisés, la possession d'une *radula* pareille à celle des glossophores d'aujourd'hui.

A côté, se signalent les bois percés par les tarets et qui, après leur charriage dans une mer où vivaient des xylophages, ont pu se silicifier et nous conserver ainsi avec la plus grande précision tous les détails des perforations. Ch. Brongniart a décrit un bois silicifié du gault avec des galeries qu'il attribue à un insecte voisin de nos *Botrischus*<sup>1</sup>. D'autres, du terrain houiller, sont comparables à nos *Hylésinus*.

La liste des végétaux fossiles qui ont été en proie au parasitisme serait très longue. Nous en extrairons seulement quelques types particulièrement nets.

Bernard Renault a consacré plusieurs années à l'étude microscopique approfondie d'un grand nombre de variétés de houille. Le premier, il a su rendre cette substance transparente, grâce à la prodigieuse minceur des coupes qu'il y a réalisées, et son premier résultat fut de ruiner sans retour l'assertion de Fremy pour qui la houille était essentiellement amorphe. Elle est, au contraire, remplie

1. *Ann. de la Soc. entomol. de France*, (5), VII, 245, 1876.

de débris organiques extrêmement variés et dont on peut déterminer l'histologie. Au cours de ses recherches, l'auteur a constaté à maintes reprises des altérations de ces tissus désagrégés, et en particulier, il a retrouvé dans la forme des corrosions qu'ils ont évidemment éprouvées, les traces de l'activité biologique de ce *Bacillus amylobacter* qui travaille si continument dans les tourbières d'aujourd'hui. C'est la preuve irréfutable que, dans les commencements au moins, la matière organique qui devait devenir de la houille a subi les conditions des parties mortes de nos tourbières. Des bois de *Calamodendron* de Commeny ont montré la présence de bactériacées, dans leurs rayons médullaires qui séparent les séries radiales des trachéides ligneuses des bandes prosenchymateuses. De même, les troncs d'*Arthropitus* de Saint-Etienne, ayant eu leurs vaisseaux remplis par l'introduction du mucilage doppléritique, Renault a reconnu dans celui-ci la présence du *Bacillus colletus*. Dans ce cas, l'observation en a été singulièrement facilitée par la complète silicification des échantillons; les coupes que nous avons eu l'avantage de voir personnellement sous la direction de Renault, montrent le microbe en longues chaînettes de petites cellules présentant parfois des commencements de ramifications. Il était intéressant de voir en même temps des échantillons de tourbe actuelle remplis de *Cladothryx Martii*. Ce microcoque se présentait, suivant les points, en chaînettes continues ou en cellules plus ou moins dispersées, provenant de leur désagrégation.

Maintes fois, Renault a rencontré, dans la matière des bois houillifiés, des filaments incontestablement mycéliens, appartenant au champignon qu'il a appelé *Hyphomycetes stephanensis*.

On rencontre souvent des empreintes de feuilles sur

lesquelles les organismes envahissants ont laissé des traces. Dans le terrain tertiaire, des feuilles de peupliers montrent des champignons, tels que *Sclerothium pustuliferum*. M. Patouillard<sup>1</sup> a décrit un champignon, *Dothidoites Nerii* sur un laurier-rose éocène du Boisgouet (Loire-Inférieure) A Bouxvillers, des schistes du miocène inférieur ont montré le parasitisme d'une algue, *Polysiphonites Kæchlini*; sur une autre algue, *Himantalia amphisyllarum*. Citons encore dans le terrain rhétien, c'est-à-dire à la base des terrains jurassiques, un champignon *Xylomides tuberculatus* formant des plaques arrondies sur les feuilles de *Zamites distans*. Dans le terrain houiller de Silésie, les pinnules de cette belle fougère, qu'on appelle *Calypteris conferta*, sont envahies par des champignons du genre *Excipula*. A la base du tertiaire, le D<sup>r</sup> Victor Lemoine<sup>1</sup> nous fournit une variante intéressante, avec une feuille de vigne du traver-tin de Sézanne, présentant une galle de phylloxéra, ou du moins de petites protubérances qui offrent une grande ressemblance de forme avec les pustules que ce puceron détermine sur la vigne moderne.

A côté du parasitisme, nous pouvons nous arrêter un moment au commensalisme, association d'êtres qui trouvent dans une même localité des conditions favorables à l'existence et qui s'y groupent de façon que le plus souvent les uns profitent des résidus alimentaires des autres. La plupart des formes de cette association, qui est si variée à l'époque actuelle, ne se sont pas conservées à l'état fossile. Pourtant, on voit sur certaines coquilles des traces qui rappellent les impressions des actinies sur les

1. *Soc. Sc. Nat. de l'Ouest*, 1893, p. 261, Nantes.

2. Communication faite devant le Comité central d'études et de vigilance de la Marne contre le phylloxéra, broch. in-8° de 12 pages avec 1 planche, Châlons-sur-Marne, 1884.

buccins, ou des colonies de bryozoaires sur des coquilles variées. Mais c'est surtout dans les massifs madréporiques que le commensalisme fossile se manifeste. Certains de ces édifices, dus avant tout à l'activité des coelentérés et appartenant à toutes les époques géologiques, nous offrent des collections d'animaux entre lesquels ont été conclues des associations très diverses et qu'on peut répartir en catégories nombreuses. Dans les récifs actuels, les polypiers sont associés surtout à des échinodermes, à des hydraires, à des bryozoaires, à des mollusques, sans compter que des plantes de la catégorie des algues calcaires incrustantes, comme les corallines, les nullipores et d'autres, représentent une portion notable du volume total. Il en est de même, aux formes zoologiques et botaniques près, depuis le crétacé jusqu'au cambrien. A titre d'exemple, citons le curieux amas de calcaire pisolithique de Vigny en Seine-et-Oise, où les polypiers des genres *Astrea*, *Ellipsomilia*, *Phyllosœnia*, *Enaltheia*, *Polytremacis*, sont accompagnés d'échinodermes, comme *Cidaris Forchammeri*, de pélécytopodes : *Lima*, *Crassatella*, *Cardium*, *Lucina*, de gastropodes, comme *Cerithium* et *Trochus*, de céphalopodes, comme *Nautilus* et *Belemnitella*, ainsi que de lits d'algues calcaires, du genre *Lithothamnium*.

Dans le jurassique, le séquanien des environs de La Rochelle (Charente-inférieure) étale sur la muraille verticale des falaises, d'Angoulins à la pointe de Cé, des massifs madréporiques où les polypiers sont associés à une faune de nérinées et de *Cidaris* correspondants aux corallicoles de notre temps. Il en est de même à Valfin, près de Saint-Claude, dans le Jura, pour un niveau peu différent, où des polypiers des genres *Stylina*, *Pachygyra*, *Dendrogyra*, *Thamnastrea*, *Thecosmilia* ont hébergé des mollusques comme *Cardium corallinum*, des nérinées de

nombreuses espèces, *Diceras* remplissant certaines couches et des oursins parmi lesquels les *Hemicidaris* se signalent par leur extrême abondance.

La symbiose, caractérisée par une association très intime des tissus des êtres contractants, apparaît surtout dans les deux types : radiolaire pour la zoologie, et lichen pour la botanique. Nous n'avons pas, après ce que nous venons d'en dire comme éléments de necton, à revenir sur l'abondance et le rôle des radiolaires. Mais remarquons que nous ne pourrions pas en comprendre l'existence sans admettre que leur protoplasma fut, comme celui de leurs congénères modernes, tout rempli d'algues respiratoires. Quant aux lichens, qui consistent, comme tout le monde le sait, en symbioses conclues entre un champignon (hyphe) et une algue, on en a surtout recueilli, tantôt dans le succin et tantôt dans des lignites dérivant d'écorces. A la première série, où les associations symbiotiques se signalent en outre comme parasites de feuilles et de rameaux renfermés dans l'ambre, appartiennent d'après Goppert<sup>1</sup> : *Parmelia*, *Sphærophoron*, *Cladonia*, *Ramalina*, *Cornicularia*, *Usnea*. Dans l'autre catégorie se rencontrent des lichens crustacés développés sur des écorces lignifiées : *Graphis*, *Opegraphos*, *Lecidea*, *Pyrenula*.

C'est ici la place de mentionner les importantes découvertes faites par Bernard Renault, au cours de ses études microscopiques, sur les déjections animales fossilisées, connues depuis longtemps sous le nom de coprolithes.

Les plus anciennement étudiés sont ceux que les *Ichthyosaurus* ont disséminés en si grand nombre dans les couches du lias (terrain sinémurien) de Lime Regis, en Dorsetshire. Leur structure spiralée tout à fait pareille à celle des déjections des poissons sélaciens actuels démon-

1. *Ueber der Flora des Bernsteins.*

trent que le même intestin spiral que possèdent ceux-ci entrait dans l'anatomie des reptiles jurassiques.

Depuis lors, c'est à ce niveau stratigraphique beaucoup plus ancien que Bernard Renault, avec parfois la collaboration de M. C. E. Bertrand<sup>1</sup>, a découvert de véri-



Fig. 8. — Coprolithe d'un batracien permien d'Igornay, près Autun. — D'après Bernard Renault.

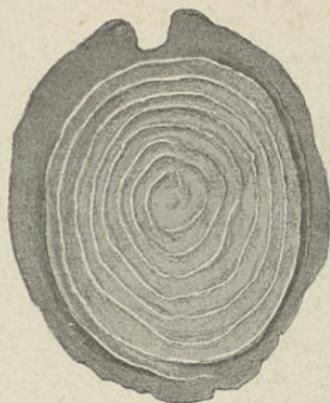


Fig. 9. — Coupe transversale d'un coprolithe d'Igornay, près Autun, montrant par sa spirale interne que l'intestin des grands batraciens permien était construit sur le modèle de l'intestin des poissons sélaciens d'aujourd'hui. — D'après Bernard Renault.

tables colonies coprophiles datant des temps permien. Ces microbes voisins des *Micrococcus* et des bacilles (fig. 10), ressemblent extrêmement à ceux qui habitent maintenant l'intestin des êtres supérieurs et qui donnent lieu, suivant les espèces, à des maladies variées.

Il faut mentionner la trouvaille, parmi les fossiles, de microbes voués à la transformation des résidus

1. Un excellent résumé de ces belles recherches se trouve dans l'ouvrage intitulé : *Notice sur les travaux scientifiques de M. Bernard Renault*, p. 92 et suivants, 1 volume in-4° avec planches, Autun, 1896.

organiques, dont les analogues se trouvent actuellement dans les tourbières et dans les vases submergées où des substances animales ou végétales sont en voie de décomposition. Le type est fourni par *Steptothryx anthracis* (fig. 11) et par *Amylobacter*, bactérie destructive des

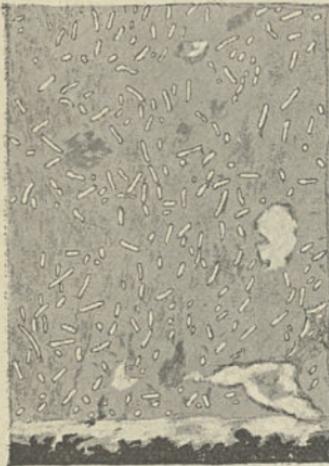


Fig. 10. — *Bacillus permienensis*, B. Renault et C.-E. Bertrand, dans la substance d'un coprolithe provenant d'un batracien (*Actinodon*) du terrain permien d'Autun (Saône-et-Loire). — D'après Bernard Renault.

membranes cellulosiques et productrice d'amidon, qui compte parmi les principaux agents de la destruction des végétaux de notre flore. On le trouve en abondance dans la houille, où malgré son état fossile, il a conservé les traits essentiels des organismes d'aujourd'hui, ainsi que l'ont démontré les études de M. Van Tieghem et de Bernard Renault<sup>1</sup>.

Les cadavres des animaux nourrissent les nécrophages, auxquels on peut sans doute rattacher les micro-organismes qui président à la carie des os et des dents et qui, au moins dans les terrains récents, ont laissé des traces de leur intervention dans la denture altérée d'ours et d'hyènes quaternaires.

Enfin, un genre de localités où la vie s'est établie avec une abondance spéciale, c'est la masse des détritits vivants. On appelle les roches qui résultent de ces réactions des *sapropélites* (de *saprotès* pourriture). Il s'agit

1. *Sur quelque micro-organisme des combustibles fossiles*, 1 vol. gr. in-8°, avec Atlas, Saint-Etienne, 1900.

de ces petits organismes innombrables qui procèdent à la destruction de la matière animale ou végétale enfouie dans certaines vases sous-marines, et particulièrement abondantes au fond de bassins marins fermés ou dont les communications avec l'océan général sont difficiles. Il n'y a guère qu'une localité à l'époque actuelle où les condi-

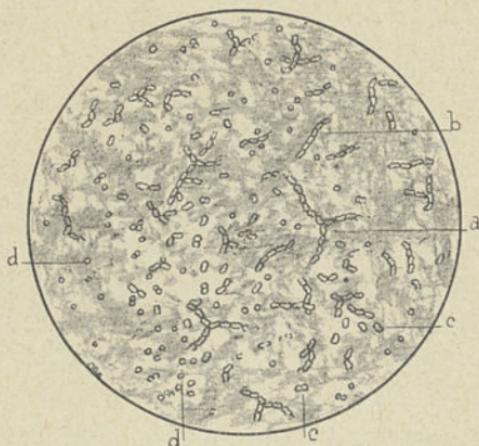


Fig. 11. — *Streptothryx anthracis*, au grossissement de 1.500 diamètres.

*a*, individu entier divisé en trois branches ; *b*, une branche désarticulée formant chaînette ; *c*, article isolé ; *d*, spores disséminées dans la houille. — D'après Bernard Renault.

tions dont il s'agit soient réalisées sur une échelle considérable : c'est la profondeur de la Mer Noire. Les sondages y révèlent la présence d'une espèce de putrilage général, dont la teinte très sombre a donné lieu, dit-on, à l'appellation de cette mer. Des géologues ont émis l'opinion qu'en des époques antérieures, les localités ayant ces conditions particulières ont dû être plus nombreuses, et c'est dans leurs abîmes que se seraient élaborées ces roches noires, de nature calcaire et plus rarement schisteuse dans lesquelles les fossiles définis sont rares, mais qui sont

partout imprégnées de matière animale, au point de répandre une odeur organique sous l'influence de la chaleur ou d'un simple choc<sup>1</sup>.

Sans revenir sur la nature des substances que la distillation peut en retirer, et que nous avons déjà mentionnées, il convient ici de constater que ces roches caractérisent un faciès marin, où l'action microbienne est particulièrement active<sup>2</sup>.

Les niveaux géologiques où les sapropélites sont le mieux caractérisées et le plus abondantes, sont les marbres paléozoïques et, à un niveau beaucoup moins ancien, les schistes bitumineux à *Posidonomya Bronni*, du terrain toarcien et le marbre noir à *Hippurite* de Bagnères.

**Matières carbonées et azotées d'origine animale.** — C'est ici la place de remarquer que des matières animales jouent dans certains cas au sein des roches, un rôle analogue à celui des combustibles de la catégorie des houilles. On reconnaît alors que les débris animaux, au même titre que les débris de plantes, et plus énergiquement encore, ont modifié autour d'eux des zones rocheuse, plus ou moins grandes. On imite ce résultat par l'expérience. Il suffit de faire chauffer, entre deux plaques d'argile corroyée, le cadavre d'un petit animal (comme un poisson), ou un rameau de fougère, pour voir, après la cuisson, toute la roche chargée de matière charbonneuse résultant de la décomposition des matières volatiles engendrées par la distillation. M. Spring<sup>3</sup> a démontré que les calcaires fétides (*Stinkal*) du terrain houiller doi-

1. Sallée (A.). *Soc. belge de Géologie, de Paléontologie et d'Hydrologie*, t. XXV, p. 133, Bruxelles, 1914.

2. *Ann. Chim. et phys.*, 4, XVIII, 240.

3. *Ann. Soc. Géol. de Belgique*, XVI, p. LXVI, 1889.

vent l'odeur qu'ils répandent par le choc ou par l'application de la chaleur à la matière animale qui les imprègne et qui consiste en un mélange de phosphamine et d'hydrogène sulfuré.

De toutes parts, nous rencontrons des roches analogues : les marbres noirs sont colorés par le charbon, résidu de distillation des corps organiques ; les pyroschistes cèdent, aux appareils distillatoires des usines, des huiles qui sont vraiment extraites de la substance vivante des époques passées ; les schistes d'Autun, qui ont été si longtemps et si fructueusement exploités, nous procurent des extraits de poissons (*Amblypterus*, *Pleuracanthus*, *Acanthodes*, *Palæoniscus*, etc.), de batraciens (*Protriton*, *Pleuronoura*, *Actinodon*, *Euchyrosaurus*, *Stereorachis*, etc.) en même temps que des plantes, comme des sigillaires, des conifères (*Walchia*), des fougères (*Callipteris*) et surtout des algues d'eau douce (*Pila bibractensis*) étoffe presque exclusive de ce combustible remarquable qu'on appelle le *boghead*.

Il en serait de même pour le singulier lignite papyracé du terrain tertiaire des environs de Syracuse qui, malgré sa couleur gris cendré, est imprégné de principes fournis par les cadavres de poissons, à tel point que l'odeur qu'il dégage en brûlant lui a valu anciennement la dénomination pittoresque de *stercus Diaboli*, que le géologue Cordier a pudiquement traduite par la qualification de *dysodyle*.

Les considérations qui précèdent nous ramènent, pour la compléter, à la question de l'accumulation dans les roches fossilifères et dans leur voisinage, de substances organiques dérivant de ces fossiles. A cet égard, des faits intéressants concernent l'existence de matériaux extractibles par distillation au sein de certaines roches dont l'âge n'est pas nécessairement identique au leur.

Déjà Buquet <sup>1</sup>, dans son *Introduction au règne Minéral*, signale le caractère fugace du principe colorant de certains silex qu'il suffit de chauffer pour les blanchir complètement. Neumann <sup>2</sup> annonçait la possibilité d'obtenir, par la distillation des silex et des agates, une liqueur semblable à l'huile : « elle verdit le sirop de violettes et l'addition de l'acide vitriolique produit le dégagement d'un esprit de sel volatil ».

En 1806, Klaproth <sup>3</sup> dégage par le feu 1 p. 100 de substance du silex noir qui devient gris. Fournet <sup>4</sup>, qui occupa avec tant d'éclat la chaire de minéralogie à la Faculté de Lyon, a confirmé ces résultats et en a poussé l'étude avec beaucoup de soin. Un grand nombre de roches lui ont fourni, par le procédé distillatoire, une substance organique à laquelle il a donné le nom de *caméléon organominéral*, qui rappelle les changements de sa nuance, selon les circonstances : bleu verdâtre quand elle est humide, elle devient brun orangé quand elle est sèche.

Parmi les sources où l'auteur a puisé les matériaux de son travail, il cite une argile très plastique et si poreuse qu'elle se gonfle au contact de l'air, au point de renverser les murs des galeries de mines et de broyer les briques, et qui, avec 55 mètres de puissance, encaisse le filon de galène de Kef-oum-Theboul, près de La Calle, en Algérie. La distillation donne de l'eau et une huile empyreumatique, mais on peut extraire la substance par l'eau froide, par l'alcool, ou par l'éther. Fournet la « compare à la matière dichroïque verte et rouge qui se produit dans les eaux minérales de Vichy » et ajoute « que des bancs pétris

1. D'après Fournet, *C. R. Acad. Sc.* L, 1175.

2. *Prælectiones Chemiæ* cité d'après Fournet. *Le Mineur*, in-8°, Lyon,

3. *Mémoires de Chimie*, 2 vol. in-8°, Paris, 1807.

4. *C. R. Ac. Sc.*, LI, 79, 1860.

de Cypris paraissent être, à Vichy, le point de départ de cette matière colorante organique<sup>1</sup> ».

D'après Husson<sup>2</sup>, on obtient des résultats comparables si on ajoute à l'action de la chaleur, celle d'un réactif convenable. Cet auteur mélange, par exemple, 100 grammes de pierre à chaux, de l'oxfordien de Bourgogne, avec 10 grammes de potasse hydratée et chauffe au rouge dans une cornue de verre. Des vapeurs épaisses se condensent en un liquide jaunâtre à odeur empyreumatique, rappelant celle des huiles animales. Répétons que l'alcalinité de ce produit peut avoir une intéressante signification en évoquant le souvenir de l'alcalinité de la mer.

Un autre exemple qui nous a personnellement intéressé, à cause de la nature de la roche étudiée, concerne les bancs de phosphate de chaux de Tebessa, en Tunisie. Quand on dissout cette roche dans l'acide chlorhydrique, elle dégage une odeur organique très sensible et la distillation en retire en abondance le liquide précédemment indiqué.

Dans cette série, la craie blanche mérite une mention particulière, à cause des conséquences que Béchamp<sup>3</sup> prétendait tirer des observations microscopiques qu'il avait faites à son égard. Après en avoir déterminé la composition chimique qui comprend :

Carbone. . . . .	1,053
Hydrogène . . . . .	0,740
Azote . . . . .	0,0128

cet auteur a cru pouvoir l'attribuer à des êtres organisés, de la catégorie des microbes, qui détermineraient des

1. *C. R.*, LI, 418, 1860.

2. *C. R. Ac.*, LXXXIII, 456, 1876.

3. *C. R. Acad. Sc.*, LXIII, 454, 1866.

phénomènes de fermentation quand on les met en contact avec certaines substances altérables. Il leur a imposé le nom de *Microzyma cretæ*, qui suppose que ces protoorganismes n'ont pas un âge géologique, mais seraient actuellement vivants dans le sein même de la roche qui les fournit.

Il n'y aurait évidemment pas d'impossibilité *a priori*, à ce que les pores d'une roche d'âge quelconque fussent habités par des êtres microscopiques appartenant à la série vivante d'aujourd'hui, et ce ne serait en somme qu'une variante de l'état des choses que nous avons cité précédemment dans les vases submergées. Toutefois, l'admission du fait doit être entourée des garanties les plus sérieuses, et il faut bien reconnaître que les conclusions de Béchamp ont été absolument contredites par MM. Chamberlan et Roux<sup>1</sup>, à la suite d'expériences instituées à la demande de Pasteur.

Ajoutons, pour compléter ce qui concerne ce sujet, que dans sa séance du 14 avril 1913, l'Académie des sciences a reçu de M. Raphaël Dubois une note sur les corpuscules arrondis ou ovoïdes, avec vacuole centrale que ce naturaliste a observés dans la craie. Il les compare à ses vacuolides et les rapporte aux coccolithes, évidemment disposé à les regarder comme actuellement vivants, ce qui serait un renouvellement de la doctrine de Béchamp<sup>2</sup>.

La longue énumération à laquelle nous venons de nous livrer fait ressortir le souci dont la Nature a donné d'innombrables preuves, de construire des êtres façonnés spécialement en vue de se satisfaire des conditions de tous les genres de milieu. Pourvu que les agents indispensables

1. C. R. Acad. Sc., XCII, 1165, 1292, 1347 et 1467; 1881.

2. C. R. Acad. Sc., CLVI, 1175; 1913.

à l'entretien de la vie puissent y parvenir, des êtres existent dans toutes les localités et y jouissent de dispositions admirablement coordonnées, jusque dans les détails les plus menus, pour correspondre aux conditions de l'ambiance. C'est évidemment la grande diversité de ces conditions qui est cause, pour une part, de la variété des formes animées.

---

## CHAPITRE IV

### LA FONCTION BIOLOGIQUE DANS LA GÉOLOGIE ACTUELLE

Maintenant en possession de détails relatifs aux rapports les plus larges des êtres vivants avec le milieu ambiant, rien ne nous retient plus pour pénétrer dans l'étude du rôle de ces êtres comme agents géologiques, c'est-à-dire comme facteurs de l'évolution planétaire.

Avant tout, il faut montrer que, comme les autres agents telluriques, ils jouissent de deux attributs principaux et opposés : 1<sup>o</sup> celui d'édifier des masses rocheuses ; 2<sup>o</sup> celui de détruire des roches préexistantes. Ce sont là les deux faces nécessaires de l'étude de tous les facteurs de l'activité géologique ; la mer, par exemple, attaque ses côtes, érode son fond, et d'un autre côté, accumule des masses rocheuses. Dans bien des cas, ces deux formes cependant opposées, s'associent intimement l'une avec l'autre et parfois c'est simultanément que se réalisent l'érosion et la sédimentation. A Dieppe, les produits de désagrégation de la falaise sont immédiatement incorporés dans les sédiments de formation actuelle.

Il en sera de même ici bien souvent. De plus, il est très rare qu'une forme de l'activité géologique soit seule à l'œuvre dans l'accomplissement d'un travail donné. Dans l'attaque de la falaise interviennent, outre la mer, la pluie, le vent, le gel et le dégel. De même, l'être vivant

se trouvera en collaboration avec d'autres agents. Nous reconnaitrons même plus d'une fois, que l'étude de phénomènes rattachés d'abord à un mécanisme entièrement minéral nous les a révélés comme dus, pour une part, à l'intervention de l'activité biologique.

Ces remarques nous préparent à l'acceptation d'une classification de notre sujet, qui ne sera peut-être pas aussi précise que le désireraient certains esprits méthodiques avant tout, mais qui, à notre avis, en sera d'autant plus intéressante, parce qu'elle constituera une interprétation d'autant plus exacte des faits.

Cette classification peut se faire, soit au point de vue prédominant de la géologie, soit au point de vue prédominant de la biologie. Dans le premier cas, elle admettra deux grandes divisions primordiales, d'après le caractère érosif ou édificateur des phénomènes ; et dans l'autre, d'après le caractère botanique ou zoologique des organismes en action. Mais, ni d'un côté ni de l'autre, nous ne pouvons espérer des limites précises. Pas plus qu'une séparation complète de la litholyse et de la lithogenèse, nous ne pouvons prévoir une distinction nette entre la botanodynamique et l'activité animale. Il nous faut tout d'abord, et sans arrière-pensée, accepter la combinaison, de toutes les façons diverses, de ces différents points de vue et nous borner à en conclure l'un des caractères les plus frappants de la Nature, où les objets sont en relations mutuelles aussi multiples que variées et ménagées, au contraire d'une science où ces mêmes objets seraient rangés dans des sections séparées les unes des autres par des cloisons étanches, et ne manifesteraient des unes aux autres, que des différences pouvant s'exprimer par une classification linéaire.

En résumé, nous allons séparer notre sujet en deux parties principales : l'édification et l'érosion des masses géolo-

giques. Chacune de ces parties se scindera, à son tour, en deux chapitres : l'un botanique et microbien ; l'autre, zoologique. Enfin, pour chacun de ces groupes, nous aurons à considérer l'habitat, ou au moins l'un des habitats des êtres que nous verrons à l'œuvre, celui qui nous paraîtra le plus caractéristique pour notre objet : atmosphérique, hydrosphérique, zoésphérique.

#### L'ÉDIFICATION BIOLOGIQUE DES ROCHES

**Roches de charriage.** — L'être vivant détermine la production d'accumulations de matériaux qui, avec le temps, prennent le volume et les caractères des roches proprement dites. Dans le plus grand nombre des cas, il livre aux agents ordinaires de sédimentation des parties de son propre organisme, capable de conservation, telles que les coquilles, les carapaces chitineuses, ou les os. Suivant les circonstances, ces objets sont tout simplement abandonnés par l'animal au moment de sa mort, dans une localité où ils doivent rester, ou bien, ils sont le jouet de courants ou d'autres causes de déplacement, qui les transportent plus ou moins loin, et d'ordinaire réalisent des séparations et des triages, d'après les diverses circonstances, de forme, de poids ou de densité. Ce dernier point nous expliquera la réunion fréquente d'objets animaux, dans des lieux où évidemment la vie des êtres dont ils proviennent n'a pas pu s'accomplir.

A cet égard, un premier aperçu résulterait d'une simple promenade sur une de nos plages argilo-sableuses de la Manche, au moment de la marée basse. On verrait sur certaines surfaces, des mollusques réunis comme en société et cela sous deux formes principales ; tantôt ce seraient des moules, rangées les unes à côté des autres, de façon qu'en certains points, le lit de la mer en est entièrement tapissé

tantôt des huîtres qu'on retrouverait un peu plus loin de la côte, formant de véritables bancs par la superposition d'individus vivants sur les tests de leurs ancêtres.

Mais on ne tarderait pas à voir un autre mode de rassemblement des mollusques. En quittant le rocher pour marcher sur le sable, on détermine à chaque pas, la projection verticale de petits jets d'eau bien faits pour éveiller l'attention. Un trou de bêche creusé au point d'où ces aspersiones sont parties en montrera immédiatement la cause. Des milliers de mollusques, du genre mactre, sont rangés verticalement dans le sol gorgé d'eau, de façon à amener au niveau de celui-ci l'ouverture de leurs siphons. Ils sont là, bâillant, prenant quelque chose comme un bain d'air, comparable au bain de mer que les êtres aériens vont s'administrer de leur côté. Mais l'approche du promeneur les a incités à la prudence, et c'est en fermant leurs valves, qu'ils ont lancé les petits jets d'eau qui les a trahis. On comprend qu'à la mort de ces animaux il y ait beaucoup de chances pour que leurs coquilles restent en place, plus ou moins détériorées quelquefois, par le travail de certains microbes qui imprègnent véritablement le sol submergé et qui se nourrissent de la matière organique des valves de coquilles, proclamant bien ainsi qu'elles ne consistent pas en carbonate de chaux, mais en un composé où les éléments non minéraux jouent un rôle de première importance.

En outre, la même excursion sur la même plage, procure la rencontre de petites régions dans chacune desquelles se trouvera un genre de débris organiques, à l'exclusion des autres. Cette distribution résulte du triage mécanique, déterminant la concentration en des points plus ou moins voisins, de graviers de grosseur moyenne, de galets ou de sable fin. Sans modifier le fait général d'où résultent les cordons littoraux, ces circonstances

de détail nous mettent sous les yeux la complication de la circulation sous-marine et l'existence, au voisinage les uns des autres, de filets liquides dont la puissance de transport varie avec la vitesse.

Une fois les causes des triages ainsi indiquées d'une manière générale, nous pouvons deviner que les caractères physiques des roches de charriage d'origine animale devront différer entre elles profondément par la grosseur de leurs éléments, même lorsque le lieu de leur production, n'étant plus littoral, appartiendra à la profondeur sous-marine. Des animaux associés au sein du necton ou du plankton et cessant de vivre, leurs dépouilles parcourront des trajectoires différentes les uns des autres, en raison de la nature et de l'intensité des forces auxquelles ils seront soumis. Les principales de celle-ci seront la pesanteur d'un côté, et l'impulsion des courants de l'autre. Si on considère d'abord un débris lourd et volumineux, la pesanteur pourra avoir sur lui une influence très supérieure à celle du déplacement latéral et il parviendra sur un point du fond marin, qui pourrait être très près du nadir du point de chute. Dans le cas opposé, c'est-à-dire si l'objet est très petit ou très léger, l'action de la pesanteur sera considérablement dépassée par celle du courant, et le point d'arrêt sur le sol submergé pourra être extrêmement éloigné du précédent.

Ces remarques ont pour but de nous fournir des documents quand il s'agira de refaire l'histoire des roches de toutes les époques et de nous mettre en garde contre cette conclusion souvent fausse, que des débris qu'on trouve ensemble viennent nécessairement d'animaux qui étaient associés pendant leur vie, ou bien que des vestiges qui gisent très loin les uns des autres, proviennent d'animaux qui n'ont eu aucun rapport mutuel.

Pour que de très petits êtres, ou plutôt pour que leurs

très petites dépouilles viennent s'accumuler dans une localité déterminée, il faut nécessairement qu'en ce point-là, agisse une cause d'atténuation de la vitesse du courant de transport. Le voisinage des côtes figure au premier rang de pareilles dispositions et cela nous permettrait de prévoir que des coquilles d'êtres ayant vécu dans les régions médianes des océans, constitueront des accumulations dans le domaine littoral. C'est ce que la mer actuelle nous montre à chaque instant pour des sables dont chaque grain est une coquille de foraminifère ou de radiolaire.

« Le sable du littoral des mers, a dit Alcide d'Orbigny, dans un passage souvent cité, est tellement rempli de rhizopodes qu'il s'en montre quelquefois à moitié composé. Plancus en a compté 6.000 dans une once de sable de l'Adriatique et nous en avons trouvé jusqu'à 480.000 par 3 grammes de sable choisi des Antilles ; ou 3.840.000 dans une once. Ces proportions, multipliées dans un mètre cube, dépassent toutes les prévisions humaines et grossissent tellement le nombre des chiffres qu'on a de la peine à le saisir ; mais que sera-ce, pour peu qu'on l'étende à l'immensité de la surface des côtes maritimes du globe ? Les restes des rhizopodes forment, en grande partie, des bancs qui gênent la navigation, obstruent les golfes et les détroits et comblent les ports, ainsi que nous en avons la preuve par celui d'Alexandrie. »

Une conséquence de ces modes de dépôts, c'est qu'on pourrait reconnaître, à la distribution des organismes, la direction de certains courants. On sait que le gulf-stream détermine une accumulation de tests d'animaux microscopiques, au point que le sol en a été exhaussé d'une quantité suffisante pour que les massifs de polypiers coralligènes aient pu s'y établir.

L'abondance avec laquelle les animaux engendrent des roches d'origine marine, se continue en ce qui concerne

les faunes saumâtres. Dans les lagunes de la Louisiane et de l'Alabama, les *Gnatodon*, mollusques comparables aux cyrènes, édifient sous nos yeux des bancs d'une dimension considérable. Par suite des phénomènes locaux, des bancs de coquilles mortes de 1 mètre à 1<sup>m</sup>,20 d'épaisseur se voient jusqu'à une distance de 32 kilomètres du rivage de la lagune. La ville de Mobile est bâtie tout entière sur un banc de ce genre, et à l'extrémité orientale du lac qui l'avoisine, on voit un amas coquillier mesurant 1.600 mètres de longueur, près de 60 mètres de large et 4<sup>m</sup>,50 d'épaisseur. Dans certains endroits, il s'élève même à 6 mètres au-dessus du niveau du lac et constitue une matière première exploitée avec activité pour la fabrication de la chaux.

Les *Etheria*, dont on peut se faire une idée en les qualifiant d'huitres d'eau douce, sont remarquables par la dimension gigantesque des bancs qu'elles constituent dans les lits du Nil et du Ségénéal. Malgré leur âge actuel, la substance qu'elles composent est exactement propre aux mêmes usages que les calcaires géologiques.

Aux Bermudes, d'après Nelson, il existe un banc actuel de *Venus pennsylvanica*, qui se continue sur 4 milles de longueur, avec une épaisseur de 1<sup>m</sup>,60.

On peut faire, relativement aux dépôts marins de radiolaires, des observations très analogues à celles qui concernaient tout à l'heure les foraminifères. Comme on l'a vu précédemment, ce sont des animaux dont les carapaces caractérisent certaines régions sous-marines. Leur petitesse explique qu'ils puissent être transportés par les courants à de grandes distances et leur nature chimique, consistant presque exclusivement en silice peu hydratée, leur procure souvent une insolubilité relative qui assure leur persistance dans des localités où des débris calcaires ont pu disparaître.

Le transport par les courants marins est singulièrement facilité quand les objets charriés sont moins denses que l'eau et flottent par conséquent dans sa masse ou à sa surface. C'est ce qui a lieu avant tout pour des bois qui, déversés dans la mer par les fleuves, sont repris par des courants océaniques et conduits ainsi à des distances gigantesques. Nous avons un type remarquable de ces circonstances dans le dépôt, sur la côte de l'Islande et par le moyen du gulf-stream, de débris végétaux rejetés par le Mississipi dans les flots du golfe du Mexique. C'est le *surturbrand*, variété de bois bruni ou lignite, qui au fond de la baie de Virki, dans le Vapna-Fiodur, offre son gisement le plus considérable avec 110 mètres de longueur et 12 mètres d'épaisseur. Le bois bruni admet des lits plus ou moins argileux contenant *Cyprina islandica*, *Mya arenaria*, *Tellina scellidula*, *Natica clavus*, dont les tests sont ordinairement remplacés à la suite de leur destruction microbienne, par spath calcaire et qui sont toutes d'espèces continuant à vivre en abondance sur la côte. Le tout est enfoui dans le tuf ponceux et trachytique ou *trass*, dérivant des volcans islandais. En Sibérie, auprès de l'embouchure de l'Iénisseï, est une plage jadis décrite par Eugène Robert, « qui surpasse en hauteur toute la contrée par l'abondance du bois bruni qui la compose. Il n'y a d'ailleurs dans le pays aucune végétation arborescente <sup>1</sup> ».

**Récifs madréporiques.** — Parmi les formations actuelles d'origine biologique dont l'étude est le plus riche en applications géologiques, les récifs madréporiques occupent une place tout à fait exceptionnelle, ne serait-ce que par leur volume.

1. Voyages de la Commission scientifique du Nord, exécutés en 1838 et 1840 sur la corvette la *Recherche*; *Géologie*, p. 151. 1 vol. in-8°. Paris (sans date).

Conformément à l'opinion générale, nous distinguons trois types parmi ces formations : les récifs frangeants, les récifs barrières et les atolls.

Les récifs frangeants ou ceintures de récifs bordent immédiatement la terre ferme. L'un des exemples les plus nets et les plus remarquables par ses dimensions est fourni par la presqu'île de Floride dont la pointe méridionale offre, d'après Agassiz, une succession véritable de rivages concentriques d'où s'écartent des récifs barrières qualifiés dans le pays de *keys* (clef) et qui marquent peut-être le rivage futur comme par un jalonnement.

Les récifs barrières se détachent du rivage, pour accompagner la côte pendant un certain temps en laissant entre eux et elle une sorte de canal très régulier. Ils ont une tendance, une fois commencée, à se continuer suivant une ligne plus ou moins droite au travers du bassin océanique. La Nouvelle-Calédonie nous offre un exemple remarquable de ces formations : cette grande île, orientée sensiblement du N.-O. au S.-E., avec une forme très allongée, présente vers le milieu de sa longueur et également sur sa côte N.-E. et sur sa côte S.-O. des récifs frangeants parfaitement caractérisés, dont chacun est comme le port d'attache et le point de départ d'un récif barrière, qui se continue à des centaines de kilomètres de distance.

Enfin, un atoll est un récif isolé en plein océan, consistant en un étroit cordon exondé entourant un lac intérieur, dit lagoun. Déjà, en 1605, François Pyrard, de Laval donnait de l'atollon de Pentecôte (île Whitsunday) cette description concise : « C'est une merveille de voir chacun de ces atollons environné d'un grand banc de pierre tout autour, n'y ayant point d'artifice humain. »

La structure générale d'un récif comprend une partie vivante submergée, formée des organismes dont nous cite-

rons les principaux ; une partie morte émergée et une partie interne ou centrale qui non seulement a cessé de vivre mais a subi, depuis la disparition des êtres qui l'ont secrétée, des modifications de structure et de composition. A mesure qu'on pénètre dans sa masse, on voit l'anatomie des animaux producteurs, avant tout des coelentérés, perdre de sa netteté ; du calcaire s'isole aux dépens de la matière complexe de l'origine ; et retombant sous l'empire des forces inorganiques, il revêt bientôt la livrée des espèces minérales ; il se clive selon les faces du rhomboèdre.

Au point de vue de la composition, cette même région, nucléaire des récifs s'enrichit fréquemment en magnésie, devient dolomitique et peut même atteindre la composition de la dolomie proprement dite.

**Roches d'origine végétale.** — De même que les animaux, les végétaux édifient des masses rocheuses souvent considérables. Tout d'abord, les débris végétaux peuvent, par leur concentration dans une localité favorable à la fossilisation, donner naissance à des masses comparables à celles qui entrent dans la constitution du sol. A cet égard, nous devons rappeler les analogies, au point de vue général, des algues microscopiques libres qualifiées de diatomées, avec certains protozoaires qui nous ont occupés précédemment. La nature siliceuse des frustules de ces diatomées les rapproche à première vue des radiolaires qu'elles dépassent en importance géologique, à cause de leur variété d'habitat.

Les diatomées, en effet, ne se bornent pas à remplir les mers, comme les radiolaires ; on en trouve aussi dans les eaux douces continentales et même dans des gisements plus exceptionnels, comme le bassin des geysers, et les cavernes ouvertes dans les flancs de certains volcans.

Dans la mer, elles caractérisent, comme on l'a vu, de certaines zones bathymétriques assez bien définies. Les boues à diatomées sont comme un symétrique des boues à radiolaires; elles font pendant leur vie, partie du plankton comme ceux-ci, mais elles affectent une attraction pour les mers froides, vers lesquelles les radiolaires sont beaucoup moins portés. Leur abondance y est même si grande parfois, que l'aspect des eaux en est changé et qu'elles sont alors un des éléments prépondérants du plankton de surface. C'est après leur mort que leurs frustules sont précipitées dans les bas-fonds et on pourrait dire pour leur transport par les courants, ce que nous disions relativement aux foraminifères.

Quant aux diatomées d'eau douce, elles se rencontrent, dans des ruisseaux, dans des étangs, dans les nappes d'eau subordonnées à des roches poreuses constituant le fond de marécages ou le milieu générateur de tourbières.

Au fond de ces nappes s'accumule une boue dont chaque grain est une plante microscopique et ce genre de production a été souvent désigné sous le nom de terre édule ou de « farine fossile » (quoiqu'elle soit de formation actuelle), à cause de l'usage alimentaire qu'on en peut faire. En Laponie, dit-on, la découverte d'un gîte d'une semblable formation a une valeur si grande qu'on la qualifie de « don du Grand Esprit », et dans l'Amérique du Sud certaines populations sont remarquables par la prééminence de leur abdomen, conséquence de l'usage quotidien de la diatomépélite. En Auvergne (fig. 11), non loin de Randan, on trouve, immédiatement sous la terre végétale une assise grisâtre encore vivante en partie et qui est formée d'un mélange de diatomées appartenant surtout aux genres *Gallionella*, *Surirella*, *Gomphonema*, *Synedra*, *Coscinodiscus*.

Au-dessous de Berlin, à une profondeur de 7 mètres,

existe une couche de tourbe argileuse remplie de diatomées et de protozoaires, qui y vivent et s'y propagent, grâce sans doute à l'humidité que la Sprée entretient dans le sol. Ces êtres microscopiques existent jusqu'à une profondeur de 20 mètres.

Des couches analogues se rencontrent à Franzensbad et à Bilin, en Bohême; à Planitz, en Saxe; à Santafore, en Toscane. C'est même dans ces localités qu'Ehrenberg<sup>1</sup> a pour la première fois signalé l'existence des diatomées et il a évalué à 41 milliards, le nombre des frustules qu'on y rencontre par pouce cube.

Un dernier gisement à mentionner ici de ces mêmes

êtres, en masse suffisante pour qu'on y voie une véritable formation géologique, c'est l'épaisseur de certains cônes volcaniques, dans les cavités desquelles les algues se multiplient si bien que les premières cendres lancées au début des éruptions sont formées avant tout de leurs carapaces. C'est ce qui est arrivé le 2 septembre 1845, lors d'une éruption de l'Hécla en Islande, où les îles Shetland et les Orcades ont été, malgré la distance, sau-

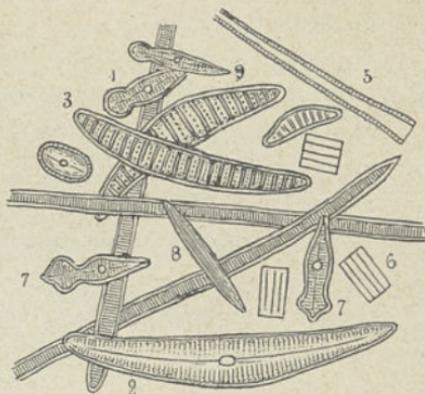


Fig. 12. — Farine fossile de Ceyssat (Puy-de-Dôme).

- 1, *Synedra capitata*; 2, *Cocconema asperum*; 3, *Eunotia granulata*; 4, *Cocconema asperum*; 5, *Synedra Ulma*; 6, *Fragilaria rhabdosoma*; 7, *Gomphonema laticeps*; 8, *Pinnularia amphyxis*; 9, *Gomphonema truncatum*; 10, *Gomphonema mustela*; 11, *Cocconeis lineata*.

1. *Mikrogeologie des Erden und Felsen schaffende*, etc., 2 vol. in-folio avec 40 planches, Leipzig, 1854.

poudrées de cendres organisées. L'île de l'Ascension, dépourvue d'arbres et de sources, possède un énorme amas de cendres volcaniques dont l'élément principal est encore la carapace de diatomées. En Patagonie, un volcan a rejeté de même, des algues microscopiques qui, exceptionnellement, n'étaient pas d'eau douce comme les précédentes, mais marines.

Certaines diatomées s'assimilent l'oxyde de fer en quantités tout à fait prépondérantes et *Gallionella ochracea* (ou *ferruginea*) donne lieu à certaines variétés de limonite des marais. *Meridion circulare* étudiée à West Point, aux Etats-Unis, couvre les pierres et tous les objets au fond des cours d'eau, d'une matière visqueuse imprégnée de limonite.

Cette si curieuse propriété des plantes qui nous occupent, de décomposer, comme nous l'avons vu, les silicates de la nature, et en particulier les feldspaths, tout autrement que ne le font les agents inorganiques de l'atmosphère, en mettant en liberté la silice d'un côté et l'alumine de l'autre, se traduit par l'édification, dans les régions tropicales, de massifs rocheux aussi importants par leur volume qu'intéressants par leur mode de formation. Le type principal de cette série est la latérite, qui constitue un dépôt continu sur les régions dont le sol est composé de roches cristallines et qu'on a étudiées surtout dans l'Inde, dans l'Afrique centrale et occidentale, aux îles Seychelles. D'après M. Holland les agents principaux de cette édification sont, outre les algues, des bactéries des genres *Crenothryx* et *Cladothryx*.

#### Roches d'accumulation végétale. Tufs et travertins.

— Dans le bassin des lacs, et d'autres eaux douces, on peut assister à toutes les phases d'élaboration de formations calcaires, par le mécanisme botanique. Dans quel-

ques parties des hauts fonds pierreux, de la zone littorale du Léman, par exemple, sous le château de Chillon, par 20 à 40 mètres de fond, les pierres sont recouvertes d'une incrustation dont l'aspect est celui d'un tuf lacustre et dont les artisans principaux sont les algues désignées sous les noms de *Rivularia hæmatites*, *Schizotrix fasciculata*, *Phormidium incrustatum*, *Callothrix parietus*. Ce tuf atteint fréquemment plusieurs centimètres d'épaisseur, où l'on distingue, sous la couche actuelle et active d'algues vivantes, le tuf mort, spongieux, friable et tendre, qui résulte de générations végétales antérieures<sup>1</sup>.

Ces circonstances, qui sont plus développées encore dans les lacs de Neuchâtel, de Morat, de Bienne et d'Annecy, sont visibles sur le roc en place, aux Gonnelles de Vevey.

Dans le lac d'Annecy, entre Talloires et Menthon, à quelques mètres de profondeur, le long d'une berge lisse, presque exactement verticale, règne une espèce de trottoir, de plusieurs mètres de largeur et de 80 centimètres à 1 mètre d'épaisseur, véritable corniche de tuf, au dessous de laquelle la berge continue à plonger verticalement. Ailleurs, la disposition peut être tout à fait différente, et c'est ainsi que dans le lac de Neuchâtel, vers Granson, le tuf présente une structure colonnaire ou arborescente. Des colonnes de plusieurs centimètres de longueur sont plantées les unes à côté des autres, comme les petits arbres d'une minuscule forêt, donnant, par dichotomie, des branches de plus en plus nombreuses qui, au sommet, sont tout à fait vivantes et spongieuses. Ici, la partie colonnaire et qui est morte, a subi de lentes modifications de structure et est devenue nettement cristalline. C'est sous des blocs rocheux immergés dans le lac, que se rencontre cette forme d'incrustations.

1. *Le Léman*, III, 187.

Des faits analogues existent dans le bassin des mers. Ainsi que nous l'avons vu, les algues incrustantes sont associées à des madépores ; mais dans certains cas, elles deviennent les auteurs importants, quelquefois même uniques, ou secondés par la collaboration d'animaux. John Walther <sup>1</sup> mentionne l'existence dans la baie de Naples de véritables assises, situées à 60 et 70 mètres de profondeur et qui sont entièrement constituées par l'accumulation des nullipores. On connaît sur une grande partie du littoral de la Méditerranée, une vraie terrasse édiflée par les Mélobésies et qui abrite un nombre considérable de commensaux variés.

Dans les parties intérieures des blocs de ces formations végétales, on retrouve souvent les modifications à la fois chimiques et structurales que nous avons mentionnées à propos des massifs coralliens. En particulier, on y a constaté la tendance à la dolomitisation <sup>2</sup>.

C'est la place de remarquer la très probable nécessité de l'association en proportions variables, de la vie animale et de la vie végétale, dans la construction des récifs calcaires. Pour les récifs madréporiques proprement dits, où les plantes incrustantes ne manquent jamais, celles-ci, selon l'observation de M. Charles Gravier <sup>3</sup>, se localisent volontiers vers la base de l'édifice. D'après Stanley Gardner, si les récifs ne peuvent pas se former dans les régions tempérées, cela tient en grande partie à l'incapacité des algues constructives de vivre et de prospérer à des températures différentes de celles des régions chaudes du globe, et surtout à ce que leur activité biologique est liée, comme celle de toutes les plantes, à l'intensité de la lumière.

1. *Zeitsch. der deutsch. Geolog. Gesellsch.*, 1885.

2. M. Le Général Jourdy a dans ces derniers temps insisté sur des liens qui rattacheraient d'une manière très intéressante, la présence de la magnésie dans les calcaires à leur origine cryptogamique.

3. *Revue scientifique* (5), X, 385, 1908, Paris.

En dehors des bassins aqueux volumineux, lacs ou océans, on retrouve des témoignages de l'activité sédimentaire des végétaux incrustants jusque dans les simples ruissellements, si nombreux sur le flanc des montagnes calcaires. Les préalpes du canton de Vaud peuvent être citées comme représentant un incomparable type de cette catégorie. Autour de Blonay, de Montreux, de Chatel-Saint-Denis, le sol montre, de toutes parts, des protubérances qui peuvent atteindre des dimensions considérables et qui jouissent de la structure tuffeuse avec le maximum de netteté. La matière qui les constitue provient, avant tout, du lavage par l'eau de pluie, des grandes épaisseurs d'éboulis calcaires qui revêtent le flanc des montagnes, suivi, comme nous le savons déjà, de la précipitation du carbonate de chaux sous l'influence chlorophyllienne.

M. le Dr Langeron<sup>1</sup> a fait voir dans les travertins actuels du Jura, des cas remarquables de symbioses. Près de la source des cours d'eau de cette région et spécialement de la Seille, de la Cuisance et de l'Ovaris, les roches sont recouvertes d'une couche de calcaire fontigénique fibreux. On y voit des mousses calcicoles des genres *Bryum*, *Hypnum*, *Brachytreyium*, *Eurychium*, etc., et entre les brins de ces mousses des algues comme *Gomontia*, *Gongrosira*, *Phormidium* et *Rivularia*. Ces couches d'algues à leur tour, hébergent d'innombrables larves de mouches, *Orthodadius sordidellus* qui broutent cette prairie en miniature, et qui circulent à l'air dans la pellicule de calcaire friable qui a quelques millimètres d'épaisseur. A mesure que les algues périssent par la base<sup>2</sup>, les canaux creusés par les larves se développent et tout le tuf est tubuleux.

1. *Bulletin de la Société d'Histoire naturelle d'Autun*, t. XV (1902).

2. Voy. notre fig. 49 (p. 242) pour le tuf de Sézanne.

Dans presque tous les cas où se déposent à la surface du sol des amas de calcaire fontigénique, et même quand la première apparence ferait supposer, à cause de la température très élevée, une origine exclusivement inorganique, l'observation attentive montre une collaboration plus ou moins importante de l'activité végétale. Avant de citer de nouveau les volumineuses concrétions calcaires de certains geysers du Parc National, où les algues interviennent d'une manière si évidente, constatons que si les sources chaudes de bien des régions, telles que l'Apenin, doivent leur température au voisinage des phénomènes éruptifs, cependant la précipitation minérale y est déterminée par l'activité végétale<sup>1</sup>. Dans le travertin de Tivoli, même dans la variété compacte, on trouve près de 50 p. 100 d'algues microscopiques.

Quant aux geysers, les amas calcaires qui garnissent leur griffon, les énormes constructions siliceuses de certains d'entre eux, ont leur pendant sous la forme d'accumulations calcaires qui ont fortement modifié la forme de la surface du sol. Sur les bords de la *Gardner River* (Yellowstone) toute la vallée est tapissée d'une couche épaisse de travertin formant des terrasses. Celle de *White Mountain*, qui laisse échapper les sources chaudes du Mammoth, s'épaissit parfois de 2 millimètres de travertin en cinq jours. Malgré la température de l'eau, elle est remplie d'organismes microscopiques.

**Les tourbes.** — Le mécanisme, que nous avons vu à l'œuvre, dans l'édification des récifs madréporiques, se reproduit avec les différences nécessaires, dans l'élaboration de substances bien différentes du calcaire et dans des localités sans ressemblance avec les fonds océaniques,

1. Ponzi et Cohn, *Neues Jahrbuch*, vol. de 1864 p., 580.

sous l'influence de la vie végétale. Il s'agit des tourbières, qui peuvent continuer à s'accroître dans un point déterminé d'une façon ininterrompue, pendant des durées qui dépassent de beaucoup les plus longues périodes de l'histoire et même de la préhistoire. Le type de plantes capable de cette sorte d'édification nous est procuré par des mousses, *Hypnum* ou *Sphagnum*. Et, sans vouloir pousser les analogies trop loin, il faut reconnaître que la manière d'être générale de tels végétaux n'est pas sans ressembler intimement à l'allure des madrépores. Chaque bourgeon de la mousse, assimilable à chaque « fleur » du corail, jouit d'une autonomie qui s'allie avec la vie coloniale pratiquée, soit par les différents bourgeons, soit par les différents polypes. Seulement, pour la mousse, il se présente une modification qu'on exprime, en disant qu'elle est acrogène et qui conduit à accepter l'opinion que le même individu peut à la rigueur continuer à vivre, tout le long des immenses durées de la tourbière tout entière.

Si, en considérant la coupe d'exploitation d'une tourbière, on cherche à écarter, sans l'arracher un brin de la mousse, on voit que la tige très feuillue, terminée par un bourgeon, se continue à la partie inférieure, sans interruption, par la même tige progressivement flétrie et brunie pendant plusieurs fois la longueur de la portion verte, pour devenir bien moins distincte dans la masse sous-jacente. Avec des précautions suffisantes, on arrive pourtant encore à la séparer de cette tourbe chanvreuse, comme on l'appelle, mais à une certaine profondeur, elle a contracté des adhérences si étroites avec les tiges voisines, qu'elle se brise sous l'effort qu'il faudrait faire pour la séparer. Aussi, n'y a-t-il pas à douter que la vraie tourbe compacte, située encore plus bas ne soit le produit pur et simple de la conjugaison,

sous l'influence de la pression, contemporaine de la macération, de la collection des tiges qui étaient vertes à une époque suffisamment reculée. Par l'examen des corps étrangers rencontrés fréquemment dans la tourbe, et dont nous augmentons nous-mêmes le nombre à la partie supérieure par l'abandon généralement involontaire d'objets de toutes sortes, couteaux, cartouches, pièces de monnaie, etc., on arrive à constater que depuis bien longtemps le régime de la localité ne s'est pas modifié : à une profondeur donnée, les ouvriers trouveront un sou du moyen âge, plus bas un débris de tuile à rebord, d'âge gallo-romain. C'est ainsi qu'au XVIII<sup>e</sup> siècle, on a rencontré au fond de la tourbière de Sacy-le-Grand (Oise), un bateau d'une notable dimension, chargé de tuiles romaines à rebord, et qui certainement avait coulé bas à l'époque où un lac n'était pas encore envahi par la tourbe<sup>1</sup>. Quoi qu'il en soit, on rencontrera plus bas encore, quelque hache taillée, quelque dent d'éléphant (mammoth) et ce sera, au propre, le pont jeté entre les temps quaternaires et l'époque présente, et sans qu'il y paraisse d'abord, la ruine sans remède de toutes les théories cataclysmiques qui, pendant si longtemps, ont paru expliquer le phénomène, cependant si parfaitement tranquille, du creusement des vallées de la France du Nord.

Les tourbières sont un apanage des régions tempérées, ou même froides, humides, contrastant souvent avec la sécheresse, l'aridité, la stérilité des coteaux qui encadrent les vallées où elles se sont développées. C'est ce qu'on remarque dans les pays vraiment typiques, comme les bords de la Somme, vers Amiens et Abbeville ; ceux de la Seine, entre Rouen et Caudebec ; de l'Essonne, de l'Ecole,

1. Graves. *Essai sur la topographie géognostique de l'Oise*, p. 562, 1 vol. in-8°, Beauvais, 1847.

de la Juine, de l'Oise, de l'Aisne, de l'Aronde, de l'Authie, de la Vesles (de Reims à Fismes) de l'Aube, vers Troyes, etc.

Dans leur période de prospérité, les tourbières sont essentiellement envahissantes ; elles resserrent et limitent les rivières, au point de les transformer, sur des surfaces plus ou moins larges, en prairies tremblantes et élastiques, sur lesquelles on peut s'aventurer ; elles combent des lacs avec des incidents très variés. En pleine chaîne des Alpes, au pied de l'Aiguille Pourrie, qui fait partie du massif du Brévent, à 2.400 mètres au-dessus du niveau de la mer, le lac Cornu offre un exemple remarquablement net d'un lac naguère spacieux et maintenant réduit à la dimension d'un étang ; il est encadré d'une large zone de mousses qui gagnent chaque année vers le centre. A une altitude moindre, la vallée du Chajoux nous montre au-dessus de la petite ville de la Bresse (Vosges) le lac de Lispach, qui ne mérite plus de s'appeler lac, étant entièrement converti en pelouses. Dans la vallée du Rhône, on a tous les degrés de cet envahissement botanique des vallées. Sur le bord septentrional du lac du Bourget, une large surface triangulaire, dont la base passe par Chindrieu et Vions, est couverte de tourbe, à joncs prédominants, dont l'aspect donne nécessairement l'idée d'une conquête progressive de la terre aux dépens de la masse aqueuse. La marche est très rapide, à en juger d'après une *Méditation* de Lamartine, consacrée à l'hospitalité qu'il reçut au château de Châtillon, sur un rocher qu'il traite d'île et qui est maintenant intimement uni à la prairie du nord par l'activité des constucteurs de tourbe.

La tourbière peut amener le dessèchement de bras de mer ou de golfes peu profonds. En Danemark, le territoire d'Oldenbourg, jadis largement séparé du Holstein, tend à s'y réunir par la formation de la tourbe. Le bras de mer qui existait encore en 1320 sera bientôt comblé.

Il est utile, pour comprendre le mécanisme de ces progrès, d'ajouter que la tourbe se développe parfois latéralement de façon à multiplier les brins de mousse sans qu'il y ait contact avec le fond, constituant ainsi une sorte de tapis posé à la surface des eaux.

La longévité des tourbières, quoique parfois très grande, n'est pas indéfinie. Il suffit de faibles changements dans les conditions de la vallée pour arrêter le tourbage. Fréquemment, c'est l'arrivée, par suite de modifications dans le relief du sol, d'eaux impures, c'est-à-dire chargées de limon. Les mousses s'atrophient alors, dépérissent et cèdent la place à d'autres plantes, qui s'empressent d'en profiter. Telles sont les bruyères, dont le développement a pour conséquence, avec la collaboration des eaux et des vents, d'amener la constitution rapide d'une couche superficielle de terre végétale. A Aubercourt, on exploite des tourbes auxquelles on n'est arrivé qu'au travers d'une couche superficielle d'argile, ou de limon, comme à Démuin, ou de tuf calcaire, comme à Ailly-sur-Noye. Même, dans cette région de Picardie, la submersion par la mer a, plus d'une fois, recouvert des tourbières de sables coquilliers stratifiés, et c'est ce que nous offre la localité de Camon. Ces observations, disons-le tout de suite, auront un grand intérêt en permettant d'établir des liens d'origine entre les gîtes combustibles tertiaires, et avant tout les lignites, avec les tourbières actuelles. Le passage nous est fourni par des tourbières tout à fait récentes ; et à ce titre, on peut noter la constitution du dépôt tourbeux de la vallée du Thérain, qui paraît représenter le fond d'un lac d'abord envahi par la tourbe et ensuite desséchés. La surface est formée d'un limon pétri de coquilles terrestres, *Helix*, *Cyclostoma*, *Pupa*, etc. Puis vient une tourbe blanchâtre légère, plus ou moins sableuse, avec racines

non décomposées, qu'on emploie comme « cendres d'amendement ». Elle repose sur de la tourbe grisâtre, semi-compacte, avec lymnées, planorbes, cyclades et autres mollusques lacustres. Une vraie tourbe, avec racines d'un brun noirâtre, se présente alors comme couverture de la tourbe exploitée qui, avec une épaisseur de 1 à 6 mètres (4 mètres en moyenne) est noire, compacte et de bonne qualité. Au-dessous d'elle, existe une tourbe brune avec troncs parfois très volumineux et très durs (passant au lignite) de coudriers, de bouleaux et d'ormes, entre lesquels se rencontrent des bois de cerf et de chevreuil, des os de bœufs, de sangliers, de chevaux, de moutons, de chiens et de castors. Le tout repose sur une couche sableuse, très chargée de matières végétales. Cette coupe a un intérêt tout spécial, par la série des dépôts accumulés sur la tourbe, après la période de sa croissance.

L'idée que nous cherchons à nous faire de l'origine de la tourbe, ne serait ni complète, ni féconde pour le but que nous poursuivons, si nous n'examinions pas la structure intime de cette substance combustible. Les chimistes se sont attachés à la recherche de caractères distinctifs entre les différentes qualités de matières charbonneuses contenues dans les plantes vivantes, aussi bien que dans leurs produits d'altération souterraine. Berthelot<sup>1</sup> a étudié en détail les réactions du charbon de bois. L'acide azotique, et mieux encore, le mélange d'acide azotique et de chlorate de potasse transforme le charbon en acide ulmique, qui, traité par la potasse ou l'ammoniaque, donne des ulmates alcalins, pendant que les membranes végétales, cuticules de feuilles et de rameaux, sont mises en liberté.

1. *Ann. Chim. et Phys.*, (4), XIX, 392.

Gümbel<sup>1</sup> a appliqué à l'étude de la tourbe le procédé qui consiste à examiner au microscope le résidu de l'attaque de la matière, par le mélange d'acide azotique et de chlorate de potasse. Le résultat a consisté en débris d'organes et de tissus cimentés ensemble par une matière amorphe que Demel<sup>2</sup> a dès 1882 qualifiée de doplélite, et qui, selon lui, est composée de sels calciques de divers acides ulmiques. D'après Früh<sup>3</sup>, elle serait formée d'ulmates avec sulfates et silicates.

Bernard Renault<sup>4</sup> a constaté, dans les eaux des tourbières, une profusion de bactériacées. Dans les troncs d'aunes, enfouis dans la tourbe, il trouve des microcoques de 0  $\mu$ , 8 à 1  $\mu$ . qui sont peut-être des arthrospores de bacilles, tels que *Bacillus agilis* et *B. rigidus*. Ces petits êtres sont essentiellement anaérobies. Renault les a vus vivants et il a décrit la forme des corrosions qu'ils produisent sur la matière végétale, afin de pouvoir la rechercher dans les combustibles fossiles.

En résumé, et suivant les termes de Renault<sup>5</sup> « les tourbes faites sont formées par l'accumulation de débris végétaux qui ont résisté à une macération prolongée ». La présence des micro-organismes, artisans des décompositions chimiques dont la macération est le siège, s'accompagne de la production d'une sorte de zooglye (fig. 13), ou pulpe, qui n'arrête pas le mouvement brownien des petits corps tenus en suspension et, par exemple, des spores provenant de *Cladothryx*.

Ce qui disparaît d'abord, ce sont : l'amidon, les cellules

1. Sitzung. der. bayern. Akad. der Wissensch., math. und phys. Klasse, 1883, I, 111.

2. Jahresbericht Chem., vol. de 1883, p. 1578.

3. Neues Jahrbuch, 1884, I, 341.

4. Bul. Soc. de l'Industrie minière, (3) XIII et XIV, 1900.

5. Loc. cit., p. 45.

à parois minces, les fibres ligneuses et les vaisseaux. Ce qui subsiste, et ce qui subsistera jusque dans les houilles, ce sont : les cellules d'épiderme et celles de liège, les cuticules, les grains de pollen et les spores.

Les rapports du carbone à l'hydrogène et du carbone

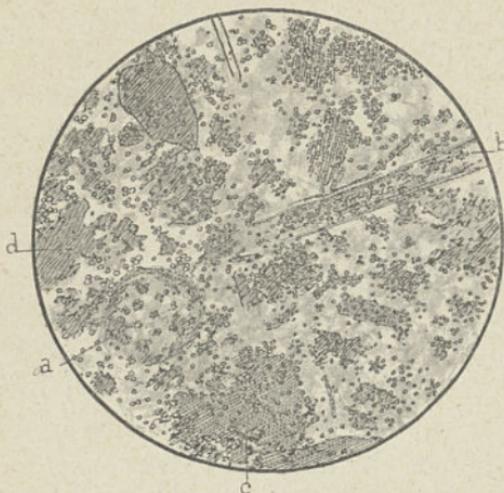


Fig. 13. — Tourbe actuelle de Fragny, près Autun (Saône-et-Loire)  
vue au grossissement de 200 diamètres.

*a*, Carapace siliceuse d'amiboïde; *b*, fragment de vaisseau ponctué; *c*, divers débris floconneux amorphe formant la matière fondamentale (zoogléa); *d*, fragment d'épiderme et de cuticule. — D'après Bernard Renault.

à l'oxygène sont pour la cellulose  $\frac{C}{H} = 7,2$  et  $\frac{C}{O} = 0,9$ ;  
et pour la tourbe  $\frac{C}{H} = 9,8$  et  $\frac{C}{O} = 1,8$ , ce qui montre  
une perte d'hydrogène et d'oxygène et un gain de car-  
bone, confirmés par le dégagement de l'hydrogène car-  
boné et de l'eau, au cours de la fermentation.

Ajoutons que des champignons collaborent parfois  
au phénomène : dans la tourbe de Louradou, Bernard  
Renault a distingué *Hyphomyces ramosus*, *Penecillum*

*longicaule*, qui sont des saprophytes, abondants surtout là où les bactériacées sont plus rares.

Les bois bruns de certaines tourbières, telles que celle de Flamerans, près d'Auxonne, sont parfois très altérés par le travail alternatif des microcoques, qui sont des bactériacées et des champignons.

Les cyprières, que les Américains désignent sous le nom de *swamps* constituent la forme du phénomène tourbeux dans les localités où la température est notablement supérieure à celle qui est nécessaire à la vie de nos générateurs de tourbe à proprement parler (*Sphagnum*, *Hypnum*, etc.). Dans ce cas, les végétaux principaux sont des arbustes et des broussailles que dominent les fûts élevés du *Taxodium distichum*, connu vulgairement sous le nom de Cyprès chauve. Les cyprières s'étendent sur le littoral du golfe du Mexique, en Louisiane, dans la Géorgie, dans la Floride, c'est-à-dire jusque dans des pays tropicaux, parfois au voisinage des récifs madréporiques. Cette sorte de forêts en clairières lance dans le sol boueux, sur des milliers d'hectares, des réseaux inextricables de racines qui font comme la charpente d'une tourbe particulière. Ces régions sont encore plus mobiles sous le pied que nos tourbières ; et, au Brésil, on leur attribue le nom significatif de *tremendal*. Elles rappellent, en l'exagérant, l'instabilité des *shaking-bogs* de l'Irlande le moindre mouvement du voyageur qui s'y risque fait trembler le sol à plusieurs mètres de distance.

D'après Hilgard<sup>1</sup> on voit sur le littoral du golfe du Mexique, et sur le delta du Mississipi, et sur une argile ressemblant à celle qui supporte beaucoup de gisements de lignites, un jonc (*Scirpus lacustris*) dont les racines forment une couche de 30 centimètres et pénètrent à

1. *American Journal of Sciences and Arts*, (3), VII, 208.

peine dans l'argile sous-jacente. Cette argile s'accroît chaque année en épaisseur, par l'apport des inondations et pourtant, ce n'est jamais qu'à sa surface qu'on voit les vermiculures causées par les racines. Cela prouve que ces traces disparaissent constamment, bien que la végétation se soit développée *in situ*. L'auteur pense que le phénomène a pu se produire à toutes les époques.

A la limite nord de la zone des cyprières, dans les Carolines et les Virginies, il y a comme une espèce de transition vers les tourbières proprement dites, mais par des étapes très nombreuses et très ménagées, et cette circonstance est d'autant plus intéressante, qu'en nous donnant des gradations dans l'espace, elle nous en promet dans le temps, qui établiront la continuité entre les phénomènes anciens d'où résultent les combustibles minéraux du type de la houille, et le phénomène moderne du tourbage.

C'est dans la région de transition dont il s'agit, que se présente le célèbre *Dismal swamp*, ou marais sinistre, qui, sur une surface gigantesque, se signale par la nature spongieuse de son sol, lequel, par une sorte de gonflement, fait au milieu du pays un relief de trois mètres. A sa surface, un grand lac s'est établi, véritable dissolution de tannin, dont l'eau, cependant limpide, est colorée en brun rougeâtre.

Dans l'Amérique du Sud, en Colombie, la nature spéciale des arbres donne à des formations analogues aux précédentes, un faciès tout particulier. Ce sont des palmiers (*Nipa*), des combretacées (*Quisqualis*), des lithraïées (*Sonneratia*), des verbenacées (*Avicennia*) et surtout des palétuviers, qui prolongent le domaine du marécage jusque dans la mer, si bien qu'à marée basse, on voit la partie inférieure des troncs et des racines sorties de terre si caractéristiques de ces derniers végétaux, qui ont l'air d'être portés sur un piédestal, couverts de mollusques, potamides, néritinées, huitres, qui y adhèrent en com-

pagnie de crustacés (balanes) et entre lesquels circulent des populations de poissons, de crabes, d'annélides et de toutes sortes d'autres bêtes marines. On est là tout à fait sous les tropiques, dans un milieu dont la condition thermométrique et hygrométrique paraît aussi élevée, que ne l'a jamais été celle d'aucune localité sédimentaire.

A la suite des *mangroves*, comme on nomme ces localités étranges, on peut mentionner les accumulations de débris végétaux, qui s'édifient sur le fond de la mer, en face de l'embouchure des grands fleuves travailleurs. Le Mississipi se signale comme réunissant toutes les conditions pour que de semblables dépôts y atteignent des dimensions considérables. Chaque année, une des conséquences inévitables des débordements de ce fleuve immense, c'est le ravinement des berges attaquées, dans les anses concaves, par le déplacement progressif des méandres. Un cube énorme de terre est emporté par les eaux rapides et les arbres déchaussés sont entraînés vers la mer. A ce moment, la navigation est aussi dangereuse que parmi les icebergs des mers froides. A l'embouchure, le cours d'eau douce qui s'étale sur la mer, et que sa faible densité empêche si longtemps de s'y mélanger, abandonne tout d'abord les plus lourds des matériaux qu'il charriait, et, après les grosses pierres, les graviers de moins en moins volumineux, puis les sables, puis les limons, et il ne conserve plus, pendant longtemps, que les corps flottants c'est-à-dire ceux dont la densité est inférieure à la sienne. Peu à peu cependant, le tissu des arbres entraînés à la dérive se laisse pénétrer par l'eau; il s'enfonce progressivement et souvent coule dans l'abîme, surtout quand il est lesté de terre ou de pierres engagées entre les racines. Certains matériaux végétaux échappent pourtant à cette concentration locale, qui est le phénomène principal, et captés, pour ainsi dire par les courants de la mer, ils

traversent les immenses distances de l'Atlantique pris en écharpe et vont échouer sur les côtes d'Islande. Rappelons-nous surtout la formation sous-marine des bancs de débris végétaux, sur la limite marine du Mississipi et dans les localités analogues.

Un dernier type d'accumulation botanique est à mettre à l'actif de la végétation sous-marine. Les algues et les plantes qui les accompagnent comme les naïadées, une fois détachées (à la suite d'une tempête) du fond sur lequel elles ont vécu, sont fréquemment jetées dans des anses ou autres régions calmes, où elles peuvent se réunir en grande quantité. Beaucoup de points des côtes du Danemark et des côtes voisines montrent de ces tourbières marines, recouvertes d'ordinaire par des sables, la plupart apportés par le vent.

On doit nécessairement rattacher à ce type, des dépôts qui ne peuvent manquer de se faire sur le fond des océans au-dessous des prairies de sargasses.

#### L'ÉROSION BIOLOGIQUE

De toutes parts, les êtres vivants nous font assister à la destruction rapide de diverses catégories de roches. Les procédés de cette érosion biologique sont très variés, et, comme il nous faudra nous proposer d'en retrouver les vestiges aux époques antérieures, nous sommes conduits à en donner ici une énumération rapide.

Tout d'abord nous diviserons le sujet en deux parts, l'une zoologique, l'autre botanique, correspondant à celles du paragraphe précédent.

**Erosion par les animaux.** — La forme la plus simple d'érosion réalisée par des animaux provient des fouis-seurs qui figurent également parmi les habitants de la

terre ferme et parmi les habitants des mers. Les lapins représentent un type dans la première série : tout le monde a été frappé de la longueur de leurs terriers, dont on a une idée par la distance qui en sépare les différentes entrées, et aussi de la complication des labyrinthes qui résulte de leur entrecroisement. Le cube de roches ainsi remué est d'autant plus à considérer qu'il est livré sans transition à des agents, à l'abri desquels on eût pu le croire pour longtemps. Dans nos pays sableux, les lapins ont parfois révélé aux géologues la présence souterraine de gîtes de fossiles qui, sans eux, fussent restés inconnus. Il résulte souvent de ces creusements, des dégâts tels que des éboulements et des effondrements qui sont venus s'ajouter aux ravages que les rongeurs exercent dans les cultures en en dévorant les feuilles, et ont contribué à justifier leur réputation d'animaux nuisibles. Les conduits souterrains sont à mentionner aussi comme fournissant des habitations à des êtres variés. On se rappelle les faits concernant les *Dolichotis* (vulgairement chiens des prairies) des Etats-Unis et de La Plata.

Malgré leur plus petit volume, les taupes doivent être citées comme agents d'érosion. Beaucoup moins sédentaires que les lapins, elles passent une partie de leur vie à chasser sous terre.

Sans citer d'autres mammifères, qui se comportent à peu près de même, rappelons qu'il est des oiseaux fouisseurs. Les hirondelles criblent de perforations les excavations naturelles ou les fronts de taille des carrières ouvertes dans des limons, tels que le loess, et dans des sables fins de différentes variétés. Pour nous borner aux environs de Paris on peut citer certains points du voisinage de Villejuif (Seine) ou de Mantes (Seine-et-Oise) et les environs de Verneuil (Oise).

Une idée du travail total réalisé par les bêtes considérées

comme agent d'érosion, supposerait l'intervention des serpents, des insectes (comme les fourmis, les guêpes, les courtilières), d'autres arthropodes (comme les araignées), et même, sans parler des vers de terre, dont nous sommes déjà occupés, de certains mollusques, et spécialement des escargots, dont plusieurs s'enfoncent à 4 mètres et plus dans les sols limoneux, pour hiverner. Remarquons qu'ils se livrent à cette pratique dans des limons très divers et pouvant être d'âges très différents : comme il n'est pas rare que ces gastropodes périssent tout en hibernant, ils abandonnent alors leur test au sein d'assises renfermant une faune plus ou moins distante, et l'on peut très bien imaginer qu'au bout d'un temps suffisant, et par suite des infiltrations aqueuses, les traces d'introduction postérieure au dépôt deviennent confuses et disparaissent même complètement. Si l'on suppose que les escargots anciens se soient comportés de même vis-à-vis de roches qui leur étaient aussi antérieures que le sont, aux limaçons actuels, les terrains où ils s'introduisent quelquefois, on entrevoit des causes d'erreur auxquelles il pourra être bon de faire attention.

Quoi qu'il en soit, Constant Prévost, a, dès 1854<sup>1</sup>, signalé nos hélices actuelles, comme capables de perforer des roches calcaires même très résistantes et de réaliser ce travail d'érosion sur une échelle si grande que des rochers de marbre des environs du Mont Pelegrino, en Sicile, ont pris, de leur fait, une structure spongieuse.

Depuis cette époque, M. le marquis Antonio de Gregorio a signalé la reproduction du même fait, également en Sicile.

On voit dans les collections de Géologie du Muséum d'Histoire naturelle, de très beaux échantillons de cal-

1. *C. R. Acad. Sc.*, XXXIX, séance du 30 octobre 1854.

caire, perforés par les escargots : plusieurs ont été recueillis par M. Bretonnière aux environs de Constantine et spécialement dans le Sidi Meid, qui est, comme on sait, séparé de la ville par la déchirure de 200 mètres de profondeur où coule le Rummel. Ces roches contiennent un certain nombre de tests de coquilles, encore engagées dans les perforations, qui sont tantôt isolées, tantôt groupées. Les escargots paraissent avoir cherché dans la pierre des abris où pouvoir dormir leur sommeil hivernal, — ou estival.

D'autres de nos échantillons ont été recueillis à Salies du Sarlat, par M. Halé. Ils ne diffèrent pas essentiellement des précédents. M. Paul Petit, professeur au lycée de Foix, nous a procuré des spécimens comparables de plusieurs localités de l'Ariège, telles que la Bastide de Sérrou. On y remarque la présence de très petits individus, sans doute fort jeunes.

Il reste à savoir par quel mécanisme ces curieuses érosions ont été réalisées ; et il ne faut pas oublier que nos mollusques appartiennent à la grande catégorie des glossophores, c'est-à-dire des possesseurs d'une *radula*, qui pourrait intervenir aussi.

On a déjà vu comment le benthon vagile de nos océans comprend une légion d'êtres qui réalisent d'une manière continue le remaniement du fond submergé, sableux ou vaseux. Bornons-nous à constater que ce travail a pour résultat de rendre plus efficace l'énergie érosive des courants sous-marins. En effet, ceux-ci tendent par eux-mêmes à entraîner les parties fines, en lavant la surface du sol qu'ils réduisent aux matériaux relativement gros, protecteurs naturels du sous-sol plus fin, pourvu que le travail des annélides, des crabes et des mollusques ne ramène pas, à chaque instant, au contact de l'eau courante, les matériaux ténus empruntés aux profondeurs.

Dans un grand nombre de points, des mollusques marins se livrent, à l'égard des roches submergées, à un travail tout à fait analogue à celui dont les escargots se sont montrés les auteurs dans les parties émergées.

A la même direction, appartiennent les observations les plus anciennes concernant une série de mollusques qui méritent le nom général de lithophages et qui comprend les genres *Pholas*, *Teredo* (taret), *Petricola*, *Lithodomus*, *Gastrochæna*, *Saxicava*, *Clavagella*, etc. Ces animaux pratiquent des perforations dans les roches les plus diverses, telles que le gneiss, le granit, les laves volcaniques, les basaltes, les grès et les quartzites, les ardoises, les marbres paléozoïques, les calcaires jurassiques, la craie, etc. Les localités où les observations ont été faites sont innombrables. Citons : les côtes du Finistère, de la Vendée, du Golfe de Gascogne, de l'Irlande, de l'Algérie, des Açores, de la Californie, de Panama, de Maurice et de La Réunion, de l'Australie, etc.

A côté des mollusques lithophages, il faut nécessairement faire une place à certains oursins, tels que *Strongylocentrotus*, qui font preuve d'une activité du même genre. Si l'on se promène à marée basse, sous le cap Saint-Mathieu, pointe la plus avancée de la presqu'île bretonne, on marche sur les feuillettes d'un micaschiste criblée de cupule, profondes de plusieurs centimètres, dans chacune desquelles habite un oursin. Le volume de toutes ces cupules, dans cette seule localité, est certainement comparable à celui qu'aurait représenté dans le même temps la dénudation du micaschiste sous l'action des agents inorganiques les plus efficaces. Le phénomène ayant lieu en d'innombrables localités côtières, et souvent là où prospèrent les mollusques lithophages, la quantité de sable ainsi produite est considérable.

Déjà en 1811, Lamarck possédait des échantillons de

roches perforées par les oursins et émettait des observations à leur sujet. En 1825, le fait était signalé de nouveau par E. T. Bennett, qui indique plusieurs formes d'oursins perforants et note que la même espèce ne perce pas partout. Depuis lors, tant en ce qui concerne les oursins qu'en ce qui a trait aux mollusques, un grand nombre d'auteurs tels que Marcel de Serres, le Dr Eugène Robert, Cailliaud, le Dr Paul Fischer, Trévelyn, Lories, Deshayes, Walter Fewkes, Jules Marcou, se sont occupés de la question.

A côté du cas mentionné plus haut, où chaque oursin habite une cavité spéciale, de façon à donner à toute une large plage, et selon l'expression pittoresque de M. W. Fewkes, une ressemblance avec un gâteau de miel, il arrive que les oursins pratiquent des cavités collectives ; c'est ce qui a lieu dans le département des Landes. Auprès de Biarritz, entre le vieux Port et la côte des Basques, c'est la paroi verticale de véritables marmites de géants que des oursins habitent, chacun dans sa logette. Il arrive aussi que cette grande marmite contienne, selon son axe, une grosse colonne qui la réduit à l'état d'un réservoir annulaire, et alors, non seulement les oursins sont distribués comme tout à l'heure, mais en outre des oursins habitent le contour du style. « Comme aspect, dit Jules Marcou, chacune de ces marmites, avec sa population de quarante à soixante *Echinus* et peut-être plus, ressemble à une façade de maison, avec un habitant à chaque fenêtre ouverte, et qui serait occupé à regarder ce qui se passe <sup>1</sup>. »

**Erosion par les végétaux.** — On sait avec quelle activité les plantes peuvent corroder les roches ; c'est une des causes de la poussière charriée par les eaux et par les vents, et c'est une des origines de la terre végétale. Sui-

1. Lettre de Marcou à M. Fewkes : *American naturalist*, janvier 1890.

vant les cas, cette corrosion est réalisée mécaniquement ou chimiquement ; elle peut faire intervenir simultanément les deux mécanismes.

Avant tout, faisons une place aux végétaux les plus inférieurs, tels que les lichens et les plantes, dont ils sont la synthèse, c'est-à-dire les champignons et les algues.

Sur beaucoup de sommets montagneux, les roches cristallines, compactes, — de celles qui, si souvent, ont semblé aux poètes le symbole de la pérennité, — sont couvertes de plaques diversement colorées et dont l'étude microscopique montre qu'elles résultent de l'accumulation d'organismes végétaux. Ceux-ci travaillent d'une manière occulte à la démolition du sol et ne rencontrent nulle part d'obstacle décisif à leur entreprise. Ils insinuent, jusque dans les plus fines fissures de clivage, de petits crampons qui, en se développant, disloquent les substances cristallines les plus résistantes, comme le cristal de roche lui-même. Et, dans bien des cas, la légion des végétaux élémentaires se présente comme la ligne d'éclaireurs de l'armée des plantes qui, s'établissant successivement sur une roche de plus en plus attaquée, parviennent parfois très vite à substituer des tapis de verdure à la surface polie du commencement.

D'après M. A. Müntz, dont les études se sont poursuivies de 1887 à 1890<sup>1</sup> les bactéries nitrifiantes décrites dans un de nos précédents chapitres, jouent un rôle de première importance dans l'érosion des hauts sommets des Alpes et des Pyrénées. Au Pic du Midi, comme au Faulhorn, la surface des schistes micacés et des calcaires fourmille de ces organismes qui se nourrissent des apports de la neige et de la pluie. En vivant, ces êtres élémentaires convertissent l'ammoniaque en acide azotique et celui-ci

1. C. R. Acad. des Sciences.

corrode les roches. C'est sur le calcaire que cette action s'exerce avec le plus d'énergie, mais les feldspaths eux-mêmes sont accessibles à ses effets. Pour le prouver, M. Sasestrino Sestini remplit deux pots semblables de 1 kilogramme de sable feldspathique lavé, séché et dépourvu d'argile. Il sème dans l'un un mélange de graminées, pendant que l'autre reste sans culture tout en recevant le même arrosage que le premier. Il obtient :

	SABLE TÉMOIN	SABLE CULTIVÉ
Terre fine . . . . .	14,99	33,50
Argile p. 100 de terre fine . .	1,05	4,02

On voit avec quelle intensité la végétation favorise par une véritable décomposition physiologique, la désagrégation et l'hydratation des feldspaths <sup>1</sup>.

Par le fait seul de leur croissance, les plantes et surtout les arbres réalisent, à la surface du sol exondé, un travail d'érosion dont on n'apprécie pas toujours l'importance. Les vieilles (et par conséquent grosses) racines se sont comportées comme des coins irrésistibles, désorganisant le sol et déplaçant même des objets très lourds. Parfois, elles soulèvent des pavages à plusieurs décimètres de hauteur ; ailleurs elles renversent des rochers ou des murs. Après leur mort, leur décomposition laisse des vides, qui, tantôt se remplissent par tassement, tantôt par production de concrétions et, dans tous les cas, par remaniement. Parmi les plantes les plus actives comme agents de dénudation des roches, on peut citer les cactus, à cause de leur aptitude à prospérer même sans humidité. D'après Storer <sup>2</sup>, les lits de lave de l'Etna sont recouverts

1. Cité par M. J. Dumont : *La Terre végétale*, p. 18, 1 vol. in-12°, Paris.

2. Storer. *Agriculture in some of its relations with Chemistry*, I, 130, in-8°, New-York, 1887.

d'un *Opuntia* (*O. vulgaris* ou figuier de Barbarie) dont les racines craquellent la lave et, en peu d'années, la défoncent assez pour qu'on y puisse établir des vignobles. Dans le vieux Mexico, des cactus désagrègent de même des roches amygdaloïdes.

Beaucoup de graminées et de légumineuses sont remarquables par la profondeur à laquelle pénètrent leurs racines. Les céréales atteignent fréquemment 2 mètres et plus ; l'alfa plonge jusqu'à 5 mètres et dans quelques cas exceptionnels, jusqu'à 15 et 18 mètres<sup>1</sup>.

Les broussailles et les arbres défoncent le sol en profondeur et aussi horizontalement, à des distances variables suivant les espèces. Le chêne noir d'Amérique travaille le sol à plus de 9 mètres tout autour de sa sortie de terre, et des pommiers vont jusqu'à 14 mètres de leur base. On peut s'imaginer ce qu'ont dû réaliser les colosses végétaux de l'ouest américain, tels que les *Sequoia*, auxquels on a trouvé 120 mètres de haut.

Quand un arbre est renversé par le vent, il en résulte un grand déplacement du sol superficiel et une facilité considérable en est procurée aux agents ordinaires de la dénudation. Dans les forêts vierges où les arbres meurent de vieillesse et ne sont pas exploités, ces effets atteignent des dimensions gigantesques : on voit presque partout les trous et les monceaux que ce procédé renouvelle sans cesse et qui constitue un défoncement incomparable du sol. Sous l'action des trombes et des cyclones, ces résultats sont encore augmentés et c'est ce qu'on peut observer spécialement dans la région du Lac Supérieur<sup>2</sup>.

Il arrive aussi quelquefois que des plantes de haute

1. Smith. *Yearbook of the department of Agriculture for*, 1897, p. 494, Washington.

2. Van Hise. *A Treatise of Metamorphism*, p. 447. vol. in-4°. Washington, 1904.

situation taxonomique, trouvent moyen de s'établir à la surface de roches non nutritives, mais présentant quelques petits incidents de structure, aptes à provoquer l'établissement de circonstances favorables : c'est ainsi que dans la forêt de Fontainebleau et, à un degré moins fréquent, dans celle de Chantilly, de grands arbres poussent sur d'énormes blocs de grès, recouverts seulement d'une terre végétale rudimentaire qui nourrit quelques frêles plantes. On a le secret de cette disposition lorsque, dans un but d'exploitation de pavé, on fait sauter la roche : on voit alors qu'à la faveur de fines fissures, les racines de l'arbre, dès les premiers débuts de sa végétation, se sont insinuées sur des mètres de hauteur, pour arriver au sol sous-jacent, et l'examen plus attentif fait voir que, non seulement cette racine avide s'est allongée avec le temps, mais aussi qu'elle a grossi dans la pierre de sorte qu'elle laisse son moulage au travers de la roche, comme le ferait un végétal enfoui dans le sable non encore cimenté en grès. Cela vient de ce que le ciment de la masse favorable à cette production était calcaire et qu'il s'est dissous par l'influence d'exhalaisons émanées des racines, par le seul fait de leur vie. C'est une remarque dont il faut évidemment tenir compte, pour distinguer ce genre de vestiges, d'empreintes qu'on serait d'abord porté à considérer comme ayant l'âge du dépôt<sup>1</sup>.

C'est au même genre de réactions qu'il convient de rattacher, selon von Hochtetter<sup>2</sup>, c'est-à-dire à l'activité de racines d'arbres, l'origine des *zwerloch* (trous de nains)

1. *Excursions géologiques à travers la France*, par Stanislas Meunier, p. 183, 1 vol. in-8°, 1882.

2. *Karlsbad, seine geognostischen Verhältnisse und seine Quellen*. 1 vol. Carlsbad, 1856. Voir la coupe d'une semblable perforation d'après M. Knett, dans la *Science séismologique*, par M. Montessus de Ballore, p. 172, 1 vol. in-8°, Paris, 1907, qui d'ailleurs lui attribue une origine toute différente.

perforée au travers des tufs volcaniques de Carlsbad.

Le phénomène s'exagère quand les racines peuvent travailler directement sur des zones entièrement solubles. Sur ces plateaux si pittoresquement caractérisés du Jura et des Préalpes, qui sont couronnés par des couches calcaires sensiblement horizontales et que l'intempérisme a réduites en blocs juxtaposés portant le nom de lapiaz, on voit de toutes parts des racines larder les roches, en s'y ouvrant des canaux plus ou moins cylindriques, remplis des argiles rougeâtres de décalcification.

Il y a longtemps déjà que Sachs a précisé l'allure de cette calciphagie, en faisant germer des graines, des haricots par exemple, dans du sable humide directement superposé à des plaques de marbre poli. Après la croissance de la plante, on trouve sur la roche un véritable stéréogramme du réseau de ses racines, dont chacune s'est creusé un petit sillon <sup>1</sup>. Les perforations dont il s'agit, ouvertes dans le loess, les limons, les argiles et les calcaires de tous les âges, apportent à la circulation de l'eau et de l'air des conditions dont l'importance est considérable.

Il se fait aussi maintes concrétions calcaires et autres dans les vides abandonnés par les racines.

Bien des roches sont aptes à céder aux facultés dissolvantes des émanations radicales. On sait que l'oxyde hydraté de fer, qualifié de limonite, et qui est si résistant à la plupart de nos réactifs, passe très facilement à l'état de sels solubles (crénate, apocrénate) qui s'infiltrent dans le sous-sol, et laissent la roche qu'ils teignaient en rouge, complètement décolorée. Ce phénomène peut atteindre des dimensions considérables : aux environs de Paris, des zones très larges de forêts portées par les sables et les argiles du niveau de la Beauce, comme dans la

1. *Chimie agricole* par P. P. Dehérain, p. 270, 1 vol. in-8°, Paris, 1892.

forêt de Montmorency, ont été manifestement *déferruginisées* par cette réaction.

La soustraction du fer a des analogues sur des échelles moindres, au point de vue du volume, mais qui peuvent avoir des conséquences plus graves, en modifiant la composition du sol de façon à changer ses propriétés vis-à-vis des plantes. De là, la nécessité de rendre périodiquement à la terre, sous la forme d'engrais minéral, les matières dont elle a été privée par la récolte. Ce qu'il importe d'ajouter, c'est que la soustraction peut porter sur des matériaux dont l'importance capitale n'est pas diminuée par le fait qu'ils agissent à doses très faibles : la betterave à la faculté d'absorber, non seulement la potasse, mais les traces de rubidium contenues dans le sol ; (c'est dans les résidus des sucreries que le rubidium a été découvert par l'analyse spectrale). Or, il paraît qu'après un certain nombre d'années, la culture de la betterave dans le département du Nord avait amené la disparition de ce métal : on prétend avoir restauré les conditions de fertilité, par des fumures contenant avant tout des matières rubidifères.

Les végétaux aquatiques exercent un pouvoir érosif sur le sol inondé. Dans la mer, les algues, bien que dépourvues de racines, et simplement par l'usage de leurs crampons, réalisent, avec plus de rapidité encore que les lichens, la pulvérisation des roches. Lennier <sup>1</sup> a insisté sur ces faits pour le littoral de la Manche, où la nature crayeuse et tendre des rochers est spécialement favorable au grand développement de ce genre de réactions. Dans les eaux douces, les mêmes choses ont lieu, mais avec cette aggravation, que des racines qui manquent aux plantes marines plongent dans la vase et en activent

1. *L'estuaire de la Seine*, 2 vol. in-folio, Paris et Le Havre.

considérablement la désagrégation. Souvent ici, l'activité chimique se joint à l'activité mécanique : l'*Euactis cal-civora*, et une série d'autres algues des lacs (fig. 14), réduisent rapidement en bouillie soluble les galets cal-caires qu'elles ont attaqués.

La production de la terre végétale suppose la collaboration des deux règnes. Cet épi-derme du globe nous apparaît comme spécialement propre à mettre en évidence dans les circonstances de ses transformations, l'efficacité géologique de la force vivante. Dans son histoire se trouvent associés, de la manière la plus intime, des faits de destruction de roches et des phénomènes op-posés, puisque des résultats de démolition se joignent sans in-terruption à la formation nou-velle. Elle est essentiellement éphémère dans chacune de ses parties et persistante dans son ensemble. Siècle après siècle, elle présente la même épais-seur dans une région déterminée ; mais c'est au prix du re-nouvellement, sans cesse réalisé, de chacun de ses élé-ments ; c'est en même temps au prix de son déplacement vertical, en masse, au fur et à mesure des progrès de la dénudation générale du pays. Cette persistance de la terre végétale recouvrant un sous-sol qui se dénude sans arrêt est surtout bien sensible dans des régions acciden-tées, mais à profil doux, de certaines parties des Alpes ou des Pyrénées. Les prairies onduleuses qui constituent

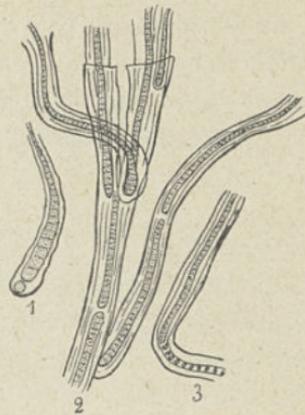


Fig. 14. — Algues des galets du lac de Saint-Point (Doubs).

1, *Rivularia*, grossissement env. 200 diamètres ; 2, *Dichothryx orsini-ana* Bornet et Flahaut, grossisse-ment env. 200 diamètres ; 3, *Scyto-nema myochrous*, Agardh, grossis-sément 160 diamètres env. — D'après M. le D<sup>r</sup> Langeron.

les alpages des bergers, montrent partout, en coupes verticales, la transformation progressive de la roche en terre végétale, et en même temps, l'insignifiance des effets horizontaux des suintements aqueux, résultant de la pluie et de la fonte des neiges. Les montagnes peuvent avoir perdu des centaines de mètres de leur altitude, sans avoir été privées un seul jour de leur revêtement verdoyant de terre végétale.

---

## CHAPITRE V

### LA FONCTION BIOLOGIQUE AU COURS DES TEMPS SÉDIMENTAIRES

Comme suite naturelle aux diverses études qui viennent de nous occuper, il convient d'en associer les résultats. D'une part, nous savons que les innombrables habitats des êtres vivants actuels ont eu des correspondants aux époques passées. D'un autre côté, nous avons constaté l'efficacité des organismes actuels, comme facteurs des phénomènes géologiques les plus différents.

Cela posé, il n'est pas douteux que les entrailles du sol ne nous ménagent des découvertes précieuses, en nous permettant de juger de l'allure des choses pendant les temps sédimentaires et d'ébaucher, au moins, une histoire de la collaboration apportée par la force biologique à l'évolution de la Terre.

Il est vrai que le « présent » n'est pas si aisément comparable au « passé » qu'il pourrait sembler légitime de le supposer.

En effet, ce que nous appelons la période actuelle est pour ainsi dire instantanée, c'est-à-dire sans durée, malgré ses centaines de siècles, relativement à chacune des périodes géologiques qui sont au contraire prodigieusement longues.

Il suffira de découvrir, dans une formation regardée comme actuelle, un seul vestige fossile se rapportant à un

être éteint, animal ou végétal, pour que, d'un commun accord, on le rattache à la période antérieure à la nôtre, c'est-à-dire aux temps quaternaires.

Au contraire, au cours de la moins longue des époques sédimentaires, les espèces et même les genres organiques se sont remplacés bien des fois ; et, sans déflorer les résultats que nous réserve l'étude de ces remplacements, nous pouvons en conclure à une différence radicale. Celle-ci, comme on le verra, ne tient pas à quelques circonstances naturelles ; elle est entièrement artificielle ; elle est notre œuvre et dérive tout simplement de la définition qu'il nous a plu de donner à la portion de l'évolution terrestre à laquelle nous assistons *de visu*.

Cependant, et quelles que soient ces difficultés qu'il serait puéril de dissimuler, le secours des faits actuels sera décisif pour la compréhension des faits passés, et inversement beaucoup de résultats plus ou moins anciens, révéleront des détails applicables à l'explication des mécanismes en œuvre aujourd'hui.

Dans un semblable sujet, la classification qui s'impose pour les nombreux faits dont la mention est indispensable doit considérer avant tout la nature des phénomènes produits.

En premier lieu se présente : l'*élaboration* de roches ou édification sédimentaire. Les roches engendrées seront réparties suivant leur nature minéralogique qui peut être : calcaire, siliceuse, phosphatée, argileuse, métallique ou charbonneuse. Les paragraphes successifs, relatifs à ces productions comporteront la subdivision en zoologiques et botaniques.

Dans une deuxième série, nous grouperons les cas d'*érosion*, c'est-à-dire de manifestations inverses des précédentes. Ici les renseignements seront beaucoup moins nombreux. En outre, il arrivera fréquemment que l'éro-

sion donne immédiatement naissance à des produits qui constituent des élaborations et rendent les classifications peu précises. Mais nous sommes résignés d'avance à cette circonstance, qui doit éveiller notre vif intérêt, en accentuant une des dispositions les plus caractéristiques de la Nature, où jamais aucune classification n'est possible d'une manière complète.

Ces deux grandes faces de l'activité géologique des organismes ou de leurs dérivés, ne peuvent être étudiées sans qu'il ne surgisse devant l'esprit une variété de phénomènes généraux de considération maîtresse. Il s'agit avant tout des *circulations* de matière et des transformations de forces, ayant des analogues dans l'histoire du monde purement minéral ou inorganique, mais qui se distinguent ici par les procédés mis en œuvre et par la nature des produits engendrés.

#### 1. — ÉDIFICATION DES ROCHES

Depuis bien longtemps déjà les philosophes et les naturalistes ont été portés à attribuer à la plupart des diverses roches sédimentaires une origine organique, et ils sont même allés jusqu'à dire que tout calcaire est une œuvre animale. « *Sic petrifacta*, écrivait Linné<sup>1</sup>, *non a calce, sed calx a petrificatis*; *sic lapides ab animalibus nec vice versa. Sic rupes saxei non primævi, sed temporis filliæ.* » « La terre calcaire est produite par les coquilles et les madrépores, » disait Sage qui, en 1786, était membre de l'Académie des sciences<sup>2</sup>. Selon Breislak (1812)<sup>3</sup>, Faujas Saint-Fond « a défendu la même opinion avec une

1. *Systema naturæ*, 219, 1748.

2. *Analyse chimique et concordance des trois règnes*, 3 vol. in-4°, Paris, 1786.

3. *Introduction à la Géologie*, traduction française, 1 vol. in-8°, Paris, 1812.

éloquence et une érudition capables de lui attirer l'assentiment de tous les naturalistes. » Et, en effet, les plus grands esprits ont cédé à la séduction de cette manière de voir. Lamarck lui-même y a acquiescé, dans son *Hydrogéologie*<sup>1</sup>.

Nous n'irons pas si loin, tant s'en faut. Nous savons, par exemple, l'origine de la chaux, par la décomposition des minéraux silicatés, tels que les feldspaths (labrador et anorthite) résultant de réactions entièrement minérales et entrant dans la composition des roches antérieures au phénomène biologique. Nous savons de même l'origine de l'argile par la décomposition, qui peut être inorganique, des feldspaths.

Mais nous constaterons, et avec quelques détails, que les êtres vivants ont collaboré à un nombre énorme de phénomènes géologiques, et en particulier à l'élaboration de roches aussi importantes que variées.

#### 1. — Roches calcaires.

Les roches biogènes de composition calcaire sont exceptionnellement nombreuses.

**Calcaires d'accumulation.** — Les unes dérivent d'une agglomération sur place, d'êtres faisant partie du benthon sessile, et qui sont, soit des végétaux, soit des animaux. Dans ce dernier cas, elles ont pour type le banc d'huitres, où nous avons affaire à des êtres qui se fixent sur le fond rocheux de la mer, et dont les descendants s'établissent à leur tour sur les dépouilles ancestrales. Les assises secondaires et tertiaires contiennent de pareilles accumulations, dont la très grande épaisseur révèle la très longue durée. Un ancien fonctionnaire du

1. 1 vol. in-8°, Paris, 1812.

Muséum d'histoire naturelle, Louis Rousseau, a jadis apporté au Jardin des Plantes un volumineux échantillon de ce genre qui est encore exposé à la porte de la galerie de Géologie. Parfois les mollusques, auteurs de ces constructions, se distinguent par la dimension et l'épaisseur de leur test, particularité exprimée par le nom qu'on donne par exemple à *Ostrea crassissima*: celle-ci vivait à l'époque miocène et elle a laissé des bancs gigantesques dans beaucoup de points du Midi de la France et dans le Tell, en Algérie. Des bancs d'*Ostrea deltoidea* et de ces petites *O. virgula*, que les carriers appellent si pittoresquement des oreilles de souris, se montrent dans le kiméridgien de la Lorraine et du Boulonnais. Un banc célèbre d'*O. dilatata* forme l'étoffe des couches oxfordiennes, aux Vaches-Noires, près de Dives. Le bathonien du Calvados, du Jura, de l'Angleterre, est riche en bancs d'*O. acuminata*, etc.

Le terrain crétacé nous ménage, en ce genre, le spectacle de bancs de mollusques dont le genre de vie devait ressembler à celui des huîtres, mais qui appartiennent à un groupe très différent, disparu de la nature vivante. Ce sont les hippurites: la falaise qui limite, sur une grande partie de son contour, l'Etang de Berre, dans les Bouches-du-Rhône, présente, au lieu dit la Montagne des Cornes, une coupe où d'innombrables hippurites sont très facilement visibles. Ces coquilles, rangées les unes à côté des autres, comme des cornets ayant la pointe en bas, ont jusqu'à 30 centimètres de longueur. Ainsi fixées, elles sont dans la position relative des huîtres et chacune d'elles est fermée par un véritable couvercle. On en rencontre à divers niveaux du sénonien, dans les Corbières (Aude), dans les Charentes, en Périgord, en Catalogne, etc.

C'est à côté des bancs d'hippurites que se présentent les formations madréporiques ou coralliennes, qui attei-

gnent en tant de localités des dimensions considérables et qui fournissent de tous côtés de si excellents matériaux de construction. Elles s'imposent si fortement à l'attention que, pendant un temps, on avait, d'après elles, caractérisé une époque géologique tout entière, qui constituait le terrain corallien. Nous aurons à revenir dans le chapitre suivant sur les intéressantes considérations qui ont fait renoncer à cette terminologie. Quoi qu'il en soit, le Jura, la Normandie, et bien d'autres régions, exploitent de larges carrières ouvertes en pleins amas madréporiques. Parfois ces calcaires prennent un beau poli et l'on s'en sert pour la décoration des édifices : la fontaine et le pont Saint-Michel à Paris sont construits avec des matériaux de ce genre qui viennent de Franche-Comté.

Dans le Boulonnais, dans la Flandre française, en Belgique, aux Etats-Unis, on recueille des marbres plus beaux encore, parce qu'ils ont été bien plus fortement métamorphisés et qui tirent une grande partie de leur charme de la perfection avec laquelle se sont conservés les restes de cœlentérés qui, sur les surfaces polies, dessinent des arabesques merveilleuses.

On ne peut contester l'importance du phénomène coralligène au cours des temps. Malgré tout ce que les réactions postérieures ont enlevé de matière aux récifs anciens qui ont été pendant toute la durée des temps géologiques en butte aux entreprises des agents d'érosion, ce qui en reste représente des volumes gigantesques. Une grande partie du sol de l'Europe septentrionale et centrale en est faite ; en Scandinavie et en Ecosse, l'épaisseur des marbres coralligènes est énorme. Une grande partie des Alpes et des Pyrénées, la majeure partie du massif du Jura sont faites de calcaires à polypiers. En dehors de l'Europe, de vastes régions et bien des chaînes de montagnes sont dans le même cas, et malgré notre impossi-

bilité de donner même un simple aperçu de cette gigantesque dispersion nous pouvons citer les États-Unis comme pourvus d'une masse colossale de ces roches.

Nous devons ici faire une place pour des calcaires parfois très épais et qui sont surtout constitués par des algues calcaires incrustantes. Ces végétaux, que nous avons signalés à propos des phénomènes actuels, ont laissé çà et là des preuves de leur activité édifiatrice. Déjà dans le terrain permien, mais surtout dans le trias des Alpes méridionales, depuis la Suisse (Bas-Valais), jusqu'à la Hongrie, des algues chlorosporées, du genre *Gyroporella*, ont déterminé la formation d'assises très épaisses, par l'accumulation de leurs concrétions. Une partie notable des montagnes dolomitiques de Mendola (sur le lac de Garde) et au sud du Tyrol, se compose de cylindres de ces mêmes *Gyroporella*. On en trouve aussi dans le muschelkalk du Vicentin et de la Haute-Silésie. Le même végétal constitue, à lui seul, des couches épaisses du crétacé moyen dans la partie méridionale du Liban.

Le calcaire à nullipores, qu'on observe aux environs de Vienne (*Leithakalk*) est généralement composé par l'accumulation de thalles pierreux de *Lithothamnium*. Cette algue qu'on retrouve dans les calcaires synchroniques, c'est-à-dire miocènes, de l'Algérie, joue un rôle important dans la constitution du calcaire danien de Vigny, en Seine-et-Oise, et paraît être apparue déjà du temps du muschelkalk, ou trias moyen.

**Calcaires de charriage.** — Une catégorie de roches d'origine essentiellement animale, résulte de la concentration, en des points déterminés, de débris organiques, par l'intervention de courants aqueux, et d'autres fois, de la pesanteur.

Si l'on suppose, répandus sur le fond de la mer, des dé-

bris provenant d'animaux variés, et présentant des formes, des densités, des poids divers, on comprend que de l'eau, circulant sur ce mélange, en entraîne les différents éléments avec plus ou moins de facilité, une partie pouvant même rester immobile et défier ses efforts. Le courant progressant, il épuise sa vitesse, à cause des résistances qu'il rencontre ; et, à chaque degré de son ralentissement, correspond la chute des objets présentant tel poids, tel volume, telle forme. Peu à peu, il se fera ainsi des dépôts distincts, dérivant d'un complexe commun et qui plus tard, ayant été cimentés ou modifiés, ne laisseront plus rien reconnaître de leur parenté d'origine.

De pareilles productions abondent à bien des niveaux sédimentaires. Au hasard, on citera des assises renfermant des quantités de fossiles animaux, dans le terrain cambrien du pays de Galles, qui contient sous le nom de *Lingula flags*, des roches tabulaires dont les plans de stratification sont littéralement couverts de lingules, réduites d'ailleurs à des empreintes par leur séjour sous-terrain.

On retrouvera des lits entièrement pétris de bélemnites, petits osselets qui remplissaient, dans le groupe des céphalopodes secondaires, le rôle que joue dans l'économie de nos seiches d'aujourd'hui, le sépiostaire, qu'on a coutume de mettre à la disposition des oiseaux en cage, pour aiguïser leur bec.

« On voit, dit Buckland <sup>1</sup> sur le rivage, au bas de la colline, dite *Golden Caps*, près de Charmouth, deux couches de marnes, pour ainsi dire *pavées* de bélemnites, et séparées par une épaisseur de trois pieds seulement d'une

1. *La Géologie et la Minéralogie dans leurs rapports avec la Théologie naturelle*, I, 331, 2 vol. in-8°, Paris, 1838.

autre marne où l'on n'en trouve presque pas. La plupart de ces bélemnites sont recouvertes de serpules et d'autres coquilles fixées : cette circonstance nous explique que le corps et le réservoir à encre se sont détruits et que les bélemnites ont reposé, au fond des eaux, un certain laps de temps avant que d'être recouvertes. »

Il existe dans l'Oise un vrai conglomérat, formé exclusivement des valves de la petite *Lima Carolina* du calcaire danien. Ailleurs, il s'agira seulement de portions d'organismes : dans l'Ain, des schistes, résultat de transformation d'anciennes vases argileuses, sont tout parsemés d'*Aptychus*, simples opercules d'ammonites, qui ont été séparés de la coquille qu'ils fermaient, sous la pression d'un courant impuissant à déplacer cette dernière.

Dans le département de Seine-et-Marne, des grès d'une épaisseur notable ne contiennent comme fossiles que d'innombrables pinces de petits crustacés, plus ou moins analogues à nos Bernard-l'Hermite et qu'on appelle des *Callianassa*. On pense que ces animaux, comme les crabes, dits *enragés*, de nos côtes, jouissaient de la faculté d'autotomie : ils savaient abandonner, par une section automatique, l'extrémité de leur patte saisie par un ravisseur, pour sauver le reste de leur individu.

L'accumulation des coquilles est parfois si exactement privée de matière conjonctive, qu'on peut dire que la roche résultante est entièrement coquillière. Une de ses variétés, dite *lumachelle*, est employée comme marbre.

L'accumulation de coquilles par voie de charriage joue le rôle d'un élément géologique sous la forme de *faluns* : en Touraine, ceux-ci s'étendent sur plus de 40 kilomètres carrés avec 6 mètres d'épaisseur moyenne. Il en existe de très ressemblants en Anjou et dans le Bordelais.

Un autre type des plus remarquables est connu sous le nom de *brèches osseuses*. Elles existent ordinairement

sur des points qui, lors de la production de ces roches, étaient des cavernes ou des cavités. Nous en connaissons dans de nombreuses localités et surtout dans des couches géologiquement peu anciennes, ce qui vient, vraisemblablement, de ce que les régions subaériennes où peuvent se produire des cavernes sont spécialement fragiles et que les vieux continents ont été généralement écroûtés par l'invasion de la mer à leur surface. Les cavernes fossiles consistent en roches de composition variée, souvent calcaires, et alors d'origine stalagmitique, dans lesquelles sont empâtés des débris osseux, provenant le plus souvent de mammifères terrestres. Dans le Quercy, des cavernes éocènes, étudiées paléontologiquement par Henri Filhol, ont montré la coexistence de carnivores avec des pachydermes comme le *Palæotherium*, des cheiroptères et bien d'autres. L'agent de transport à qui est due cette réunion nous est révélé par l'examen des cavernes d'à présent : c'est un carnivore qui traîne ses captures pour en nourrir ses petits.

Pour être complet, il peut être utile de mentionner ici la possibilité d'accumulations par charriages dans les courants marins, de débris d'algues calcaires du genre de celle que nous avons mentionnées précédemment. Nous savons déjà que sur nos côtes, et par exemple en Bretagne, le flot sépare et lave des dépôts de *Lithothamnium* qui, sous le nom de *maërl*, sont fort recherchés comme amendement agricole. Eh bien ! il est manifeste que le même mécanisme a produit les mêmes effets pendant des époques antérieures. Par exemple, le calcaire pisolithique, que nous avons cité plus haut comme produit d'accumulation sur place, contient en certaines de ses parties des fragments d'algues calcaires manifestement roulés et qui par leur réunion entrent dans la catégorie actuelle. Des exemples analogues s'observent dans des récifs fos-

siles très divers, mais sans jamais présenter un caractère d'autonomie bien net.

**Roches calcaires de charriage vertical.** — Il y a certainement lieu d'insister sur la différence avec le charriage précédemment mentionné, du transport de débris marins, depuis quelque point de l'épaisseur et même de la surface des eaux jusqu'au fond submergé. Il donne naissance à des masses dérivant du necton et du plankton, tandis que le premier mode d'action s'alimente surtout et tout naturellement, du benthon vagile dont il traîne les débris sur le sol.

Le charriage vertical est dans certains cas très efficace, et il a engendré des éléments volumineux de l'édifice sédimentaire. En bien des régions, des centaines de mètres d'épaisseur sont constitués par des calcaires devenus marbres et qui sont remplis des tests ellipsoïdaux de petits foraminifères, qualifiés de *fusulines*.

De leur côté, les roches nummulitiques constituent un faciès spécial parmi les dépôts marins qui sont assez épaisses pour intervenir dans la structure de chaînes de montagnes, comme les Alpes, les Pyrénées, la chaîne Libyque. Elles font également le sous-sol, sur une grande épaisseur, de diverses régions, peu accidentées comme le Sénégal<sup>1</sup>.

## 2. — Roches siliceuses.

**Roches siliceuses de charriage horizontal.** — Le benthon sessile comprend, comme on l'a vu, un certain nombre de formes animales qui sécrètent de la silice : à cet égard, des éponges méritent une attention toute particulière. Lors de leur décomposition, les spicules restent

1. Stanislas Meunier. *C. R. Acad. Sc.*, CXXXI, 666, 1898.

mélangés à la vase d'où les courants aqueux peuvent les isoler pour les concentrer en certains points. C'est ainsi que la roche, dite *meule quartzeuse*, subordonnée à la craie cénomaniennne à *Schlnbœachia inflata* et dont Cornet et Briard <sup>1</sup> ont fait une étude si attentive, a révélé à M. Hinde <sup>2</sup> l'abondance des spicules d'éponges qu'elle contient. Au microscope, c'est un enchevêtrement de petits débris, provenant surtout de monactinellidés, et appartenant aux genres *Monilites* et *Reinera*. Avec eux sont des représentants de trois autres familles de spongiaires dites tétractinellidées, hexactinellidées et lithistidées, le tout ayant sans contestation possible pour origine le benthon sessile de la mer crétacée. Ces débris sont au sein de la *spongolite*, réunis entre eux par un ciment entièrement siliceux, constitué surtout par de l'opale blanche. Enfin, on trouve dans la roche une certaine collaboration planktonique, mais généralement très faible, constituée par des radiolaires et même par des foraminifères, dont le test a naturellement été transformé en opale au sein de ce milieu si essentiellement siliceux. Malgré l'énergie de cette substitution chimique, on reconnaît les genres, et l'on constate que *Textularia* est en prédominance évidente <sup>3</sup>.

Dans les Ardennes, on recueille une roche formée d'opale pulvérulente, très analogue à la précédente, mais qui est bien plus riche en radiolaires, c'est-à-dire où l'élément planktonique joue un rôle plus considérable. C'est la *gaize*, exploitée à divers niveaux pour fabriquer des matériaux réfractaires et qui sert parfois de support à la nitroglycérine dans la préparation de la dynamite.

1. *Mém. Ac. Belg.*, XXXIV, 1868.

2. *Ph. transact. of the R. Society*, 1885, 2<sup>e</sup> partie, p. 424.

3. Cayeux. *Contribution à l'étude microscopique des terrains sédimentaires*, p. 86, 1 vol. in-4°, Lille, 1897.

Les éponges y sont surtout représentées par des spicules de tétractinellidées passés à l'état d'opale et même de calcédoine. Mentionnons enfin la présence, en quantité parfois considérable, d'éponges entières silicifiées dans les assises secondaires. Les *Jerea*, par exemple, sont innombrables dans certains gisements de l'albien des Ardennes, dans le cénomanién du Centre et de la Normandie; les *Siphonia*, *Cupulospongia*, *Amorphospongia*, abondent fréquemment. Le géologue Etallon a proposé naguère de qualifier de *terrain spongitién* un certain niveau de l'oxfordien du Jura suisse.

**Roches siliceuses de charriage vertical.** — Il faut rapprocher des précédentes, des roches de même composition chimique, c'est-à-dire formées d'opale, mais constituées par des tests d'êtres microscopiques qui se sont accumulés par le charriage vertical, c'est-à-dire qui sont tombés de la masse des eaux sur le fond de l'océan. Ce sont principalement des organismes planktoniques et avant tout des radiolaires et des diatomées.

Les radiolaires remontent presque au début de la série sédimentaire; la lydienne des environs de Lamballe, déjà mentionnée antérieurement, doit être comptée comme une boue à radiolaires de l'étage cambrien. Nous n'aurions pas de profit à énumérer les niveaux qui les ont fournis; disons seulement qu'il en est de très abondants au sein des assises crayeuses où les rognons de silex semblent avoir trouvé en eux la substance même qui les compose.

En ce qui concerne les diatomées, il importe de constater qu'elles ne remontent pas à beaucoup près à un passé aussi reculé que les radiolaires, sinon à l'état de grande rareté.

Castracane a trouvé des diatomées dans les houillères de l'Angleterre et selon lui plusieurs de ces microorga-

nismes présentent une ressemblance complète avec des diatomées d'aujourd'hui. Ce sont : *Fragillia Harrissoni*, *Epithemia gibba*, *Sphenella glacialis*, *Gomphonema capitatum*, *Nitschea curvula*, *Cymbella scotica*, *Synedra vitrea*, *Diatoma vulgare*.

Dans les calcaires argileux de Partnach et peut-être dans le muschelkalk de la même localité, on trouve des couches presque entièrement formées de *Bactryllium* Heer, organisme regardé comme une baccilariée (diatomée), à affinités encore *incertæ sedis*.

Les roches généralement qualifiées de *tuffeaux sili- ceux*, et qui peuvent atteindre des dimensions très notables, sont caractérisées par la présence de diatomées, associées d'ailleurs à une proportion plus ou moins grande d'autres matériaux riches en silice, comme les radiolaires et les spicules d'éponge. On en connaît des types remarquables, en Belgique (Mont Panisel) et dans notre département du Nord, comme ceux du Mont des Cats. Nous avons eu personnellement l'occasion d'en décrire un type remarquable subordonné au calcaire grossier parisien et provenant de la Côte-aux-Buis, dans le parc de l'Ecole Nationale d'Agriculture de Grignon <sup>1</sup>.

Dans les couches du Puy du Mur, près de Pont-du-château (Puy-de-Dôme), M. Paul Gautier <sup>2</sup> a signalé une randanite intéressante par le caractère nettement marin de ses éléments, contrastant avec les formes d'eau douce de la faune fossile, dont nous avons constaté la production actuelle dans le sous-sol de Randane, tout au voisinage.

Dès 1831, Henri Lecoq a signalé à Saint-Nectaire-le-Bas (Puy-de-Dôme) un amas remarquable d'opale, de

1. Stanislas Meunier. *C. R. Ac. Sc.*, CXXXIV, 198, 1902.

2. *C. R. Acad. Sciences*, séance du 16 juin 1893 et *Société d'Emulation de l'Auvergne*, séance du 12 juillet 1893.

13 mètres de longueur, de 15 mètres de largeur et de 1 mètre d'épaisseur, que nous devons regarder comme un geyser fossile. La structure du dépôt tertiaire est la même que celle des geysérites, qu'on recueille dans le bassin des sources jaillissantes chaudes de l'Islande, comme dans celles du Parc National des Etats-Unis. On se rappelle que dans ces localités actuelles, et malgré la température très élevée qui y règne, la vie végétale y manifeste une grande exubérance ; les diatomées en particulier y pullulent, ainsi que d'autres algues auxquelles on attribue la brillante coloration des dépôts. La roche de Saint-Nectaire, étudiée en lames minces au microscope, se présente comme littéralement pétrie de frustules de diatomées ; les *Pinnularia*, *Coconema* et *Odontidium* y sont spécialement abondantes.

Il n'est pas inutile, en terminant ce sujet, de constater que la silice d'origine organique dont nous venons de parler, étant accumulée dans des séries de gisements avec les formes précédentes, elle est toute préparée à subir des déplacements de la part des eaux de circulation à toutes températures et généralement déjà pourvues de certaines matières en dissolution. Il en résulte des productions très variées, comme des amas d'opale, de geysérite, de meulière, des bancs de silex et même des silifications entières de couches, comme à Saint-Priest, ce qui contribue à augmenter encore l'opinion qu'il faut se faire de la collaboration biologique dans la genèse des matériaux siliceux des terrains stratifiés.

### 3. — Roches phosphatées.

Nous signalerons, sans détail, quelques types de roches qui se rattachent par leur origine à des réactions chimiques sans analogue avec celles qui appartiennent au domaine

de la chimie minérale, et qui sont une conséquence de l'apparition même des composés animaux sur la terre. Par exemple, la décomposition des tissus développe la production de phosphate d'ammoniaque qui, au contact des calcaires, détermine la genèse simultanée de carbonate d'ammoniaque, qui se dissipe et de phosphate de chaux qui persiste. De véritables cavernes fossiles que nous avons déjà citées, celles de Quercy, entre autres, ont montré quelle échelle peuvent atteindre des productions de ce genre. Il a fallu des années, malgré la véritable âpreté des exploitants, pour vider les cavités naturelles des calcaires du Rouergue de la précieuse matière, qui les remplissait.

Le nombre des espèces minéralogiques engendrées dans ces gisements du Lot et du Tarn-et-Garonne, qui s'étendaient sur plus de 40 kilomètres du nord au sud et 7 kilomètres de l'est à l'ouest, soit 300 kilomètres carrés, est aussi considérable que celui dont Chevreul a fait le recensement dans le guano moderne. Deux minéraux principaux se signalent : la staffelite (phosphate de calcium associé à du carbonate de chaux) et la dhallite, qui est comme un hydrate du précédent, la première constituant en outre, par son mélange intime avec la colophonite, la matière désignée sous le nom de quercite.

Dans les cavernes de tous les âges et causant les mêmes effets, les produits coprolithiques, tels que les déjections d'hyène (*album grecum* de la vieille pharmacopée) se mêlent à des débris osseux provenant, soit d'animaux frappés de mort naturelle dans les refuges souterrains, soit de proies traînées dans ces mêmes refuges par les carnivores.

Dans la plupart des circonstances, des microbes, dont on retrouve des spécimens jusque dans les déjections fossilisées, à l'état de coprolithes, soit dans le lias, soit même

dans le terrain permien, sont venus ajouter leur action essentiellement vivante aux réactions chimiques, développées par les substances mortes.

L'intérêt de ces observations est augmenté par la remarque que certains gisements géologiques du phosphate de chaux en sont expliqués. Par exemple, les célèbres amas du Quercy, qui ont été si fructueusement supprimés par les exploitations agricoles, et d'où Henri Filhol a retiré de si riches collections paléontologiques, se présentent, à n'en pas douter, comme le produit des réactions précédentes, réalisées dans des cavernes de l'époque tertiaire. On pourrait insister sur la conclusion qui en ressort quant à la ressemblance intime des conditions de milieu à des époques aussi distantes l'une de l'autre que l'époque éocène et l'époque actuelle. Nous y reviendrons.

La connaissance de semblables gisements a jeté un rayon de lumière sur l'origine de toutes les phosphorites stratifiées. Là où existent à la fois des matières animales et des matériaux calcaires, la réaction précédente peut se développer, et les variations d'allure du phosphate produit, dépendent avant tout des conditions spéciales du milieu générateur. Aussi les phénomènes de concrétion pourront-ils accompagner le phénomène de production, exactement au fur et à mesure de son développement, et on pourra rapprocher des échantillons de phosphorite de Caylus, zonaires et d'apparence agatoïde, soit les petits globules de la craie sénonienne, à Beauval, et danienne, à Ciply, soit la matière conjonctive des coquins des Ardennes. Les gisements phosphatés des terrains sédimentaires doivent donc être portés au compte de l'activité biologique, au double point de vue de l'origine des substances et du mécanisme, généralement bactérien, de leur élaboration.

A l'égard de ces dernières roches, qui ont une impor-

tance industrielle de première valeur et qui représentent un volume considérable et par conséquent une activité intense de production, il me sera permis de rappeler qu'elles m'ont personnellement occupé pendant longtemps.

Dans l'ouvrage que nous avons déjà cité, M. Cayeux<sup>1</sup> combat une hypothèse de MM. Renard et Cornet<sup>2</sup>, d'après qui les grains phosphatés se seraient accumulés sur le littoral de la mer au moment du dépôt de la craie et auraient été charriés ensuite par les courants dans les régions profondes. A la place de cette manière de voir, l'auteur expose son opinion à lui, d'après laquelle les granules d'apatite se sont constitués au sein de la craie, après son dépôt. Or, il est facile de vérifier que, dès 1886, j'avais moi-même fait valoir cette théorie, que j'ai confirmée ensuite<sup>3</sup>. C'est ce que constate M. Olry dans un historique de la question, où M. Cayeux ne pouvait pas même être mentionné, jusqu'à la date de 1889<sup>4</sup>. Les nodules phosphatés peuvent atteindre des volumes relativement grands et c'est ce que montre avant tout le célèbre poudingue de la Malogne (Ciply).

Ces roches phosphatées, jusqu'ici spéciales aux horizons sénonien et danien, ont une épaisseur très notable.

Il faut aussi signaler l'abondance du phosphate d'origine entièrement organique dans les couches tertiaires d'Algérie et de Tunisie, qui ont donné dans ces derniers temps de si grands résultats industriels et dans celles du Sénégal, qui promettent des réserves importantes pour l'avenir<sup>5</sup>.

1. *Contribution microscop.*, etc. p., 232. etc., Lille, 1897.

2. *Bul. Acad. roy. de Belgique*, XLVII, 157, 1891.

3. *C. R. Acad. Sc.*, CII, 657, 1886. V. aussi *id.*, CVI, 214, 1888.

4. *Le Phosphate de Chaux et les établissements Paul Desailly* par A. Olry, ingénieur en chef des Mines, p. 50, in-8°, Paris, 1889.

5. Stanislas Meunier. *Roches phosphatées du Bas-Sénégal*; Bulletin du Muséum, 1898, n° 2, p. 111.

Nous avons encore à mentionner pour certaines roches phosphatées exploitables et exploitées, un mode de formation par charriage qui présente un certain intérêt et qui contribue à faire apprécier à sa valeur vraie l'activité des organismes.

Il s'agit d'un charriage vertical au travers de toute l'épaisseur de couches sédimentaires préalablement constituées et qui sont soumises à la décalcification. Cette circonstance montre que la production ne peut se réaliser que dans des localités calcaires exondées, c'est-à-dire aptes à recevoir la pluie.

En ce qui concerne les roches phosphatées, nous avons à mentionner ici les *bone beds*, les lits de coquins, du type des Ardennes et les sables phosphatés oolithiques du type Beauval et Ciply.

On sait que les *bone beds* sont des lits relativement très minces, consistant presque exclusivement en débris animaux (os, écailles et dents de poissons ou d'autres vertébrés) subordonnés en stratification parfois concordante à des massifs sédimentaires. Ils représentent une concentration de débris organiques comparables à celle que déterminent les courants de la mer Noire, dans une direction rectangulaire avec celle qu'ils ont suivie, c'est-à-dire verticale et non horizontale.

Des *bone beds* se présentent dans des pays très variés où on les exploite pour l'agriculture, quand ils sont suffisamment épais et continus. Le culm du sud-ouest de l'Angleterre contient un *bone bed* qu'on retrouve dans le Yorkshire. Falsan et Chantre en ont décrit un qui peut être triasique, avec *Saurichthys*, dans le Mont-d'Or lyonnais. La *Lettenkohle* de Tubinge a fourni des *Ceratodus* et des *Mastodonsaurus*. Mais le *bone bed* par excellence est subordonné à la zone à *Avicula contorta* (Rhétien) et se retrouve dans une grande partie de l'Europe, en Bour-

gogne, en Franche-Comté, en Lorraine et bien ailleurs. Ici ce sont généralement des couches minces, parfaitement réglées et constituées presque exclusivement de dents, d'os, d'écaillés, ayant le caractère commun d'être insolubles dans l'eau de pluie. Ces débris représentent le résidu de couches calcaires antérieures, dans lesquelles ils étaient disséminés, parfois même très clairsemés. La région ayant été soumise au régime continental, la décalcification intempérique a déterminé la concentration, souvent à plusieurs mètres sous terre, quand le revêtement est dépourvu de carbonate de chaux. Plus tard, l'ensemble a pu être recouvert de sédimentations plus récentes qui achèvent, à notre grand profit, de dater le moment continental par lequel a passé le point considéré.

Le procédé de concentration générateur des *bone beds*, s'applique sans variantes à des concrétions dont les éléments résultent de la vie : par exemple, des coprolithes ou des produits de la réaction de ces déjections sur des substances calcaires donnant lieu à des nodules. La décalcification concentre alors des filets de matières phosphatées et le type peut être fourni par les cordons de coquins, si célèbres dans les Ardennes et dans d'autres régions où affleurent des sables glauconifères d'origine albiennaise, mais qui ont vraisemblablement été décalcifiés à un moment postérieur difficile à préciser<sup>1</sup>.

Sous une autre forme, et avec des conséquences industrielles de premier ordre, le procédé décalcifiant peut s'exercer sur les craies brunes, à nodules microscopiques de phosphate, et donner naissance à des couches de sables phosphatés superposés directement au calcaire et rem-

1. Il ne faut pas oublier que des lits de décalcification sont fréquemment modifiés, au point d'être difficilement reconnaissables, par l'infiltration postérieure de suintements calcarifères, pouvant procurer une matière conjonctive générale dont la rencontre paraît à première vue contradictoire avec l'origine de la masse.

plissant en tout ou en partie les poches ouvertes dans son sein. Il ne faut pas oublier cette particularité pour rattacher ces sables à l'origine biologique d'où ils procèdent et faire mention en même temps des enduits phosphatés le long des joints et des diastromes de la craie brune, par exemple à Hardivillers (Oise).

#### 4. — Roches sulfureuses et roches métalliques.

Pour compléter dans ses grandes lignes l'énumération des roches rattachables à une origine végétale, il est nécessaire, comme nous l'avons fait pour les roches animales, de signaler quelques faits d'importance secondaire au point de vue du volume, mais dont la signification ne saurait être contestée. De même que les substances animales, les matières dérivées des plantes jouissent d'un énergique pouvoir réducteur qu'elles doivent à leur combustibilité. Si des bancs de gypse existent au voisinage de masses organiques de ce genre, il y a, comme précédemment, production de sulfure calcique et même mise en liberté de soufre natif. Sans revenir sur ce phénomène, décrit à sa place dans un chapitre précédent, notons seulement qu'il peut donner lieu à des produits de dimensions géologiques.

Une autre forme de la réduction concerne l'abondance de la pyrite de fer et plus encore de la marcasite qui, dans beaucoup de niveaux ligniteux, comme dans les cendrières du Soissonnais, alimente une industrie active. Par le contact de l'air humide, les sulfures métalliques passent à l'état de sulfates de fer, dont la dissolution aqueuse est immédiatement la source d'une foule de produits. D'un côté par son acide sulfurique, elle engendre très aisément de l'alun, et, avec celui-ci, les produits chimiques les plus variés : par son fer et par la seule rencontre de solutions

tanniques, elle engendre des substances noires employées comme encres et comme teintures.

Ces mêmes sulfures métalliques se retrouvent dans toutes les variétés de combustibles : la houille contient souvent des enduits brillants qui font supposer aux ignorants qu'elle a été dorée.

A la suite de réactions physiologiques signalées déjà

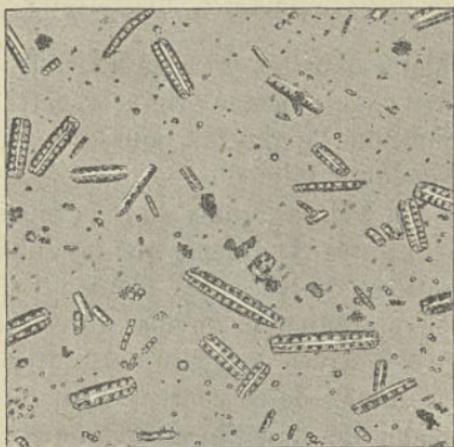


Fig. 15. — Infusoires de la Barège d'Olette (Pyrénées-Orientales) comme types d'*algues thiogènes*. — D'après Filhol (1863).

plus haut, des couches métallifères, mais cette fois oxydées, résultent du mécanisme végétal. On exploite en maintes localités, sous le nom de minerais des lacs ou de minerais des prairies, des limonites qui résultent avant tout de la dissolution dans le sol continental de l'oxyde de fer auquel tant de roches meubles doivent leur teinte jaune, brune et même rouge, sous l'action de l'acide créniqne émané des racines. Comme nous l'avons déjà dit, le sol est progressivement décoloré et le créniqne de fer, concentré en certaines localités convenablement situées, se décompose, passe à l'état de fer carbonaté, pour s'établir

dans la condition d'équilibre correspondant à la limonite. De ce chef, la plante est l'auteur de masses notables de fer oxydé de tous les âges et l'on a vu que les *stigmata* semblent dévoiler la déferruginification de certains sols carbonifères.

**Roches gypseuses.** — Des amas de gypse peuvent résulter, à tous les niveaux sédimentaires, du mécanisme biologique dont nous avons signalé l'efficacité comme déterminant la réduction des sulfates contenus en dissolution dans diverses sources thermales sous l'influence exclusive des algues dites *thiogènes* (fig. 15). Le sulfate de soude à Barège, le sulfate de chaux à Aix-les-Bains, sont ramenés à l'état de sulfures et des quantités considérables de composés sulfurés et spécialement d'acide sulfhydrique se dégagent. Ce dernier, comme Dumas l'a constaté, passe à l'air, à l'état d'acide sulfurique et les calcaires au voisinage des sources sont épigénisés en gypse. Il est quelque peu difficile de reconnaître, pour les anciennes périodes, la réalisation de cette réaction, mais il est impossible de supposer qu'elle n'ait pas eu lieu au voisinage de toutes les sources sulfurées. Cette connexion nous suffit pour l'établissement de notre tableau de l'actinité géologique développée par la vie.

Parfois, la production d'eaux chargées de sulfures s'est réalisée, lorsque des eaux séléniteuses ont subi l'action réductrice de lits de végétaux lignitisés. C'est exactement ce qui a lieu à Enghien et dans plusieurs localités analogues.

A cette production de sulfure, nous rattacherons la production par le phénomène inverse d'amas stratifiés de soufre natif. L'étude des phénomènes actuels a montré comment la présence de débris organiques dans un sol imprégné de suintements sulfatés, libère facilement du

soufre apte à cristalliser. C'est comme la reproduction, en très grand, du sous-sol de la place de la République, que montrent à nos yeux les grandes carrières des Tapets, dans le département de Vaucluse.

Voilà des siècles qu'on exploite aux Tapets, des couches de soufre associées à la fois à des assises de gypse et à des lits de lignite, comme si la Nature avait tenu à mettre sous nos yeux tous les documents d'où résulte la théorie du phénomène. On voit avec les yeux de l'esprit, les infiltrations séléniteuses imprégner la couche de combustible et subir les conséquences de l'affinité de celui-ci pour l'oxygène. Chaque année, on tire de ce gisement intéressant des milliers de tonnes de soufre qui sont surtout employées, après pulvérisation, pour le traitement de la vigne. La formation sulfo-gypseuse de la Toscane, aux environs de Livourne, renferme des lits de soufre, dont l'isolement paraît dû surtout à l'activité de diatomées, maintenant fossilisées dans des lits de tripoli. Cet ensemble dépend du terrain pontien. En Aragon, près de Teruel, c'est à un niveau plus récent encore que le soufre libre imprègne sur une très large surface, des tufs renfermant à la fois des lambeaux gypseux et des débris végétaux. On y voit aussi des empreintes de coquilles et le soufre s'est substitué fréquemment à la substance primitive des tests de planorbes et de lymnées.

Ce phénomène s'est fréquemment renouvelé, depuis l'origine, à la surface du globe et les entrailles du sol stratifié nous en offrent des exemples, à toutes sortes de niveaux, qui n'indiquent pas toujours l'âge des phénomènes, ceux-ci étant fréquemment plus récents que les roches au sein desquelles ils se sont développés. A cet égard, il nous suffira de citer un seul exemple, subordonné aux couches qualifiées d'oxfordiennes d'une grande partie de la France: Jura, Nièvre, Cher, Yonne, Meuse, etc. A des

assises plus ou moins argileuses, sont subordonnées fréquemment des concrétions siliceuses connues sous le nom de *chailles* et que les géologues apprécient d'autant plus qu'on trouve souvent dans leur intérieur des vestiges, parfois très bien conservés, de fossiles variés. Avec les fossiles, il y a du soufre, souvent même à la place des fossiles, et l'analyse du phénomène conduit à reconnaître au soufre des causes tout à fait voisines de celles que nous invoquons tout à l'heure. Ici encore, des solutions de sulfate de chaux ont été privées de tout leur oxygène par la combustion lente, insensible, de matériaux organiques.

**Roches charbonneuses.** — On voit que c'est par des transitions presque insensibles que nous sommes amenés à mentionner parmi les travaux géologiques des organismes, les couches de combustibles fossiles.

Un grand nombre de productions végétales se sont élaborées dans la croûte terrestre, sans que des charriages importants soient intervenus, et simplement parce que des végétaux se sont groupés pour vivre dans un même lieu et y ont abandonné leurs dépouilles. C'est la condition que nous avons vue si énergiquement à l'œuvre à l'heure actuelle, dans le développement des tourbières.

Ici, quelques précautions sont nécessaires afin d'éviter tout malentendu. Pendant de longues années, des discussions très vives continuèrent pour décider si la houille et un produit de charriage ou une production réalisée sur place. Elie de Beaumont se flatta de démontrer mathématiquement que tout charriage est impossible : il faudrait, disait-il, supposer des radeaux de plus de 100 mètres d'épaisseur pour expliquer la production de couches de quelques décimètres<sup>1</sup>. Parallèlement, on prouva

1. *Leçons de géologie pratique*, in-8°, Paris, 1845.

à l'évidence, que la houille ne s'est pas faite sur place, puisqu'on trouve dans les bancs de grès qui lui sont associés, des arbres gisant dans les positions les plus variées et présentant même parfois leurs branches en bas et leurs racines en haut. C'est laborieusement qu'on est arrivé à cette conclusion, qui semble pourtant bien simple, que la nature est plus complexe, plus riche que nos théories n'étaient disposées à l'admettre tout d'abord, et que, suivant les conditions locales, la houille s'est formée, ici par charriage, là par transport.

On entend par lignite un combustible fossile distinct de la tourbe par sa densité qui est plus forte, par sa dureté, par son pouvoir calorifique qui est en moyenne de 4 800 calories pour 1 gramme (celui du bois étant à peine de 4 300). Au point de vue chimique, le lignite contient de 56 à 74 p. 100 de charbon, au lieu de 20 à 30 que nous offre la tourbe et produit de 2 à 5 p. 100 de cendres, au lieu de 17 p. 100. La structure est parfois ligneuse, mais elle est bien plus souvent compacte, parfois même piciforme, c'est-à-dire d'apparence presque vitreuse, si bien qu'on imite les bijoux de jayet, qui sont du lignite, avec de la verroterie noire.

Des lignites lacustres se trouvent dans une infinité de régions. Autour de Paris, les argiles plastiques renferment à Arcueil, un banc de lignites, en grande partie terreux, mais comprenant aussi des troncs d'arbres parfaitement définis et où de gros palmiers sont reconnaissables. Dans le Soissonnais (Oise et Aisne), une formation à peu près synchronique est suffisamment développée, pour qu'on l'ait exploitée activement. Les « cendres noires », comme on les appelle, alternent avec des bandes de grès ou de sables remplis d'empreintes ou de débris de cyclades, de paludines, de planorbes et même de vertébrés fluviaux ou terrestres, comme des crocodiles, des tortues, des mam-

mifères. Dans l'ancien département du Bas-Rhin, un affleurement important de lignites miocènes est subordonné à des couches pétries de planorbes et de lymnées. En Suisse, à Cœningen, près de Constance, existent des lignites lacustres, célèbres par la faune qui en a été décrite et qui comprend, entre autres, une salamandre si volumineuse, qu'on a pris d'abord ses os pour un squelette humain. Au Chili et au Tonkin, le lignite, qui est d'âge infra-liasique, est encastré entre des couches pétries de fougères arborescentes (*Glossopteris*, etc.).

Le lignite du Soissonnais, mentionné tout à l'heure, quoique intimement associé à des coquilles d'eau douce, s'est formé dans une région bien voisine du littoral marin et où de faibles déplacements verticaux de la surface terrestre, déterminaient des envahissements et des reculs alternatifs de l'océan : les couches combustibles alternent à plusieurs reprises avec de véritables bancs d'huîtres (*Ostrea Bellocensis*). Mais en Bavière, la nature saumâtre des lignites oligocènes, montre avec plus de netteté encore, les traces de ce régime ambigu. Des couches de *Pechkohle*, atteignant 1 mètre d'épaisseur, sont associées à des bancs marneux, remplis de cyrènes et de potamidés, pendant que, dans le charbon, des lits entiers de coquilles d'*Helix*, habituellement écrasées, nous préparent à rencontrer plus tard dans la houille des lits de tests d'*Anthracosia*. Ici, les plantes génératrices du charbon sont surtout des arbres à feuilles caduques, les conifères n'ayant qu'un rôle subordonné.

Nous avons, sur le territoire même de la France, des exemples assez variés pour nous procurer la notion des faits importants concernant la houille. Il suffira de demander à l'étranger un très court complément, pour que nous soyons suffisamment renseignés.

Le bassin du Nord, suite des bassins belges, présente

cette circonstance intéressante d'être entièrement enfoui sous des sédiments parfaitement horizontaux. Sa structure y fait reconnaître le résidu d'une chaîne de montagnes construite exactement sur le modèle des Alpes, mais dont le soulèvement date de la fin des temps primaires et qui, ayant été vers le temps jurassique supérieur, en butte aux entreprises de la mer, a été lentement arasée et ensevelie sous les sédiments secondaires comme, en ce moment même, les falaises du Cap Breton, en Nouvelle-Ecosse, formées de couches sensiblement synchroniques de celles qui composaient cette chaîne, sont arasées par la mer actuelle, qui recouvre la section horizontale qu'elle en fait, des sédiments de notre âge. Plus tard, la coupe du pays reproduira exactement celle de Valenciennes ou d'Anzin, avec cette seule différence que le recouvrement du terrain primaire, au lieu d'être portlandien, sera de l'âge provisoirement actuel.

**Roches charbonneuses de charriage horizontal.** — L'histoire sédimentaire des plantes constitue, comme on pourrait le prévoir, un parallèle exact de celle des animaux. Elle comprend tout d'abord la formation de roches par l'accumulation des débris végétaux. Les courants marins interviennent, ici comme là, et parfois avec une activité et une ampleur remarquable. Sur les côtes sud-ouest de l'Islande des couches de combustible sont recouvertes par d'énormes épaisseurs de déjections volcaniques, laves et cendres. Au moins par ses parties inférieures, elles dépendent des temps quaternaires. On connaît la roche combustible sous le nom de *surturbrand* et l'examen de ses éléments y fait reconnaître des débris d'arbres à faciès tropical. Comme le dépôt continue de s'accroître sous nos yeux, il n'y a pas à douter qu'il ne résulte du charriage au travers de tout l'Atlantique,

et par le moyen du *gulf-stream*, d'arbres déversés par le Mississipi dans le golfe du Mexique.

Toutes les conditions de ce dépôt se retrouvent, sans variantes importantes, à des niveaux franchement géologiques, et il suffira de mentionner la coupe visible à l'« Enfourchure de Grammont », près de Joigny dans l'Yonne. Cette fois, le niveau intéressé correspond à l'argile plastique (terrain sparnacien), qui est là immédiatement superposée à la craie blanche. On y voit une énorme accumulation de troncs d'arbres passés à l'état de bois bruni ou lignites, mais assez bien conservés pour qu'on y reconnaisse la structure du cyprès chauve (*Taxodium distichum*) de l'époque actuelle<sup>1</sup> ou d'un végétal très voisin. Nul doute que l'Enfourchure de Grammont ne se soit trouvée, au début de l'éocène, dans des conditions plus ou moins comparables à celles de l'Islande moderne, à moins qu'elle n'ait été à l'embouchure même d'un grand fleuve.

Cette dernière remarque nous conduit à ajouter que les bois parvenant en Islande ne forment qu'une petite fraction de ceux qui sont arrachés et charriés par les eaux mississippiennes. En effet, la plupart des bois charriés dans la mer s'imprègne progressivement du liquide et coule à fond pour constituer, ainsi que nous l'avons déjà dit des amas qui ont leurs analogues parfaits dans l'épaisseur des formations carbonifères. Comme M. Fayol<sup>2</sup> l'a démontré, la grande couche de Commentry possède une structure où il n'est pas possible de méconnaître son origine deltoïde et c'est un des exemples les plus complets que l'on puisse citer des services réciproques que se rendent la description des dépôts anciens et l'observation des

1. D'après Bernard Renault.

2. *Etude sur le terrain houiller de Commentry*, I, 306, 3 vol. in-8° avec atlas, Saint-Etienne, 1887, 1888 et 1893.

phénomènes actuels, pour élucider les problèmes géologiques. Il n'est pas inutile d'ajouter que la méthode expérimentale est intervenue, pour rendre la démonstration complète. A côté du delta qui, dans le golfe du Mexique, travaille d'une manière occulte ; à côté du delta depuis longtemps desséché qui livre tous les secrets de son anatomie aux mineurs de Commentry, elle a procuré des deltas dont on règle la production, dont on varie la structure et dont on interrompt les dépôts selon tous les besoins des informations. Parmi les faits les plus frappants résultant de cette méthode décisive, se présente avant tout la constatation du triage parfait réalisé entre les matériaux les plus divers apportés ensemble dans un bassin aqueux, par un cours d'eau qui y épuise son impulsion contre l'inertie de l'ambiance. Sur un plan secondaire, se présente l'acquisition progressive d'un poids spécifique de plus en plus élevé par les débris végétaux ; aussi, après avoir flotté, sont-ils progressivement submergés, jusqu'à venir se poser sur le fond du bassin. Et, comme petit détail, de première importance pour décider entre les théories houillères : la fréquence de la submersion réalisée ainsi, avec dépôt des végétaux dans une position telle qu'ils prennent l'apparence d'un ensevelissement sur place, et sans transport ; — le tout, sans préjudice de l'admission de sols fossilisés en bloc et dont les exemples se sont déjà présentés à nous.

Le succès de ces expériences et la séduction de leurs résultats, ont déterminé, chez les géologues, une tendance à rattacher tous les dépôts de houille à ce même mode de formation. Il ne sera pas difficile de montrer un peu plus loin que d'autres processus sont bien souvent intervenus pour leur part.

Roches charbonneuses végétales de charriage ver-

tical. — Parmi les roches charbonneuses les plus remarquables par leur composition chimique et qui ont été l'objet d'une exploitation régulière, à cause de leurs qualités industrielles dues à l'abondance extrême des gaz que la distillation en retire, figure le *boghead*. C'est une substance légère, compacte, très combustible et qui, au microscope s'est montrée à Renault<sup>1</sup> comme composée pour les  $\frac{2}{3}$  de son volume de thalles d'algues globuleuses mesurant à l'état adulte 170  $\mu$ . (ou en millimètres 0,170). Ces algues, constituant le genre *Pila*, sont essentiellement d'eau douce et appartiennent à la famille des Protococcées. Selon Renault, elles se sont comportées pendant les temps primaires à la manière de leurs congénères, donnant lieu sous nos yeux à cet élégant phénomène désigné sous le nom de *floraison du lac*. Pendant une partie de l'année, on voit au matin l'eau couverte d'une mince pellicule verdâtre, brunâtre ou irisée, qui est due à la poussée presque subite d'une mince couche d'algues toutes petites, mais infiniment nombreuses. Avant le soir, ce tapis disparaît par submersion, mais il est renouvelé le lendemain et cela pendant un certain temps. On exploite près d'Autun le *boghead* avec profit.

**Roches charbonneuses d'imprégnation.** — On n'aurait qu'une idée incomplète de l'importance des formations rocheuses d'origine biologique, si l'on oubliait les assises qui tirent une partie de leurs caractères les plus remarquables d'une imprégnation parfois très intimes de produits dérivant des organismes par une sorte de distillation ou de macération souterraine.

Des exemples nous en seraient fournis surtout par les

1. *Sur quelques micro-organismes des combustibles fossiles*, p. 428, 1 vol. in-8°, avec Atlas, Saint-Etienne, 1900.

argiles et les schistes et aussi par des calcaires. Ils concernent la rencontre à l'état fossile de matériaux analogues à ceux que nous avons cités à propos de l'ubiquité de la vie, mais qui méritent d'être mentionnés ici, à cause de leur volume géologique.

En premier lieu, nous pouvons faire une allusion à l'histoire de ces roches schisteuses, c'est-à-dire originellement argileuses, qu'on désigne sous le nom de pyroschistes, parce que la distillation en retire des huiles inflammables. Les ampélites du terrain silurien figurent dans cette série et les squelettes de graptolites dont elles sont pétries signalent la matière charnue de petits polypes hydriques, comme étant la source de leur imprégnation organique. La quantité de matière animale qui est ainsi incorporée dans ces roches paraîtra d'autant plus considérable qu'elles ont parfois des centaines de mètres d'épaisseur. Elles ont beaucoup d'analogues, et les terrains carbonifère et permien se signalent par la masse énorme des schistes et des grès qui ont servi de réceptacles et de condenseurs aux produits dégagés après leur enfouissement des organismes animaux. Les schistes d'Autun sont avant tout des accumulations de débris zoologiques où les poissons et les batraciens disputent la place à des mollusques et à des organismes plus inférieurs.

Aussi, est-ce comme appendice à ce phénomène que se présente la réduction exercée par les roches de distillation animale, sur certains sels métalliques. Il est en effet très fréquent d'y rencontrer de la pyrite de fer et plus souvent encore de la marcasite. Les schistes permien du Mansfeld, dont la minéralisation résulte tout d'abord d'un phénomène profond de la catégorie filonienne, ont pu s'enrichir par réduction sur des solutions métalliques variées.

Dans la série des calcaires, nous avons à citer les marbres qui dégagent sous le choc du marteau et par l'action

de la chaleur une odeur organique. Nous les avons signalés sous le nom de sapropélites et nous avons donné à leur égard des détails qui nous dispensent d'y revenir. Il suffit ici de rappeler que dans les régions inférieures de la série sédimentaire, les roches de ce genre ont des dimensions gigantesques ; elles renferment donc des volumes énormes de matériaux organiques en réserve, jusqu'à ce qu'ils prennent part, spécialement par leur combustion lente, aux transformations rocheuses que nous connaissons déjà. Comme singularité on peut citer le calcaire noir à Hippurites de Bagnères-de-Bigorre. Ces fossiles ont d'ailleurs disparu, sans doute par le processus bactérien.

## 2. — ÉROSION BIOLOGIQUE AUX ÉPOQUES PASSÉES

Il nous faudrait consacrer ici un paragraphe aux traces d'érosion biologique que nécessairement ont subies les roches de tous les âges. Malheureusement ce genre de phénomènes n'est resté visible que d'une manière exceptionnelle. Peut-être la forme la plus immédiatement tangible est celle de perforations par les lithophages.

Dès les terrains les plus anciens, on a noté des excavations dans lesquelles habitaient des mollusques qui y ont laissé leurs tests exactement dans les conditions modernes ; mais grâce à nos enseignements antérieurs, nous devons remarquer qu'on a pu, à bien des reprises, commettre à l'égard de ces fossiles des erreurs de date. En effet, quand on recueille un gastrochène ou une pholade dans une tubulure perforée au sein d'une roche tertiaire ou d'une roche secondaire, on admet sans examen que cette coquille est nécessairement du même âge géologique que la roche où elle s'abritait. L'observation moderne, en nous procurant le spectacle de pholades d'aujourd'hui

qui perforent des roches de tous les âges, nous invite à une prudence qu'on n'a pas toujours observée.

Déjà dans l'épaisseur du cambrien du Pays de Galles, on connaît des grès perforés, présentant même des cylindres affectant la forme des déjections de nos *Arenicola* et que pour cette raison, on attribue à des *Arenicolites* d'ailleurs problématiques. On retrouve des traces analogues, plus ou moins distinctes, à toutes sortes de niveaux, de plus en plus distinctes à mesure qu'on s'approche des temps actuels. Depuis le carbonifère jusqu'au tertiaire on retrouve des restes de *Martesia*, coquille si voisine du taret, qu'il n'y a pas à douter de sa propension térébrante. Le taret lui-même a été indiqué dans les terrains primaires ; en tout cas, il est bien constaté pendant la durée des époques secondaires et tertiaires. *Fistulana* et *Lithodomus* vont de la craie au tertiaire ; *Pholas* a commencé dans le silurien, où se rencontre *P. Cordieri*. Dans le jurassique, on connaît *P. toarcensis*, *P. Beaugieri*, *P. crassa* ; le crétacé a fourni *P. Cornuellianna* et *P. cylindrica* ; quant au tertiaire, il est en pholades d'une richesse extraordinaire ; mentionnons *P. Orbignyana*, *P. aperta*, *P. conoidea*, *P. sulcata*, *P. Jouanetti*, *P. Branderi* et *P. (Jouanettia) Fremyi*. On voit que ce gigantesque travail de destruction de roches auquel nous avons vu notre *Pholas dactylus* se livrer si infatigablement, date de bien loin et que dès maintenant il a donné lieu à d'immenses remaniements de matériaux. *Turnus*, voisin des xylophages actuels, vivait à l'époque crétacée ; *Clavagella* est tertiaire, de même que *Jouanettia*. Du reste, presque tous les pélecypodes peuvent être regardés comme essentiellement fouisseurs, qu'ils s'enterrent comme *Solen* ou *Mactra* dans la vase sous-marine, ou qu'ils se promènent à sa surface comme *Cardium*, *Tellina* et bien d'autres. Un niveau du suessonien est dit *sables à térédines*, à cause

des légions de perforants (*Teredina personata*) qui y sont régulièrement établies les unes à côté des autres. Les *Gastrochæna* ont creusé des perforations dans les calcaires marneux du bartonien supérieur. Le long des dépôts de la Touraine, on voit des roches diverses qui formaient falaise à l'époque helvétique et qui contiennent des lithophages. La somme des terrassements réalisés ainsi depuis qu'il existe des bivalves représente sans aucun doute le volume de chaînes de montagnes.

L'érosion zoologique s'est exercée de tout temps par l'intervention d'animaux appartenant à tous les degrés de l'échelle : quantité de fossiles se rangent tout naturellement au voisinage des fousseurs modernes. Parmi les mammifères, *Talpa antiqua*, du miocène ; des rats, des castors, des lièvres du tertiaire, et cette faune quaternaire de l'Amérique du Sud où *Megatherium* est accompagné de *Megalonyx*, *Scelidotherium*, *Glyptodon*, etc.

Les reptiles ont toujours procédé à des opérations souterraines et les serpents ne manquent pas dans les faunes tertiaires.

Les insectes, surtout à l'état de larves, ont fréquenté le sous-sol à toutes les époques. Les coléoptères tertiaires sont innombrables ; les orthoptères des époques plus anciennes se terraient nécessairement comme notre courtilière. Parmi les crustacés, les crabes (*Psammocarcinus*) ont rempli la fonction qui nous occupe et qui, comme toutes les autres, est indispensable au bon équilibre des choses. Les annélides ont laissé des preuves de leur activité hypogée depuis les premiers temps sédimentaires. Sans doute, c'est à elles que se rapportent les *Tigillites* du silurien, auxquels les paysans de Normandie donnent le nom imprévu de « bout de canne du Berger », pensant que cette cavité cylindrique témoigne de la fin de leurs ancêtres qui ont été surpris par le déluge universel. Les traces

qu'ils appellent « épis de blé » et « pas de bœufs » et que nous nommons plus savamment *Bilobites* paraissent devoir être mentionnées aussi comme la trace de remaniement des vases marines par des êtres vivants qui pourraient bien être des crustacés. Les grès armoricains de France, comme du Portugal<sup>1</sup>, les grès jurassiques de Portel<sup>2</sup> près de Boulogne, sont célèbres pour l'abondance des bilobites.

Nous sommes bien assurés que l'érosion botanique s'est réalisée à tous les moments, comme elle s'accomplit aujourd'hui. Les exemples de sols fossiles qui ont été signalés en sont une preuve suffisante. Peut-être peut-on aller plus loin encore dans la voie comparative et reconnaître des ressemblances de détails sans doute imprévues. C'est ainsi que d'après les observations de divers exploitants de houille, l'« *under clay* », dans laquelle ont végété les racines réunies sous l'appellation commune de *Stigmara*, a la propriété de cuire en blanc à la différence d'autres argiles houillères qui donnent des poteries plus ou moins rouges. C'est comme si la déferruginification, si bien réalisée dans un terrain ocreux, sous l'influence de racines, s'était déjà opérée.

Mais la grande forme d'érosion biologique est essentiellement microbienne et elle s'est peut-être exercée plutôt sur les roches en voie de formation que sur celles déjà incorporées à de grandes profondeurs sédimentaires. Elle consiste avant tout dans la soustraction aux dépens des roches des vestiges organiques qui s'y étaient laissés empâter. Déjà nous avons décrit l'essence du phénomène qui con-

1. Delgado. *Etude sur les Bilobites du Portugal*, 1 vol. in-4° (42 pages avec supplément et 10 planches), Lisbonne 1886 et 1887.

2. Stanislas Meunier. *Les Bilobites jurassiques de Boulogne-sur-Mer*, *Bull. de la Soc. Acad. de Boulogne*, vol. de 1889, in-8°, Boulogne-sur-Mer.

siste dans la désorganisation des coquilles (V. la fig. 1 p. 12) et d'une foule d'autres débris d'êtres ayant vécu au sein de la vase en passe de devenir couche du sol. Le plus souvent ce travail ne laisse nulle trace, le tassement interne comblant les vides au fur et à mesure de leur production. Mais il arrive que la substance ambiante jouit d'une consistance suffisante pour qu'elle se maintienne après la destruction des fossiles qu'elle contenait. Elle est alors criblée de cavités qui ont exactement la forme de ceux-ci, et comme cette roche maintenant vacuolaire peut avoir une très grande épaisseur et une large surface, le cube de la matière qui lui est soustraite est comparable à celui de montagnes entières. Le calcaire grossier des environs de Paris présente le phénomène avec une dimension modérée.

Il importe beaucoup d'ajouter ici accessoirement que la dissolution des tests encastrés dans la masse d'une roche calcaire ne se comprendrait pas par l'intervention d'un suintement acide ; car celui-ci, arrivant au travers des masses encaissantes, aurait nécessairement dépensé à leurs dépens son énergie dissolvante. La pluie est l'agent le plus commode à invoquer ; nous savons qu'elle produit la décalcification de tous les calcaires ; des sources capables de la dissolution auraient imprimé au phénomène une forme générale en rapport avec leur allure propre.

Il arrive fréquemment que les vacuoles à formes si exactement conservées des fossiles, deviennent le siège d'une circulation de liquides incrustants. Alors, la matière concrétionnée remplit avec précision les matrices qui la reçoivent et y façonnent des épigénies souvent admirables de délicatesse : elles peuvent être en calcaire spathique qui n'a aucun lien d'origine avec la coquille initiale ; elles peuvent être en silice et alors, étant insolubles, on peut les séparer de la gangue par un lavage

aux acides qui leur donne un aspect très séduisant. Au près de Pontoise, la localité de Pierrelaye nous a longtemps procuré des spécimens de ce genre.

En ajoutant le volume des cavités restées vides à celui des moulages formés dans celles qui se sont remplies, on se fait une idée très haute et qui n'a pas souvent été signalée du rôle érosif des microbes. Mais on l'augmente encore quand on réfléchit qu'il s'est exercé en outre sur des masses d'origine végétale. Or, c'est un grand résultat des études de Bernard Renault que tous les combustibles fossiles ont conservé des traces du travail des micro-organismes de façon que ce qui nous en reste n'est qu'une petite partie de ce qui en a été élaboré.

Pour finir ce chapitre, n'oublions pas de renvoyer à la série des notions qui ont trouvé place précédemment, sur les phénomènes chimiques mis en œuvre aussi par des êtres élémentaires dans l'attaque des feldspaths et dans le dépôt complémentaire de roches dont la latérite nous offre le type le plus complet.

---

## CHAPITRE VI

### CONTINUITÉ DU PHÉNOMÈNE BIOLOGIQUE

Une fois affranchis des raisonnements surannés et remis en possession de la liberté d'esprit favorable à l'observation impartiale des faits, on est frappé de la continuité absolue du phénomène sédimentaire comme conséquence de la liaison complète de toutes les époques organiques. Il n'y a qu'un terrain depuis l'archéen jusqu'à nos jours, et il n'y a évidemment qu'une faune et qu'une flore, qu'un biocosme, en un mot, qui se poursuit sans arrêt, depuis le précambrien, en perdant chaque jour certains de ses membres, remplacés par de nouveaux organismes, sans altération de l'équilibre général.

A première vue, ces assertions paraissent risquées ; mais elles sont susceptibles de démonstration absolue, n'étant que l'interprétation des faits.

On voyait naguère, à Romainville, des argiles crevasées par le soleil qui brillait au temps sannoisien et dans les fissures desquelles, des coquilles avaient été entraînées par les courants, avec des détails de situation identiques à ceux qui concernent les plages actuelles.

Nombre de roches zoogènes de charriage, comme celles que nous avons citées, permettent de reconnaître la qualité littorale que possédait, au moment du dépôt, la localité où on les trouve. Des ammonites mourant sur le fond de la mer, la décomposition de leurs tissus engendre

bientôt des gaz remplissant les concamérations du test, qui s'élève en vertu du principe d'Archimède. Arrivé à la surface, il subit la fortune de tous les corps flottants et, si le rivage n'est pas trop loin, il vient, poussé par le vent, prendre part à la confection de la *laisse de mer* qui accompagne chaque marée descendante. De sorte que, sans être un habitant du littoral, le céphalopode témoigne de l'existence d'un rivage, par la situation acquise par sa coquille, grâce à des dispositions générales encore réalisées aujourd'hui.

Durant les temps successifs, nous reconnaissons sans hésitation l'existence de tous les faciès distingués dans la géographie contemporaine, à tel point que les faciès d'aujourd'hui nous apparaissent avec certitude comme la continuation des faciès tertiaires, secondaires ou même primaires. Nous voyons que la mer s'étendait sur de larges surfaces ; qu'elle était bornée par des rivages dont la démolition donnait naissance à des galets, à des sables et aux autres matériaux détritiques ; que sur les terres exondées, s'étendaient des lacs et coulaient des rivières ; qu'il y avait des régions montagneuses, parfois avec des glaciers qui édifiaient des moraines ; que le sol était recouvert d'une terre végétale où poussaient des arbres et des herbes, et, par conséquent, qu'il y avait une atmosphère, nourricière d'êtres vivants et réservoir des pluies productrices d'érosions.

Et si nous passons de ces constatations purement physiques aux observations sur les vestiges de la vie, nous voyons, d'une part, que les êtres étaient certainement aussi variés qu'aujourd'hui et que chaque forme était liée à une catégorie particulière de résidence.

Nous faisons ces remarques pour prévenir l'introduction dans le sujet, avec une allure de généralité, des conclusions auxquelles des spécialistes sont souvent arrivés,

en se renfermant dans quelque sujet très limité, dont l'importance a perdu pour eux sa signification réelle. C'est ainsi que des botanistes, en présence de l'abondance des végétaux fossiles de certaines assises carbonifères et oubliant l'incommensurabilité entre la période actuelle si brève et les temps houillers si prodigieusement longs ont conclu à une composition exceptionnelle de l'atmosphère primaire et y ont supposé une proportion colossale d'acide carbonique. A tous les raisonnements plus ou moins ingénieux dont on a pu étayer une pareille hypothèse, nous répondons par le témoignage de toute la flore comme de toute la faune, qui vient proclamer par les détails de son anatomie que les fonctions biologiques s'exécutaient dans ces temps reculés sans aucune variante appréciable.

Ainsi, rien n'est plus éloquent pour démontrer qu'il ne pouvait pas y avoir de grandes différences dans la composition chimique de l'air, que l'étude microscopique des tissus végétaux. Rappelons à ce sujet la merveilleuse découverte de la chambre pollinique des cycadées dans les graines fossiles des environs de Saint-Etienne (fig. 16), qui a conduit à rechercher et à découvrir le même organe dans les cycadées actuelles<sup>1</sup>. La grosseur et la situation

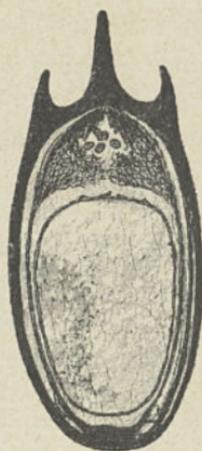


Fig. 16. — Coupe suivant l'axe d'une graine silicifiée de *Stephanospermum akenoïdes*, Ad. Br., montrant sous le micropyle la chambre où les grains de pollen subissent l'incubation qui les met en état de conjuguer leur protoplasma avec celui de l'ovule. — D'après Adolphe Brongniart.

1. Adolphe Brongniart. *Recherches sur les graines fossiles silicifiées*, 1 vol. in-folio. Paris, 1881.

des grains de pollen dans les deux cas, la disposition des tissus au voisinage de cette loge d'incubation, le mode de pénétration des tubes polliniques et la conjugaison des deux protoplasmas générateurs de l'œuf, suffiraient pour faire repousser d'avance la supposition de toute grande modification atmosphérique au cours des temps sédimentaires.

Les zoologistes se trompaient comme les botanistes, quand ils attribuaient à la mer de telle ou telle époque une composition toute différente de celle de la mer actuelle. Et tous les naturalistes en chœur se trompaient, quand ils affirmaient que le milieu est allé constamment en se modifiant et que c'est à ses changements qu'il faut attribuer les différences entre les animaux et les végétaux fossiles et leurs homologues d'aujourd'hui.

A ces diverses suppositions, nous sommes en mesure d'opposer des faits.

Les êtres organisés sont des réactifs d'une délicatesse incomparable, pour dévoiler les conditions de l'ambiance dans laquelle ils ont vécu ; — ce qui provient tout simplement de ce qu'ils ont été construits en vue de l'habitat même qu'ils devaient occuper, témoignant ainsi, pour leur part, de l'harmonie impeccable qui règle les rapports de toutes les parties de l'Univers.

Nous ne nous imaginons pas qu'à un seul moment, une forme organique puisse exister dans des conditions ne répondant pas à ses besoins. On a supposé qu'elle se transformerait alors du tout au tout : nous savons, au contraire, par expérience, qu'après de faibles modifications correspondant à des variétés, elle disparaîtrait.

C'est donc bien aux êtres vivants qu'il faut nous adresser pour préciser les caractéristiques de leur milieu d'origine.

On aura une idée de la perfection des documents qui ont pu être recueillis ainsi, au moins dans certains cas, par les

observations dont les trilobites siluriens ont fourni l'occasion et qui font vraiment le pendant de celles sur la chambre pollinique. Le sol de la petite localité de Rome, près New-York, a livré aux géologues, avec une foule de traits qu'on aurait pu croire effacés à jamais, des organes délicats dont l'analyse a été poussée dans toutes leurs parties. A tous égards, ils se sont montrés comparables aux organes encore en fonction dans l'économie de nos Homards et de nos Limules (fig. 16). Les branchies, par exemple, ont été décrites par M. Walcott<sup>1</sup> qui y a trouvé tous les détails non seulement anatomiques, mais histologiques des crustacés actuels. Et la conséquence, c'est qu'une anatomie aussi conforme doit être associée dans les deux cas à une physiologie identique, et du moment que la physiologie est la même, c'est que de son côté le milieu est le même : il suffirait d'un écart relativement très faible de température, pour que le délicat appareil respiratoire soit, ou paralysé par le froid, ou désorganisé par la chaleur. Les crustacés siluriens se seraient accommodés des conditions de nos océans tropicaux et nos crustacés tropicaux auraient

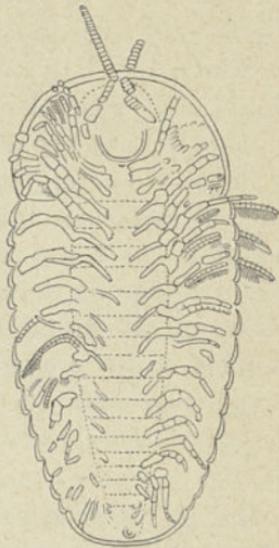


Fig. 17. — *Triarthrus Becki* (Trilobite du silurien de l'Amérique du Nord) vu par sa face inférieure pour montrer l'identité des pattes et des autres appendices avec les organes homologues des crustacés actuels. Grossissement de 10 fois. — D'après Beecher.

1. *Proceeding of the biological Society of Washington*, vol. de 1894, p. 89.

trouvé très favorables à leur vie les océans siluriens.

Tout ceci ne veut pas dire qu'il faille interroger les organismes sans discernement. Au contraire, ils ont causé des erreurs d'interprétation très graves, par exemple lorsque l'on a cru que l'état fragmentaire des tests de mollusques témoignent nécessairement de l'état d'agitation de la mer originaire. Parce que les coquilles d'*Inoceramus* sont généralement concassées dans la craie qui les empâte, on a été conduit à poser en fait que la mer où le dépôt s'est fait était le siège de courants violents<sup>1</sup>. Rien de moins acceptable que cette opinion, car en attribuant à ces tests seulement la résistance des valves d'huitres (qu'ils devaient dépasser étant généralement beaucoup plus grands et plus massifs), la vitesse d'une eau capable de les broyer serait certainement incompatible avec la persistance de l'espèce. Or, c'est sur des mètres et des mètres que se développent les assises remplies de ces débris.

Il y a là une méconnaissance aussi absolue qu'incompréhensible de tous les phénomènes postérieurs au dépôt qui se sont succédé dans les couches. Pour la craie, il y a eu, du fait seul de la circulation des eaux d'imprégnation, par dissolution et aussi par entraînement, une perte de substance qui a donné lieu à un tassement compensateur. C'est là que réside la force de broyage, de déplacement et de corrosion dont les résultats sont si manifestes et que nous prouve aussi le concassement des coquilles de crinoïdes et de spicules d'éponges. Quelques faits convenablement choisis, d'abord dans le domaine océanique, puis dans la masse atmosphérique nous édifieront pleinement quant à la parfaite continuité de l'évolution superficielle du globe.

1. Cayeux. *Contribution à l'étude microscopique des terrains sédimentaires*, p. 516, 1 vol. in-4<sup>e</sup>, Lille, 1897.

## 1. — La continuité océanique.

Dans cet océan, dont la qualité minéralogique n'a pas changé depuis l'apparition de la vie, puisque les échantillons de sel gemme (environs de Salina, Etats-Unis) conservés, grâce à leur emballage argileux, depuis l'époque silurienne, ont la même composition chimique que le produit de nos marais salants, les organismes, abandonnés successivement au cours des temps, sont unanimes pour proclamer une continuité de régime.

**Récifs coralligènes.** — Rien ne peut nous en donner une idée plus juste que les récifs madréporiques qui nous ont procuré un sujet si remarquable d'études dans la mer actuelle, et qui sont représentés à tous les niveaux géologiques. Ils nous offrent, avec de nombreux caractères communs, des détails de structure et de manière d'être en rapport avec leur antiquité relative.

Même il paraît bien qu'à un certain moment de l'histoire du globe, la nature a substitué au type de coelentérés qui jusque-là accomplissait à souhait la fonction coralligène, un autre type qui, tout en appartenant au même embranchement, est bâti sur un plan différent à quelques égards et réalise des travaux correspondants sans qu'ils soient absolument identiques.

Toutefois, les ressemblances sont ici infiniment plus grandes que les variations et ce ne sera pas un mince résultat de constater que bien des faits qu'il est si difficile de discerner par l'étude des récifs actuels, dissimulés dans les eaux qui les submergent, s'éclairciront par l'examen de leurs correspondants fossiles beaucoup plus à portée de nos observations.

Un autre fait digne de remarque c'est que les récifs anciens n'obéissent pas à cette stricte localisation dans

les régions tropicales, que nous avons vue pour les coraux d'à présent. Leurs vestiges sont au contraire disséminés sur tous les points du globe. Aussi, pouvons-nous espérer des conclusions précises, si nous observons soigneusement la chronologie, pour remonter des faits actuels à l'origine du phénomène, par tous les intermédiaires utiles.

Dans cette voie, la continuité des récifs actuels avec des constructions qui datent des temps quaternaires et peut-être plus loin encore dans le passé, est très importante à souligner, car, étant donné le peu d'élasticité des animaux coralligènes, pour s'accommoder de conditions ambiantes diverses, l'observation est largement suffisante pour faire repousser sans examen toutes les théories qui tendraient à introduire la supposition d'un cataclysme général, d'une révolution du globe, comme on disait, entre le présent et le passé. Par exemple, la presqu'île de Floride, qui a fourni à Agassiz, vers 1861, le sujet de travaux si importants <sup>1</sup>, est encadrée d'une épaisse fortification de madrépores qui fait comme un mur vertical tout autour de la presqu'île et dont la surface, au contact de la mer, est douée de la vie la plus active. On y retrouve tous les faits de commensalisme, de symbiose même et de parasitisme que nous avons constatés dans le chapitre précédent. Et selon l'auteur, la persistance des mêmes formes de coelentérés continue sans variante, si l'on passe de la zone moderne aux zones de plus en plus anciennes et en même temps de plus en plus éloignées de la mer. Progressivement les coraux manifestent des altérations et se recouvrent de terre végétale et de plantes, et pourtant des débris encore discernables remettent toujours les mêmes espèces zoologiques sous les yeux. Agassiz pose en fait que si quelque chose d'un peu sen-

1. *U. S. A. Coast Survey Report*, 1861.

sible se produisait, comme une modification de la salure de la mer, ou de sa température, ou de son état dynamique, c'est-à-dire de l'intensité de ses vagues, ou même de son niveau, immédiatement les espèces de polypes traduisaient par leur dépérissement et peut-être par leur disparition, les modifications du milieu. En appliquant ici des données chronométriques tirées de l'accroissement des zones mouillées pendant des laps de temps suffisamment longs, on arrive à reporter à cent cinquante mille années en arrière, l'époque de production des zones les plus éloignées du littoral. Cette durée est certainement supérieure à celle qui a suffi, dans un grand nombre de pays, pour que le groupe d'êtres que nous qualifions couramment de faune actuelle, se soit substitué à cet autre groupe qu'on appelle la faune quaternaire.

Pendant la durée du pliocène, les récifs de madrépores se présentent déjà dans des régions où nous n'en connaissons plus à l'époque actuelle. Autour de Messine, une partie des plages soulevées est d'une richesse madréporique très grande. Sur la côte calabraise, près de Reggio, la même formation se continue.

Pour l'époque miocène, les dépôts de l'île de Malte compris dans le terrain tortorien, se soudent avec les masses pliocènes et on pourra remonter bien au nord et trouver encore des polypiers miocènes. Dans l'Hérault, on citerait le véritable récif d'Autignac.

Dans l'éocène, le Vicentin étale à Castel-Gomberto et à Crosara, des récifs remarquables par l'extrême abondance des *Porites* (*P. racemosa*) et dans le nummulitique de Biarritz, le *Pentacrinus didactylus* d'Orb. fait des massifs correspondant à ceux des crinoïdes actuels.

Les régions tout à fait supérieures du crétacé, qualifiées de terrain montien ou de terrain danien, possèdent dans la craie de Maëstricht, un type à faciès essentiellement

coralligène : la montagne de Saint-Pierre a procuré beaucoup de polypiers (*Astrea*) et surtout des bryozoaires *Eschara*, *Idmonea*, etc. Aux portes de Paris, à Vigny, dans Seine-et-Oise, un massif de polypiers et de *Lithothamnium* indique que les conditions corallophiles étaient, à la fin du crétacé, réalisées sous la latitude de la Manche. Pour l'époque sénonienne, le faciès coralligène est surtout procuré par des amas d'*Hippurites*, dont on a déjà vu le volume dans les Charentes, en Provence et dans les Landes. Les plus considérables sont peut-être ceux des Corbières et ceux du Gard.

Par une disposition bien imprévue, la forme classique du récif madréporique, presque absente du massif crétacé, où elle est représentée par l'association hippuritique, reparaît dès que nous pénétrons dans le terrain jurassique. Au sommet du kiméridgien, un magnifique banc de madrépores se montre à Valfin, dans le Jura, pour reparaître à Oyonnax, dans l'Ain.

Au Bec de l'Echaillon, près de Grenoble, la berge de l'Isère montre sur 30 mètres d'épaisseur, un conglomérat calcaire où abondent, avec maintes coquilles, des polypiers brisés et roulés.

Le nom du terrain séquanien a été imposé à un niveau qui d'abord s'appelait corallien, simple traduction de l'expression anglaise de *coral rag*, qui suffirait pour nous édifier sur l'abondance des madrépores à ce niveau.

Dans le Yorkshire, un calcaire bréchoïde, de 4 à 13 mètres d'épaisseur, renferme des colonies volumineuses d'*Isastræa*, de *Thecosmilia* et de *Rhabdophyllia*, contrastant par leurs formes très branchues, avec les masses arrondies de *Thamnastræa*. Dans le Boulonnais, à Brucdale, le séquanien consiste en un récif de 20 mètres d'épaisseur. Les falaises de la Rochelle montrent des sec-

tions de madrépores bien visibles, même sur les photographies à petite échelle.

L'oxfordien et le callovien sont également madréporiques et ajoutent des végétations de pentacrines à celles de coelentérés.

Beaucoup de récifs de polypiers se rencontrent dans le bathonien. A Ranville, auprès de Caen, des couches madréporiques sont riches en bryozoaires et en échinodermes. La formation mesure 30 mètres d'épaisseur du côté de Langrune. On en retrouve l'analogue à Toul (en Lorraine) et à Boulzicourt (Moselle), où le récif corallien atteint 60 mètres de puissance. A Châtillon-sur-Saône, en Bourgogne, la formation comprend des couches caractérisées par de nombreux *Isastrœa*.

En Franche-Comté, en Bourgogne, dans le Nivernais et le Berry, dans les Vosges et dans les Ardennes, l'étage bajocien contient une série de madrépores : *Montlivaultia*, *Astrocenia*, etc. Les échinodermes, et spécialement *Pentacrinus Buvignieri* y sont si communs, qu'ils donnent lieu au calcaire à entroques proprement dit. Dans le Yorkshire, une couche est connue sous le nom de couche à millépores.

Dans le lias, et surtout dans l'infrà-lias, les récifs coralliens abondent au nord et au sud de la région occupée maintenant par la chaîne des Alpes.

Le trias est pauvre en coralliaires, excepté dans le massif alpin où les couches de Saint-Cassian et de la *Seeland Alpe*<sup>1</sup> renferme une collection exceptionnellement nombreuse de formes.

L'énorme formation carbonifère est remplie de nombreux coralliaires, de ceux qui, à l'inverse des formes ordinaires de nos époques récentes, sont bâtis sur le type

1. Laube. *Denkschr. Wien. Akad.*, 1864, XXIV.

de symétrie quaternaire, au lieu de l'être sur le type sexenaire. En France, en Belgique, en Ecosse, en Irlande, dans la Russie Centrale, dans l'Etat de Missouri, les tétracoralliaires sont représentés par les genres *Zaphrentis*, *Amplexus*, *Diphyllum*, *Clisophyllum*, *Lithostrotion*, *Lonsdaleia*, *Strephodes*, *Michelinia*, *Cyathoxonia*, associés à quelques hexacoralliaires du groupe des *Porites*, tels que *Columnaria* et *Favosites*. Il est intéressant de noter que ces formations coralliennes se poursuivent jusqu'au Spitzberg, à la Nouvelle-Zemble, à l'île des Ours et à la Petschora. En France, c'est la région du Pas-de-Calais qui mérite d'être citée tout spécialement. Sur une épaisseur de 150 mètres, le terrain carbonifère est représenté, dans la Vallée Heureuse, par le Haut Banc, dans lequel abondent des polypiers variés et spécialement le *Lithostrotion basaltiforme*. *Productus Cora* détermine avec précision le niveau stratigraphique. Le bassin franco-belge possède la même formation avec une épaisseur considérable.

Le calcaire carbonifère atteint dans le sud-ouest de l'Angleterre, 1.200 mètres de puissance; il est presque entièrement constitué par des débris d'organismes, au premier rang desquels figurent *Amplexus coralloïdes*, *Lithostrotion basaltiforme*, c'est-à-dire des polypiers. Aux Etats-Unis, à Saint-Louis, dans l'Illinois, le terrain Viséen contient des massifs coralliens de 80 mètres d'épaisseur avec des *Lithostrotion*. Quant à la région du Spitzberg, à Bell Sound et à Horn Sound, les *Cyathophyllum* y ont édifié des massifs bien caractérisés.

Le niveau dévonien est remarquable par le nombre, la dimension et souvent la netteté d'allure de ses récifs madréporiques. La France, les Ardennes, la Belgique, la Silésie, l'Angleterre, le Canada et les Etats-Unis fournissent des exemples bien caractérisés.

M. Edouard Bureau<sup>1</sup> a étudié un récif madréporique, situé à Erbray (Loire-Inférieure) et que Cailliaud y avait signalé dès 1861. Dans le département du Nord, des récifs énormes sont activement exploités à Glageon, où affleure le calcaire frasnien à *Rhynchonella cuboïdes*. A Ferques, dans le Boulonnais, un récif de l'époque fame-nienne montre *Cyathophyllum hexagonum* en échantillons souvent volumineux et *Favosites bononiensis* d'une conservation parfaite. Le calcaire de Givet, qui constitue le pittoresque escarpement du Mont d'Or, abonde en polypiers.

En Belgique, E. Dupont a continué pour le terrain dévonien les recherches effectuées dans le terrain carbonifère et il faut même dire que ces récifs passent d'une époque à l'autre, sans plus de modifications que ne le faisaient tout à l'heure les récifs quaternaires passant aux récifs modernes. Enfin la formation cornifère, dite aussi étage d'Helderberg, qui appartient à l'eifélien inférieur, est, aux Etats-Unis, extrêmement coralligène. *Cyathophyllum rugosum*, *Favosites Goldfusi*, *Zaphrentis gigantea*, *Aulopora cornuta*, *Phillipsastrea Verneuilli* y sont intimement associés.

Les massifs madréporiques d'âge silurien sont extrêmement nombreux et souvent d'une conservation parfaite. En Europe, la Scandinavie, la Russie, l'Angleterre, la Bohême en offrent de très beaux exemples. Nous les trouvons avec les mêmes caractères aux Etats-Unis et au Canada.

En Angleterre, c'est surtout le Shropshire et une partie de l'Ecosse qui se sont montrés riches à notre point de vue. La Bohême a été l'objet d'une belle étude par

1. Notice sur la Géologie de la Loire-Inférieure, p. 222. 1 vol. in-8°. Nantes, 1900.

M. Pocta<sup>1</sup>. Les Etats-Unis et le Canada possèdent des récifs madréporiques dans toute l'épaisseur du silurien. Comme en Angleterre, c'est le wenlockien qui est le plus favorisé : le calcaire du Niagara est pétri de polypiers *Strophomena rhomboidalis*.

Jusqu'à présent, on n'a pas rencontré de massif madréporique cambrien. Les récifs apparaissent subitement en très grand nombre, peu après les débuts de la période silurienne. Cependant, on a cru voir comme un analogue des colonies coralligènes, dans les masses calcaires cambriennes, du niveau paradoxidien du nord-est de l'Ecosse, du Canada et des Etats-Unis (Chazy-Limestone), où se rencontre à profusion le singulier gastropode désigné en 1818 par Lesueur sous les noms de *Maclurea*. Ce mollusque possède un opercule de dimension telle que son apparence rappelle *Requienia Lonsdalei*, qui aurait pu jouer un rôle analogue à celui des Hippurites.

En somme, la longue énumération à laquelle nous venons de nous livrer conduit à admettre que le récif madréporique constitue un appareil dont le fonctionnement a été de tout temps nécessaire au bon équilibre de la surface terrestre depuis l'apparition de la vie.

Rien n'est plus intéressant que la conformité des récifs de tous les âges, relativement à leur morphologie générale. A cet égard, il est impossible de ne pas faire une place au travail remarquable que M. E. Dupont<sup>2</sup>, alors directeur du Musée Royal d'histoire naturelle de Bruxelles, a consacré à la description du véritable archipel corallien formé d'îles auxquelles convient exactement le nom d'*atolls* appliqué aux productions actuelles, qui existe dans les

1. T. VIII du *Système silicieu du centre de la Bohême*. Prague, 1894, in-4°.

2. *Bulletin du Musée royal d'histoire naturelle de Bruxelles*, t. I. Bruxelles, 1882.

couches dévoniennes et carbonifères de l'Entre-Sambre-et-Meuse.

On doit y faire deux groupes, situés, l'un aux environs de Roly, l'autre aux environs de Philippeville. La disposition des formations coralliennes de Roly est remarquable (fig. 18).

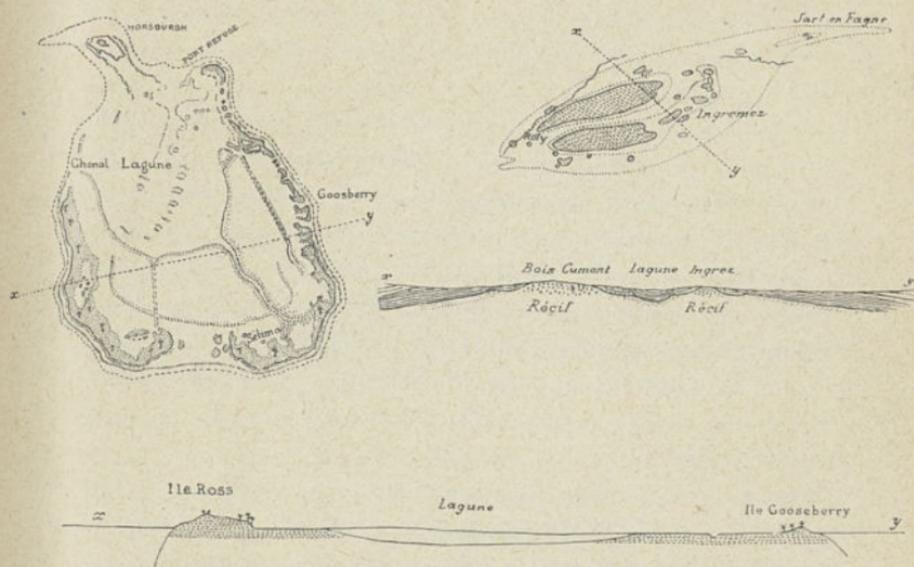


Fig. 18. — Comparaison de l'atoll dévoniens de Roly (Belgique) avec l'atoll actuel de Kelling, pour montrer l'identité de constitution de l'un avec l'autre. — Cartes et coupes. — D'après M. Dupont.

Ces îles sont au nombre de vingt, dont l'une est continuée vers le nord-est sur 1.500 mètres par une chaîne de six petites îles sur une courbe bien prononcée. Après 850 mètres se place la seconde grande île. Le tout formant 8 îles est entouré de 11 îlots et un douzième est au centre. C'est une disposition tout à fait comparable à celles qui se trouvent réalisées de tous côtés dans le Pacifique actuel. D'ailleurs de même que les atolls modernes ne sont que les sommets d'une chaîne coral-

lienne sous-marine, de même les îles du sud-est du massif de Roly dont les intervalles ont été comblés par le calcaire noduleux, se présentent comme ayant été reliées entre elles par des récifs à une profondeur de 10 mètres au maximum.

Ces îles sont arrondies et parfois tout à fait circulaires, comme à Rond Tienne, et se détachent nettement au milieu des schistes qui sont des boues argileuses de remplissage.

Une conséquence pratique de la continuité absolue que nous venons de constater du phénomène madréporique, considéré comme exemple du phénomène biologique général, c'est la facilité qu'elle nous procure pour voir clair dans certaines productions actuelles, rendues mal étudiables par leur genre de gisement, et dont les analogues, d'âges géologiques variés, se rencontrent à tous les degrés du démantèlement, de façon à constituer comme des pièces anatomiques aux divers niveaux de la série sédimentaire.

Cette circonstance vraiment providentielle est tout spécialement réalisée au bénéfice de la théorie des récifs madréporiques. Tandis que les spécimens actuels, c'est-à-dire en voie de croissance sous nos yeux, mais aussi dans le vague et l'imprécision que suppose leur submersion, nous proposent surtout des problèmes dont l'étude est pratiquement inaccessible, les massifs fossiles nous comblent de documents définitifs.

Pendant qu'avec une ingéniosité souvent citée, Ch. Darwin propose de faire intervenir dans l'histoire de ces formations, si essentiellement biogènes, la collaboration indispensable de l'activité souterraine, sous la forme de déplacements verticaux du sol, sinon sous celle d'éruptions volcaniques, l'observation des assises à madrépores de tous les âges montre des récifs bâtis comme ceux

d'aujourd'hui, rassemblés comme eux en archipel, dont la géographie moderne rappelle les traits les plus caractéristiques du grand Océan, et où n'apparaissent aucun pointement éruptif, nulle trace de volcanisme ou de tectonisme. Darwin cherche à s'imaginer<sup>1</sup> ce que « présenterait probablement une section verticale et profonde pratiquée à travers une formation corallienne, constituée par la croissance ascensionnelle de coraux pendant des affaissements successifs » ; et il n'a pas l'idée de rechercher si les coupes ouvertes au travers des massifs coralligènes des temps passés, lui procureraient la sanction qu'il désire. Il aurait vu, par exemple, comme nous le disions plus haut, que dans le Boulonnais et pendant l'époque carbonifère, le sol semble bien avoir subi un soulèvement continu, alors que le mouvement inverse eût semblé plus favorable. Depuis Darwin, et même aujourd'hui, la plupart des océanographes semblent être restés tout aussi inconscients de ce que les études géologiques sont capables de leur offrir de résultats intéressants.

Pourtant, cette efficacité de l'observation directe résulte de bien des exemples : Dupont l'a spécialement mise en évidence dans ses études sur l'archipel coralliaire de Roly et de Philippeville. C'est la conclusion facile à tirer de maints autres massifs et il n'est plus permis de contester dans ce cas l'excellence de la méthode qui, sous le nom de *Causes actuelles*, a tant de fois éclairé l'histoire du passé par les enseignements du présent, et qui, cette fois, illumine le présent aux rayons du passé.

**Les boues à protozoaires et les boues à protophytes. Vases à foraminifères.** — Avant les temps carbonifères, et probablement dès la première apparition d'une

1. *Les Récifs de Corail*, p. 173 de la traduction française de Cosserat, 1 vol. in-8°, Paris, 1878.

faune marine, les foraminifères se manifestaient : *Placopsilina* est du silurien et présente d'étroites analogies avec la globigérine actuelle.

Les conditions dans lesquelles se présentent les couches à fusulines conduisent à y voir un dépôt de grand fond résultant de la précipitation verticale de débris du plankton océanique.

Cette ressemblance entre les deux extrémités de l'échelle sédimentaire nous prépare à trouver que le faciès planktonique s'est maintenu pendant toute la durée géologique ; mais nous sommes frappés de la différence morphologique qui sépare la fusuline de la globigérine, bien que toutes les deux soient destinés à réaliser la même fonction planétaire.

D'ailleurs, aux temps primaires, la fusuline était bien éloignée de travailler seule, et nous voyons ici se manifester, dès les époques les plus reculées, ce besoin de la Nature d'attacher aux mêmes travaux des séries nombreuses de formes dont la réunion nous procure le majestueux spectacle d'une richesse indéfinie. D'autres foraminifères, étudiés avant tout par Brady<sup>1</sup> se joignent à *Globigerina*, spécialement *Textularia*, *Nodosaria*, *Endothyra*, bien reconnues à Bristol. La même variété persiste jusque dans des gisements relativement peu importants, tels que Cussy en Morvan, où sont mélangées *Saccamina*, *Cameroconus*, *Climacamina*, *Archæodiscus*, *Endothyra* etc. <sup>2</sup>.

A d'autres horizons, le même phénomène se présente encore à nous. Dans le terrain secondaire, nous avons des couches qui sont remplies de petits êtres tout à fait ressemblants aux globigérines, et Terquem et Schlumberger,

1. *Paleontological Society*, vol. de 1876, p. 82.

2. Stanislas Meunier. Calcaire à *Saccamina* de Cussy en Morvan. *C. R. Acad. Sc.*, C, 921, 1885.

qui ont étudié les assises de l'oolithe, y ont relevé, à des niveaux très divers, des homologues exacts de nos globigérines<sup>1</sup>.

Les genres les plus abondamment représentés dans la série crétacée, sont aussi nombreux et aussi variés que les précédents ; leur gisement dans des roches fines et leur association avec des vestiges abyssaux, témoignent comme les précédents, qu'ils proviennent du plankton, flottant au-dessus des plus grandes profondeurs marines.

La série tertiaire contient, dans toute son épaisseur, des formations de tout point comparables aux vases à foraminifères précédentes et il y faut considérer tout un groupe d'espèces très reconnaissables et surtout très abondantes : les *Nummulites*. L'importance de celles-ci est telle qu'on admet, dans beaucoup de classifications, la considération du terrain nummulitique. Et, de fait, des régions entières en ont leur sol constitué. Des centaines de mètres d'épaisseur de dépôts nummulitiques, maintenant soulevés à de grandes altitudes, nous sont présentés par les Monts de la Libye, des régions des Pyrénées, telles que le Mont-Perdu. Plus haut encore dans la série tertiaire, une partie moyenne du calcaire grossier est qualifiée de calcaire à milioles, à cause de la nature animale de chacun des petits globules dont il est formé et qui lui donne une fausse apparence oolithique.

Ce qui précède suffit pour caractériser ce qu'on pourrait appeler la personnalité géologique de la boue à foraminifères qui, depuis la boue à fusulines jusqu'à la boue à globigérines, n'a jamais cessé d'exister et certainement de fonctionner de la même manière ; c'est-à-dire en somme la continuité du Plankton. La rareté relative des foraminifères paléozoïques vient avant tout de leur fra-

1. *Paléontologie de la Moselle*, in-8°, 1855.

gilité : dans les anciens niveaux, des formations calcaires ont été supprimées tout entières, par voie de dissolution souterraine.

Une autre forme de dépôt abyssal se rencontre à un grand nombre d'horizons géologiques et, dès les temps les plus reculés, avec des circonstances particulièrement favorables à l'établissement de la doctrine de continuité. Telles sont celles qui présentent des roches très fines de structure, dans lesquelles pullulent de petits organismes, d'une délicatesse exceptionnelle et dont la détermination a été difficile. Il s'agit des graptolithes, dont le nom qui signifie littéralement « pierres écrites », montre à quel point on était dans le vague quant à leur origine. Nous avons en Normandie un joli exemple de dépôts graptolithiques, dans des schistes noirs qui affleurent dans la vallée de la Laize, entre Flers et Caen. En d'autres régions, comme la Suède, on voit les mêmes formations mesurer des centaines de mètres d'épaisseur avec une persistance d'allure bonne à constater. Elle montre, en effet, que, pendant que des vicissitudes très nombreuses se succédaient dans certains points, situés au voisinage des côtes dans la zone de déplacement du littoral, il régnait, au contraire, dans d'autres localités, qui ne pouvaient qu'être au milieu des grands bassins océaniques, une constance presque absolue de régime.

N'ayant pas à faire ici de la paléontologie, mais seulement à signaler quelques types organiques, animaux ou végétaux, constituant de véritables appareils de l'activité océanique, nous nous bornons à signaler les radiolaires, qui accumulent actuellement leurs élégantes coquilles siliceuses dans des régions déterminées des bassins marins. Eux aussi semblent tenir un emploi nécessaire à l'équilibre de la faune. Nous avons déjà dit que dès l'époque précambrienne, des radiolaires sensiblement iden-

tiques à ceux d'aujourd'hui ont laissé le témoignage de leur existence dans les phytolites de la Ville-du-Roi, près de Lamballe (Côtes-du-Nord)<sup>1</sup>. Les genres principaux sont *Cenosphaera*, *Tripocalpis*, *Archicorys*, *Discoidea*, *Dicyrtida*, etc. Le terrain silurien de Langenstrieigis, en Saxe, a fourni à M. Rothpletz des échantillons variés : les genres *Cenosphaera*, *Staurosphaera*, *Acantosphaera*, *Canellipis*, etc. A l'époque dévonienne remontent les genres *Xiphosphaera*, *Cyrtocalpis*, *Sethocapsa*, qui se sont conservés dans le « Kieselschiefer », ou schiste siliceux de Dillenburg, en Nassau. Pour le carbonifère, il suffira de citer *Carposphaera*, *Tripilidium*, *Dicytocephalus*, *Theocampus*, etc. ; — pour le jurassique, *Tripodiscium*, *Dicolocapsa*, etc.

La fonction remplie dans le plankton marin par les radiolaires depuis les temps les plus reculés a été comme dédoublée à partir d'un moment, d'ailleurs non tout à fait précisé, des temps secondaires, lors de l'apparition des diatomées. Celles-ci ont dû se comporter comme les algues symbiotes des radiolaires et il y aurait lieu de rechercher dans quelles conditions.

Joachim Barrande et ses successeurs<sup>2</sup> ont élevé à la paléontologie primaire un monument imposant. On y voit, cohabitant dans les eaux cambriennes, des protoorganismes avec des êtres appartenant aux plus hautes régions de l'animalité : des mollusques céphalopodes et les premiers poissons qui, tout en appartenant à cette aristocratie que constitue l'embranchement des vertébrés, leur sont sensiblement inférieurs. Les orthocères, les nau-

1. Cayeux. B. S. G. F. XXII, 197, 1894.

2. Systeme silurien du centre de la Bohême, par Joachim Barrande, avec la continuation éditée par le Musée de Bohême (22 volumes in-4°, avec planches, Prague 1872 à 1888), avec cette épigraphe :

« C'est ce que j'ai vu ».

Le Témoin au Juge.

tiles, jouissent certainement déjà d'une centralisation cérébroïde, dont nous avons le spectacle dans nos poulpes et nos calmars. A côté d'eux se déployait l'immense série des trilobites, dont il faut parler encore, pour dire que des observations qu'on n'aurait pas osé espérer, ont permis de refaire leur embrogénie : Barrande lui-même a signalé certaines formes telles que *Sao hirsuta* et *Arethusina* comme ayant laissé des vestiges fossiles des différents états par lesquels ils passaient au cours de leurs métamorphoses, avant d'arriver à l'état parfait.

Durant les temps primaires, les mollusques étaient d'ailleurs abondamment représentés, et, ce qui est le point essentiel pour nous, par des formes à répartir dans toutes les classes de cet embranchement. Les céphalopodes remplissaient les mers, si bien que certains sédiments, passés maintenant à l'état de marbre, doivent une partie du charme que leur procure le polissage à la profusion des tests de goniatites qui les pétrissent ; c'est le cas pour les giottes de la vallée de Campan, dans les Pyrénées. Les nautilus, sous des formes très variées, se succèdent dans toute l'épaisseur du terrain.

Les pélécytopodes formaient des bancs dans la mer, comme les huîtres, et simultanément, les eaux douces recélaient d'innombrables *Anthracosia* et d'autres genres menant la vie de nos anodontes et de nos unios. Le plankton des mers comprenait des ptéropodes comparables aux hyales qui sont un détail des plus remarquables des planktons actuels. *Hyolites*, *Tentaculites* et *Conularia*, abondante dans les grès caradociens de May (Calvados) atteignaient un volume maintenant inconnu.

La vie de ces animaux comportait des incidents qui n'ont pas été abrogés. Beaucoup de tests présentent des perforations circulaires exactement semblables à celles qui traversent tant de coquilles actuelles. Ces perfora-

tions nous montrent que les mollusques étaient en butte aux tentatives d'ennemis variés, tels que certaines éponges qui travaillaient déjà comme nos clones et tels aussi que certains gastropodes, utilisant pour l'attaque des coquilles, une *radula* dont les perforations nous donnent en même temps la notion.

La perfection avec laquelle certains fossiles se sont conservés, à cause de la finesse du sédiment qui les emballait et de la faiblesse des réactions secondaires, ont assuré la conservation d'organes extrêmement fragiles. Dans les calcaires marneux feuilletés, du bassin de Solenhofen, en Bavière, on recueille d'innombrables vestiges appartenant à toutes les catégories d'animaux, depuis les vertébrés représentés surtout par des poissons (*Leptolepis*, *Gyrodus*) et par des reptiles, en général volants (*Pterodactylus*) parfois pourvus de plumes comme *Rhamphorhynchus* et surtout *Archæopteryx*, jusqu'à des foraminifères. Les mollusques y abondent, bélemnites et surtout ammonites. On y voit des insectes souvent admirables de conservation, comme des libellules, des arachnides, des crustacés (*Geryon*, etc.), ressemblant souvent d'une manière extraordinaire aux décapodes macroures de l'époque actuelle et jusqu'à des astéries ou étoiles de mer et des méduses. Le fond de cette mer antique a son similaire exact dans le fond de la mer moderne.

Nous ferons ailleurs des trouvailles du même genre et parmi celles qui témoignent le mieux de la continuité qui nous préoccupe il faut citer la conservation au milieu des empreintes du corps en sac d'un mollusque céphalopode de l'appareil sécrétoire producteur de l'encre noire que nos poulpes, nos calmars et nos seiches répandent autour d'eux pour échapper à la poursuite de leurs ennemis. Dans le toarcién de Boll, en Wurtemberg des bélemnites sont accompagnées de fragments d'une matière noire

où l'analyse chimique retrouve les éléments d'un produit organique. Mais les résultats les plus complets ont été procurés par les *Belemnosepia*, de Lime Regis, étudiés par Buckland et Agassiz. En 1827, Blainville, dans un mémoire <sup>1</sup> sur les Bélemnites, avait émis, par comparaison avec les types de céphalopodes actuels, l'opinion que ce fossile cylindrique devait provenir de la région dorsale de quelque mollusque ressemblant à notre seiche. De là le nom de *Belemnosepia* qu'il proposa. En 1829 Buckland <sup>2</sup> découvrit dans le lias de l'Angleterre des sacs parfaitement conservés, mais détachés, épars dans les roches. Et c'est en 1834 qu'Agassiz a vu ces organes en place dans des mollusques exceptionnellement bien conservés et qui faisaient partie du cabinet de M<sup>lle</sup> Philpotts. « Dans chacun de ces échantillons, dit Buckland, un réservoir pareil à ceux dont nous avons parlé se voit à la partie interne et antérieure du fourreau d'une bélemnite parfaitement conservée. On rencontre parfois de ces réservoirs en contact avec des traces isolées d'alvéoles de bélemnites, mais elles sont plus ordinairement revêtues seulement d'une couche mince de nacre brillante. On y voit en dessous les stries d'accroissement de l'étui corné antérieur, mais il n'y reste qu'une trace de l'étui calcaire ; c'est à l'intérieur du premier qu'est renfermé le réservoir d'encre. La forme conique de cette chambre antérieure paraît avoir été altérée par la pression. »

Et puisque nous parlons de ce sujet, utilisons-le pour enregistrer l'activité zoesphérique des temps secondaires. Reproduisant un fait mentionné à propos de l'époque précédente, les déjections fossilisées des reptiles marins du lias et des Ichthyosaures en particulier ont livré au

1. *Mémoire sur les Bélemnites*, 1827, p. 28.

2. Buckland. *La Géologie et la Minéralogie dans leur rapports avec la Théologie naturelle*, t. 1, p. 3, trad. Doyère, 2 vol. in-8°, Paris, 1838.

microscope le secret d'une invasion microbienne dans l'intestin des êtres dont ils procèdent. Ce n'est qu'un fait isolé mais il suffit pour prouver la continuité du phénomène parasitaire au travers des temps.

Parmi les ressemblances que les nectons géologiques ont présentées avec le necton actuel, on peut citer celles qui ont autorisé l'interprétation du fait, au premier abord si étrange, de l'intercalation en pleine masse de roches à foraminifères, comme la craie, et qui, conformément à ce que nous venons de dire, sont incontestablement d'origine abyssale, de volumineux galets de roches quelconques dont le gisement ordinaire est nécessairement littoral. On a pêché, en effet, à de longues distances de la côte, des poissons et autres animaux nectoniques, dans l'estomac desquels se trouvaient des galets que ces animaux avaient avalés en même temps que leurs proies. Il suffira de supposer qu'un animal ainsi lesté meure au milieu d'une grande traversée, pour que des galets restent sur le fond après la décomposition du cadavre.

## 2. — Continuité atmosphérique.

L'étude des conditions caractéristiques des régions exondées, c'est-à-dire continentales et insulaires, procure des résultats qu'il y aura le plus grand intérêt à rapprocher de celles que fournit l'Océan. Dans un cas comme dans l'autre, nous avons le plus évident intérêt à demander leur témoignage aux éléments du plankton sessile, et la houille va nous fournir un pendant du récif madréporique qu'il sera instructif de lui comparer.

L'examen histologique des plantes de tous les âges peut nous renseigner sur leur physiologie par l'intermédiaire de leur anatomie, et nous avons à cet égard des éléments merveilleux de précision. On sait que grâce au

procédé de fossilisation qu'est la silicification, les études des botanistes sur les plantes fossiles ont pu être poussées aussi loin, sinon plus, que pour les plantes actuelles. Des localités d'élection, comme le Champ de la Justice, à Autun et la colline de Saint-Priest, à Saint-Etienne, à la suite desquelles on pourrait en énumérer beaucoup d'autres, ont procuré à une pléiade de botanistes ayant à leur tête Adolphe Brongniard et Bernard Renault, des révélations tout à fait imprévues. MM. Schimper, Grand'Eury, Eg. Bertrand, Pelourde et bien d'autres, ont décrit d'innombrables types botaniques.

On a généralement admis que les premières plantes ont dû être exclusivement cryptogamiques, leurs représentants devant se borner à des algues inférieures. Maints gisements cambriens ont, en effet fourni des empreintes que tout le monde est d'accord pour ranger au nombre des algues marines, et dans le nombre, les *Oldhamia* se signalent par leur abondance. Mais il est infiniment probable que, dès qu'il y a eu des terres émergées, des plantes de types très divers se sont établies à leur surface. En effet, on rencontre dès le silurien des formations qui dévoilent des régions estuariennes et où, parmi des débris d'animaux marins, on rencontre des branchages de grands arbres. En Amérique, on a recueilli au niveau de nos ardoises d'Angers, des fragments de *Xylophyton*, d'*Annularia* et de *Protostigma*. L'Angleterre a fourni des témoignages du même genre pour divers niveaux du Gothlandien ; et nous n'avons plus à insister sur les caractères spéciaux de la flore véritablement forestière du dévonien et du carbonifère. Ce qu'il faut dire seulement, c'est que les cryptogames arborescents, comme les fougères, sont associés à des gymnospermes et à des types maintenant disparus, qui semblent constituer, d'après les savantes études de M. Grand'Eury, des intermédiaires

morphologiques entre les cryptogames et les phanérogames. Il devait en résulter des paysages comparables à ceux de nos régions les plus chaudes.

Dès le terrain qualifié de dinantion ou de culm, des *Bornia* se présentent en association avec des *Archæopteris* et des lépidodendrées.

Les formations vraiment houillères ont fourni des listes de plantes presque aussi longues que les listes des espèces actuelles et qui s'accroissent chaque jour. Dans le terrain autunien, transitoire entre le stéphanien et le permien, on se trouve en présence des restes de grandes forêts de conifères, telles que *Walchia piniiformis* et *Metacordaïtes* (fig. 19). Les niveaux les plus élevés de l'ensemble primaire comprennent des témoignages de vastes continents qui devaient s'étendre là où maintenant est le

Pacifique et dont le sud de l'Afrique, le sud de l'Inde, le sud de l'Amérique sont comme les résidus.

Les insectes et les arachnides doivent être cités comme existant déjà dans un grand état de prospérité durant les périodes primaires. Dans le silurien supérieur de l'île de Gothland, Lindström a étudié en 1884 un animal présentant avec nos scorpions des ressemblances telles qu'il faut admettre que son genre de vie était le même. De

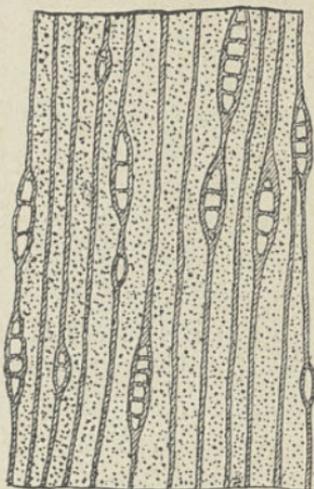


Fig. 19. — Coupe tangentielle du bois d'un conifère fossile (*Metacordaïtes* du terrain carbonifère d'Autun) pour montrer les trachéides et les rayons cellulaires ligneux, identiques à ceux des bois de l'époque actuelle. — D'après Bernard Renault.

son côté, Dawson <sup>1</sup> a signalé dans un tronc de sigillaire du carbonifère de la Nouvelle-Ecosse un myriapode chilo-gnathe, le *Xylobius sigillariæ*, très voisin de nos mille-pattes (iules). Mais le fait dominant, c'est la trouvaille à Commeny en mélange intime avec les végétaux dont la décomposition a donné la houille, d'une incomparable collection entomologique <sup>2</sup>. Cette découverte a d'autant plus d'importance qu'elle est venue contredire des conclusions ayant l'apparence de la logique même et s'appuyant sur l'une des plus séduisantes découvertes de Darwin. Ce grand naturaliste ayant révélé la part des insectes dans la fécondation de beaucoup de plantes et attribué à la couleur et au parfum des fleurs le rôle prépondérant d'attirer les artisans de la fécondation par le transport des grains de pollen sur les stigmates <sup>3</sup>, on fit valoir que les forêts carbonifères étant formées dans la plupart des cas de cryptogames, les insectes n'avaient pas de raison d'être, puisque la fécondation se réalise sans leur concours. Mais il paraîtrait que les insectes ont autre chose à faire encore que de féconder certaines fleurs, car il se trouve, comme par une sorte d'ironie des choses, que c'est dans le terrain houiller que se rencontrent les insectes de beaucoup les plus volumineux de la création. Le *Meganeura Monnyi* dont le Muséum possède de si beaux échantillons, se signale d'abord par une ressemblance intime avec nos grosses libellules ; seulement, tandis que ces dernières atteignent au maximum une dizaine de centimètres d'envergure, la libellule primaire mesure  $3/4$  de mètre. A côté d'elle il faut citer les *Titanophasma* dont une espèce, dédiée par Charles Brongniart

1. *Geology of Nova Scotia*, p. 385, 1 vol. in-8, 4<sup>e</sup> édit., Londres 1891.

2. Ch. Brongniart. *Recherches pour servir à l'histoire des insectes fossiles des temps primaires*, 2 vol. in-4<sup>e</sup>, avec Atlas, Saint-Etienne 1893.

3. *Fertilization of Orchids*, in-8<sup>e</sup>, Londres, 1862.

à J.-B. Dumas, rappelle certains insectes de nos tropiques remarquables par leur aspect de branches d'arbres, mais avec une dimension infiniment plus grande. D'ailleurs, il faut bien se garder de l'opinion que tous les insectes de Commeny se distinguent par leur taille colossale : la majorité au contraire se rangerait parmi nos bêtes les plus communes, à ce point de vue. Il faut remarquer que les formes d'insectes de l'époque primaire sont beaucoup plus voisines les unes des autres que les formes des insectes les plus récents, que les naturalistes divisent, comme on le sait, en deux grandes séries, selon qu'ils présentent des métamorphoses complètes comme les papillons, ou bien qu'ils sortent de l'œuf avec une forme déjà voisine de la forme définitive, comme les sauterelles. Tous les insectes primaires, ou presque tous, étaient à métamorphoses incomplètes. Rapprochés de la faune actuelle, ils se répartissent surtout dans ces ordres qu'on appelle les orthoptères et les hémiptères. D'une manière exceptionnelle, la libellule appartenant à l'ordre des pseudo-névroptères, traverse au cours de sa vie des étapes plus variées. En somme, on ne trouve rien qui rappelle nos papillons, nos guêpes, etc.

Au milieu de cette faune entomologique, il est indiqué de signaler une forme qui n'a pas d'analogue à l'époque présente et qui a l'air d'avoir été produite par la Nature pour proclamer bien haut la loi de l'unité de composition organique, en faisant ressortir l'homologie absolue des trois anneaux du thorax des insectes. Il s'agit de *Homoïoptera*<sup>1</sup> et de *Lithomantis* qui possèdent trois paires d'ailes, une paire à chaque anneau, en même temps que deux pattes également à chaque anneau. On sait que le protothorax des insectes actuels n'est jamais pourvu d'ap-

1. Charles Brongniart. *Les insectes fossiles des temps primaires*, p. 353, in-4°, Saint-Etienne, 1891.

pendices dans sa région dorsale. Cette différence ainsi supprimée dans le cas qui nous occupe, vient à l'appui des grandes théories sur la signification des anneaux successifs ou zoonites, composant le corps des arthropodes.

En tout cas, l'entomologie primaire vient protester d'une manière tout spécialement éloquente à l'appui du mécanisme géologique. L'insecte remplit une fonction et joue un rôle dont aucune forme vivante ne s'acquitte exactement comme lui : une faune n'est pas complète, s'il n'en fait pas partie, et les faits de ce genre nous invitent encore à repousser toutes les hypothèses qui feraient une place, à un moment donné, à des conditions physiques trop différentes de celles d'aujourd'hui.

Les gastropodes sont aussi divers qu'abondants, et parmi eux, il en est dont la mention est spécialement intéressante, puisqu'ils témoignent, par leur gisement comme par leur forme, de leur habitat sub-aérien. Dawson<sup>1</sup> a décrit dans ce terrain carbonifère de l'Acadie, qui lui a fourni une si belle moisson de faits, un petit *Pupa*, qu'on aurait de la peine à distinguer par un caractère bien net des « maillots » qui habitent les herbes sèches de nos campagnes.

**Les houillères.** — En ce qui concerne la comparaison des conditions ambiantes durant la série des époques géologiques, l'étude des combustibles fossiles, au regard de l'atmosphère, rend des services comparables à ceux que les récifs madréporiques nous ont procurés à l'égard de l'Océan. Malgré des apparences maintenant démasquées, et qui ont retardé la solution, on peut dire qu'aujourd'hui la lumière est faite et que la conclusion

1. *The Geology of Nova Scotia*, 1 vol. in-8°, Londres, 1891.

coïncide avec celle à laquelle nous venons de parvenir déjà.

L'admission de la houillification sur place a tout naturellement conduit à considérer les houillères comme d'antiques tourbières, mais alors de nouvelles difficultés ont surgi. En tête des conditions si nettement déterminées du tourbage, figure une température relativement basse : c'est seulement à une distance notable de l'équateur que commence dans chaque hémisphère la région des tourbes, laquelle se continue dans la direction des pôles aussi loin que la végétation elle-même. Il fallut encore beaucoup de temps pour reconnaître que la seule erreur commise dans cette assimilation était de négliger les éléments d'information qui abondent autour de nous. En effet, maintes régions, jusque sous les tropiques, donnent à l'époque actuelle, à l'aide de végétaux botaniquement différents des mousses, des produits charbonneux à ranger dans la famille de la tourbe.

De nos jours, ainsi que nous y avons insisté, des transitions sont ménagées entre les tourbières vraies et les marais tropicaux, mangroves et toutes leurs annexes. D'un autre côté, un caractère commun qui consiste dans la présence de troncs d'arbres fortement modifiés dans leur composition initiale, brunis et passés à l'état de lignites, rattache les lignites provenant du fond de nos grandes tourbières actuelles, de tourbières nettement quaternaires, mortes depuis longtemps, et recouvertes d'épais sédiments, et même à des lignites franchement tertiaires retirés des cendrières de l'Oise et de l'Aisne, ou encore de l'argile plastique d'Arcueil.

Cette remarque est de haute importance, car il s'agit du trait d'union jeté entre des formations tout à fait modernes et des gisements ligniteux du terrain secondaire qui, tant de fois, comme au Tonkin, ont été pris

pour de la houille, jusqu'au moment où des expériences précises ont fait ressortir leur infériorité calorifique, pendant que les études paléontologiques mettaient en évidence leur récence relative.

Nous sommes donc autorisés à nous arrêter un moment sur les conditions des lignites considérés comme un terme transitoire entre la tourbière et la houillère, laissant pour un dernier paragraphe un coup d'œil sur l'intimité du phénomène de transformation de la matière végétale ensevelie. Nous considérerons spécialement ici le rôle des microbes dans la fermentation de la matière végétale, pendant les débuts du travail, et jusqu'à l'installation d'une deuxième période élaboratrice, réalisée après le transport sédimentaire en profondeur et qui prend plutôt les apparences d'une lente distillation.

Un détail qui a pour nous une importance considérable, c'est que les échantillons qu'on a toujours en vue dans la description du lignite sont associés à une matière conjonctive d'apparence bien différente, la *dopplérite*, que nous avons citée dans la tourbe et que nous retrouverons dans les houilles, et jusque dans les combustibles encore plus anciens.

Le point le plus important qu'on doit à Bernard Renault c'est d'avoir démontré dans la substance des lignites la présence de micro-organismes qui, à l'époque même de l'enfouissement des plantes maintenant fossilisées, ont exercé sur elles leur activité, y développant des phénomènes de fermentation ou de décomposition putride. Dans les échantillons éocènes provenant de l'Hérault, Bernard Renault a trouvé divers infusoires, tels que *Aspidisca eocenica* de 1/10 de millimètre environ, forme évidemment ciliée, mais dont les cils sont tombés, peut-être sous l'influence des bactéries, dont on voit les races dans la corrosion de certains éléments

végétaux. Renault cite en outre *Cinetocomia crassa* de 73  $\mu$  et *Ploescomia cycloïdes* de 62  $\mu$  qui sont également des infusoires. Des champignons figurent à côté d'eux : *Helminthosporium apioides*, représenté par des conidies formées de 2 à 3 cellules et plusieurs autres espèces du même genre. Des algues s'y trouvent en grande abondance, telles que *Frustulia araurisiensis*, qui est une diatomée, et *Micrococcus lignitum* qui est une bactériacée. Selon l'auteur, ces derniers végétaux, dont l'abondance est extrême, seraient les artisans de la matière fondamentale des lignites, c'est-à-dire de leur dopplérite.

Dans un lignite venant de Coronel, au Chili, Renault a trouvé, outre les formes précédentes, des organismes amiboïdes remarquables par leur squelette siliceux qui rappelle des genres actuels, *Orbulinella*, *Hedriocystis*, *Clathrulina*<sup>1</sup>.

Après avoir bien constaté la parenté des bois bruns y compris les lignites vrais, avec les éléments des tourbières il est intéressant de noter les différences que ce même lignite présente vis-à-vis de la houille. Sa poussière est brune et non pas noire ; sa densité est de 1,25 au maximum, au lieu de 1,34 ; avec la lessive chaude de potasse, il donne une coloration brune au lieu d'une coloration pâle ; il tient en moyenne 65 p. 100 de charbon, au lieu de 83 ; son pouvoir calorifique est de 4.800 calories, au lieu de 7.000.

En passant la revue des diverses variétés de lignites de plus en plus âgés, on verrait tous ces caractères passer insensiblement à ceux de la houille, la matière étant d'autant plus lignitifée qu'elle est plus ancienne. Cependant, le lien entre l'âge et la composition chimique n'est pas

1. Sur quelques micro-organismes des combustibles fossiles, 1 vol. in-4°, Saint-Etienne, 1900.

aussi simple, et, fréquemment, des actions latérales sont venues compliquer le résultat.

Commençons donc par passer en revue une série de lignites qu'on peut considérer comme normaux en remontant la série des terrains de plus en plus anciens. C'est à l'époque tertiaire qu'elle commence. Les quelques détails donnés précédemment sur des localités des environs de Paris procurent une idée suffisante de ce genre de formation. On en trouve dans beaucoup d'autres parties de la France. En Angleterre, l'île de Sheppey, à l'embouchure de la Tamise, livre à l'exploration des lits de combustible subordonnés à l'argile de Londres (*London clay*) qui est yprésienne, c'est-à-dire plus récente que notre Soissonnais, qui a cependant avec le gisement anglais beaucoup d'analogies. Les roches encaissantes sont très riches en crabes fossilés. Dans le sud-ouest de la Russie, et surtout à Ekaterinopol, dans le gouvernement de Kief, on exploite une couche de 3 mètres d'épaisseur, formant un bassin régulier, et on en emploie une masse énorme comme combustible pour les raffineries. A Bogolovsk, sur le versant oriental de l'Oural, le lignite tertiaire est formé de deux couches dont l'une, située à 5 mètres de la surface, est de 1 mètre d'épaisseur, pendant que l'autre, à 3 mètres plus bas, est plus épaisse encore.

Comme gisement crétacé, nous devons citer en première ligne les lignites de Fuveau, dans les Bouches-du-Rhône. Le combustible y est subordonné à une série de couches dont la puissance est d'environ 400 mètres, parmi lesquelles il constitue 17 couches ayant de 1 mètre à 1<sup>m</sup>,50 d'épaisseur. D'après les études classiques de Matheron<sup>1</sup>, le combustible est encaissé entre des marnes souvent bitumineuses, riches par places en débris végé-

1. *Bull. Soc. Géol.*, 3, IV, 145.

taux, lacustres ou fluviatiles. De Saporta <sup>1</sup> a émis l'opinion que ce gisement s'est constitué par le transport de débris végétaux noyés dans une pâte végétale déjà décomposée. Au Chili, les lignites de Lota sont recouverts par des couches à Baculites, qui les rangent dans le créacé le plus élevé. Dans l'Ardèche, c'est la craie chloritée (cénomanién) qui, à Saint-Julien-de-Péyrolas, renferme un lignite fragmentaire, de la catégorie qualifiée de fusain.

Dans la série oolithique, nous trouverions des exemples de tous les niveaux. Citons seulement, et presque au hasard, les couches exploitées aux îles Lofoten, qui paraissent être oxfordiennes et qu'on distille pour en retirer du gaz d'éclairage et de la paraffine. Dans le Caucase central, Abich et Ernest Favre <sup>2</sup> ont naguère étudié le gîte de Tkvibouli où les couches de lignite, d'une épaisseur totale de 16 mètres, sont surtout formées de tiges de cycadées. Le lias supérieur fournit des lignites exploités à Pereilles, au Baqué, à la Bastide-de-Séron (Ariège), en association avec des schistes noirs et avec des amas irréguliers de minerai de fer pisolithique. Ce combustible est propre au service de la forge.

C'est sous le nom de bassin houiller qu'est connu le gisement de lignite jurassique de Kouldja, dans la vallée de l'Illi, en Turkestan <sup>3</sup>.

Mais dans toute l'histoire des lignites, la région stratigraphique la plus intéressante est le rhétien, c'est-à-dire l'infra-lias. Le type s'en trouve au Tonkin, où le bassin à lignites forme une bande continue de 111 kilomètres de

1. *Le Monde des Plantes avant l'Apparition de l'homme*, p. 212, 1 vol. in-8°, Paris.

2. *Reisen im Caucasus*, Moscou, 1875.

3. Mouchkethoff et Romanowski. *Richesses minérales du Turkestan russe*, in-4°, 1877, Paris.

longueur dirigée du Sud-Ouest au Nord-Est. Les deux points les plus favorables à l'exploitation sont Hon-Gâ de 80 kilomètres carrés et Ke-Bao, de 180 kilomètres carrés. Comme nous l'avons déjà dit, on avait d'abord considéré ces combustibles comme étant des variétés de houille. L'étude de Fuchs et Saladin<sup>1</sup> y ont fait découvrir de nombreuses empreintes végétales qui toutes ont été reconnues comme rhétiennes. Il y a d'abord des fougères déjà connues dans les Indes, comme *Glossopteris Browniana* et *Tænipoteris spatulata* ; mais il y a aussi des espèces européennes existant en Franconie (Nuremberg), dans le Bannat de Hongrie, en Scanie, dans les Vosges, dans l'Yonne, comme *Asplenites Ræsserti*, *Dictyophyllum acutilobatum*, *Podozamites distans*, *Pterophyllum æquale*, *Nilsonia polymorpha*. Cette flore forme un lien entre les flores triasique supérieure, rhétienne et jurassique inférieure de contrées fort éloignées les unes des autres, telles que le Chili, l'Inde, l'Afrique australe et l'Europe occidentale.

L'histoire de la houille est une de celles où l'on voit le mieux la nécessité de faire intervenir les modes d'observation les plus variés. Notre opinion personnelle, c'est que Bernard Renault, malgré la puissance de ses facultés, n'est pas arrivé à une conception complète du phénomène houiller, parce qu'il s'est laissé captiver par le caractère purement microscopique de ses études. Voyant des microbes à l'œuvre sur la matière destinée à devenir de la houille, il s'est laissé séduire par ce chapitre biologique, au point d'oublier qu'une fois enfouie sous des sédiments plus récents, une couche quelconque, soit-elle entièrement formée de débris organiques, entre dans la catégorie des roches à proprement parler et tombe

1. *Ann. des Mines*, (8<sup>e</sup>), II, 211, 1882.

sous la coupe des phénomènes souterrains auxquels sont dues toutes les étapes du métamorphisme.

A partir de ce moment, les traces des micro-organismes vivants pourront y persister, mais leur travail sera définitivement arrêté. Au contraire, Renault pose en fait « que les matières végétales, une fois transformées en lignite, en houille, etc., si elles sont garanties contre l'action de l'air et des eaux minérales, par des couches de terrain assez épaisses ou assez imperméables, conservent la condition qu'elles avaient atteinte, lors de leur enfouissement ».

J'ai causé bien des fois avec Renault de ce grand problème, et ses arguments ont été incapables de modifier la conclusion à laquelle je suis arrivé et que tous les faits d'observation ultérieure sont venus confirmer pour moi. C'est que la houillification comprend deux périodes : 1<sup>o</sup> une fermentation microbienne analogue à celle dont les tourbières sont actuellement la proie ; 2<sup>o</sup> une lente transformation poursuivie au cours des périodes géologiques ultérieures et constituant un simple détail dans le métamorphisme général qui s'empare de toute la masse du terrain.

Que la mention de cette divergence d'opinion avec Bernard Renault me soit d'ailleurs une occasion de rendre hommage à ce grand homme, dont je m'honore d'avoir été l'ami jusqu'à sa mort. Il n'est parvenu à aucune des situations qui sont l'ambition et la récompense des savants : on fut trop heureux de son inaptitude à prendre part aux intrigues, aux calomnies, aux conspirations du silence et, en l'abreuvant des pires amertumes on l'élimina des directions où il avait droit au succès. Mais il s'est vengé, en dépassant de toute la hauteur de son génie ses médiocres et triomphants compétiteurs et en laissant derrière lui la série de ses œuvres qui feront son nom impérissable.

Un grand fait domine cette question, c'est que les états de tourbe, de lignite, de houille, d'anhracite — et abstraction faite de ce qui revient au métamorphisme volcanique et au métamorphisme orogénique — sont en relations strictes avec les âges géologiques.

Le fait seul du dégagement continu du grisou suffit pour le démontrer. A chaque instant, et sans arrêt, la houille perd une partie de ses éléments, par une véritable distillation souterraine ; distillation qui, malgré son allure très lente, donne une série de produits qui coïncident terme à terme avec les principaux résultats de la distillation rapide dans les usines à gaz. Là où l'on rencontre le *caput mortuum* de cette distillation, l'anhracite nous présente la composition chimique du coke dont elle ne diffère que par sa compacité, résultat nécessaire de la compression souterraine. Dans un voisinage plus ou moins prochain, les gites de pétrole, avec leurs trois zones superposées d'eaux ammoniacales, d'huiles minérales et de gaz combustibles, peuvent même parfois se présenter comme des exagérations des condenseurs industriels.

A cette série d'arguments, fournis par la considération du métarmorphisme général, il convient d'en ajouter d'autres auxquels conduit l'examen des effets du métamorphisme volcanique et du métamorphisme dynamique. En effet, pour comprendre qu'un lignite tertiaire, recueilli au sein d'une chaîne de montagnes, présente les propriétés d'une vraie houille, il faudrait admettre que, simplement parce que la région *devait être soumise aux efforts orogéniques*, la nature a fait intervenir le procédé qui donne directement naissance à la houille, au lieu de recourir à celui qui dans les formations de même âge produit simplement du lignite. De même, pour comprendre comment le combustible qui a été recouvert par des sorties basaltiques de la Bohême, bien qu'il soit

subordonné à des dépôts tertiaires, nous offre la composition et les caractères de la houille il faudrait invoquer la même raison métaphysique que tout à l'heure. Car si l'on reconnaît l'efficacité du métamorphisme de contact, ou du métamorphisme dynamique, qui n'agissent que par l'intermédiaire de l'eau souterraine exceptionnellement échauffée dans les points où ils sévissent, il ne reste aucun motif pour refuser le même pouvoir au métamorphisme sédimentaire, et dès lors, la théorie de la houille paraît complètement fixée dans ses grandes lignes.

S'il était nécessaire, nous trouverions un complément de cette série de phénomènes dans l'histoire des formations anthraciteuses auxquelles nous conduirait, par des transitions extrêmement ménagées, l'énumération de localités où les qualités diverses du combustible sont en raison de la profondeur, c'est-à-dire de l'âge. Dans l'anthracite les traces microscopiques observées dans la houille sont devenues beaucoup plus rares, beaucoup moins distinctes et souvent même elles ont disparu tout à fait.

Un argument que Renault fait valoir pour démontrer que la houille s'est faite à l'époque primaire et le lignite à l'époque secondaire, aussi rapidement que se fait la tourbe à l'époque actuelle, c'est que dans beaucoup de gisements houillers, on rencontre, dans la formation même, de véritables galets de houille. Les houillères de Commentry, de Bezenet, de Blanzay, de Swansea et bien d'autres, renferment des bancs de grès contenant une assez grande quantité de gravier de houille et parfois de vrais galets. Ce fait lui paraît impliquer que la houille était déjà constituée, avec ses qualités actuelles, quand la couche de grès s'est déposée.

Or, c'est là un raisonnement éminemment attaquant. On ne voit pas, en effet, pourquoi la matière tourbeuse

n'aurait pas été amenée à l'état de galets par un mouvement de l'eau. Nous avons de toutes parts, à l'époque présente, des exemples de galets confectionnés par la mer aux dépens de roches très tendres, telles que la craie, qui, au pied de la falaise du Bourg d'Ault (Somme), associe des bancs de véritables galets crayeux aux bancs de galets siliceux de rencontre plus ordinaire. Or, nous savons que ces galets peuvent échapper aux causes de destruction et s'incorporer dans les assises du sol par l'exemple que nous a procuré une carrière ouverte à Thiverval, près de Grignon, où les assises de la glauconie supérieure à *Cardita planicosta* et *Turbinolia clavus*, renferment encore aujourd'hui des galets de craie provenant de la falaise toute proche qu'ont battus les flots de la mer lutétienne. La matière tourbeuse, et surtout la matière ligniteuse qui lui est toujours associée, jouit d'une cohésion très supérieure à celle de la craie, et les vrais galets de bois actuel qu'on rencontre sur nos plages se laissent nécessairement prendre de temps en temps dans les sédiments qui les conserveront parfois jusqu'aux époques futures.

Dans le *surturbrand* des environs d'Avammur et de la montagne de Bola, en Islande, on remarque des échantillons de combustible qui, selon les termes d'Eugène Robert <sup>1</sup>, « ont dû avoir été roulés pendant longtemps avant de passer à l'état de lignite : ce sont des morceaux usés comme des galets, analogues du reste à des bois flottés que les voyageurs ont eu souvent l'occasion d'observer en cet état sur les côtes de l'Islande ».

Il est clair que les bancs de *surturbrand* supposés en-

1. *Géologie, minéralogie et métallurgie* faisant partie des voyages de la Commission scientifique du Nord en Scandinavie, en Laponie, au Spitzberg et aux Féroë pendant les années 1838, 1839 et 1840 sur la corvette *La Recherche*, p. 47. 1 vol. in-8°, Paris (s. d.).

fouis plus tard sous des sédiments de plus en plus épais, prendront part avec leurs galets aux transformations métamorphiques inhérentes à la condition souterraine.

Pour compléter cette revue du lignite, il importe beaucoup de noter que certaines modifications, développées dans l'épaisseur du sol, principalement par le phénomène volcanique, ont fait perdre au lignite une partie de ses caractères pour lui en donner d'autres. C'est ainsi que des combustibles que leur situation stratigraphique range sans hésitation parmi les lignites, sont passés à un état très voisin de celui qui caractérise la houille. Dans le nord de l'Italie, le Monte Bamboli, formé de matériaux miocènes, mais qui a été injecté d'épanchements de serpentine et d'autres roches éruptives, renferme un combustible qui a presque la valeur de la houille et qui serait d'exploitation très profitable, si les failles nombreuses qui traversent le sol ne rendaient l'extraction très aléatoire. Beaucoup d'éruptions basaltiques ont recouvert en Allemagne des dépôts charbonneux ayant l'âge de nos lignites du Soissonnais et qui ont acquis la compacité, l'apparence et presque le pouvoir calorifique de la houille. Les exemples seraient innombrables ; en Hongrie, le plus remarquable est à Sari-Sap, à 20 kilomètres de Buda. Au nord-ouest de la Bohême, dans le Mittelgebirge, les volcans étaient en activité au début des dépôts lignitifères. Vers le milieu de la formation, les éruptions ont été surtout violentes et d'une grande étendue. Aussi, le lignite est-il passé à l'état d'une houille imparfaite. Au Mont Meisner, dans la Hesse, le lignite tertiaire est recouvert de basalte. Il se présente, suivant les points, à l'état de lignite piciforme, de jayet, de lignite terne et massif, de lignite fibreux noir ; mais dans le haut, là où il est le plus récent, mais parce qu'il est au voisinage immédiat du basalte, il ressemble à de l'anhracite, tantôt

éclatante, tantôt friable. Le bois empâté dans la couche combustible est par endroits silicifié. Non loin de là, à Meissen, le lignite est recouvert d'une nappe de basalte de 100 mètres d'épaisseur : il est presque noir ; sa densité est égale à 1,32 ; sa structure est feuilletée, sa cassure transversale est conchoïde et brillante.

Le métamorphisme volcanique étant si efficace pour modifier les qualités du lignite, on ne sera pas étonné d'apprendre que les actions orogéniques se sont bien souvent traduites par des effets analogues aux précédents. Le gisement de Kœpfnach, sur les bords du lac de Zurich, a tout à fait les caractères extérieurs d'une houillère. Le combustible, en couches puissantes, est noir et brillant, mais il est associé à des dents et à des ossements de castors tertiaires et de mastodontes. En plusieurs points de la Pologne, dont le sol est recoupé de failles, comme dans le gouvernement de Kielcé et dans celui de Piotikow, le lignite tertiaire, qui a été longtemps exploité et qui est maintenant épuisé, semblait une houille grasse. Dans le massif des Diablerets, en Valais, on voit exactement au niveau de notre calcaire grossier — celui du lignite subordonné au banc vert du bassin de Paris — des marnes véritablement anthracifères, bien qu'elles soient pétries de *Lymnea vivipara*.

**Terre végétale.** — Comme appendice à cette énumération forcément incomplète, des productions stratifiées provenant directement des animaux ou des végétaux, il y a lieu de constater la persistance, à travers toutes les époques, de ce véritable épiderme terrestre que constitue la terre végétale. Il faut insister, en effet, quitte à répéter quelque remarque, sur ce fait que le manteau dans lequel les plantes plongent leurs racines sur toute la surface des portions exondées du globe, a eu une allure

analogue dans tous les temps, parce qu'elle est complémentaire de celle de l'océan. Dans les pays en voie d'affaissement, la ligne des côtes gagne sur la terre ferme, et la terre végétale est supprimée ou parfois arrêtée dans son activité et réduite à l'état d'« échantillon » qui pourront être conservés bien longtemps et resteront reconnaissables encore après des séries de périodes géologiques, malgré les altérations incessantes qu'ils auront subies. Au contraire, dans les points où se manifestent les soulèvements et où la terre ferme gagne par conséquent sur la mer, la terre végétale réalise continûment la conquête des portions asséchées. Et cette continuité dans le sens horizontal a comme complément une persistance analogue en verticale. Comme nous l'avons dit incidemment et comme il convient de le répéter, il existe des régions où, sans qu'on voie à l'œuvre les agents de dénudation ordinaire (entraînant des portions superficielles sous la formation de sables et de limons, quittant les sommets pour combler les dépressions), l'eau de pluie, passant par imbibition au travers de la terre végétale attaque le sous-sol rocheux et en emporte les éléments, soit par dissolution, soit même par désagrégation ultime, sans qu'aucune déchirure se fasse dans le manteau verdoyant. On a été trompé quelquefois à cette apparence de stabilité et on en a conclu à l'insignifiance du phénomène pluvial comme cause de modification du relief du sol. Maintenant que la lumière s'est faite à cet égard, il faut rattacher les qualités particulières de ce manteau si élastique et si souple, à l'intervention dans sa masse des organismes qui ont donné à l'ensemble la propriété, si caractéristique de ce qui vit, de changer constamment sa matière actuelle contre de la matière nouvelle, sans changer de dimension ni de structure. Aussi, commet-on généralement de grandes inexactitudes quand on tente d'assigner

un âge géologique précis à la terre végétale et aux formations qui lui ressemblent. Elle contient, au même moment et dans les mêmes parties, des matériaux dont les uns viennent de lui être adjoints pendant que d'autres lui sont incorporés depuis un passé souvent très long, les uns et les autres dérivant de masses initiales très diverses.

C'est comme complément de beaucoup de points traités dans le présent chapitre et particulièrement dans les passages concernant l'origine de la houille et des substances similaires, qu'il faut noter quelques observations relatives à la fossilisation de la terre végétale.

Un des exemples les plus classiques concerne les falaises de l'île de Portland où l'on observe, au-dessus du *portlandstone*, qui est un calcaire d'origine marine, un calcaire lacustre ayant 2 mètres de puissance et qui supporte une couche dite lit de boue (*dirt-bed*), qui a 30 à 45 centimètres d'épaisseur. Ce lit, d'un brun noirâtre, consiste en un mélange de matières organiques ligniteuses et de cailloux, atteignant 20 centimètres de diamètre. Faisant une légère saillie sur le plan général de ce lit, se présentent des troncs d'arbres silicifiés, dont la partie inférieure se divise en racines plus ou moins longues, plongeant dans le lit de boue et qui sont cassés de façon à pénétrer quelque peu dans un lit marneux qui les recouvre. Quelques-uns de ces troncs sont couchés dans le lit de boue et alors ils peuvent atteindre 7 mètres de longueur, et tout l'ensemble se présente, à n'en pas douter, comme constituant une région correspondant exactement à certains points de nos côtes d'à présent, où des forêts encore vivantes ont été envahies par les eaux et recouvertes de sédiments, marins ou calcaires, suivant les cas. En conséquence, la substance même du *dirt-bed*

nous fournit un exemple incontestable de terre végétale fossile <sup>1</sup>.

Des faits pareils se sont nécessairement passés à toutes les époques ; mais la découverte des vestiges qu'ils ont pu laisser est une affaire de pur hasard et l'on conçoit qu'elle soit rare. C'est sans doute dans le terrain houiller qu'on en a rencontré le plus grand nombre et l'on doit une véritable gratitude à M. Grand'Eury d'en avoir fait, pour le bassin de Saint-Etienne, une étude approfondie <sup>2</sup>.

Les exemples les plus anciens jusqu'ici sont probablement ceux que Dawson a signalés depuis longtemps déjà à Joggins et dans d'autres localités de la Nouvelle-Ecosse <sup>3</sup>. Les falaises du Cap-Breton offrent une ressemblance extraordinaire avec les falaises de l'île de Portland, malgré l'énorme laps de temps qui s'est écoulé entre les unes et les autres. Et comment pourrions-nous, en présence d'une semblable conformité, ne pas répéter cette remarque, dont la portée philosophique n'échappera à personne, qu'elle témoigne d'une *identité absolue* dans les conditions générales du milieu terrestre depuis que la vie en a pris possession ?

Les rapports avec le sol qui les nourrissait, des troncs d'arbres de ces temps si divers, sont restés les mêmes, jusque dans des détails presque microscopiques. A maintes reprises, M. Grand'Eury appelle notre attention sur la forme, sur la disposition relative, sur les dimensions des radicules, même les plus fines, des *Stigmiara*, des *Sigillaria*, des *Calamites* : on croirait vraiment voir les ramifications radiculaires de nos chênes et des autres

1. Mémoires de Buckland et de la Bèche in *Trans. Soc. Géol. London* (nouvelle série), IV, 1<sup>re</sup> partie.

2. *Recherches géobotaniques sur les forêts et sols fossiles*, in-4<sup>o</sup>, Paris, 1912 et 1913, 2 livraisons parues.

3. *The Geology of Nova Scotia*, etc., in-8<sup>o</sup>, London, 1891.

arbres de nos forêts. Nous voyons même en certaines circonstances, que les forêts de ces diverses époques éprouvaient de la part de l'atmosphère des influences toutes pareilles à celles d'aujourd'hui. On a reconnu la présence dans la houille de rameaux cassés par le vent et mélangés à des végétaux encore en place.

**Rôle de la température dans les gisements des organismes.** — Parmi les traits qui nous ont frappés quand il s'est agi de faire le recensement des gisements biologiques actuels, s'est présenté une distribution générale que nous avons qualifiée de méridienne. De part et d'autre de l'équateur, des zones symétriques sont caractérisées (toutes choses égales d'ailleurs) par une flore et une faune dont les caractères généraux sont comme des reflets de la température moyenne de chaque lieu. Or, l'examen des périodes anciennes n'a rien montré de pareil et l'on peut même remarquer que la distribution des plantes anciennes soulève des problèmes difficiles.

On ne voit durant les temps primaires aucune trace de la répartition des organismes dans des zones parallèles à l'équateur et qui de celui-ci jusqu'aux pôles observent des gradations ménagées.

Le terrain houiller des régions boréales, dont l'épaisseur, à la Terre de Grinnel, est de 5 à 600 mètres, a fourni des empreintes végétales où l'on a reconnu, à la suite d'Oswald Heer, des *Cordaïtes*, des *Lepidodendrons*, des *Sphenophyllum*, des *Asterophyllites*, identiques aux spécimens provenant de l'Europe centrale et méridionale et témoignant d'une égale vigueur de végétation. Dans l'île des Ours, le même paléontologiste a reconnu le groupe des espèces qui caractérisent le carbonifère inférieur dans la Basse-Loire, par exemple à Mouzeil : *Bornia radiata*, *Cardiopteris frondosa*, *Lepidodendron Weltheimianum*,

*Sphenopteris Schimperi*. De Bell Sund au Spitzberg, le docteur Eugène Robert a rapporté, il y a plus de soixante ans, des calcaires marins avec *Cyathophyllum*, qui est un polypier des mers chaudes, *Evomphalus*, *Spirifer* et *Productus*.

Il résulte de ces remarques la considération d'un fait d'autant plus important qu'à la première apparence, il tranche avec l'allure générale du mécanisme géologique tout entier. Au milieu de la continuité que nous avons précédemment constatée, il vient apporter un incident sans analogue, et qui ne concerne pas seulement les temps les plus anciens, car tout près de l'époque actuelle nous voyons les plantes témoigner encore d'une quasi-uniformité de la température.

Avant les plantes de régions tempérées froides qui vivent maintenant autour de Paris, aux temps quaternaires, des figuiers habitaient en grand nombre la région, comme le montre le travertin de la Celle-sous-Moret.

A l'époque pliocène qui a précédé, on rencontre sous la même latitude, ou à peu près, à Meximieux, près d'Amberieu, dans l'Ain, une population nombreuse de bambous, de lauriers-roses, de liquidambers, de lauriers des Canaries.

Les assises miocènes nous procurent des palmiers qui forment la base de la végétation et avec eux des chênes verts analogues à ceux du Mexique. En Suisse, Ceningen, sur le bord du lac de Constance et sensiblement sous le parallèle de Paris, a fourni toute une faune lacustre qui conduit à la même évaluation. Le célèbre *Andryas Scheuchzeri* qu'on y a trouvé n'a son analogue actuel que dans un batracien des eaux douces du Japon.

Pendant les temps éocènes, le point précis où se trouve Paris a été lors du dépôt du banc vert (calcaire grossier) couvert d'une épaisse forêt de palmiers.

La base du terrain tertiaire a fourni de très importants documents. Grâce à l'existence d'une grosse source in-crustante dont on trouve des concrétions aux environs de Sézanne (Marne), on est, relativement à la flore de Sézanne, remarquablement bien renseigné, et c'est à



Fig. 20. — Fragment de travertin de Sézanne (Marne) et représentant les lamelles sinueuses marquant la place des galeries creusées par les larves. Grandeur naturelle. — D'après M. le Dr Langeron.

propos d'elle qu'a été inventé cet élégant procédé d'étude qui consiste à verser dans les pores du travertin de la cire fondue et à dissoudre ensuite le calcaire. Des moulages parfois admirables de délicatesse (fig. 20) se dégagent ainsi et procurent les documents les plus précis sur les détails les plus délicats de la flore.

En continuant la revue des assises du sol, on constate que la flore des temps crétacés et jurassiques manifeste l'existence d'une température supérieure à la température actuelle dans la même région. Le lac d'Armaille dans l'Ain, pris au ha-

sard, montre une grande abondance de cycadées et en même temps de conifères, spécialement de cupressinées. D'après Saporta <sup>1</sup>, le régime thermométrique a des analogies avec celui qui règne à Cannes ou à Nice. Les grands reptiles crétacés et jurassiques témoignent avec évidence d'une température plus élevée que la température actuelle.

1. *Le monde des plantes*, p. 196.

La conséquence de ces remarques est immédiate : la surface de la terre a été depuis l'origine, en conformité des grands traits de l'évolution planétaire, sous l'influence de deux foyers de chaleur et par conséquent d'énergie très différemment placés : il s'agit du noyau interne d'une part et du soleil de l'autre. Grâce à leur collaboration, le sol est à un certain moment dans une condition thermométrique donnée ; mais celle-ci varie nécessairement d'une manière continue.

Un dernier document concernant les climats, qu'il faut avoir présent à l'esprit pour les comparaisons avec le passé, c'est que, même quand les climats sont établis à la surface exondée, on n'en retrouve aucune trace dans les profondeurs de l'océan. Les courants froids, alimentés par les pôles et dont la densité est plus forte que celle de l'eau plus chaude, ont déterminé la constitution d'une zone à peine au-dessus de zéro. Il en résulte un détail que nous ne devons pas rechercher aux anciennes époques. Quand le Spitzberg et la Nouvelle-Zemble étaient recouverts de fougères en arbre, la distribution de la température dans l'eau des mers était toute différente de ce qu'elle est actuellement. Et il en résulte une cause de contrastes profonds entre la manière dont se transforment les substances animales accumulées dans les anciens océans, avec l'état ordinaire des choses dans nos mers. Cette décomposition dans l'eau relativement tiède a donné lieu aux sapropélites que nous avons mentionnés dès nos débuts et qui se sont fossilisés sous la forme des marbres noirs et fétides. Ils ne peuvent se constituer à l'époque présente que dans le seul bassin de la mer Noire. A cet égard on pourrait se demander si la disparition des roches sapropélitiques dans la série sédimentaire ne pourrait pas être considérée comme marquant le moment où le régime du fond des mers a subi la modification dont ils s'agit.

## CHAPITRE VII

### LA SUCCESSION DES FAUNES ET DES FLORES

La conclusion de nos études antérieures, c'est que, au moins théoriquement, chacun des niveaux qu'on est amené à distinguer dans l'épaisseur des terrains sédimentaires est caractérisé par une faune et par une flore spéciales, ou, si l'on aime mieux, par un groupe d'animaux et par un groupe de végétaux, qui ne coïncident ni avec la zoologie ni avec la botanique des étages voisins. Nous n'avons pas à insister sur l'utilité pratique de cette circonstance sans laquelle la géologie perdrait sa base principale ; mais il nous reste à rechercher l'idée qu'il est légitime de se faire de la raison d'une disposition si remarquable.

La méthode qui nous paraît devoir être adoptée sans hésitation est de déterminer dans la série des couches successives dont est composé l'édifice stratifié, de quelles circonstances peut s'accompagner l'apparition ou la disparition d'une forme organique donnée.

La question paraît très simple, si l'on en juge d'après les principales opinions qu'elle a suggérées.

**Rappel de quelques suppositions.** — Cédant aux apparences premières, on a édifié, presque sans s'en apercevoir, la doctrine des révolutions du globe, rendue si célèbre et si prépondérante par la magie du style de Cu-

vier. Alcide d'Orbigny en a conçu tout un système économique de la Terre, qui fut d'autant plus volontiers adopté qu'il satisfaisait le besoin de netteté et de précision qui est au fond de la nature humaine.

D'après ce système, chacun des terrains dans lesquels on divise l'écorce sédimentaire est véritablement encadré entre deux soulèvements de montagnes. Selon la science de l'époque, — 1854 — chaque soulèvement étant un phénomène essentiellement brusque, est d'une telle violence qu'il intéresse la surface entière du globe : « On voit par les faits connus, dit l'auteur <sup>1</sup>, que les tremblements de terre sont la cause certaine des oscillations du sol, qu'ils ont produit ces nombreux exhaussements et affaissements que nous avons signalés à la surface du sol actuel. On voit encore qu'ils ont eu pour effet de mettre les eaux en mouvement sur de vastes surfaces, en donnant la mesure comparative, par les petites parties déplacées, de ce qu'ont pu produire la surélévation des chaînes des Pyrénées, des Alpes, des Andes, de l'Himalaya. Peut-être alors aura-t-on la certitude que le mouvement des eaux a fait un grand nombre de fois le tour du monde avant de s'arrêter, et qu'il a pu détruire simultanément tous les êtres à la fois ».

Après avoir imaginé ce mécanisme énergétique, Alcide d'Orbigny n'hésite pas à le faire intervenir aussi souvent qu'il est nécessaire. Dans sa classification, le terrain tertiaire supérieur qu'il appelle subapennin est qualifié de vingt-septième étage, ce qui veut dire qu'il s'est établi sur la table rase, balayée de toute faune et de toute flore par la vingt-sixième inondation générale. Quant au procédé de ces opérations l'auteur n'a pas l'air de supposer qu'il puisse y avoir intérêt à le préciser, et il

1. *Cours élémentaire de Paléontologie et de Géologie stratigraphiques*, II, 834. 2 vol. in-42, Paris, 1849 et 1854.

faut conclure de son silence qu'il regarde la création primitive comme ne se distinguant en rien des créations ultérieures.

S'il est intéressant de noter ce point de vue, professé par les maîtres les plus incontestés, et accepté par des générations de savants, il est absolument inutile d'entrer dans la discussion d'opinions que personne ne défend plus. Sans exagération, nous sommes aujourd'hui à l'antipode de Cuvier. L'allure des réactions géologiques, même les plus violentes dans leurs conséquences mécaniques, se rattache désormais au sentiment d'une évolution continue, lente et progressive. Le problème que nous avons en vue, l'explication du phénomène biologique, n'en est d'ailleurs que plus difficile et nous sommes résignés en l'abordant à en voir bien des côtés rester sans réponse.

Il faut reconnaître tout d'abord qu'on l'a d'ordinaire étudié sans un grand souci des méthodes généralement suivies dans le domaine scientifique, et que la tendance a été bien fréquente d'y substituer l'imagination à l'observation attentive et à l'expérience. Des naturalistes ayant donné des preuves incontestables d'une valeur hors de pair, comme Lamarck et Darwin, se sont laissés aller à imaginer la cause des phénomènes qu'ils constataient sans exiger d'eux-mêmes de véritables preuves des opinions qui leur plaisaient, seulement, parce qu'elles semblaient vraisemblables.

Lamarck, par exemple, accepte comme l'une des bases de son système la doctrine de la génération spontanée <sup>1</sup>,

1. « La nature, dit-il (*Philosophie zoologique*, I, 65), a commencé et recommence encore tous les jours par former les corps organisés les plus simples, et ne forme directement que ceux-là, c'est-à-dire que ces premières ébauches de l'organisation, qu'on a désignées par l'expression de générations spontanées. » A la page 211 du même volume, il ajoute : « C'est uniquement parmi les animaux de la classe des infusoires que

et il ne semble pas qu'il s'arrête un instant à la vérification de cette doctrine. Darwin pose en fait qu'il suffit que des formes organiques se ressemblent pour qu'on doive admettre qu'elles descendent les unes des autres, et il ne paraît pas davantage avoir essayé de justifier cette assertion, qui prend chez lui les apparences d'un axiome. Enfin on admit assez généralement que si une même espèce se trouve en deux localités suffisamment distantes l'une de l'autre on doit accepter qu'il y a eu migration d'un des deux points vers le second.

Il serait bien intéressant de rechercher comment le point de vue évolutif, si opposé au point de vue cataclysmien qui régnait avant lui, a pu s'établir dans la science. A toutes les époques, depuis qu'on écrit (Ovide et ses Métamorphoses), il s'est trouvé des esprits philosophes pour le défendre. On sait les vicissitudes par lesquelles il passa, pendant le XIX<sup>e</sup> siècle, au début duquel parurent la *Philosophie zoologique* de Lamarck (1809), et sa réédition à certains égards dans l'*Introduction à l'Histoire des animaux sans vertèbres* (1815). Tout le monde connaît le genre de dissertations qui y sont contenues et qui se bornent à des affirmations, sans que l'auteur songe un instant à leur donner même un semblant de preuve. On y lit <sup>1</sup> que la girafe, d'abord pourvue d'un cou de longueur ordi-

la nature paraît former les *générations spontanées* ou directes, qu'elle renouvelle sans cesse, chaque fois que les circonstances y sont favorables... Ce qui autorise à penser que la plupart de ces animaux ne doivent leur existence qu'à des *générations spontanées*, c'est que ces frères animaux périssent tous dans les abaissements de température, qu'amènent les mauvaises saisons ; et on ne supposera sûrement pas que des corps aussi délicats puissent laisser aucun bourgeon ayant assez de consistance pour se conserver et les reproduire dans les temps de chaleur ». L'auteur y revient p. 274, et enfin il ajoute p. 368 : « Pour que les corps qui jouissent de la vie soient réellement des productions de la nature, il faut qu'elle ait eu et qu'elle ait encore la faculté de produire directement certains d'entre eux, etc. ».

1. *Philosophie zoologique*, p. 256, 1 vol. in-8°, Paris, 1809.

naire, a allongé celui-ci en voulant brouter sur les arbres, — sans faire la moindre allusion à la chèvre qui se livre à la même aspiration vers les objets élevés, sans avoir déterminé un effet comparable. Et Lamarck ajoute (I, p. 57) que l'histoire de la girafe se répète pour l'autruche, bien que cet oiseau ne paraisse guère avoir d'occasion de se nourrir ailleurs qu'au ras du sol. Ces remarques pourraient se renouveler un nombre quelconque de fois et il est singulier de voir que le public scientifique, après avoir opposé à Lamarck une indifférence à laquelle il fut si amèrement sensible, se mit à accepter des observations, fantaisistes, comme autant de faits démontrés. Nous ne voulons pas croire qu'il y eut dans ce changement, ainsi qu'on l'a dit, le moindre désir de réagir contre des systèmes philosophiques et même religieux, et de substituer (ce que l'auteur ne faisait pas) un ensemble de faits soi-disant observés à des « révélations » ; mais nous ne pouvons contester que le « sentiment » prit plus d'une fois la place de la discussion froide et impartiale de déductions logiquement enchaînées.

Au surplus, il n'est pas hors de notre sujet de préciser la tendance générale de Lamarck, bien différente de celle que lui ont attribué certaines écoles. A lire divers de ses passages, on pourrait croire qu'ils sont sortis de la plume d'un prince de l'église : « On a pensé, dit-il <sup>1</sup>, que la nature était DIEU <sup>2</sup> lui-même ; c'est, en effet, l'opinion du plus grand nombre et ce n'est que sous cette considération que l'on veut bien admettre que les *animaux*, les *végétaux*, etc., sont ses productions.

« Chose étrange ! l'on a confondu la montre avec l'horloger, l'ouvrage avec son auteur. Assurément cette idée

1. *Histoire Naturelle des Animaux sans Vertèbres*, I, p. 322, 6 vol. in-8°, Paris, 1815.

2. C'est Lamarck lui-même qui écrit le mot Dieu en capitales.

est inconséquente et ne fut jamais approfondie. La puissance qui a créé la Nature n'a sans doute point de bornes et est indépendante de toute loi. Elle seule peut changer la Nature et ses lois ; elle seule peut même les anéantir ; et quoique nous n'ayons pas une connaissance positive de ce grand objet, l'idée que nous nous sommes formée de cette puissance sans bornes est au moins la plus convenable de celles que l'homme ait dû se faire de la Divinité, lorsqu'il a su s'élever par la pensée jusqu'à elle. »

Et plus loin <sup>1</sup> : « La Nature n'est que l'instrument, que la voie particulière, qu'il a plu à la puissance suprême d'employer pour faire exister les différents corps, les diversifier, leur donner, soit des propriétés, soit même des facultés, en un mot, pour mettre toutes les parties passives de l'univers dans l'état mutable où elles sont constamment. Elle n'est en quelque sorte qu'un intermédiaire entre DIEU et les parties de l'univers pour l'exécution de sa volonté divine <sup>2</sup>. »

Ceci bien établi, nous serons beaucoup plus à l'aise pour examiner la portée de la doctrine de Lamarck comme document scientifique. Nous voyons du moins qu'en la substituant aux idées acceptées de son temps et qui sont le reflet de la cosmogonie de Moïse, il ne se mêle à aucun degré, dans son esprit, une idée de lutte quant à l'origine des objets créés.

Un autre fait mérite d'être mentionné encore, et d'une manière tout à fait formelle : c'est que Lamarck n'a été nulle part préoccupé de ce que nous appelons maintenant le point de vue géologique. Le terme d'évolution

1. *Histoire Naturelle des Animaux sans Vertèbres*, p. 331.

2. Il faut que Lamarck ait été bien peu lu par la génération actuelle, puisque le comité de célébration de ce grand naturaliste imprimait récemment cette phrase : « Il dira : *l'auteur de la nature* : mais ne lui demandez rien de plus ».

qu'il répète à chaque instant et dont on a fait le titre même de son système a pu tromper à cet égard, et a, certainement, trompé beaucoup de personnes.

Ce qu'il faut bien savoir, c'est que Lamarck ne fait vraiment pas entrer les fossiles en ligne de compte ; quand il en parle, ce qui est extrêmement rare, il a l'air de contester leur particularité essentielle, qui est de manquer à la faune actuelle. « S'il y a des espèces réellement perdues, dit-il, ce ne peut être sans doute que parmi les grands animaux qui vivent sur les parties sèches du globe, où l'homme, par l'empire absolu qu'il y exerce, a pu parvenir à détruire tous les individus qu'il n'a pas voulu conserver, ni réduire à la domesticité. » Et cela ne signifie pas que, dans sa pensée, les autres se sont transformés, car il ajoute immédiatement : « De là naît la possibilité que les animaux des genres *Palæotherium*, *Anoplotherium*, *Megalonyx*, *Megatherium*, *Mastodon*, de M. Cuvier, et quelques autres espèces de genres déjà connus, ne soient plus existants dans la Nature : néanmoins, il n'y a là qu'une simple possibilité. »

Pour lui, il n'y a que les êtres subaériens qui puissent être exposés de la part de l'homme à l'anéantissement de leur espèce. Les animaux qui vivent dans le sein des eaux, surtout des eaux marines, sont à l'abri de cette sorte de destruction. Et « si quantité de coquilles fossiles se montrent avec des différences qui ne nous permettent pas, *d'après les opinions reçues*, de les regarder comme des analogues des espèces avoisinantes que nous connaissons, s'ensuit-il nécessairement que ces coquilles appartiennent à des espèces réellement perdues ? Pourquoi d'ailleurs seraient-elles perdues dès que l'homme n'a pu opérer leur destruction ? Ne serait-il pas possible, au

1. *Philosophie Zoologique*, I, 76.

contraire, que les individus fossiles dont il s'agit appartenissent à *des espèces encore existantes*, mais qui ont changé depuis et ont donné lieu aux espèces actuellement vivantes et que nous en trouvons voisines<sup>1</sup> ? »

Tout cela est assez vague ; toute notion précise de l'espèce y disparaît, et c'est vraiment la première notion de la doctrine lamarckienne. L'illustre auteur, à partir de ce moment, n'a plus qu'un but, qui est de voir dans certaines formes animales le résultat du « changement » d'autres formes ordinairement indéterminées et dont il ne dit rien.

En outre, et ceci a pour nous une portée que l'on saisira, Lamarck n'aura plus en vue que les « changements » qui peuvent avoir lieu à l'*époque actuelle*, et, avant tout, chez les êtres qui ont pris des habitudes nouvelles, comme la girafe qui a allongé son cou ou la grue qui a allongé ses pattes ; et aussi comme les êtres qui changent de milieu comme (I, 230) *Ranunculus aquaticus* qui, dès la première génération, devient *R. hederaceus*, qu'on voit dans les pièces d'eau desséchées.

En tout cas, c'est toujours entre des milieux contemporains les uns des autres que se fait le passage. Nulle part, à ma connaissance, Lamarck ne fait intervenir la supposition que les conditions générales de la terre auraient pu se modifier au cours des temps. C'est ainsi qu'il écrit sous ce titre : *Ma conclusion particulière* : « La Nature en produisant successivement toutes les espèces d'animaux et commençant par les plus imparfaites, ou les plus simples, pour terminer son ouvrage par les plus parfaites, a compliqué graduellement leur organisation : et ces animaux se répandant généralement dans toutes les régions

1. On se demande à quoi, dans ce système, on reconnaîtra que des espèces sont ou ne sont pas distinctes les unes des autres. Il semble, que ce raisonnement résout moins la question qu'il ne la supprime.

habitables du globe, chaque espèce a reçu de l'influence des circonstances dans lesquelles elle s'est rencontrée, les habitudes que nous lui connaissons et les modifications dans ses parties que l'observation nous montre en elle <sup>1</sup>. »

C'est parmi les successeurs et les continuateurs de Lamarek que les idées géologiques se sont introduites très progressivement et d'une manière presque occulte dans les raisonnements et sans que jamais on ait tenté d'en donner la moindre preuve, sans qu'on ait même essayé de montrer un lien entre la soi-disant modification observée et l'intensité ou le genre de changement de milieu.

Aussi, car c'est à la même cause générale qu'il faut attribuer cette nouvelle circonstance, les auteurs voués à la défense et à la diffusion du transformisme, font-ils à chaque instant une confusion des plus singulières entre les phénomènes successifs et les phénomènes simultanés. Albert Gaudry <sup>2</sup>, par exemple, donnera le tableau de l'évolution des céphalopodes de la famille des ammonites : il montrera comment on peut les ranger en séries partant de formes à peu près rectilignes pour arriver à des formes tout à fait enroulées ; et de formes à cloisons très simples pour arriver à des formes à cloisons très sinueuses. Cette évolution, qui se traduit par des modifications, en définitive, très peu importantes est en outre bien éloignée d'être chronologique, puisque *Baculites* qui est de l'époque dite néocomienne, dans le terrain secondaire supérieur, est donnée comme la moins perfectionnée, étant rectiligne, tandis que *Medlicotia* qui est une vraie ammonite, pourvue du maximum d'enroulement, date des époques carbonifère et permienne de la série primaire. Le temps,

1. *Philosophie Zoologique*, I, 266.

2. *Les Enchaînements du monde animal*, 3 vol., in-8°, Paris, 1878, 1883, 1890. Voir aussi du même auteur : *Essai de Paléontologie philosophique*, 1 vol. in-8°, Paris, 1896.

représenté par le développement de cette série, représente, comme on voit, une grande fraction des durées sédimentaires.

D'un autre côté, et sans vraiment faire de différence essentielle, le même paléontologiste développe les « pas-

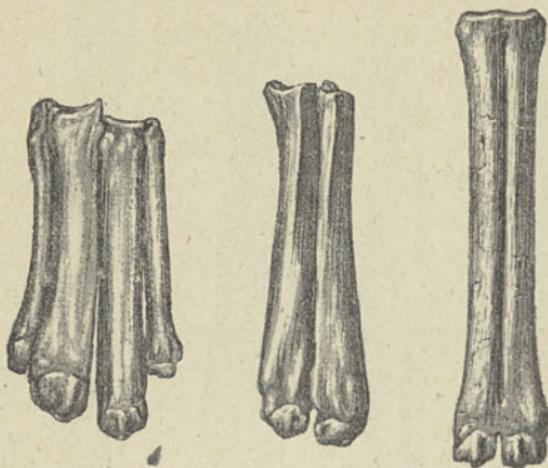


Fig. 21. — Comparaison des métatarsiens gauches de mammifères appartenant à trois niveaux successifs du terrain tertiaire et considérés comme indiquant une transformation successive résultant des modifications du milieu au cours des temps.

De gauche à droite : *Hyopotamus velaunus*; miocène inférieur du Puy-en-Velay ; — *Hyemoschus crassus* ; miocène moyen de Sausan ; — *Helbadotherium Duvernoyi* ; miocène supérieur de Pikerni. — D'après Albert Gaudry.

sages » existant entre des types de ruminants convenablement choisis. Et la figure 20 nous en donne un exemple où il semble que la transformation signalée ait employé toute la durée du miocène (fig. 21). Cette fois, c'est bien autre chose qu'une différence dans le degré d'enroulement d'une coquille ou dans la complication d'une ligne suturale : il s'agit de la constitution squelettique du membre antérieur.

Or, à côté de cet exemple qui pourrait paraître trou-

blant, le même auteur nous donne cet autre, représenté figure 22. Chez *Hyæmoschus aquaticus*, on y voit quatre doigts, dont deux très grands et deux latéraux moindres; ces doigts étant parfaitement séparés jusqu'à la base,

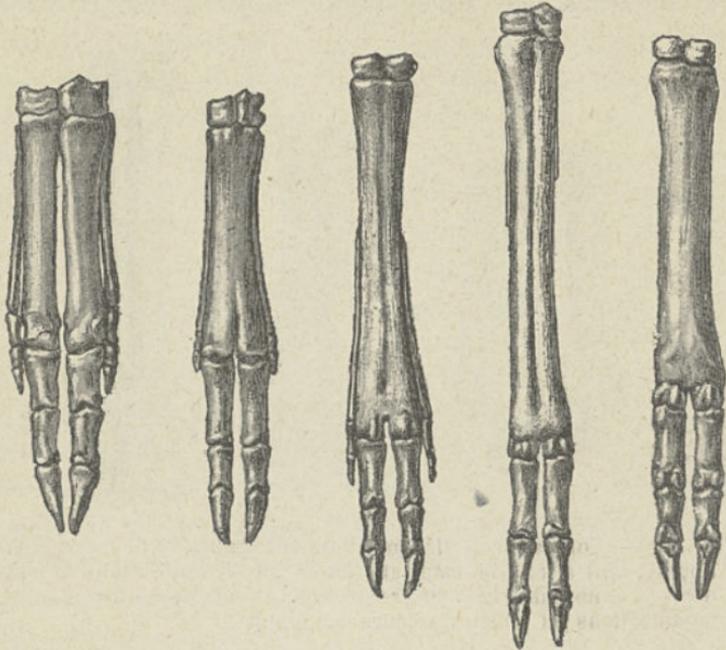


Fig. 22. — Pattes antérieures gauches de ruminants actuels rangées de façon à donner l'idée d'une transformation évolutive, bien qu'il s'agisse d'êtres exactement contemporains.

De gauche à droite : *Hyæmoschus aquaticus* du Gabon ; — *Tragulus napu* de Sumatra ; — *Cervus capreolus*, France ; — *Calotragus campestris* (Steinbock des Alpes) ; — *Ovis aries* (mouton ordinaire). — D'après Albert Gaudry.

c'est-à-dire chacun possédant sa phalangette, sa phalange, sa phalange et son métatarsien. Chez le *Tragulus napu*, on retrouve les quatre doigts ; seulement les deux latéraux sont bien plus petits, en comparaison des deux médians ; de plus, les deux métatarsiens sont intimement soudés dans presque toute leur longueur, de façon

qu'ils se présentent ensemble comme un seul os qui est seulement quelque peu échancré à sa partie inférieure. Chez *Cervus capreolus*, on voit un degré bien marqué dans le même sens, puisque les métatarsiens ne forment vraiment plus qu'un seul os (un *canon*, comme disent les anatomistes). Chez *Calotragus campestris*, vulgairement désigné sous le nom de *Steinbock* (le bouc des pierres) les deux doigts latéraux sont tellement réduits à droite et à gauche du canon, qu'ils n'y font plus que deux petits stylets, dans lesquels on ne trouve plus trace de division en phalange et en tarse. Enfin chez *Ovis aries*, il n'y a plus pratiquement trace de ces doigts et l'animal n'a plus que deux doigts au lieu des quatre de l'*Hyæmoschus*.

Voilà certes une « évolution » autrement considérable que celle des céphalopodes mentionnés tout à l'heure, et l'on a le droit de supposer qu'elle a demandé un temps incomparablement plus long. Eh bien, elle n'en a pas demandé du tout : *Hyæmoschus aquaticus* vit aujourd'hui au Gabon ; *Tragululus napu* appartient à la zoologie actuelle des îles de l'Australasie ; le Steinbock habite nos montagnes ; le bélier enfin est l'un de nos principaux associés dans la tâche de l'existence.

Ces circonstances auxquelles d'ordinaire on ne fait aucune attention, quoiqu'elles aient déjà été signalées par Quatrefages<sup>1</sup>, nous paraissent extrêmement graves, quant à la légitimité de la conception même du transformisme, la place nous manquant d'ailleurs pour développer toute notre pensée à cet égard. Ajoutons seulement que, dans aucun cas, on n'est arrivé à établir graphiquement la descendance d'un groupe quelconque d'une manière satisfaisante.

1. *Darwin et ses précurseurs français*, p. 167. In-8°, Paris, F. Alcan. 1892.

« Les tableaux représentant des filiations d'êtres, a écrit M. Ehlert <sup>1</sup>, ont déjà subi bien des modifications. Leur graphique qui, il y a quelques années, consistait en une série de lignes *se ramifiant* nombre de fois dans leur parcours en des points correspondant généralement aux diverses époques géologiques, a dû être considérablement modifié et ces mêmes lignes, par suite de découvertes de plus en plus nombreuses, sont *devenues parallèles*, remontant ainsi jusqu'à la période cambrienne pour aller se perdre dans les périodes plus anciennes, où se trouvent, *à jamais disparues*, les véritables formes ancestrales dont la connaissance reste toujours du domaine de l'hypothèse. »

**Ce qu'enseigne l'observation géologique directe. Description de la coupe de Grignon.** — Nous nous proposons d'étudier maintenant, par la méthode géologique ordinaire, le mécanisme du remplacement des espèces.

Bien des localités ont permis de pénétrer dans le secret de la sédimentation sous-marine actuelle. Les excavations qu'on ouvre dans la baie du Mont-Saint-Michel pour l'exploitation de la *tangue*, montrent que le dépôt en voie d'édification, présente la plupart des caractères des assises superposées mises au jour, par exemple, dans les carrières des environs de Paris. Des deux parts, on voit de nombreux lits plus ou moins horizontaux, où la substance minérale est associée à des vestiges organiques et spécialement à des tests de coquilles.

La ressemblance entre la coupe de la tangue actuelle de Pontorson et celle de Grignon par exemple, qui concerne le calcaire tertiaire dit *lutétien* n'est cependant pas absolu-

1. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, XXIV, 97, 1896.

ment complète et la différence provient sans doute de ce que, dans la baie du Mont-Saint-Michel, les eaux étaient plus agitées qu'à Grignon. On y voit sévir en effet les conséquences du jeu des marées : le flot qui monte et même le reflux, soulèvent le sable et en modifient la structure. Mais il est certain que si on pouvait étudier à 1 ou 2 kilomètres de la côte, le dépôt qui se fait au large du Mont, sous l'eau calme que les vagues n'agitent jamais, on y retrouverait la régularité si remarquable des sédiments éocènes pris comme terme de comparaison. Une autre différence capitale à signaler, c'est que les couches de Grignon ont mis à se déposer incomparablement plus de temps que celles de Pontorson et il va en résulter pour nous un bénéfice précieux au point de vue de nos études.

En effet, dans la *tangue*, même au fond des excavations ouvertes par les exploitants, on retrouve mélangées au sable, les mêmes coquilles, depuis la base reposant sur la roche granitique, jusqu'au sommet qui est la surface actuelle du sol. A Grignon, au contraire, les couches superposées ne renferment pas toutes les mêmes vestiges organiques : parmi ceux-ci, il en est, comme *Ancillaria buccinoïdes*, qui sont à la base du dépôt, d'autres, comme *Pectunculus pulvinatus*, à sa région moyenne, d'autres enfin comme *Terebratula bisinuata*, à son sommet. Or, cette différence si nette tient à ceci, que les lits successifs de Pontorson se sont tous déposés en un laps de temps si peu prolongé, que les êtres au début sont de mêmes espèces que ceux d'aujourd'hui, tandis que les lits de Grignon représentent des durées assez longues pour qu'au cours de leur accumulation, il se soit fait beaucoup de ces remplacements, qui nous occupaient tout à l'heure.

Il peut cependant arriver, et il arrive en effet, que certains niveaux de la *tangue* se distinguent par une distri-

bution spéciale des coquilles ou des débris d'algues, de façon à esquisser une sorte de *banc spécial*, ce qui résulte avant tout d'un transport horizontal réalisé par un flot particulièrement fort, à cause du mauvais temps qui sévissait lors de son dépôt. On a vu ainsi, dans les excavations de Pontorson, des lits qui se signalent, soit par des os de seiche, en quantité spécialement grande, soit par des éponges digitées provenant du large, et ces détails doivent être soigneusement mentionnés parce qu'ils ressemblent à des particularités stratigraphiques présentées par les formations de tous les âges.

Il résulte de tout cela qu'une coupe du genre de celle de Grignon constitue un théâtre d'observation, de nature à faire espérer le défilé sous nos yeux des témoignages mêmes du mécanisme de remplacement des formes d'un âge par des formes d'un âge postérieur <sup>1</sup>.

Tout d'abord, une coupe de ce genre nous permettra de préciser la définition de ces faunes et de ces flores ou mieux de ces microcosmes dont la considération sert de base à la géologie stratigraphique.

1. Je dois reconnaître que le genre d'études dont je vais indiquer la signification générale a déjà occupé plusieurs auteurs comme d'Omalius d'Halloy, dès 1801, André Dumont, Gosselet et E. Dupont. Ce dernier, ayant en vue la série marine coblencienne qui termine le dévonien inférieur de l'Ardenne, fait le tableau suivant qui mérite d'être rappelé (v. *Bulletin de l'académie royale de Belgique*, (3<sup>e</sup>) XXXVI, décembre 1898) : « Apparaissant ou disparaissant tantôt à un niveau, tantôt à un autre, avec un développement numérique varié, généralement par groupes, parfois isolément, les espèces ont eu des durées diverses. Les unes caractérisent de faibles parties de l'ensemble, d'autres s'étendent dans une longue suite de dépôts, d'autres traversent tout l'amas. Le phénomène se produit en quelque sorte par échelonnement. Mais ces espèces apparaissent et disparaissent sans que rien dénote sur place, de quels ancêtres elles viennent, ni quels descendants elles ont laissé. Au cours de leur durée, elles ont conservé leurs caractères propres et n'ont pas subi de transformations qui permettent d'établir à aucun degré le passage de l'une dans l'autre ». Mais dans aucun de ces travaux il n'y a la tentative de mesure et les spécifications que je vais tenter de résumer.

Le fait paraît si intéressant qu'il y a lieu de s'y arrêter. J'ai pu faire récemment <sup>1</sup> un travail spécial de recensement sur le front de taille de la grande carrière, ouverte dans le parc de l'Ecole nationale d'agriculture de Grignon. Sur ce front de taille de 5 mètres environ de hauteur, on a relevé, pour une cinquantaine d'espèces fossiles les plus communes et par conséquent les plus caractéristiques, le niveau d'apparition et le niveau de disparition de chacune d'elles. Ce n'est pas une tâche aussi facile qu'on pourrait se l'imaginer et l'on est frappé tout de suite du manque de régularité géométrique de ces dépôts, — surtout par opposition avec l'apparence si nettement stratifiée de la masse sableuse dans laquelle les coquilles sont enfouies. Il est vrai que cette stratification elle-même perd de sa précision quand on la regarde de très près et qu'elle arrive à ressembler plus ou moins à celle de Pontorson, témoignant de l'intervention évidente à maintes reprises, de perturbations dans le dépôt uniforme des sables. Aussi avons-nous dû nous borner à noter les niveaux à 1 décimètre près <sup>2</sup>.

La première chose remarquable c'est, au milieu de l'abondance des formes associées à la matière inorganique, la localisation, à de certaines hauteurs, de coquilles caractéristiques. Comme exemples choisis au hasard, on citera *Orbitolites complanatus* cantonné entre 1<sup>m</sup>,60 et 2<sup>m</sup>,20 au-dessus du sol de la carrière; *Pectunculus pulvinatus* entre, 2<sup>m</sup>,60 et 3 mètres; *Cardium porulosum*, entre 3<sup>m</sup>,80 et 4 mètres; *Calyptra trochiformis*, entre 4<sup>m</sup>,20 et 4<sup>m</sup>,60, etc.

En se multipliant, ces niveaux arrivent à engrener les

1. Grâce à la collaboration de M. Puzenat, membre de la Société géologique de France, attaché à mon laboratoire du Muséum. V. le tableau qui résume cette étude dans *Bulletin de la Société d'histoire naturelle d'Autun*, XXIV, 179 (1911).

2. L'altitude du sol de la carrière est sensiblement de 119 mètres au-dessus du niveau de la mer.

uns avec les autres, de façon à faire concevoir l'existence d'espèces échelonnées dans tous les lits recoupés par l'exploitation, et il est remarquable que la durée relative de ces espèces semble indiquer la plus parfaite indépendance de chacune d'elles. Pendant que *Dentalium circinatum*, apparaissant dès la base et venant sans doute de plus bas encore, se poursuit jusqu'à 4 mètres de hauteur, *Fusus bulbiformis* est cantonné de 1<sup>m</sup>,50 à 3<sup>m</sup>,60 ; *Rosstellaria fissurella*, de 1<sup>m</sup>,60 à 4<sup>m</sup>,80, *Cytheraea elegans*, de 1<sup>m</sup>,60 à 3<sup>m</sup>,20, *Cytheraea semistriata*, de 1<sup>m</sup>,70 à 4 mètres, *Voluta spinosa*, de la base à 3<sup>m</sup>,20, etc.

Une deuxième remarque, c'est qu'un certain nombre d'espèces plus ou moins différentes apparaissant ensemble de façon à donner l'idée d'une poussée créatrice à un moment donné : à 1<sup>m</sup>,60 au-dessus du sol de la « falunnière », on peut noter l'apparition d'une quinzaine d'espèces et la conception d'une faune spéciale en résulte nécessairement tout d'abord. Cependant, ce groupe de contemporains de naissance, se disloque rapidement au cours des temps, et pendant qu'*Ancillaria buccinoïdes* ne se poursuit que jusqu'à 2 mètres, c'est-à-dire sur 40 centimètres d'épaisseur seulement, *Voluta muricina* atteint 2<sup>m</sup>,25, *Pleurotoma filosa*, 2<sup>m</sup>,80, *Cardium obliquum*, 3<sup>m</sup>,20, etc.

La même observation se répète pour des fossiles qui disparaissent ensemble, et c'est le cas pour une dizaine d'entre eux à la cote de 3<sup>m</sup>,20 ; car la même indépendance que tout à l'heure se retrouve pour eux : pendant que *Voluta spinosa* date d'une profondeur inférieure au niveau du sol de la carrière, *Fimbria lamellosa* vient du niveau de 1<sup>m</sup>,50, *Mastra semisulcata*, de 1<sup>m</sup>,60, *Terebellum convolutum*, de 2<sup>m</sup>,60, *Turritella carinifera*, de 2<sup>m</sup>,70, etc.

Les conditions étant si variées d'un cas à l'autre, on peut prévoir la découverte de groupes de fossiles commen-

çant et finissant en même temps. Ces groupes prennent tout particulièrement l'apparence de faunes caractéristiques. C'est ainsi que dans notre coupe, *Corbula gallica*, *Mactra semisulcata*, *Cardium obliquum*, *Cytheræa elegans*, *Volvaria bulloïdes*, ont tous débuté à la cote de 1<sup>m</sup>,60 pour se terminer à celle de 3<sup>m</sup>,20 (à un décimètre près bien entendu). C'est ainsi encore que *Terebellum convolutum*, *Crassatella lamellosa*, *Anomia tenuistriata*, *Hipponyx cornu-copiæ*, vont uniformément de 2<sup>m</sup>,60 à 3<sup>m</sup>,20.

Mais il ne faut pas oublier que les assises qui les renferment sont si peu délimitées que maintes espèces les traversent, venant de plus bas et allant plus haut, et que, dans leur épaisseur, des espèces ont apparu et que d'autres se sont évanouies.

**Opinion qu'il faut se faire de l'espèce.** — Ces groupes de fossiles spécialement contemporains, rappellent les listes faciles à faire dans la Société humaine, d'individus qui sont nés le même jour et qui sont morts à la même date. D'ailleurs, l'apparition subite d'une coquille sur le front de taille de la carrière ne signale pas nécessairement le moment de sa création ; pas plus que sa disparition n'indique le moment de son extinction. Notre coupe suffit pour le prouver sans réplique. On y voit en effet des fossiles qui se retrouveraient plus haut ou plus bas en des localités différentes. Il suffira de mentionner comme exemple *Cytheræa elegans* qui disparaît à Grignon à la cote de 3<sup>m</sup>,20, en plein calcaire grossier, et qui constitue cependant l'un des fossiles les plus abondants de certains sables bartoniens, ceux d'Ezanville entre autres. Beaucoup d'autres coquilles sont dans le même cas.

**La notion de faune et de flore.** — La conclusion de ces remarques, c'est que, progressivement, la notion consi-

dérée comme fondamentale, de *faune* et de *flore* va en s'atténuant, en s'estompant au fur et à mesure que l'étude serre la question de plus près. A la fin, et ce n'est pas sans un certain étonnement, on s'aperçoit que cette dénomination si formelle ne s'applique en réalité à rien de précis : remarque, où l'on pourrait tout d'abord voir une espèce de chicane de mots, mais qui conduit cependant à des conséquences d'une très grande gravité.

Il y a tout d'abord un contraste intéressant entre l'utilité pratique de la notion des faunes successives, et l'inexistence de cette notion au point de vue philosophique, c'est-à-dire en ce qui concerne quelque lumière relative à la marche du développement de la vie à la surface de la Terre. Quand on recueille, dans un lit sédimentaire encore non classé, un exemplaire de *Cardium porulosum* ou de *Fusus bulbiformis*, il n'en faut pas davantage pour qu'on se reconnaisse en présence de la *faune du calcaire grossier*, et pour qu'on attribue l'âge lutétien à la formation étudiée. Mais si l'on choisit un fossile en particulier, *Cardium porulosum*, par exemple, pour préciser la liste de ses contemporains, on constate que parmi les animaux qui composent avec lui la faune lutétienne, il n'y en a peut-être pas un seul qui ait eu exactement la même durée que lui, c'est-à-dire qui ait commencé au moment où il commençait, pour cesser au moment où il disparaissait.

Dès lors, la comparaison se représente inévitablement à nous avec les générations humaines qui correspondent bien, à leur échelle, aux époques dans l'Histoire, comme les faunes y correspondent de leur côté dans la Géologie.

On ne contestera pas la *génération de Voltaire*, pas plus qu'on ne contestera la *génération de Napoléon*, mais ni l'une ni l'autre n'est formée d'hommes ayant vécu exactement le même temps que ces personnages. Aussi ad-

met-on que ces générations échappent à toute définition précise et n'a-t-on jamais eu l'idée de supposer un phénomène spécial donnant lieu ou mettant fin à chacune d'elles. Les générations humaines passent les unes aux autres par la substitution d'individus à des individus, sans qu'il puisse y avoir pour chacune d'elles une limite initiale ni une limite finale.

Pour les faunes, on a généralement raisonné tout autrement et, même depuis qu'on a renoncé au point de vue décidément inexact des révolutions du globe, on continue à raisonner comme si les faunes et les flores étaient nettement définissables. Cependant l'observation, répétée dans un nombre immense de localités et nulle part contredite par une observation discordante, a montré que les espèces se sont substituées à des espèces antérieures et chacune pour son compte, de façon que le phénomène, quelque brusque qu'il puisse être pour chaque forme, est parfaitement continu pour l'ensemble. Il en résulte que tout ce qu'on a dit et imprimé sur les causes du renouvellement des flores et des faunes paraît devoir être remplacé par une notion analogue à celle qui explique si évidemment la succession des générations humaines. Ici, l'espèce est à l'égard de la faune ou de la flore ce que l'individu est relativement à la génération humaine dont elle fait partie et peut servir comme lui à la désigner.

En tout cas, et comme nous venons de le dire, l'absence de réalité est un fait très grave en ce qui concerne les faunes et les flores, car dès maintenant on peut en inférer que l'influence des changements de milieu sera aussi difficile à invoquer pour en expliquer la succession, qu'elle le serait pour rendre compte de la suite des générations humaines. La coupe de Grignon, considérée comme une localité quelconque, ne nous fournirait que ce seul résul-

tat qu'elle serait déjà d'un intérêt évident. Mais elle nous permet d'aller plus loin.

Cette même coupe, en effet, paraît pouvoir nous procurer quelques renseignements sur le fait si souvent invoqué, mais accepté sans détail et nullement décrit, de *l'apparition des espèces* et nous pouvons nous y arrêter un moment, même sans nous attarder à cette circonstance remarquable que personne jusqu'ici n'a été en mesure de donner de *l'espèce paléontologique* aucune définition précise.

**Allure de l'apparition des espèces.** — Parmi les suppositions proposées du mécanisme de l'apparition des espèces, la plus séduisante de beaucoup et celle qui réunit aujourd'hui à peu près tout les suffrages, c'est qu'elle consiste dans la *transformation* d'une espèce antérieure. La cause de cette transformation, c'est que le milieu change et que l'influence qui fait changer le milieu ne déterminant pas *ipso facto* le changement correspondant des êtres vivants. Ceux-ci, se trouvant dès lors dans un monde qui ne leur convient pas, sont dans la nécessité inéluctable de s'y adapter, c'est-à-dire de se transformer.

On sait les arguments innombrables mis au service de cette thèse : nous n'avons pas à les discuter, mais seulement à nous demander si l'observation impartiale et faite en dehors de toute idée préconçue des coupes géologiques convenablement disposées, — de celle de Grignon en particulier — ne peut pas servir de contrôle à une supposition devenue classique.

Pour fixer les idées, portons notre attention sur un fossile pris en particulier et choisi à cause de ses caractères bien nets et de la faible étendue verticale de son gisement, c'est-à-dire de sa faible durée : *Cardium poru-*

*losum*, si l'on veut bien. Dans la coupe de Grignon, on le voit apparaître à un niveau bien déterminé, correspondant à la roche que les carriers appellent le banc royal, et qui se retrouve dans un très grand nombre de localités du bassin de Paris.

#### Recherche d'une modification successive des espèces.

— Supposons que, conformément à la théorie évolutionniste, *Cardium porulosum* dérive par modification de quelque mollusque qui lui soit antérieur, et demandons-nous quels genres de vestiges le gisement aura pu conserver de cet événement. Il faut évidemment que la souche se trouve au voisinage du produit de sa transformation, et il faut aussi qu'elle offre des caractères qui la fasse reconnaître comme par une ressemblance de famille; il faut enfin que cette souche, qui ne pouvait plus persister, puisque c'est la condition du milieu qui a déterminé sa transformation, disparaisse juste au moment où notre *Cardium* apparaît.

Cette souche pourrait-elle être éloignée géographiquement ? Pour l'admettre, il faudrait imaginer qu'un agent de transport, comme un courant, a déterminé la migration du produit au moment même où il se manifestait : l'avantage serait qu'il deviendrait loisible de voir dans quelque *Cardium* plus ou moins ressemblant des mers antérieures à l'océan lutétien, l'ancêtre de notre fossile. Mais cette supposition laisserait inexplicée la lacune horizontale séparant toujours les deux gisements, et surtout elle ne rendrait pas compte de l'universalité des conditions qui concernent le *porulosum* de Grignon. Dans aucun gisement on n'a constaté le contact de « l'ancêtre » et du « descendant ».

**Ressemblance et parenté.** — Quant au degré de ressemblance entre ces deux êtres, — l'ancêtre et le descendant,

— sans insister sur le peu de certitude de ce postulat, d'après lequel quiconque se ressemble est parent, — on peut remarquer que les séries très ménagées de formes faciles à comparer avec des fossiles d'espèces voisines, sont toujours faites en dépit, à la fois, du point de vue géographique et du point de vue géologique.

Examinons avec tout le soin possible les lits où *C. porulosum* apparaît dans la carrière de Grignon ; nous n'y constatons ni la présence ni la disparition d'un *Cardium* manifestant quelque lien avec notre fossile. D'ailleurs, répétons encore une fois que la persistance à ce niveau de formes ayant évidemment les mêmes exigences physiologiques que le *Cardium* considéré, rend impossible la supposition d'un changement dans les conditions ambiantes. L'apparition de ce pélécy-pode se fait brusquement, sans aucune espèce de phénomène prémonitoire sensible.

L'importance de cette observation et la probabilité de son exactitude résultent de ce qu'elle se répète partout, dans toutes les coupes où l'on a la patience de la faire. Elle prend un caractère spécialement net quand il s'agit de fossiles jouissant de caractères exceptionnels, et c'est ce que nous fait voir la coupe de Grignon, pour un brachiopode, *Terebratula biplicata*, remarquable avant tout parce que c'est un brachiopode, et que les couches lutétiennes ne renferment rien dans les environs de Paris, à quoi on puisse en rattacher l'origine.

Ajoutons sans déflorer un sujet qui nous attend, que jamais aucune observation, quels que soient le niveau géologique ou la catégorie zoologique ou botanique des fossiles qu'elle concerne, n'a donné d'autres résultats que ceux qui viennent d'être résumés. Il n'y a aucune variante à faire à cet égard, même quand il s'agit de fossiles très anciens, si anciens qu'on est autorisé à croire qu'ils composent les groupes d'êtres vivants qui ont inau-

guré la série des manifestations biologiques à la surface de la Terre. Les localités de Bohême, où Barrande a recueilli pour les décrire, les éléments de sa *faune première* sont à ce point de vue tout à fait comparables à Grignon, et on se sent porté à en conclure que l'apparition de la première forme zoologique a dû se faire dans les mêmes conditions que l'apparition des formes subséquentes, et par exemple, celle de *C. porulosum* de Grignon.

De toutes parts, ce que la Nature semble nous indiquer, c'est un phénomène brusque, sans signe précurseur d'aucune sorte, à la suite duquel un être vivant est venu s'ajouter à la série de ceux qui existaient déjà.

**Allure de la disparition des espèces.** — En outre, l'observation paraît montrer que la disparition des espèces s'est réalisée d'une manière tout aussi subite que leur apparition. *Cardium porulosum* n'occupe qu'un petit nombre de centimètres d'épaisseur dans la carrière de Grignon, où les lits, depuis la base jusqu'au sommet, sont uniformes et ne témoignent d'aucun phénomène particulier, d'aucune perturbation, pendant le cours de leur dépôt successif. Tout à coup, on voit succéder un lit sans *Cardium* aux lits qui en renferment les tests, et à ce niveau aucune coquille ne se présente comme ressemblant à un point de vue quelconque, au résultat de la modification de ce pélécy-pode. Il n'y a d'ailleurs pas à invoquer des phénomènes de transport, car la masse des espèces continue leur renouvellement en individus dans le sens vertical.

Malgré leur caractère négatif, ces remarques ont un intérêt incontestable, en nous autorisant à penser que toutes les suppositions relatives au passage de certaines espèces à des espèces plus ou moins différentes, sont complètement gratuites.

C'est au cours de ces observations que s'est imposée à notre esprit une remarque utile à résumer ici. Elle concerne les conséquences des observations stratigraphiques relativement à la succession des espèces.

Un des faits les plus incontestables résultant du spectacle des harmonies géologiques actuelles, c'est le rôle incomparablement important des microbes et même, d'une manière plus générale, des êtres les moins perfectionnés, protozoaires, spongiaires, coelentérés, échinodermes, parmi les animaux; algues, lichens, champignons, mousses, fougères, etc., parmi les plantes.

**Nécessité de la complexité de la faune.** — La paléontologie nous enseigne que tous ces types ont été représentés dès les époques sédimentaires les plus anciennes, et par des formes qui ne sont pas moins perfectionnées que celles d'aujourd'hui. Il en résulte : ou bien que le milieu n'a pas eu sur elles l'influence modificatrice que l'on admet, ou bien que les microbes primaires ayant été promus au rang d'organismes plus élevés, la Nature a procédé, à chaque moment stratigraphique, à l'installation de nouveaux microbes remplaçant exactement les premiers. Dans les deux cas, la doctrine évolutionniste est également compromise.

**Inégale durée des espèces contemporaines.** — L'examen des couches fossilifères nous procure d'autres enseignements encore, dont nous ferons notre profit. On y voit nettement que la durée des espèces qui ont été pendant un temps contemporaines, puisqu'on peut les recueillir dans un seul et même lit, et qui par conséquent ont éprouvé des influences ambiantes rigoureusement identiques, est prodigieusement variable. Certaines d'entre elles, dans la carrière de Grignon, se rencontrent sur des mètres d'épaisseur, comme les *Millioles* (*Triloculina* et

*Quinqueloculina*), pendant que d'autres caractérisent un lit presque sans épaisseur (*Cardium porulosum*). C'est la répétition, à très petite échelle, de l'inégalité de durée des fossiles dans les formations de toutes les catégories. Il semble que cette inégalité vienne témoigner à son tour contre le rôle du milieu, quant aux modifications des formes organiques, car celles-ci n'éprouveraient la même influence que de manières tout à fait variables de l'une à l'autre.

En même temps, on arrive à croire que la lutte pour la vie, la loi du plus fort sur laquelle Darwin a tant insisté, n'a pas joué en réalité le rôle qu'il lui attribue. Il est, en effet, extrêmement fréquent que les formes faibles, en apparence dépourvues de tout moyen de défense, persistent beaucoup plus longtemps que celles auxquelles leur grande dimension et le luxe de leurs armes paraissent assurer la suprématie sur les premières. Les *Milioles* citées tout à l'heure ont persisté à travers des périodes géologiques entières, tandis que des gros animaux comme *Diplodocus*, *Mastodon*, *Machairodus*, *Dinotherrium*, etc., n'ont duré que des temps extrêmement courts. Mais la même diversité au point de vue de la longévité se présente pour des formes qui ne sont ni des plus fortes ni des plus faibles, et qui avec des apparences analogues jouissent d'une résistance très inégale. Dans les assises tertiaires, certains mollusques persistent pendant des séries d'assises. *Cerithium plicatum* se retrouve dans toute l'épaisseur du terrain stampien et dans le terrain aquitanien qui lui est superposé ; au contraire, *Cerithium giganteum* est strictement cantonné dans un niveau très mince du lutétien. *Avicula fragilis* ne dépasse pas les limites d'un lit du bartonien. *Magas pumillus* caractérise un horizon des plus restreints dans le sénonien.

Des inégalités du même genre se voient pour des

genres : *Hippurites*, *Radiolites*, caractérisent une petite épaisseur de terrain de craie ; *Pecten*, *Mytilus*, *Avicula*, *Nucula*, jouissent d'une étonnante longévité et datant du silurien ou du dévonien, persistent encore aujourd'hui. Cette dernière circonstance pourrait être ajoutée aux faits précédemment mentionnés pour démontrer la continuité des conditions du milieu pendant tous les temps sédimentaires et par conséquent pour ruiner la théorie du transformisme.

**Variabilité de certaines espèces et fixité de certaines autres comparables et placées dans les mêmes conditions.** — Le grand problème de la variabilité des espèces est encore du nombre de ceux que des observations paléontologiques à petite échelle et suffisamment détaillées peuvent approcher de leur solution. Dans la coupe de Grignon, on trouverait aisément matière à de longs développements à cet égard. Par exemple, on y voit côte à côte deux coquilles de gastropodes, à peu près aussi abondantes l'une que l'autre, *Fusus bulbiformis* et *Volata spinosa*. Or, tandis que ce dernier mollusque est sensiblement invariable, au point qu'on ne peut distinguer que par leur volume, effet de leur âge inégal, les innombrables individus disséminés dans le sol, l'autre se livre aux variations les plus accentuées et les plus fréquentes. On peut facilement distinguer une dizaine de types formant, dans cette seule espèce, une série continue dont les deux extrêmes sont si nettement différents l'un de l'autre que, sans les intermédiaires, on serait tenté de leur donner des noms différents. Les diverses variétés ne sont aucunement localisées en des lits distincts.

En outre, si on examine les variétés de *Fusus bulbiformis*, on voit que les individus se rangent dans chacune

d'elles en nombre très inégal : il y a une forme certainement prépondérante et dont on peut faire un prototype. Les autres s'en écartent plus ou moins, comme par une sorte d'affolement, mais leur disposition dans le sein des couches ne trahit nulle part leur tendance à s'isoler de la « forme normale » pour constituer un type différent : on peut admettre que, comme les variétés étudiées chez certaines espèces actuelles, ces formes aberrantes ont la plus grande propension à se faire absorber par la moyenne vers laquelle elles retournent toujours, et à y disparaître. La Nature, pas plus dans le passé géologique que dans le présent, ne paraît avoir joui des moyens de sélection dont l'homme peut si aisément disposer dans ses expériences, où il isole de la masse, les êtres soigneusement choisis et auxquels il interdit si efficacement le retour à la moyenne dont nous venons de parler. La « sélection naturelle » de Darwin semble n'être qu'une supposition ingénieuse, à laquelle manque l'acquiescement des faits.

**Le perfectionnement organique.** — Tout en se correspondant terme à terme, quant aux grands groupes organiques, c'est-à-dire en possédant des représentants de tous les embranchements zoologiques et botaniques, les biocosmes successifs témoignent d'une richesse de plus en plus grande dans la diversité des formes. Ce fait, dont la signification est sans doute très haute, a été désigné sous la dénomination d'ailleurs critiquable de *perfectionnement organique*, chaque grand groupe ajoutant aux types de formes qu'il possédait déjà et dont quelques-uns peuvent disparaître, des formes plus parfaites. C'est l'adjonction successive à la faune de ses termes de plus en plus élevés, les poissons dès le silurien, les batraciens au permien, les reptiles au trias, les oiseaux au crétacé, les mammifères au tertiaire, bien qu'ils

aient réellement commencé, — bien timidement — dès l'époque rhétienne. Cette adjonction successive s'est faite avec la persistance de diversité du début. Malgré le remplacement de forme par d'autres remplissant le même but auquel elles pourvoyaient, aucun type fonctionnel n'a été abrogé. Il y a encore aujourd'hui des êtres aussi inférieurs qu'on les puisse imaginer : aucun protoplasma de l'origine n'était plus rudimentairement construit que les amibes actuelles.

La doctrine du perfectionnement organique a été énoncée pour la première fois par Alcide d'Orbigny ; elle a été développée et mise en valeur par Albert Gaudry qui l'a en même temps matérialisée et rendue sensible aux yeux par la disposition des spécimens exposés dans la galerie de Paléontologie du Muséum.

Aux premières époques sédimentaires, la nature organique comprend déjà des représentants de tous les embranchements : c'est la conséquence de la nécessité évidente d'artisans aux aptitudes très variées pour assurer le maintien des harmonies d'où résulte l'équilibre mobile de la surface planétaire.

**Époque de suprématie des céphalopodes et des poissons.** — Dès le silurien inférieur, on recueille des dents de poisson ; dans l'ordovicien du Colorado, Walcott signale de nombreuses plaques osseuses de placodermes. A l'époque de dépôt du vieux grès rouge, des poissons ganoïdes accusent un maximum évident. Les assises de l'Ecosse, de la Russie, du Canada renferment des légions de *Cephalaspis*, de *Cocosteus*, de *Pterichthys*, parfois de grandes dimensions et l'on cherche en vain quelque indice d'organismes plus élevés que celui des poissons. Les débris de ceux-ci ont donné aux roches qui les renferment une apparence si particulière qu'elle a déterminé la vocation

d'un homme remarquable par le contraste de ses humbles débuts avec l'éclat de sa carrière. Simple ouvrier employé à l'exploitation des grès, Hugh Miller, dont on voit maintenant la statue dans le petit village écossais où il est né, a publié en 1841 un volume de lecture facile intitulé *The old red sandstone or new walks in an old field*<sup>1</sup> où sont décrites maintes espèces alors nouvelles qui ont éveillé le vif intérêt des spécialistes les plus éminents, comme Murchison.

**Époque de suprématie des batraciens.** — C'est seulement à l'époque houillère que les batraciens apparaissent. Ils se montrent tout à coup, en très grand nombre, dans certains gisements de Bohême, d'Irlande, d'Écosse, sous des formes très variées ressemblant à des types actuels mais manifestant des caractères très particuliers. Ils débute par l'*Archegosaurus*, qu'on a pris d'abord pour un reptile, continuent par les *Branchiosaurus* et atteignent leur apogée dans le permien où, aux seuls environs d'Autun, ils sont représentés par *Euchirosaurus*, *Stereorachis* et *Actinodon*, à côté duquel se présentent les *Protritons* et les *Pleuronoura*, qui semblent bien être ses larves, plus ou moins comme à l'époque actuelle les axolotls sont les larves des amblystomes. Dans le trias abondent les gigantesques labyrinthodontes, puis le type batracien semble subir une atténuation, comme pour faire place au type reptile qui devient le roi de la création pendant une grande partie des temps secondaires.

**Époque de suprématie des reptiles.** — Le terrain secondaire nous offre en effet à considérer l'abondance des reptiles qui nous donnent l'occasion de remarquer une supériorité présentée par une époque antérieure sur l'époque

1. By Hugh Miller author of *Footprints of Creator*, 1<sup>re</sup> édit., in-8°, 1841, Londres et Edimbourg.

actuelle. Nous aurions pu faire une observation analogue pour le terrain primaire ; mais elle nous paraît mieux placée ici parce qu'elle est plus frappante. Le type reptile d'aujourd'hui, même dans ses représentants les plus volumineux et les mieux doués en activité vitale, ne fait qu'une bien mince figure à côté des reptiles secondaires, lesquels ont évidemment réalisé des travaux bien supérieurs dans le mécanisme tellurique.

Ces reptiles n'attendent d'ailleurs pas que les batraciens soient entièrement réduits pour se signaler : dès le permien, l'Afrique du Sud nous montre ces singuliers animaux qu'on appelle des Theriodontes pour exprimer qu'ils jouissent d'une denture aussi variée que celle des mammifères, comprenant des incisives, des grandes canines et des molaires, et qu'on ne retrouve plus chez aucun reptile des temps ultérieurs.

Ce qui, dans ce concert, n'est pas réalisé par certains types peut l'être par des types correspondants, alors même que nous sommes conduits à les classer loin des premiers. En nous reportant à ce qui nous a frappés antérieurement, la nécessité d'une coexistence d'êtres très inégalement doués en moyens de réaction sur le milieu, nous devons conclure que le reptile, représentant, le vertébré, c'est-à-dire l'être chez qui la matière cérébrale occupe le plus de place, s'est effacé ultérieurement devant des formes plus élevées encore que la sienne. Donc, la déchéance du reptile correspond à un perfectionnement de la masse animale totale au point de vue de son efficacité géologique. À l'époque tertiaire, en effet, le reptile sera remplacé par le mammifère. Pendant son apogée, le reptile est multiplié en raison du nombre et de la variété des fonctions qu'il doit remplir. Sous la forme d'ichthyosaure et de plésiosaure, il tient l'emploi qui sera dévolu plus tard aux cétacés. Sous celle d'*Ignanodon* et de *Diplodocus*, il s'acquittera de la tâche

des mammifères herbivores. Comme ptérodactyle, il fonctionnera comme l'oiseau ou comme la chauve-souris. En somme, la tâche sera remplie et la seule différence d'une époque à l'autre est d'essence surtout morphologique. Pour qu'il en soit ainsi, il a fallu que le reptile commençât par ne pas justifier le nom que nous lui avons imposé. La variété de ses procédés de locomotion n'aurait eu aucun sens s'il n'avait pu se mouvoir avec vélocité, et il paraît difficile d'adopter cette opinion sans admettre du même coup qu'en raison de sa constitution, il jouissait d'une plus grande énergie vitale. Ce qui explique l'apathie du reptile, et surtout son accessibilité à l'action engourdissante du froid, c'est la faiblesse de son appareil circulatoire, qui est disposé de telle sorte que les tissus doivent se nourrir à l'aide de sang dilué par un volume notable de sang déjà épuisé, et qu'une partie du travail destiné à envoyer le liquide nourricier dans le cœur, s'exerce sur des matériaux qui, à peine sortis de l'organe propulseur, y sont renvoyés. Mais il est des degrés dans cette défectuosité de l'organisme. Portée à son maximum chez les tortues, les lézards et les serpents, dont le cœur pourvu de deux oreillettes ne possède qu'un ventricule dans lequel le mélange des sangs ne se fait qu'en proportions variables, elle est considérablement amendée chez les crocodiles qui possèdent deux oreillettes et deux ventricules et dont l'aorte envoie du sang entièrement hématosé dans la tête et dans les bras. Seulement, en arrière du cœur, le torrent nourricier arrivant du cœur gauche reçoit au débouché d'un vaisseau qui vient de la moitié opposée de l'organe un afflux de sang noir. Il suffirait donc de supposer chez les reptiles secondaires la non-existence de cette malencontreuse communication pour expliquer chez eux une énergie vitale égale à celle dont disposent les mammifères. Peut-être un jour

recueillera-t-on quelque indice dans ce genre; la découverte ne serait pas plus merveilleuse que celle qui a démontré l'existence chez certains des animaux qui nous occupent d'un intestin spirale qu'aucun reptile ne possède aujourd'hui et qui est l'apanage des exclusif selaciens.

Les oiseaux datent du crétacé et sont représentés d'abord par *Hesperornis* et *Ichthyornis*, car l'*Archæopterus*, du consentement même de Zittel<sup>1</sup>, n'est pas plus un oiseau qu'un reptile qui portait des plumes. L'apogée du type est réalisée à l'époque éocène inférieure par le *Gastornis* qui était gros comme un cheval, mais qui a été égalé par des oiseaux de l'époque moderne : l'*Æpiornis* à Madagascar et le *Dinornis* à la Nouvelle-Zélande.

**Époque de suprématie des mammifères.** — Enfin, les mammifères qui ont laissé des traces très faibles à l'époque triasique, puis dans l'infrà-lias, et qui sont représentés par quelques échantillons jurassiques et crétacés, s'affirment à l'époque tertiaire. Les types les plus volumineux sont cantonnés dans le pliocène et le pleistocène (quaternaire) et comprennent *Dinotherium*, *Mastodon*, *Elephas*, *Hippopotamus*, *Rhinoceros*, *Megatherium*, *Glyptodon*. La baleine franche moderne est d'ailleurs plus grande que le plus volumineux d'entre eux.

**Régression successive des types après leur moment de suprématie.** — On n'aurait pas dit tous les caractères du perfectionnement organique, si on ne constatait qu'après avoir atteint une apogée, chaque type subit ensuite un amoindrissement, et n'est plus représenté, quand il l'est encore, que par des formes très atténuées. Les trilobites ont leur maximum assez bas dans le silurien; ils continuent en diminuant progressivement jusqu'à la fin du

1. *Traité de Paléontologie*, t. IV.

houiller. Les ammonites, déjà annoncées au permien, atteignent leur maximum dans l'oolithe moyenne et supérieure et déclinent dans le crétacé, pour disparaître.

Souvent, il y a plus encore, et un même type peut s'y reprendre à deux ou plusieurs fois pour fournir toute son histoire. Le type crustacé avec les trilobites et les mérostomes constituent d'abord la matière d'une paléocarcinologie ; c'est dans le terrain secondaire qu'apparaissent les formes si différentes auxquelles se rapportent les crustacés d'à présent. Il en est exactement de même pour les insectes. Après la série des formes palé-entomologiques, que nous avons citées pour le terrain houiller, apparaît dans le terrain secondaire, pour durer jusqu'à maintenant, la légion des insectes à métamorphoses complètes. Les polypiers donnent lieu à la même remarque : les tétracoralliaires sont spéciaux aux océans paléozoïques ; les hexacoralliaires ont rempli de leurs récifs les couches secondaires, comme ils en encombrant nos océans.

Quant à la cause de la diversité spécifique de chacune des faunes et des flores successives, elle tient avant tout à ce que le même point pouvant fournir des ressources diverses et, par exemple, des moyens alimentaires variés, il s'y rencontre des êtres pouvant profiter, selon leurs aptitudes différentes, des uns ou des autres.

Il semblerait en outre que la Nature a mis une coquetterie à résoudre de plusieurs façons un même problème. Par exemple, l'habitat dans l'eau étant à réaliser, on voit côte à côte des animaux pourvus de l'appareil respiratoire spécial (la branchie) et d'autres qui possèdent le poumon comme les animaux de terre ferme, et qui viennent, à chaque inspiration, placer au-dessus de la surface liquide l'ouverture d'un canal aérien, pulmonaire chez les cétaqués et trachéen chez beaucoup de larves d'insectes.

Cette remarque implique la condamnation de l'idée

transformiste dont les partisans doivent être bien embarrassés pour expliquer comment les cétacés n'ont pas employé l'immense durée de leur séjour dans le milieu liquide à transformer en branchies les poumons normaux du mammifère. Ils sont, en effet, bien constatés depuis l'époque miocène où vivait *Squalodon* et ils ont été abondants et variés à l'époque pliocène, comme le font voir le *Plesiocetus* du musée de Milan et les innombrables colosses trouvés à Anvers (*Neobalæna*, *Probalæna*, *Balænula*, *Balænotus*, *Megapteropsis*, *Cetotherium*, etc.), qui remplissent de leurs ossements le musée de Bruxelles.

On a vu, en outre, qu'un genre donné de localités propres à la vie, s'est modifié immédiatement, par le fait que la vie s'y est établie. La mer, devenue l'habitat des premiers brachiopodes, des premiers trilobites et des premiers mollusques, s'est chargée de leurs résidus physiologiques. Des êtres se sont trouvés là, destinés à faire de ces résidus le texte de leur activité spéciale, de façon à maintenir les conditions de l'équilibre, malgré la perturbation que ces nouveaux venus menaçaient d'y apporter. Et on ne peut pas croire sérieusement qu'un intervalle de temps, si court qu'il fût, ait séparé la pollution de l'eau des mers de son premier assainissement. C'est comme ensemble de détails, également indispensable dans le même tout que, nécessairement, ces divers êtres sont apparus d'un seul coup.

De même, l'état d'équilibre que nous constatons entre les tendances oxydantes du règne animal et la propension réductrice des végétaux, s'est réalisé, dès la première seconde ; car le moindre retard aurait singulièrement compromis la suite de l'évolution planétaire, qui ne semble nulle part avoir changé d'allure.

## CHAPITRE VIII

### L'APPARITION DE LA VIE

L'étude de la croûte du globe nous ayant appris d'une manière certaine que de très longues périodes de l'histoire de la terre sont antérieures à l'apparition de la vie organique, il est du plus haut intérêt de chercher à concevoir les circonstances dont le phénomène biologique est résulté.

C'est un problème qui a passionné les plus grands esprits. Dans son célèbre *Discours préliminaire* au grand ouvrage sur les *Ossements fossiles*, Cuvier écrivait en 1821 : « Mais ce qui étonne davantage encore et ce qui n'est pas moins certain, c'est que la vie n'a pas toujours existé sur le globe, et qu'il est facile à l'observateur de reconnaître le point où elle a commencé à déposer ses produits ».

Dans la *Leçon d'Ouverture* de son cours d'Oxford, pour 1819, Buckland disait : « La géologie nous démontre qu'il y eut une époque où les êtres organisés n'existaient pas encore ; ces êtres ont donc eu un commencement, postérieur à cette époque et ce commencement ne peut être attribué qu'à la volonté, au *fiat* d'une puissance créatrice infiniment sage et infiniment intelligente. »

Depuis cette époque, les observations se sont succédé, innombrables, et nous pouvons proclamer d'après les faits résumés dans le chapitre précédent que l'apparition de la vie a été un phénomène colossal, subit, universel et

présentant, dès sa première manifestation, une complication tout à fait comparable à celle qu'il étale aujourd'hui sous nos yeux. Nous sommes donc à l'antipode du sentiment qui a trouvé asile dans l'esprit des géologues qui faisaient du début de la vie un *rudimentum lucis*, comme dit Pline, une manifestation timide, humble même, tant au point de vue de l'infériorité taxonomique des êtres premiers venus, que de leur petit nombre et surtout de leur peu de variété.

#### RECHERCHE DU MÉCANISME DE L'APPARITION DE LA VIE

**Opinion hétérogénique.** — On a fait quant au procédé par lequel la vie s'est manifestée, d'innombrables suppositions et l'on sait la sorte d'instinct qui, à toutes les époques, a poussé certains esprits, même supérieurs, vers la doctrine de la génération spontanée ou hétérogénie. Cette doctrine a été universellement acceptée pour expliquer l'éclosion subite de quelques formes organisées : les parasites, les mouches, les moisissures. Les vers de terre et les champignons étaient considérés par Buffon comme résultant directement de la décomposition des matières végétales. C'était la suite des idées de Van Helmont, pour qui les souris étaient un produit de la transformation du linge sale et de celle d'Aristote qui croyait voir dans les anguilles, l'effet de l'organisation spontanée de la vase.

Une série d'expériences dont les principales sont dues à Redi et à Vallisneri prouvèrent, au xvii<sup>e</sup> siècle, que la viande décomposée ne contient des vers que si des mouches ont pu pondre à sa surface. Successivement les démonstrations du même genre se multiplièrent et, vers le milieu du xix<sup>e</sup> siècle, on se contentait de restreindre le mode de production par hétérogénie aux seuls êtres

microscopiques. Mantegazza et Archimède Pouchet crurent même assister de leurs yeux à la production de toutes pièces, dans la membrane albuminoïde qui recouvre avec le temps les macérations et qu'on appelait la membrane prolifère, des œufs d'où sortaient des organismes inférieurs.

Tout le monde sait que Pasteur reprenant l'étude systématique de cette question, arriva à démontrer la nécessité, dans tous les cas prétendus hétérogéniques, de corpuscules auxquels on donna le nom de *germes* qui flottent dans les airs et dans les eaux, de façon à y constituer une véritable *panspermie*. Depuis lors, le problème est considéré comme résolu ; mais évidemment, sans qu'on puisse étendre la solution à la première apparition de la vie à la surface du globe.

#### Supposition d'une origine cosmique des germes. —

C'est pour ainsi dire en désespoir de cause, que la grande majorité des naturalistes s'est plus ou moins ralliée à une doctrine, selon laquelle les premiers germes auraient été apportés des espaces célestes. Peut-être la première manifestation en ce sens es-elle celle d'Henri Milne Edwards qui a supposé une origine cosmique à la vie<sup>1</sup>. Beaucoup de penseurs l'ont suivi dans cette voie. Richter admettait en 1865<sup>2</sup> que des germes flottants dans les hautes régions de l'atmosphère pourraient être attirés au dehors par le passage de quelque météorite et transportés par elle sur d'autres astres : nous aurions pu réciproquement profiter de cette disposition pour acquérir la vie à nos débuts. En 1821, Sales Guyon de Montlivault supposait que des germes venus de la Lune avaient, pour

1. *Leçons sur la physiologie de l'homme et des animaux*, 10 vol. in-8°, Paris, 1855-1874.

2. *Schmidl's Jahrbuch d. Ges. Med.*, 1865 et 1870.

la première fois, éveillé la vie à la surface de la Terre. En 1871, William Thomson (lord Kelvin) <sup>1</sup> appelle même Cosmozoaires, les germes qu'il pense dérivés de la formation des astres. Il a formulé en outre cette opinion qui est restée sans preuve que « de la matière sans vie ne peut pas acquérir de la vitalité sans l'influence de matière déjà animée ». Pasteur a tenté infructueusement la recherche de germes dans les météorites dites charbonneuses, dont le bloc de 2 kilogrammes tombé le 14 mai 1864 à Orgueil (Tarn-et-Garonne) est le type le plus complet. Un point de vue analogue a donné lieu à une théorie que M. Arrhénius a développée et autour de laquelle on a mené grand bruit : les germes de la vie sont lancés d'un astre à l'autre au travers des espèces célestes par l'impulsion de certaines radiations lumineuses <sup>2</sup>.

Selon nous, la vraie question serait de savoir comment se font les germes, car autrement, on ne fait que repousser la difficulté dans des localités de plus en plus anciennes, et de plus en plus éloignées, sans écarter la fatalité de la rencontre seulement reculée du point initial. Il semble tacitement entendu que la localité favorable c'est l'intérieur du corps d'un être déjà formé parvenu à l'état parfait ; mais même ce point accordé, on se retrouve en présence de l'entité dynamique arrangeant la matière et nous sommes ainsi ramenés à la question que nous avons déjà traitée.

Remarquons que l'admission de la panspermie intersidérale suppose l'intervention, sur une échelle cosmique, des phénomènes de vie ralentie. La vie latente des

1. *Discours inaugural du Congrès des naturalistes anglais*, Edimbourg, 1871.

2. Remarquons l'incompatibilité de la lumière considérée comme agent de transport, avec l'existence même des germes qu'elle devrait véhiculer à cause de la chaleur qu'elle suppose.

graines et des œufs nous donne comme une représentation tangible de la condition expectative où peuvent se trouver les forces de la nature en attendant que les conditions du milieu local soient favorables à leur manifestation. La dessiccation produit l'arrêt des phénomènes physiologiques et il en est de même du froid. Les expériences de M. Raoul Pictet ont montré que des grenouilles supportent une congélation de  $-28^{\circ}$  sans mourir ; des scolopendres ont résisté à  $-50^{\circ}$ , des escargots ont subi des froids de  $-110$  à  $-120^{\circ}$  pendant bien des jours, et un chien est resté pendant une heure et demie à une température de  $-110^{\circ}$  sans mourir.

Mais que sont ces durées et même ces températures à côté de celles qu'il faudrait concevoir pour comprendre la possibilité du voyage intersidéral ? Nous avons à notre portée une localité au moins où l'on pourrait peut-être tenter quelques essais : c'est la partie de la Sibérie dont le sol est glacé sans interruption depuis l'époque quaternaire, et où vivaient les *Mammouths* et les *Tichorhinus* qui y sont ensevelis avec leur chair. Le dégel réalisé très progressivement ramènerait peut-être à la vie quelques êtres inférieurs, ne fût-ce que des microbes, datant de cette époque reculée. C'est évidemment une expérience à tenter.

**Recours à la méthode d'observation.** — En présence de ces difficultés inextricables, nous en sommes réduits à recourir de nouveau au procédé qui semblait nous réussir plus haut, en ce qui concerne les relations mutuelles des espèces. En d'autres termes, nous nous sentons porter à aller observer directement les localités qui paraissent, à cause de la nature de leurs roches, dater des temps où la vie a dû commencer pour y déterminer les particularités qui pourraient s'y pré-

senter au contact même des masses rocheuses du sein desquelles (alors qu'elles étaient limoneuses) ont apparu les premiers vestiges des êtres vivants. Il faut convenir pourtant que dans ce domaine les déceptions sont profondes sans que l'intérêt soit diminué.

Les localités sont très nombreuses où des assises fossilifères se superposent immédiatement à des roches certainement antérieures à l'existence des êtres vivants. Aux environs d'Avallon, le lias inférieur à *Gryphea arcuata* s'étale sans aucun intermédiaire sur le granit. Mais le spectacle des sables de formation actuelle des environs de Cherbourg ou de Brest, qui accumulent les débris des animaux habitant aujourd'hui la mer, sur la tranche arasée des roches primitives, nous explique les conditions qui, en leur temps, ont régné dans l'Yonne et nous n'avons pas à nous y arrêter.

La coupe idéale de tout l'édifice sédimentaire montre qu'avant le lias, une multitude de dépôts fossilifères s'étaient déjà succédé ; et c'est ainsi que, de proche en proche, on a acquis la notion des niveaux qui paraissent contenir les témoignages des plus anciens organismes.

**Faune première de Barrande.** — Entre les portions les plus élevées des terrains qualifiés de primitifs, et dont le type peut être choisi parmi les gneiss, les mica-schistes, ou les autres schistes dits phylladiformes, on rencontre des assises dont l'allure est nettement sédimentaire, mais où manquent toujours les fossiles. « En Bohême, dit Barrande, j'ai reconnu deux étages azoïques A et B. Ce dernier étant composé de roches qui ne se distinguent de celles des étages fossilifères que par l'absence de toute trace organique. » On retrouve la même disposition en Angleterre, en Scandinavie, aux Etats-Unis, partout où se présentent les mêmes niveaux,

et l'on peut en conclure que la mer a dû exister longtemps avant que la vie ne se manifestât dans son sein.

**Recherche de l'époque géologique d'apparition de la vie.** — Ce n'est qu'avec une certaine hésitation qu'on peut distinguer dans les assises les plus anciennes de l'écorce sédimentaire, celles qui représentent les premiers dépôts auxquels des êtres vivants ont pu collaborer. L'état des roches profondément marquées au sceau du métamorphisme rend évident que beaucoup de détails de leur structure initiale ont dû s'effacer progressivement et disparaître. Certains auteurs n'ont même pas craint de déclarer que les premières faunes ont dû s'effacer sans laisser de traces, et dès lors, ils se sont cru en droit d'attribuer à ces premières manifestations de la vie un caractère d'infériorité tel que la conception leur est venue d'une faune et d'une flore remplacées par une simple manifestation microbienne.

Il nous semble que nous pouvons faire valoir contre cette supposition plus que des conjectures. Les faits qui nous ont successivement arrêtés nous permettent, en effet, de reconnaître que le biocosme dans son entier se comportant comme un rouage dans la machine planétaire, il ne saurait être réduit à quelque'une de ses parties sans cesser par cela même d'exister. Dans l'état de nos connaissances, nous ne pouvons pas nous imaginer des microbes vivant autrement qu'aux dépens de matières organiques élaborées par des êtres qui leur sont supérieurs, et c'est la réciproque de cette autre constatation que, sans les microbes, la vie des êtres supérieurs serait impossible.

Sans nous préoccuper davantage des assises qui ne nous donnent rien, cherchons à faire le recensement de ce que nous fournit le plus primitif des niveaux biogènes

et voyons ce que nous en pourrions conclure quant à l'état général du rouage vivant, lors de ce début du mécanisme terrestre.

**Le précambrien de la Finlande méridionale.** — On désigne sous le nom de précambrien, un terrain très épais, qu'on a cru pendant longtemps azoïque, et dans lequel on a trouvé peu à peu des vestiges dont l'assimilation avec des formes zoologiques ou botaniques n'a pas été impossible. Nous n'insisterons pas sur la question de l'*Eozoon*, assemblage de portions calcaires avec des portions serpentineuses où bien des naturalistes ne voient qu'un résultat des triages déterminés dans une masse complexe par l'inégalité de propension à l'état cristallin de différentes substances, tandis que d'autres savants pensent y reconnaître des indices de foraminifères. Nous n'insisterons pas non plus sur ces petits amas plus ou moins charbonneux en forme d'ascidies que M. Sederholm<sup>1</sup> a signalés dans les schistes cristallins de la Finlande méridionale comme pouvant être des résidus de fossiles provenant peut-être de thallophytes, peut-être d'échinodermes.

Plus importants nous paraissent les couches charbonneuses à éclat métallique et de densité variant de 3,5 à 4, que M. Inostranzeff a signalés à Schunga, et qu'il regarde comme le résultat du métamorphisme de l'antrace. Mais des faits plus précis se présentent à nous. M. Cayeux a signalé<sup>3</sup> dans les phtanites précambriennes de Lamballe (Côtes-du-Nord), la présence de spicules de spongiaires et surtout de radiolaires. Si l'on se rappelle que la phtanite n'est qu'une variété de jaspe, c'est-à-dire

1. *Bull. de la Commission géologique de Finlande*, n° 23, p. 110, 1907.

2. *Neues Jahrbuch für Mineral*, 1880, t. 1, p. 97.

3. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 3<sup>e</sup>, XXI. 1, 197, 1894.

d'une argile qui a été silicifiée, exactement comme aurait été silicifié un tronc d'arbre ou un autre fossile, nous verrons dans l'échantillon de Lamballe un spécimen du plankton de la mer précambrienne et nous constaterons par cela même que cette mer primitive, sinon initiale, avait déjà des caractères bien voisins de l'océan de nos jours. Ces protozoaires (v. plus haut la fig. 5, page 88) ont, avec ceux qui vivent à présent, des analogies si intimes qu'on croit y voir des espèces des mêmes genres. Il n'y a pas à douter qu'ils aient eu la même anatomie et la même physiologie, ce qui suppose nécessairement que déjà prospéraient dans l'océan la symbiose extraordinaire dont nos radiolaires nous donnent le spectacle. On sait en effet que ces protozoaires sont envahis dans toute la partie de leur plasma, qui est extérieure à la capsule limitant l'endoplasma, par de petites algues nourricières et sans lesquelles l'existence du protozoaire serait impossible. Nous devons faire figurer ces algues, que personne n'a encore vues, dans la liste à peine commencée jusqu'ici de la flore précambrienne.

Une question évidemment très intéressante, mais qui paraît, au moins provisoirement, devoir rester sans solution, est de savoir si le premier ensemble constaté d'êtres vivants est bien formé réellement de la première faune et de la première flore apparues sur la Terre. Il ne faudrait pas du reste se laisser aller à attribuer à la découverte des premiers organismes, si elle doit être faite avec certitude, plus d'importance qu'elle n'en a réellement à notre point de vue. Nous en savons assez, en effet, comme il est utile de le répéter, pour affirmer que ces organismes ne sauraient avoir eu la simplicité élémentaire que certains naturalistes se sont plu à leur supposer. Il leur semble très naturel d'imaginer

une première création qui ne comprendrait que des microbes, lesquels devraient ensuite, par l'effet d'une cause à déterminer, se transformer dans d'innombrables catégories des formes supérieures. Or, cette conception est certainement contraire aux lignes essentielles de l'établissement géologique. Déjà nous avons constaté que si les êtres supérieurs ne sauraient exister en l'absence des microbes, les microbes à l'inverse et tout aussi nécessairement ne sauraient exister sans les êtres supérieurs. La conséquence inévitable c'est que la faune initiale, quelle qu'elle ait pu être sa pauvreté en formes variées, a forcément été complexe. Il a fallu que des êtres vivants, de condition très inégale, aient procédé entre eux aux échanges de forces et de matières sans lesquels il nous serait impossible de comprendre les cycles physiologiques. La conception de l'un de nos groupes naturels, botanique ou zoologique vivant seul sur la Terre, est impossible, étant donnée la démonstration de cette solidarité qui se manifeste sous toutes les formes entre les êtres.

Des traces d'annélides, appelées provisoirement *Arénicolites*, à cause de leur analogie avec les vestiges que les arénicoles actuels laissent de leur passage, abondent dans certaines roches précambriennes ; elles suffisent à montrer que le sol sous-marin donnait asile à des populations de vers qui y trouvaient toutes les matières alimentaires qui leur sont nécessaires.

**Les coralliaires précambriens des États-Unis.** — Dans l'épaisseur du précambrien qui fait une partie du gigantesque canyon du Colorado (Arizona) on a distingué sous le nom d'étage de Chuar, une zone coralligène caractérisée par le *Cryptozoon* qui est, à n'en pas douter, un stromatopore. Un naturaliste américain, qui s'est signalé par le haut intérêt et la précision de ses obser-

vations, M. Charles D. Walcott<sup>1</sup>, a décrit dans le précambrien de Belt (Montana), des débris d'un crustacé auquel il a donné le nom de *Beltina Danai*, au sein des couches qui sont recouvertes, en discordance de stratification par des assises cambriennes. D'un autre côté, des animaux plus élevés encore dans la série zoologique ont été extraits des mêmes gisements, et, par exemple, celui auquel on a donné le nom de *Chuarina circularis* et qui est un gastropode patelliforme. Ainsi, comme on l'a déjà constaté, cette série de formes est bien près de représenter toute la série des types du règne animal, les mollusques valant en degré de perfectionnement les vertébrés inférieurs.

Il importe de remarquer d'un autre côté que le groupe stratigraphique auquel nous donnons le nom de précambrien, est non seulement très épais mais aussi d'une complication extrême. En combinant des résultats obtenus en Finlande, en Ecosse et dans la région des Grands lacs des Etats-Unis, par MM. Sederholm<sup>2</sup> Frosterus<sup>3</sup> Ramsay<sup>4</sup>, on peut y distinguer trois longues périodes dites : kalévienne, jatulienne (renfermant l'anhracite la plus ancienne qu'on ait signalée) et jotnienne, divisibles en formations lithologiques variées et séparées les unes des autres par des discordances de stratification trahissant des soulèvements et des affaissements orogéniques. Dans les parties où cet énorme ensemble de couches a été peu plissé, on y observe des caractères évidemment initiaux qui permettent d'y reconnaître des produits tout à fait comparables à ceux de la sédimentation normale. On

1. *Bull. of the geolog Society of America*, X, 490, 1899.

2. *Congrès Géologique international*, IX<sup>e</sup> session, Vienne, p. 609, 1903.

3. *Bull. de la Commission géologique de Finlande*, n<sup>o</sup> 43, 1904.

4. *Centralblatt von Miner.*, p. 33, 1907.

y voit des amas de galets impossibles à distinguer des galets de tous les autres âges et des accumulations de blocs polyédriques mais polis et striés qui rappellent exactement les éboulis de nos montagnes. C'est plus qu'il n'en faut pour que la période précambrienne nous apparaisse comme datant d'une époque où la surface terrestre devait avoir déjà l'apparence générale que nous lui connaissons aujourd'hui.

Il est bien vrai qu'on peut se demander si ces roches intermédiaires entre les assises primitives et les couches où débute la faune primordiale n'ont pas perdu les vestiges organiques qu'elles renfermaient d'abord en vertu même de leur grand âge, et en conséquence de l'activité des agents de corrosion qui ont pu circuler dans leur substance.

Cependant, sans contester la possibilité d'une semblable disparition et en reconnaissant même que nous sommes bien certains de sa réalité dans une foule de circonstances, voire pour des couches peu anciennes, nous remarquerons deux faits importants.

**État de conservation des anciennes faunes.** — Le premier, c'est que les vieilles faunes ne se signalent pas toujours par l'altération et le mauvais état des éléments qui les composent ; nous avons rencontré parmi elles des exemples de conservation vraiment merveilleuse et qui nous ont permis la comparaison des détails les plus délicats de la physiologie des plus anciens animaux avec la physiologie moderne.

**Résistance d'anciens vestiges fossiles à la destruction.** — L'autre fait, c'est que les traces organiques sont souvent plus résistantes qu'on ne se l'imaginerait, ainsi que le prouve leur présence au sein de roches qui

ont été métamorphosées au point d'avoir pris complètement la structure des masses dérivant exclusivement des réactions chimiques les plus intenses. Ange Sismonda<sup>1</sup> en a cité un exemple des plus frappants. Il s'agit d'une empreinte d'*Equisetum* contenue dans un fragment de gneiss qu'on peut voir au musée de Turin et qui a été tiré d'un bloc erratique provenant de la Valteline. « Au premier abord, dit Sismonda, j'ai pris cette empreinte pour un pur accident de cristallisation ; j'ai cru aussi que c'était une dendrite. Cependant, je soumis à quelques expériences la poussière noire dont elle est légèrement recouverte. J'en mis un peu sur une feuille de platine chauffée au rouge : elle brûla à la manière du charbon, c'est-à-dire qu'elle s'embrasa, puis se consuma tranquillement, sans laisser aucune trace sur le support. Averti par ce résultat que la poussière était du charbon dans un grand état de division, j'observai de nouveau l'empreinte, en m'aidant cette fois d'une loupe, et je pus ainsi discerner un système de folioles rangés et ordonnés autour d'un point. Les rayons sont linéaires, légèrement renflés, parcourus dans le milieu par un sillon distinct et ils ont le bord probablement entier, mais en apparence entaillé et comme denté par les inégalités de la surface de la roche. » La découverte de Sismonda fut l'objet d'une note d'Elie de Beaumont. Des dessins et des photographies ayant été soumis à Adolphe Brongniart, le créateur de la paléontologie végétale, il y reconnut une espèce d'*Equisetum* très analogue à *E. infundibuliforme* des terrains houillers, dont elle diffère pourtant assez pour qu'il en fit une espèce nouvelle, *E. Sismondæ*.

Nous trouvons encore mieux dans les assises siluriennes dans le niveau llandeïlien où des ardoises d'Angers ont

1. C. R. Acad. Sc., t. LX, 492, 1865.

offre le même fait avec une intensité et une netteté beaucoup plus grandes (fig. 23). On sait avec quelle puissance l'intrusion d'éruptions granitiques au travers des schistes siluriens a transformé les roches si fines et si homogènes en agrégat cristallin dont les éléments minéralogiques, consistant surtout en silicates alumineux, comprennent des cristaux de staurotite et de chiasolithes mesurant quelquefois 20 centimètres de longueur. C'est en pleine

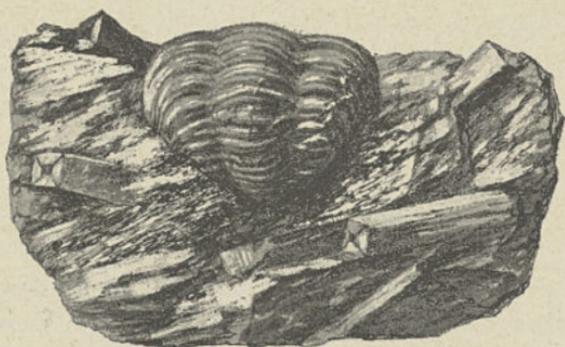


Fig. 23. — Schiste llandélien phylladiforme de Sainte-Brigitte (Morbihan) contenant de longs cristaux de chiasolithes associés à un test bien conservé de *Calymene*.

masse de ce genre qu'en 1838, Puillon-Boblaye, alors capitaine d'état-major, a signalé la découverte dans les schistes cristallins de Sainte-Brigitte, non loin de l'étang des Salles de Rohan, la présence de fossiles admirablement conservés et spécialement de Trilobites : *Trinucleus ornatus*, Barr, *Dalamanites socialis*, id., *Calymene pulchra*, Stern. et de brachiopodes, *Orthis Berthoisi*<sup>1</sup>. Rappelons que les cristaux de staurotite et de chiasolithes sont des résultats du remaniement moléculaire des schistes siluriens. La matière très complexe qui les cons-

1. De Rouville. *C. R. Acad. Sc.*, t. VI, p. 168, 1838.

tituait à l'origine s'est scindée sous l'influence d'une action bathyrique en deux parties bien distinctes. Après que le dépôt silurien se fut recouvert de centaines de mètres de dépôts de plus en plus récents et se trouvait soumis à la température qui règne à ces profondeurs et à l'énergie chimique qui en est la conséquence, pour les liquides d'imprégnation souterraine, certains éléments de la roche se groupant en proportions définies, se sont constitués en cristaux pendant que le reste a été éliminé comme incristallisable dans les joints de clivage ou dans les intervalles des cristaux. Ajoutons qu'on n'arrive à imiter de pareilles réactions dans les laboratoires et seulement avec des dimensions microscopiques, qu'en employant la merveilleuse méthode de Sénarmont, en soumettant les substances argileuses à l'action de l'eau chauffée en vase clos, à plusieurs centaines de degrés. C'est donc malgré l'exercice d'intenses réactions chimiques, mais réalisées sans doute avec d'infinies délicatesses, que les tissus des bois, que les téguments des trilobites, que les coquilles des brachipodes ont pu se conserver avec tous les détails de leur forme.

#### Recherche de la localité d'apparition de la vie. —

Une question symétrique de celle qui concerne l'époque de l'apparition de la vie, vise la localité de la Terre où cette apparition a débuté.

Il règne, en effet, comme un préjugé chez les paléontologistes qui leur fait chercher dans deux gisements fournissant le même fossile, comment celui-ci est passé de l'un à l'autre ou, si l'on aime mieux, par quel trajet s'est effectuée la *migration*.

Personne ne paraît avoir entrevu la possibilité d'une apparition indépendante et plus ou moins simultanée en des régions très diverses, soit d'espèces voisines, soit

même de formes représentant exactement les mêmes espèces.

Or, c'est justement cette solution qui nous apparaît comme logiquement conséquente des observations faites sur le terrain, et il est nécessaire d'insister sur la signification que semble comporter le grand fait de la distribution géographique de certaines espèces organiques à toutes les époques sédimentaires.

Tout en regardant comme incontestablement acquise la notion des « fossiles caractéristiques » qui permettent de retrouver la continuation horizontale d'un même étage sur des distances souvent considérables, et qui reproduit une condition réalisée aujourd'hui par un certain nombre d'espèces végétales et animales cosmopolites, il faut reconnaître la localisation d'autres formes donnant lieu pour les époques antérieures à l'établissement d'une géographie botanique et d'une géographie zoologique, comme il y a lieu d'en considérer pour la nature actuelle.

Déjà nous avons vu que pour le temps présent, la cause principale de la localisation des formes paraît tenir à l'influence des climats ; mais nous ne pouvons faire intervenir ce facteur pour les périodes paléozoïques soumises à un régime analogue à celui de nos tropiques, depuis un pôle jusqu'à l'autre. Et c'est cette circonstance qui fait l'intérêt du sujet qui nous occupe.

C'est à propos du terrain permien que trois géologues illustres, de Verneuil, Murchison, Kayserling ont écrit ce passage d'autant plus remarquable qu'il remonte à l'année 1824<sup>1</sup> : « Sur 392 espèces, que nous avons observées en Russie, 205, ou plus de la moitié, sont propres à ce pays. Quelques-unes de ces dernières, il est vrai, diffè-

1. *Russia in Europa and the Oural Mountains*, in-4°. Paris, 1824.

rent si peu des espèces de même dépôt de l'ouest de l'Europe, qu'on peut les considérer comme en étant les représentants ; cependant, il n'en existe pas moins entre les faunes de ces deux extrémités de l'Europe, des différences telles qu'on est amené à reconnaître que, dès cette époque, les espèces n'étaient pas uniformément répandues dans toutes les mers et qu'au contraire, déjà localisées, elles offraient, dans leur distribution, ces divisions géographiques et ces groupements par bassins qui se sont prononcés de plus en plus ». Zittel<sup>1</sup> constate que « même à l'époque paléozoïque, il n'y a que peu d'espèces de mollusques communes aux différents pays. Des 600 espèces de gastropodes, décrites dans le silurien de l'Amérique du Nord, on en a reconnu tout au plus 250 dans le nord de l'Europe ».

Nous rencontrons ici une diversité géographique aussi accentuée que celle d'aujourd'hui. Et de même que nous n'irions pas chasser indifféremment partout le rhinocéros et l'ours blanc, de même nous devons pour recueillir tels ou tels fossiles marins, de l'époque artinskienne, par exemple, aller dans telle localité ou bien dans telle autre. Pour cette base du terrain permien en particulier, on rencontre un contraste profond entre les fossiles de la Russie orientale et ceux du centre de l'Allemagne, de façon que, pour être sûr du synchronisme des uns et des autres, il a fallu, non seulement qu'on rencontrât un certain nombre d'espèces communes, mais encore et surtout qu'on fût guidé par des considérations stratigraphiques. Cette séparation géographique a dans ce cas d'autant plus d'intérêt, qu'elle nous révèle la possibilité de grandes ressemblances entre des faunes d'âge différent.

Avant la découverte des gisements d'Artinsk, on consi-

1. *Traité de paléontologie*, traduction française, t. II, p. 323.

dérait que l'apparition des ammonites, c'est-à-dire des céphalopodes à cloisons finement persillées, constituait un trait essentiel des temps secondaires, en ajoutant même que la région la plus inférieure de cette grande période, le trias, en est encore privé. Il ne faudrait même pas jurer qu'on n'ait rattaché cette apparition à l'économie d'une étape spéciale dans l'évolution planétaire, suivant une mode qui a été fort en faveur. Or, bien avant notre infra-lias, bien avant notre trias et déjà dès la base du permien, en plein terrain primaire, les couches d'Artinsk étalent aux yeux, comme ont fait depuis les couches de certaines localités indiennes, des *Medlicottia*, des *Gastrioceras*, des *Thalassiceras*, des *Pronorites*, qui sont persillés à souhait et qui se trouvent être les contemporains exacts de nos *Goniatites*, dont les cloisons, en simples lignes brisées, ont été, on ne sait pourquoi, regardées comme relativement rudimentaires, comme de simples étages embryologiques du persillage qui paraîtra plus tard.

Les remarques de ce genre pourraient être multipliées à l'infini : Joachim Barrande a insisté sur l'absence des gastropodes vrais dans la faune primordiale de la Bohême, alors que ces animaux sont représentés dans les couches synchroniques de la Grande-Bretagne et de l'Amérique du Nord.

Comparant le silurien des Etats-Unis du Nord avec le silurien de l'Europe, Lyell a écrit <sup>1</sup> : « Quant aux fossiles, quelques espèces sont identiques, mais la majorité ne se retrouve pas la même dans les couches analogues en âge et en position, avec celles de l'Europe. Il y a, il est vrai, une grande analogie de formes ; mais les différences suffisent pour démontrer que dans ces anciennes périodes, il

1. *Travels in north America*, dans Bibliothèque Universelle de Genève, vol. de 1845, p. 135.

y avait entre les diverses régions du globe, la même diversité qu'on observe encore de nos jours ».

Il aurait pu employer les mêmes expressions à propos des faunes tertiaires. Par exemple, les couches de Grignon, décrites plus haut, ont des analogies incontestables dans des dépôts soigneusement étudiés à Claiborne, Alabama, par le professeur Harris, à la suite de Conrad <sup>1</sup>. Mais à côté des *Crassatella planicosta* et de quelques autres qui sont communes aux deux régions, on trouve des formes, les unes européennes, les autres américaines, exactement comme s'il s'agissait de la faune actuelle.

De même les physes et les mélanies tertiaires des Etats-Unis ont un air de ressemblance avec les formes vivantes du Nouveau-Continent, tandis que les physes et les mélanies tertiaires de l'Europe ont l'allure et la physionomie générale de leurs congénères d'aujourd'hui. Le point intéressant à en conclure, c'est qu'à cette époque tertiaire, les différences entre les animaux des deux continents étaient aussi appréciables que de nos jours. Henri Lecoq avait senti ce résultat, puisqu'il écrivait : « Chaque bassin tertiaire devient en quelque sorte un point qui a sa faune et sa flore particulières <sup>2</sup> ».

On retrouverait des preuves de cette indépendance réciproque de localités contemporaines distantes, même pour des temps très voisins de nous et avec une amplitude certainement riche en enseignements.

Gaudry s'est beaucoup occupé à la fin de sa vie de la faune vertébrée récente de la Patagonie. Sa conclusion, c'est que « les découvertes en Patagonie troublent notre croyance à la similitude de la marche de l'évolution sur l'ensemble du monde. Le développement ne paraît pas

1. *Republication of Conrad's fossil shells of the tertiary formation*, 1 vol., in-8°, Washington, 1893.

2. *Les climats*, p. 473, 1 vol. in-8. Paris, 1847.

avoir eu la même continuité dans les deux hémisphères. L'étage de Cacaunay a livré à MM. Ameghino et Tournouer des fossiles analogues à ceux du Torrejon, aux Etats-Unis et de Cernay en France, qui représentent les débuts du tertiaire. Après ces débuts, tandis que l'hémisphère boréal a réalisé des progrès successifs, la Patagonie a subi un arrêt de développement : il ne s'est pas formé de proboscidiens, de pachydermes à doigts pairs, de ruminants ; les solipèdes n'ont pas été si haut qu'un chevrotain et ont eu des formes absolument différentes de celles de nos équidés ; les carnivores sont restés à l'état marsupial ; ils n'ont pas été transformés en ours, en hyènes, en chiens, en chats ; il n'y a point eu d'apparitions d'anthropomorphes<sup>1</sup>. »

Or, il nous paraît que cet ensemble de faits est compatible avec des conclusions confirmatives de l'opinion qui déjà nous a paru vraisemblable quant au mécanisme de l'apparition de la vie.

Ces espèces locales et par cela même éminemment indépendantes, ont inspiré l'hypothèse de centres distincts de création qui expliqueraient ces « faunes et ces flores particulières » dont parlait Lecoq.

En nous rappelant l'un des enseignements de la coupe de Grignon, confirmé dans toutes les localités : que chaque espèce ayant dans le temps son histoire personnelle, commençant à un certain moment, s'épanouissant et s'éteignant tout simplement, semble-t-il, parce qu'elle a épuisé sa provision initiale de force vive, se présente comme la manifestation d'un acte distinct de la force biologique.

Dès lors, quoi d'impossible à ce que dans des localités plus ou moins distantes l'une de l'autre, une même mani-

1. *Annales de Paléontologie*, I, 101, pet. in-4°, Paris, 1906.

festation de cette même force donne naissance deux fois au même produit, soit en même temps, comme pour *Cardita planicosta* de Grignon et de Claiborne, soit à deux époques plus ou moins écartées comme pour *Ostrea columba*, qui figure à la fois, à l'état de deux variétés très voisines, dans la faune cénomaniennne et dans la faune turonienne, comme l'hyène rayée, qui est quaternaire dans nos cavernes de France et actuelle au Cap de Bonne-Espérance, ou même comme le genre *Mastodonte* qui est tertiaire en Europe et quaternaire aux Etats-Unis.

On aime généralement mieux, dans ces cas, supposer que la forme considérée s'étant produite dans un lieu donné, elle s'est livrée à des « migrations » pour se rendre dans des régions différentes. Mais on n'a aucune preuve de cette assertion et il y a bien des cas où le voyage supposé est tout à fait incompréhensible.

A l'époque présente même, certains détails de distribution biologique semblent plus faciles à expliquer avec des centres de création distincts qu'avec des déplacements : la belle éponge siliceuse dite *Hyalonema*, qu'on croyait localisée au Japon, fut en 1864 pêchée par Barboza du Bocage, par 1.000 mètres de fond sur la côte du Portugal. On n'en a pas recueilli jusqu'ici entre les deux stations.

Les remarques relatives à la non-contemporanéité de certains types animaux en des localités distinctes, se répèteraient exactement à l'égard de plusieurs végétaux : l'apparition des angiospermes ou végétaux pourvus de fruits venant s'ajouter aux cryptogames est un phénomène qui, en Europe, date du cénomaniennne, c'est-à-dire du milieu du crétacé ; tandis qu'en Amérique, il avait déjà eu lieu aux époques oolithiques

Ces observations expliquent aussi des ressemblances

extérieures d'animaux vivant dans des milieux très différents. On a beaucoup insisté sur le fait si curieux que le lac Tanganiká renferme des méduses, c'est-à-dire des organismes à faciès essentiellement marin. La majorité des naturalistes penche à croire qu'il s'agit d'un *résidu de mer* qui s'étant trouvé séparé de l'océan général par un soulèvement du sol a subi une dessalure très progressive au cours de laquelle les méduses se sont peu à peu habituées à vivre dans l'eau douce. C'est une hypothèse inadmissible au point de vue transformiste, car elle consacrerait la condamnation d'un de ses principes fondamentaux, d'après lequel le changement du milieu doit amener des modifications des êtres qui y vivent, de telle sorte que la méduse aurait dû perdre l'état de méduse pour prendre une allure lacustre. Et en même temps cette supposition serait la méconnaissance des durées nécessaires à l'installation d'un lac dans la situation du Nyanza, par une emprise de la terre ferme sur la mer.

L'histoire des vertébrés fournit des faits analogues. Comment peut-on concevoir, par exemple, un lien quelconque entre ce singulier poisson dipnoïque qui figure comme un plat distingué sur les bonnes tables australiennes et qu'on appelle *Ceratodus Forsteri* et le *Ceratodus Kaupi* qu'Agassiz a déterminé dans les assises du muschelkalk (tout au début des temps secondaires) alors que toutes les assises intermédiaires entre le trias moyen et les moments présents sont restées dépourvues du moindre *Ceratodus*. Car il n'est pas sérieux de penser, avec un géologue connu, que « ce genre singulier semble s'être conservé jusqu'à nos jours dans les rivières australiennes <sup>1</sup> ».

1. Lapparent. *Traité de Géologie*, 5<sup>e</sup> édition, p. 1030, 4 vol. in-8°, Paris, 1986.

**Place de l'apparition de la vie dans l'évolution terrestre.**

— Il semble donc que l'apparition de la vie n'ait pas eu lieu sans de très grandes préparations. C'est alors que la mer jouissait déjà depuis longtemps de l'économie dynamique dont résultent les sédiments proprement dits de la catégorie des sédiments actuels, que le phénomène biologique s'est manifesté. Et sans doute l'étude très attentive de ces roches de transition entre les mécanismes purement physico-chimiques et le mécanisme physiologique réserve-t-elle des moissons de faits considérables.

Le véritable organisme qu'est la Terre doit, par cela même qu'il est un organisme, être considéré aux deux points de vue principaux de l'anatomie et de la physiologie. On y trouve non seulement des tissus, qui sont les roches solides, liquides, gazeuses, mais aussi des associations de ces tissus sous la forme de véritables appareils <sup>1</sup> comme le volcan, le glacier, le fleuve, l'océan.

Chacun de ces appareils est attribué à l'accomplissement d'un ordre spécial de modifications dans les conditions ambiantes : modifications comparables aux fonctions réalisées sans relâche par les organes de la machine vivante. Le fonctionnement de ces divers outils est si exactement réglé et si strictement harmonisé, que l'ensemble des résultats maintient un état jalousement conservé d'équilibre, associé aux progrès ininterrompus de l'évolution générale de la Terre. Cette dernière remarque conduit à la comparaison des époques successives des temps sédimentaires. Une fois déterminé l'ensemble des réactions d'une époque particulière, le problème se pose de lui-même de retrouver, pour chacune des époques différentes, ces facteurs essentiels de l'équilibre général.

1. Voir notre *Géologie générale*, 2<sup>e</sup> édition, in-8°, Paris, F. Alcan, 1909.

**Intervention successive des forces physiques.** — Aux moments initiaux où la masse terrestre a acquis son autonomie, la force qui se signale et qui ne cessera jamais d'agir dans la suite, quoique d'une manière moins ostensible, c'est la gravitation universelle. Les éléments cosmiques, mélangés dans le lambeau nébuleux qui s'est détaché du soleil, obéissent à l'attraction exercée par leur centre commun de gravité. Il en résultera pour la masse totale une condensation vers ce centre qui, par la destruction de la force vive des molécules, développera une gigantesque quantité de chaleur. En même temps une discipline s'imposera peu à peu dans le déplacement de la matière chaotique et sa rotation autour d'un axe lui infligera une forme régulière. C'est là le terme de cette première phase que nous pouvons qualifier de *phase morphologique*.

**Intervention de la force cristallogénique.** — Plus tard, c'est le passage brusque à l'état solide de certains des éléments planétaires jusque-là gazeux ; c'est la constitution d'un premier délinéament de la coque, écorce ou croûte terrestre. Cet événement suppose des circonstances qu'il nous sera utile d'avoir soulignées. Jusqu'à ce moment, la masse cosmique représentant l'embryon de notre planète, était dans toutes ses parties exclusivement fluide. Dès lors, toutes les forces qui déterminent la structure et les formes extérieures des cristaux étaient sans emploi.

Par le seul fait d'un fléchissement convenable de la température initiale, certains corps ont acquis la solidité et immédiatement ces forces ont donné lieu à leurs produits spéciaux. C'est comme s'il y avait eu, disséminées dans l'espace, des entités dynamiques ou foyers de forces spéciales, conservées en puissance jusqu'au mo-

ment où les circonstances ambiantes sont devenues favorables à leur manifestation.

Nous touchons là un des sujets les plus graves de toute la physique générale, et il va sans dire que nous nous garderons bien de le traiter à fond. En n'en retenant que ce qui est d'application directe à notre sujet, remarquons à quel degré une matière peut changer de caractère par le fait seul qu'elle subit avec plus ou moins d'intensité l'influence d'une force donnée. Dans un verre est une certaine quantité de mercure, abandonnée à l'action de la pesanteur et de l'attraction qui s'exerce entre ses molécules de façon à lui donner une viscosité très faible : c'est un liquide. Mais séparons-en une gouttelette aussi ténue que possible et, par le seul fait de sa très petite dimension et de l'étendue relativement très grande de sa surface, voilà le mercure complètement métamorphosé : il ne prend plus la forme des vases dans lesquels on le met ; au contraire, il a une forme propre, sphéroïdale et d'autant plus rapproché de la sphère qu'il est plus petit. Ce n'est véritablement plus un liquide ; rien de ce qui concerne les propriétés des liquides ne le concerne plus. De même, si l'on réduit une solution aqueuse de savon, à l'état d'une lame mince, soit en la retenant dans la boucle d'un fil métallique soit en la convertissant en une bulle, l'énorme valeur de la surface comparée au volume y développe une force dite capillaire, dont l'effet le plus visible est de maintenir cette solution dans une condition qui n'a rien de commun avec l'état liquide.

Et si ces effets banaux sont bien nets dans les cas précédents qui sont relatifs à des corps en repos, combien ne sont-ils pas plus frappants encore dans les matières en mouvement ? On peut dire en toute vérité que les paquets d'eau précipités par les torrents, avec une vitesse suffisante, et tant que cette vitesse persiste, ne sont pas

liquides. Regardez du haut du pont qui le traverse, le torrent de l'Arve, en Haute-Savoie, là où passant au-dessous du hameau de Monroc, il vient de recevoir les eaux du glacier du Tour : vous verrez dévaler sous vos yeux des sortes de plaques épaisses et contournées tout à fait opaques, et qui ressemblent à des blocs de gélatine. La vitesse égale de tous les atomes d'eau leur donne une allure commune qui suffit à supprimer toute fluidité. Un jet d'eau lancé verticalement échappe de même, grâce à son impulsion, aux lois qui président à l'équilibre des liquides. Cette impulsion constitue l'un des traits les plus essentiels du jet d'eau, qui est un objet si bien défini qu'on peut le photographier avec pose prolongée, comme on ferait d'un corps solide, nous procurant le spectacle de la persistance de la forme en opposition avec l'inconstance de la matière.

Donc, par le fait seul de l'action des forces, la matière est amenée à s'éloigner beaucoup de sa condition première et chaque fois qu'il entre en jeu une entité dynamique nouvelle, les phénomènes en reçoivent une allure propre et caractéristique. C'est ce qui a eu lieu lors de l'intervention, dans le monde terrestre, de la force qui règle la structure des solides et qui leur communique l'état dit cristallin. Pour abréger, nous l'appellerons la force cristallogénique. Par elle, l'économie de la planète a été profondément changée ; une nouvelle étape de son évolution a été inaugurée : la *phase cristallogénique*.

On nous permettra d'y insister un peu, parce que les remarques qui la concernent s'appliqueront dans un moment à des faits relatifs au cœur même de notre sujet et faciliteront dans une large mesure l'appréciation des vues générales sur l'origine et le rôle des êtres vivants. On n'a pas, en effet, épuisé le sujet pour avoir constaté à la suite de la solidification de matières précédemment

fluides, l'intervention brusque de la force cristallogénique, imprimant aux éléments des roches leurs traits les plus caractéristiques. Il importe de remarquer en outre que cette force détermine des produits différents d'après les conditions variables de chaque point. Ces conditions, surtout physiques et chimiques, concernent, d'un côté, la température et la pression, de l'autre côté, la composition des matières en présence. Selon les cas, l'entité dynamique considérée déterminera ici ou là des minéraux différents :

Dans les lieux de rencontre de vapeurs, capables de déterminer, par leur conjugaison, la précipitation de minéraux givreux <sup>1</sup> (pachnésoides) comme les pyroxènes, la bronzite, l'olivine, les feldspaths, le fer natif, le platine métallique, etc. ;

Dans les magmas soumis à la fusion foisonnante <sup>1</sup> c'est-à-dire sous la pression de minéralisateurs élastiques, les minéraux des laves (l'augite, les feldspaths, le quartz, les micas, etc., etc.) et ceux des fumerolles (l'oligiste, la cassitérite, la fluorine, l'apatite, la tourmaline, la topaze, le kaolin, etc.) ;

Dans les pores des roches, où pénètre l'eau suréchauffée ou les émanations minéralisatrices comparables, agissant sur ces roches, dans les trois conditions principales qui produisent le métamorphisme sédimentaire, le métamorphisme cortical, le métamorphisme volcanique (chiascolite, staurotide, grenat, feldspath, dipyre, sillimannite, nacrite, séricite, calcite, quartz, etc.) ;

Dans les fissures et spécialement dans les géoclasses, où se rencontrent des eaux suréchauffées de compositions

1. *Mémoires présentés par divers savants étrangers à l'Académie des sciences*, XXVII, n° 5, 1881.

2. *Revue scientifique* du 2 août 1902 et *C. R. Acad. Sc.*, CXXXVI, 125, 1903.

chimiques diverses, minerais et gangues métallifères (galène, blende, stibine, cinabre, sidérose, quartz, calcite, barytine, etc.) ;

A la surface des roches jouissant de propriétés précipitantes à l'égard de solutions métalliques, la température pouvant varier beaucoup d'un cas à l'autre et être parfois peu élevée : minerais des gîtes en poches ou calaminaires et minerais des couches métallifères de substitution (calamine, galène, blende, phosphorite, limonite, manganite, quartz, etc.) ;

Dans les pores des roches baignées par les eaux de circulation à température très médiocre pures ou salines, et déterminant surtout la cristallisation de poussières précédemment amorphes (gypse devenu saccharoïde ou même largement cristallin, — fer de lance, — fluorine des caillasses, célestine de la place de la République, etc.) ;

Par simple évaporation de dissolutions à la température ordinaire ou par congélation (sel gemme, nitre, salpêtre, gypse, natron, glace d'eau, neige, givre).

Il importe de noter que toutes ces opérations de la force cristallogénique classées d'après les degrés de plus en plus atténués de la température ambiante, peuvent être simultanés dans des localités diverses. Si aujourd'hui même il se fait dans les régions convenablement desséchées, comme le Khara-Boghaz du littoral oriental de la Caspienne, des cristallisations de sel gemme, le sous-sol des stations thermales, Plombières ou Cauterets, engendrent des minéraux de filons concrétionnés, fluorine ou quartz.

Il n'est pas douteux que si l'on pouvait pénétrer dans les entrailles du sol, le long des apophyses de lave encore incandescente des dernières éruptions, on verrait s'y produire et croître les minéraux résultant du métamorphisme des roches encaissantes : grenât, idocrase ou mâcle.

Dans les coulées sortant de la bouche volcanique, on

assiste vraiment à la cristallisation du labrador ou de l'amphigène et des scories du Vésuve se parent sous nos yeux de dendrites de minéraux fumarolliens, comme le fer oligiste, si génialement étudié par Gay-Lussac.

Bien qu'au fur et à mesure de son refroidissement, la Terre ait provoqué à sa surface l'apparition successive des divers produits de la force cristallogénique (comme à la faveur d'une espèce de *perfectionnement minéralogique*), cependant les anciens procédés ne sont point abrogés et fonctionnent concurremment avec les nouveaux dans les localités favorables, c'est-à-dire en profondeur. Les adoucissements successifs des conditions superficielles déterminent ensuite la production de matériaux représentant l'intervention de réactifs moins violents et de température moins élevée.

Alors se déclarent les actions hydrothermales d'où résultent le granit et ses congénères, et à leur suite les actions purement aqueuses qui produisent les argiles et leurs analogues. Les produits qui en résultent seront aptes à se modifier par leur pénétration en profondeur par le fait pur et simple de leur recouvrement sédimentaire normal. C'est ainsi qu'ils acquerront des caractères mixtes par la superposition des réactions chaudes, antérieurement mentionnées, aux opérations aqueuses froides dont elles dérivent primitivement.

**Intervention de l'eau superficielle.** — On peut maintenant caractériser un autre moment remarquable de l'évolution du globe par l'épuration de l'atmosphère primitive et la précipitation sur la croûte d'une partie de l'énorme masse des substances les plus volatiles des régions périphériques. Ainsi amincie et purifiée, la tunique gazeuse restante est devenue favorable aux rapports du globe avec d'autres corps célestes et avant

tout elle s'est prêtée à la pénétration des rayons solaires dont la collaboration aux travaux planétaires s'est accentuée avec le temps. L'accumulation des masses qui encombraient d'abord l'atmosphère est l'embryon du premier océan, l'eau étant par son volume la plus marquante des substances condensables.

D'abord bouillante, malgré la puissante pression de l'atmosphère superposée, et chargée d'une foule de principes dont sa haute température favorisait la dissolution, cette masse liquide, infiniment complexe, s'est simplifiée au fur et à mesure de son refroidissement.

De proche en proche, la masse fluide s'est résumée à l'état d'une dissolution aqueuse de très nombreuses substances minérales parmi lesquelles prédomine le sel marin, le chlorure de magnésium, le sulfate de chaux, le sulfate de magnésie, le chlorure de potassium, où figurent en quantités moindres, le bromure de potassium et le bicarbonate de chaux, et où l'analyse retrouve encore tous les corps simples, même les plus rares comme le césium, le radium et l'or.

A un certain moment, la mer enfin engendrée par les condensations atmosphériques, détermine l'établissement de tout un régime dynamique dont le globe dans son ensemble subit les effets : la circulation des eaux et celle des airs provoquant la caractérisation et la différenciation de régions où se déclareront tels ou tels genres de productions.

En même temps, les modifications spontanées continueront à provoquer des déformations de la croûte solidifiée et constamment épaissie. L'une de leurs premières conséquences sera la surrection au-dessus du niveau général des eaux condensées de territoires qui seront des îles et des continents entre lesquels seront délimités les bassins océaniques.

A partir de ce moment, la chaleur du soleil a acquis, par l'épaississement de l'écran cortical qui atténue les émanations ordinaires des profondeurs, une influence prépondérante sur le régime de la surface. D'innombrables phénomènes, caractérisés par la faiblesse relative des causes qui les déterminent, se sont déclarés, dont les produits ne résisteraient pas aux influences énergiques des conditions précédentes.

Tout un régime nouveau de circulations a pris naissance et le nombre en a été augmenté des réactions auxquelles la surface planétaire est appelée à participer directement. En particulier toute la physique et toute la chimie de l'eau douce s'est accentuée et des légions de phénomènes se sont déclarés dans les ruisseaux et les rivières, dans les étangs et dans les lacs, dans les glaciers et dans l'épaisseur des roches poreuses et des roches fissurées.

**Intervention de la force biologique.** — C'est dans cette série que vont se réaliser les conditions favorables à l'entrée en œuvre de la force biologique.

D'où vient-elle ?

Nous ne le savons pas moins que l'origine de la force cristallogénique.

Par quels mécanismes va-t-elle organiser la matière en végétaux et en animaux ?

N'en sachant rien, nous ne l'ignorons pas plus que la cause de la cristallisation.

Et c'est ici que l'on comprendra l'utilité, à notre point de vue spécial, des détails que nous donnions tout à l'heure sur la force cristallogénique : la comparaison de celle-ci à la force biologique va nous rendre moins impossible, non pas la compréhension, mais l'acceptation des phénomènes de la vie, en leur fournissant un analogue,

quelque éloigné qu'il soit. Nous sommes donc en présence de deux entités dynamiques : la force physique et la force biologique qui, malgré d'essentielles différences, paraissent avoir de grandes analogies dans leurs relations avec la matière.

La force cristallogénique, comme nous l'appelions tout à l'heure, n'est qu'une forme de la force physique, laquelle se signale par sa facilité à se présenter sous les dehors très divers de chaleur, de lumière, d'électricité, d'attraction moléculaire, d'affinité chimique.

La force biologique n'a pas jusqu'ici montré un protéisme comparable, et moins encore une aptitude à se transformer en force physique ou à dériver d'elle. Mais son allure n'est pas si éloignée qu'on pourrait croire de l'allure de la force cristallogénique. De même que tout à l'heure nous voyions celle-ci déterminer des minéraux différents dans les différentes localités favorables, de même la force biologique provoque les associations matérielles en germes divers, d'après les conditions locales du milieu où elle opère, et nous la voyons, comme la force cristallogénique, augmenter avec le temps, le nombre et la variété de ses produits, les faunes et les flores s'ajoutant les unes aux autres au cours des périodes géologiques. De même qu'il n'y a eu lors de la croûte initiale solide que des minéraux à allure de givre et plus tard (à la surface) les minéraux volcaniques, puis les minéraux métamorphiques, puis les minéraux filoniens, puis les minéraux sédimentaires— de même, après une faune, dont les termes supérieurs étaient le crustacé (trilobite) et le mollusque céphalopode (orthocère) nous en voyons où s'ajoutent : le poisson hétérocerque (*Onchus*), puis le batracien (*Archegosaurus*) puis le reptile (*Ichthyosaurus*), puis l'oiseau (*Hesperornis*), enfin le mammifère... Et le perfectionnement organique, pas plus que le perfectionnement

minéralogique, n'abroge les types inférieurs qui continuent à avoir des représentants.

**Réflexion sur les centres dynamiques.** — La notion ainsi procurée de centres dynamiques restant longtemps sans emploi et se manifestant brusquement par des produits très spéciaux au moment précis où les conditions du milieu leur sont favorables, est certainement féconde, et tout indique qu'elle nous éclaire sur le fait même de l'apparition à la surface de la Terre, des premiers êtres vivants, et même sur celui de l'apparition des animaux et des plantes qui ont succédé à la première flore et à la première faune.

Pour la manifestation des « organismes cristallins », il a suffi d'un abaissement convenable de la température superficielle. Dans le domaine biologique, il a suffi de même, des conditions, qu'on peut appeler physiologiques mais qui correspondent aux conditions purement physiques de tout à l'heure, pour que l'éclosion de la vie donnât un pendant à l'éclosion de la cristallinité. Subitement, les entités dynamiques, homologues de la force cristallogénique, mais relatives aux agencements physiologiques, sont sorties de leur inertie, et elles ont produit des êtres vivants comme les centres d'activité cristalline ont produit les minéraux.

En y regardant de plus près, on trouve qu'il existe dans ce cas, — et malgré des différences aussi profondes qu'elles sont nécessaires, — une correspondance très éloquent. De même qu'au cours des temps, les différentes catégories de minéraux se sont succédé sur un même point de la surface planétaire, la série des époques géologiques fait apparaître des formes de plantes et des formes d'animaux, et il en résulte, dans un cas comme dans l'autre, la notion de l'entrée en activité, les uns après les autres, des

centres d'activité mentionnés tout à l'heure. Ce rapprochement qu'il ne faudrait pas pousser trop loin, sous peine d'aborder des chapitres invérifiables, conduit à une remarquable conclusion : l'inutilité probable de toute matière figurée, ou germe, antérieure à la manifestation biologique. En effet, il serait contradictoire de vouloir donner un support solide à la force cristallogénique, puisque nous devons la considérer comme antérieure à la perte par la matière terrestre de sa fluidité initiale. En suivant notre comparaison, il nous faut donc imaginer, pour le phénomène biologique, des centres d'activité à la constitution desquels la *matière* ne prend aucune part. Dès lors, la question de l'apparition de la vie sur la planète se trouve affranchie de la nécessité de faire traverser, à des espaces célestes, de fines particules matérielles. Etant exclusivement dynamique, comme l'énergie cristallogénique, l'énergie biologique pourrait se transmettre d'un astre à un autre comme font la lumière, la chaleur ou l'électricité.

---

## CONCLUSION

---

Le moment est venu de tirer de nos études les conclusions qu'elles comportent. La première à laquelle nous soyons parvenus et qui ne manque pas d'un certain imprévu, c'est que l'intervention dans le concert naturel des produits de la force biologique a profondément changé l'économie du milieu planétaire. Au point de vue absolu de la variété et de la complexité des actions dont le globe est le siège, la Géologie tout entière se divise en deux parties symétriques, l'une antérieure, l'autre postérieure au phénomène vital. La première a duré vraisemblablement un temps incomparablement plus long que celui qui marque aujourd'hui l'âge de la seconde, et les étapes qu'on y distingue fatalement se rapportent à des durées telles que leur comparaison avec les périodes sédimentaires n'a aucun sens. A peu près comme sont incommensurables avec les durées humaines les durées des périodes géologiques.

Nous avons vu avec un certain détail comment le déploiement de la vie a déterminé la production de masses rocheuses sans analogues antérieurs, par l'exercice d'une chimie qui n'aurait trouvé aucune place en présence des seules substances minérales et qui même le plus souvent aurait rencontré des circonstances surtout défavorables à ses manifestations.

Peut-être la forme la plus tangible des résultats ainsi réalisés se dégagera-t-elle du tableau très rapide des altérations qu'ont éprouvées les différentes fonctions géologiques de la planète, en conséquence de l'état de choses nouveau. Passons-les donc en revue, en laissant de côté, bien entendu, la fonction corticale relative seulement aux réactions de la contraction nucléaire sur la croûte terrestre, l'histoire des montagnes n'ayant éprouvé aucune modification du genre de celles qui nous occupent <sup>1</sup>.

Déjà pour la fonction volcanique, nous sommes bien assurés que la composition de certains de ses produits a été influencée par l'existence des substances organiques. Nous savons que dans le plus grand nombre de cas les laves résultent du recuit de dépôts sédimentaires. Ceux-ci imprégnés parfois des dérivés des fossiles admettant dans leur série des couches de combustibles végétaux ou même animaux, ont nécessairement collaboré à la constitution du principe élastique incorporé dans la roche fondue et qui lui donnent la faculté foisonnante, en ajoutant à l'eau la longue série des gaz hydrocarbonés, ammoniacaux, hydro-sulfurés.

Une observation toute pareille concerne le travail accompli par les eaux d'imprégnation et de circulation profonde, c'est-à-dire la fonction bathydrique. Les roches sédimentaires étant imprégnées de produits organiques, les eaux qui les ont baignées ont amené au contact des éléments minéraux des agents incomparables de réduction et d'autres modifications chimiques. Bien souvent les métaux ont été capturés sous la forme de veinules et plus souvent de filons-couches ou de couches métallifères, par des niveaux à fossiles. Le célèbre gisement de cuivre exploité en Thuringe est à mentionner, en face

1. V. la *Géologie générale*, 2<sup>e</sup> édit., in-8<sup>o</sup>, 1909, Paris.

des dépôts calaminaires dont l'origine se rattache à la précipitation des solutions métalliques par les roches calcaires, — les roches biogènes par excellence. C'est à côté des amas de marcasite et de pyrite contenus dans les craies et les argiles, qu'il faut mentionner les concrétions phosphatées, depuis les coquins des Ardennes jusqu'aux masses agatoïdes du Quercy, en passant par les sables de Beauval, d'Hardivilliers et de Cibly.

La fonction épipolhydrique a été modifiée dans son ensemble et dans ses résultats, par l'influence décisive des végétaux qui, réunis en forêts, déterminent une distribution toute nouvelle des pluies et, comme contraste avec leur fonction précipitante, deviennent des agents incomparables d'évaporation. De larges régions marécageuses ont été complètement asséchées par l'intervention des eucalyptus. Les plantes ont de même modifié la manière d'agir de l'acide carbonique atmosphérique, et nous n'avons pas à revenir sur leur rôle de désagrégation des roches où, collaborateurs des agents normaux de l'intempérisme, les organismes donnent aux produits de l'érosion des qualités absolument nouvelles. C'est aussi comme un changement très considérable apporté dans le régime des eaux superficielles, qu'il faut citer l'efficacité des végétaux tourbeux pour barrer des rivières et pour en déplacer les méandres. Les mêmes agents combent des lacs et les transforment peu à peu en terre ferme. Par leur fait, la carte hydrographique de maintes régions subit des changements continus. Enfin, rappelons le rôle des animaux fouisseurs pour faire varier la porosité de couches au travers desquelles les eaux d'infiltration, parce qu'il existe des fourmis ou des vers de terre, se comportent d'une manière spéciale.

Pour la fonction océanique, notons d'abord la modification générale de l'eau de mer qui la rend apte, sans

chercher ailleurs, à la réalisation de réactions interdites à la mer inorganique. Le développement des récifs madréporiques, en changeant la forme des côtes, apporte les transformations les plus intenses dans l'allure des courants océaniques.

Sans le barrage qui rétrécit le détroit de Bahama, et qui est dû à l'énorme développement des constructions coralliaires, la trajectoire du gulf-stream serait nettement différente : c'est à l'intervention des organismes que la côte occidentale d'Europe, et la France en particulier, doivent leur température relativement si douce et si différente de celle qu'indiquerait la valeur de leurs latitudes. Le travail d'érosion réalisé par la mer est, dans tant de circonstances modifié et activé par le travail incessant des animaux lithophages, que ceux-ci méritent d'être considérés comme des collaborateurs des flots.

La fonction glaciaire reçoit en bien des cas une allure spéciale de la présence des végétaux. Les forêts opposent au glissement de la neige une résistance permettant le maintien de roches qui autrement seraient désagrégées bien plus rapidement. On sait la sévérité, allant jusqu'à la peine de mort, des lois édictées il n'y a pas encore bien longtemps, dans nos régions alpestres, contre l'abattage des sapins.

La fonction éolienne compose à chaque instant avec l'influence des forêts. On connaît l'efficacité d'innombrables plantes, depuis les pins majestueux jusqu'aux humbles carex pour arrêter la progression des dunes. C'est peut-être la forme la plus immédiatement visible d'une série de phénomènes qui ont certainement modifié beaucoup la météorologie. Parmi les conquêtes qu'on est en droit d'attendre d'elle, l'aviation nous a fait déjà pressentir des circonstances capitales de la circulation atmosphérique. Retenons-en seulement ici que le régime géné-

ral de l'air est essentiellement différent au-dessus des forêts et au-dessus des régions dénudées. On peut avoir une idée de l'influence capitale du végétal à ce point de vue, par la constatation dans une région donnée, des conséquences inévitables de sa disparition. Aux Etats-Unis, on s'accorde à reconnaître que le défrichement a modifié le climat ; les hivers sont moins rudes et les étés moins chauds. « L'ancienne France, comparée à la France actuelle, dit Arago <sup>1</sup>, nous offrirait une étendue de forêts incomparablement plus grande ; des montagnes presque toutes boisées, des lacs intérieurs, des étangs, des marécages sans nombre, des rivières dont aucune digue artificielle n'empêchait le débordement ; d'immenses terrains que les instruments aratoires ne sillonnaient jamais. Le déboisement, la disparition à peu près complète des eaux stagnantes, le défrichement de vastes plaines, telles sont les principales modifications que le sol de la France a subies en quelques centaines d'années. »

Ce tableau ne serait pas complet si nous ne constatons la part que l'Homme, grâce à la possession et à la mise en œuvre de sa puissance intellectuelle, ajoutée aux ressources physiologiques qu'il partage avec les animaux, a pu réaliser dans le milieu terrestre. « L'isthme de Suez ouvert ; le Mont-Cenis percé ; en Californie des montagnes nivelées par des chercheurs d'or ; partout d'immenses remblais opérés ; la Hollande conquise sur les flots, la mer de Harlem desséchée ; le dessèchement des étangs et des lacs ; l'immersion des terres basses ; la création de lacs artificiels au moyen de barrages ; l'endiguement des fleuves et des rivières, le creusement des canaux ; le forage des puits ; l'irrigation et le drainage ; le colmatage qui détourne au profit des terres de limon fertilisant

1. *Œuvres de François Arago*, VIII, 235, 17 vol. in-8, Paris, 1854 à 1860.

que les cours d'eau portent à la mer ; la fixation des dunes ; les cavernes ouvertes par l'exploitation des carrières ; l'emploi de combustibles minéraux versant dans l'atmosphère et restituant au cycle de la vie organique des dépôts de force immobilisées dans les profondeurs du sol : ce sont là quelques travaux ayant un caractère géologique très marqué, puisque les agents physiques et chimiques qui ont donné à la Terre son relief actuel en ont fait et en font encore aujourd'hui de pareils... Notons que ces choses ne sont encore que des œuvres d'apprenti, l'homme ne s'étant que récemment mis à l'école de la Science. Cependant, elles n'auraient besoin aujourd'hui que d'être amplifiées, et la civilisation leur procurera cet agrandissement par le seul fait de sa durée, pour prendre rang, par la multiplicité et l'importance de leurs conséquences, parmi les œuvres principales de la Nature. Chacune des opérations précitées a en effet pour résultat, parfois indirect, souvent imprévu, toujours assuré, de modifier en quelque chose les caractères physiques de la région où elles s'exécutent. Par elles, l'Homme a appris, ce dont il était loin de se douter, qu'il peut avoir une action modificatrice sur les vents, sur les météores aqueux, sur la température de l'air, et de proche en proche, sur tous les éléments climatologiques ; ou, d'une façon générale sur les conditions biologiques de la surface terrestre. Par l'acquisition et par l'exercice systématique de ce pouvoir, il peut exercer sur sa destinée et sur celle des êtres dont l'existence est associée à la sienne, une influence à la longue tout aussi considérable que celle qu'ont eue sur son passé les agents géologiques qui ont constitué le milieu dans lequel il a vécu<sup>1</sup>. » En résumé, on peut en présence de toutes ces modifications recon-

1. *Le Ciel géologique* par Stanislas Meunier, p. 474, 4 vol. in-8°, Paris, 1871.

naître que le milieu général, jusque-là exclusivement minéral, s'est véritablement *adapté* aux exigences de la vie organique.

C'est vraiment sans le vouloir, que nous nous sommes trouvés en présence de ce résultat qui nous a paru avant tout présenter un contraste véritablement troublant avec la doctrine généralement acceptée et d'après laquelle des changements successifs de l'ambiance, dérivant d'ailleurs de causes méconnues, auraient déterminé des modifications de plus en plus accentuées parmi les animaux et parmi les végétaux. Malgré toute notre attention, nous n'avons rien vu de pareil ni même d'analogue.

Allant plus loin, nous devons même constater que l'observation des faits nous a invinciblement conduits à cette seconde conclusion que depuis l'installation de l'activité biologique à la surface du globe, des conditions générales de celui-ci semblent s'être maintenues rigoureusement constantes. Les renseignements anatomiques parfois si précis fournis par des fossiles exceptionnellement bien conservés malgré leur âge qui a pu remonter aux périodes les plus reculées, ont démontré que la physiologie des anciennes flores et des anciennes faunes ne diffère par aucun caractère saillant de la physiologie à laquelle sont soumis comme nous-mêmes, les plantes et les animaux qui nous entourent.

L'air, la mer, les conditions continentales une fois transformés par l'installation des êtres vivants, sont restées rigoureusement les mêmes, sauf en ce qui concerne l'établissement de très secondaires particularités dans la distribution de la température superficielle d'où sont résultées l'apparition et la mobilité des climats. C'est ce que nous avons résumé en constatant qu'un trilobite silurien s'accommoderait parfaitement des conditions de nos océans tropicaux et qu'inversement les nautilus de

nos mers chaudes auraient été satisfaits des ressources procurées par les ondes siluriennes.

La constance de l'ambiance au travers des temps, qu'il n'y a vraiment aucun moyen de contester et qui résulte sans hésitation de toutes les comparaisons ; qui pour tout fixer en un mot s'oppose à la supposition d'aucune faune ou d'aucune flore, aussi ancienne qu'on voudra qui exigeraient des conditions qui ne sont plus réalisées ; — cette constance, constituée à elle seule l'objection la plus décisive contre toute doctrine transformiste s'appuyant sur une modification du milieu.

Comme il n'en reste pas moins établi que des formes spécifiques innombrables se sont succédé durant les périodes géologiques à la fois chez les animaux et chez les végétaux ; il faut bien consentir à attribuer aux « espèces » une personnalité comparable à celle dont jouit chaque individu dans une génération humaine. L'observation directe a fait voir avec certitude qu'une espèce naît comme un individu, se développe jusqu'à un certain maximum puis se restreint progressivement et disparaît sans qu'on puisse rien trouver qui explique sa suppression sinon que, comme l'individu (malgré l'échelle différente du phénomène) elle a épuisé la quantité de « force vive » dont elle avait été pourvue à son origine.

Et comment concilier cette nouvelle acquisition, tout aussi imprévue que les précédentes, sans consentir à reconnaître du même coup, que la notion de faune et de flore ne repose sur aucune notion objective ? Sans revenir sur nos comparaisons à cet égard, bornons-nous à rappeler qu'il faut, malgré tout manque de précision continuer à recourir comme moyen de définir les époques successives, aux formes caractéristiques de chaque niveau stratigraphique, mais en se gardant bien de leur attribuer la signification absolue qu'elles ont paru comporter.

Dans cette direction, l'observation géologique procure des données qui contrarient bien des suppositions gratuites, enfantées par l'imagination sans contrôle. Du nombre est celle qui a trait aux variations qui peuvent séparer des individus de même espèce, et dans lesquelles il a paru séduisant de voir les débuts d'une désarticulation spontanée d'où résulteraient peu à peu la constitution d'espèces nouvelles. A cet égard ce qui frappe d'abord c'est la grande différence d'une espèce à l'autre au point de vue de la plasticité : *Voluta spinosa* de Grignon s'est montrée aussi rigoureusement semblable à elle-même dans ses divers individus que son compagnon stratigraphique *Fusus bulbiformis* s'est révélé comme variable dans des limites relativement larges. Cependant pas plus celui-ci que la précédente ne nous a laissé voir son passage à quelque espèce différente.

A cet égard il faut bien enregistrer ici la faute de raisonnement dont on a été parfois victime en conséquence du succès des pratiques zootechniques ou culturales qui nous ont procuré tant de bêtes et tant d'animaux qui constituent notre création à nous, qu'il nous est loisible de mettre en pendant avec les séries zoologiques et botaniques de la nature.

Combien de fois n'a-t-on pas dit avec toutes les apparences du bon sens que si le pauvre petit éleveur, avec ses moyens si restreints, arrive par sélection à isoler et à fixer toutes les variétés de plantes et de bêtes qui font notre orgueil en même temps que notre richesse, — à quels incomparables résultats la Nature majestueuse ne doit-elle pas parvenir avec ses ressources illimitées ? Et de là la doctrine de la sélection naturelle. Mais nous n'avons même pas eu à nous arrêter à considérer ce sujet : tant il est de connaissance universelle, qu'en présence de la moindre velléité de variation, comme il s'en présente de temps en

temps, le mécanisme spontané a pour conséquence inmanquable de faire rentrer dans la moyenne toute tendance au moindre écart.

Ce que met avant tout en évidence cette discipline si soigneusement imposée à toute la création, c'est la liaison antérieure de chaque être avec les conditions du milieu dans lequel il est destiné à réaliser sa fonction et en vue exclusive duquel il a été construit. Cette harmonie n'est que la traduction biologique de l'harmonie qui existe, sans aucune exception, entre toutes les autres parties du mécanisme planétaire. On se demande parfois avec surprise comment on a pu être amené à ces suppositions, si singulières parce qu'elles sont si franchement contradictoires avec les données les plus visibles de l'équilibre général du monde, et qui ne vont à rien moins qu'à la nécessité pour chaque animal ou pour chaque plante, de s'arranger le moins mal possible du milieu au sein duquel il aurait été jeté par une imprévoyante puissance créatrice et, pour ce faire (usant d'ailleurs de ressources dont rien ne justifie la supposition), modifiant de fond en comble son anatomie et sa physiologie — tout en restant obéissant, sans qu'on voie pourquoi, aux grandes lignes d'un plan général.

Sans doute l'un des caractères les plus saillants du genre d'études qui viennent de nous occuper c'est précisément la mise en lumière de l'harmonie souveraine, — indifférente au sort des individus, mais infiniment soucieuse de la réalisation du but général, — qui domine toute l'histoire de l'Univers physique. Et on ne s'étonnera jamais assez de la méconnaissance qu'en avait professée même dans les chapitres les plus fondamentaux, les grands esprits dont l'humanité s'honore le plus. Michelet peut être accepté comme personnifiant cette manière de voir suivant laquelle des fautes d'équilibre dominant le méca-

nisme naturel. C'est lui peut-être qui, de la façon la plus homérique, a décrit les soi-disant gaspillages dont le monde est le théâtre ; c'est lui qui après avoir assuré que la prolifération du hareng met l'existence même du monde en question, montre la nature appelant à son aide le requin dévorateur et pondérateur.

Il eût été curieux de voir comment le grand Historien eût accueilli la remarque que la consommation ininterrompue à laquelle nous nous livrons d'innombrables grains de blé détournés de la fonction de continuer l'espèce *Triticum sativum* par l'entreprise criminelle du meunier et du boulanger, constitue un gaspillage identique à celui de la consommation des œufs de harengs dans le sein des Océans.

La base de l'économie naturelle et de la durée harmonique des choses, c'est la consommation sans arrêt des formes organiques les unes par les autres. Les incidents qui en compliquent la réalisation ne prennent jamais cette forme de « lutte pour la vie » dont l'incertain succès dans un sens ou dans l'autre modifierait si gravement la marche impassible des phénomènes. Au résumé, par le concert des actions simultanées le résultat est toujours exactement le même. Chaque forme organique a joué sa partie dans le grand chœur de la nature et la marche de l'évolution générale est assurée grâce à la persistance de l'état d'équilibre mobile indispensable.

On pourrait éprouver quelque scrupule à s'arrêter à des conclusions qui, dans toutes leurs parties, sont à l'opposé du *consensus* universel des naturalistes. Mais on se rassure vite en se rappelant la facilité imprévue avec laquelle l'unanimité des savants a professé à diverses reprises des vues générales dont l'inexactitude a ensuite été reconnue sans retour. Sans en citer d'autres exemples, telles ont été la doctrine des Révolutions du globe et la

théorie du Réseau pentagonal, dont la célébrité nous dispense d'augmenter le nombre.

Et pour terminer, reconnaissons que l'observation la plus attentive et la plus impartiale des faits ne nous conduit pas à une théorie générale nous fournissant la solution du grand problème des origines qui a toujours passionné l'humanité. En nous résignant à l'incertitude à laquelle nous sommes condamnés, nous avons du moins la consolation d'admirer, dans l'ensemble du monde planétaire, un système d'harmonies bien faites pour nous rassurer sur la finalité des choses et des êtres.

---

## TABLE DES MATIÈRES

---

AVANT-PROPOS . . . . .	I
------------------------	---

### CHAPITRE PREMIER

#### CARACTÈRES GÉNÉRAUX DES TRAVAUX D'ORIGINE ORGANIQUE A L'ÉPOQUE ACTUELLE. . . . . 4

Le calcaire et les organismes . . . . .	7
La silice et les organismes . . . . .	12
L'alumine et les organismes . . . . .	17
Le fer et le manganèse . . . . .	18
Le soufre . . . . .	21
Le carbone et la chlorophylle . . . . .	27
Remarque sur quelques minéraux actuels d'origine organique des houillères embrasées . . . . .	29
Le phosphore et les organismes . . . . .	31
L'azote et les organismes . . . . .	34
L'écume de mer et l'albumine . . . . .	38

### CHAPITRE II

#### GISEMENTS ACTUELS DE LA VIE . . . . . 41

L'hydrosphère . . . . .	43
L'hydroplankton . . . . .	44
L'hydronecton . . . . .	46
L'hydrobenthon . . . . .	47
L'hydrosphère lacustre . . . . .	53
L'atmosphère . . . . .	58
L'atmoplankton . . . . .	58
L'atmonecton . . . . .	60
L'atmobenthon . . . . .	62
La zoésphère . . . . .	67
Le zoéplankton . . . . .	68
Le zoénecton . . . . .	69
Le zoébenthon . . . . .	69
Liaisons réciproques des trois milieux biologiques . . . . .	73
Conséquence générale de l'ubiquité de la vie . . . . .	81

## CHAPITRE III

<b>GISEMENT DE LA VIE AUX ÉPOQUES PASSÉES. . . . .</b>	<b>82</b>
Les faciès géologiques . . . . .	82
L'hydrosphère fossile. . . . .	84
L'hydroplankton fossile . . . . .	84
Les boues à foraminifères. . . . .	87
Les boues à diatomées. . . . .	87
Les boues à ptéropores. . . . .	88
L'hydronecton fossile. . . . .	89
L'hydrobenthon fossile . . . . .	91
L'atmosphère fossile . . . . .	97
L'atmoplankton fossile . . . . .	99
L'atmonecton fossile . . . . .	99
L'atmobenthon fossile. . . . .	101
La zoésphère fossile. . . . .	101
Le zoéplankton fossile . . . . .	102
Le zoénecton fossile . . . . .	104
Le zoébenthon fossile . . . . .	106
Matières carbonées et azotées d'origine animale. . . . .	110

## CHAPITRE IV

<b>LA FONCTION BIOLOGIQUE DANS LA GÉOLOGIE ACTUELLE . . . . .</b>	<b>116</b>
L'édification biologique des roches . . . . .	118
Roches de charriage . . . . .	118
Sables de foraminifères, etc. . . . .	121
Roches d'accumulation animale : Récifs madréporiques . . . . .	123
Roches d'accumulation végétale. Tufs et travertins. . . . .	125
Les tourbes . . . . .	132
Fermentation tourbeuse. . . . .	137
Les cyprières . . . . .	141
Les mangroves. . . . .	142
L'érosion biologique . . . . .	143
Animaux fouisseurs et animaux lithophages . . . . .	143
Activité érosive des microbes. . . . .	148
Végétaux fouisseurs . . . . .	149
Activité chimique des racines. . . . .	150

## CHAPITRE V

<b>LA FONCTION BIOLOGIQUE AU COURS DES TEMPS SÉDIMENTAIRES. . . . .</b>	<b>157</b>
Parallèle entre l'époque actuelle et une époque passée. . . . .	157
L'édification biologique des roches . . . . .	159

Roches calcaires . . . . .	160
Calcaires d'accumulation . . . . .	160
Calcaires de charriage horizontal . . . . .	163
Calcaires de charriage vertical . . . . .	167
Roches siliceuses . . . . .	167
Roches siliceuses de charriage horizontal . . . . .	167
Roches siliceuses de charriage vertical . . . . .	169
Roches phosphatées. . . . .	171
Les bone-beds . . . . .	171
Roches sulfureuses et roches métalliques . . . . .	177
Roches gypseuses. . . . .	179
Roches sulfurifères . . . . .	179
Roches charbonneuses . . . . .	181
Roches charbonneuses végétales de charriage horizontal . . . . .	184
Roches charbonneuses végétales de charriage vertical . . . . .	186
Roches charbonneuses d'imprégnation . . . . .	187
L'érosion biologique aux époques passées. . . . .	189

## CHAPITRE VI

## CONTINUITÉ DU PHÉNOMÈNE BIOLOGIQUE . . . . . 195

La continuité océanique. . . . .	201
Les récifs coralligènes . . . . .	201
Les boues à protozoaires et les boues à protophytes. . . . .	211
Remarques sur quelques autres types d'organismes. . . . .	214
La continuité atmosphérique . . . . .	219
Les houillères. . . . .	224
Comparaison des tourbières aux gîtes de lignites. . . . .	228
Rôle du métamorphisme dans la houillification. . . . .	232
Passage du lignite à la houille. . . . .	233
La terre végétale . . . . .	236
Rôle de la température dans le gisement des organismes . . . . .	240
L'installation des climats . . . . .	241

## CHAPITRE VII

## LA SUCCESSION DES FAUNES ET DES FLORES. . . . . 244

1. Rappel de quelques suppositions. . . . .	244
Opinion d'Alcide d'Orbigny . . . . .	245
Vues de Lamarck et de Darwin . . . . .	246
Les enchainements du monde animal de Gaudry . . . . .	252
Conclusion de M. Oehlert . . . . .	255
2. Ce qu'enseigne l'observation géologique directe. Description de la coupe de Grignon . . . . .	256
Opinion qu'il faut se faire de l'espèce . . . . .	261
La notion de faune et de flore. . . . .	261
Allure de l'apparition des espèces. . . . .	264

Recherche d'une modification successive des espèces. . . . .	265
Ressemblance et parenté . . . . .	265
Allure de la disparition des espèces . . . . .	267
Nécessité de la complexité de la faune . . . . .	268
Inégale durée des espèces contemporaines . . . . .	268
Variabilité de certaines espèces et fixité de certaines autres espèces comparables et placées dans les mêmes conditions.	270
3. Le perfectionnement organique. . . . .	271
Epoque de suprématie des céphalopodes et des poissons. . . . .	272
Epoque de suprématie des batraciens. . . . .	273
Epoque de suprématie des reptiles. . . . .	273
Epoque de suprématie des mammifères . . . . .	276
Régression successive des types après leur moment de supré- matie. . . . .	276

## CHAPITRE VIII

## L'APPARITION DE LA VIE . . . . . 279

Recherche du mécanisme de l'apparition de la Vie . . . . .	280
Opinion hétérogène. . . . .	280
Supposition d'une origine cosmique de germes. . . . .	281
Recours à la méthode d'observation. . . . .	283
Faune première de Barrande. . . . .	284
Recherche de l'époque d'apparition de la Vie . . . . .	285
Le précambrien de la Finlande méridionale . . . . .	286
Impossibilité d'une faune exclusivement microbienne. . . . .	287
Les coralliaires précambriens des Etats-Unis. . . . .	288
Etat de conservation d'anciennes faunes . . . . .	290
Résistance d'anciens vestiges fossiles à la destruction. . . . .	290
Recherche de la localité d'apparition de la Vie . . . . .	293
Place de l'apparition de la vie dans l'évolution terrestre . . . . .	301
Intervention successive des forces physiques . . . . .	302
Intervention de la force cristallogénique . . . . .	302
Intervention de l'eau superficielle . . . . .	307
Intervention de la force biologique . . . . .	309
Réflexion sur les centres dynamiques . . . . .	311
CONCLUSIONS . . . . .	313

# BIBLIOTHÈQUE SCIENTIFIQUE

## INTERNATIONALE

VOLUMES IN-8, CARTONNÉS A L'ANGLAISE ; OUVRAGES A 6, 9 ET 12 FRANCS.

### Derniers volumes publiés :

- DUBOIS (R.), professeur à l'Université de Lyon, directeur du laboratoire de Tamaris-sur-mer. **La vie et la lumière.** 1 vol. in-8, avec 46 fig. . . . . . 6 fr.
- LANESSAN (J.-L. de), professeur agrégé d'histoire naturelle à la Faculté de médecine de Paris, ancien ministre. **Transformisme et créationisme. Contribution à l'histoire du transformisme depuis l'antiquité jusqu'à nos jours.** 1 vol. in-8 . . . . . 6 fr.
- CRESSON (A.), docteur ès lettres, professeur au collège Chaptal. **L'espèce et son serviteur (sexualité, moralité).** 1 vol. in-8, avec 42 gravures . . . . . 6 fr.
- PEARSON (K.), professeur au Collège de l'Université de Londres. **La grammaire de la science (La physique).** Traduit de l'anglais par Lucien MARCH. 1 vol. in-8 . . . . . 9 fr.

### PRÉCÉDEMMENT PUBLIÉS :

- ANDRADE (J.), professeur à la Faculté des sciences de Besançon. **Le mouvement. Mesures de l'étendue et mesures du temps.** 1 vol. in-8, avec 46 fig. dans le texte . . . . . 6 fr.
- ANGOT (A.), directeur du Bureau météorologique. **Les aurores polaires.** 1 vol. in-8, avec figures . . . . . 6 fr.
- ARLOING, professeur à l'École de médecine de Lyon. **Les virus.** 1 vol. in-8 . . . . . 6 fr.
- BAGEHOT. **Lois scientifiques du développement des nations.** 7<sup>e</sup> édit. 1 vol. in-8 . . . . . 6 fr.
- BAIN. **L'esprit et le corps.** 7<sup>e</sup> édition. 1 vol. in-8 . . . . . 6 fr.
- **La science de l'éducation.** 12<sup>e</sup> édition. 1 vol. in-8 . . . . . 6 fr.
- BALFOUR STEWART. **La conservation de l'énergie.** avec fig. 6<sup>e</sup> édit. 1 vol. in-8 . . . . . 6 fr.
- BERNSTEIN. **Les sens.** 5<sup>e</sup> édition. 1 vol. in-8, avec 91 figures. . . . . 6 fr.
- BERTHELOT, de l'Institut. **La synthèse chimique.** 8<sup>e</sup> édition. 1 vol. in-8 . . . . . 6 fr.
- **La révolution chimique, Lavoisier.** 2<sup>e</sup> édition. 1 vol. in-8. . . . . 6 fr.
- BINET. **Les altérations de la personnalité.** 2<sup>e</sup> édition. 1 vol. in-8 . . . . . 6 fr.
- BINET et FÈRE. **Le magnétisme animal.** 5<sup>e</sup> édition. 1 vol. in-8 . . . . . 6 fr.
- BOURDEAU (L.). **Histoire de l'habillement et de la parure.** 1 vol. in-8 . . . . . 6 fr.
- BRUNACHE (P.). **Le centre de l'Afrique. Autour du Tchad.** 4 vol. in-8, avec figures . . . . . 6 fr.
- CANDOLLE (de). **L'origine des plantes cultivées.** 4<sup>e</sup> édition. 1 vol. in-8 . . . . . 6 fr.
- CARTAILHAC (E.). **La France préhistorique, d'après les sépultures et les monuments.** 2<sup>e</sup> édition. 1 vol. in-8, avec 162 figures. . . . . 6 fr.
- CHARLTON BASTIAN. **L'évolution de la vie.** 1 vol. in-8, avec fig. et pl. . . . . 6 fr.
- COLAJANNI (N.). **Latins et Anglo-Saxons.** 1 vol. in-8 . . . . . 6 fr.
- CONSTANTIN (Cap<sup>n</sup>). **Le rôle sociologique de la guerre et le sentiment national.** Suivi de la traduction de *La Guerre, moyen de sélection collective*, par le D<sup>r</sup> STEINMETZ. In-8. . . . . 6 fr.
- COOKE et BERKELEY. **Les champignons.** 4<sup>e</sup> édition. 1 vol. in-8, avec figures . . . . . 6 fr.
- COSTANTIN (J.), de l'Institut. **Les végétaux et les milieux cosmiques (adaptation, évolution).** 1 vol. in-8, avec 171 gravures . . . . . 6 fr.
- **La nature tropicale.** 1 vol. in-8 avec gravures . . . . . 6 fr.
- **Le transformisme appliqué à l'agriculture.** 1 vol. in-8 avec 105 gravures . . . . . 6 fr.
- GUENOT (L.), professeur à la Faculté des sciences de Nancy. **La genèse des espèces animales.** 1 vol. in-8, avec 123 grav. dans le texte (*Couronné par l'Académie des Sciences.*) 12 fr.
- CYON (E. de). **L'oreille, organe d'orientation dans le temps et dans l'espace.** 1 vol. in-8 avec 45 grav. dans le texte, 3 planches hors texte et un portrait de Flourens . . . . . 6 fr.
- DAUBREE, de l'Institut. **Les régions invisibles du globe et des espaces célestes.** 2<sup>e</sup> édition. 1 vol. in-8, avec 85 fig. dans le texte . . . . . 6 fr.
- DEMENY (G.). **Les bases scientifiques de l'éducation physique.** 5<sup>e</sup> éd. In-8, avec 200 gr. . . . . 6 fr.
- **Mécanisme et éducation des mouvements.** 2<sup>e</sup> édit. 1 vol. in-8, avec 565 gravures. . . . . 9 fr.
- DEMOOR, MASSART et VAN DER VELDE. **L'évolution régressive en biologie et en sociologie.** 1 vol. in-8, avec gravures . . . . . 6 fr.
- DRAPER. **Les conflits de la science et de la religion.** 12<sup>e</sup> édition. 1 vol. in-8 . . . . . 6 fr.
- DUMONT (L.). **Théorie scientifique de la sensibilité.** 4<sup>e</sup> édition. 1 vol. in-8 . . . . . 6 fr.
- GELLÉ (E.-M.). **L'audition et ses organes.** 1 vol. in-8, avec gravures . . . . . 6 fr.

GRASSET (J.), professeur à la Faculté de médecine de Montpellier. Les maladies de l'orientation et de l'équilibre. 1 vol. in-8, avec gravures . . . . .	6 fr.
GROSSE (E.). Les débuts de l'art. 4 vol. in-8, avec gravures . . . . .	6 fr.
GUIGNET et GARNIER. La céramique ancienne et moderne. 1 vol. in-8, avec grav. . . . .	6 fr.
HUXLEY. L'écrevisse. <i>Introduction à la zoologie</i> . 2 <sup>e</sup> édit. 1 vol. in-8, avec figures . . . . .	6 fr.
JAGCARD, professeur à l'Académie de Neuchâtel (Suisse). Le pétrole, le bitume et l'asphalte au point de vue géologique. 1 vol. in-8, avec figures . . . . .	6 fr.
JAVAL (E.), de l'Académie de médecine. Physiologie de la lecture et de l'écriture. 2 <sup>e</sup> édition. 1 vol. in-8, avec 96 gravures . . . . .	6 fr.
LAGRANGE (F.). Physiologie des exercices du corps. 11 <sup>e</sup> édition. 1 vol. in-8 . . . . .	6 fr.
LALOY (L.). Parasitisme et mutualisme dans la nature. Préface du professeur A. GIARD, de l'Institut. 1 vol. in-8, avec 82 gravures . . . . .	6 fr.
LANESSAN (de). Principes de colonisation. 1 vol. in-8 . . . . .	6 fr.
LE DANTEC, chargé de cours à la Sorbonne. Théorie nouvelle de la vie. 5 <sup>e</sup> édition. 1 vol. in-8 avec figures . . . . .	6 fr.
— Évolution individuelle et hérédité. <i>Théorie de la variation quantitative</i> . 2 <sup>e</sup> édit., 1 vol. in-8 . . . . .	6 fr.
— Les lois naturelles. 2 <sup>e</sup> édit. 1 vol. in-8, avec gravures . . . . .	6 fr.
— La stabilité de la vie. <i>Étude énergétique de l'évolution des espèces</i> . 1 vol. in-8 . . . . .	6 fr.
LOEB, professeur à l'Université Berkeley. La dynamique des phénomènes de la vie. Traduit par MM. DAUDIN et SCHARFFER. 1 vol. in-8 avec figures . . . . .	9 fr.
LUBBOCK (Sir John). Les sens et l'instinct chez les animaux, principalement chez les Insectes. 1 vol. in-8, avec 150 figures . . . . .	6 fr.
MALMEJAC (F.). L'eau dans l'alimentation. 1 vol. in-8, avec figures . . . . .	6 fr.
MEUNIER (Stan.) prof. au Muséum. La géologie comparée. 2 <sup>e</sup> édit. 1 vol. in-8, avec gravures . . . . .	6 fr.
— La géologie générale. 2 <sup>e</sup> édit. 1 vol. in-8, avec gravures . . . . .	6 fr.
— La géologie expérimentale. 2 <sup>e</sup> édit. 1 vol. in-8, avec gravures . . . . .	6 fr.
MEYER (de). Les organes de la parole et leur emploi pour la formation des sons du langage. 1 vol. in-8, avec 51 gravures . . . . .	6 fr.
MORTILLET (G. de). Formation de la nation française. 2 <sup>e</sup> édit. 1 vol. in-8, avec 150 gravures et 18 cartes . . . . .	6 fr.
NIEWENGLOWSKI (H.). La photographie et la photochimie. 1 vol. in-8, avec gravures et une planche hors texte . . . . .	6 fr.
NORMAND LOCKYER. L'évolution inorganique. 1 vol. in-8 avec gravures . . . . .	6 fr.
PERRIER (Edm.), de l'Institut. La philosophie zoologique avant Darwin. 3 <sup>e</sup> édition. 1 vol. in-8 . . . . .	6 fr.
PETTIGREW. La locomotion chez les animaux, marche, natation et vol. 2 <sup>e</sup> édition. 1 vol. in-8, avec figures . . . . .	6 fr.
QUATREFAGES (de), de l'Institut. L'espèce humaine. 15 <sup>e</sup> édit. 1 vol. in-8. . . . .	6 fr.
— Darwin et ses précurseurs français. 2 <sup>e</sup> édit., refondue. 1 vol. in-8 . . . . .	6 fr.
— Les émules de Darwin. 2 vol. in-8, avec préfaces de MM. PERRIER et HAMY . . . . .	12 fr.
RICHET (Ch.), professeur à la Faculté de médecine de Paris. La chaleur animale. 1 vol. in-8, avec figures . . . . .	6 fr.
ROCHÉ (G.). La culture des mers ( <i>pisciculture, pisciculture, ostréiculture</i> ). 1 vol. in-8, avec 81 gravures . . . . .	6 fr.
ROUBINOVITCH (D <sup>r</sup> J.), médecin en chef de l'hospice de Bicêtre. Aliénés et anormaux. 1 vol. in-8, avec 63 gravures. ( <i>Couronné par l'Académie de médecine</i> ). . . . .	6 fr.
SCHMIDT (O.). Les mammifères dans leurs rapports avec leurs ancêtres géologiques. 1 vol. in-8, avec 51 figures . . . . .	6 fr.
SECCHI. Les étoiles. 3 <sup>e</sup> édition. 2 vol. in-8, avec fig. et pl. . . . .	12 fr.
SPENCER (Herbert). Les bases de la morale évolutionniste. 6 <sup>e</sup> édit. 1 vol. in-8 . . . . .	6 fr.
— Introduction à la science sociale. 14 <sup>e</sup> édition. 1 vol. in-8 . . . . .	6 fr.
STALLO. La matière et la physique moderne. 1 vol. in-8. 3 <sup>e</sup> édition . . . . .	6 fr.
STARCKE. La famille primitive. 1 vol. in-8 . . . . .	6 fr.
THURSTON (R.). Histoire de la machine à vapeur. 3 <sup>e</sup> édition. 2 vol. in-8, avec 140 figures et 16 planches hors texte . . . . .	12 fr.
TOPINARD. L'homme dans la nature. 1 vol. in-8, avec figures . . . . .	6 fr.
VAN BENEDEN. Les commensaux et les parasites dans le règne animal. 4 <sup>e</sup> édition. 1 vol. in-8, avec figures . . . . .	6 fr.
VRIES (Hugo de). Espèces et variétés. Traduction et préface par L. BLARINGHEM, chargé d'un cours à la Sorbonne. 1 vol. in-8 . . . . .	12 fr.
WURTZ, de l'Institut. La théorie atomique. 10 <sup>e</sup> édition. 1 vol. in-8 . . . . .	6 fr.

# NOUVELLE COLLECTION SCIENTIFIQUE

DIRECTEUR : ÉMILE BOREL

Sous-directeur de l'École normale supérieure, professeur à la Sorbonne

VOLUMES IN-16 A 3 FR. 50

## Derniers volumes parus :

- LCÉB (J.), professeur à l'Université de Berkeley. La conception mécanique de la vie. Trad. de l'anglais par H. MOUTON. Avec fig.
- PERCIN (Général), ancien membre du Conseil supérieur de la Guerre. Le combat. Avec cartes.
- BOREL (E.). Le hasard.
- VOLTERRA (V.), HADAMARD (J.), LANGEVIN (P.), BOUTROUX (P.). Henri Poincaré. *L'œuvre scientifique, l'œuvre philosophique.*
- MARCHIS (L.), professeur à la Faculté des sciences de Paris. Le froid industriel. Avec 104 fig.
- PAINLEVÉ (Paul), de l'Institut. BOREL (Emile) et MAURAIN, directeur de l'Institut aérotechnique de l'Université de Paris. L'aviation. 6<sup>e</sup> édition, revue et augmentée. Avec 48 fig.
- SAGERET (J.). Le système du monde. *Des Chaldéens à Newton.* Avec 20 figures.
- LEROY-BEAULIEU (Paul), membre de l'Institut, professeur au Collège de France. La question de la population. 3<sup>e</sup> édit. (*Couronné par l'Institut.*)
- PERRIN (Jean), professeur de chimie physique à la Sorbonne. Les atomes. Avec 13 figures. 5<sup>e</sup> édition, revue. (*Couronné par l'Académie des Sciences.*)
- GENTIL (L.), professeur adjoint à la Sorbonne, directeur de l'Institut scientifique de Rabat. Le Maroc physique. Avec cartes.

## Précédemment parus :

- LE DANTEC (F.), chargé du cours de biologie générale à la Sorbonne. *Éléments de philosophie biologique.* 3<sup>e</sup> édition
- BONNIER (D<sup>r</sup> P.), laryngologiste de la clinique médicale de l'Hôtel-Dieu. La voix. *Sa culture physiologique. Théorie nouvelle de la phonation.* 4<sup>e</sup> édition. Avec gravures.
- THOMAS (P.-F.), professeur au lycée Hoche. L'éducation dans la famille. *Les péchés des parents.* 4<sup>e</sup> édition (*Couronné par l'Institut.*)
- De la méthode dans les sciences (1<sup>re</sup> série) :
1. *Avant-propos*, par M. P.-F. THOMAS, docteur ès lettres, professeur de philosophie au lycée Hoche. — 2. *De la Science*, par M. EMILE PICARD, de l'Institut. — 3. *Mathématiques pures*, par M. J. TANNERY, de l'Institut. — 4. *Mathématiques appliquées*, par M. PAINLEVÉ, de l'Institut. — 5. *Physique générale*, par M. BOUASSE, professeur à la Faculté des Sciences de Toulouse. — 6. *Chimie*, par M. A. JOB, professeur au Conservatoire des Arts et Métiers. — 7. *Morphologie générale*, par M. A. GIARD, de l'Institut. — 8. *Physiologie*, par M. LE DANTEC, chargé de cours à la Sorbonne. — 9. *Sciences médicales*, par M. PIERRE DELBET, professeur à la Faculté de médecine de Paris. — 10. *Psychologie*, par M. TH. RIBOT, de l'Institut. — 11. *Sciences sociales*, par M. DURKHEIM, professeur à la Sorbonne. — 12. *Morale*, par M. LÉVY-BRUHL, professeur à la Sorbonne. — 13. *Histoire*, par M. G. MONOD, de l'Institut. 3<sup>e</sup> édition.
- De la méthode dans les sciences (2<sup>e</sup> série) :
- Avant-propos*, par EMILE BOREL. — *Astronomie, jusqu'au milieu du XVIII<sup>e</sup> siècle*, par B. BAILLAUD, de l'Institut, directeur de l'Observatoire de Paris. — *Chimie physique*, par JEAN PERRIN, professeur à la Sorbonne. — *Géologie*, par LÉON BERTRAND, professeur adjoint à la Sorbonne. — *Paléobotanique*, par R. ZEILLER, de l'Institut, professeur à l'École des Mines. — *Botanique*, par LOUIS BLARINGHEM, chargé de cours à la Sorbonne. — *Archéologie*, par SALOMON REINACH, de l'Institut. — *Histoire littéraire*, par GUSTAVE LANSON, professeur à la Sorbonne. — *Statistique*, par LUCIEN MARCH, directeur de la Statistique générale de la France. — *Linguistique*, par A. MEILLET, professeur au Collège de France. 3<sup>e</sup> édition.
- LE DANTEC (F.), chargé de cours à la Sorbonne. La Crise du transformisme. 2<sup>e</sup> édition.
- OSTWALD (W.), professeur à l'Université de Leipzig. L'énergie, traduit de l'allemand par E. PHILIPPI. 3<sup>e</sup> édition.
- MAURAIN (Ch.), professeur à la Faculté des sciences de Caen. Les états physiques de la matière. 3<sup>e</sup> édition. Avec gravures.
- DUCLAUX (J.), préparateur à l'Institut Pasteur. La chimie de la matière vivante. 3<sup>e</sup> édit.
- NIEDERLE (L.), professeur à l'Université de Prague. La race slave. Traduit du tchèque et précédé d'une préface par L. LEGER, de l'Institut. Avec carte en couleurs hors texte.
- MEUNIER (Stanislas), professeur de géologie au Muséum d'histoire naturelle. L'évolution des théories géologiques. Avec gravures.
- BUAT (E.), lieutenant-colonel d'artillerie. L'artillerie de campagne. *Son histoire, son évolution, son état actuel.* Avec 75 gravures.
- RABAUD (E.), maître de conférences à la Sorbonne. Le transformisme et l'expérience. Avec gravures.
- OSTWALD (W.), professeur à l'Université de Leipzig. L'évolution de l'électrochimie. Traduit de l'allemand par E. PHILIPPI, licencié ès sciences.
- TANNERY (J.), de l'Institut. Science et philosophie, avec une notice par E. BOREL.

## BIBLIOTHÈQUE DE PHILOSOPHIE CONTEMPORAINE

Extrait du Catalogue.

## PHILOSOPHIE SCIENTIFIQUE

- BALDWIN (J.-M.). — Le darwinisme dans les sciences morales. 1 vol. in-16. 2 fr. 50
- BARTHELEMY SAINT-HILAIRE. — La philosophie dans ses rapports avec les sciences et la religion. 1 vol. in-8. 5 fr. »
- BLOCH (Léon). — La philosophie de Newton. 1 vol. in-8. 10 fr. »
- BLONDEL (Hervé). — Les approximations de la vérité. 1 vol. in-16. 2 fr. 50
- BOEX-BOREL (J.-H. Rosny aîné). — Le pluralisme. 1 vol. in-8. 5 fr. »
- BOIRAC (E.). — L'idée de phénomène. 1 vol. in-8. 5 fr. »
- BOUCHER (M.). — Essai sur l'hyperespace, le temps, la matière et l'énergie. 2<sup>e</sup> éd. 1 vol. in-16. 2 fr. 50
- BOURDEAU (Louis). — Le problème de la mort et ses solutions imaginaires. 4<sup>e</sup> éd. 1 vol. in-8. 5 fr. »
- Le problème de la vie. 1 vol. in-8. 7 fr. 50
- BOUTROUX (Em.). — De la contingence des lois de la nature. 7<sup>e</sup> éd. 1 v. in-16. 2 fr. 50
- BRUNSCHVICG (E.). — Les étapes de la philosophie mathématique. 1 v. in 8. 10 fr. »
- COUTURAT (L.). — Les principes des mathématiques. 4 vol. in-8. 5 fr. »
- CRESSON (A.). — Les bases de la philosophie naturaliste. 1 vol. in-16. 2 fr. 50
- CYON (E. de). — Dieu et science. *Essai de psychologie des sciences*. 2<sup>e</sup> éd. 1 vol. in-8. 7 fr. 50
- DUNAN. — La théorie psychologique de l'espace. 1 vol. in-16. 2 fr. 50
- DURAND DE GROS. — Aperçus de taxinomie générale. 1 vol. in-8. 5 fr. »
- ENRIQUES (F.). — Les problèmes de la science et la logique. Traduit de l'italien par J. Dubois. 1 vol. in-8. 3 fr. 75
- ESPINAS (A.). — La philosophie expérimentale en Italie. 1 vol. in-16. 2 fr. 50
- FAIVRE (E.). — De la variabilité des espèces. 1 vol. in-16. 2 fr. 50
- FÈRE (Ch.). — Sensation et mouvement. *Etude de psycho-mécanique*. 2<sup>e</sup> éd. 1 vol. in-16, avec gravures. 2 fr. 50
- FINOT (J.). — La philosophie de la longévité. 12<sup>e</sup> éd., refondue. 1 vol. in-8. 5 fr. »
- GRASSET (J.). — Les limites de la biologie. 7<sup>e</sup> éd. 1 vol. in-16. 2 fr. 50
- GUYAU (M.). — La genèse de l'idée de temps. 2<sup>e</sup> éd. 1 vol. in-16. 2 fr. 50
- HANNEQUIN (H.). — Essai critique sur l'hypothèse des atomes dans la science contemporaine. 2<sup>e</sup> éd. 1 vol. in-8. 7 fr. 50
- Études d'histoire des sciences et d'histoire de la philosophie. 2 vol. in-8. 15 fr. »
- HARTMANN (E. de). — Le darwinisme. 9<sup>e</sup> éd. 1 vol. in-16. 2 fr. 50
- INGENIEROS (J.). — Principes de psychologie biologique. Traduit de l'espagnol par R. DELPECH. 1 vol. in-8. 7 fr. 50
- JOUSSAIN (A.). — Esquisse d'une philosophie de la nature. 1 vol. in-16. 2 fr. 50
- LALANDE (A.). — La dissolution opposée à l'évolution dans les sciences physiques et morales. 1 vol. in-8. 7 fr. 50
- LE DANTEC (F.). — Le déterminisme biologique et la personnalité consciente. 4<sup>e</sup> éd. 1 vol. in-16. 2 fr. 50
- LE DANTEC (F.). — L'individualité et l'erreur individualiste. Préface de A. GIARD. 3<sup>e</sup> éd. 1 vol. in-16. 2 fr. 50
- Lamarckiens et Darwiniens. 4<sup>e</sup> éd. 1 vol. in-16. 2 fr. 50
- L'unité dans l'être vivant. *Essai d'une biologie chimique*. 1 vol. in-8. 7 fr. 50
- Les limites du connaissable. *La vie et les phénomènes naturels*. 4<sup>e</sup> éd. 1 v. in-8. 3 fr. 75
- Le chaos et l'harmonie universelle. *Discussion de quelques théories sur la formation des espèces*. 1 vol. in-12. 2 fr. 50
- Contre la métaphysique. *Questions de méthode*. 1 vol. in-8. 3 fr. 75
- LIARD (L.). — Des définitions géométriques et des définitions empiriques. 3<sup>e</sup> éd. 1 vol. in-16. 2 fr. 50
- La science positive et la métaphysique. 5<sup>e</sup> éd. 1 vol. in-8. 7 fr. 50
- LODGE (Sir Oliver). — La vie et la matière. Trad. par J. MAXWELL. 2<sup>e</sup> éd. 1 v. in-16. 2 fr. 50
- La survivance humaine. *Etudes de facultés non encore reconnues*. Traduction de D<sup>r</sup> H. BOUËRON. 1 vol. in-8. 5 fr. »
- MARTIN (F.). — La perception extérieure et la science positive. *Essai de philosophie des sciences*. 1 vol. in-8. 5 fr. »
- OSTWALD (W.). — Esquisse d'une philosophie des sciences. Traduit par M. DONOLLE. 1 vol. in-16. 2 fr. 50
- PIOGER (D<sup>r</sup> J.). — Le monde physique. *Essai de conception expérimentale*. 1 vol. in-16. 2 fr. 50
- PREYER. — Éléments de physiologie générale. Traduit de l'allemand par M. Jules SOURY. 1 vol. in-8. 5 fr. »
- RAGEOT (G.). — Les savants et la philosophie. 1 vol. in-16. 2 fr. 50
- REY (A.). — L'énergétique et le mécanisme. 1 vol. in-16. 2 fr. 50
- La théorie de la physique chez les physiciens contemporains. 1 vol. in-8. 7 fr. 50
- RICHARD (G.). — L'idée d'évolution dans la nature et dans l'histoire. 1 v. in-8. 10 fr. »
- RIGNANO (E.). — La transmissibilité des caractères acquis. 1 vol. in-8. 5 fr. »
- Essai de synthèse scientifique. In-8. 5 fr.
- SABATIER (A.). — Philosophie de l'effort. *Essais philosophiques d'un naturaliste*. 2<sup>e</sup> éd. 1 vol. in-8. 7 fr. 50
- SAIGEY (Emile). — Les sciences au XVIII<sup>e</sup> siècle. *La physique de Voltaire*. 1 v. in-8. 5 fr.
- SPENCER (Herbert). — Classification des sciences. Traduit par M. RÉTHORÉ, 9<sup>e</sup> éd. 1 vol. in-16. 2 fr. 50
- Principes de biologie. Traduit par M. CAZELLES. 6<sup>e</sup> éd. 2 forts vol. in-8. 20 fr. »
- Essais scientifiques. Traduit par M. A. BURDEAU. 3<sup>e</sup> éd. 1 vol. in-8. 7 fr. 50
- TISSERAND (P.). — L'anthropologie de Maine de Biran. 1 vol. in-8. 10 fr. »
- WINTER (M.). — La méthode dans la philosophie des mathématiques. 1 v. in-16. 2 fr. 50