

ANALYSE

DU COURS

DE GÉOLOGIE

PROFESSE AU COLLEGE DE FRANCE

PAR M. ÉLIE DE BEAUMONT.

CHAPITRE PREMIER.

INTRODUCTION.

Le cours dont M. Elie de Beaumont est chargé au Collège de France n'est nullement, par son institution, un cours élémentaire. Comme tous les cours qui se font au Collège de France, il doit, au contraire, aborder les questions les plus difficiles et les plus transcendantes, les cours de la Sorbonne demeurant affectés à un enseignement moins supérieur. Néanmoins le professeur annonce que, vu la divergence qui peut exister dans la manière de considérer les premières bases de la science, il donnera cette année d'abord les premières notions de la géologie, qu'il approfondira ensuite l'étude de divers principes maintenant établis dans la science, et qu'en troisième lieu il retracera l'histoire de quelques périodes de la vie du globe, comme pour donner un exemple de la manière

dont les géologues parviennent à déduire des faits géognostiques la connaissance des phénomènes accomplis dans les temps les plus reculés.

Sciences intimement liées à la géologie.

La plupart des sciences physiques et naturelles se trouvant liées à la géologie, lui fournissent des documents utiles, et à leur tour en retirent de puissants moyens de progrès.

La minéralogie est nécessaire au géologue, puisque les roches qu'il étudie sont toutes formées d'éléments minéralogiques. Mais aussi la géologie enseigne au minéralogiste à reconnaître les terrains ou les roches qui renferment les produits qu'il recherche, elle lui évite des fouilles infructueuses, elle dirige ses explorations à coup sûr.

La botanique est nécessaire au géologue pour qu'il puisse reconnaître et déterminer les empreintes végétales qui abondent dans divers terrains et notamment dans les formations houillères et ligniteuses; et la géologie éclaire le botaniste sur l'antiquité respective d'un grand nombre de plantes perdues; elle lui fait apprécier les circonstances de température et de pression atmosphérique auxquelles fut soumise la végétation de ces plantes, d'où facilement se déduisent d'importantes notions de physiologie végétale.

La zoologie est également nécessaire au géologue. Les terrains de sédiment secondaires et tertiaires sont principalement caractérisés par les coquilles, les poissons et les grands animaux dont ils recèlent les débris. L'étude zoologique de ces débris est donc indispensable au géologue. Quant au zoologiste, il apprend du géologue les conditions de lieu et de climat qu'eurent à supporter ces animaux qui n'existent plus, notions qui lui permettent de conclure les mœurs, les habitudes et les formes de ces animaux.

La physique et la chimie se trouvent également liées à la géologie dans un grand nombre de questions, surtout dans l'étude de la chaleur centrale, des tremblements de terre, des phénomènes volcaniques, de l'origine des filons métallifères, de la cause et de la distribution de l'électricité et du magnétisme terrestre; enfin, la mécanique et l'astronomie fournissent et empruntent à la géologie les notions les plus importantes. Tout détail serait superflu pour le prouver.

Formes propres aux études et aux observations géologiques.

De tout ceci pourrait-on conclure que la géologie n'est point une science *sui generis*, et qu'elle se trouve répartie dans toutes les autres et spécialement dans l'astronomie et la minéralogie? Loin de là, et il est facile de montrer que la vie du géologue est tout aussi nettement spécialisée que peut l'être la vie de l'astronome, du minéralogiste, du botaniste, etc.

En effet, l'astronome passe les nuits à observer les astres et le jour à calculer leurs mouvements. — Le minéralogiste emploie ses années à considérer de petits cristaux, à en mesurer les angles et toutes les modifications géométriques. — Le géologue consacre les belles saisons à parcourir le globe, à gravir les monts, et le temps d'hiver à coordonner ses notes, ses coupes, à tracer sur la carte les indications qu'il a recueillies, à comparer ensemble les produits de diverses contrées, à rechercher les causes des phénomènes qui se sont présentés sur la ligne qu'il a parcourue. Ainsi la géologie comme les autres sciences imprime à la vie de celui qui se livre à son étude un caractère spécial, d'où se peut déterminer exactement son cadre et son but particulier.

Pour montrer d'une manière précise la forme propre aux études du géologue, M. Elie de Beaumont suppose une course de Paris à Versailles : d'abord se présente la plaine de Sèvres avec les cailloux roulés dont elle est couverte; bientôt le sol s'élève d'une manière rapide, on monte la côte de Versailles, on observe qu'elle est formée de couches brusquement coupées, et au-dessus de la plaine de Versailles on voit des collines, des buttes, où se montrent également coupées des couches horizontales de sable, de gypse et de calcaire.

Cette reconnaissance faite, le géologue recherche les causes des faits observés : il a vu des couches de formation marine coupées abruptement. Un tel état de choses n'est point naturel, ces couches ont dû régner sur tout cet espace qui est maintenant creusé et qui constitue la vallée; les mêmes couches se retrouvent d'ailleurs de l'autre côté du fleuve, à la même élévation : le sol a donc été profondément excavé par un cours d'eau très-puissant. La présence des cailloux roulés lui confirme d'ailleurs cette notion que le raisonnement vient de lui fournir et qui est basée sur le fait qu'il a soigneusement constaté.

Que le géologue aille encore visiter les falaises d'Antrim, en Irlande. Au milieu d'un terrain crayeux il distinguera un affleurement basaltique. Les prismes de cette roche plutonique pénètrent dans la craie, celle-ci est dure et brillante, au voisinage du basalte, elle est transformée en calcaire saccharoïde et les silex qu'elle renferme sont rouges dans ce point, tandis qu'ils offrent partout ailleurs la couleur noirâtre qui leur est ordinaire. Ici le géologue ne peut douter que ce ne soit à l'apparition du basalte qu'il faille attribuer ces caractères insolites de la craie et du silex; il les expliquera donc par la chaleur de la matière volcanique et par le dégagement des vapeurs qui durent accompagner son éruption.

Ainsi, le géologue, toujours livré à la recherche des causes qui peuvent expliquer les faits inscrits sur tous les points du globe, a été souvent exposé à suivre des systèmes qui, pour avoir jeté quelque temps de la défaveur sur sa science, n'en ont pas moins eu pour résultat utile d'habituer l'homme à se mesurer avec les phénomènes de la nature.

Au reste, le géologue ne cherche plus aujourd'hui à construire de nouveaux systèmes. Son ambition est de surprendre les lois imposées à la matière, de déduire ces lois du rapprochement d'un grand nombre de faits, et de les instaurer dans la science, comme Kepler indiqua les lois auxquelles les astres paraissent en effet demeurer soumis, comme Cuvier dicta les principes sur lesquels se base aujourd'hui l'admirable étude de l'anatomie comparée.

Double point de départ pour l'étude de la géologie, l'un planétaire, l'autre moléculaire. — Distinction de la géognosie.

La géologie doit produire l'histoire du globe depuis son origine jusqu'à nos jours. Pour atteindre ce but, le géologue peut partir soit d'un point de vue planétaire ou astronomique, en considérant la terre comme une planète pour descendre ensuite successivement dans les détails les plus minutieux, soit d'un point de vue moléculaire ou minéralogique, c'est-à-dire en s'occupant d'abord des minéraux qui, associés ensemble, forment les roches, puis de l'association des roches qui constituent les terrains. Cette seconde manière d'étudier la science caractérise proprement la *géognosie*. On a cru, vers la fin du siècle dernier, que cette étude était plus

positive, et qu'elle seule pouvait devenir utile au progrès de la science, mais ce serait rétrécir beaucoup le cadre de la géologie que de la réduire ainsi à l'étude aride des roches, des minéraux ou des fossiles qui s'y trouvent disséminés. Entre une exclusion aussi rigoureuse de toutes considérations philosophiques et la facilité trop grande de quelques théoriciens à former des systèmes produits par l'imagination plutôt que par l'observation, il est un moyen terme auquel se rattachent tous les efforts des géologues modernes. Il consiste à observer exactement les faits et à déduire de ces faits les considérations théoriques qu'ils peuvent appuyer sans les outrepasser en aucun point.

Difficultés spéciales de la géologie.

Si la géologie ne paraît point être une science aussi rigoureuse que le sont les sciences exactes, l'astronomie, la minéralogie, etc., c'est que les objets dont elle s'occupe présentent une diversité extrême, une hétérogénéité peu commune. Il n'en est pas ainsi pour l'astronomie, par exemple ; les corps dont elle s'occupe sont tous doués de grandes dimensions, et par là plus comparables et plus facilement soumis à des lois simples et générales. Il en est de même pour la minéralogie : cette science s'occupe de cristaux tous généralement très-petits et entre lesquels on peut conséquemment établir des généralités, des analogies, des rapports faciles. Le géologue, au contraire, considérant tantôt la terre en masse, tantôt la seule action de l'atmosphère ; d'autres fois, l'action des mers, des lacs, des fleuves, des torrents, la formation des terrains sur un continent tout entier, ou seulement dans un bassin très-borné, un volcan isolé ou une chaîne entière de montagnes, un simple filon, un gisement de minéraux, de fossiles ; quelquefois même les molécules dont les roches sont composées, doit nécessairement éprouver des difficultés plus grandes à coordonner des éléments aussi disparates et qui ne semblent susceptibles de pouvoir être rapprochés ensemble sous aucun point de vue général et systématique.

M. Elie de Beaumont adopte pour l'étude de la géologie le point de départ astronomique comme étant le plus large et le plus philosophique. Il entre aussitôt en matière.

CHAPITRE DEUXIÈME.

DE LA TERRE.

Forme de la terre.

La terre, dont il s'agit de faire l'histoire, est un globe sphéroïdal, mais ce n'est que vers le milieu du siècle dernier qu'on a pu en déterminer exactement la forme. Nous ne reproduirons pas ici les démonstrations qui se peuvent donner de ce fait maintenant admis par tous les géomètres et les astronomes ; il nous suffira de dire que si la terre était parfaitement sphérique elle agirait sur tous les points situés à l'extérieur comme si toute sa masse était concentrée en un point, et dès-lors le pendule devrait osciller à sa surface partout uniformément. Or, il s'en faut qu'il en soit ainsi. En second lieu les mouvements de la lune, qui seraient toujours semblables dans l'hypothèse de la sphéricité de la terre, ne le sont pas, et notre satellite nous témoigne ainsi l'inégalité de courbure du globe que nous habitons. Voici la différence de longueur de quelques rayons terrestres ; il n'en faudra pas davantage pour donner une idée précise de l'inégalité de courbure de la terre. Ces chiffres résultent d'expériences du pendule et de calculs géométriques soigneusement basés ; ils sont donnés par l'astronome Herschell.

Rayon de l'équateur,	6,376,851 mètres.
Rayon polaire,	6,355,943
L'aplatissement au pôle est donc de	20,908
Rayon moyen,	6,366,397
Rayon à 45°,	6,366,409
Valeur d'un degré à la latitude de 45°,	111,115
Valeur d'un degré de longitude à la même latitude,	78,828

Densité de la terre. — Inégalités de la surface de la terre. — Maximum des inégalités.

Les astronomes ont déterminé la densité moyenne de la terre; c'est encore là un élément entièrement géologique qui nous apprend que notre globe, pris en masse, pèse deux fois ce qu'il pèserait si toute sa masse était composée des mêmes matériaux que nous observons à sa surface. Plusieurs méthodes sont usitées pour calculer cette densité, toutes conduisent au même résultat, car les chiffres obtenus sont tous compris entre 4 et 6, l'eau étant prise pour unité.

Les eaux couvrent les trois quarts de la surface du globe, et les continents n'ont, au-dessus du niveau des mers, qu'une très-faible élévation relativement à la longueur du rayon terrestre.

Le 14 ^e pic de l'Himalaya s'élève à	7,822 mètres	$\frac{1}{813}$	du ray. ter.
Le Névado de Sorata,	7,696	$\frac{1}{826}$	
Le Chimborazo,	6,534	$\frac{1}{973}$	
Le Mont-Blanc,	4,813	$\frac{1}{1330}$	

Quant aux profondeurs cachées sous les eaux de la mer, rien ne prouve qu'elles dépassent 4,000 mètres; ainsi les inégalités qui se montrent à la surface de notre globe, prises ensemble, ne vont pas au-delà d'un millième du rayon terrestre. Sur une sphère dont le diamètre serait de deux mètres, les montagnes n'auraient donc qu'un millimètre de hauteur, et encore même y seraient-elles fort rares; car il s'en faut que les monts comparables en hauteur au Chimborazo soient fréquents à la surface du globe. Enfin, si l'on réduit notre terre au volume d'une orange, on reconnaîtra que les rugosités dont l'écorce de ce fruit est couverte étant comparables aux inégalités les plus grandes qui soient à la surface du globe, la surface de notre planète est dans sa dimension beaucoup plus unie, et qu'il faudrait effacer les 99 centièmes des rugosités que présente la surface de l'orange pour qu'il pût s'établir sous ce rapport une juste comparaison entre ces deux corps.

Plaines et plateaux.

Vus en grand, les continents sont tout composés de plaines ou

de montagnes, les ondulations, les accidents du sol disparaissent dans les grandes surfaces de niveau. La masse de matières qui constitue les montagnes est peu de chose si on la compare à celle des continents. Humboldt a calculé que la masse entière des Pyrénées, répandue sur toute la France, n'en élèverait le sol que de 5 à 6 pouces, et de même l'ensemble des matériaux qui forment la totalité des montagnes du globe, distribué sur toute la terre, ne formerait à sa surface qu'une couche de quelques pouces d'épaisseur.

Il est des régions très-peu accidentées qui sont formées de plaines parfaites ou de plateaux très-étendus coupés par des vallées plus ou moins profondes. Les plaines sont, en général, très-peu élevées au-dessus du niveau de la mer, et on appelle plateaux celles qui conservent un niveau élevé. Dans le Midi on appelle *cosse* les plateaux dans lesquels coulent le Lot et le Tarn; on les nomme *garrigues* dans l'Hérault: ils sont formés de calcaire presque dépouillé de terre végétale et très-infertiles.

Les plateaux du centre de la France s'élèvent à 150 mètres au-dessus du niveau de la mer. — En Espagne, les plateaux de l'intérieur ont jusqu'à 600 mètres; Madrid est bâti sur un semblable plateau. — Le plateau de la Bavière a 500 mètres, et telle est l'élévation de Munich et d'Augsbourg. — Le plateau du Mexique, celui sur lequel sont situés le lac et la ville de Mexico, n'a pas moins de 2,300 mètres. — Enfin le plateau de Quito et la populeuse cité de ce nom s'élèvent à 2,808 mètres. On croyait que le centre de l'Asie était occupé par un haut plateau; maintenant on sait qu'il n'en est point ainsi.

Il est à remarquer qu'au-dessus de ces hauts plateaux on ne voit généralement s'élever que des montagnes volcaniques, lesquelles n'offrent aucune uniformité dans leur hauteur, tandis que dans les pays de montagnes non volcaniques on voit le plus souvent tous les sommets s'élever à une même hauteur générale qui dut marquer jadis le nivellement d'un haut plateau, dont ces monts ne sont que les débris et les témoins.

Montagnes. — Aspect des montagnes.

Dans beaucoup de lieux, à Cahors, par exemple, on donne improprement le nom de montagne à des terminaisons de plateau.

Leur pente est ordinairement de 25° , et alors même on les dit très-rapides. — En général, les chaînes de montagnes sont beaucoup plus allongées dans un sens que dans l'autre, d'où se détermine leur *direction*. On y distingue la *ligne de faite* qui passe par les crêtes les plus élevées. Parmi les vallées qui les arrosent on appelle *longitudinales* celles qui sont à peu près parallèles à la ligne de faite, et *transversales* celles qui lui sont perpendiculaires.

Les règles de géographie physique qui se peuvent établir au sujet des montagnes et des vallées sont sujettes à des exceptions nombreuses, et c'est pour les avoir suivies comme générales que l'on a introduit dans le tracé des cartes de géographie des erreurs nombreuses et les plus grossières.

Les montagnes présentent des aspects très-divers et qui ne dépendent pas toujours de la nature des roches qui les composent.

Vues des plaines de la Gascogne, les Pyrénées présentent une longue série de pics juxtaposés qui produisent l'image d'une lame de scie ; à peine quelques sommets paraissent s'élever, au-dessus des autres. Dans les Alpes, au contraire, la crête offre des dentelures bizarres, et elle est dominée à une grande hauteur par les massifs énormes du Mont-Blanc, du Mont-Rose et quelques autres. Les angles des crêtes ou cols sont aux cimes dans les Pyrénées :: $1 : \frac{1}{2}$, dans les Alpes :: $1 : 2$, dans les Cordilières :: $1 : 3$; et, en effet, dans les Pyrénées les cols s'élèvent généralement à deux mille et quelques centaines de mètres, et les cimes à trois mille et quelques cents mètres ; dans les Alpes les cols atteignent, comme dans les Pyrénées, deux mille et quelques cents mètres, mais les cimes s'élèvent à quatre mille et sept ou huit cents mètres.

Après ces notions préliminaires de géographie physique, le professeur entamera, dans la prochaine leçon, l'étude plus intime des matériaux qui composent le sol terrestre, et il nous transportera immédiatement au milieu des montagnes où les observations se présentent en foule, où la nature se montre à nu, tandis qu'elle est recouverte et voilée dans les plaines par les terres labourées et par les produits agricoles.

Aspects divers du sol dans les pays de montagnes.

Lorsqu'on est au milieu d'un pays montagneux, on re-

marque presque toujours des différences notables dans la forme extérieure des diverses protubérances du sol. Ces différences tiennent soit à la nature intime des rochers qui constituent ces protubérances, soit au mode d'entassement des matières qui sont entrées dans leur composition. Ainsi les torrents précipitent de gros débris et les dispersent irrégulièrement le long de leur cours ou au pied de leurs chutes; les fleuves charrient des sables et des galets, et les déposent en couches ou en amas moins irréguliers; les éboulements produisent sur les pentes et au pied des montagnes des talus dont l'inclinaison varie selon le volume général des débris éboulés; les flots de la mer repoussent vers la côte des sables et des galets qui prennent diverses dispositions selon leur volume ou leur degré de ténuité; les vents font mouvoir le sable et le forment en dunes qui toujours se présentent avec une parfaite uniformité; les laves que les volcans vomissent s'entassent en cône ou en cratère, et ces formes sont très-persistantes; enfin, si l'on voit très-souvent des sortes de piliers terreux couronnés de gros blocs de rocher, on reconnaît que ces blocs ont empêché l'infiltration des eaux et se sont ainsi opposées à leur action érosive et dissolvante.

Formes résultant de la nature des roches. — Roches massives. — Roches fissurées régulièrement. — Roches stratifiées.

Quant aux formes qui résultent de la nature même des roches, elles ne sont pas moins caractéristiques, et, sous ce rapport, il faut diviser les roches en *massives*, *régulièrement fissurées*, *stratifiées* et *feuilletées* ou *schisteuses*.

Les roches massives n'offrent aucune stratification; mais elles sont généralement fendillées, et leurs fentes n'affectent aucune direction marquée; elles coupent la roche dans tous les sens indifféremment. Ces roches prennent en grand des formes arrondies. Du reste, elles sont presque toujours sujettes à se décomposer par l'action de l'air, et dès lors toute partie saillante doit disparaître. Les monts arrondis qui en résultent sont appelés *ballons* dans les Vosges.

Les roches coupées par des fissures dont la direction est plus ou moins régulière, offrent des formes dentelées, et se recon-

naissent de très-loin. Au reste, les mêmes fissures n'ont jamais une grande continuité; néanmoins elles produisent de grands escarpements et des dispositions prismatoïdes. Dans l'Oysans, on voit des sommets granitiques taillés en aiguille par suite d'un semblable fendillement. Les dolomies prennent quelquefois, pour la même cause, une apparence prismatique; mais le basalte est la roche qui présente le fendillement prismatique le plus parfait, lequel produit souvent des colonnades d'un effet merveilleux.

Les roches stratifiées présentent des dispositions beaucoup plus régulières. Dans les pays de plaines elles sont presque toujours disposées horizontalement et en superposition parfaite; mais, dans les pays montagneux, ces roches forment des couches très-étendues que l'on voit plus ou moins inclinées, et quelquefois même redressées verticalement; très-souvent ces couches sont en outre coupées, soit par des filons, soit par des fissures verticales qui occasionent, dans les montagnes, les formes les plus abruptes, et des escarpements inaccessibles. D'autres fois on observe entre ces roches des alternances de couches, les unes solubles ou friables, les autres insolubles ou très-résistantes. Dans ce cas, les couches facilement destructibles ne pouvant résister aux agents atmosphériques, on voit dans le terrain de grandes saillies et des érosions profondes. Par suite de cette disposition, il arrive, dans les terrains à couches horizontales, que des roches qui eussent parfaitement résisté aux dégradations de l'air, sont détruites par éboulement, à cause de la disparition des couches sous-jacentes. Le professeur explique ainsi la formation des terrasses ou étages qui se montrent dans diverses vallées.

Roches feuilletées ou schisteuses.

Enfin, les roches feuilletées ou schisteuses donnent naissance, soit à ces crêtes coupées en dents de scie, soit à ces formes apparentes de tours, cornes, dents, aiguilles, pics, puys, etc., dénominations qui varient dans chaque pays et qui, d'ailleurs, ne s'appliquent qu'à des accidents exagérés par une illusion d'optique qui, dans les montagnes, fait juger les pentes beaucoup plus abruptes, beaucoup plus verticales qu'elles ne sont en réalité.

Les roches viennent d'être considérées sous le rapport de leur

structure en grand, mais il importe de caractériser aussi la texture spéciale qu'on observe dans chacune d'elles lorsqu'on les examine de plus près et avec soin. Il nous suffira d'indiquer les dénominations employées en pareil cas pour faire sentir et l'importance et le but précis de ce genre d'observation. — On distinguera sans peine les roches à structure *granitique, porphyrique, amygdalaire, scoriacée, schisteuse, grenue, compacte, pulvérulente*, etc. Ces termes portent avec eux leur définition, qui d'ailleurs se peut voir dans tous les ouvrages élémentaires, et qui dès lors serait ici superflue; car, dans les analyses de cours scientifiques, nous devons reproduire spécialement ce qui appartient à chaque professeur, ce qui caractérise son enseignement, et n'indiquer que sommairement ce qui, étant déjà vieux dans la science, se retrouve dans tous les auteurs.

CHAPITRE TROISIÈME.

CLASSIFICATION DES ROCHES.

Description des roches.

Ici M. Elie de Beaumont, en mettant sous les yeux de ses auditeurs une collection empruntée à l'Ecole des mines, trace rapidement les caractères qui distinguent les diverses roches, et indique les espèces minérales qui entrent dans leur composition. Une énumération si succincte serait d'une aridité extrême et ne se pourrait d'ailleurs suivre avec fruit que devant une collection soigneusement classée. D'un autre côté, l'indication des mêmes roches devra bientôt se reproduire lorsque le professeur nous fera parcourir la série des terrains qui composent l'écorce du globe. Nous pouvons donc écarter sans inconvénient cette première nomenclature pour nous arrêter avec intérêt sur des remarques entièrement neuves par lesquelles le professeur termine sa septième leçon.

Composition du granit et du basalte.

Rapprochant le basalte du granit, dont l'aspect extérieur est si différent et qui jouent aussi dans la constitution géognostique du globe des rôles si différents, mais que la théorie géologique enseigne néanmoins à considérer comme ayant une origine commune, M. Elie de Beaumont fait observer que, même sous le point de vue de leur intime composition chimique, il existe entre ces deux roches une différence extrêmement remarquable. Le feldspath est la base essentielle de l'une et de l'autre ; mais dans le granit c'est le feldspath orthose qui prédomine, et dans le basalte c'est le feldspath labrador ; en outre, le quartz pur ou oxide de silicium entre essentiellement dans la composition du granit, tandis qu'il n'y en a point du tout dans le basalte. On voit donc que le granit est, chimiquement parlant, une roche acide, tandis que le basalte ne contient qu'une proportion beaucoup moindre de corps acides. Or, il en est précisément ainsi pour à peu près toutes les roches volcaniques ; comme le basalte, elles sont généralement dépourvues de quartz pur isolé, les sels acides n'y sont qu'en très-petite proportion, les sels neutres, les silicates sans excès d'acide, et les sels alcalins, tels que les doubles silicates magnésiens, y prédominent ; au contraire, dans les roches granitiques, ce sont les sels acides, les trisilicates et le quartz pur qui s'y trouvent en excès. Ainsi, bien que ces deux classes de roches aient une origine commune, bien qu'au fond elles se composent des mêmes éléments chimiques, ces éléments y affectent des combinaisons toutes différentes qui dénotent, dans les phénomènes qui ont présidé à leur formation, des circonstances très-diverses. Il sera curieux d'entendre un peu plus tard le savant professeur discuter les causes de ces différences.

Dénomination et détermination des roches.

Pour dénommer les roches, il faut d'abord reconnaître les minéraux dont elles sont composées ; or, ces minéraux s'y trouvent dans un tel état de mélange ou de cristallisation confuse, que la reconnaissance en est souvent très-difficile. Cherchant à vaincre cette difficulté, M. Cordier est parvenu à écraser et broyer les roches avec assez de ménagement pour que la poussière qu'il en

a obtenue, soumise au microscope, s'y soit montrée toute composée de cristaux en quelque sorte moléculaires, mais pourvus de tous leurs angles, de toutes leurs faces, et dès lors parfaitement reconnaissables à l'aide du verre grossissant. Aussi ce moyen a permis de déterminer avec certitude des roches que leur aspect eût laissé confondre, et attribuer à des formations auxquelles elles étaient étrangères. Du reste, ce procédé peut être employé par tout le monde, car toutes les roches primitives et volcaniques surtout, réduites en poudre, laissent ainsi distinguer les cristaux microscopiques dont elles sont formées. En outre, on peut s'aider encore au besoin de quelques essais au chalumeau qui achèveraient de lever les doutes que l'emploi de ce moyen n'aurait pu complètement effacer.

Composition des roches.

Au reste, les roches ne sont point toutes formées de minéraux purs. Le plus souvent il s'y mêle de l'argile et divers oxydes métalliques qui les salissent et les colorent diversement. Ainsi, le calcaire, formé de grains purs, blancs et cristallins, est le plus rare; on l'appelle alors saccharoïde ou marbre statuaire; son grain varie de finesse ou de grosseur, ce qui le rend plus ou moins propre au travail du sculpteur; mais tantôt le calcaire s'offre mélangé d'argile et coloré très-diversement, c'est le marbre commun dont on connaît plus de cent variétés; tantôt il se présente formé de très-petits grains très-serrés et de couleur unie, grisâtre ou jaunâtre, c'est alors le calcaire compacte qui abonde dans diverses formations anciennes; quelquefois au contraire on le trouve en grains également très-fins, mais friables et comme désunis, c'est celui qu'on appelle craie, etc. On pourrait signaler des modifications analogues dans les roches que forme le quartz et dans celles où l'alumine entre en proportion notable; ces trois bases forment, au reste, la presque totalité des roches qui se rapportent aux terrains de sédiment. Mais s'il fallait tenir compte de tous les mélanges qui se présentent et de toutes les variations de couleur ou de texture qui résultent de ces mélanges, on multiplierait indéfiniment les espèces de roches sans que la science pût trouver le moindre bénéfice à ces distinctions fortuites ou arbitraires; et si "on voulait attribuer un nom spécifique à chacune des distinc-

tions qu'on aurait pu faire, on arriverait, dit M. de Beaumont, à ce résultat singulier, que, tandis que le langage doit être l'expression des choses à définir, on aurait un langage mieux défini que les choses elles-mêmes, car ces roches sont sujettes à des mélanges si nombreux, si variables, qu'il n'est pas possible de les suivre par des noms déterminés.

Groupement des roches. — Terrains.

D'ailleurs, en multipliant ces distinctions, on ne ferait que séparer davantage des roches que la nature offre toujours réunies, qui participent aux mêmes circonstances et qui ne montrent de distinction réelle que dans la proportion souvent accidentelle des mélanges qui les constituent. Ainsi, le basalte et la dolérite, le granite et l'hyalomicté sont intimement associés dans leurs gisements et ne se peuvent distinguer sous aucun autre point de vue que celui de leur composition. Il en est de même dans les terrains stratifiés ; on y peut bien distinguer plusieurs couches et variations de calcaires, de marnes, de grès, mais les mêmes conditions, les mêmes conclusions théoriques s'appliquent à toutes ces couches, ce qui en rend la distinction peu utile, peu nécessaire. Souvent même telle couche, qui est de calcaire en un point, se montre à l'état de marne quelques lieues plus loin, et plus loin encore à l'état de grès. Cependant le tout appartient nécessairement à la même date, à la même formation ; ceci est donc très-propre à faire sentir ce que les géologues nomment un *terrain* ou une *formation*. Werner est le premier qui ait attribué à ce mot *terrain* un sens rigoureux, lequel s'est entièrement conservé dans la science. Sous ce nom on comprend l'ensemble des roches et des couches de nature diverse qui se sont formées pendant un certain laps de temps de l'une des époques du globe.

On distingue encore des *systèmes* ou *groupes* de roches qui peuvent n'être que des subdivisions dans les produits d'une même époque. Ainsi, dans l'Auvergne, on distinguera facilement le groupe de roches calcaires, sableuses et argileuses qui forment le terrain tertiaire de la Limagne, et on ne pourra confondre avec ces roches de sédiment, les laves et les autres produits volcaniques qui se trouvent au milieu d'elles, et qui appartiennent à un tout autre système.

Sans multiplier de pareils exemples, on voit que la description de l'écorce terrestre, qui est la tâche du géologue, consiste bien moins à décrire les roches qui se rencontrent dans une contrée, qu'à rapprocher ces roches par groupes, par terrains, pour faire connaître les mutuelles relations qui existent entre elles dans chaque localité, et les rapports généraux des groupes qu'elles forment avec les systèmes de roches analogues observés et décrits dans d'autres lieux.

Le professeur va donc nous faire étudier successivement tous les groupes de roches que comprend l'échelle géologique, et suivant la méthode qu'il a déjà tracée dans les premières leçons de ce cours, il commencera par les groupes les plus anciens, ceux qui furent les premiers consolidés, et sur lesquels les autres se sont successivement formés.

CHAPITRE QUATRIÈME.

DESCRIPTION DES TERRAINS.

Terrain primitif.

Les terrains appelés primitifs ne sont malheureusement pas, dit le professeur, ceux dont on connaît le plus exactement l'origine, et forcément nous nous bornerons à ne guère indiquer que leur composition. — On les a nommés primitifs parce qu'ils sont les premiers dans la série géologique; de telle sorte que si, par une cause quelconque, les dépôts de sédiment venaient à être balayés de sur la surface du globe, on verrait partout à nu ces roches anciennes sur lesquelles les autres se sont successivement formées. Ces roches primordiales composent ordinairement l'axe des chaînes de montagnes et leurs cimes les plus élevées; mais on les trouve aussi dans les contrées basses et jusque dans les plaines

et alors on les voit communément servir d'appui aux roches secondaires, ce qui prouve qu'elles s'élevèrent jadis à de grandes hauteurs ; on peut donc les considérer maintenant comme des montagnes rasées.

Les roches qui caractérisent le terrain primitif sont surtout le granit et le gneiss, le micaschiste, la pegmatite, la syénite, la protogyne et le stéaschiste ; on y trouve l'amphibolite et le calcaire saccharoïde en couches qui n'y jouent qu'un rôle subordonné, et la serpentine et l'euphotide, roches ordinairement d'éruption qui se sont fait jour à travers le terrain primitif.

Granit. — Gneiss.

Le granit se décompose avec facilité, d'où la forme arrondie de quelques montagnes. Quelquefois il est pénétré de veines de quartz ou d'autres substances inaltérables qui forment de hautes et vives saillies par-dessus la masse altérée. Plus rarement on voit des blocs restés debout comme sur un piédestal indécomposé, et dans un tel équilibre que, malgré leurs dimensions énormes, on les fait osciller sans peine avec le bras. On cite de tels exemples en Cornouailles et dans les Pyrénées-Orientales.

Divers accidents de composition se montrent dans le granit, et il en résulte des roches nouvelles, notamment l'eurite, le leptynite, le granit hébraïque, etc. Il est aussi très-commun de voir dans un massif granitique des filons ou des nodules d'un granit à plus gros ou plus petit grain ; souvent même on distingue au milieu du granit, comme dans une brèche, des fragments anguleux de gneiss ou d'un granit différent. Les marches du pont Neuf, vers le quai de l'Ecole, à Paris, en offrent un bon exemple parfaitement observable en temps de pluie. Ces marches sont en granit de Cherbourg. On voit de même dans le granit de Brest, l'un des plus beaux qui soient en France, de gros fragments de granit empâtés. — La roche qui nous occupe contient fréquemment, soit des cristaux de feldspath disséminés, et on l'appelle alors porphyroïde, soit de l'amphibole qui quelquefois y abonde, et en fait une syénite, soit du talc qui la change en protogyne, soit de l'épidote, des tourmalines, des émeraudes, des topazes, des grenats, du wolfram, du molybdène, du fer spéculaire, etc., etc.

Après le granit, la roche qui joue dans le terrain primitif le

rôle le plus important, c'est le gneiss qui n'est rien autre qu'un granit plus chargé de mica et affectant une structure schistoïde. Il y a même entre ces deux roches des passages si insensibles qu'on ne peut pas toujours assigner sur le terrain leur vrai point de séparation.

Comme dans le granit, on voit dans le gneiss, des micaschistes, des amphibolites, etc., en couches subordonnées, et aussi de nombreux minéraux disséminés, tels que la tourmaline, le sphène, des pyrites, du fer oxydé, etc., etc. On y trouve aussi des fragments de diverses roches empâtés et couchés dans le sens de sa disposition schistoïde. La Bretagne en fournit quelques exemples. Enfin, le gneiss se montre assez souvent pénétré de veines de granit plus ou moins profondes, et qui quelquefois même y constituent de vrais et d'énormes filons.

Micaschiste. — Schiste argileux. — Calcaire. — Divisions dans le terrain primitif.

Quant au micaschiste, sa stratification est parfaitement distincte, et ses couches sont très-souvent plissées et contournées. Les feuillets de la roche sont le plus souvent disposés dans le plan des couches, mais d'autres fois ils sont dans un sens tout contraire et perpendiculaire à ce plan. Les micaschistes sont aussi sujets à la décomposition, ce qui produit dans les montagnes des formes très-bizarres. On y trouve en couches subordonnées des calcaires grenus et saccharoïdes, des amphibolites, du gneiss, des diorites, des stéaschistes, des quartz, etc., et aussi une grande variété de substances minérales rares et précieuses.

Le micaschiste passe insensiblement, surtout à l'extrémité de ses couches, au schiste argileux, et les mêmes passages, les mêmes nuances se présentent dans les stéaschistes et les schistes talqueux verts que l'on emploie comme ardoises.

Le calcaire entre aussi dans la composition du terrain primitif. Ainsi, les calcaires grenus des Vosges et une partie des marbres statuaire de Paros sont aussi primitifs que peut l'être le gneiss lui-même, quoiqu'on l'ait révoqué en doute. Mais, dit le professeur, il n'en est pas de même des calcaires de Carrare, de ceux des Alpes, des Pyrénées, etc.; ceux-ci occupent une position absolument différente, et n'appartiennent pas au terrain primitif.

Le calcaire grenu se trouve, soit au milieu des micaschistes, soit au milieu du gneiss. A Hellete, dans les Basses-Pyrénées, on connaît du calcaire dans le granit, mais c'est un cas fort rare. Le calcaire primitif est fréquemment accompagné d'amphibole, de pyroxène, de talc, de serpentine, d'asbeste, etc.

On a proposé plusieurs divisions dans le terrain primitif, mais elles ne sauraient convenir qu'à quelques localités. On a cru aussi que le gneiss occupe une position inférieure à celle du granit, mais c'est encore là un fait seulement local. On ignore si le granit constitue le noyau de la terre ; mais ce n'est nullement probable. Le massif le plus épais qu'on en connaisse, est celui du Mont-Blanc, sur une hauteur de 3,000 mètres ; mais il y a loin de ce chiffre à celui qui exprime la profondeur du rayon terrestre ; d'ailleurs il est très-probable que le granit ne règne plus à la profondeur des volcans, où les matières doivent être incandescentes ou tout au moins dans un état de mollesse qui exclut d'une manière assez positive l'existence de toute roche granitique.

Terrains de sédiment. — Terrains de transition. — Division de ces terrains en deux groupes. — Système cambrien. — Système silurien. — Dislocations entre les systèmes cambrien et silurien.

Sur les terrains primitifs dont le professeur nous a précédemment révélé la nature et la composition, se trouve la série des terrains de sédiment, série nombreuse et dans laquelle il était nécessaire d'établir plusieurs coupures, plusieurs divisions. Ces divisions une fois convenues, le géologue classera sans peine tous les faits relatifs à l'histoire du globe, but général de ses travaux ; au reste, ces divisions ne sont nullement arbitraires, elles sont commandées au contraire par des superpositions et par des relations de terrains presque toujours déterminées nettement, et qu'il importe de reconnaître et d'observer avec soin.

Les premiers et les plus anciens de ces terrains de sédiment se composent d'abord de roches schisteuses ; ce sont des schistes argileux et des grauwackes. Par ce dernier mot on désigne des roches sableuses, souvent même poudingiformes et toujours caractérisées par un ciment argileux, schisteux et micacé. On trouve aussi du calcaire dans le même terrain, et il s'y présente

dans des circonstances très-remarquables. Il y prend habituellement une disposition lenticulaire. Le volume de ces lentilles calcaires est très-variable; tantôt elles sont gigantesques dans toutes leurs dimensions, et tantôt très-petites et exactement comparables à des amandes, d'où le nom d'amygdalaire donné au calcaire qui en est formé. Ces noyaux de calcaire y sont entrelacés de feuillets de schiste argileux luisant. M. Dufrénoy a reconnu que chacun de ces nodules calcaires n'est autre chose qu'un nautille pétrifié. Or, l'abondance de ces nautilles, mollusques céphalopodes d'une organisation assez élevée, dans des terrains aussi anciens, est un fait très-digne de remarque; cette abondance est telle que, calculant le nombre que doit en contenir une couche d'un mètre d'épaisseur sur un myriamètre carré d'étendue, M. Dufrénoy a obtenu le chiffre énorme de 27 mille milliards. C'est dans les Pyrénées et la montagne Noire que ce calcaire se montre avec ses caractères les plus tranchés et avec cette prodigieuse quantité de nautilles. Ces fossiles y sont rangés comme le sont les pruneaux ou les figues dans leurs caissons, ce qui permet de supputer approximativement le nombre qu'en doit contenir un bloc d'une dimension donnée.

Ces calcaires se rencontrent le plus souvent entre les schistes et les grauweekes, et en outre on découvre dans le même terrain des quarzites (quartz-rock), des poudingues, et des roches amphiboliques et porphyroïdes de formation contemporaine.

Ici le professeur cherche à faire sentir combien est impropre le mot de *transition*, par lequel on désigne ordinairement le terrain qui comprend ces diverses roches; il fait connaître les dénominations de *systèmes cambrien* et *silurien* nouvellement proposées par deux savants anglais, MM. Sedgwick et Murchison, et il propose de les adopter.

M. Sedgwick comprend dans son système cambrien, qu'il subdivise en inférieur, moyen et supérieur, les schistes chlorités, quelques micaschistes, des stéaschistes, des calcaires grenus, et les diverses roches qui forment avec ceux-ci la partie supérieure des terrains généralement appelés primitifs et dépourvus de fossiles: c'est là le groupe inférieur du système cambrien de M. Sedgwick. Au-dessus les groupes moyen et supérieur du même système se composent de schistes argileux,

de belles ardoises, de grauwackes, de peu de calcaire, et ne contiennent en général que peu de fossiles.

Au-dessus du système cambrien se classe le *système silurien* de M. Murchison : il comprend les roches qui, pour la plupart des géologues, formaient le terrain de transition moyen, et où abondent principalement les calcaires-marbres. Ce nom de silurien, proposé par M. Murchison, est emprunté de la contrée même où l'auteur a trouvé cette formation la mieux caractérisée, le pays des Silures, ancien peuple du pays de Galles, qui, sous la conduite de Caractacus, fit bonne résistance aux Romains dans une guerre cruelle. Le nom de *cambrien* est également emprunté à la localité où le terrain type a été étudié : c'est le pays des Cambres qui fait partie de la même chaîne des Brewyns.

Les roches du groupe cambrien, dit M. Elie de Beaumont, ont subi de grandes dislocations, et elles ont surtout éprouvé un mouvement dont on retrouve les traces, non seulement en Angleterre, mais en Ecosse, dans plusieurs parties de l'Allemagne, en Scandinavie, etc. Le parallélisme des lignes de relief qui furent le résultat de ces dislocations est très-remarquable et ne se dément dans aucun des lieux indiqués.

Après ce premier mouvement se déposèrent les terrains du groupe silurien ; ils offrent aussi les traces d'une dislocation également parallèle en plusieurs points. Ainsi l'on voit en Bretagne les schistes anciens du système cambrien, analogues à ceux de l'Angleterre, soutenir sur leurs tranches les ardoises d'Angers, lesquelles à leur partie supérieure contiennent des trilobites qui se retrouvent les mêmes dans la Grande-Bretagne et dans une position semblable.

Systeme carbonifère.—Dislocations entre les systèmes silurien et carbonifère.

Au système silurien succède le système appelé carbonifère, et qui est surtout caractérisé par les puissants et riches dépôts de houille qu'il renferme. Ici dominant des grès fins et grossiers, des schistes sableux, et des lits de rognons ou lentilles de fer carbonaté lithoïde. La houille qui caractérise cet étage est évidemment le produit d'une altération exercée sur des végétaux

enfouis. On ignore complètement quel genre d'altération ont subi les matières végétales ainsi transformées ; mais il est présumable que la température terrestre, autrefois plus élevée aux profondeurs où la houille se trouve enfouie, a dû jouer un rôle important dans cette altération.

Les études soigneuses faites sur les plantes du terrain carbonifère y ont fait reconnaître un grand nombre de plantes dont on ne trouverait les analogues aujourd'hui que dans les parties les plus chaudes du globe ; telles sont des fougères arborescentes, des prêles et des lycopodiées de plus de soixante pieds de haut. Aussi ne reconnaît-on dans ces plantes du terrain houiller de l'analogie qu'avec celles qui vivent actuellement sous la zone torride ; et encore même cette flore du terrain carbonifère diffère de celle de la zone torride, autant que celle-ci s'éloigne de la flore de nos climats.

Le terrain carbonifère est abondamment répandu sur le globe, et dans quelques contrées il est d'une richesse extrême. En Angleterre on compte 5,000 lieues carrées de terrain exploitable pour le combustible qu'il contient, et l'on peut évaluer à 6,400,000,000 de tonnes la quantité de houille qui s'y trouve enfouie. Dans le pays de Galles, où l'on extrait 3,000,000 de tonnes de houille par an, on en pourra extraire la même quantité encore pendant quinze cents ans.

L'Angleterre et la Belgique paraissent être les deux côtés d'un même bassin maritime, dans lequel se sont déposés les terrains houillers si abondants qui sont la richesse de ces deux Etats. En effet, les couches qui les supportent, et quelques couches intercalées, contiennent, de part et d'autre, des fossiles marins et offrent en outre les mêmes caractères, les mêmes circonstances géognostiques. Les houilles du centre de la France, au contraire, paraissent avoir été formées dans des bassins lacustres et beaucoup moins étendus ; on n'y trouve pas de débris marins, et néanmoins les espèces végétales sont les mêmes de part et d'autre.

Le groupe carbonifère, facile à distinguer de tout autre terrain, est entièrement indépendant du système silurien auquel il succède dans la série. Dans beaucoup de cas, et notamment dans le centre de la France, il repose directement sur le terrain primitif ou sur le système cambrien, et le système silurien man-

que complètement. Aussi voit-on des lignes de relief nettement établies entre ces deux époques. Elles constatent les violents efforts souterrains qu'eut à supporter alors l'écorce du globe.

Systèmes du *zechstein*, du grès des Vosges et du trias.

Après le système carbonifère figure dans l'échelle géologique le *système du zechstein*, dans lequel on peut établir, comme dans tous les autres, plusieurs subdivisions. En effet, le grès rouge proprement dit (*todt liegendes* des Allemands) et le schiste cuivreux et calcaire magnésien (*zechstein* des Allemands) s'y trouvent compris. Mais ces subdivisions ont peu d'importance et ne sont souvent applicables qu'à quelques localités. Ainsi, c'est dans une mine de cuivre du pays de Mansfeld qu'on a d'abord distingué un calcaire gris et fétide appelé *zechstein* par les mineurs; au-dessus une marne friable qui fut nommée marne cendrée; un schiste grossier bitumineux et cuprifère, sur lequel était dirigée toute l'exploitation, fut appelé schiste cuivreux, etc. Ces noms furent introduits dans la série géognostique par les géologues allemands, et l'on a été souvent très en peine de retrouver partout ailleurs des roches qui pussent leur être comparées, ou même seulement leur correspondre comme étant de même date, de même formation. Quoi qu'il en soit, le système qui nous occupe s'est montré dans quelques autres lieux, en Angleterre par exemple. On y trouve quelques fossiles peu abondants, tels le *Productus aculeatus*, l'un des plus caractéristiques, et un assez grand nombre de fucoïdes.

Au-dessus de ce système vient un puissant dépôt arenacé appelé par les Allemands *bunter sandstein* et *new red sandstone* par les Anglais; il consiste en grès formés de grains quartzeux ou feldspathiques accompagnés de mica et réunis par un ciment argilo-ferrugineux: la partie inférieure qui forme le petit *système du grès des Vosges* est formée par des grès grossiers peu micacés, passant très-souvent à des poudingues dont les galets sont quartzeux et de couleur blanche ou gris-rougeâtres: jusqu'à présent on n'a encore trouvé aucun fossile dans ce groupe.

La partie supérieure appelée *grès bigarré*, constitue avec le *muschelkalk* et les *marnes irisées* le *système du trias*: elle est formée par des grès fins schisteux, très-micacés, exploités quelque-

fois comme ardoises grossières; on y remarque aussi des couches alternantes d'argiles micacées dans les parties supérieures, ainsi que des amas de gypse. Les fossiles abondent dans ce grès : ce sont des conifères, des calamites, des équisétacées, des fougères, etc., et quelques empreintes de coquilles. Le *muschelkalk* qui se trouve en Lorraine et dans le nord de l'Allemagne est formé par des calcaires compactes gris de fumée, caractérisés principalement par l'*Ammonites nodosus* et l'*Encrinites liliformis*. Dans des argiles intercalées dans cet étage on trouve en Wurtemberg et dans le pays de Bade des amas de gypse et de sel gemme. Au-dessus viennent les *marnes irisées* (*Keuper* des Allemands, *red marle* des Anglais), qui sont composées de couches de marnes et d'argiles de couleur rouge de brique bariolées de gris bleuâtre avec quelques bancs intercalés de gris et de calcaire magnésien et des amas lenticulaires de sel gemme et de gypse. On en exploite de semblables à Vic, dans le département de la Haute-Saône et dans celui du Jura. Dans quelques localités, comme à Norroy dans les Vosges, on y trouve des couches de combustible pyriteux.

Le professeur fait aussi remarquer, soigneusement, les lignes de relief imprimées au sol à la fin de chacune de ces époques, et il présente à ses auditeurs des cartes stéréographiques sur lesquelles sont indiquées les positions respectives en Europe des mers et des continents pendant ces diverses périodes. Ces cartes ont toutes le Mont-Blanc comme centre de projection, ce qui les rend parfaitement comparables ; de leur inspection il est facile de conclure que les mers occupèrent moins d'étendue à mesure qu'il se formait de nouveaux dépôts et que notre planète devenait plus ancienne.

Systeme jurassique.

Sur le système du grès rouge se trouve le grand *système jurassique*, comprenant le lias proprement dit et les trois groupes oolitiques du terrain jurassique. Le lias se compose, en Angleterre, d'une série nombreuse de couches de calcaire argileux, avec des marnes intercalées. En France et en Allemagne ce groupe offre une composition analogue, mais on y remarque en outre quelques roches arénacées également stratifiées, et notamment l'un de ces grès se divisant naturellement en paral-

lélipipèdes plus ou moins imparfaits, auxquels les Allemands ont donné le nom de *quader sandstein* (grès à carreaux). Les fossiles abondent dans ce groupe, et l'on y en désigne de très-caractéristiques (*gryphea arcuata*, *plagiostoma giganteum*, *ammonites bucklandi*, de grands sauriens, etc.). Très-souvent le lias se confond en son point de contact avec le terrain jurassique, et c'est là ce qui justifie la réunion de ces deux formations en un même système. On établit généralement trois coupures dans le terrain jurassique, également appelé oolitique. Ainsi, l'on y distingue l'oolite inférieure, l'oolite moyenne et l'oolite supérieure. Ce terrain est caractérisé dans son ensemble par des roches calcaires ou ferrugineuses pétries de globules comparables à des œufs de poisson, ce qui leur a valu le nom d'*oolitiques*. L'étage inférieur présente souvent une couche de fer argileux hydroxydé oolitique dont les globules sont quelquefois libres et le plus souvent agglutinés par un ciment argilo-calcaire. Dans l'étage moyen règne au contraire une oolite calcaire remarquable par sa blancheur, non moins que par sa puissance, tandis que dans l'étage supérieur les roches oolitiques sont beaucoup moins abondantes et quelquefois même manquent entièrement; mais au milieu de ces oolites calcaires et ferrugineuses se voient dans chacun de ces étages des marnes et des argiles très-diverses, et qui ont reçu une certaine importance par les noms spéciaux qui leur ont été imposés. Ainsi, l'on distingue dans le groupe inférieur l'*argile à foulon*, et l'*argile de Bradford*. On y trouve d'énormes sauriens qui atteignent jusqu'à 40 pieds de long; et l'on y a signalé un petit mammifère (*didelphe*) qui a été le sujet de grandes discussions, parce qu'il est le seul mammifère qui soit encore connu dans les terrains secondaires. A ces couches succède un calcaire appelé *cornbrash*, parce qu'il admet à sa surface la culture des céréales. Tels sont les principaux accidents du groupe inférieur qui d'ailleurs se présente, soit en plateaux à surface horizontale sur une vaste étendue, soit en coteaux distincts de ceux qui composent les groupes supérieurs.

Le *coral rag* (calcaire à polypiers), pétri en effet de coraux et madrépores fossiles, accompagné de sable et de grès calcaire, forme avec l'*argile d'Oxford* et de puissantes couches d'oolite calcaire l'étage moyen du terrain jurassique. Les *gryphea dilatata*,

ammonites triplicatus, etc., sont caractéristiques de cette division. L'étage supérieur, formé de l'argile de *Kimmeridge* et des sables et calcaires qui accompagnent l'*oolite de Portland*, est caractérisé surtout par la *gryphea virgula*, l'*ostrea deltoidea*, etc.

Tel est, dans son ensemble, le système jurassique dont les grandes coupures se distinguent aisément, soit par les roches qui s'y trouvent comprises, soit surtout par les fossiles nombreux qui servent à les caractériser, et qui, abondantes dans l'une des divisions de ce système, ne se montrent nullement dans les autres ni dans les terrains inférieurs ou supérieurs à celui-là.

Systèmes crétacés inférieur et supérieur.

Le système crétacé inférieur succède à celui du Jura. Il présente deux grandes divisions : l'inférieure, appelée *formation wealdienne*, est composée d'alternats de sables, d'argiles et de calcaires renfermant des coquilles d'eau douce et des *sauriens* d'une taille quelquefois gigantesque, car on y a cité un *Iguanodon* de 100 pieds de long. Des oiseaux de rivage y ont aussi été reconnus. Cet étage, qui paraît s'être formé à l'embouchure d'un grand fleuve, ne se retrouve que dans le bassin crétacé du nord de la France et de l'Angleterre; dans le bassin méditerranéen, il est remplacé par des couches calcaires qui forment un passage entre les terrains jurassiques et crétacés. L'étage supérieur, appelé *greensand*, se compose de sables argilo-calcaires, souvent agrégés, contenant du fer, soit à l'état d'oxide hydraté, soit à l'état de silicate, qui donne alors aux roches une couleur verte. Dans le bassin du midi, des calcaires plus ou moins compactes et noirs remplacent ces sables. Ils sont accompagnés, dans les Pyrénées, de brèches et de poudingues très-remarquables. Ce groupe a été l'objet d'un travail spécial de la part de M. Dufrénoy. Les fossiles les plus caractéristiques sont les *hamites*, *scaphites*, *turritites*, *inocerames*, *ammonites varians*; dans le bassin du midi, ce sont plus particulièrement les *dicérates*.

Le système crétacé supérieur présente des couches de craie blanche avec silex à la partie supérieure : inférieurement cette craie devient sableuse et marneuse. Dans le midi de la France, elle est remplacée par des calcaires noirs compactes alternant avec des grès et des argiles schisteuses. Les fossiles abondent dans ce

système, on pourrait indiquer comme caractéristiques des familles entières, telles que les *rudistes*, plusieurs genres, les *catillus*, les *baculites*, et un grand nombre d'espèces diverses, *pecten quinquecostatus*, *plagiostama spinosum*, *ostrea carinata*, *ananchistes ovata*, etc.

Il serait facile de présenter d'une manière beaucoup plus étendue le tableau des roches et des fossiles qui caractérisent les divers terrains; mais ces détails sont consignés dans tous les ouvrages récents de géologie; et du reste, le professeur, conformément à ce qu'il avait annoncé, s'est borné à indiquer rapidement ces données élémentaires qu'il n'entrait pas dans son cadre de développer cette année.

Dislocations avant et après les dépôts crétacés.

Le terrain crétacé se retrouve dans toutes les régions du globe, et partout il se montre formé de couches épaisses, nombreuses et très-bien stratifiées. Des dislocations violentes ont précédé et suivi l'époque de la formation. Ainsi, dans l'Erzgebirge on voit ce terrain reposer en couches horizontales sur les couches relevées du système liasique aux environs de Dresde, de Pirna et de Königstein en Saxe. Nous avons en France deux lignes de relief parallèles à celle-là; elles sont marquées par la Côte-d'Or et par le mont Pilas, et tout fait présumer que leur soulèvement date de la même dislocation, dont le résultat inévitable dut être aussi de mettre en mouvement, à la surface du globe, de grandes masses d'eau qui purent en ravager et en éroder la surface. De semblables dislocations intérieures et dégradations extérieures eurent lieu après le dépôt du système crétacé. Elles nous sont témoignées par des observations analogues, et l'on peut même les considérer comme ayant dû être encore plus violentes et plus désastreuses. En effet, la surface des terrains crétacés montre en beaucoup de points des érosions larges et profondes; en outre la presque totalité des êtres qui peuplaient le globe pendant la période de la formation crayeuse ont cessé de se produire à sa surface après le dépôt de ces puissants terrains, en sorte que les terrains tertiaires que nous verrons superposés à la craie présentent, dans les fossiles qui les caractérisent, un renouvellement d'espèces presque complet.

Systèmes tertiaires inférieur, moyen et supérieur.

Les terrains tertiaires qui, dans la série géologique, succèdent au système crétacé supérieur, sont depuis quelques années seulement l'objet de recherches et de travaux considérables. Le grand développement qu'ils présentent, soit dans le bassin de Paris où les géologues ne peuvent même étudier, à part la craie supérieure, aucune autre formation, soit aux environs de plusieurs autres grandes capitales de l'Europe, Londres, Vienne, Bruxelles, etc., explique parfaitement cette direction donnée aux études géologiques, et aussi la complication dans l'histoire de ces terrains introduite par ces nombreux travaux.

On ne saurait dire combien varient la position, la composition et le développement des terrains tertiaires. Dans plusieurs contrées, des dépôts terrestres ou des sédiments fluviaux s'intercalent au milieu des couches marines, ce qui paraît indiquer que lors de cette époque, non-seulement il y avait de nombreux et grands lacs d'eau douce, mais encore que la disposition relative des eaux et des continents favorisait la formation et la destruction de lagunes aussi bien que celle de grands deltas de rivière. Chaque bassin tertiaire a sa succession de couches ; ce qui est une conséquence nécessaire de la formation de ces dépôts dans des golfes, des baies ou des cavités plus ou moins bien séparées. On est parvenu néanmoins à distinguer trois systèmes dans ces terrains.

Le *système tertiaire inférieur* qui est bien développé aux environs de Paris, commence par les argiles plastiques qui sont représentées dans le Soissonnais, par des marnes et des lignites contenant des coquilles marines et d'eau douce, et dans d'autres points par des poudingues composés des silex de la craie agglutinés par un ciment de grès. Au-dessus vient le calcaire grossier qui contient des grains verts à la partie inférieure, et dans la partie moyenne, des cerithes et autres coquilles marines. Au-dessus vient encore un autre étage d'eau douce composé de marnes vertes contenant des amas lenticulaires de gypse non continus : ces couches dans la Brie sont remplacées par des calcaires d'eau douce. En Angleterre, aux environs de Londres, ce système est représenté par une immense assise argileuse, contenant les coquilles du calcaire grossier. A Bordeaux, des sables argileux, à Blaye, des cal-

caires marneux qui remplacent ce système, qui, du reste, s'est aussi rencontré en Italie.

Le *système tertiaire moyen*, qui s'étend à de beaucoup plus grandes distances que le précédent, présente dans le bassin de Paris, un grand étage sableux très-développé à *Fontainebleau*, et contenant dans quelques localités, des coquilles marines; au-dessus se trouve un étage marneux d'eau douce, remplacé tantôt par des calcaires et tantôt par des meulières. En Touraine, le système est terminé par un dépôt sableux marin, renfermant plusieurs centaines d'espèces de coquilles et connu sous le nom de *fahlun*. Dans le midi de la France, les grès de Fontainebleau manquent; on trouve d'abord des calcaires d'eau douce et ensuite des grès calcaires connus généralement sous le nom de *molasse*. En s'avancant vers la Suisse, ces grès alternent avec des couches de poudingue, connus sous le nom de *nagelfluhe*, et acquièrent une épaisseur de 1200 mètres; on y trouve ainsi qu'à Aix et dans quelques autres départements du midi, des lignites. Dans le nord de l'Allemagne, ce terrain renferme aussi beaucoup de lignites.

Les fossiles sont très-communs dans l'un et dans l'autre étage : ils ont fourni aux paléontologistes des données très-remarquables. Ainsi, d'après M. Deshayes, on connaît déjà 1400 espèces de coquilles fossiles dans le système inférieur; sur ce nombre 205 appartiennent au terrain de Londres, entre lesquelles 12 seulement vivent encore dans les mers, et 1072 sont du bassin de Paris. Sur ces 1400 espèces 38 seulement vivent encore, et sont réparties dans toutes les mers, mais surtout dans les régions intertropicales; c'est, comme on voit, trois et demi pour cent. En outre, on connaît 42 de ces espèces dans les groupes géologiques plus modernes que celui-là. Ainsi, l'époque du terrain tertiaire inférieur se lie aux époques plus récentes et aux temps historiques par un trentième seulement des espèces qui peuplaient alors la surface du globe, et elle s'en sépare par les vingt-neuf autres trentièmes. Le système moyen dans lequel on a trouvé déjà 800 espèces de coquilles en présente dix-huit pour cent qui vivent encore.

Le *système tertiaire supérieur* offre des dépôts très-coquilliers et peu consolidés; telles sont les collines du Norfolk et du Sussex dont on retrouve les analogues en Belgique et aussi dans l'intérieur et le midi de la France. Au pied des Pyrénées

nées, dans les environs de Perpignan, ce dépôt offre une assez grande épaisseur, et on y voit même une couche très-dure de grès. C'est au-dessous de ces dépôts qu'existent d'abondantes eaux artésiennes. Ils ne sont pas moins puissants dans les environs de Montpellier, et on y rencontre des ossements de grands animaux, d'éléphants, de rhinocéros, etc. On les retrouve encore sur presque tous les rivages de la Méditerranée, et on leur assimile les dépôts subapennins caractérisés par des couches épaisses de marne bleuâtre et de sable jaunâtre peu agrégé. Entre les 1000 espèces de coquilles recueillies dans ces derniers dépôts de la période tertiaire, cinquante pour cent vivent encore dans nos mers.

A ces dépôts marins correspondent des sédiments lacustres et fluviatiles qui se sont formés dans le même temps. Tels sont le dépôt du val d'Arno supérieur, si riche en ossements d'animaux, et celui des environs d'Issoire en Auvergne également ossifère.

Les divers sédiments du système tertiaire se retrouvent sur tous les points du globe ; mais le plus souvent ils y sont répartis par bassins peu étendus, en sorte que le nom de dépôts leur convient mieux que celui de terrains.

On voit de grandes vallées creusées dans les dépôts tertiaires, et surtout au milieu du sédiment qui compose le système moyen.

Brèches osseuses et cavernes à ossements.

L'étude des brèches osseuses et des cavernes à ossements se lie à celle du système qui vient de nous occuper. On peut les diviser en trois classes : la première comprend les brèches osseuses remplissant les fentes dans les roches. Elles sont formées de débris de la roche qui les contient, d'argile et d'une quantité quelquefois prodigieuse d'ossements et de coquilles marines. On en connaît à Cette, à Nice, à Montpellier, et dans les îles qui bordent la mer Adriatique. — La deuxième classe comprend les dépôts analogues formés dans les cavernes et souterrains traversés par des cours d'eau. C'est surtout dans les contrées occupées par des calcaires qu'on observe de nombreux exemples semblables. On voit toujours ces eaux sortir limpides de leur lit souterrain, ce qui prouve qu'elles y ont dé-

posé les sables, les limons et les détritux d'animaux et de végétaux qu'elles entraînaient avec elles.—Enfin, on réunit dans une troisième classe les cavernes dans lesquelles ont vécu les animaux dont elles offrent les débris. Ce sont alors surtout des animaux carnassiers qu'on y rencontre, et aussi des ossements rongés des animaux qu'apportaient dans ces repaires souterrains leurs hôtes féroces. Il est remarquable que parmi ces débris, confondus ensemble, d'espèces dont les unes étaient la pâture des autres, on a retrouvé toutes les parties de leur squelette respectif, à l'exception toutefois de quelques parties de certaines espèces qui y manquent constamment. Par exemple, on n'y trouve pas les dents d'éléphants, et on conçoit, en effet, que les hyènes qui assaillaient dans la plaine un éléphant et le déchiraient sur place en lambeaux, ne prenaient point la peine de charrier dans leurs cavernes ses lourdes défenses ni les autres parties qui ne pouvaient leur être utiles.

Diluvium. — Dispersion des blocs erratiques.

Au-dessus des terrains tertiaires, les géologues rangent, sous le nom de *diluvium*, les dépôts formés de cailloux, de sable, quelquefois même d'argile, qui sont répandus sans ordre et avec une épaisseur très-variable, soit au milieu des plaines, soit au sein des montagnes et jusque sur les crêtes et sur les sommets. Au milieu de ces dépôts, que leurs irrégularités seules caractérisent, se rencontrent habituellement des blocs dont le volume très-variable ne connaît, pour ainsi dire, pas de bornes. Il y en a dont le grand diamètre a plus de 20 mètres de long, et dont la présence dans les lieux où ils se trouvent jetés ne saurait être attribuée à aucune action actuellement agissante. Ces blocs, appelés *erratiques*, se retrouvent sur tout le globe ; il y en a de très-remarquables dans la vallée du Rhône et dans le lac de Genève.

On ne peut concevoir la dispersion de ces blocs sans admettre de grands courants qui ont balayé les montagnes ; et, en effet, les roches dont ces blocs sont formés se retrouvent en masse dans les grandes chaînes, et l'on peut ainsi remonter à leur source et mesurer toute la puissance du phénomène qui les a entraînés au loin. Ainsi, l'on reconnaît que les courants ve-

nus des vallées du Rhône et de la Durance se sont réunis à l'est d'Arles et ont couvert la plaine de la Crau des débris qu'ils charriaient. Ces débris appartiennent tous aux roches les plus dures des Alpes, ils sont arrondis et leur volume dépasse rarement celui d'une tête de cheval. Un fait semblable se retrouve dans la plaine de la Lombardie. Il est extrêmement probable que c'est par un très-énorme courant d'eau qu'a dû être produite cette dispersion de blocs, mais on ne peut reconnaître dans ce cataclysme le déluge historique, car on trouve au milieu des débris qui nous occupent de nombreux ossements d'animaux perdus, mais rien qui annonce l'existence de l'homme.

Le diluvium scandinave offre les mêmes dispositions, mais il présente un développement beaucoup plus considérable, et, comme le sol qu'il recouvre offre très-peu d'inclinaison, on en doit conclure que la masse d'eau par laquelle ces débris ont été charriés avait une impulsion très-considérable; dans les Alpes, les blocs erratiques, quoique descendus d'une hauteur considérable, n'ont cependant pas été portés aussi loin.

Expliquer ces grands phénomènes de la dispersion des blocs erratiques sur tout le globe et en indiquer la cause, ne sont pas choses faciles, et il est remarquable que dans l'étude de la géologie les plus grandes difficultés se trouvent précisément dans les terrains qui correspondent aux époques les plus anciennes et aux âges les plus récents. Ainsi, la liaison intime qui paraît s'établir entre les roches des terrains appelés primitifs et intermédiaires, et les anomalies que présentent les derniers dépôts tertiaires et diluviens, jettent beaucoup d'incertitude sur ces deux limites extrêmes de la série des temps géologiques, en sorte que ce qu'il y a de moins obscur et de mieux coordonné dans la science, c'est la succession et la caractéristique des roches qui composent la partie moyenne de l'échelle des formations.

CHAPITRE CINQUIÈME.

RECHERCHES SUR L'ÂGE DE LA TERRE ET SUR LE TEMPS QUI S'EST ÉCOULÉ PENDANT LES DIVERSES PÉRIODES GÉOLOGIQUES.

Après avoir esquissé le tableau des roches et des terrains qui composent l'écorce du globe, en laissant toutefois hors de série les produits rejetés par les volcans anciens ou récents pour être étudiés plus tard, le professeur aborde la partie la plus difficile de la géologie, celle qui consiste à rechercher les causes de ces formations, et à retracer la succession des phénomènes qui en ont accompagné le dépôt. Pour produire ainsi l'histoire des divers âges de la vie du globe, pour déterminer les dates de chaque fait, la durée de chaque période, il faut s'aider de tous les secours que peuvent fournir l'observation minutieuse des faits et l'appréciation rigoureuse des lois imposées à la matière.

Opinion de Buffon sur l'âge de la terre. — Longévité des végétaux.

Buffon est le premier auteur qui ait essayé d'émettre sur la formation et sur l'histoire de la terre quelques opinions basées sur l'observation des faits. Il considérait la terre comme ayant été originairement tout entière à l'état de fusion, et de là il calculait le temps qu'il avait fallu pour son refroidissement et pour que les êtres organisés se pussent établir à sa surface ; il admettait que 34,720 ans avaient dû être nécessaires pour que notre globe incandescent se fût refroidi à tel point qu'il pût être touché avec la main, et, poursuivant son calcul, il arrivait à donner à la terre une ancienneté de 75,000 ans. Or, loin

qu'un pareil chiffre doive paraître exagéré, il est au contraire beaucoup trop faible, et il est plusieurs moyens de s'en convaincre. Ainsi, l'on peut puiser dans la longévité de certains arbres un premier argument en faveur des longues années que mettent à s'accomplir les phénomènes de la nature. On connaît un lierre âgé de 450 ans ; le bas de sa tige a 6 pieds de circonférence. On conserve à Rome un oranger qui a déjà 630 ans. On cite un olivier de 711 ans, un platane de 728 ans, un cèdre du Liban de 800 ans. A Newstadt existe un immense tilleul que l'on croit être âgé de 1100 ans environ ; ses branches s'étendent à une très-grande distance et on a été obligé d'élever des piliers pour leur servir d'appui. On connaît un chêne de 1080 ans, et un autre de 1500 ans. On cite un if de 1214 ans, un autre de 1458, un autre en Ecosse de 2588, et un en Angleterre de 2,880 ans. Enfin, on indique en Amérique un baobab qui aurait 5,150 ans, et un plaxoria qui déjà compterait près de 6,000 ans. Tous ces arbres appartiennent à la division des dicotylédones, et l'on sait que, faute de date certaine, on trouve dans l'organisation même de leurs tiges, et dans le nombre de leurs couches ligneuses concentriques, un moyen de supputer exactement le nombre de leurs années. D'un autre côté, nous savons que chaque période de la vie du globe est marquée par l'existence de certains végétaux et animaux qui est entièrement comprise dans les limites de ces périodes. Or, pourrait-on admettre qu'il y ait eu des êtres créés pour ne pas parcourir seulement leur carrière tout entière ? Ne doit-on pas, au contraire, supposer que tous les êtres ont eu plusieurs générations ; et si l'on en accorde seulement douze à ceux dont la vie peut durer 6,000 ans, on a déjà 72,000 ans pour la durée d'une seule période géologique ; or, nous avons compté six grandes périodes dans la série des terrains !

Erosion des falaises. — Décomposition des roches.

La configuration des falaises au bord des mers et celle des plateaux au milieu des continents donnent un second moyen d'évaluer la longueur des temps géologiques. L'érosion des falaises, incessamment battues par les flots, a pu être directement évaluée par l'observation. On sait combien de terrain a été dé-

truit par la mer en un temps donné. D'un autre côté, par les formes générales du sol on peut parfaitement reconnaître son état primitif et savoir conséquemment la quantité totale d'érosion produite par la mer avant l'observation des hommes. Ce calcul, ainsi basé, donne 80,000 ans pour le temps écoulé depuis la formation des terrains tertiaires.

Un troisième moyen non moins remarquable de parvenir au même résultat a été fourni récemment à la science par M. Becquerel. Voici l'histoire de sa découverte :

L'église de Notre-Dame de Limoges est bâtie en granit du Limousin, et elle a 400 ans. On sait que le granit de cette province se montre presque partout très-profondément altéré, et celui qu'on a taillé pour la construction des murs de l'église se trouve déjà décomposé jusqu'à trois lignes et demie de profondeur dans les parties exposées aux actions atmosphériques, tandis qu'il est encore intact dans l'intérieur de l'église. Il est donc facile de calculer, pour le granit du Limousin, le temps nécessaire à sa décomposition. Or, dans les carrières exploitées aux environs de Limoges, on reconnaît que la décomposition a gagné jusqu'à six pieds et demi ou 720 lignes de profondeur, ce qui donnerait 82,000 ans ! Du reste, on conçoit qu'il est des circonstances dans lesquelles cette altération doit être plus ou moins rapide ; en effet, l'infiltration peut être plus ou moins abondante dans certains cas. Les granits observés par M. Becquerel sont dans le bas des vallées ; l'altération observée ne peut donc avoir commencé qu'après la formation de ces vallées, qui date, selon toute apparence, de l'époque des blocs erratiques (1).

Lenteur de la formation des dépôts.

Là ne se bornent pas les moyens que peuvent fournir les observations géologiques pour déterminer la durée des époques

(1) Nous devons rappeler ici, pour répondre à diverses observations qui nous sont adressées par les lecteurs de *l'Echo*, qu'en reproduisant dans notre journal l'enseignement de divers professeurs, nous ne prétendons nullement adopter ni défendre leurs doctrines ; et si nous ne cherchons pas immédiatement à les discuter, nous n'en conservons pas moins le droit d'en professer d'autres qui, basées sur une autre méthode, offriraient quelques points de divergence.

anciennes. La succession des dépôts produits dans chacune de ces époques nous est connue, et l'on a relevé très-exactement le nombre et l'épaisseur des couches comprises dans chacun d'eux. Or, actuellement il se forme sous nos yeux, dans nos mers, des dépôts semblables, et nous pouvons apprécier directement le temps nécessaire à leur accomplissement.

A l'embouchure du Pô, les alluvions empiètent sur la mer Adriatique de 50 mètres par an en surface horizontale. De même le sol avance sur toute la côte, mais d'une manière peu sensible. Le Pô est le fleuve qui produit l'ensablement le plus abondant ; le Rhône offre un ensablement qui s'élève presque de trois pouces par an, mais c'est le maximum, et ce chiffre, exact près de l'embouchure, devient beaucoup moindre à mesure que l'on considère le dépôt plus avant dans la mer. D'après les données fournies par l'étude de l'ensablement des fleuves à leur embouchure, l'île qui supporte la ville d'Adria aurait déjà 6,000 ans d'ancienneté.

Au fond des mers, les dépôts sont encore beaucoup plus lents. D'après les recherches d'un capitaine anglais dans la mer Jaune (Chine), il faudrait 24,000 ans pour que cette mer, très-peu profonde d'ailleurs, fût complètement ensablée.

On calcule qu'en pleine mer le dépôt annuel n'en élève le fond que d'une ligne au plus chaque année. Le Nil donne encore le même résultat. On sait que l'Egypte est fertilisée par ses inondations annuelles. M. Girault a reconnu que le sol de cette célèbre vallée ne s'exhausse que de 1 mètre 26 centimètres dans l'espace de 1000 ans, et que du reste cet exhaussement varie selon qu'on l'observe dans le haut de la vallée ou près de l'embouchure du fleuve.

Conclusion.—L'espace du temps admis par Buffon pour l'accomplissement des phénomènes géologiques est trop court.

Tout ce qui précède suffit pour donner une idée de la lenteur des dépôts et du temps qu'il a fallu pour la formation de ces couches nombreuses et puissantes que nous présente la succession des terrains. Buffon avait admis que les feuilletés si minces dont se composent les schistes représentent chacun le

dépôt d'une marée ; or, il y a deux marées par jour ; partant de là, il se faisait une idée du temps employé pour la formation des schistes et aussi des autres dépôts. Il donnait 14,000 ans à cette formation ; mais nous venons de voir combien était erronée la base admise par Buffon, puisque dans son calcul il ne donnait que 6 jours à ce qui en exige 652 d'après les observations récentes les plus précises. Son point de départ était donc 100 fois trop fort, son résultat devait être 100 fois trop faible. Ce serait donc 1,400,000 ans qu'il faudrait attribuer à la formation des terrains stratifiés ; mais il est vrai de dire que pendant les anciennes époques, à cause d'une température plus élevée et d'une atmosphère plus chargée de vapeur, les causes qui président à la destruction superficielle des roches et à la formation des dépôts, devaient être beaucoup plus puissantes, agir avec une plus grande énergie, et produire des résultats plus grands et plus rapides. Ce dernier chiffre doit donc être considérablement réduit.

Age présumable des terrains de sédiment.

Poursuivons l'étude des moyens d'apprécier l'antiquité du globe que nous habitons. On a vu que Buffon était arrivé à un chiffre beaucoup trop faible en prenant pour base un fait inexact et qui ne résultait nullement d'une observation positive. Aujourd'hui nous pouvons nous étayer d'un fait positivement constaté, savoir : que le dépôt de matière argileuse ou sableuse qui se forme en une année dans le fond des mers ne dépasse pas généralement, n'atteint pas même une ligne d'épaisseur. Si l'on applique cette donnée précise à ces couches nombreuses qui composent ensemble la série des formations de sédiment, on aura le chiffre énorme de 7,600,000 ans pour cette portion des temps géologiques qui correspond au dépôt des terrains secondaires sur les roches primordiales après le refroidissement de la première écorce du globe ; mais, comme nous l'avons déjà fait remarquer, la température étant plus élevée dans les premiers âges, les dépôts pouvaient être plus rapides. On pourrait donc admettre pour les premiers temps l'hypothèse de Buffon, et supposer que le dépôt annuel du fond des mers atteignait jusqu'à six pouces d'épaisseur pendant la première période silurienne, et qu'il dut diminuer progressivement jusqu'à l'époque actuelle

où il ne dépasse pas une ligne. Le chiffre précédent se trouverait alors réduit à un million et demi ; mais ces calculs, n'ayant pas de base fixe et certaine, ne peuvent donner un résultat positif ; ceux que nous fourniront plus tard la théorie de la chaleur et la loi du refroidissement seront encore les plus précis.

Examinons maintenant dans quelles circonstances chaque terrain s'est formé ; nous verrons que presque tous résultent d'un dépôt lent et tranquille.

CHAPITRE SIXIÈME.

CIRCONSTANCES DANS LESQUELLES LES TERRAINS SE SONT FORMÉS.

Système cambrien.

Le système cambrien a au moins 2,000 mètres de puissance à Bingen, sur les bords du Rhin, et il y est formé de schistes verdâtres très-feuilletés et de grès quartzeux régulièrement stratifiés et alternant en couches de 4 à 5 décimètres d'épaisseur au plus. On voit par cet exemple que ce terrain a été déposé très-lentement durant un long espace de temps, et que peut-être il y avait des flots qui apportaient l'argile et d'autres les sables.

Dans les Pyrénées on trouve, il est vrai, des poudingues à la partie inférieure de ce système, ce qui indiquerait un dépôt violent et rapide ; mais, d'un autre côté, on voit dans le même groupe le marbre de Campan épais de 40 mètres et presque entièrement formé de petits nautilus enlacés dans de minces feuilletés schisteux. Chacune de ces coquilles offre au moins 30 cloisons, et l'on suppose, mais sans en avoir de preuve certaine, que les nautilus ne sécrètent qu'une cloison chaque année. On en peut conclure combien dut être longue la formation de ces 40 mètres de marbre à nautilus.

Système silurien.

Le système silurien offre à peu près les mêmes circonstances ; on y voit des poudingues en Bretagne, et néanmoins la plus grande partie des roches qu'il comprend sont stratifiées en couches très-minces. En Angleterre il présente un calcaire presque entièrement formé de débris d'encrines et de polypiers alternant avec des couches d'argile schisteuse. A Ludlow ce sont des alternances de grawacke, d'argile schisteuse et de calcaire en lits très-nombreux. Ce système, qui a dû se déposer très-lentement, a 2,286 mètres de puissance.

Système carbonifère.

Le système carbonifère fournit aussi des preuves certaines de sa longue durée. Le groupe du vieux grès rouge a 3,048 mètres dans le pays de Galles. Il est formé de poudingues qui ont pu se produire assez vite, et d'alternances de sables fins et de marne qui, au contraire, ont dû mettre beaucoup de temps à se déposer. Le calcaire de montagne à Newcastle a 1728 mètres d'épaisseur ; il est formé de bancs de polypiers alternant avec des couches calcaires remplies de fossiles qui varient d'une couche à l'autre. Ce renouvellement successif des coquilles et des polypiers dans un même groupe n'indique-t-il pas une longue suite d'années ? — Le terrain houiller a dû se déposer aussi avec une grande lenteur. On cite dans une des couches de ce terrain un feuillet d'argile qui contient une quantité prodigieuse d'*Ammonites Listeri* de toutes les grandeurs ; ainsi, pour le seul dépôt de ce feuillet, il a fallu tout le temps nécessaire à l'entier développement de ces animaux. Leurs coquilles étant très-minces et parfaitement conservées, on ne peut admettre qu'elles y aient été rassemblées par un transport de la mer. Quant aux couches de houille, elles n'ont pu se produire que très-lentement. Une haute futaie de 100 ans donne 400 mètres cubes de bois par hectare au plus. En répandant ce bois sur la terre qui l'a produit, il n'y forme qu'une couche de 0,04 centimètres. Si on tient compte du vide qui existe entre les branches, on n'aura plus que 28 millimètres ; en carbonisant ensuite ce

bois, il diminue de moitié et ne donne plus qu'une couche de 14 millimètres d'épaisseur pour 100 ans. On peut donc évaluer approximativement le temps employé pour l'accumulation des houilles dans telle ou telle contrée. Ainsi, dans le pays de Galles, où les divers bancs de houille forment une masse de 28 mètres 96 centimètres, on voit qu'il aura fallu 206,571 ans; à Newcastle, où il y a 13 mètres 41 centimètres de houille, il aura fallu 95,785 ans, sans compter toutefois le temps nécessaire à l'accumulation des grès et des argiles schisteuses qui alternent avec les couches de houille. Mais il faut encore observer qu'à cette époque la température plus élevée et la plus grande abondance d'acide carbonique répandu dans l'air devaient activer notablement la végétation.

Système du grès rouge.

Le système du nouveau grès rouge se compose de groupes qui, pour la plupart, ne comprennent que des grès grossiers et des poudingues, roches qui toujours annoncent une formation violente et rapide. Toutefois, le zeischtein et le muschelkalk indiquent des dépôts très-longes, aussi renferment-ils de nombreuses générations d'êtres organisés.

Système jurassique.

Le système du lias a plus de 2,000 mètres d'épaisseur dans les Alpes, et il est formé de sédiments très-fins et de quelques couches de poudingues très-rares. On voit dans ce système des calcaires pétris de gryphées arquées qui se trouvent encore dans la position où elles ont vécu. Leur abondance est telle qu'il est souvent impossible de détacher un échantillon de la roche sans briser quelque coquille. Il en est de même pour d'autres couches comprises dans le même système et remplies, les unes de bélemnites, les autres de posidonies, etc.; chacune de ces couches atteste un dépôt lent et tranquille; et si l'on joint à cela le temps qu'il a fallu pour que chacune de ces générations d'espèces nouvelles se succédât et s'établît sur toute l'étendue du fond de la mer, on reconnaîtra combien a dû être long le temps employé pour l'achèvement de ce système. Sans s'écarter de la vérité, l'on

peut donc admettre une période de plusieurs milliers de siècles, en supposant qu'il ait fallu 100 ans, terme moyen, pour le développement de chaque coquille.

Si nous examinons le *système oolitique*, nous verrons que l'oolite inférieure se compose de deux grandes couches calcaires séparées par l'argile de Bradford, qui ont chacune leurs fossiles particuliers; on aperçoit des huîtres encore adhérentes à des bancs de polypiers encore en place; nous verrons aussi que les étages moyen et supérieur sont caractérisés par de nouveaux fossiles logés dans des assises calcaires alternant avec des argiles, et que ces diverses roches atteignent une grande puissance. L'abondance des fossiles, leur distribution souvent renouvelée et la nature des roches qui les contiennent, nous amèneront encore aux mêmes conclusions.

Systeme crétacé.

Les mêmes observations sur le *système crétacé* ajouteront de nouvelles preuves à celles que nous ont fournies les terrains inférieurs; nous reconnâtrons que leur formation a dû être très-lente et que les groupes qu'on a établis sur la distinction des fossiles ont exigé un temps extrêmement long. Nous voyons, en effet, le système crétacé inférieur commencer d'abord par des dépôts d'embouchure; vient ensuite le greensand avec ses trois assises distinctes et ses fossiles particuliers. Dans le midi de l'Europe ce terrain s'annonce par des dépôts marins, dont les corps organisés, bien qu'ils se montrent dans la partie inférieure du système, ne s'élèvent pourtant pas jusqu'au haut de la série. Enfin, le dernier étage des terrains secondaires qui nous occupe se termine à la partie supérieure par le grand dépôt de la craie blanche qui, tout autour de nous, offre un développement remarquable; les assises de silex pyromaque y marquent plusieurs niveaux, et concourent, avec les nombreux fossiles et la nature même de ce dépôt, à confirmer nos premières inductions.

Systèmes tertiaires, inférieur, moyen et supérieur.

Enfin, les *terrains tertiaires* vont nous donner les mêmes résultats. Leur groupe inférieur est parfaitement représenté par les dépôts parisiens, et l'on y a déjà recueilli 1200 espèces de fossiles,

entre lesquels la cérithe géante et plusieurs nummulites sont surtout caractéristiques.

Le groupe moyen du terrain tertiaire est représenté par la molasse qui, au pied des Alpes, au Righi, par exemple, n'a pas moins de 1200 mètres d'épaisseur, et qui paraît s'être formé dans des lacs analogues à ceux de la Suisse actuelle par des cours d'eau qui, descendant des Alpes avec moins de rapidité que les torrents d'aujourd'hui, puisque ces montagnes étaient moins élevées, ont dû mettre plus de temps pour déposer ce terrain. Les dépôts des couches de bois et d'argile feuilletée qui, depuis Grenoble jusqu'à Dijon, renferment des coquilles d'eau douce, et la considération de toutes ces grandes masses témoignent ensemble la longueur de cette période. La comparaison des dépôts de molasse avec ceux produits depuis 4,000 ans dans les lacs de la Suisse, nous donnerait 100,000 ans au moins pour la durée de sa formation.

Intervalles entre les formations.

Il suffit de cet examen rapide pour nous convaincre de la longue durée des temps géologiques ; mais on doit, en outre, mettre en ligne de compte les discordances de stratification et le temps plus ou moins long qui a dû s'écouler entre certaines couches dont la nature ainsi que les fossiles diffèrent totalement ; quelquefois, en effet, les différentes formations se lient très-bien entre elles et annoncent la continuation de mêmes phénomènes ; mais d'autres fois, au contraire, cette liaison n'existe pas, et il manque probablement des dépôts intermédiaires qu'on découvrira plus tard. Ainsi, il a dû se passer un très-long intervalle de temps entre la formation de la craie et celle des terrains tertiaires ; car on ne connaît pas encore de groupe qui leur serve de passage. La même chose se présente pour le lias qui repose sur le système du grès rouge, d'une manière brusque et sans aucune liaison ni enchevêtrement.

Filons divers.

Les filons fournissent aussi des preuves de la longue durée des périodes géologiques, car ils sont composés de couches qui n'ont pu être formées que successivement et par de longues actions, soit chimiques, soit électriques, ou par de lentes sublimations. Et

si l'on suppose que les sources minérales aient pu contribuer à les produire, on n'en aura pas moins la mesure de leur longue durée en pensant que depuis les Romains, la nature ni la température des eaux minérales n'a nullement changé. Or il était nécessaire pour la production des couches alternatives de galène et de baryte, par exemple, qu'on observe dans les filons, que la température et la nature des eaux minérales qui les auraient produites eussent été notablement modifiées.

Enfin, on doit remarquer que si la presque totalité des roches de sédiment peut avoir été produite grain par grain par des actions qui ne pouvaient, en effet, transporter la matière que réduite en fragments moléculaires, il est d'autres dépôts, au contraire, caractérisés par des blocs énormes de plus de 50,000 kil., qui supposent des phénomènes dont la puissance fut à celle des phénomènes actuels, comme la masse de ces blocs est à celle d'un grain de sable.

CHAPITRE SEPTIÈME.

DISTRIBUTION DE LA TEMPÉRATURE A LA SURFACE DU GLOBE.

Causes des variations de température à la surface du globe.—Actions qui la rendent plus uniforme.

Après avoir discuté tous les moyens de déterminer d'une manière plus ou moins approximative la durée des âges de la terre, occupons-nous des phénomènes communs à chacun d'eux ; et d'abord examinons quelles variations dut éprouver la température à la surface du globe pendant les diverses périodes.

Aujourd'hui la température moyenne ou le climat varie sous le même parallèle d'un méridien à l'autre, selon la nature du sol et selon les accidents de sa surface ; et il en doit être ainsi, car la physique nous enseigne que la propriété d'absorber, d'émettre et

de réfléchir la chaleur, varie dans les corps selon leur composition, et essentiellement aussi soit selon l'état raboteux ou poli, soit même selon la couleur de leur surface ; le poli, aussi bien que le blanc et les premières couleurs du prisme, absorbant et émettant peu, mais réfléchissant beaucoup ; les surfaces raboteuses, au contraire, comme aussi le noir et les dernières couleurs du spectre solaire, émettant et absorbant beaucoup plus, et réfléchissant au contraire très-peu.

Or, la surface du globe est précisément affectée de variations très-notables : sur quelques points règnent des roches arides, ailleurs de vastes plaines, tantôt sableuses, tantôt couvertes de végétation, et d'une végétation tantôt lâche et grossière, et tantôt unie et serrée ; sur quelques points des monts âpres et tourmentés, ailleurs le poli des eaux, etc., etc., modifient notablement les propriétés d'émission, d'absorption et de réflexion du globe. On voit donc que la température du sol devra offrir de brusques variations d'un point à un autre ; mais une cause puissante vient modifier cet effet, dont les conséquences seraient souvent funestes. L'atmosphère, toujours en mouvement, empêche toute transition brusque et tend au contraire à établir sous ce rapport les mêmes passages insensibles que le naturaliste observe dans tous les ordres de faits dont il étudie successivement les lois et l'enchaînement.

A l'équateur, le soleil chauffe l'air fortement. Celui-ci s'élève en vertu de cette température que la chaleur naturelle et la réflexion du sol équatorial lui communiquent ; et dès lors il s'établit un courant des pôles vers l'équateur, mais obliquement, parce que l'air des pôles qui tend à remplacer, vers l'équateur, celui que la chaleur fait élever, n'est doué que d'une vitesse de translation beaucoup moindre. Il s'établit donc, dans l'hémisphère boréal, un vent de nord-est. D'un autre côté, le frottement que l'air éprouve en glissant sur la terre contribue encore à diminuer sa vitesse, et par conséquent à le rendre encore plus oblique. Au contraire, l'air échauffé qui va de l'équateur aux pôles ayant une très-grande vitesse et passant sur des terrains dont la vitesse de rotation diminue, doit nécessairement arriver obliquement au pôle et donner dans l'hémisphère boréal un vent de sud-ouest. Et, en effet, dans les zones tempérées boréales, sauf quelques perturbations locales, on observe que les vents dominants sont ceux de nord-est et de sud-ouest. Le contraire a lieu dans l'hémisphère austral.

La mer contribue aussi beaucoup à niveler la température. Ainsi, à l'équateur, il se fait une grande évaporation ; une partie de cette eau retombe bien aussitôt en pluie à l'équateur, mais une grande partie va tomber dans les régions polaires et en élever ainsi la température. D'un autre côté, le grand courant équatorial, qui part des côtes d'Afrique, va passer le long de l'Amérique et revient le long des côtes de Norwége jusqu'en Afrique, contribue aussi beaucoup à réchauffer les mers et les terres polaires, d'autant plus qu'il reste à la surface en raison de sa légèreté. Enfin, des courants d'eau au maximum de densité viennent des pôles à l'équateur dans le fond de la mer, et tendent ainsi à niveler, en sens contraire, la température.

Les chaînes de montagnes contribuent aussi à réchauffer les pays situés au sud de ces chaînes, en interceptant les vents du nord, et parce que l'inclinaison qu'elles communiquent au sol sous-jacent rend moins obliques pour lui les rayons solaires. Par les raisons inverses la température sera plus froide au nord de ces chaînes de montagnes.

Lignes isothermes.

M. de Humboldt s'est appliqué à reconnaître tous les points où la température moyenne est égale ; ces points réunis par des lignes ont donné ce qu'on appelle les *lignes isothermes*, ou d'égale température. Ces lignes ne coïncident pas avec les parallèles et s'en écartent plus ou moins ; elles offrent même des sinuosités considérables qui résultent précisément des circonstances si diverses qui tendent à modifier la température moyenne de chaque lieu. M. de Humboldt a établi des lignes isothermes pour chaque degré du thermomètre centigrade, et pour les tracer sur une carte, il a relevé tous les points de température moyenne que l'on connaissait sur chaque méridien, et il a établi par des calculs les points intermédiaires.

A mesure que l'on s'avance de l'équateur vers les pôles, la température moyenne diminue de plus en plus rapidement, parce que les rayons solaires tombant plus obliquement, une quantité proportionnelle de chaleur est réfléchie dans l'espace et perdue pour la terre. Cependant c'est vers le 45^e degré de latitude que ces

températures moyennes décroissent le plus rapidement, ainsi qu'on peut s'en apercevoir dans le midi de la France, où la température moyenne varie très-brusquement en passant d'un parallèle à l'autre. Ces circonstances sont du reste très-favorables à la civilisation, à cause de la variété de produits naturels qu'elles rassemblent dans des lieux peu éloignés, d'où résulte nécessairement un commerce abondant et facile entre les divers pays voisins : aussi est-ce en Egypte, en Grèce et en Italie que la civilisation a commencé.

Les lignes isothermes sont presque parallèles à l'équateur, mais en s'approchant des pôles elles s'infléchissent diversement.

Lignes isothères et isochimènes. — Influence de la température sur la distribution des animaux et des végétaux à la surface du globe.

Outre les lignes *isothermes* qui marquent les points d'égale température, on a cherché à déterminer des lignes *isothères* pour les points d'égale température extrême de l'été, et des lignes *isochimènes* pour les points de froid extrême pendant l'hiver. Ces lignes, on le conçoit, loin d'être parallèles, affectent les divergences les plus irrégulières. L'étude de la distribution des climats et des variations extrêmes de la température dans chaque climat, intéresse au plus haut degré le géologue, car de là dépend la répartition des espèces, soit animales, soit végétales, dans chaque lieu. En effet, il est des végétaux et des animaux qui périssent toujours lorsqu'ils se trouvent exposés à une température qui dépasse telle ou telle limite extrême, et c'est ainsi que les perturbations successivement survenues à la surface du sol ont pu faire périr des races entières d'animaux et de végétaux, ou seulement les faire changer de pays.

A mesure que l'on s'élève dans les montagnes, la température moyenne y est moins élevée; aussi dans les régions les plus chaudes du globe, trouve-t-on au milieu des montagnes les climats les plus froids, ce qui permet à une ligne isotherme de régner sans interruption du nord au midi jusque sous l'équateur. Mais les températures extrêmes de froid et de chaud sont très-différentes d'un parallèle à l'autre; aussi, bien que les fougères arborescentes, par exemple, vivent sous l'équateur à des

élévations dont la température moyenne est inférieure à celle de Paris, elles ne peuvent cependant pas se conserver dans cette dernière ville à cause de la rigueur des hivers.

Examen de ce qui arriverait dans le cas d'une nouvelle distribution des continents à la surface du globe.

Tout ce qui a été précédemment indiqué fait assez comprendre combien sont multiples et complexes les causes qui président à la répartition des températures moyennes ou climats à la surface du globe, et l'on a dû remarquer que la distribution des mers et des continents est l'une de ces principales causes ; l'on sait aussi que ni les mers ni les terres n'offrent sous ce rapport des chiffres identiques dans les deux hémisphères à latitude égale ; que les glaces flottantes, par exemple, qui, dans l'hémisphère boréal, ne descendent jamais au delà du 42° degré de latitude, se montrent dans l'hémisphère austral jusque sous le 30° degré ; il serait donc très-curieux de rechercher si, dans l'état actuel des choses, une distribution particulière des terres et des mers ramènerait à la surface de notre planète une température égale à celle dont elle jouissait lors du dépôt des terrains anciens. Il est d'abord évident que la forme des lignes isothermes subirait des changements extrêmes ; que tel climat qui se trouve aujourd'hui le plus chaud pourrait l'être le moins dans une nouvelle distribution. L'Europe, par exemple, pourrait être ramenée à la température de l'Amérique, et l'on aurait alors par 60° de latitude 9° d'abaissement de température ; il pourrait même y avoir certaines parties de ce continent qui se trouveraient placées dans des conditions encore plus défavorables ; le grand courant équatorial nommé Galsheam cesserait d'exister, etc., etc. Que l'on suppose les continents tous ramassés à l'équateur, ils n'y formeront qu'une bande circulaire de $30^{\circ} 52'$ de largeur, la surface actuelle des terres n'étant à celle des mers que :: 26 : 100. Ou, si on les suppose rassemblés aux pôles, ils y formeront deux calottes semblables qui s'avanceraient chacune jusqu'au $42^{\circ} 48'$. Or, dans l'un et l'autre cas, la température différerait très-peu de celle qui règne aujourd'hui. Ainsi, quand les terres seraient à l'équateur, leur

température serait un peu plus élevée, il est vrai, parce que les matières terreuses absorbent plus de chaleur que les mers ; mais, comme les mers seraient plus froides et qu'elles ne pourraient venir, comme actuellement, se réchauffer à l'équateur, elles contribueraient à établir une température générale peu différente. (A Paris un thermomètre placé sous une couche de 1 millimètre de terre végétale s'est élevé jusqu'à 54°, et il n'est guère probable qu'à l'équateur il pût s'élever beaucoup plus haut. Dans l'Inde, pendant les nuits sereines, il se produit quelquefois de la glace. A Saint-Petersbourg un thermomètre exposé au soleil s'est élevé peut-être même un peu plus haut qu'à l'équateur.) Si toutes les terres étaient placées aux pôles, elles y seraient couvertes de neige, et comme celle-ci perd peu de chaleur par le rayonnement, les continents seraient beaucoup moins refroidis que si les roches étaient à nu. En été la chaleur du soleil ferait fondre les glaces et ne serait pas perdue par rayonnement, comme cela a lieu sur les terres ; et les mers équatoriales, d'un autre côté, s'échauffant moins que les terres, la température générale serait encore à peu près la même.

Etude des climats par la végétation.

Ce qui, dans la nature, caractérise le mieux les divers climats, c'est, sans contredit, la végétation. Les botanistes connaissent déjà 70,000 espèces de plantes, et ils en découvrent chaque jour de nouvelles ; on peut donc admettre que le nombre s'en élèvera à 120,000 ou 150,000. Malgré ce grand nombre d'espèces, on est parvenu à trouver les lois très-simples auxquelles se montre soumise la répartition des végétaux sur le globe. Les botanistes partagent la surface du globe en un certain nombre de régions qui chacune, en raison de leur élévation au-dessus du niveau de la mer, combinée avec leur latitude et les circonstances particulières du sol, telles que sa nature ou sa disposition, conviennent à certains végétaux qui précisément se retrouvent partout où se voit réuni le même ensemble de circonstances qui caractérisent la même région. Mais on n'est pas d'accord sur le nombre de ces régions ; les uns n'en distinguent que 25, d'autres, et notamment M. de Candolle, en comptent jusqu'à 50. Voici toutefois quelques exemples de régions choisies

dans la série la moins nombreuse. C'est dans le dernier travail de M. de Candolle sur la géographie botanique qu'on trouvera tous les précieux documents que notre cadre ne nous permet pas de faire entrer dans nos analyses, et dont le professeur s'est borné à présenter un précis très-rapide.

La région dite arctique et alpine est très-froide ; on n'y rencontre pas d'arbres élevés, mais bien des arbrisseaux à grandes fleurs. La région des bords de la Méditerranée offre un bon nombre de plantes caractéristiques et qui ne sont pas connues ailleurs ; celle du Japon et du nord de la Chine ; celle des parties élevées de l'Inde, celle de l'Arabie, celle des Antilles, sont aussi parfaitement caractérisées. La région océanique intertropicale se fait remarquer par sa pauvreté ; ses plantes offrent de nombreux rapports avec celles de l'Asie. Celle des déserts de l'Afrique est aussi très-pauvre, mais très-caractéristique ; sa température est comprise entre 22 et 30°. Enfin, la région de la Nouvelle-Zélande est marquée par une température douce qui permet aux formes tropicales de s'y montrer. La moitié des genres qui s'y trouvent sont européens.

Des lois très-remarquables ont pu être déduites de l'étude approfondie de ces régions ; en voici quelques-unes :

Lois reconnues en géographie botanique.

1° A climats égaux, la végétation est différente dans chaque région.

2° A mesure que l'on s'approche des pôles vers l'équateur, la végétation devient de plus en plus variée et le nombre des espèces augmente dans chaque genre. Ainsi, en Laponie, où il n'y a que 610 espèces de plantes, les genres renferment, terme moyen, 3 espèces ; en Suède ils en contiennent 4, et en France 6.

3° Le nombre des cryptogames augmente à mesure qu'on s'approche des pôles : sur 100 espèces il y a 55 cryptogames en Laponie, 51 en Suède, 50 en France, 20 à Madère, 25 à Maurice, 45 aux îles Malouines, etc.

4° A mesure qu'on s'avance vers l'équateur, on voit le nombre des plantes dicotylédones prédominer sur celui des monocotylédones : pour 1 monocotylédone on trouve 2 dicotylédones en Laponie, 3 en Angleterre, 4 en France, 6 aux îles Canaries.

5° Le nombre des espèces ligneuses augmente à mesure qu'on s'avance des pôles à l'équateur ; ainsi, en Laponie, on ne trouve, sur 100 espèces végétales, que 1 arbre ayant plus de deux pieds de haut ; en France on en trouve 1 sur 80, à la Guiane, 1 sur 5.

6° La variété et le nombre des végétaux augmentent dans chaque pays, selon que les stations y sont plus nombreuses et aussi à mesure que l'on s'enfonce dans l'intérieur des terres ; les îles renferment en général peu d'espèces : à Tristan-d'Acunha, dans l'Océan Atlantique, où il y a cependant une montagne de 2,000 mètres, on ne trouve que 100 espèces, tandis qu'en France il y en aurait 1000 dans une égale étendue.

7° Parmi les plantes cryptogames, la proportion des cryptogames vasculaires augmente notablement en allant du pôle à l'équateur, tandis que l'inverse a lieu pour les cryptogames cellulaires. Ce rapport s'établit surtout d'une manière très-remarquable pour les fougères, qui appartiennent aux cryptogames vasculaires. Dans le Labrador on ne connaît pas de fougère ; en France, sur 100 cryptogames, il y a 10 fougères, il y en a 34 à Tristan-d'Acunha, 68 dans l'île Norfolk et 66 au Congo. On voit que les fougères font exception à la règle posée précédemment relative aux cryptogames, qui, considérés en général, diminuent à mesure qu'on avance vers l'équateur.

On connaît maintenant 1500 fougères, et si l'on compte celles qui ne sont pas encore décrites, on peut élever leur nombre jusqu'à 2,000 ; leur répartition est fort inégale. En France il n'y a qu'une fougère sur 60 espèces de plantes, tandis que ce rapport est, à l'équateur, de 1 sur 30 ; à Sainte-Hélène, 1 sur 2 ; à Tristan-d'Acunha, 2 sur 3, et à Otahiti, 1 sur 4. En général la proportion des fougères est plus grande dans les îles que sur les continents.

Végétation des diverses époques géologiques.—Elle prouve le décroissement successif de la température à la surface du globe.

La distribution des végétaux sur le globe aux diverses époques fournit à la science quelques données importantes.

Dans les systèmes *cambrien*, *silurien*, *carbonifère* et du *grès rouge*, on trouve les mêmes genres de plantes, les espèces seu-

lement différent. On y trouve des calamites, des lépidodendrons, des stigmaria, des fougères, des lycopodiacées, des équisétacées et des végétaux indéterminables qui pourraient bien être des dicotylédones. On a trouvé en outre dans le terrain houiller quatre palmiers, quelques végétaux qui pourraient peut-être se rapporter à des liliacées arborescentes et des espèces non classées. Le *zeichstein* présente aussi quelques végétaux qui diffèrent de ceux du terrain houiller; ce sont des fucoïdes, des lycopodites, des astérophyllites et des fougères.

L'étude assez approfondie qu'on a pu faire, surtout de la flore du terrain houiller, montre qu'à cette époque le nombre des végétaux était beaucoup moindre qu'il ne l'est aujourd'hui, et en outre que la proportion des végétaux vasculaires était beaucoup plus grande. Cette végétation du terrain houiller se rapproche de celle de nos contrées les plus chaudes, et se trouve surtout analogue à celle des îles isolées de la zone torride; toutefois, comme elle est encore plus abondante en vasculaires, on a la preuve que le climat était alors encore beaucoup plus chaud et plus humide.

Le grès des Vosges n'offre pas de végétaux, soit parce que les fossiles ne se conservent pas dans les grès purs, soit parce que le grès des Vosges s'étant déposé dans une période un peu agitée, les végétaux ont dû être triturés et détruits.

Le grès bigarré ne contient des végétaux que dans sa partie supérieure. On a trouvé 19 espèces à Souliz-aux-Bains dans les couches schisteuses : 3 équisétacées, 6 fougères, 5 *woltzia* (conifères peu éloignés de nos *araucaria*), 2 liliacées et quelques autres monocotylédones incertaines. A Lodève le même terrain a offert des végétaux analogues.

Les marnes irisées sont caractérisées par un grand nombre de cycadées, végétaux tout à fait propres aux pays chauds. On y trouve aussi des équisétacées, des calamites et des fougères, mais point de dicotylédones.

Le terrain jurassique a fourni 50 espèces végétales, des équisétacées, des fougères, des cycadées et des conifères, soit en France, soit en Angleterre; mais dans le prolongement des couches jurassiques dans les Alpes, on trouve au milieu de grès et d'argiles schisteuses alternant avec des calcaires des espèces identiques avec celles du terrain houiller; ce sont notamment

des fougères, des équisétacées et des lépidodendrons. Il existe donc deux flores dans le terrain jurassique, l'une normale et l'autre qui paraît avoir été apportée de loin et déposée dans une mer très-profonde. Il paraît donc que les êtres organisés du système carbonifère n'avaient pas encore disparu, mais qu'ils s'étaient éloignés pendant le dépôt du muschelkalk, et qu'ils auront pu être ramenés plus tard par de grands cours d'eau dans une mer profonde. Et, en effet, les végétaux des Alpes paraissent avoir flotté pendant un certain temps dans les eaux, tandis que ceux qui se rencontrent dans d'autres parties de la France sont presque à la place où ils ont vécu.

Dans le terrain *crétacé* on trouve aussi des végétaux, et ce sont en partie ceux du système jurassique. On trouve dans le grès vert des conifères et des fucoïdes. Ces derniers végétaux prédominent surtout dans la craie inférieure de La Rochelle, de Genève, de Gênes, des Basses-Pyrénées, des Hautes-Alpes. Ce sont donc les cycadées et les conifères qui caractérisent le mieux les terrains secondaires inférieurs et supérieurs. Sur 70 espèces végétales qu'on a reconnues jusqu'ici dans les terrains compris entre les marnes irisées et le terrain tertiaire, les cycadées et les conifères sont au nombre de 35, exactement *la moitié*, tandis que ces deux familles ne comptent que pour *un trois-centième* dans la végétation actuelle. Sur ces 35, les cycadées sont au nombre de 29; or, aujourd'hui, l'on ne connaît que 22 cycadées, et elles vivent sous la zone torride. Le climat de l'Europe, à l'époque du dépôt de ces terrains, était donc analogue à celui qui règne entre les tropiques.

Les *terrains tertiaires* contiennent aussi beaucoup de végétaux, qui même diffèrent dans les divers étages. Les plus caractéristiques sont les *chara*, dont on connaît plusieurs espèces; c'est surtout leurs graines, que l'on retrouve parfaitement conservées, et que l'on avait d'abord longtemps considérées comme des coquilles. Les palmiers aussi se montrent très-abondants dans les terrains tertiaires, où l'on rencontre en outre un grand nombre de végétaux dicotylédones. Les plantes phanérogames y sont aussi très-nombreuses, en sorte que la flore des terrains tertiaires se rapproche entièrement de celle qui couvre aujourd'hui le globe et n'en diffère même essentiellement que par les espèces.

Le professeur donne quelques exemples de la végétation des trois étages tertiaires : il cite dans l'argile plastique et le calcaire grossier inférieur de Paris des nayades, des potamophyllites, des palmiers et des dicotylédones incertaines. A Montmartre, dans les marnes blanches supérieures au gypse, on a reconnu des palmiers. Dans le bassin de Londres on trouve des palmiers et des bois percés par des tarets; à Pheppey il y a des fruits pyritisés qui ont beaucoup de ressemblance avec les cocos, fruits qui caractérisent la végétation tropicale.

Dans le terrain tertiaire moyen on trouve à Narbonne des mousses, des équisétacées, des fougères, des conifères, des amenacées; à Aix et à Lausanne des palmiers; à Bouxviller et à Bonn des palmiers et des conifères au milieu de troncs d'arbres entassés, et qui forment un dépôt ligniteux abondant; mais à Heningen, on trouve dans un calcaire schisteux des dicotylédones qui ont beaucoup de rapport avec ceux qui vivent actuellement dans le pays.

Le terrain tertiaire supérieur dans le dépôt du grand lac de la Bresse offre des lignites formés de troncs d'arbres qui indiquent une végétation tropicale, car on a cru y reconnaître des bouleaux et des noyers. Sur les montagnes du Dauphiné, au delà des limites actuelles de la végétation, on trouve de grands dépôts de bois qui sont en place sans aucun doute, et qui ont dû y vivre avant le dernier soulèvement des Alpes. A la Stradella près Pavie, on trouve entre des feuilletts gypseux beaucoup d'empreintes de feuilles appartenant à des érables et à des peupliers qui vivent encore, à ce qu'on croit, en Corse et dans le royaume de Naples, dont la température est plus élevée seulement de 4 à 5° cent. Ainsi, depuis l'époque du dépôt de ces couches, la température aurait baissé un peu. Et on ne peut douter que ces feuilles ne se trouvent à la place où elles sont tombées dans l'eau, car elles ne sont nullement froissées, et leurs nervures les plus délicates sont parfaitement conservées.

Si les végétaux ont vécu le plus souvent à la place où nous les retrouvons; si leur distribution dans les divers terrains constate une diminution successive de la température à la surface du globe, et une progression toujours croissante dans l'organisation végétale, il est cependant quelques faits qui ne doivent pas être omis, et qui, démontrant un transport des plantes

à de grandes distances du lieu qui les produit, nous font voir que l'on pourrait citer quelquefois, en preuve de la diminution de température et du progrès de l'organisation, des faits qui réellement appartiennent à un tout autre ordre de phénomènes. Ainsi, les courants portent en Europe les bois et les graines du nouveau continent; et l'on voit souvent à Bonu, par exemple, des troncs d'arbres entassés pêle-mêle avec des cailloux, ce qui prouve assez qu'ils ont dû être violemment charriés par les eaux.

Néanmoins il est assez de faits pour prouver la loi établie; le terrain carbonifère, par exemple, présente presque partout les caractères d'une formation tranquille, et les végétaux qu'il recèle appartiennent presque tous aux lieux mêmes où ils existent transformés en houille.

Ainsi l'on trouve fréquemment des tiges verticales qui traversent toutes les couches horizontales de ce terrain. A Liège, à Newcastle, à Durham, à Saint-Etienne, à Sarrelouis, en Silésie, de tels exemples sont fréquents, et on en cite même au milieu du terrain jurassique, en Angleterre dans le Yorckshire: néanmoins dans le centre de la France, on voit des dépôts houillers dont les plantes ont dû être charriées des montagnes voisines, mais non point d'une distance considérable. De même on voit, à l'embouchure du Mississipi, un dépôt d'arbres couchés et dirigés dans le sens du courant au milieu de sable et d'argiles schisteuses qui constatent le transport de l'eau, mais d'une petite distance. Entre les exemples que cite le professeur de tiges verticales, ayant dû vivre dans le lieu même où elles sont aujourd'hui carbonisées, nous relaterons le suivant. A Newcastle, on a trouvé dans une couche de houille cinq tiges appartenant à des lépidodendron, calamites et fougères. Elles étaient placées à peu de distance les unes des autres, et on pouvait suivre les racines dans la couche de houille. Les tiges se trouvaient engagées dans une couche de grès et elles s'arrêtaient dans une couche de houille qui venait au-dessus.—Dans un autre endroit de la même localité, au-dessus d'une couche de houille se trouvait une couche de schiste bitumineux, dans lequel des tiges de calamites prenaient racine. A chacune des articulations de ces tiges naissaient de petits rameaux qui se trouvaient étalés dans des couches de grès et d'argile schisteuse.

Au-dessus se trouvait une couche de houille dans laquelle ces tiges venaient se terminer.

Pour reconnaître les divers bois fossiles, lorsque l'altération qu'ils ont subie ne permet pas de distinguer à l'œil nu les caractères de leur organisation, on en détache une lame extrêmement mince, et jusqu'à être transparente. Pour y parvenir, lorsque le bois fossile est très-dur ou même siliceux, on peut l'user à l'émeri. Cette lame obtenue, on la soumet au microscope qui fait reconnaître sans peine la structure végétale, c'est-à-dire la disposition des tissus, et par ce moyen la famille, et très-souvent même le genre auquel se rapporte le bois étudié.

Les observations comparatives faites sur les bois du terrain houiller de New-Castle et sur ceux du lias de Whitby, portent à conclure qu'à l'époque du terrain houiller il n'y avait pas encore de distinction de saisons, tandis qu'à l'époque du lias l'hiver et l'été devaient être déjà marqués par des différences de température très-sensibles.

Admettant que les dépôts de houille se sont produits aux dépens de végétaux développés sur place, les géologues ont supposé que des plantes croissaient abondamment au bord de la mer et étaient envahies par les sables lorsque la mer s'élevait. Mais on ignorait alors que la Suède s'élève et que le Groënland s'abaisse, surtout en quelques points, de plusieurs centimètres chaque année. Lorsqu'autrefois l'écorce du globe était moins solide, ces exhaussements et affaissements étaient plus faciles, et l'on peut supposer que pendant le dépôt des terrains combrien et silurien, l'écorce terrestre ne s'enfonçait pas graduellement, au moins dans les points qui sont maintenant à découvert, tandis que cet effet aura eu lieu pendant le dépôt des terrains houillers, et ne se sera pas reproduit après.

Anomalies apparentes dans les résultats de l'étude des végétaux fossiles.

M. de Beaumont fait de nouveau remarquer que l'étude des végétaux fossiles constate une diminution graduelle dans la température et une complication successive dans l'organisation végétale, et cependant ce dernier résultat paraît être en opposition avec le dernier, car nous voyons aujourd'hui les plantes les plus développées et les plus complexes croître dans les climats les plus

chauds, tandis qu'on ne trouve vers les régions polaires que des végétaux beaucoup plus simples.

Une chose remarquable sous plusieurs rapports, c'est que les terrains cambrien, silurien et houiller, se retrouvent, et avec les mêmes caractères, en France, en Angleterre, en Allemagne et en Russie. Ils occupent aussi de grands espaces en Amérique, et les végétaux y sont les mêmes que ceux d'Europe. Il en est encore ainsi à Melville, où les végétaux sont semblables à ceux d'Edimbourg et à la côte rocheuse en Amérique, qui est sur le même méridien que la Russie. L'Inde et la Nouvelle-Hollande offrent aussi des dépôts de combustible, mais ils n'appartiennent peut être pas à la même époque.

Une végétation aussi abondante et aussi complexe au voisinage des pôles, à Melville, par exemple, où l'on a des nuits de deux mois, et où la végétation est presque nulle aujourd'hui, a paru difficilement explicable à divers géologues, d'où leurs hypothèses d'un déplacement de l'équateur, d'un choc de comète contre la terre, etc.; mais on manque d'expériences pour savoir si des plantes pourraient vivre privées de la lumière du soleil, éclairées seulement par la lune et par les étoiles, et n'ayant pas à subir de basses températures.

D'ailleurs, l'air autrefois pouvait offrir une composition différente et plus favorable à la végétation. L'acide carbonique pouvait être plus abondant, et favoriser ainsi la formation des houilles et des calcaires. La non-existence, à cette époque, d'animaux respirant l'air, tend à confirmer cette opinion.

Les végétaux du grès bigarré étant très-différents de ceux des terrains qui les ont précédés, et des terrains jurassiques, et ceux des terrains crétacés et tertiaires offrant aussi de grandes différences, on a supposé, pour expliquer ces renouvellements, qu'à chacune de ces époques les végétaux existants avaient été complètement anéantis et qu'une végétation nouvelle s'était développée à la surface du sol; mais il suffit de supposer des changements dans la configuration du sol. Des rapprochements de continent pourront introduire dans les anciennes contrées des régions botaniques nouvelles et toutes différentes. D'ailleurs toutes les révolutions n'ont pas produit les mêmes effets; ainsi celles qui ont eu lieu entre les terrains cambrien, silurien et houiller n'ont pas changé la végétation.

Influence des glaces polaires sur la distribution naturelle des climats.

Poursuivons l'examen des différences les plus notables qui se présentent entre les circonstances auxquelles le globe est aujourd'hui soumis, et celles qui réglèrent la marche des phénomènes aux anciennes époques géologiques.

Maintenant les calottes de glace qui couvrent les pôles de notre globe fondent, pendant l'été seulement, à leur partie supérieure par l'action des rayons solaires, et en tout temps à leur partie inférieure par l'effet de la chaleur centrale qui, en même temps, les maintient à une épaisseur qui varie peu. Ces glaces, en fondant, produisent des courants d'eau froide qui vont des pôles à l'équateur et qui ont la même influence que les vents alizés.

Un courant d'eau chaude venant le long des côtes occidentales d'Afrique suit l'équateur, rase les Antilles, fait le tour du golfe du Mexique et se partage en deux bras : l'un va de là aux Barbades, à Terre-Neuve, en Islande et sur les côtes de la Norvège ; l'autre va en droite ligne de la pointe des Florides à celle de l'Islande, en se divisant lui-même en deux, car une partie va aux Açores et revient de là à l'équateur.

Dans l'Océan Pacifique il y a aussi un courant ; les eaux polaires viennent à Chiloe où elles se partagent en deux branches : l'une suit les côtes et va tourner autour de la Terre-de-Feu ; l'autre suit l'équateur et va sur les côtes de l'Asie, rafraîchissant ainsi les côtes du Pérou, tandis que dans l'Atlantique le courant réchauffe l'Angleterre et la France. Le courant, arrivé sur les côtes de l'Asie, va passer dans le canal de Mozambique et fait le tour de l'Afrique. Sur les côtes du Brésil il y a aussi un courant qui porte les sables de la rivière des Amazones sur les côtes de la Guiane.

La surface de la mer s'échauffe moins que les terres découvertes, à cause du rayonnement ; mais, par la même raison, elle se refroidit peu parce qu'elle produit des ascensions d'eau chaude et des courants inverses d'eau froide.

La Méditerranée n'a pas de courants comme les autres mers,

seulement à sa surface il entre un courant d'eau chaude, tandis que dans le fond il en sort un courant d'eau froide.

La température de la mer décroît plus rapidement quand on s'y enfonce que celle de l'atmosphère quand on s'y élève : c'est environ de 2° par 100 mètres. L'intensité de la lumière s'affaiblit aussi très-rapidement. A 300 mètres elle est si faible, que les animaux et les plantes ne peuvent plus y vivre. La pression augmente aussi très-rapidement (1 atmosphère pour 10 mètres).

On voit qu'une grande partie de ces circonstances sont entièrement propres à notre époque, car autrefois il n'y avait pas de glaces polaires qui pussent refroidir les eaux interpolaires. Ainsi, le fond de la Méditerranée est à 12°, température moyenne des contrées environnantes, même aux points les plus bas que l'on ait sondés, 2,195 mètres, parce qu'elle ne reçoit aucun courant qui provienne de la fonte des glaces. Le fond des lacs de la Suisse, au contraire, est à 4° maximum de densité de l'eau ; et il en est de même dans l'Océan.

Distribution des coquilles et des polypiers dans les mers.

Les animaux marins ne sont pas distribués irrégulièrement et arbitrairement dans la mer : la lumière, la pression, les courants, la nature du fond, etc., ont une grande influence. Il y a donc dans le fond de la mer des zones habitées par chaque espèce, suivant toutes les circonstances. En Angleterre on a fait des tableaux indiquant les stations de chacun des genres ; nous allons en donner quelques-uns :

GENRES.	PROFONDEURS.	NATURE DU FOND.
Solén.	de 0 ^m à 24 ^m	Sables.
Macra.	de 0 à 22	Vases sableuses, sables.
Crassatella.	de 15 à 22	<i>id.</i> <i>id.</i>
Corbula	de 0 à 24	Vases, sables.
Tellina.	de 0 à 31	Sables.
Lucina.	de 9 à 20	Vases, sables.
Cytherea.	de 0 à 91	Vases, sables, graviers.
Venus.	de 0 à 91	Sables.
Venericardia.	de 0 à 91	<i>id.</i>
Cardium.	de 0 à 24	Vases, sables, graviers.
Byssomya	de 0 à 137	Coquilles, pierres.
Nucula	de 0 à 100	Vases sableuses, sables.
Trigonia.	de 11 à 26	Vase sableuse.
Pinna.	de 0 à 31	Sables.
Pecten	de 0 à 37	Sables, vases.
Huitres.	de 0 à 31	Graviers, sables.
Terebratula.	de 18 à 165	Roches, coquilles. (Ce genre est celui qui atteint la plus grande profondeur. Il peut supporter une pression de 17 atm.)
Patella ⁹	de 0 à 55	Pierres, varecs.
Bulla.	de 0 à 22	Sables, vases sableuses.
Trochus.	de 0 à 82	Roches, algues, vases sableuses.
Cerithium.	de 0 à 31	Embouchures des rivières.
Fusus.	de 0 à 20	Vases, sables.
Murex	de 9 à 46	Fonds divers.
Strombus.	de 0 à 24	<i>id.</i>
Purpura.	de 0 à 46	Littoral.
Trichotropis	de 18 à 27	Mers glaciales.
Voluta	de 12 à 26	Sables, vases.
Oliv.	de 0 à 22	Sables grossiers.
Conus.	de 0 à 31	Sables.

La majeure partie des autres genres ne descend pas au-dessous de 20 mètres. Les polypiers descendent peu aussi ; le corail, un de ceux qui s'enfoncent le plus, ne se pêche pas au-delà de 195 mètres.

Les plantes marines ne s'enfoncent aussi que très-peu ; on en connaît une cependant qui est vivement colorée et qui se trouve jusqu'à 305 mètres.

Au-dessous de ces limites le fond de la mer est désert. Le milieu des mers est aussi désert, car les poissons n'y trouveraient rien à manger. Ainsi, lorsque dans les couches du globe on

trouve des corps organisés, on peut être certain qu'elles se sont formées à moins de 200 mètres de profondeur.

Les polypiers ont contribué puissamment à la formation des couches calcaires, et leur étude intéresse hautement le géologue. On en connaît actuellement 386 espèces vivantes, divisées en 86 genres. Les uns sont gélatineux, les autres ont un axe corné, d'autres, enfin, ont un axe calcaire, arrondi ou rameux. Ces animaux sont distribués dans toutes les mers. Dans les mers septentrionales il y a des polypiers à axe corné et seulement quelques-uns à axe calcaire. Ainsi, dans les mers du Nord il y a seulement des flustres ; dans la Méditerranée on trouve le corail, et dans la mer Rouge il y a beaucoup de polypiers calcaires. Les polypiers abondent dans la mer Rouge ; on y en connaît 120 espèces distribuées dans 44 genres appartenant à 13 familles (on n'a encore établi que 17 familles parmi les polypiers). La Méditerranée ne présente que 2 polypiers calcaires.

Les polypiers cornés, au contraire, manquent dans les mers tropicales. Ainsi, dans la mer Rouge on ne trouve pas une seule gorgone ; un isis seulement s'y montre. Du reste, la mer Rouge forme une région animale bien distincte, car on y trouve 8 genres et 88 espèces qui ne se rencontrent pas ailleurs.

Les polypiers ne paraissent pas pouvoir vivre au-dessous de 200 mètres. Une seule observation de 402 mètres au Groënland a besoin de confirmation. Quant à leur accroissement, il est très-lent. Le corail ne se pêche que tous les dix ans ; les branches ont alors de 2 à 3 décimètres de longueur sur 15 millimètres de diamètre ; ce qui ne fait guère plus de 1 millimètre d'accroissement par an.

M. Ehrenberg a fait sur les bords de la mer Rouge des observations très-curieuses ; en voici les principaux résultats : les bancs de polypiers commencent au port de Tor et finissent à l'Arabie Heureuse. Ils se tiennent à 2 ou 3 mètres au-dessous du niveau de la mer. Leur surface est très-unie, sauf les intervalles qui se trouvent entre les branches. Les bancs sont allongés dans le sens du rivage, et il y en a souvent plusieurs bandes. Sur la côte d'Égypte, il y en a peu, parce que la mer est profonde et qu'il s'y fait des dépôts sédimentaires. Au bord des récifs de polypiers il y a souvent 200 pieds d'eau. Les bancs de polypiers ont une

épaisseur de 2 à 3 mètres au plus, et ceux des bords sont très-gros. Ces polypiers croissent avec une extrême lenteur, puisque, depuis leur existence dans la mer Rouge, il n'y en a encore que 2 à 3 mètres d'épaisseur. M. Legell porte le maximum d'accroissement des bancs de polypiers à 1 millimètre et demi par an.

Ces animaux ne s'établissent pas les uns sur les autres dans l'état de vie. Chaque écueil de polypiers peut bien mourir, mais la masse entière persiste et s'accroît toujours. M. Ehrenberg pense que les masses madréporiques qu'il vient d'étudier dans la mer Rouge sont encore les mêmes qui se trouvaient du temps de Pharaon. On a cru que des ports avaient été obstrués par des polypiers; mais cela n'est pas probable, puisqu'on a des descriptions du port de Tor faites depuis 1300 ans, et qu'il est encore le même.

Les polypiers craignent peu les brisants, quelques-uns même se plaisent dans ceux qui ont une certaine rapidité, parce qu'ils ne peuvent être ensablés, et que l'eau est renouvelée à chaque instant.

Dans le milieu de la mer Rouge il n'y a de polypiers que sur les récifs volcaniques. Les *astres* se tiennent à l'extérieur et les polypiers branchus restent à l'intérieur.

Dans l'Océan Pacifique il y a des bancs de polypiers qui paraissent croître un peu plus rapidement. MM. Quoy et Gaimard pensent qu'ils ont pu s'élever d'un fond se trouvant à 10 mètres au-dessous du niveau de la mer.

On en trouve aussi dans la mer des Indes, dans le canal de Mozambique, et aux îles Maldives et Lakedives. Ces dernières ne sont même pour la plupart que des masses de polypiers. On a souvent dit que dans la mer des Indes les polypiers s'élevaient des plus grandes profondeurs; mais la vérité est qu'on n'a jamais sondé au delà de 200 mètres, et qu'à cette profondeur on n'a pas non plus trouvé de polypiers. La profondeur à laquelle on les observe dans la Méditerranée tient peut-être au moindre abaissement de la température des parties inférieures.

Dans la mer Rouge ils forment des dépôts sous-marins; dans l'Océan Pacifique ils donnent lieu à des îles madréporiques. En effet, dans cette dernière mer les bancs s'élèvent jusqu'aux basses marées ordinaires, et dans les très-basses marées les sommités détachées par les lames sont entassées au centre et atteignent à la

longue le niveau des hautes marées ; au centre, cet ensablement s'étend jusqu'au bord du récif, et les courants y apportant des graines, surtout des cocos, il s'y forme une végétation plus ou moins rapide. — Une particularité des îles madréporiques, c'est qu'elles sont presque toutes circulaires ou à peu près, et qu'elles présentent au centre une lagune comme un cratère. Cela tient à ce que les polypiers se plaisent, la plupart, dans les courants. Ceux qui se trouvent sur les bords du massif, exposés à l'action des lames, croissent donc plus rapidement et avec plus de vigueur ; ceux du centre, au contraire, languissent, et ne peuvent se développer, non plus que ceux qui se trouvent dans le sens opposé à la direction ordinaire des flots. Il en résulte que la masse madréporique prend une forme de fer à cheval.

Dans les Antilles il y a des bancs puissants de polypiers ; ils forment à Bahama de grands récifs ; à la Guadeloupe ils entrent dans la composition des couches calcaires qui se forment.

Quoique les polypiers ne puissent vivre qu'à une profondeur peu considérable, ils ont cependant trouvé des espaces très-considérables pour s'établir. Ainsi les Maldives sont plus étendues que les Alpes.

On a observé que sur 32 îles madréporiques il y en avait 29 qui avaient une lagune intérieure, et que leur diamètre était très-variable. Une chose remarquable, c'est l'horizontalité des bancs de polypiers. Or, dans les terrains secondaires de la Côte-d'Or et de la Normandie, on trouve des bancs de polypiers horizontaux occupant aussi de grandes étendues.

Distribution des animaux marins aux époques géologiques. — 1^o Coquilles.

Si l'étude de la distribution géographique des êtres qui vivent actuellement à la surface du globe est pleine d'intérêt et d'utilité, celle des êtres anciens qui vécurent aux diverses époques géologiques importe aussi beaucoup au naturaliste et surtout au géologue.

Le nombre des espèces de mollusques testacés aujourd'hui vivants s'élève déjà à 4,780, dont 3,615 univalves. En comparant les coquilles vivantes aux coquilles fossiles, on a reconnu des rapports très-curieux. Dans les terrains tertiaires, par exemple, que l'on divise en trois étages, M. Deshayes a reconnu

que l'étage supérieur, auquel se rapportent le tuf ponceux de Naples, les collines subapennines, les dépôts coquilliers supérieurs de Perpignan, de la Sicile, etc., offre parmi ses coquilles 49 espèces sur 100 dont les analogues vivent encore. Ainsi, l'on y connaît 777 espèces ; sur ce nombre 350 se retrouvent encore dans la Méditerranée et l'Océan indien, et 5 au Sénégal. Celles qui vivent dans la Méditerranée sont plus petites que les fossiles.

L'étage moyen, auquel se rapportent les faluns de la Touraine, offre déjà 1021 espèces, dont 18 sur 100 vivent encore dans la Méditerranée, l'Atlantique, et surtout au Sénégal. Quant à l'étage inférieur, il a fourni 1233 espèces, dont 42 seulement ont été retrouvées vivantes et réparties dans toutes les mers. C'est donc seulement $3\frac{1}{4}$ pour 100.

Les 4.780 coquilles actuellement vivantes sont très-disséminées sur le globe, en sorte qu'il faudrait parcourir un grand espace de terrain pour rassembler seulement 100 espèces. Pendant le dépôt du calcaire grossier il y avait dans les environs de Paris et en Belgique un nombre de coquilles proportionnellement beaucoup plus considérable, ce qui indique un climat plus chaud que celui qui règne aujourd'hui. On y trouve en effet plus de 1500 espèces.

A mesure que l'on observe des terrains plus anciens, on y voit diminuer le nombre des espèces aussi bien que l'organisation de ces êtres qui s'y montre de moins en moins complexe. Ainsi le terrain crétacé ne renferme que 786 espèces, le terrain jurassique en offre 1236 ; mais ce nombre se partage entre les trois étages de ce terrain. Dans le muschelkalk on trouve 85 coquilles et 63 seulement dans le zeckstein. Le calcaire métallifère, quoique très-dur, en a déjà fourni 440 espèces ; enfin, on en connaît 211 dans les terrains silurien et cambrien. Au reste, ce nombre a dû s'accroître notablement par les incessantes recherches poursuivies depuis le dernier relevé publié par M. Murchison.

Il est à remarquer encore que les genres deviennent proportionnellement moins nombreux à mesure que l'on atteint des formations plus anciennes, et aussi que les espèces s'y montrent beaucoup plus grosses et plus complètement développées. Les nautilus de Dax et de Paris sont très-gros. Le terrain crétacé

du Danemark offre des ammonites qui ont 8 pieds de diamètre, et dans le terrain jurassique et le lias on trouve des ammonites et des nautilus de 4 pieds de diamètre.

Dans la craie, les bélemnites ont au plus 5 à 6 pouces de long, tandis que dans le terrain jurassique elles acquièrent jusqu'à 12, 14 et 18 pouces. On n'en retrouve plus dans le muschelkalk et le zeckstein, mais les orthocères, qui s'en rapprochent, ont dans le terrain silurien presque 5 et 6 pieds de long.

2° Polypiers.

Dans nos terrains tertiaires de France, on ne trouve que des polypiers épars. Nulle part on ne les voit former de récifs, d'où l'on a pu conclure que, pendant le dépôt de nos calcaires grossiers, la température du climat parisien était déjà moindre que celle des tropiques, mais comparable à celle de la mer Rouge, ce que la présence des bois de palmier dans nos terrains avait déjà fait pressentir.

Dans la craie on commence à rencontrer des polypiers qui forment quelques bancs. On les voit disposés en récifs dans le terrain crétacé inférieur, surtout dans le midi de la France, à Grenoble, Marseille, etc., où l'on trouve aussi des bancs d'hypurites qui ont jusqu'à 18 pouces d'épaisseur.

Des bancs de polypiers très-étendus se montrent dans le terrain jurassique; dans la *Pierre de Portland* et dans le *coral rag*, à Oxford, dans le Calvados, dans la Meuse, etc. On en rencontre également dans l'oolithe inférieure, soit en France, soit en Angleterre. On connaît déjà six bancs de polypiers dans cet étage.

Le calcaire de montagne, à Bristol, dans le pays de Galles, etc., offre aussi des bancs de polypiers. Enfin, le terrain silurien en présente également, et en nombre encore plus considérable, et jusque dans les latitudes très-septentrionales. On en connaît en Suède, aux Etats-Unis, sur les bords de la baie de Baffin, à Melville, etc.