

CHAPITRE XIV

LA MATIÈRE VIVANTE ET LES EFFETS DE SON ACTIVITÉ
SUR LA DISTRIBUTION DES MATIÈRES FLUIDES ET SOLIDES
À LA SURFACE DE LA TERRE. — DÉPÔTS FORMÉS
PAR LES RESTES DES PLANTES.

On a vu que les eaux douces et salées qui coulent sur la surface de la terre ou déferlent contre ses rivages sont constamment occupées à transporter d'amont en aval, ou de haut en bas, les matériaux dont le sol se compose. Une partie relativement insignifiante de ces matières demeure dans les lacs que quelques fleuves traversent dans leur cours; mais le reste tôt ou tard aboutit à la mer.

Les dépôts qui s'accumulent ainsi sur le fond de la mer ne correspondent jamais exactement à ce qui est enlevé à la terre, leur volume est toujours moindre, souvent même de beaucoup inférieur. En effet, les éléments principaux de la terre sont plus ou moins solubles dans l'eau; une proportion plus ou moins grande des débris provenant de la dénudation arrive donc à la mer à l'état de dissolution et se dilue dans l'océan comme le sucre d'une goutte de sirop se dilue dans un seau d'eau. Le carbonate de chaux et la silice, en particulier, sont de la sorte versés incessamment à la mer.

En supposant qu'il n'intervint à la surface du sol d'autres influences que celles de la pluie, des rivières et de la mer, leur action, comme on l'a fait ressortir au chapitre XI, tendrait en dernière fin à abaisser les continents au niveau d'une plaine sous-marine. Les eaux recouvrant cette plaine seraient plus ou moins complètement saturées de matières solubles provenant de la dénudation des roches. La dénudation, en somme, n'amoindrit pas seulement la masse des terres émergées, mais elle réduit aussi la proportion des éléments solides aux éléments fluides qui, réunis, constituent le globe.

Les forces qui se manifestent dans les soulèvements tendent à un résultat contraire. Les roches en fusion dans les profondeurs de la terre, que vomissent les volcans, sont rejetées à la surface où elles revêtent la forme solide. Il y a là transport de matière de bas en haut et le résultat est un accroissement des éléments solides aux dépens des éléments fluides du globe. Le volume de la terre ferme est ou n'est pas accru par l'action volcanique, selon l'endroit où le déchirement du sol se produit et la quantité de matières qui en jaillit. Si le déchirement de l'écorce terrestre s'est produit à la surface d'une terre émergée, les matières rejetées viendront nécessairement accroître la masse des continents; mais si le sol s'est entr'ouvert sous la mer, ces matières s'élèveront ou non jusqu'à la surface, selon leur volume et la forme qu'elles auront prise.

Si l'on admettait qu'il n'y eût à l'œuvre sur l'écorce terrestre d'autres agents que les volcans, avec les mouvements de soulèvement et de dépression qui les accompagnent, la quantité d'eau renfermée dans l'océan demeurerait sensiblement la même; mais le rapport de la superficie terrestre qu'occupent les continents, à la surface que recouvrent les eaux, pourrait varier presque indéfiniment. On conçoit, par exemple, que l'océan tout

entier qui occupe maintenant trois cinquièmes environ de la surface du globe, pût être contenu en quelques lacs très profonds à la suite d'une dépression des vallées marines actuelles et d'un soulèvement des continents intermédiaires. Le résultat contraire pourrait encore se produire par l'affaissement des continents existants et l'exhaussement du fond de la mer que déterminerait l'accumulation de matières rejetées par des volcans sous-marins.

Ainsi, en tant qu'il ne s'agit que du transport des matériaux qui constituent la croûte terrestre, l'action des volcans et des forces élévatrices tend, dans l'ensemble, à compenser les effets de la dénudation et de la dépression du sol. On conçoit que ces deux influences pourraient se prolonger pendant une période indéterminée, de telle manière que la proportion de la terre émergeant au-dessus du niveau de la mer à celle du sol immergé demeurât la même. Mais dans l'œuvre de la nature telle que nous l'avons entrevue jusqu'ici, il n'y a rien qui compense la conversion des solides en liquides accomplie par la dénudation, ni cette immense déperdition de gaz dans l'atmosphère qui parfois, sinon toujours, accompagne l'action volcanique.

Il y a cependant à l'œuvre, sur une immense échelle, un agent qui ramène à l'état de solides, d'une manière temporaire ou permanente, certains des éléments gazeux et liquides de la terre. Cet agent, on le désigne du nom de *matière vivante*, ou moins exactement¹ de *matière organique*.

1. Moins exactement parce qu'on ne saurait dire rigoureusement que toutes les formes que revêt la matière vivante sont organisées. Un *organe* est une partie d'un corps vivant que sa structure rend propre à l'accomplissement d'une certaine action spéciale que l'on appelle sa *fonction*. Les formes inférieures de la vie ne possèdent point de ces parties auxquelles on puisse appliquer dans ce sens le terme d'*organe*.

La surface de la vallée de la Seine est couverte d'une multitude prodigieuse et de variétés sans nombre de ces formes de la matière vivante que nous nommons plantes ou animaux. Mais malgré leurs différences évidentes, il y a tant de ressemblances profondes entre les formes diversifiées de la vie, qu'une plante ou un animal quelconque peuvent servir à éclairer les caractères essentiels de toutes les plantes et de tous les animaux. Tout le monde a vu un champ de pois rempli de pigeons. Nous pouvons nous servir des pois comme d'un exemple excellent de plante et des pigeons comme d'un type du règne animal.

Le pois que l'on extrait de la cosse mûre est un corps vivant, mais dans lequel l'activité vitale sommeille alors presque entièrement. Dans l'enveloppe mince du pois se trouve renfermée une plante parfaite, quoique à l'état d'embryon, composée d'une tige minuscule avec sa racine et ses feuilles; de ces dernières, deux, les *cotylédons* ou *feuilles séminales*, sont si épaisses et si fermes qu'elles constituent la masse principale du pois dans les premiers temps de son développement. Soumis à l'analyse chimique, cet embryon de la plante donne certains corps complexes, composés principalement de carbone, d'hydrogène et d'azote, et que l'on connaît sous le nom de substances protéiques. Il contient en outre des matières grasses, de la substance ligneuse (cellulose), du sucre et de l'amidon, divers sels de potasse, de chaux, de fer et d'autres matières minérales, y compris une proportion d'eau considérable.

Examinée à l'œil nu, la substance molle de la jeune plante paraît être absolument homogène; mais à l'aide du microscope, on découvre qu'elle est loin d'être telle et qu'elle a au contraire une structure régulière et définie. On aperçoit une charpente ligneuse délicate formée

de petites enveloppes innombrables dont chacune est remplie d'une matière à moitié fluide nommée *protoplasma*¹, comme le miel remplit les cellules de cire d'un rayon. On nomme *cellule* chaque petite masse de protoplasma avec les parois ligneuses qui la renferment, et la partie du protoplasma qui se distingue du reste sous la forme d'un noyau rond ou *nucléus* s'appelle *cellule à nucléus*. Le protoplasma contient les composés protéiques et la plupart des éléments constitutifs salins et aqueux de la plante. Les parois de la cellule ne sont que de la cellulose et de l'eau. Il existe probablement dans toutes les cellules, dilués dans le protoplasma, du sucre et des matières grasses; dans la plupart, on trouve de l'amidon sous la forme de granules.

Ainsi le pois, à l'état embryonnaire, n'est pas une masse simple et homogène, mais un agrégat d'une multitude de cellules à nucléus distinctes dont chacune consiste essentiellement en une matière protoplasmique logée dans l'enceinte de ses parois. La vie ne se manifeste dans cette agglomération de cellules qu'après que le pois a été exposé à certaines influences. Mais chacun sait que si l'on sème un pois dans la terre, par un temps humide et chaud, il ne tarde pas à briser son enveloppe. Les cotylédons se développent et s'élèvent jusqu'à la surface, tandis que la racine s'enfonce dans le sol. La tige s'allonge dans l'air; ses feuilles, d'abord étroites et incolores, se développent et verdissent rapidement, de nouvelles feuilles viennent à pousser, et peu à peu s'élance du sol une plante élevée dont le volume et le poids dépassent bientôt de plusieurs milliers de fois ceux de l'embryon. Alors la plante fleurit et dans le centre de chaque fleur on trouve un organe creux, le *pistil*. Sur les parois de cet organe se développent en

1. *Protoplasma*, de *πρῶτος*, premier, et *πλάσμα*, formation

excroissances de petits corps nommés *ovules*; chaque ovule est formé d'une petite masse de tissu cellulaire, le *nucelle*, à l'intérieur duquel existe une cavité, le *sac embryonnaire*, qui contient une ou plusieurs *vésicules embryonnaires*. Dans les ovules fécondés, la cellule embryonnaire se divise et se subdivise, chaque nouvelle cellule se développant jusqu'à ce qu'elle devienne aussi large ou plus large que celle d'où elle est sortie; et ainsi, par degrés, la cellule simple se transforme en une agrégation de cellules qui prennent la forme de l'embryon. Cet agrégat de cellules, enfermé dans l'enveloppe distendue que fournit l'ovule, constitue le pois, tandis que le pistil développé devient la cosse du pois.

Ainsi la plante que nous considérons subit une série de transformations dont le point de départ est la cellule simple à nucléus (la cellule embryonnaire) que contient l'ovule, et le résultat est la production de nouvelles cellules embryonnaires dont chacune peut renouveler la série de ces modifications. Chacun des termes de la série est une phase de ce qu'on appelle le développement de la plante, et si l'on compare les phases successives de ce développement, on trouve que la plante devient de plus en plus complexe à mesure que s'achève son développement.

L'embryon de la plante, dans le pois, présente une structure plus complexe que la vésicule embryonnaire dans l'ovule; la plante en fleur est plus complexe que n'est la jeune plante avant la floraison; et cette complexité s'accroît non seulement dans les parties visibles extérieurement, mais dans la structure intime de la plante qui se développe. Néanmoins il faut observer que la plante parvenue à sa pleine croissance est, autant que l'embryon, un agrégat de cellules à nucléus plus ou moins modifiées; et chacune des modifications dans la

forme et les dimensions de la plante, pendant son développement, est simplement l'expression du mode de croissance et de multiplication des cellules individuelles qui composent le corps de la plante.

Cette évolution d'un état extrêmement simple à un autre très complexe, telle que nous venons de l'étudier dans le pois, est ce qui caractérise la matière vivante. Car quoiqu'il y ait une ressemblance superficielle entre la croissance d'une plante et la forme arborescente que prennent certains corps en cristallisant, forme dont le givre qui se dépose sur une vitre de fenêtre offre un excellent exemple, il suffit néanmoins d'un examen superficiel pour voir que les deux opérations sont en réalité entièrement différentes. Quand un cristal se développe, la matière nouvelle s'ajoute en se superposant à sa surface extérieure, et quand les corps cristallins prennent une forme arborescente, le premier cristal qui se dépose ne se développe point sous l'aspect d'un rameau de cristal, mais de nouveaux cristaux se juxtaposent extérieurement au premier, et la masse ainsi composée présente une forme arborescente. Mais dans la croissance de la cellule embryonnaire c'est dans la substance même de la cellule que se produit l'accroissement de matière, comme un morceau de gelée s'enfle en absorbant de l'eau. C'est ainsi que la cellule primitivement simple devient un agrégat de cellules, non par la juxtaposition de cellules étrangères, venues du dehors se rattacher à celle qui existait d'abord, mais par le développement et la division de la cellule primitive, puis par la répétition de ces opérations de croissance et de division dans les générations successives de cellules nouvelles ainsi produites.

Il y a une autre différence bien frappante entre la croissance de la matière inanimée, autant qu'on peut ici employer le terme de croissance, et la croissance des êtres

vivants. Un cristal ne se développe que si les matières dont il est composé existent telles quelles dans le liquide qui l'entourne. Un cristal de sel ne peut se développer que dans une dissolution de sel, et un cristal de sulfate de soude que dans une dissolution de sulfate de soude.

Il en est tout autrement d'une plante. Un simple pois peut non seulement devenir, en poussant, une large plante, mais finir par donner naissance à une multitude de pois aussi larges que lui-même. En d'autres termes, le pois, dans le cours de son développement, amasse en lui une quantité de composés protéiques, de cellulose, d'amidon, de sucre, de graisse, de sels aqueux et minéraux, égale à des centaines de fois la quantité qu'il contenait primitivement. Cependant il est certain qu'aucun de ces corps, à l'exception des sels aqueux et minéraux, n'existe tel quel dans l'air ou dans le sol. En effet, quelque étrange que la chose puisse paraître, le sol est une superfuité. Un pois deviendra, en poussant, une plante parfaite et produira sa récolte de pois, si on l'alimente d'une eau contenant de l'azotate d'ammoniaque et les phosphates, les sulfates, les chlorures de potassium, de calcium, de fer et autres dont il a besoin, et si on le laisse librement exposé à l'air et aux rayons du soleil. Dans de telles conditions, il va sans dire que la plante, quand elle a achevé son développement, est nécessairement composée presque en entier de liquides et de gaz convertis en matières solides et qu'elle a fabriqué les composés chimiques fort variés et souvent très complexes qui constituent sa substance, à l'aide des matériaux relativement simples et rudimentaires qui lui ont été fournis.

Dans le cas particulier que nous envisageons, le liquide qui alimente le pois ne contient que de l'azote, de l'oxygène, de l'hydrogène, du phosphore, du soufre et certaines bases métalliques; mais il entre en large proportion

un autre élément, le carbone, dans chacune des matières transformées que l'on trouve dans la plante, lorsqu'elle a atteint son développement entier. La présence et l'abondance relative de ce carbone deviennent manifestes si l'on chauffe fortement la plante dans un vase fermé : le carbone, en effet, se dépose sous la forme d'une masse aisément observable de charbon. D'où vient ce carbone ? Dans les conditions spécifiées, la seule source qu'on puisse lui assigner est l'acide carbonique répandu dans l'atmosphère, et qui, quoique sa proportion dans l'air soit des plus faibles, n'en représente pas moins, pris absolument, une quantité énorme (p. 89). En effet, on sait que, sous l'influence de la lumière du soleil, une plante verte décompose en ses éléments l'acide carbonique et que, mettant en liberté l'oxygène, elle forme avec le carbone et aussi avec l'azote, l'oxygène, l'hydrogène et les matières minérales qu'elle emprunte à d'autres sources, les éléments complexes de sa substance vivante.

Ainsi la plante verte convertit les substances liquides et gazeuses qu'elle puise dans le sol et dans l'atmosphère en ces matériaux solides qui constituent ses tissus ; et par là, dans une certaine mesure, elle reconstitue à la surface de la terre les matières solides perdues par dissolution dans l'eau et par décomposition dans le feu. Dans les circonstances ordinaires, cette restitution de matière solide faite à la terre par les plantes vivantes est seulement temporaire. Même pendant la vie, l'activité de la plante verte, comme toute activité vitale, s'accompagne d'une lente oxydation et de la destruction de la matière protoplasmique ; et un des produits de cette oxydation, l'acide carbonique, retourne à l'atmosphère. Après la mort, la décomposition s'accompagne d'une lente oxydation. Le carbone se dégage principalement sous la forme de gaz acide carbonique, l'azote sous celle de sels ammoniacaux, et les sels minéraux

dissous par la pluie vont rejoindre le grand réservoir des eaux. Mais si, dans le débordement d'une rivière, la plante vient à être recouverte par la vase ou, entraînée par l'inondation, à être ensevelie au fond de la mer, la décomposition est parfois si lente et si imparfaite que ses restes carbonisés, mêlés souvent à des matières minérales, peuvent se conserver sous forme de *fossiles*¹ quand la vase a acquis la dureté de la pierre, et, par là, contribuer d'une manière permanente à l'accroissement de la partie solide de la terre.

De la plante, passons à l'animal. Un œuf de pigeon peut répondre à notre exemple du pois mûr. Dans la coquille, suspendue dans le blanc de l'œuf, se trouve la masse arrondie du jaune sur un côté de laquelle se détache un petit disque, la cicatricule². Le microscope montre que la cicatricule, malgré son apparence homogène, se compose de cellules minuscules à nucléus ; et cette agrégation de cellules est l'embryon d'un pigeon, exactement comme la petite plante enfermée dans l'enveloppe du pois est l'embryon du pois, à cela près que l'embryon du pigeon est bien moins voisin d'un pigeon que la plante embryonnaire ne l'est d'un pois.

L'embryon du pigeon comme l'embryon de la plante contient des composés protéiques, des graisses, des sels minéraux et de l'eau. Le jaune d'œuf dans lequel il est placé est composé de matières semblables, mais il n'entre dans sa composition ni amidon ni cellulose.

La cicatricule ne donne pas plus signe de vie que la jeune plante à l'intérieur du pois. Son activité sommeille, et il faut une influence extérieure pour l'éveiller.

1. *Fossiles*, du lat. *fossilis*, de *fodio*, creuser ; terme appliqué par les anciens écrivains à tout ce qui est extrait de la terre, y compris les minéraux, mais que maintenant on est convenu de restreindre à la désignation des restes organiques.

2. *Cicatricule*, diminutif du lat. *cicatrix*, cicatrice.

Cette influence, dans le cas de l'œuf, est simplement une certaine température (35 à 40° Cent.) que lui transmet la chaleur même du corps de la mère; quant à la nourriture, elle lui est fournie par la matière emmagasinée à l'intérieur de l'œuf lui-même, dans le jaune et dans le blanc. Dans ces conditions, la cicatricule s'élargit par la croissance et la multiplication de ses cellules et s'étend rapidement sur la surface du jaune. Une partie se dresse et ébauche grossièrement l'image du corps d'un vertébré, la tête, le tronc et la queue deviennent de plus en plus reconnaissables, tandis que les membres se développent comme des bourgeons, sans ressembler beaucoup d'abord à des pattes ou à des ailes.

Le jaune de l'œuf qui fournit les matériaux nécessaires à la formation de l'embryon diminue à mesure que l'embryon s'accroît; le jeune oiseau se développe de jour en jour, revêt ses plumes et prend de plus en plus les caractères du pigeon. Enfin il quitte la coquille de l'œuf et atteint le plein développement de son espèce. A l'état adulte, l'oiseau femelle possède un organe appelé *ovaire*. C'est cet organe qui sécrète les cellules à nucléus ou les œufs primitifs qui correspondent aux cellules embryonnaires de la plante. Chacune de ces cellules grandit à son tour et est enveloppée peu à peu par les matières que contient l'œuf; chacune aussi se divise et, en se divisant, se transforme en cette cicatricule, point de départ de toute cette série de modifications.

Ainsi le pigeon se développe d'une simple cellule à nucléus par une évolution semblable en principe, quoique différente en ses résultats, à celle qui donne naissance à la plante. Le pigeon adulte est un agrégat de cellules transformées qui descendent par des divisions répétées de la cellule primitive de l'œuf, et cet agrégat revêt une série de formes successives dont la complexité va en augmentant graduellement. Finale-

ment les cellules sont rejetées du corps sous la forme d'œufs, et chacun de ces œufs peut parcourir de nouveau la série de transformations qui caractérise cette forme de la matière vivante qu'on appelle un pigeon.

Il y a donc une analogie très remarquable entre les formes de la vie végétale et de la vie animale que nous sommes en train de considérer, mais les différences ne sont pas moins frappantes. Le pigeon ne pourrait subsister d'une dissolution aqueuse de sels ammoniacaux et minéraux, quelque abondants que fussent l'air frais et la lumière solaire qu'on ajoutât à ce régime. Il n'a pas la faculté de fabriquer les composés protéiques, les matières grasses ou sucrées de son corps avec des substances plus simples; mais directement ou indirectement, il est dans la dépendance de la plante pour tous les éléments les plus importants de son corps.

Comme tous les autres animaux, le pigeon est un consommateur, non un producteur. Il s'assimile les substances complexes qu'il tire des pois dont il se nourrit, et ces substances sont alors lentement brûlées par l'oxygène que lui fournit l'opération chimique de la respiration. L'animal est en effet une machine alimentée par les matières qu'elle tire du monde végétal, comme une machine à vapeur est alimentée par du combustible. Comme la machine à vapeur, la machine animale tire de la combustion son pouvoir moteur, et les produits de la combustion sont sans cesse expulsés de la machine animale comme ils le sont de la machine à vapeur. La fumée et les cendres de la machine animale sont l'acide carbonique rejeté dans la respiration et les excréments fécaux et urinaires. Ces dernières sont restituées à la terre dans un état plus ou moins fluide, mais, quel qu'il soit, sous une forme soluble; quant à l'acide carbonique, il se répand dans l'air.

Lorsque l'oiseau meurt, les parties molles de son