

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-

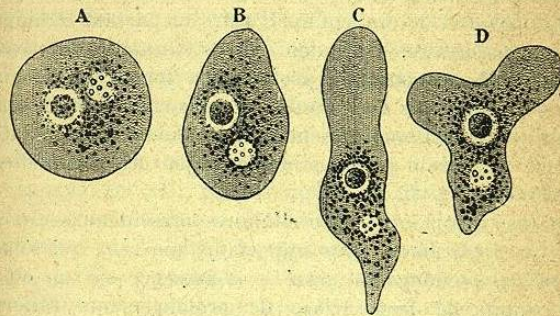


Fig. 9.

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-