

de la fermeture du courant constant ces organismes se précipitent en sens inverse, de telle sorte que finalement ils sont répartis en deux groupes, les Flagellates à l'anode et les Ciliés à la cathode. Si alors on renverse le courant, ces organismes se jettent les uns sur les autres, comme des ennemis, jusqu'à ce qu'ils se soient de nouveau accumulés aux pôles opposés. Toute fermeture du courant établit ainsi, en quelques secondes, une séparation nette de ces organismes précédemment entremêlés les uns dans les autres.

#### IV. — Excitants mécaniques

La pression, l'ébranlement et l'écrasement agissent comme excitants sur le protoplasme. Lorsque les excitations mécaniques sont faibles, leur

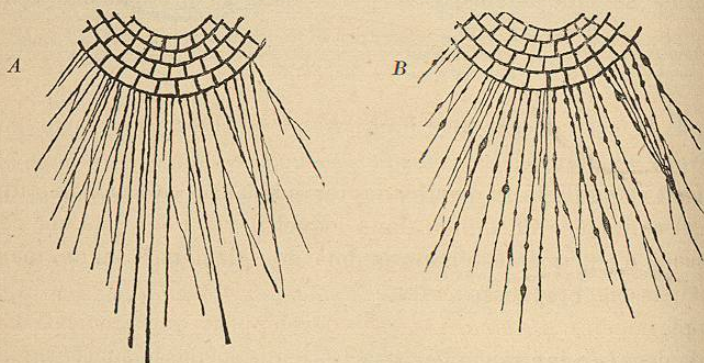


FIG. 57. — *Orbitolites*. Fragment de la surface avec pseudopodes. A gauche (A), l'organisme n'a pas été excité; à droite (B), il a été excité par un ébranlement prolongé. D'après VERWORN (III, 24), fig. 7.

action reste limitée aux points excités; quand elles sont énergiques, elle se propage à une plus grande distance et plus ou moins rapidement. Lorsqu'une cellule de *Tradescantia* ou de *Chara*, ou bien un plasmodium d'*Aethalium*, est ébranlé ou comprimé en un point, le mouvement du protoplasme granuleux s'arrête longtemps; les filaments protoplasmiques peuvent même montrer des varicosités et des amas, comme cela a lieu par excitation à l'aide du courant galvanique. C'est ainsi que souvent, en faisant la préparation, le fait seul de déposer le couvre-objet suffit pour arrêter les mouvements du protoplasme. Après un certain temps de repos, ils se rétablissent ensuite peu à peu.

Les Amibes et les corpuscules blancs du sang, que l'on ébranle violemment, retirent leurs pseudopodes et prennent une forme sphérique. Les Rhizopodes pourvus de longs filaments protoplasmiques exécutent sou-

vent ces mouvements avec une telle énergie que leurs extrémités adhérentes au porte-objet se rompent (VERWORN).

A l'aide d'une aiguille très affilée, on peut exciter ces organismes en un point déterminé. L'action reste alors limitée à ce point si l'excitation est faible, et elle se manifeste par la formation de varicosités et par le raccourcissement du pseudopode touché. Si les excitations sont vives et répétées, elles déterminent des contractions même dans les pseudopodes, qui ne sont pas au voisinage immédiat de ceux qui ont été touchés (Fig. 57, B).

Ce phénomène est important pour la préhension des aliments chez les Rhizopodes. Lorsqu'un Infusoire ou un autre microorganisme quelconque vient au contact d'un pseudopode étalé, il est retenu par lui et est enveloppé par du protoplasme. Ensuite, le pseudopode se raccourcit progressivement, parfois même les pseudopodes voisins interviennent, et le microorganisme se trouve ainsi transporté dans le protoplasme central du Rhizopode, où il est digéré.

#### V. — Excitants chimiques

Le corps d'une cellule peut s'adapter jusqu'à un certain point aux changements chimiques du milieu dans lequel il vit. Pour cela une condition essentielle, c'est que ces changements ne soient pas subits, mais qu'ils s'accomplissent progressivement.

Les plasmodies d'*Aethalium* se développent parfaitement dans une solution de sucre de raisin à 20/0, à la condition que le sucre ne soit ajouté à l'eau que peu à peu, par faibles doses (IV, 35). Si on les transportait subitement de l'eau pure dans la solution en question, ce changement brusque entraînerait la mort, et il en serait de même si, habituées à vivre dans la solution sucrée à 20/0, on les replaçait subitement dans l'eau pure. Le protoplasme doit donc avoir le temps de s'adapter aux circonstances, ce qui se fait probablement par accroissement ou diminution de la proportion d'eau qu'il contient.

Des Amibes et des Rhizopodes marins restent en vie si, par une évaporation progressive, l'eau de mer qui les contient et tenue en vase ouvert arrive même à contenir 10 0/0 de sel. Les Amibes d'eau douce, par contre, s'habituent à vivre dans une eau dans laquelle on a introduit peu à peu 4 0/0 de sel marin, tandis que, si on les dépose subitement dans une solution saline à 1 0/0 seulement, elles se ramassent en boules et finissent par se fragmenter en gouttelettes réfringentes.

En s'adaptant à un nouveau milieu chimique les divers corps cellulaires



subissent dans leur structure et dans leur activité vitale des changements plus ou moins importants. Lorsque leur activité vitale se manifeste à nous d'une façon appréciable, nous parlons alors d'*excitations chimiques*. Les phénomènes que l'on observe dans ce domaine extraordinairement vaste varient beaucoup, selon que l'excitant chimique agit sur le corps cellulaire uniformément et partout à la fois ou seulement dans un sens déterminé.

a) PREMIER GROUPE D'EXPÉRIENCES

ACTIONS CHIMIQUES QUI S'EXERCENT UNIFORMÉMENT SUR TOUT LE CORPS DE LA CELLULE

Afin d'arriver à connaître les phénomènes du premier groupe, il faut examiner de près la façon d'être du protoplasme vis-à-vis de différents gaz et de différentes substances composées que l'on désigne sous le nom général d'anesthésiques.

Dans les cellules végétales, le mouvement du protoplasme cesse rapidement si, au lieu de les déposer dans l'eau, on les dépose dans de l'huile d'olive, ce qui empêche la pénétration de l'air (IV, 15). Quand ensuite on enlève l'huile, on peut voir se rétablir peu à peu les mouvements protoplasmiques.

On peut aussi déterminer un ralentissement et finalement un arrêt de la circulation du protoplasme en remplaçant l'air atmosphérique par de l'anhydride carbonique ou par de l'hydrogène. Afin de réaliser cette expérience, on a construit des *porte-objets* spéciaux avec *chambre à gaz*, par lesquelles on peut faire passer un courant d'anhydride carbonique ou d'hydrogène. Après un séjour variant entre quarante-cinq minutes et une heure dans l'anhydride carbonique, les cellules végétales cessent généralement de manifester tout mouvement; dans l'hydrogène elles résistent un peu plus longtemps (III, 5).

En remplaçant l'anhydride carbonique par de l'oxygène on peut toujours faire disparaître la paralysie du protoplasme, à moins qu'elle n'ait duré trop longtemps. « Évidemment le protoplasme vivant se combine chimiquement avec l'oxygène ambiant, et cette combinaison oxygénée fixe, dont tout corps protoplasmique doit, dans les conditions normales, contenir une certaine provision, se décompose continuellement pendant que les mouvements protoplasmiques s'exécutent, et il est probable que cette décomposition s'accompagne d'une élimination d'anhydride carbonique. » (ENGELMANN, III, 5.) La suppression de l'oxygène paralyse donc l'irritabilité et, d'une façon générale, toute activité vitale du protoplasme.

Les anesthésiques: chloroforme, morphine, hydrate de chloral, etc., exercent une influence manifeste sur l'activité vitale de la cellule. Ces substances n'agissent pas seulement, comme on le pense habituellement, sur le système nerveux, mais aussi sur tout protoplasme. Seul le degré de leur action diffère: l'irritabilité des cellules nerveuses diminue, puis cesse plus rapidement que l'irritabilité du protoplasme. Par l'emploi médicinal des narcotiques chez l'homme, on n'agit que sur le système nerveux, car une narcose plus profonde des parties élémentaires déterminerait la suspension du processus vital, c'est-à-dire la mort. Les exemples suivants démontrent que l'irritabilité du protoplasme peut être abolie momentanément, tant dans les cellules végétales que dans les cellules animales, sans que les effets nuisibles persistent.

La *Sensitive* (*Mimosa pudica*) est très sensible au contact. Si on touche légèrement une feuille de sensitive, aussitôt elle se ferme et s'infléchit vers le bas. C'est en même temps un bel exemple de la rapidité de la propagation de l'excitation chez les plantes, propagation qui s'accomplit sans intervention de nerfs, par simple transmission d'une impulsion excitante, d'un corps protoplasmique aux corps protoplasmiques voisins. Il en résulte que, selon l'énergie plus ou moins grande du choc mécanique, non seulement les feuilles situées au voisinage immédiat de la feuille touchée se plient, mais aussi toutes les feuilles d'une même branche et même éventuellement toutes les feuilles de la plante. Dans l'accomplissement de ce phénomène interviennent des dispositions mécaniques que nous ne pouvons décrire ici.

Pour étudier l'influence des anesthésiques, on dépose une *Sensitive* douée de son irritabilité complète sous une cloche de verre et, lorsque ses feuilles se sont parfaitement épanouies, on place sous la cloche une éponge imbibée de chloroforme ou d'éther (CLAUDE BERNARD, IV, 1). Après une demi-heure environ, sous l'action des vapeurs de chloroforme ou d'éther, le protoplasme a perdu son irritabilité. Si l'on enlève la cloche, on peut, sans qu'il se produise la moindre réaction, toucher, écraser ou couper les feuilles normalement étalées: l'effet est le même que celui qui se produit chez un organisme supérieur pourvu de nerfs. Et cependant, si l'expérience a été faite avec les précautions nécessaires, le protoplasme n'est nullement tué. En effet, lorsque la plante a séjourné quelque temps à l'air pur, la narcose disparaît peu à peu: on constate d'abord que certaines feuilles recommencent à s'infléchir lentement quand on les touche avec violence, et finalement toute l'irritabilité de la plante se rétablit.

Les œufs et les spermatozoïdes se laissent aussi anesthésier. R. HERTWIG et moi (IV, 12 a), nous déposons des spermatozoïdes très mobiles d'*Echinodermes* dans une solution à 0,5 0/0 d'hydrate de chloral dans l'eau de



mer ; après cinq minutes tout mouvement était complètement aboli ; mais il se rétablissait très rapidement, dès que nous ajoutions ensuite de l'eau de mer pure. Ces spermatozoïdes, momentanément paralysés par le chloral à 0,5 0/0, fécondaient, presque aussi rapidement que le sperme frais, les œufs que nous y disposions. Si l'action de la solution de chloral durait une demi-heure, l'anesthésie des spermatozoïdes était plus profonde et se maintenait longtemps après que nous avions enlevé l'anesthésique. Cependant, après quelques minutes déjà, des spermatozoïdes commençaient à exécuter des mouvements ondulatoires, qui devenaient bientôt plus actifs. Ces spermatozoïdes, projetés sur des œufs, ne les avaient pas encore fécondés dix minutes plus tard, bien qu'ils se fussent fixés nombreux à la surface des œufs et qu'ils exécutassent des mouvements de pénétration. Cependant la fécondation finit par s'opérer, et les œufs se segmentèrent normalement.

L'irritabilité des œufs est aussi influencée par des solutions de 0,2 à 0,5 0/0 d'hydrate de chloral et d'autres substances semblables. C'est ce qui se manifeste par des modifications du processus normal de la fécondation. En effet, tandis que normalement un seul spermatozoïde pénètre dans l'œuf et provoque immédiatement la formation d'une mince membrane vitelline, qui rend impossible la pénétration d'autres spermatozoïdes, les œufs chloralisés se laissent surféconder (polyspermie). En outre, on a pu établir que le nombre des spermatozoïdes qui pénètrent dans l'œuf avant que se forme la membrane vitelline augmente proportionnellement au degré d'action du chloral, c'est-à-dire proportionnellement à la durée d'action et à la concentration de la solution. Il est évident que la substance chimique fait diminuer le pouvoir de réaction du protoplasme de l'œuf, de telle sorte que l'irritation occasionnée par un seul spermatozoïde ne suffit plus comme précédemment pour exciter l'œuf à former la membrane, mais que pour arriver à ce résultat il est nécessaire que deux, trois ou plusieurs spermatozoïdes agissent comme excitants.

Un dernier exemple nous montrera enfin que des phénomènes chimiques peuvent déterminer dans la cellule une inhibition par anesthésie. Comme on le sait, les Schizomycètes qui forment la levure de bière, *Saccharomyces cerevisiae*, provoquent dans une solution sucrée une fermentation alcoolique, ce qui fait que des bulles d'anhydride carbonique se dégagent dans le liquide. Or CLAUDE BERNARD (IV, 1) ayant déposé de la levure de bière dans une solution sucrée dans laquelle il avait versé au préalable du chloroforme ou de l'éther, constata qu'il ne s'y produisait pas de fermentation. Ayant ensuite enlevé de cette solution chloroformée les Champignons de la levure, il les lava à l'eau pure, puis les déposa dans une solution sucrée pure et bientôt la fermentation se produisit. Les Champignons de la levure

avaient donc recouvré le pouvoir de transformer le sucre en alcool et en anhydride carbonique, pouvoir qu'avait momentanément aboli l'action du chloroforme et de l'éther.

On peut de la même manière arrêter au moyen du chloroforme, à la lumière solaire, l'action chlorophyllienne des plantes et l'élimination d'oxygène qui en est la conséquence (CLAUDE BERNARD).

#### b) SECOND GROUPE D'EXPÉRIENCES

##### ACTIONS CHIMIQUES QUI NE S'EXERCENT SUR LE CORPS DE LA CELLULE QU'EN UNE DIRECTION DÉTERMINÉE

Des phénomènes d'irritabilité très intéressants et très variés sont provoqués lorsque des substances chimiques, au lieu d'agir sur le corps tout entier de la cellule, comme dans les exemples que nous venons de citer, ne s'exercent sur le corps de la cellule qu'en une direction déterminée. Il en peut résulter des changements de forme et des mouvements. Tous ces phénomènes, on les réunit sous le nom de *chimiotropisme* ou de *chimiotaxie*.

Les mouvements chimiotropiques peuvent ou bien être dirigés vers la source excitante ou bien émaner de cette source. Dans le premier cas, les substances chimiques exercent sur le corps protoplasmique une action *attractive*; dans le second cas, une action *répulsive*. Cela dépend, d'une part, de la nature chimique de la substance excitante; d'autre part, de la nature du protoplasme soumis à l'expérience, et, enfin, du degré de concentration de la substance chimique. Une substance, qui à un faible degré de concentration est attractive, peut être répulsive quand elle est très concentrée. Il existe donc ici des différences semblables à celles que détermine la lumière selon qu'elle est atténuée ou vive. De même que l'héliotropisme peut être positif ou négatif, de même il y a à distinguer un *chimiotropisme positif* et un *chimiotropisme négatif*.

Nous nous occuperons d'abord de l'action des gaz et, ensuite, de l'action des solutions; nous apprendrons ainsi à connaître quelques méthodes ingénieuses, dont nous sommes surtout redevables au botaniste PFEFFER (IV, 26).

#### 1° Gaz

Les expériences de STAHL, ENGELMANN et VERWORN nous apprennent que l'oxygène est une bonne amorce chimique pour les cellules mobiles et libres.



STAHL a expérimenté avec des plasmodies d'*Aethalium septicum* (IV, 35). Après avoir à moitié rempli un cylindre de verre d'eau bouillie, qu'il couvre d'une mince couche d'huile afin d'éviter l'aération, il place sur la paroi du cylindre une bande de papier à filtrer, sur laquelle se trouve étalée une plasmodie, et cela de façon à ce que la moitié de la plasmodie plonge dans

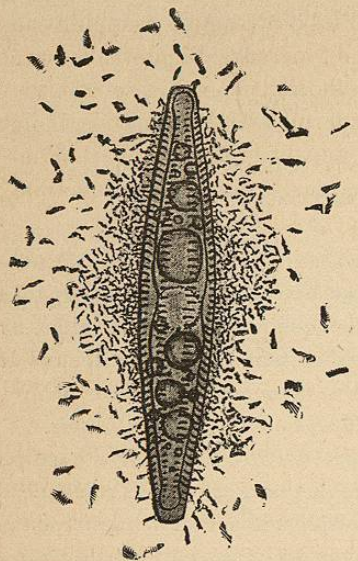


FIG. 58. — Grande diatomée (*Pinnularia*) entourée d'un amas de *Spirochæte plicatilis*. D'après VERWORN (IV, 40), fig. 14.

l'eau. Après peu de temps déjà les cordons protoplasmiques situés dans l'eau désoxygénée s'amincissent et bientôt tout le protoplasme se trouve passé au-dessus de la couche d'huile, qui n'exerce d'ailleurs pas d'action nuisible sur la plasmodie : le protoplasme a donc émigré dans la partie supérieure du cylindre, où l'oxygène de l'air peut pénétrer. On peut encore modifier cette expérience de la manière suivante. On place une plasmodie dans un cylindre complètement rempli d'eau désoxygénée par ébullition et que l'on ferme à l'aide d'un bouchon de liège perforé d'un orifice. Puis, on renverse le cylindre dans une assiette pleine d'eau fraîche. Bientôt on voit la plasmodie passer par l'orifice du bouchon pour gagner le milieu plus oxygéné.

ENGELMANN (IV, 7) a entrepris d'intéressantes recherches sur l'influence dirigeante qu'exerce l'oxygène sur les mouvements des bactéries. Il a démontré qu'une foule de formes de bactéries peuvent servir de réactif extrêmement sensible, pour démontrer la présence de très minimes quantités d'oxygène. Si dans un liquide qui contient certaines bactéries on dépose une petite Algue ou une Diatomée, elle se trouve bientôt entourée d'une épaisse couche de bactéries, attirées par l'oxygène que met en liberté l'assimilation chlorophyllienne.

VERWORN (IV, 40) a vu une Diatomée entourée de Spirochètes immobiles, qui n'existaient qu'en ce seul point de la préparation (Fig. 58). Subitement la Diatomée se mit et se dégagait de l'amas des bactéries. Les Spirochètes, privées ainsi de leur source d'oxygène, restèrent d'abord quelques instants immobiles ; puis elles commencèrent bientôt à se mouvoir activement et se précipitèrent de nouveau en bataillons serrés sur la Diatomée. En une ou deux minutes, elles se retrouvèrent de nouveau accumulées autour d'elle et redevinrent immobiles.

L'action excitante de l'oxygène explique aussi pourquoi dans nos préparations microscopiques presque toutes les bactéries, les Flagellates et les Infusoires qui se trouvent dans l'eau, s'amassent, après quelque temps, sur les bords de la préparation ou bien autour des bulles d'air qu'elle contient.

VERWORN rapporte une expérience très instructive (IV, 40). On place une grande quantité de Paramécies dans un tube à réaction rempli d'eau pauvre en oxygène et que l'on renverse sur du mercure. Bientôt, à la suite du manque d'oxygène, les mouvements des cils commencent à se ralentir. Si alors on fait pénétrer par le bas, dans le tube à réaction, une bulle d'oxygène pur, alors, en quelques secondes, on voit la bulle de gaz entourée d'une couche épaisse, blanche, de Paramécies, « qui, poussées par une vraie soif d'oxygène, se précipitent avec impétuosité sur la bulle »

## 2° Liquides

Nous exposerons les recherches systématiques de STAHL et de PFEFFER sur l'action excitante des substances liquides.

STAHL (IV, 35) s'est encore servi, pour cette étude, de la fleur de tan. L'eau peut déjà agir comme excitant sur cet organisme : c'est ce que STAHL appelle l'*hydrotropisme positif* ou *négatif*. Quand une plasmodie d'*Aethalium* se trouve uniformément étalée sur une bande de papier à filtrer humide, et que le papier commence à se dessécher, elle se retire toujours vers les points restés les plus humides. Si, pendant que la dessiccation s'effectue, on place perpendiculairement au papier, et à 2 millimètres de lui, un porte-objet enduit de gélatine, on voit alors en ce point se soulever verticalement des ramifications du réseau plasmodique, attirées par la vapeur d'eau qui se dégage de la gélatine. Ces ramifications finissent par atteindre la gélatine et s'étaler à sa surface ; en quelques heures, tout le plasmodium peut de la sorte avoir émigré sur la surface humide du porte-objet. A l'époque où les Myxomycètes se préparent à former des réceptacles fructifères, au lieu de manifester cet hydrotropisme positif, ils montrent, au contraire, un hydrotropisme négatif. Les plasmodies recherchent alors les endroits les plus secs et s'éloignent des fragments de gélatine humide ou de papier à filtrer humide que l'on dépose dans leur voisinage.

Ces phénomènes d'hydrotropisme s'expliquent aisément : le protoplasme contient une certaine quantité d'eau d'imbibition qui peut varier entre certaines limites et qui peut aussi augmenter ou diminuer pendant le développement du corps protoplasmique. Plus est abondante l'eau qui imbibe le protoplasme, plus énergiques sont généralement les mouvements de ce