

c'est là une loi générale de la vie à laquelle les plantes n'échappent point. Pendant la nuit, la fonction chlorophyllienne cesse, la plante absorbe de l'oxygène et dégage de l'acide carbonique, tout comme l'animal, et les oxydations se manifestent le jour comme la nuit pour toutes les parties dépourvues de chlorophylle. Une graine qui germe, une fleur épanouie produisent de l'anhydride carbonique, et dégagent de la chaleur ; pendant la fécondation, l'élévation de température dans la fleur peut même atteindre un degré assez considérable pour être perceptible à la main, comme dans l'*arum maculatum*.

Par conséquent, chez les végétaux de même que chez les animaux, le protoplasma est bien le siège d'une destruction organique, à côté des processus de construction et de synthèse. Les plantes comme les animaux respirent en absorbant de l'oxygène et exhalant de l'acide carbonique. La fonction chlorophyllienne est seulement surajoutée et d'ailleurs nullement générale. Il ne faut pas oublier, en effet, que beaucoup de végétaux inférieurs, comme les champignons, les levures sont dépourvus de chlorophylle ; aussi bien, ceux-ci sont-ils incapables de dédoubler l'acide carbonique et prennent-ils, par leur mode de nutrition, les caractères de l'animalité ; comme nous l'avons vu précédemment, ils ne peuvent tirer leur carbone que des composés organiques.

Enfin, certains processus de la nutrition intime des tissus s'accomplissent par les mêmes procédés chez les animaux et les végétaux. Les hydrates de carbone, les graisses, les albuminoïdes ne sont pas toujours aptes à être consommés tels quels par la cellule ; il faut qu'ils subissent d'abord une transformation chimique, qu'ils soient rendus solubles et diffusibles. Ainsi l'amidon est transporté des parties vertes, où il se forme, dans les parties souterraines de la plante, où il s'accumule et constitue une réserve, comme dans les tubercules de la pomme de terre ; pour accomplir cette migration, il est d'abord dissous et transformé en sucre, puis retransformé en substance insoluble (amidon) ; et, plus tard, lorsque le tubercule germe, cette matière de réserve est de nouveau dissoute et émigre vers les points où elle doit être consommée. Les mêmes phénomènes se retrou-

vent pour d'autres substances de réserve, comme le sucre de canne dans les racines de la betterave, les graisses dans les graines des plantes oléagineuses, etc. Or ces mutations et ces transports de matières, chez les végétaux comme chez les animaux, s'opèrent par l'activité de divers ferments solubles (voy. *Ferments*, p. 133).

ARTICLE II

PHÉNOMÈNES DE TRANSFORMATION DE FORCES

Les différentes forces par lesquelles se manifeste la vie ne sont point créées par le protoplasma ; celui-ci ne fait que transformer l'énergie qui lui vient du monde extérieur. Examinons de près ce fait fondamental ; nous envisagerons ensuite les différentes modalités de l'énergie qui apparaissent chez les êtres vivants.

§ 1. — ÉNERGÉTIQUE

La grande loi de la conservation de l'énergie formulée par R. MAYER et par HELMHOLTZ est absolument générale, et s'applique aux corps vivants comme aux corps bruts ; elle est fondamentale tout aussi bien pour les phénomènes physiologiques que pour les phénomènes physiques.

1° Loi de la conservation de l'énergie. — Dans la Nature rien ne se crée et rien ne se perd ni en matière ni en force ; la quantité de matière et d'énergie existante est invariable ; lorsqu'une certaine quantité d'énergie paraît anéantie, en réalité elle ne l'est point : elle n'a fait que se transformer. Les diverses modalités de l'énergie (chimique, mécanique, thermique, lumineuse, électrique, magnétique), sont en effet susceptibles de se transformer les unes dans les autres, et il y a *équivalence* entre la quantité d'énergie qui semble disparaître et la quantité d'énergie nouvelle qui apparaît. Cette équivalence est parfaitement connue pour la chaleur et le travail mécanique ; on sait,

en effet, qu'une calorie (c'est-à-dire la quantité de chaleur qui est nécessaire pour élever de 1° la température de 1 kilogramme d'eau) représente en énergie mécanique 425 kilogrammètres (c'est-à-dire la quantité d'énergie qui est nécessaire pour élever 425 kilogrammes à un mètre de hauteur). On dit donc que l'équivalent mécanique d'une calorie est de 425 kilogrammètres, et inversement qu'une calorie est l'équivalent thermique de 425 kilogrammètres.

Nous n'insisterons pas autrement sur ces notions générales qu'on trouvera détaillées dans les traités de physique, et nous donnerons seulement, pour l'intelligence de ce qui va suivre, la définition de ce qu'on appelle énergie *potentielle* et *actuelle*. Chaque forme de l'énergie peut affecter deux modalités différentes, suivant qu'elle est représentée par un mouvement en cours d'exécution ou seulement par la faculté de le faire naître sous certaines conditions. Dans le premier cas, l'énergie est *actuelle* ou *cinétique*; dans le second, elle est à l'état *potentiel* ou de *tension*. Ainsi, dans un corps qui tombe à terre, l'énergie est actuelle; si le corps est soutenu à une certaine hauteur par une force contre-balançant l'action de la pesanteur, son énergie est à l'état potentiel. De même pour l'énergie chimique; elle est à l'état potentiel, si des atomes ayant entre eux de l'affinité sont en contact et prêts à se réunir sous une influence déterminée; elle devient actuelle, lorsque la combinaison se produit. Par exemple, l'oxygène et l'hydrogène mélangés dans la proportion de 1 à 2 en volume représentent une force de tension: sous l'influence d'une étincelle électrique, ils se combinent et forment de l'eau avec dégagement de chaleur; à ce moment l'énergie de tension passe à l'état actif. Si maintenant une force de tension peut se transformer en force vive, inversement cette dernière doit pouvoir se transformer en force de tension. Pour compléter l'exemple précédent, récoltons l'eau fournie par la combinaison de l'oxygène et de l'hydrogène, et soumettons-la à l'action d'un courant électrique; sous cette influence, elle se décomposera en ses deux gaz O et H et, par conséquent, l'énergie électrique dépensée pour cette séparation passera à l'état potentiel.

2° Transformation de l'énergie dans la matière vivante.

— Appliquons ces données à la matière vivante. Le protoplasma est un réservoir de forces de tension. Sous différentes influences (voy. plus loin *Excitants de la matière vivante*) ces forces de tension deviennent libres et apparaissent sous forme d'énergie cinétique (travail mécanique, chaleur, électricité, lumière), et il doit y avoir dans ce processus, d'après ce qui vient d'être dit, équivalence parfaite entre l'énergie chimique consommée et la somme d'énergie rendue libre.

Or ces forces de tension, où la matière vivante les puise-t-elle? Dans les aliments, la lumière et la chaleur. Par la combinaison de l'oxygène avec divers éléments, principalement le carbone et l'hydrogène, l'énergie de position des aliments est transformée en force vive. Mais maintenant, comme nous l'avons vu, les animaux ne peuvent produire cette force qu'en utilisant des aliments possédant déjà eux-mêmes un haut degré d'énergie potentielle. Pour l'origine de l'énergie dans la matière vivante, il faut donc remonter plus haut, jusqu'aux végétaux à fonction chlorophyllienne, et si nous recherchons alors à quelle force vive les végétaux empruntent cette énergie qu'ils mettent en réserve, nous voyons que c'est aux rayons du soleil.

Nous avons déjà fait remarquer que les plantes, par des processus de réduction, transforment des combinaisons simples et stables en combinaisons complexes, et qu'ensuite ces dernières sont dissociées et détruites par oxydation (et cela d'une façon plus particulièrement évidente dans le règne animal). Ces phénomènes ont leur équivalent dans l'ordre énergétique: les végétaux transforment la force vive du soleil en force chimique de tension, et les animaux transforment cette force de tension en force vive. Les premiers sont le siège de synthèses de matières qui s'opèrent avec absorption d'énergie (*réactions endothermiques*), les seconds consomment ces matières et mettent leur énergie en liberté (*réactions exothermiques*). De cette façon il s'établit entre le monde extérieur et la matière vivante une véritable circulation de l'énergie, de même qu'il se fait une circulation de matière, et on voit qu'en défini-

tive « le soleil est le ressort constamment tendu qui entretient toute l'activité terrestre », comme l'a si justement dit R. MAYER.

§ 2. — MANIFESTATIONS DE L'ÉNERGIE CHEZ LES ÊTRES VIVANTS

L'énergie se manifeste extérieurement chez les êtres vivants sous la forme mécanique, c'est-à-dire par des mouvements et la production de travail mécanique; elle apparaît aussi sous forme de chaleur, d'électricité, de lumière.

1° Phénomènes de motilité. — Le mouvement est la forme de l'énergie la plus accessible à l'observation; aussi entre-t-il comme un élément prédominant dans l'idée qu'on se fait de la vie. On l'observe non seulement chez les animaux, mais aussi chez les végétaux. A la frontière des deux règnes, des êtres qu'on ne saurait annexer à aucun d'eux, comme ces plasmodies de champignons myxomycètes dont nous avons parlé plus haut, se meuvent et se déplacent; des algues, des spores de certains végétaux (*zoospores*) sont douées de mouvements très actifs. Chez les végétaux supérieurs aussi des mouvements parfois très rapides se montrent pour certains de leurs organes (étamines, fleurs, feuilles et tiges). Il est à peine besoin de rappeler l'exemple si connu de la sensitive (*mimosa pudica*).

La cause des mouvements se trouvant dans le changement de forme du protoplasma et dans la modification de position de ses particules élémentaires, c'est en définitive dans le protoplasma qu'il faut poursuivre et localiser l'étude des phénomènes généraux de motilité.

Les mouvements du protoplasma s'observent avec la plus grande facilité chez les êtres inférieurs mono-cellulaires, comme les amibes (fig. 9), les rhizopodes ou bien sur certains éléments cellulaires des organismes supérieurs: globules blancs, cellules musculaires. Comment une amibe, un leucocyte peuvent progresser par des mouvements d'expansion et

de retrait de leur corps protoplasmique (*pseudopodes*), c'est ce qu'on a déjà dû comprendre par l'exposé qui a été fait dans notre « Introduction » des phénomènes de motilité présentés par les plasmodies. Reprenons le même exemple et poussons plus loin notre observation par l'analyse microscopique. Le protoplasma de la plasmodie contient un très grand nombre de granulations: à un fort grossissement une expansion pseudopo-

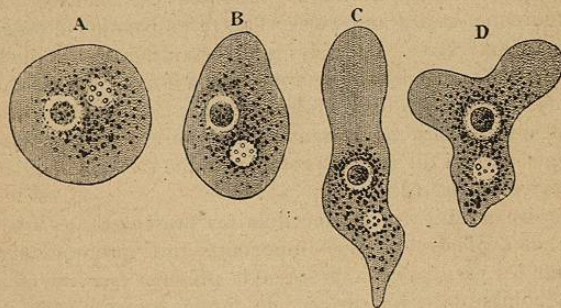


Fig. 9.

Mouvement amiboïde. Quatre stades successifs de ce mouvement chez une amibe (d'après VERWORN).

dique a l'aspect d'un cordon granuleux, bordé par une mince couche hyaline (fig. 1). Or ces granulations sont animées d'un mouvement très curieux de circulation qu'on pourrait comparer à celui des globules sanguins dans les capillaires. Dans les fins filaments il n'y a qu'un courant longitudinal, mais dans les cordons plus épais on voit se produire deux courants de sens inverse, et dans les lames aplaties du réseau il existe le plus souvent plusieurs courants ramifiés dirigés soit dans le même sens, soit en sens divers. La rapidité du courant est très variable: très lent en certains points, et au contraire si rapide en d'autres qu'à un fort grossissement on peut à peine suivre des yeux le déplacement des granulations. Ces mouvements des granulations protoplasmiques peuvent être aussi très bien observés dans les expansions pseudopo-

diques des rhizopodes. Il est facile de le déceler encore dans certaines cellules végétales limitées par une membrane d'enveloppe. Chez les *Characées*, par exemple, le protoplasma forme une couche tapissant la face interne de la membrane cellulosique; la partie la plus externe de cette couche qui contient les corps chlorophylliens est immobile; mais le protoplasma de la couche interne présente un mouvement giratoire, consistant en ce que les granulations remontent sur une des parois longitudinales et descendent sur l'autre en passant le long des parois transversales. Dans les poils staminaux de diverses espèces de *Tradescantia*, le protoplasma forme un réseau de cordons anastomosés dans l'intérieur de la cellule, et les granulations de ces cordons présentent un mouvement circulatoire analogue à celui du réseau protoplasmique des plasmodies de myxomycètes (fig. 12, p. 71).

Certains organismes monocellulaires présentent des mouvements de déplacement plus importants que ceux qui s'exécutent par les pseudopodes, grâce à la présence sur un ou plusieurs points de leur surface de prolongements filiformes animés de mouvements rapides: ces prolongements sont les cils et fouets vibratiles. Certaines cellules des animaux supérieurs sont aussi pourvues de ce moyen de locomotion (*spermatozoïdes*), et d'autres, tout en restant immobiles dans leur masse, offrent un mouvement de cils vibratiles très actifs à leur surface (*épithéliums à cils vibratiles*).

Enfin certaines cellules acquièrent à un haut degré la propriété de rétraction et expansion, de telle sorte qu'elles peuvent exécuter des mouvements rapides et énergiques. Ce sont les cellules musculaires. Leur physiologie générale fera l'objet d'un autre chapitre de cet ouvrage.

2° Autres manifestations de l'énergie. — La *production de chaleur* est aussi une des conséquences de l'activité du protoplasma; mais déjà cette manifestation de l'énergie est moins accessible à l'observation que les phénomènes de motilité. Si, en effet, chez les animaux vertébrés supérieurs, dits à sang chaud, le dégagement de chaleur est de toute évidence, chez

les animaux vertébrés inférieurs, dits à sang froid, et chez les invertébrés, de même que chez les végétaux, la démonstration du même fait devient plus délicate. Cependant, comme la production de chaleur est liée à l'oxydation des matériaux combustibles du corps, et que cette oxydation est la condition même de tout phénomène vital, on conçoit que le dégagement de calorique doit être un phénomène général; les variétés qui se montrent à cet égard entre les êtres vivants ne doivent donc porter que sur une question de degré, et correspondre seulement à des différences dans l'intensité des processus d'oxydation ou à une association de ces derniers avec des processus chimiques endothermiques prédominants. Par conséquent, il doit se produire, et il se produit effectivement, de la chaleur chez les animaux improprement nommés à sang froid et chez les végétaux. On sait, par exemple, que dans une ruche d'abeilles la température peut s'élever à 30-40° C. que des graines en germination s'échauffent légèrement, que la chaleur dégagée dans le spadice des *Aroidées* est très appréciable au toucher, etc.

La *production d'électricité* apparaît aussi comme un phénomène général de la vie (voy. *Electricité musculaire*, p. 442).

On sait d'autre part que certains poissons dits électriques, comme la torpille, la gymnote, le malapterure, possèdent la propriété de dégager de l'électricité sous forte tension et de lancer, lorsqu'ils sont excités, des décharges analogues à celles des condensateurs.

La *production de lumière* par les organismes est un phénomène très répandu. Certaines bactéries de la putréfaction (*Photobactéries*), certains champignons (comme l'*agaricus olearius*), beaucoup d'invertébrés et particulièrement d'insectes, quelques poissons vivant dans les profondeurs de la mer jouissent de la faculté d'émettre des rayons lumineux. La phosphorescence de la mer est due, comme on sait, à la présence d'organismes très divers qui brillent dans l'obscurité. Cette production de lumière est liée à l'activité du protoplasma de certaines cellules, et on constate qu'il existe une relation entre son intensité et la quantité d'oxygène consommée. Pour certaines espèces, comme la *Pholade dactyle*, on peut, ainsi

que l'a montré R. DUBOIS, extraire du corps une substance lumineuse; cette dernière toutefois provient d'une élaboration cellulaire.

ARTICLE III

PHÉNOMÈNES D'ÉVOLUTION

Tous les êtres vivants ont une évolution déterminée; dans le cours de leur existence, ils présentent, outre les mouvements étudiés précédemment, des phénomènes de changement de formes liés à leur développement. Ces changements de forme doivent être envisagés dans l'individu isolé (*ontogénie*) et dans la série des organismes (*phylogénie*). Les deux séries de phénomènes ont d'ailleurs entre eux d'étroites relations et, comme l'a dit HÆCKEL, le développement ontogénétique représente d'une manière générale une courte récapitulation du développement phylogénétique.

1° Développement ontogénétique. — Tout organisme parcourt durant son existence plusieurs étapes, et les phases de son évolution se succèdent régulièrement et dans un certain ordre: il naît, se développe et meurt. L'origine de tout individu est dans un germe provenant d'un parent antérieur: *Omne vivum ex ovo*, comme l'a dit HARVEY. L'œuf fécondé devient le point de départ d'une division et d'une multiplication cellulaire, d'où résulte, après une série de formes transitoires, rappelant les formes ancestrales (récapitulation phylogénétique), une forme déterminée, caractéristique de l'espèce. L'augmentation de la masse de l'individu se fait donc par une juxtaposition de cellules qui, toutes, dérivent les unes des autres. La formule de VIRCHOW: *omnis cellula e cellula* complète celle d'HARVEY et présente un caractère de généralisation encore plus grande. Pour les divers modes de division cellulaire et les phénomènes dont le noyau est le siège dans ce processus (*Karyokinèse*), on devra consulter les traités d'histologie où ces questions sont exposées avec détails.

L'accroissement d'une cellule, de même que l'augmentation de masse de l'organisme entier, offre une période progressive pendant les premiers stades de l'évolution, puis il subit un arrêt à un moment donné. Pendant la période d'augmentation d'un organisme, les éléments cellulaires présentent une différenciation histologique, et les tissus, les organes apparaissent et se distinguent les uns des autres; ce perfectionnement de l'organisme marche en général de pair avec l'accroissement de volume. Parallèlement à ces phénomènes de changement de forme, on voit la production de forces vives suivre une courbe progressivement ascendante, puis décroître après avoir atteint son apogée (maximum d'activité vitale). La raison de l'arrêt de l'accroissement n'est pas facile à donner; elle doit être cherchée principalement dans une modification des rapports existant entre l'usure de la cellule, et sa réparation; or, on peut concevoir qu'à un moment particulier, par suite de l'augmentation de volume de la cellule, la réparation devienne insuffisante; en effet, tandis que la masse d'un solide croît comme les cubes, sa surface ne croît que comme les carrés; tandis que la masse d'une cellule par exemple sera devenue 8 fois plus considérable, sa surface par laquelle pénètrent les matériaux de réparation ne sera que quadruplée. Mais il y a sans doute encore un autre élément dans le problème: on peut admettre que le protoplasma commence son évolution avec une certaine somme d'énergie héréditaire à dépenser, que chaque organisme en un mot, suivant l'expression d'HERBERT SPENCER, naît avec un *capital vital* déterminé.

Lorsque l'accroissement est parvenu à un certain degré, une partie de la substance vivante se sépare de l'organisme pour former un nouvel être: telle est la *génération* qui, au fond, ne consiste qu'en une division cellulaire, et qui n'est pas autre chose qu'un prolongement de la faculté d'accroissement.

La *mort* est la terminaison nécessaire de l'évolution vitale; la vie à la vérité passe d'un individu à un autre, et à ce point de vue la matière vivante paraît comme immortelle; mais les individus eux-mêmes périssent; une espèce peut même s'éteindre et disparaître de la surface du globe, comme le montre

la géologie. Les causes de la mort sont extérieures et intérieures au protoplasma. Les premières résultent de perturbations dans les conditions générales de la vie que nous avons déjà étudiées (privation d'aliments, traumatismes, poisons, etc.) ; quant aux autres, elles sont enveloppées d'obscurité. La cause de la mort naturelle, par *vieillesse*, doit résider assurément dans la matière vivante elle-même, et on ne saurait y voir exclusivement le résultat d'une lente accumulation des actions nocives d'origine externe ; en vieillissant, les éléments anatomiques subissent des modifications consistant en diminution progressive de la quantité d'eau, hypertrophie du tissu connectif (*sclérose*), dégénérescences diverses, et toutes ces modifications doivent être considérées comme physiologiques. Tout être vivant apporte en naissant un germe de mort, et celle-ci n'est que le terme naturel d'une série de phénomènes évolutifs.

La mort de l'individu et la mort élémentaire, ou des cellules, ne coïncident pas toujours pour les organismes complexes. Lorsque, chez un animal supérieur, le cœur et la respiration sont arrêtés, on peut voir pendant longtemps encore les muscles se contracter sous l'influence des excitations extérieures et, pendant plusieurs jours, certaines cellules épithéliales présenter des mouvements de cils vibratiles. Le langage courant a consacré le terme de mort pour la cessation des fonctions circulatoire et respiratoire chez l'homme, mais on comprend que dans un langage scientifique rigoureux, cette expression doit être appliquée seulement à la cessation des phénomènes vitaux dans l'organisme élémentaire, c'est-à-dire dans la cellule. Si, chez les animaux supérieurs, l'arrêt de la circulation et de la respiration précède la mort des tissus, du tissu musculaire en particulier, c'est parce que ces fonctions se trouvent sous la dépendance étroite du système nerveux, et que, dans la série des phénomènes du développement de la mort, certains éléments nerveux succombent les premiers.

2° Développement phylogénétique. — De même que chaque individu présente une évolution déterminée, de même la matière vivante, considérée dans son ensemble à la surface

de la terre, évolue lentement et modifie ses formes. Le monde actuel des organismes est le produit d'un long développement historique. Dans ce développement phylogénétique, il y a deux séries de phénomènes à considérer : d'une part, nous voyons les organismes transmettre à leurs descendants leurs formes et leurs caractères ; d'autre part, il faut admettre que ces formes et caractères sont modifiables sous l'action des conditions externes. En d'autres termes, la forme tend à se conserver par la *transmission* ou *hérédité*, et elle tend à se modifier par l'*adaptation*. La théorie de l'*Évolution* ou *Transformisme* (LAMARCK. DARWIN) est, dans l'état actuel de nos connaissances, la seule qui puisse expliquer scientifiquement l'origine des espèces et les relations existant entre les formes organiques. La matière vivante doit être considérée comme une substance plastique, sur laquelle les forces extérieures laissent leur empreinte ; et, à ce point de vue, on a dit avec raison que c'est la fonction qui fait l'organe. Tous les êtres vivants ont une aptitude plus ou moins grande à varier, c'est-à-dire à s'écarter par quelques caractères du type de leurs parents. Ces variations sont ou acquises, ou innées ; dans le premier cas, elles résultent de circonstances diverses, particulièrement de l'influence du milieu ; dans le second cas, elles représentent le retour d'un caractère ayant existé antérieurement chez un ascendant plus ou moins éloigné (*retour ancestral* ou *atavisme*). On conçoit maintenant que ces variations puissent se fixer par transmission ; si les individus qui en sont dotés présentent, par cela même, sur ceux qui en sont dépourvus une supériorité dans la *lutte pour l'existence*, il s'établit entre eux une *sélection* (*sélection naturelle*), de telle sorte que, seuls, les plus résistants ou les mieux avantagés pour cette lutte survivent. De cette manière, la forme des organismes se modifie et se perfectionne graduellement.