

blement avec apport d'une quantité considérable d'énergie, étant donné d'autre part ce que l'on sait des propriétés du cyanogène (le cyanogène se forme avec absorption d'une grande quantité de chaleur, et ses combinaisons ont une forte tendance à se décomposer) : inversement la transformation de l'albumine vivante en albumine morte consisterait dans le passage de l'état cyané à l'état ammoniacal.

Cette théorie de PFLÜGER est séduisante. Toutefois le terme d'*albumine vivante* paraît assez impropre, car il implique que c'est la molécule chimique qui est vivante, ce qui soulève quelques difficultés de conception. Comme nous l'avons dit plus haut, le protoplasma n'est pas seulement une notion chimique, mais encore morphologique; aussi certains biologistes ont-ils admis que les particules élémentaires de matière vivante ont des dimensions beaucoup plus grandes que les molécules. A ces éléments primaires hypothétiques du protoplasma, HÆCKEL a donné le nom de *plastidules*. Ces plastidules seraient reliées entre elles par des filaments très déliés, et animées à l'état actif de mouvements vibratoires et ondulatoires (mouvements plastidulaires). Dans le même ordre d'idées, VERWORN, pour remplacer le terme d'albumine vivante, tout en conservant la notion que la combinaison chimique sur laquelle repose les phénomènes vitaux est différente de l'albumine morte, a proposé la dénomination de « *biogène* ».

CHAPITRE II

CONDITIONS GÉNÉRALES DE LA VIE

Par suite de l'adaptation des organismes aux milieux dans lesquels il vivent, les conditions extérieures de la vie sont extrêmement variées. Ainsi, on voit du premier coup d'œil que, parmi les êtres animés, les uns vivent dans l'air, les autres dans l'eau et certains en parasites dans le corps d'autres êtres vivants. Mais pour tous, il est des conditions générales que doit remplir le milieu extérieur pour que les phénomènes vitaux puissent se manifester. Ce sont les conditions extrinsèques générales de la vie. De plus, il est des conditions intrinsèques se rapportant à la constitution du protoplasma et à ses relations avec le noyau dans la cellule.

ARTICLE PREMIER

CONDITIONS EXTRINSÈQUES GÉNÉRALES DE LA VIE

Les organismes présentent, avec le milieu ambiant, un incessant mouvement d'échanges; ces échanges peuvent s'opérer d'ailleurs soit directement avec le monde extérieur, comme c'est le cas pour les êtres composés d'une seule cellule, ou seulement d'un petit nombre de cellules, soit indirectement par l'intermédiaire d'un *milieu intérieur* (liquide intercellulaire, lymphe, sang), comme c'est la règle pour les êtres élevés en organisation et composés d'un nombre considérable de cellules; mais on voit

de suite que si ce dernier est intérieur par rapport à l'organisme entier, il est, en réalité, extérieur par rapport à la cellule. Quel qu'il soit du reste, le milieu doit présenter certaines qualités d'ordre chimique et d'ordre physique pour entretenir la vie dans le protoplasma.

§ 1. — CONDITIONS CHIMIQUES

Le protoplasma se nourrit : il lui faut de l'eau et des aliments.
Il respire : il lui faut de l'oxygène.

1° Eau. — L'eau, comme nous l'avons dit, entre dans la constitution chimique du protoplasma, et elle est indispensable pour sa nutrition. L'adage *Corpora non agunt nisi soluta* est vrai pour les corps vivants comme pour les corps bruts. Le protoplasma desséché perd ses propriétés vitales, soit définitivement comme chez la plupart des organismes qui succombent par un certain degré de dessiccation, soit d'une façon transitoire, et alors il conserve la propriété de revenir à la vie quand il est humecté. Ce dernier cas est particulièrement intéressant, parce qu'il montre la relation étroite qui existe entre les manifestations vitales et leurs conditions physico-chimiques. Une graine, une spore desséchées ne présentent aucun signe extérieur de la vie ; elles sont en état d'indifférence chimique ou de *vie latente*. Mais il suffit de les placer dans une atmosphère humide et à une température convenable pour les faire germer. Le plus curieux est de voir le protoplasma desséché reprendre ses propriétés vitales par l'hydratation chez des animaux déjà relativement élevés en organisation. C'est un fait bien connu pour les rotifères, tardigrades, anguillules du blé niellé, animaux dits pour ce motif *reviviscents*. Un tardigrade, par exemple, est un acarien pourvu de quatre paires de pattes courtes, terminées en griffe, d'un système nerveux, d'un appareil digestif, etc. Desséché, il perd toute apparence d'organisation ; il se raccornit, sa surface se plisse et se fendille, et il se différencie alors à peine d'un grain de sable. Sous cet état, il peut rester plusieurs années sans la moindre modification. Mais en l'humectant, on peut suivre,

sous le microscope, la réapparition progressive des phénomènes vitaux ; son corps se gonfle, ses extrémités font de nouveau saillie, et bientôt l'animal recouvre sa forme première ; d'abord il reste encore complètement immobile ; mais, au bout de quelque temps, il présente des mouvements lents, puis de plus en plus actifs.

2° Aliments. — Le protoplasma étant en état continuel de désintégration, il est clair qu'il ne peut vivre qu'en empruntant au milieu ambiant des matériaux de reconstitution. Privé d'aliments, il dépérit et meurt en présentant les phénomènes d'inanition que nous étudierons plus loin (p. 330). Ces aliments doivent évidemment contenir les 12 corps simples principaux qui entrent dans la constitution chimique du protoplasma. Mais l'état sous lequel ces éléments doivent se présenter pour être *assimilables* est très variable suivant les organismes, et, à ce point de vue, les plantes et les animaux se comportent d'une manière différente. Les plantes vertes, à chlorophylle, peuvent constituer leur protoplasma aux dépens des seules substances inorganiques, c'est-à-dire l'acide carbonique et différents sels. Les animaux, par contre, ne peuvent vivre qu'en utilisant des combinaisons organiques déjà complexes, telles que les hydrates de carbone, les graisses, les albuminoïdes. Entre les deux, se trouvent les végétaux dépourvus de chlorophylle, comme les champignons, les levûres, qui peuvent bien emprunter leur azote à des composés inorganiques, mais qui ne sont capables de tirer leur carbone que de composés organiques. Ainsi, la levure de bière végétale et se multiplie dans un milieu ne contenant que de l'azote ammoniacal (phosphate d'ammoniaque, par exemple) ; mais pour le carbone, il faut le lui offrir sous la forme d'un hydrate de carbone (sucre).

Les divers organismes présentent d'ailleurs d'infinies variétés quant à leur besoin d'aliments, et tel corps simple, qui n'existe qu'à l'état de traces dans la nourriture, peut être cependant indispensable à la bonne nutrition du protoplasma, tandis que tel autre est nuisible ou toxique. La preuve la plus remarquable de ces faits nous est fournie par la culture d'une mucédinée,

Aspergillus niger, dans un milieu approprié. RAULIN a montré qu'on obtient le maximum de rendement en ensemençant les spores de ce champignon dans un liquide contenant de l'eau, du sucre candi, de l'acide tartrique et divers sels d'ammoniaque, de potasse, de magnésie, de zinc, de fer (*Liquide de RAULIN*), toutes ces substances étant d'ailleurs mélangées dans des proportions parfaitement déterminées. Si l'on supprime l'un quelconque de ces éléments, la récolte diminue; elle tombe par exemple au $\frac{1}{25}$ de ce qu'elle était, si l'on supprime la potasse; de même, elle faiblit par la suppression de l'ammoniaque ou de l'acide phosphorique. Chose remarquable, elle se réduit au $\frac{1}{10}$ par la suppression du zinc, alors que ce métal n'existe dans le liquide qu'en proportion extrêmement faible (dilué au $\frac{1}{50\,000}$). Cela ne montre-t-il pas de quelles proportions infinitésimales d'une substance alimentaire peut dépendre la santé d'un être vivant? Il y a plus, ce végétal est sensible à la présence en quantités impondérables d'éléments qui lui sont nuisibles; ainsi, la végétation s'arrête brusquement quand on ajoute au liquide nourricier un seize cent millième de nitrate d'argent; la culture ne peut même pas commencer dans un récipient d'argent, bien que les réactifs les plus sensibles soient impuissants à démontrer la présence de ce métal dans le liquide.

Telle substance toxique pour un organisme peut d'ailleurs être inoffensive pour d'autres, et même posséder pour certains d'entre eux la valeur d'un aliment. Un exemple très frappant en est fourni par les *bactéries sulfureuses* qui consomment l'hydrogène sulfuré et forment au dépens de ce gaz, par oxydation, du soufre libre qui apparaît sous l'aspect de fines granulations réfringentes dans leur protoplasma. Or l'hydrogène sulfuré est un gaz extrêmement toxique pour les organismes en général.

3° Oxygène. — LAVOISIER et PRIESTLEY en découvrant l'oxygène ont en même temps fondé la théorie chimique de la vie. Les phénomènes vitaux s'accomplissent en effet avec fixation de l'oxygène de l'air sur le carbone: ils consistent essentiellement en une combustion du carbone qui se transforme en gaz acide

carbonique, lequel est rejeté dans l'atmosphère. Cette combustion étant à la base même de tout phénomène vital, il en résulte que le besoin d'oxygène doit être absolument général et qu'aucun être vivant ne saurait s'en passer. Effectivement, tous les organismes meurent lorsqu'on les prive de ce gaz; mais la durée de leur survie est variable; les uns succombent très rapidement, comme les animaux supérieurs dont le système nerveux, qui tient sous sa dépendance les mouvements de la respiration et du cœur, est très sensible à la privation d'oxygène; les autres, tels que les animaux à sang froid, les êtres inférieurs, résistent plus ou moins longtemps. Si d'une préparation contenant des amibes on chasse l'oxygène par le passage d'un courant d'hydrogène (gaz indifférent pour les organismes), on constate au bout de quelques minutes que les mouvements amiboïdes sont suspendus; à ce moment, les amibes peuvent encore revenir à la vie si on leur fournit de nouveau l'oxygène; mais elles meurent si on prolonge l'expérience de l'exclusion de ce gaz. De même, une grenouille peut vivre quelque temps dans une atmosphère d'hydrogène ou d'azote; un muscle isolé du corps de cet animal vit et reste excitable encore pendant plusieurs heures dans les mêmes conditions (voy. *Respiration*, p. 293 et 296).

Ainsi, certains organismes ou tissus peuvent demeurer en vie pendant quelque temps dans un air dépourvu d'oxygène, mais la règle est que cette survie est toujours de faible durée. A cette loi, il y a cependant une exception très remarquable. Ainsi que l'a démontré PASTEUR, des êtres inférieurs, des microbes peuvent vivre indéfiniment dans une atmosphère complètement dépourvue d'oxygène, et même pour certains d'entre eux, l'oxygène libre est nuisible, si bien qu'ils ne peuvent se développer qu'à l'abri de ce gaz. Ces êtres constituent la classe des *anaérobies*: tels sont le vibron butyrique, le bacille du tétanos, etc. Cette exception n'est cependant qu'apparente; les anaérobies, en effet, ne peuvent pas plus se passer d'oxygène que les *aérobies*. Seulement, tandis que ces derniers prennent ce gaz à l'air libre, les anaérobies l'empruntent aux combinaisons chimiques aux dépens desquelles ils vivent (voy. *Ferments figurés*, p. 137). La vie sans air paraît du reste exister aussi pour d'autres organismes para-

sites, les vers intestinaux, car dans l'intestin il n'y a point d'oxygène.

§ 2. — CONDITIONS PHYSIQUES

Parmi ces conditions, la plus importante est la chaleur. La lumière, la pression sont aussi à considérer.

1° Chaleur. — Tout phénomène vital doit être influencé par la température, puisqu'il repose essentiellement sur une modification des composés chimiques du protoplasma, et que la température joue un rôle important, comme on sait, dans la combinaison et la dissociation des corps. D'une manière générale, les basses températures ne sont pas favorables à la vie; quelques rares animaux ou plantes seulement peuvent s'y adapter; aussi, la faune et la flore des régions polaires sont-elles pauvres. L'activité vitale augmente avec la température jusqu'à un certain degré *optimum* variable suivant les organismes, mais généralement placé entre 30 et 40 degrés centigrades (température *optima* des fermentations). Au-dessus de ce degré de chaleur le protoplasma souffre, et le point *maximum* de température qu'il peut supporter est très voisin de l'*optimum*, tandis que le point *minimum* en est généralement beaucoup plus éloigné. L'influence de la chaleur sur l'intensité des échanges apparaît clairement pour les animaux à sang froid et les animaux hibernants, qui, pendant l'hiver, s'engourdissent (*sommeil hibernant*) et ne sortent de leur léthargie qu'au printemps.

Les maxima et les minima de température compatibles avec la vie présentent toutefois des écarts considérables. En chauffant progressivement des amibes contenues dans une goutte d'eau, KÜHNE les vit présenter des mouvements de plus en plus vifs, puis rentrer leurs pseudopodes et se contracter en boule à 35° (*rigidité de chaleur*), sans perdre toutefois la propriété de revenir à la vie par le refroidissement; mais à 40-45°, ce retour à la vie n'était plus possible. La température limite compatible avec la vie doit en effet se couvrir avec la température de coagulation des albuminoïdes du protoplasma. Mais il est vraisem-

blable que ces derniers peuvent, chez certaines espèces, offrir une résistance plus considérable, car on voit des algues et des infusoires vivre dans des sources thermales extrêmement chaudes (jusqu'à 81-85°, comme dans les sources de l'île d'Ischia, suivant l'observation d'EHRENBERG). D'autre part, la résistance des microbes, des graines et des spores aux températures élevées est bien connue, ainsi que la conséquence pratique qui en découle pour la stérilisation des objets. Une température de 100° suffit généralement pour tuer tous les germes dans un liquide; pourtant certaines spores, comme celle du bacille du charbon (*bacillus anthracis*), du bacille du foin (*bacillus subtilis*) peuvent supporter une température encore plus élevée, si bien que pour stériliser sûrement une infusion de foin, il faut la porter à l'autoclave à 120°.

Sous l'influence du froid, comme sous celle de la chaleur, le protoplasma perd sa motilité, d'une manière générale vers 0° (*rigidité par le froid*). Mais la résistance au froid paraît être très étendue. KÜHNE déposa sur un bloc de glace un verre de montre contenant une goutte d'eau avec des amibes; au fur et à mesure qu'elles se refroidissaient, les amibes présentaient des mouvements de plus en plus lents, et finissaient par devenir complètement immobiles. En ramenant alors la goutte à la température ordinaire, les mouvements reprenaient peu à peu. Mais si la goutte d'eau avait été congelée, les amibes, après réchauffement, restaient immobiles et ne pouvaient plus être ramenées à la vie. Cependant, certains organismes peuvent supporter la congélation de leurs tissus sans mourir, et même résister à un froid de plusieurs degrés au-dessous de zéro. Ainsi FRANKLIN vit des carpes qui avaient été gelées de telle sorte que tout leur corps avait la dureté de la glace, revenir à la vie et sauter lorsqu'elles étaient réchauffées. Le même fait fut observé par DUMÉRIL sur des grenouilles qui avaient été congelées dans l'air refroidi jusqu'à -12°. Ces anciennes observations ont reçu une remarquable confirmation par les expériences de R. PICTET. Ce dernier a vu que des poissons refroidis à -15° C dans un bloc de glace pouvaient revenir à la vie lorsqu'on les dégelait, alors que le corps des animaux témoins se laissait broyer en poudre, comme de la

glace. De même, des grenouilles résistaient à une température de -28° ; des limaçons supportaient sans périr -120° et des bactéries jusqu'à -200° C! Pour un animal donné il y avait toutefois une température limite: ainsi les poissons refroidis à -20° mouraient. Il faut noter d'ailleurs que ces animaux ne sont susceptibles de résister à de pareils abaissements de température que pendant un temps relativement court. Aussi succombent-ils en hiver, lorsque la température extérieure se maintient quelque temps au-dessous de zéro, s'ils ne sont pas protégés contre le refroidissement.

Pour un refroidissement bien moins intense, les organismes supérieurs, les animaux dits à sang chaud, succombent; toutefois il faut remarquer que certains de leurs tissus, par exemple les muscles et les nerfs, peuvent reprendre leur irritabilité après avoir été refroidis, puis réchauffés graduellement.

2° Lumière. — La lumière est un mode d'énergie indispensable à la nutrition des plantes vertes à chlorophylle, ainsi que nous le verrons plus loin; et comme d'autre part, sans les plantes la vie animale ne saurait exister, on peut dire que la lumière est une condition indispensable de la vie pour les organismes. En dehors de cette action, la lumière influe d'ailleurs encore sur les phénomènes vitaux de chaque être en particulier. Toutefois on ne saurait la considérer comme une condition générale de la vie, au même titre que la chaleur; car il ne manque pas d'êtres inférieurs (champignons, levures) et même élevés en organisation (poissons, reptiles habitant sous terre, ou dans les abîmes) qui vivent dans l'obscurité.

3° Pression. — La matière vivante, dans quelque milieu qu'elle se trouve, eau ou air, est soumise à une certaine pression qui maintient dissous ou en combinaison les gaz qu'elle contient. On comprend donc que cette pression ne puisse varier que dans des limites restreintes. Si elle augmente en effet, une plus grande proportion de gaz entre en dissolution et exerce une action nocive sur le protoplasma; l'oxygène par exemple, à la pression de 5-6 atmosphères, devient, comme l'a montré P. BERT

un violent toxique pour les organismes. Si, par contre, la pression diminue, la tension partielle de l'oxygène dans l'atmosphère arrive à tomber au-dessous de la valeur nécessaire pour les oxydations (voy. *Respiration*, p. 317).

ARTICLE II

CONDITIONS INTRINSÈQUES GÉNÉRALES DE LA VIE

L'intégrité de l'état physique et chimique normal du protoplasma est évidemment une condition de la vie. Chez les organismes supérieurs, un fragment de tissu séparé du corps ne peut continuer à vivre bien longtemps, en raison des relations fonctionnelles étroites qui relient toutes les parties du même individu; par contre, pour certains êtres inférieurs, il n'en est pas toujours de même, et on n'ignore pas que lorsque le petit polype appelé *hydre d'eau douce* est divisé en plusieurs fragments, chacun de ceux-ci se développe à part et reconstitue un individu entier. Mais il s'agit ici de la séparation d'un groupe de cellules de l'agrégat total. Que se passe-t-il maintenant pour une cellule isolée, si l'on divise son corps protoplasmique?

Les expériences très intéressantes de NUSSBAUM, GRUBER, HOFER montrent qu'un fragment de protoplasma dépourvu de noyau est fatalement voué à une mort plus ou moins prompte, tandis que la partie de la cellule qui renferme encore son noyau continue à vivre comme à l'état normal. Cette méthode de vivisection des infiniment petits, à laquelle BALBIANI a donné le nom de *mérotomie*, consiste à diviser avec une lame très fine le corps d'un organisme monocellulaire, comme une amibe de grande taille par exemple, en un fragment nucléé et un fragment sans noyau, et à observer comparativement ce qui se passe pour chacun d'eux. Dans ces conditions, on voit que le fragment sans noyau, après avoir accompli encore quelques mouvements à peu près normaux pendant 15 ou 20 minutes, se ramasse en un corps arrondi et devient immobile; de plus, il perd la faculté de se fixer sur les corps étrangers, à la

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 16 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 cylindre 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 cylindrique 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-