

## CHAPITRE IV

## PHÉNOMÈNES D'EXCITATION

La matière vivante est *excitable* et elle manifeste ses propriétés sous l'influence des *excitations*. Envisageons d'abord d'une manière générale la façon dont le protoplasma réagit sous l'influence des excitants ; nous passerons ensuite en revue les divers excitants en particulier et les réactions qu'ils provoquent.

## ARTICLE PREMIER

## EXCITABILITÉ DE LA MATIÈRE VIVANTE

L'*excitabilité* (ou *irritabilité*) est, comme l'exprime VERWORN, cette propriété que possède la matière vivante de réagir, sous l'influence des modifications du milieu extérieur, par une modification de son équilibre matériel et dynamique, et l'*excitant* est toute modification dans les conditions extérieures de la vie d'un organisme.

Les causes d'excitation sont très nombreuses et d'ordre physique ou chimique (excitants mécaniques, thermiques, électriques, etc.) ; les modes de réaction de la matière vivante sont aussi très variables et dépendent avant tout de la constitution spécifique du protoplasma, et seulement, d'une manière très secondaire, de la nature de l'excitant. Ainsi un même excitant produit des réactions très différentes suivant le tissu auquel il s'adresse, et d'autre part pour un même tissu la réaction est

toujours la même, quelle que soit la nature de l'excitant mis en jeu. Par exemple pour un excitant quelconque, la cellule musculaire réagit par une contraction, la cellule glandulaire par une sécrétion, etc. C'est là une loi générale : la *loi de l'énergie spécifique* de la matière vivante.

Lorsqu'on applique un excitant à la surface d'un corps protoplasmique, la réaction consécutive ne reste pas localisée au point irrité, mais elle tend à se transmettre à toute la masse : il y a *conduction* de l'excitation en des points plus ou moins éloignés ; cette propagation de l'ébranlement moléculaire provoqué par l'excitation est plus particulièrement remarquable dans les nerfs (voy. *Conductibilité nerveuse*, p. 460).

Lorsqu'on augmente graduellement l'intensité d'un agent excitateur, on constate qu'il ne commence à provoquer une réaction qu'à partir d'un certain degré (*seuil de l'excitation*), puis que la réaction croît en intensité jusqu'à un maximum déterminé au delà duquel la réaction devient moins forte, pour cesser complètement par *épuisement* de la matière vivante dont l'excitabilité disparaît (*paralysie*). Cet épuisement est aussi provoqué par des excitations sous-maximales, lorsque celles-ci se prolongent pendant un certain temps ; il représente alors le phénomène de la *fatigue* ; mais sous cet état, la matière vivante a conservé le pouvoir de récupérer son excitabilité par le repos. Notons encore que, lorsque l'intensité d'un excitant est trop faible pour produire une réaction, celle-ci peut cependant apparaître à la suite de la répétition de l'excitation (*Phénomène de l'addition*, voy. *Contraction musculaire*, p. 437).

Entre la grandeur de l'excitation et la grandeur de la réaction il y a, en général, une très forte disproportion, en ce sens qu'une dépense d'une très petite quantité d'énergie de la part de l'excitant peut occasionner la production d'une énorme quantité d'énergie de la part de la matière vivante. L'exemple suivant, emprunté à VERWORN, avec la figure correspondante (fig. 10), fait bien ressortir cette disproportion. Soit un muscle gastrocnémien de grenouille (*m*) préparé avec son nerf (*n*). Au tendon du muscle est attaché un fil qui soutient un plateau chargé de 100 grammes, selon le dispositif indiqué par la figure ;

le nerf est d'autre part étalé sur un plateau, et sur lui repose le tranchant d'une petite pièce légère en aluminium. En faisant tomber sur cette dernière un poids de 10 grammes, de la hauteur de 1 centimètre, le nerf est excité par le choc, le muscle se contracte et soulève le poids de 100 grammes à la hauteur de 1 centimètre environ. Ici donc la quantité d'énergie qui

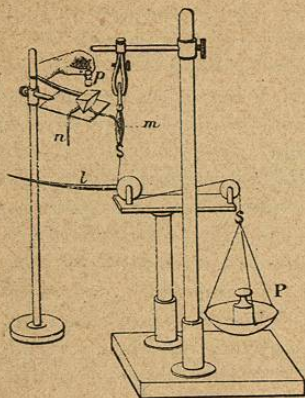


Fig. 10.

Dispositif expérimental pour montrer la disproportion existant entre l'intensité de l'excitation et la réaction consécutive (d'après VERWORX).

correspond au travail du muscle est à peu près dix fois plus grande que celle qui arrive au nerf comme excitant. La raison de cette disproportionnalité est facile à saisir par ce que nous savons déjà des lois de la transformation de l'énergie. Le muscle renferme une grande quantité d'énergie à l'état potentiel, et l'excitant agit pour mettre en liberté une partie de cette énergie sous la forme cinétique. Le même phénomène s'observe d'ailleurs aussi pour la matière brute, par exemple quand un simple choc fait détoner une grande masse d'un corps explosible.

C'est en raison de l'accumulation d'énergie dans le protoplasma et de la difficulté qu'on éprouve à distinguer les causes qui la mettent en liberté, que, dans certains cas, on serait porté à doter la matière vivante de *spontanéité*. Mais cette spontanéité est illusoire ; en réalité l'activité du protoplasma est toujours provoquée, seulement il peut y avoir une très grande disproportion entre l'intensité de l'action excitante et l'intensité de la réaction.

D'après ce qui vient d'être dit, le résultat d'une excitation apparaît comme une mise en liberté de force vive. Mais cette conception est trop étroite. En effet, à côté des réactions posi-

tives, il y a aussi des réactions *negatives* ; c'est-à-dire par exemple qu'une excitation, loin de provoquer un mouvement de désassimilation, peut au contraire en diminuer l'intensité ou l'enrayer : l'excitant agit dans ce cas comme un frein ; on parle alors d'une *action frénatrice* ou *inhibitoire*. Par exemple, l'excitation des nerfs moteurs en général produit la contraction musculaire, c'est une réaction positive ; l'excitation du nerf vague, par contre, arrête les mouvements du cœur : voilà une *action frénatrice*.

## ARTICLE II

### EXCITANTS DE LA MATIÈRE VIVANTE

D'après leur qualité, les divers excitants de la matière vivante peuvent être groupés en : excitants chimiques, mécaniques, thermiques, électriques, lumineux. Nous allons les étudier séparément et démontrer leur mode d'action par quelques exemples.

#### § 1. — EXCITANTS CHIMIQUES

Les phénomènes réactionnels développés par les excitants chimiques sont extrêmement variés, mais on peut tout d'abord les diviser en deux groupes, suivant que l'excitant chimique agit sur le corps cellulaire uniformément et dans tous les sens à la fois, ou seulement dans un sens déterminé.

1° **Action générale des excitants chimiques.** — Il est facile de mettre en évidence une irritation du protoplasma d'ordre chimique sur les organismes élémentaires, tels que amibes, myxomycètes, etc., par cette expérience de KÜHNLE. Si l'on ajoute à une goutte d'eau contenant des amibes une solution de chlorure de sodium à 1-2 p. 100, ou une solution à 0, 1 p. 100 d'acide chlorhydrique ou à 1 p. 100 de soude, et d'une manière générale des solutions acides ou alcalines très étendues, on voit les pseudopodes, après avoir présenté une

exagération passagère de leurs mouvements, se rétracter, et finalement les amibes prendre une forme sphérique, c'est-à-dire entrer en contraction tétanique; le même fait se produit sous l'influence de l'acide carbonique, et inversement l'oxygène fait réapparaître les mouvements amiboïdes. Des phénomènes de même ordre apparaissent pour les cils vibratiles dont les mouvements s'accroissent, comme l'a montré ENGELMANN, sous l'influence de divers agents chimiques (acides, alcalis, sels).

Des excitations chimiques sont aussi faciles à faire naître sur les tissus des animaux supérieurs. Ainsi, on provoque la contraction d'un muscle lorsqu'on expose son tissu aux vapeurs de carbonate d'ammoniaque, ou lorsqu'on fait baigner son nerf dans la glycérine ou une solution de chlorure de sodium, etc.

La production de mouvement n'est pas la seule forme d'énergie qui puisse être provoquée par les agents chimiques. Ainsi, par exemple, pour la phosphorescence des *noctiluques*, petits infusoires flagellés qui dans les contrées septentrionales produisent la phosphorescence de la mer, MASSART a montré qu'elle peut être excitée par différentes substances déposées avec précaution à la surface de l'eau, comme solutions concentrées de sel, de sucre, etc.

Dans tous ces exemples, il s'agit de réactions positives, c'est-à-dire d'un renforcement du processus de désintégration de la matière vivante. Mais, comme nous l'avons dit, l'excitant peut provoquer des phénomènes de sens inverse. Or il existe toute une catégorie de substances chimiques qui agissent sur les processus de désassimilation pour les ralentir. Ce sont les *anesthésiques* et les *narcotiques* en général: chloroforme, éther, alcool, hydrate de chloral, morphine, etc. L'action paralysante des anesthésiques sur les échanges et les mouvements du protoplasma a été plus particulièrement mise en évidence par CL. BERNARD. Ce physiologiste a en effet montré que la narcose par le chloroforme ou l'éther est un fait général pour toute la matière vivante; ainsi, le processus de la fermentation par la levure de bière est enrayé par le chloroforme, de même la germination des graines; les mouvements si actifs des feuilles de la sensitive

ne peuvent plus être provoqués par les contacts les plus irritants, lorsque la plante a été exposée pendant quelque temps sous une cloche aux vapeurs d'éther ou de chloroforme: les plantes comme les animaux peuvent donc être anesthésiées. Les œufs et les spermatozoïdes se laissent aussi anesthésier, comme l'ont observé R. et O. HERTWIG. La matière vivante récupère d'ailleurs rapidement son irritabilité après élimination de l'anesthésique absorbé, lorsque du moins celui-ci n'a point exercé une action trop prolongée. Chez les animaux supérieurs, les anesthésiques agissent d'une manière élective sur les éléments nerveux centraux, dont ils inhibent l'excitabilité; par là se trouve temporairement supprimée la sensibilité consciente, la douleur, alors que l'irritabilité persiste dans d'autres éléments cellulaires, comme les nerfs, les muscles, qui ne sont atteints que pour des doses plus fortes.

#### 2° Action directrice de mouvements, chimiotaxie. —

Lorsque l'excitant, au lieu d'agir uniformément sur tout le corps cellulaire, comme dans les exemples précédents, exerce une action prédominante dans un sens, il peut en résulter des changements de forme et des mouvements dans une direction déterminée. Ces phénomènes spéciaux d'irritabilité sont désignés sous le nom de *chimiotropisme* ou *chimiotaxie*. La substance chimique peut d'ailleurs exercer soit une action attractive, soit une action répulsive sur la cellule: dans le premier cas on dit que le chimiotropisme est *positif*, dans le second *négatif*.

La matière vivante possède d'une manière générale un chimiotropisme positif vis-à-vis de l'oxygène. Voici une expérience de STAHL facile à réaliser: dans un verre rempli d'eau bouillie que recouvre une mince couche d'huile pour éviter son aération, on plonge une bande de papier buvard sur laquelle se trouve étalée une plasmodie d'*Aethalium septicum* (fleur de lan); au bout de quelque temps, les réseaux de la plasmodie situés dans l'eau désoxygénée s'amincissent, et bientôt toute la masse protoplasmique émigre au-dessus de la couche d'huile. Beaucoup de bactéries se montrent aussi très avides d'oxy-

gène, de telle sorte qu'elles peuvent servir de réactif très sensible pour démontrer la présence d'une trace de ce gaz, comme l'a indiqué ENGELMANN; ainsi, on les voit s'entasser autour des algues microscopiques vertes, attirées qu'elles sont par l'oxygène dégagé par la fonction chlorophyllienne (voy. fig. 11). Des amibes, des leucocytes du sang s'amassent dans une préparation microscopique autour des bulles d'air qui s'y trouvent renfermées.

Diverses substances chimiques déterminent des attractions ou répulsions dont l'étude est d'un immense intérêt non seulement pour la biologie générale, mais encore pour la physiologie pathologique. L'eau exerce déjà à elle seule une action

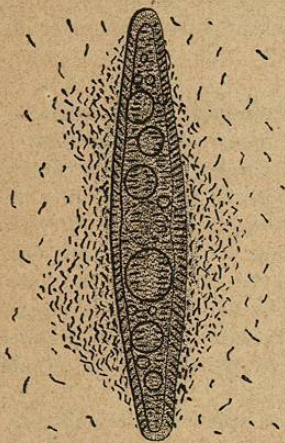


Fig. 11.

Diatomée dégageant de l'oxygène à la lumière solaire, et entourée d'un amas de spirilles (d'après VERWORN).

chimiotactique manifeste pour certains organismes. La plasmodie d'*Aethalium* recherche l'humidité (*hydrotropisme positif*); toutefois, lorsqu'elle se prépare à la reproduction, elle la fuit au contraire et recherche alors les endroits les plus secs (*hydrotropisme négatif*). Si l'on place à son contact une boule de papier buvard imbibée d'une infusion de tan, elle rampe vers cette source nutritive et en remplit bientôt tous les interstices; par contre, elle fuit les solutions salines concentrées, la glycérine, le sucre.

L'étude de la chimiotaxie a été poussée très loin par le botaniste PFEFFER. Pour rechercher l'influence de diverses solutions sur les mouvements de petites cellules

mobiles, telles qu'anthérozoïdes, bactéries, infusoires, il se servit de fins tubes de verre capillaires, fermés à une de leurs extrémités; après les avoir remplis de l'excitant chimique à expé-

rimer, il les déposait dans une goutte d'eau contenant les organismes en question. De la sorte, la substance chimique diffusait lentement dans l'eau, et on voyait alors les cellules mobiles s'entasser dans le tube ou s'en écarter, suivant que l'excitant exerçait une action chimiotactique positive ou négative. PFEFFER découvrit ainsi que l'acide malique possède une action attractive très énergique sur les anthérozoïdes des Fougères. Dans un tube capillaire rempli d'une solution d'acide malique à 0,01 p. 100, ces anthérozoïdes ne tardent pas à s'accumuler en nombre considérable. Le degré de concentration de la solution est d'ailleurs un facteur de la plus haute importance. A partir d'un minimum qui est de 0,001 p. 100 (seuil de l'excitation), l'action attractive augmente avec la concentration de la solution, mais seulement jusqu'à un certain degré *optimum*; au delà de ce point l'attraction diminue, et il arrive même que le sens du phénomène se renverse; la solution exerce alors une action répulsive: le chimiotropisme de positif devient négatif. Dans ces phénomènes de chimiotaxie, le mécanisme de l'attraction et de la répulsion réside uniquement dans ce fait que la cellule est excitée plus intensivement d'un côté que de l'autre, et cela découle du phénomène même de la diffusion: en effet, dans le tube capillaire et dans le liquide qui l'entoure, les tranches de liquide présentent des degrés de concentration différents, et il en résulte une répartition inégale de l'excitant chimique autour du corps de la cellule; si cette dernière se transporte dans un sens ou dans l'autre, c'est donc en raison de son exquise sensibilité qui lui permet d'être influencée inégalement à ses deux pôles par des solutions inégalement concentrées. On peut juger du degré de cette sensibilité, si on réfléchit que dans un tube capillaire renfermant une solution à 0,001 p. 100, il n'existe que la 35 millionième partie d'un milligramme d'acide malique!

D'autres substances chimiques se comportent d'une manière semblable vis-à-vis d'autres micro-organismes; à ce point de vue, chaque cellule a ses préférences; les anthérozoïdes des mousses ne sont pas influencées par l'acide malique, mais bien par le sucre de canne; certaines bactéries, comme *bacte-*

*rium termo*, sont attirées puissamment par une solution à 1 p. 100 d'extrait de viande ou d'asparagine, etc. Pour chaque organisme, il y a donc un appât de choix qu'il s'agit de déterminer, et, lorsqu'un tube capillaire est convenablement amorcé, il représente un véritable *piège* à bactéries ou infusoires.

Les leucocytes du sang, les cellules migratrices des animaux supérieurs présentent aussi cette sensibilité chimiotactique, ainsi que l'ont démontré les recherches d'un certain nombre d'auteurs, principalement celles de MASSART et BORDET. Si l'on introduit sous la peau d'un animal un tube capillaire rempli d'une substance capable de déterminer l'inflammation des tissus, on constate au bout d'un certain temps, que le tube s'est rempli de leucocytes ayant émigré par *diapédèse* (voy. p. 224) des vaisseaux capillaires voisins, tandis que des tubes semblables remplis d'eau distillée restent sans action, dans les mêmes conditions. On doit entrevoir maintenant l'importance de ce fait dans la phagocytose et la défense de l'organisme contre les microbes. Ceux-ci en effet sécrètent des poisons ou *toxines*, qui peuvent exercer sur les leucocytes une action attractive ou répulsive. Il suffira de mentionner ici, pour faire saisir toute la portée de ces phénomènes, qu'on a déterminé par la méthode de PFEFFER que la plupart des cultures bactériennes attirent les leucocytes avec une certaine force, mais que par contre, ces cellules sont repoussées par les produits du bacille du choléra des poules, l'acide lactique, la quinine, etc.

## § 2. — EXCITANTS MÉCANIQUES

Une compression, un choc, les secousses répétées agissent comme excitants du protoplasma. Des amibes, des leucocytes, sous l'action d'un ébranlement assez fort, retirent leurs pseudopodes et se roulent en boules. Si, à l'aide d'une fine aiguille, on irrite un *Rhizopode* en un point limité, on voit en ce point les pseudopodes se raccourcir et former des varicosités. Les feuilles de la sensitive se ferment au moindre choc. Les tissus des animaux supérieurs sont aussi excitables par les agents

mécaniques; il suffit de percuter un muscle pour en amener la contraction, de saisir un nerf entre les mors d'une pince pour en exciter les fibres.

L'action des excitants mécaniques sur la production de lumière est bien connue de quiconque a observé la phosphorescence de la mer par une calme nuit d'été : une pierre jetée dans l'eau, un coup de rame déterminent un magnifique jaillissement d'étincelles.

Les excitants mécaniques sont aussi capables de déterminer des directions de mouvements. Le *géotropisme*, c'est-à-dire la propriété qu'ont certains organismes de diriger leur grand axe suivant le rayon terrestre, montre l'influence que peuvent exercer sur le protoplasma de minimes différences de pression. Chez les végétaux, les racines possèdent un *géotropisme positif*; le tronc et les branches un *géotropisme négatif*.

Chez les plantes grimpantes les tiges et vrilles s'enroulent autour des objets avec lesquels elles arrivent en contact (*Thigmotaxie*). Ces phénomènes d'adhérence aux supports sont aussi évidents pour les pseudopodes et les cils vibratiles des infusoires.

Un autre phénomène du même genre est la *rhéotaxie*, c'est-à-dire la propriété qu'ont certains organismes de se mouvoir en sens inverse du courant de l'eau; ainsi les plasmodies d'*Aethalium* remontent le long d'une bande de papier buvard, dont une extrémité plonge dans un verre d'eau de manière à constituer une sorte de siphon. On peut admettre que les spermatozoïdes de l'homme sont rhéotactiques, car ils remontent un courant de liquide muqueux qui est dirigé vers l'extérieur par les battements des cils vibratiles de la muqueuse utérine.

## § 3. — EXCITANTS THERMIQUES

Entre les points maximum et minimum de température amenant les phénomènes de rigidité par le chaud et par le froid mentionnés précédemment (voy. p. 26), les variations de la chaleur agissent comme excitants de la matière vivante.

Des amibes, des corpuscules blancs du sang examinés au mi-

roscope sur une platine chauffante montrent des mouvements de plus en plus actifs au fur et à mesure que la température s'élève, et cela jusqu'à un degré déterminé, qui est l'*optimum*. Le mouvement de circulation des granulations protoplasmiques dans les cellules végétales de *Chara*, de *Tradescantia* augmente de vitesse avec l'élévation de température jusque vers 35-37° C.

Les actions directrices de mouvement (*thermotaxie*) sont également faciles à réaliser en déterminant une élévation inégale de température d'un corps protoplasmique. Ainsi, en refroidissant une partie seulement d'une plasmodie d'*Aethalium*, on voit le protoplasme se rétracter en ce point et émigrer vers les parties plus chaudes. Dans leur vie libre, ces plasmodies présentent d'ailleurs le même phénomène; en hiver, elles s'enfoncent profondément dans les couches plus chaudes du tan, alors qu'au printemps elles se dirigent vers les couches superficielles. Lorsqu'on chauffe inégalement les deux extrémités d'une préparation contenant un grand nombre de *Paramecies* (petits infusoires ciliés), on constate que, pour une température supérieure à 24-28° C., ces organismes élémentaires se dirigent et s'amassent vers le côté le plus froid, c'est-à-dire qu'ils manifestent une *thermotaxie négative*; mais au-dessous de ce degré, ils vont, au contraire, vers le côté le plus chaud: leur *thermotaxie* devient positive.

#### § 4. — EXCITANTS ÉLECTRIQUES

Le protoplasma est excité par l'électricité statique, la décharge des condensateurs, ou lorsqu'il est traversé par un courant galvanique induit ou constant. Soumis à l'action de choes d'induction d'une certaine intensité, les amibes rentrent rapidement leurs pseudopodes et se ramassent en boules. Les courants galvaniques intenses déterminent la rupture et la destruction du corps cellulaire. VERWORN, en soumettant l'*Actinosphaerium* à un courant induit prolongé, vit les pseudopodes dirigés vers les deux pôles positif et négatif devenir d'abord variqueux et rentrer peu à peu; puis, en ces deux points, le protoplasma de la surface du corps se détruit en subissant une

sorte de fonte. Avec un courant constant, l'excitation et la destruction se produisaient au pôle positif, c'est-à-dire au point d'entrée du courant. Le protoplasma des cellules végétales montre aussi des excitations de même ordre. D'après KÜHNE, lorsqu'on irrite, par de faibles choes d'induction, les cellules des poils staminaux de *Tradescantia*, la circulation des granulations s'arrête, et celles-ci se réunissent en petits amas le long des filaments protoplasmiques (voy. fig. 12).

Pour les tissus des animaux supérieurs, nous verrons que l'excitant électrique est celui qui est le plus fréquemment employé en expérimentation. Appliqué sur un nerf moteur ou sur le muscle lui-même, il détermine la contraction musculaire, sur un nerf glandulaire la sécrétion de la glande, sur un nerf se rendant à l'appareil électrique de la torpille la décharge de cet organe. L'activité des cils vibratiles est aussi considérablement renforcée par le courant galvanique. Enfin, nous savons encore que l'excitation électrique peut provoquer le développement de lumière chez les animaux marins phosphorescents.

Des phénomènes d'excitation unilatérale, déterminant des directions de mouvements, peuvent être provoqués chez différents organismes par l'excitant électrique. HERMANN découvrit que les larves de grenouille (têtards) et les embryons de poissons placés dans un vase que l'on fait traverser par un courant galvanique, disposent l'axe longitudinal de leur corps suivant le sens du courant, et de telle sorte que leur tête est dirigée vers le pôle positif. Des phénomènes analogues ont été observés par VERWORN sur des organismes unicellulaires, et décrits par lui sous

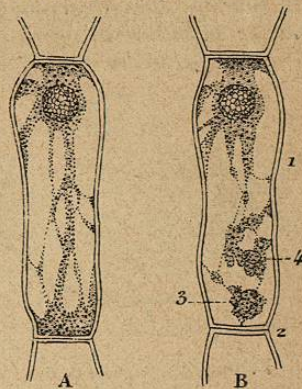


Fig. 12.

Cellule d'un poil staminal de *Tradescantia* (d'après KÜHNE).

A, courant protoplasmique normal. — B, après excitation. — 1, membrane cellulaire. — 2, cloison intercellulaire. — 3, 4, protoplasma ramassé en petits amas sphériques.

le nom de *galvanotaxie*. Lorsqu'on fait passer un courant galvanique à travers une goutte d'eau contenant un grand nombre de *Paramécies*, on voit, au moment de la fermeture du courant, tous ces infusoires quitter le pôle positif et se diriger en bataillons serrés suivant les lignes du courant vers le pôle négatif (fig. 13, A) où finalement ils se trouvent tous

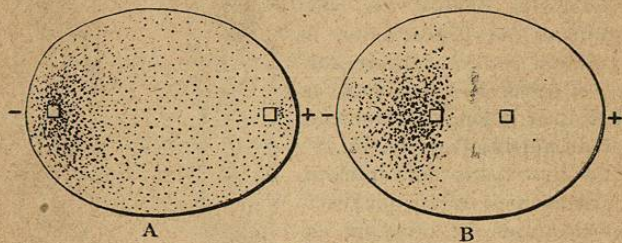


Fig. 13.

Mouvement des *paramécies* sous l'action d'un courant constant. Galvanotaxie (d'après VERWORN).

accumulés, donnant là une image analogue à celle des limailles de fer attirées par un aimant; le plus grand nombre d'entre eux s'entassent un peu au delà du pôle négatif (fig. 13, B). Lorsqu'on ouvre le courant, un mouvement inverse se produit, et ce n'est qu'au bout de quelque temps que les paramécies se répartissent uniformément dans toute la goutte d'eau. Si l'électrode négative est mobile de manière qu'on puisse la mouvoir à volonté dans la goutte, on arrive à diriger les infusoires et à les amener partout où on le désire « absolument comme on attire avec l'aimant des poissons de fer-blanc nageant dans l'eau ». Beaucoup d'autres infusoires présentent le même phénomène. Les amibes allongent leur pseudopodes et rampent vers le pôle négatif. C'est donc là un galvanotropisme qu'on peut appeler négatif. Mais, d'autre part, certains organismes, des bactéries, des flagellates possèdent un galvanotropisme positif, c'est-à-dire que, sous l'influence du courant, ils se dirigent vers le pôle positif et s'y entassent. Lorsque deux sortes d'infusoires présentant un galvanotropisme différent sont mélangés, on

les voit, au moment de la fermeture du courant, se séparer et gagner chacun leur pôle respectif; si alors on renverse le courant, ils se jettent les uns sur les autres, comme deux armées ennemies, et en quelques secondes se trouvent de nouveau accumulés aux pôles opposés.

### § 5. — EXCITANTS LUMINEUX

La lumière est un excitant des plus importants du protoplasma animal et végétal. Nous avons vu plus haut quelle influence elle exerce sur la fonction chlorophyllienne des végétaux. On sait d'ailleurs qu'une plante qui se développe à l'obscurité reste décolorée et qu'il suffit de l'exposer à la lumière pour voir apparaître dans ses feuilles la coloration verte de la chlorophylle. Des organismes inférieurs, algues, bactéries sont très sensibles à la lumière. Une bactérie étudiée par ENGELMANN sous le nom de *Bacterium photometricum* est particulièrement intéressante à cet égard; elle se meut activement à l'aide d'un fouet vibratile lorsqu'elle est exposée à la lumière; mais dans l'obscurité, tout mouvement cesse. Chez les animaux supérieurs, les cellules spéciales de l'organe visuel sont presque les seules qui soient influencées par la lumière; toutefois chez les animaux privés d'yeux, toute la surface du corps peut être impressionnée par les rayons lumineux, comme chez le *Proteus anguineus* qui vit dans les eaux de la grotte d'Adelsberg. Les cellules pigmentaires des animaux vertébrés présentent aussi des mouvements très curieux sous l'influence de la lumière. Les *chromatophores* de la peau de certains reptiles ou poissons allongent dans l'obscurité leurs expansions protoplasmiques et donnent alors à la peau une teinte sombre; à la lumière ces expansions se rétractent, et la peau prend une teinte plus claire. Le phénomène est très net chez la grenouille et poussé à un haut degré chez le caméléon. Les cellules pigmentaires de la rétine présentent aussi des mouvements protoplasmiques du même genre sous l'action de la lumière.

Les exemples d'actions directrices de mouvements déterminées par les rayons lumineux sont aussi fort nombreux (*phototaxie*).

Les corps chlorophylliens des végétaux sont soumis à cette action. Dans les cellules cylindriques du *Mesocarpus* s'étend longitudinalement un ruban de chlorophylle ; or, ce ruban est susceptible de changer de position suivant l'incidence des rayons lumineux ; pour un éclairage faible, il s'oriente de façon à offrir sa surface large aux rayons ; pour un éclairage intense par contre, il tourne et se présente à la lumière par sa tranche mince. Les mouvements des fleurs et de leurs pétales sous l'influence de la lumière solaire chez certaines plantes (*héliotropisme positif ou négatif*) sont trop connus pour qu'il soit besoin d'y insister. Des infusoires, des zoopores, des algues microscopiques recherchent ou fuient la lumière, suivant qu'elle est plus ou moins intense. Si l'on éclaire seulement une partie d'une goutte d'eau renfermant des *Euglènes*, ces petites algues se ramassent toutes dans la région éclairée. Des différents rayons du spectre, ce sont les plus réfrangibles, les rayons bleu, indigo et violet, qui agissent comme excitants.

Arrivés au terme de cette étude, nous voyons que le fait dominant qui s'en dégage, c'est que la matière vivante réagit sous l'influence des excitations d'une façon qui lui est propre, quelle que soit la nature de l'excitant (chimique, mécanique, électrique, etc.). Le physiologiste J. MÜLLER a formulé pour les organes des sens une grande loi : la loi de leur *énergie spécifique*. Ceci signifie que tout nerf sensoriel, lorsqu'il est irrité d'une manière quelconque, détermine une sensation toujours la même pour le nerf intéressé et, par conséquent, spécifique : ainsi les terminaisons du nerf optique, qu'elles soient irritées par la lumière, un choc, une compression, un courant électrique, déterminent une sensation de lumière et jamais une autre ; de même l'irritation du nerf auditif, qu'elle se produise par les vibrations de l'air, ou par tout autre agent, occasionne une sensation auditive, etc. La nature de la sensation dépend donc de la connexion du nerf avec les centres nerveux. Or, cette loi a une portée générale sur toute la matière vivante. Tout corps protoplasmique possède en effet une énergie spécifique dans le sens de J. MÜLLER ; les excitations les plus variées produisent sur une même forme de substance vivante toujours les mêmes

phénomènes, et inversement un même excitant produit des réactions différentes et caractéristiques sur chaque forme spéciale du protoplasma.

Si maintenant nous jetons un coup d'œil d'ensemble sur ce qui vient d'être exposé dans cette première partie, nous pouvons dire :

La *matière vivante* est une partie de la matière qui forme la surface du globe. Elle est fragmentée en petits corps que l'on nomme *cellules* : celles-ci sont libres, comme chez les *êtres unicellulaires*, ou se réunissent en amas plus ou moins considérables pour former les *États cellulaires*. Toute cellule est un petit grumeau d'une substance *fluide* constituée essentiellement par une matière fondamentale, le *protoplasma*, logeant un corps un peu plus consistant le *noyau*. Les *éléments chimiques* qui entrent dans la constitution de la matière vivante, sont les mêmes que ceux qui forment la matière brute : il n'y a pas d'élément vital particulier. Mais, parmi tous les éléments ou corps simples actuellement connus, un petit nombre seulement sert à former la substance vivante, et il est à remarquer que ce sont les éléments à poids atomique faible ; les plus importants d'entre eux sont le carbone, l'oxygène, l'hydrogène, l'azote et le soufre. C'est par les *combinaisons* dans lesquelles entrent ces éléments, que la matière vivante se distingue chimiquement des corps bruts, et ce sont les matières dites *albuminoïdes* qui représentent les substances fondamentales du protoplasma : les autres composés, *hydrates de carbone et graisses*, quoique très répandus dans les cellules et d'une grande importance pour la vie, ne sont point essentiels, et on peut les considérer, avec PFLÜGER, comme les *satellites* des corps albuminoïdes. La matière vivante est dans un état continuel de composition et de décomposition, et elle présente avec la matière brute un incessant mouvement *d'échanges*. C'est cet échange qui caractérise la *vie*. Entre les corps bruts et la substance vivante il se produit une *circulation* continue de la matière, de telle sorte que les



substances inorganiques, après avoir servi à former la matière organique et le protoplasma, retournent à l'état de substances inorganiques. De même que la matière vivante est le siège d'un *échange de matières* avec le monde inorganique, de même elle présente aussi avec ce dernier un continuel *échange d'énergie*, et de même qu'il n'y a pas d'*élément vital* spécial, il n'existe pas non plus de *force vitale* particulière. L'énergie empruntée au monde extérieur fournit l'énergie chimique du protoplasma, et c'est l'énergie chimique accumulée dans la matière vivante qui est la source de toutes les autres formes d'énergie que manifestent les différents organismes. Par conséquent, tous les *phénomènes vitaux*, dans leur ensemble, ne sont que l'expression de cet échange incessant de matière et d'énergie que les êtres vivants présentent avec le monde extérieur.

## DEUXIÈME PARTIE

### FONCTIONS DE NUTRITION

La nutrition comprend les différentes fonctions par lesquelles l'organisme transforme et utilise les aliments et se débarrasse des produits de déchet. Nous étudierons successivement : la *digestion*, l'*absorption*, la *circulation*, la *respiration*, la *nutrition* proprement dite comprenant l'*assimilation* et la *désassimilation*, les *sécrétions*, la *chaleur animale*.

#### CHAPITRE PREMIER

##### DIGESTION

La fonction de digestion a pour but de dissoudre les aliments et de les transformer en substances absorbables et assimilables. L'albumine d'œuf, le sucre de canne sont des aliments, mais tels quels ils sont incapables de nourrir l'organisme. En effet, injectons-les directement dans le torrent circulatoire par une veine; au bout d'un instant, nous les retrouverons dans l'urine. L'organisme les a donc éliminés comme des substances étrangères qui ne peuvent lui servir. Pour qu'un *aliment* devienne *nutriment*, c'est-à-dire acquière les qualités d'une substance nutritive pour les cellules des tissus, il faut donc qu'il subisse certaines modifications physico-chimiques. Les premières de ces modifications se passent dans la cavité du tube digestif, sous l'action des sucs qui y sont déversés.