

## CHAPITRE IV

### PROPRIÉTÉS VITALES DE LA CELLULE

#### II. — PHÉNOMÈNES D'IRRITATION

La propriété la plus remarquable du protoplasme est son *irritabilité*<sup>1</sup>. Nous entendons par là, ainsi que s'exprime SACHS (IV, 32 a), « la façon propre aux seuls organismes vivants de réagir de telle ou telle manière sur les influences les plus diverses du monde extérieur. » L'irritabilité est le caractère le plus distinctif qui existe entre la nature vivante et la nature non vivante. Aussi les anciens naturalistes voyaient-ils dans cette propriété une *force vitale* n'appartenant qu'à la nature organique.

La science moderne a abandonné la *théorie du vitalisme*. Au lieu d'admettre l'existence d'une force vitale spéciale, elle considère l'irritabilité comme un phénomène physico-chimique très complexe. Ce phénomène ne diffère des autres phénomènes physico-chimiques de la nature non vivante qu'en ce que les influences extérieures s'exercent sur une substance de structure complexe, sur un organisme, c'est-à-dire sur un système matériel très compliqué, et qu'elles produisent, par conséquent, en lui toute une série de phénomènes complexes.

Dans cette interprétation mécanique, il faut cependant se garder de tomber dans une erreur très répandue, qui consiste, en raison des analogies que présentent maints phénomènes de la nature inanimée avec des phénomènes de la vie, à vouloir donner de ces derniers une explication

<sup>1</sup> CLAUDE BERNARD (IV, 1 a), dans ses *Leçons sur les phénomènes de la vie*, arrive à la même conclusion, par toute une série de considérations : « Arrivés au terme de nos études, dit-il, nous voyons qu'elles nous imposent une conclusion très générale, fruit de l'expérience, c'est, à savoir, qu'entre les deux écoles qui font des phénomènes vitaux quelque chose d'absolument distinct des phénomènes physico-chimiques ou quelque chose de tout à fait identique à eux il y a place pour une troisième doctrine, celle du vitalisme physique, qui tient compte de ce qu'il y a de spécial dans les manifestations de la vie et de ce qu'il y a de conforme à l'action des forces générales : l'élément ultime du phénomène est physique ; l'arrangement est vital. »

*directement mécanique*. Il ne faut jamais oublier que dans la nature inorganique il n'existe pas de substance ayant une structure aussi complexe que la cellule vivante, et que, par conséquent, les réactions d'une telle substance doivent aussi être très compliquées.

L'ensemble des phénomènes d'irritation est très vaste, car il comprend tous les rapports réciproques qui existent entre les organismes et le monde extérieur. Les causes externes d'excitation qui agissent sur nous sont innombrables. Pour les examiner, nous les diviserons en cinq groupes. L'un de ces groupes comprend les excitants thermiques ; le deuxième, les excitants lumineux ; le troisième, les excitants électriques ; le quatrième, les excitants mécaniques, et le cinquième, enfin, les nombreux excitants chimiques.

La façon dont un organisme réagit sur l'un ou l'autre de ces excitants s'appelle le *résultat de l'excitation* ou la *réaction*. La réaction des divers organismes vis-à-vis d'un même excitant peut être très variable. Cela dépend absolument de la structure de l'organisme ou de la constitution intime de la substance irritable, constitution que nos sens ne peuvent pas toujours percevoir. Suivant une expression de SACHS (IV, 32 a), les organismes sont comparables, sous ce rapport, à des machines de construction différente, qui, mises en mouvement par une même force extérieure, la chaleur, fournissent cependant, selon leur construction interne, tantôt l'un, tantôt l'autre effet utile. *De même, les différents organismes réagissent souvent, vis-à-vis d'une même cause d'excitation, d'une façon absolument inverse, selon leur propre structure spécifique.*

Nous verrons par la suite que certains corps protoplasmiques sont attirés par la lumière, alors que d'autres sont repoussés par elle ; nous verrons que le même spectacle se reproduit pour l'action des substances chimiques, etc. On parle alors d'un *héliotropisme positif* ou *néгатif*, d'un *chimiotropisme positif* ou *néгатif*, d'un *galvanotropisme*, d'un *géotropisme*, etc.

En raison de la structure spéciale de la substance irritable s'explique encore un autre phénomène, connu en physiologie sous le nom d'*énergie spécifique* et qui, à certains points de vue, est le contre-pied des phénomènes dont nous venons de parler. Nous venons de voir que les corps protoplasmiques de structure différente réagissent différemment vis-à-vis du même excitant ; nous voyons, d'autre part, que des excitants très différents, la lumière, l'électricité, le contact mécanique, provoquent une même réaction sur le même corps protoplasmique.

L'action d'un excitant quelconque provoque dans la cellule musculaire une contraction ; dans la cellule glandulaire, une sécrétion ; le nerf optique donne une sensation lumineuse, qu'il soit irrité par la lumière, par l'élec-

tricité ou par une compression. De même, les cellules végétales, ainsi que l'a montré SACHS, sont dotées d'énergies spécifiques. Les vrilles et les racines s'infléchissent toujours de la façon qui leur est propre, qu'elles soient irritées par la lumière, par la pesanteur, par la pression ou par un courant électrique. *La réaction conserve partout son caractère spécifique grâce à la structure particulière de la substance irritable; en d'autres termes, l'irritabilité est une propriété fondamentale du protoplasme vivant; mais, selon la structure spécifique de ce dernier, elle s'exprime, sous l'influence du monde extérieur, par des réactions spécifiques.*

Cette même pensée a été exprimée de la manière suivante par CLAUDE BERNARD (IV, 1 a) : « La sensibilité, considérée comme propriété du système nerveux, n'a rien d'essentiel ou de spécifiquement distinct; c'est l'irritabilité spéciale au nerf, comme la propriété de contraction est l'irritabilité spéciale au muscle, comme la propriété de sécrétion est l'irritabilité spéciale à l'élément glandulaire. Ainsi, ces propriétés sur lesquelles on fondait la distinction des plantes et des animaux ne touchent pas à leur vie même, mais seulement aux mécanismes par lesquels cette vie s'exerce. Au fond tous ces mécanismes sont soumis à une condition générale et commune, l'irritabilité. »

Dans la discussion générale de l'irritabilité, il faut enfin parler encore de la *propagation ou conduction de l'excitation*. Un excitant, qui touche un point restreint de la surface d'un corps protoplasmique, ne détermine pas une réaction en ce point seulement, mais aussi en des points très éloignés. La transformation que subit le corps protoplasmique au point irrité doit donc se communiquer plus ou moins rapidement au corps protoplasmique tout entier. La conduction de l'excitation est, en général, plus rapide chez les animaux : pour les nerfs de l'homme, par exemple, elle atteint 34 mètres par seconde; elle est plus lente dans le protoplasme végétal.

On se représente la substance irritable comme un système de molécules matérielles se trouvant dans un état d'équilibre instable et douées de forces de tension puissantes. Dans un tel système une légère impulsion donnée à une molécule suffit pour mettre en mouvement toutes les autres molécules, le mouvement se transmettant d'une molécule à l'autre. Ainsi s'explique aussi que souvent une faible cause d'excitation peut déterminer une réaction très considérable, de même qu'un grain de poudre enflammé par une étincelle peut déterminer l'explosion d'une quantité de poudre très importante.

Enfin, la substance organique jouit du pouvoir de reprendre *plus ou moins* son état primitif après que, la cause d'excitation ayant cessé, elle est restée au repos pendant un certain temps. Je dis plus ou moins : car souvent, lorsque l'excitant a agi longtemps ou que l'on a répété son action

plusieurs fois de suite, la structure de la substance organique et son pouvoir de réaction sont modifiés d'une façon durable. Il se produit alors des phénomènes que l'on réunit sous les dénominations générales d'*action consécutive à l'excitation* et d'*accoutumance à l'excitation*.

Nous ne sommes habituellement pas à même de constater si un corps protoplasmique est irritable et s'il réagit sur les variations du milieu ambiant. *La plupart des résultats de l'excitation, c'est-à-dire des réactions, nous échappent.* Nous le constatons le plus nettement lorsque le protoplasme répond à l'excitant par des changements profonds dans sa forme ou par des mouvements. Mais en cela ne résident qu'un petit nombre de réactions, bien qu'elles soient les plus importantes pour l'observateur, parce qu'il peut les saisir. Nous aurons donc à rechercher surtout comment le protoplasme réagit par ses mouvements vis-à-vis des cinq groupes d'excitants que nous avons énumérés plus haut. C'est aussi cette circonstance qui m'a engagé à commencer, par l'étude de la contractilité, la description des propriétés vitales des organismes élémentaires.

#### I. — Excitants thermiques

La température ambiante est l'une des conditions les plus essentielles de l'activité vitale du protoplasme. Il y a une limite supérieure et une limite inférieure de température, au-delà desquelles le protoplasme meurt immédiatement. Cependant ces limites ne sont pas absolument les mêmes pour tout corps protoplasmique. Il en est qui offrent une résistance beaucoup moindre que d'autres aux températures extrêmes.

Pour les cellules animales et végétales la *température maximum* est habituellement d'environ 40 degrés centigrades. Une action de quelques minutes suffit déjà pour provoquer dans le protoplasme des phénomènes de gonflement et de coagulation qui entraînent des perturbations dans sa structure et sa vie. Des Amibes, portées dans de l'eau à 40 degrés centigrades, meurent aussitôt : leurs pseudopodes se rétractent et « l'organisme se transforme en une vésicule sphérique, nettement délimitée par un double contour enveloppant une masse trouble et d'aspect brunâtre quand on l'examine par transparence ». (KÜHNE, IV, 15.) La même température détermine chez *Aethalium septicum* la mort par la chaleur, conséquence d'une coagulation. Chez *Actinophrys* la température maximum déterminant la mort instantanée est de 45 degrés; pour les cellules de *Tridacantia* et *Vallisneria*, elle est de 47 à 48 degrés centigrades (MAX SCHULTZE, I, 29).

Le protoplasme de certains organismes vivant dans des sources très

chaudes s'est adapté à des températures beaucoup plus élevées. C'est ainsi que COHN a trouvé dans la source thermale de Carlsbade des *Leptothrix* et des *Oscillariées*, vivant à 53 degrés centigrades; EHRENBURG a, de même, observé des filaments d'Algues feutrés dans les sources chaudes d'Ischia.

Ce n'est cependant pas encore la limite de la température la plus élevée que la substance vivante puisse supporter longtemps. Les spores endogènes des bacilles qui possèdent des enveloppes très résistantes restent capables de germination, même si on les maintient quelques instants dans un liquide à 100 degrés; d'autres supportent même des températures de 105 à 130 degrés (DE BARY, IV, § b, p. 41). Une chaleur sèche de 140 degrés ne détruit avec certitude tous les germes vivants qu'à la condition de prolonger son action pendant trois heures.

Il est beaucoup plus difficile de déterminer la limite de température la plus basse, qui occasionne immédiatement la mort par le froid. D'une façon générale, les températures inférieures à 0 degré nuisent moins au protoplasme que les températures élevées. Dans les œufs d'Échinodermes qui se préparent à la segmentation, on suspend momentanément le processus de la division, lorsqu'on les dépose dans un milieu marquant 2 à 3 degrés centigrades sous zéro (IV, 12). Cependant, la segmentation recommence normalement si, après un refroidissement d'un quart d'heure, on réchauffe lentement ces œufs. Même si la durée du refroidissement a été de deux heures, bon nombre de ces œufs n'ont éprouvé d'effet nuisible durable. Certaines cellules végétales peuvent être refroidies au point que des cristaux de glace se déposent dans leur suc cellulaire; lorsqu'ensuite on les dégèle progressivement, la circulation protoplasmique se rétablit (IV, 15).

La congélation subite engendre dans le protoplasme des cellules végétales des changements de forme considérables, qui disparaissent ensuite avec le dégel. KÜHNE (IV, 15) a laissé congeler pendant plus de cinq minutes des cellules de *Tradescantia* dans un mélange réfrigérant de -14 degrés centigrades; il a observé, en étudiant ensuite ces éléments dans l'eau, que le réseau protoplasmique normal était remplacé par un grand nombre de gouttelettes arrondies et d'amas de protoplasme. Après quelques secondes déjà, ces petites masses commençaient à montrer des mouvements actifs; après quelques minutes, elles se réunissaient pour se retransformer bientôt en un réseau montrant une circulation active.

KÜHNE décrit une autre expérience de la manière suivante: « On place une préparation de cellules de *Tradescantia* pendant une heure au moins dans un espace refroidi à l'aide de glace à 0 degré; leur protoplasme montre alors une tendance à se décomposer en gouttelettes isolées. Là où le réseau existe encore, il est formé par des filaments extraordinairement délicats

présentant par places des gouttelettes volumineuses. De nombreuses gouttelettes sont, en outre, librement répandues dans le suc cellulaire, où elles exécutent des mouvements actifs, sans cependant qu'elles se déplacent guère: elles tournent autour de leur axe. Quelques minutes plus tard, ces gouttelettes libres s'unissent aux fins filaments du réseau, ou bien se fusionnent avec d'autres gouttelettes en suspension dans le suc cellulaire, jusqu'à ce que le réseau protoplasmique normal soit complètement rétabli. »

Chez les végétaux, d'une façon générale, le pouvoir de résistance au froid est d'autant plus grand que les cellules renferment moins d'eau: les graines sèches et les bourgeons hivernants, dont les cellules sont presque purement protoplasmiques, peuvent supporter des températures très basses, tandis que les jeunes feuilles à cellules succulentes meurent rien que sous l'action d'une gelée nocturne. Il faut ajouter que la résistance au froid dépend beaucoup aussi de l'organisation spécifique des végétaux, c'est-à-dire de leurs cellules; c'est ce que nous constatons tous les jours (SACHS, IV, 32 b).

Certains microorganismes résistent à des froids très rigoureux. FRISCH a constaté que le pouvoir de développement du *Bacillus anthracis*, tant en ce qui concerne ses spores que ses cellules végétatives, n'est nullement atteint si cet organisme, après avoir été congelé à -110 degrés centigrades, est ensuite soumis à un dégel.

Dans les différents cas que nous avons cités, avant que soient atteintes les limites extrêmes de température qui déterminent la mort immédiate du protoplasme par la chaleur ou par le froid, on constate un phénomène que l'on appelle la rigidité par la chaleur ou la rigidité par le froid. On désigne par là un état pendant lequel les propriétés vitales du protoplasme, et notamment tous ses mouvements, sont abolies aussi longtemps que la température agit, pour se rétablir ensuite après une certaine période.

La rigidité par le froid se produit habituellement aux environs de 0 degré; la rigidité par la chaleur, à quelques degrés au-dessous de la température maximum qui provoque la mort subite du protoplasme. Dans l'un comme dans l'autre cas, le mouvement du protoplasme se ralentit plus ou moins et cesse bientôt. Les Amibes, les Rhizopodes, les corpuscules blancs du sang retirent leurs pseudopodes et se transforment en de petites masses sphériques. Les cellules végétales acquièrent alors fréquemment l'aspect décrit plus haut par KÜHNE. Dans le cas de rigidité par le froid, une élévation lente de la température, et dans le cas de rigidité par la chaleur, un abaissement progressif de la température, permettent le retour des phénomènes vitaux normaux. Lorsque la rigidité dure longtemps, elle peut déterminer la mort; mais généralement la rigidité par le

froid est supportée plus longtemps et plus aisément que la rigidité par la chaleur. Au moment de la mort, le protoplasme se coagule et se trouble ; puis il ne tarde pas à se fragmenter, après s'être gonflé.

La rigidité par le froid et la rigidité par la chaleur constituent les limites extrêmes d'une période pendant laquelle les phénomènes de la vie s'accomplissent avec une intensité variant selon la température. Pendant cette période ce sont surtout les mouvements qui manifestent les variations les plus intenses. Ils augmentent proportionnellement à l'élévation de la température jusqu'à un maximum déterminé, correspondant à une température déterminée, que l'on désigne sous le nom de *température optimum*. La température optimum est de plusieurs degrés inférieure à la température correspondant à la rigidité par la chaleur. Si la température dépasse cet optimum, les mouvements du protoplasme se ralentissent de plus en plus jusqu'au moment où se produit la rigidité.

Les corpuscules blancs du sang constituent un excellent objet permettant d'étudier l'influence de la chaleur sur le protoplasme. On se sert pour cela de la platine chauffante de MAX SCHULTZE ou de l'étuve de SACHS. Dans une goutte de sang fraîchement recueillie, les corpuscules blancs présentent une forme sphérique et sont sans mouvement. Si on élève la température avec certaines précautions, ils commencent à émettre lentement des pseudopodes et à se mouvoir. Leur forme change d'autant plus activement que la température se rapproche de l'optimum. Chez les Myxomycètes, les Rhizopodes et les cellules végétales, lorsque la température ambiante augmente, son effet se manifeste par une accélération de la circulation du protoplasme granuleux. D'après les calculs de MAX SCHULTZE (I, 29), les granulations du protoplasme qui, à la température ordinaire, dans les cellules des poils d'*Urtica* et de *Tradescantia*, circulent avec une vitesse de 0,004 à 0,005 millimètre en une seconde, circulent à 35 degrés centigrades, dans le même temps, avec une vitesse de 0,009 millimètre. Chez *Vallisneria* la circulation s'accélère jusqu'à 0,015 millimètre en une seconde, et dans une espèce de *Chara* jusqu'à 0,04 millimètre. Entre le mouvement lent et le mouvement accéléré la différence peut être assez considérable pour qu'une longueur d'un pied soit parcourue, dans le premier cas, en cinquante heures environ, et dans le second cas en une demi-heure seulement.

NAEGELI (III, 16) indique les valeurs suivantes pour l'augmentation de vitesse de la circulation du protoplasme provoquée par l'élévation de la température dans les cellules de *Nitella* : pour parcourir 0,4 millimètre, le courant protoplasmique emploie 60 secondes à 1 degré centigrade, 24 secondes à 5 degrés centigrades, 8 secondes à 10 degrés centigrades, 5 secondes à 15 degrés centigrades, 3,6 secondes à 20 degrés centigrades,

2,4 secondes à 26 degrés centigrades, 1,5 secondes à 31 degrés centigrades, zéro, 0,65 seconde à 37 degrés centigrades. Il en résulte donc que « l'accroissement de la vitesse correspondant à des différences de 1 degré est très petite ». (NAEGELI, VELTEN.)

Bien remarquable encore est, enfin, la manière d'être du corps protoplasmique vis-à-vis de grandes variations brusques de la température et vis-à-vis de l'élévation unilatérale ou inégale de la température.

Les variations de la température peuvent être ou positives ou négatives, c'est-à-dire qu'elles peuvent consister en une élévation ou en un abaissement de la température ; la conséquence d'une très grande excitation thermique est la cessation momentanée du mouvement. Après un certain temps de repos, le mouvement se rétablit et prend alors une vitesse correspondant à la température (DUTROCHET, HOFMEISTER, DE VRIES). VELTEN (IV, 38) conteste l'exactitude de ces observations. D'après ses expériences, des variations brusques de température en dedans des limites extrêmes ne provoquent ni arrêt ni ralentissement du mouvement du protoplasme ; mais elles occasionnent subitement un mouvement dont la vitesse correspond à la température en question.

STAHL (IV, 35) a entrepris, sur les plasmodies des Myxomycètes, des expériences très intéressantes destinées à faire connaître les conséquences d'une élévation inégale de la température. Quand une de ces plasmodies s'est étalée en un réseau, si l'on en refroidit une partie seulement, le protoplasme émigre peu à peu du point refroidi pour se transporter vers les parties plus chaudes ; une partie du réseau se rétracte donc et disparaît pendant que l'autre grandit. On peut faire cette expérience de la manière suivante : on place côte à côte deux coupes en verre, dont l'une est remplie d'eau à 7 degrés, et l'autre d'eau à 30 degrés ; sur leurs bords en contact on dépose une bande de papier humide, sur laquelle s'est étalée une plasmodie, et l'on dispose les choses de telle sorte qu'une des extrémités plonge dans l'eau chaude et l'autre dans l'eau froide, la température étant maintenue constante dans les deux coupes. Après un certain temps, la plasmodie a émigré vers le milieu qui lui plaît le mieux, au moyen de ses prolongements pseudopodiques.

De cette façon, les corps protoplasmiques vivant librement exécutent des mouvements qui semblent conformes à un but utilitaire, parce qu'ils servent en même temps à la conservation de l'organisme. En automne, lorsque l'air se refroidit, la fleur de tan (*Æthalion*) s'enfonce à plusieurs pieds de profondeur dans les couches plus chaudes du tan pour hiverner. Au printemps, lorsque la température de l'air s'est élevée, elle se meut en sens inverse vers les couches superficielles, devenues plus chaudes.