

manière de l'amibe intacte, et les corpuscules de nourriture qu'il pouvait avoir ingérés avant la section, ne sont plus digérés. Par contre, la partie de l'amibe possédant le noyau cicatrise sa lésion, continue à se mouvoir, à capter et digérer sa nourriture, et reste capable de croître et de se multiplier. Des résultats semblables ont été obtenus par VERWORN, en enlevant avec la pointe d'une lancette le noyau à de gros radiolaires, tels que *Thalassicola*; le corps protoplasmique énucléé continue, il est vrai, pendant quelque temps, à capter les infusoires; ceux-ci sont même tués, mais ils ne subissent plus de véritable digestion. Des expériences analogues ont été faites par KLEBS chez des végétaux inférieurs, des algues. En plongeant un filament de *Spirogyra* dans une solution de sucre à 46 p. 100, le protoplasma de la cellule se morcelle (*plasmolyse*) et donne deux ou plusieurs globules qui restent vivants pendant plusieurs jours, et dont un seul renferme le noyau. Or on constate que les fragments nucléés jouissent de la propriété de se recouvrir d'une nouvelle membrane de cellulose, tandis que les autres restent nus.

La signification de ces expériences est donc claire : le noyau exerce une action directrice de premier ordre sur la nutrition du protoplasma. On doit remarquer d'ailleurs que des phénomènes du même genre peuvent être facilement provoqués chez les animaux supérieurs. La section d'un nerf est une véritable expérience de mérotomie. En effet, le cylindraxe d'une fibre nerveuse est une expansion protoplasmique du corps de la cellule nerveuse; or, quand il est sectionné, son bout périphérique dégénère et meurt, tandis que son bout central, encore en rapport avec le corps cellulaire renfermant le noyau, continue à vivre et reste capable de régénérer le prolongement cylindraxile dans son entier par une végétation périphérique (voy. *Dégénérescence wallérienne des nerfs*, p. 465). On traduit ce fait en disant que le corps de la cellule nerveuse exerce sur ses prolongements une action *trophique*, c'est-à-dire de nutrition.

CHAPITRE III

PHÉNOMÈNES GÉNÉRAUX DE LA VIE

Les phénomènes vitaux élémentaires que présentent les organismes peuvent être divisés en trois groupes fondamentaux : les phénomènes de nutrition, de transformation de forces et d'évolution. En effet, la matière vivante constitue sa propre substance avec des matériaux empruntés au monde extérieur, et elle présente, avec celui-ci, un continuel mouvement d'échanges : cet échange de matière est la nutrition. Une certaine quantité d'énergie lui est ainsi fournie; le protoplasma utilise cette énergie et la restitue au monde extérieur sous forme d'énergie mécanique, calorifique, etc.; en d'autres termes, il transforme l'énergie potentielle des aliments en énergie actuelle. Enfin, la matière vivante évolue; elle naît, se développe et meurt; de plus elle se reproduit; de telle sorte qu'il y a lieu de distinguer, dans son évolution, une évolution individuelle (*ontogénie*) et une évolution générale ou de la souche (*phylogénie*).

ARTICLE PREMIER

PHÉNOMÈNES DE NUTRITION

Les substances qui doivent entrer dans la constitution de la matière vivante sont gazeuses, liquides ou solides. Un certain nombre d'entre elles, comme les gaz (oxygène, acide carbo-

nique) ou certains sels en solution dans l'eau, sont *absorbées* directement; d'autres et particulièrement les solides, doivent subir une modification préliminaire que l'on nomme *digestion*. Les phases successives par lesquelles passent les matériaux alimentaires sont donc les suivantes : après un stade de dissolution ou de digestion, les matériaux nutritifs sont absorbés et *assimilés* par la cellule, c'est-à-dire deviennent partie intégrante du protoplasma; puis il subissent un processus régressif ou de *désassimilation*, et leurs produits de déchet sont *excrétés*, c'est-à-dire rejetés dans le milieu extérieur.

Les différents temps de la nutrition seront plus loin analysés en détail; nous ne les envisagerons ici qu'à un point de vue général, et nous aurons plus particulièrement en vue : la digestion intra-cellulaire, le mécanisme de l'absorption et de l'élimination des substances dissoutes, et les phénomènes de nutrition comparés chez les animaux et les végétaux.

§ 1. — DIGESTION

La transformation des aliments en substances absorbables et assimilables est opérée par les organismes au moyen d'agents très spéciaux, qu'on ne rencontre dans la nature que comme produits de l'activité vitale des cellules; ces agents sont les *ferments solubles* ou *enzymes* (voy. p. 134). Leur caractéristique est d'opérer sous un poids extrêmement petit des transformations de matières extrêmement grandes, comme s'ils agissaient par une simple action de présence ou de contact. En outre, les matières alimentaires subissent aussi l'action d'une sécrétion acide. Les sucs digestifs formés par la cellule peuvent agir en dehors d'elle, ou bien exercer leur action au sein même de la masse protoplasmique; dans le premier cas, la digestion est dite *extra-cellulaire*, dans le second *intra-cellulaire*.

1° Digestion extra-cellulaire. — La digestion est extra-cellulaire chez la plupart des organismes. Les sucs digestifs, sécrétés par des glandes spéciales sont déversés dans une cavité où s'accumulent les substances alimentaires, la cavité

digestive. De même, certains organismes inférieurs mono-cellulaires modifient le milieu dans lequel ils se trouvent par une sécrétion de ferment, et cet acte est bien à proprement parler une digestion. Ainsi, quand la levure de bière est ensemencée dans une solution de sucre de canne, sucre qu'elle ne peut utiliser directement pour sa nutrition, elle commence par le transformer en glycose et lévulose au moyen d'un ferment qu'elle sécrète, l'*invertine*. La fonction digestive se rencontre d'ailleurs aussi chez les végétaux. Non seulement les feuilles de certaines plantes jouissent de la propriété de sécréter un liquide glutineux doué d'un pouvoir digestif très remarquable sur les albuminoïdes, de telle sorte que les insectes qui viennent s'engluer à la surface de ces feuilles ne tardent pas à s'y dissoudre, comme chez la *Dionée attrape-mouche* et les plantes dites carnivores en général (*Drosera*, *Nepenthes*, etc.), mais encore les racines de la plupart des végétaux font subir à des substances méritant au sens propre le nom d'aliments, une véritable action digestive. Ainsi, les poils qui garnissent les jeunes racines sont humectés d'un liquide acide qui attaque par une action corrosive les corps solides (carbonate de chaux, de magnésie, phosphate de chaux). Si l'on fait croître, par exemple, des racines de haricots ou de maïs sur une plaque de marbre bien polie, après quelques jours on peut constater que sur tout leur parcours, les racines ont gravé dans la pierre leur empreinte (SACHS). Les lichens qui végètent sur les rochers agissent de même pour décomposer et dissoudre la pierre dont ils font leur nourriture; c'est ainsi que par eux le granit, le gneiss et le micaschiste sont transformés en kaolin (VAN TIEGHEM). Mêmes phénomènes pour les plantes parasites; au contact d'un liquide qui se forme à la surface des suçoirs, le corps de l'hôte est digéré.

2° Digestion intra-cellulaire. — Chez certains organismes inférieurs, les cellules possèdent la propriété de capter les particules alimentaires solides pour leur faire subir une véritable digestion dans leur intérieur, et ce phénomène se retrouve pour certains éléments cellulaires chez les animaux supérieurs.

Lorsqu'une amibe rencontre sur son chemin un corpuscule alimentaire, une algue microscopique, une bactérie par exemple, elle l'entoure par ses expansions protoplasmiques (*pseudopodes*) et l'ingère (fig. 4). D'abord le corpuscule nutritif se trouve logé dans une cupule formée dans une dépression de la surface de l'amibe, où il est retenu par une sorte de sécrétion visqueuse, puis bientôt complètement inclus dans son intérieur avec une petite quantité du liquide qui l'entoure; il se forme ainsi une *vacuole digestive*. Chez les infusoires ciliés le processus est le même; seulement, tandis que dans le cas précédent l'ingestion s'opérait sur un

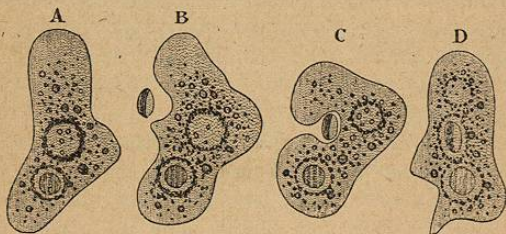


Fig. 4.

Digestion intracellulaire. Amibe captant et ingérant une petite algue. A, B, C, D, quatre stades du même processus (d'après VERWORN).

point quelconque de la surface du corps protoplasmique, ici le phénomène se localise en un point spécial logé au fond d'une dépression ou *vestibule*; c'est une véritable bouche garnie de cils vibratiles; le mouvement de ces cils occasionne un remous propre à entraîner les corpuscules avec assez de force pour déprimer la substance protoplasmique plus molle à cet endroit, et y déterminer la formation d'une vacuole de même nature que chez l'amibe. La vacuole une fois formée est le siège de phénomènes digestifs non douteux; le corpuscule alimentaire y est dissous, et ses résidus réfractaires à la digestion sont ensuite expulsés à l'extérieur par rupture de la vacuole. Par quels agents chimiques est opérée maintenant cette dissolution? Vraisemblablement par des ferments. En effet, KRUKENBERG a pu extraire de la *pepsine* des plasmodies de myxomycètes, et d'autre part on sait que le

contenu de la vacuole devient rapidement *acide* après sa formation; car des grains bleus de tournesol, ainsi que l'a vu ENGELMANN, virent au rouge lorsqu'on en provoque expérimentalement l'ingestion intra-cellulaire. La digestion des albuminoïdes dans la vacuole reçoit donc une explication satisfaisante par ces constatations, car, ainsi que nous le verrons (digestion stomacale), la pepsine digère les albuminoïdes en milieu acide.

Ce mode de digestion intra-cellulaire ne se rencontre pas seulement chez les protozoaires, mais aussi chez quelques métazoaires inférieurs, comme l'a montré METCHNIKOFF. Ainsi, chez quelques vers et chez les cœlentérés, les cellules qui tapissent la cavité entodermique (cavité digestive) ont la propriété de capter et de digérer dans leur intérieur les corpuscules de nourriture. Cette fonction des cellules épithéliales du tube digestif disparaît dans les autres classes d'animaux, où la digestion devient exclusivement extra-cellulaire; cependant on peut remarquer qu'on en retrouve encore la trace, comme un souvenir ancestral, chez les animaux supérieurs, dans ce fait que les cellules de la muqueuse intestinale possèdent encore la faculté de capter les globules de graisse (voy. *Absorption de la graisse*, p. 148).

Mais si, chez les animaux supérieurs, les cellules de l'entoderme, c'est-à-dire du tube digestif, ont perdu ce mode primitif de digestion et n'ont gardé que la propriété d'élaborer et d'excréter des ferments digestifs capables d'accomplir extérieurement leur œuvre sur la nourriture, il est, par contre, extrêmement remarquable de voir que certains éléments du mésoderme, les cellules migratrices, les globules blancs (ou *leucocytes*) ont conservé cette fonction élémentaire des êtres inférieurs unicellulaires de capter et de résorber les particules solides nutritives. Les leucocytes se comportent à ce point de vue comme des amibes, et leur activité digestive joue un rôle capital dans l'organisme: c'est le phénomène de la *phagocytose* dont nous connaissons toute l'importance depuis les beaux travaux de METCHNIKOFF. Les leucocytes captent en effet, de la même manière que les amibes, les particules solides alimentaires qui se trouvent dans le sang ou dans les lacunes intercel-

lulaires, et, en dévorant les bactéries notamment, s'opposent à leur pullulation et protègent l'organisme contre les maladies infectieuses (voy. p. 172).

§ 2. — ABSORPTION ET EXCRÉTION DES SUBSTANCES DISSOUTES

Presque toutes les substances qui servent à la nutrition sont absorbées par les cellules à l'état de solution, soit qu'elles présentent déjà cette qualité dans le milieu extérieur, soit qu'elles l'acquièrent par le processus de la digestion, de manière à pouvoir passer dans le milieu intérieur. De même, la plupart des produits d'excrétion cellulaire parviennent dans ces milieux à l'état dissous. Le mécanisme de la circulation de ces substances entre le milieu et le corps cellulaire présente encore bien des côtés mystérieux, et nous en sommes réduits pour les expliquer à invoquer les propriétés vitales de la cellule, c'est-à-dire, en somme, à couvrir d'un mot notre ignorance des lois physico-chimiques qui président à la production de ces phénomènes. En fait, nous voyons que les diverses cellules ne sont point imbibées simplement du liquide dans lequel elles vivent, mais qu'elles y prennent électivement certaines substances et en dédaignent d'autres, et que, tout en étant placées dans les mêmes conditions de nutrition, elles se comportent très différemment quant au choix de leur nourriture. Par exemple, les plantes marines qui vivent dans un milieu très chargé en chlorure de sodium, n'absorbent que très peu de ce sel, tandis qu'elles prennent des quantités relativement beaucoup plus fortes de sels de potassium, de magnésium, de calcium, qui pourtant n'existent qu'en faibles proportions dans l'eau de mer. De même, chez les animaux, telles cellules s'emparent des sels de chaux, bien que ceux-ci ne se trouvent qu'à l'état de traces dans le milieu intérieur, telles autres de la graisse ou de l'urée, etc. Quoique nous ignorions encore profondément le mécanisme intime de l'absorption et de l'élimination des matières par les cellules, cependant les phénomènes physiques de l'osmose jouent dans ces processus un rôle si important qu'il est indispensable d'être bien fixé sur leur nature.

1° **Osmose.** — On sait, depuis DUTROCHET, que lorsque deux liquides hétérogènes et miscibles sont séparés par une membrane poreuse, il s'établit à travers la membrane deux courants de sens contraire, d'intensité inégale, dont le plus fort est appelé *endosmose* et l'autre *exosmose*. Si l'on met dans un sac membraneux, un cæcum de poulet par exemple, lié sur un tube de verre, une solution concentrée de sucre, et si l'on plonge cet appareil, nommé *endosmomètre*, dans un vase contenant de l'eau pure, au bout de quelque temps on constate que les deux liquides sont également sucrés. On appelle *équivalent endosmotique* d'une substance la quantité d'eau qui passe à travers la membrane, pendant que 1 gramme de substance dissoute traverse la même membrane en sens inverse. Certaines substances, comme l'albumine, ne passent que très difficilement et ont, par conséquent, un équivalent endosmotique fort élevé; pour d'autres, au contraire, les sels par exemple, l'osmose est très rapide et l'équivalent endosmotique faible. GRAHAM a donné aux premières le nom de *colloïdes*, aux secondes celui de *crystalloïdes*. Lorsque deux substances dont l'équivalent endosmotique est très différent sont mélangées, on peut les séparer en mettant à profit cette différence; cette méthode porte le nom de *dialyse*; ainsi on peut séparer de cette façon les peptones de l'albumine; car les peptones traversent très facilement les membranes, sont *dialysables* en un mot, tandis que l'albumine ne l'est que fort peu.



Fig. 5.
Endosmomètre.

2° **Pression osmotique.** — Les phénomènes de l'osmose sont plus complexes que nous venons de le dire, car la nature de la membrane séparante intervient pour en modifier le sens. On peut, par exemple, empêcher le mouvement de diffusion si

On se sert d'une paroi qui laisse passer l'eau, mais qui reste imperméable pour la substance dissoute. PFEFFER prépare une telle paroi *demi-perméable* en imprégnant de sulfate de cuivre un vase d'argile poreuse et en le remplissant ensuite de ferrocyanure de potassium, de manière qu'il se forme dans ses pores une couche cohérente de ferrocyanure de cuivre ; la paroi ainsi

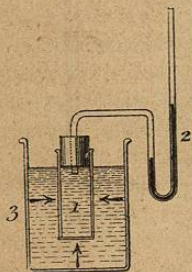


Fig. 6.

Expérience de PFEFFER.

1, vase à paroi hémiperméable, rempli d'une solution saline et plongé dans un récipient 3, contenant de l'eau pure. — 2, manomètre à mercure.

modifiée laisse passer l'eau par filtration, mais elle ne permet plus le passage d'une solution saline ou sucrée, ou du moins n'en laisse suinter que l'eau sous l'effort d'une pression élevée. Soit maintenant un vase argileux ainsi préparé rempli d'une solution sucrée et fermé par un bouchon surmonté d'un tube manométrique (fig. 6) ; plongeons-le dans de l'eau pure ; l'eau va entrer dans le vase et y élever la pression jusqu'à une valeur maxima déterminée : ce sera la mesure de la *pression ou tension osmotique* pour la solution en question. Cette pression est très forte : elle dépasse 50 centimètres de mercure pour une solution à 1 p. 100 de sucre et atteint plus de trois atmosphères pour

une solution à 1. p. 100 d'azotate de potassium.

La pression osmotique est comparable à la pression des gaz et, comme celle-ci, relève du jeu des forces moléculaires. De même que les molécules gazeuses, les molécules d'un corps dissous tendent à s'écartier les unes des autres, pour se répandre dans un plus grand volume de liquide ; elles luttent contre les obstacles à cet écartement, par conséquent contre la paroi du vase, et c'est la force avec laquelle elles pressent contre cette paroi qui est la pression osmotique.

3^e Lois de la pression osmotique. Isotonie. — La valeur de la pression osmotique dépend du nombre des molécules en solution, c'est-à-dire de la concentration ou de la dilution.

PFEFFER a déterminé expérimentalement qu'elle est proportionnelle à la concentration, pour une température constante, et que pour une solution donnée, elle croît avec la température. En outre, la pression osmotique est indépendante de la nature du corps dissous, c'est-à-dire que des *solutions renfermant le même nombre de molécules ont la même pression osmotique, quelle que soit la nature chimique de ces molécules*. Par conséquent, pour que des solutions de corps différents aient la même pression osmotique, il faut que leurs concentrations soient proportionnelles aux poids moléculaires des corps dissous, en d'autres termes qu'elles aient la même *concentration moléculaire*. Par exemple : si nous faisons trois solutions, l'une avec du chlorure de sodium, l'autre avec de l'azotate de potassium, la troisième avec du bromure de potassium, en dissolvant 1 gramme de chacun de ces corps dans 100 centimètres cubes d'eau, ces trois solutions auront la même *concentration pondérale*, mais une *concentration moléculaire*, et par conséquent une pression osmotique, très inégale.

Puisqu'en effet le poids moléculaire est de 58 pour NaCl, 101 pour $KAzO^3$, 119 pour KBr, il faut, pour que nos solutions contiennent le même nombre de molécules, prendre de chacun de ces corps des poids qui soient entre eux comme 58, 101 et 119. Ainsi des solutions à 0,58 p. 100 NaCl, 1,01 p. 100 $KAzO^3$, 1,19 p. 100 KBr renferment le même nombre de molécules : elles sont *équimoléculaires*, et ont par conséquent la même pression osmotique ; mises dans le vase de Pfeffer, elles élèveraient à la même hauteur la colonne du manomètre. On dit aussi que ces solutions sont *isotoniques* entre elles.

Quand on ignore la concentration moléculaire d'une solution, on a pour l'évaluer plusieurs méthodes pratiques à sa disposition, entre autres la *cryoscopie* ou détermination du point de congélation, et la *méthode des globules rouges* de HAMBURGER. La cryoscopie est basée sur ce principe qu'une dissolution a un point de congélation moins élevé que celui du dissolvant ; or, l'abaissement du point de congélation (Δ) est proportionnel au nombre de molécules contenues dans la solution, et des solutions équimoléculaires ont le même point de congélation. La méthode de HAMBURGER utilise comme critérium la sortie de l'hémoglobine