

II. — Excitants lumineux

De même que la chaleur, la lumière agit souvent comme excitant sur le protoplasme animal et végétal. Elle provoque des changements de forme dans diverses cellules et fait exécuter aux organismes monocellulaires libres des déplacements déterminés. Ce sont surtout les études des botanistes qui ont fourni à ce sujet les résultats les plus intéressants.

Les plasmodies d'*Aethalium septicum* ne s'étalent à la surface du tan que dans l'obscurité, tandis qu'à la lumière elles s'y engagent profondément. Si, sur une plasmodie étalée en un réseau à la surface d'un morceau de verre, on fait tomber en un point déterminé un rayon lumineux, le protoplasme se retire aussitôt du point éclairé et s'accumule dans la partie du réseau qui se trouve dans l'obscurité (BARENEZKI, STAHL, IV, 35).

Pelomyxa palustris, organisme amœboïde, exécuté dans l'ombre des mouvements pseudopodiques énergiques. Quand on projette sur lui un rayon lumineux d'intensité moyenne, il retire subitement tous ses pseudopodes et se transforme en un corps sphérique. Ce n'est qu'après un certain temps de repos que le mouvement amœboïde recommence peu à peu, à la condition que l'organisme soit replacé dans l'obscurité. « Par contre, si l'on remplace progressivement (dans l'espace d'environ un quart d'heure) l'obscurité par la lumière du jour, la réaction ne se produit pas, même lorsqu'après un éclairage prolongé on produit brusquement l'obscurité. » (ENGELMANN, 6 b.)

La lumière irrite très énergiquement les cellules pigmentées, étoilées, d'une foule d'Invertébrés et de Vertébrés, et connues sous le nom de *chromatophores* (IV, 3, 29, 30, 33). Les excitations de ces cellules déterminent les changements de coloration que manifestent une foule de Poissons, d'Amphibiens, de Reptiles et de Céphalopodes. C'est ainsi, par exemple, qu'à la lumière la peau de la Grenouille prend une coloration plus claire. Cela est dû à ce que les cellules pigmentées de noir, qui se trouvaient étalées dans le derme cutané et pourvues de nombreux prolongements ramifiés, se contractent en de petites sphères noires sous l'action de la lumière. Ces cellules deviennent ainsi moins apparentes; en même temps, d'autres cellules pigmentées en vert et en jaune et logées aussi dans la peau apparaissent plus nettement, parce qu'elles ne se contractent pas sous l'action de la lumière. De là, la décoloration de la peau de l'animal.

Sous l'influence de la lumière, les *cellules pigmentées de la rétine* subissent aussi des changements de forme importants, et cela, aussi bien chez

les Vertébrés (BOLL) que chez les Invertébrés, par exemple les Céphalopodes (RAWITZ, IV, 31).

On sait qu'une foule d'organismes monocellulaires, qui se meuvent à l'aide de cils ou de fouets vibratiles, recherchent ou fuient la lumière. Des Flagellates, des Infusoires, des zoospores d'Algues, etc., recherchent ou fuient la partie du cristallin dirigée vers la fenêtre et recevant par conséquent de la lumière diffuse.

C'est ce dont on peut se convaincre par la simple expérience suivante, indiquée par NAEGELI (III, 16). Un tube de verre, long de trois pieds, est rempli d'eau, dans laquelle grouillent des Algues vertes mobiles (*Tetraspora*). On le place verticalement. Si alors on enveloppe le tube de papier noir, à l'exception de son extrémité inférieure sur laquelle on laisse tomber la lumière, on constate, après quelques heures, que toutes les Algues vertes se sont accumulées dans la partie éclairée, tandis que tout le reste du tube est devenu incolore. Si maintenant on enveloppe de papier noir cette extrémité du tube en laissant tomber la lumière sur sa partie supérieure, aussitôt toutes les Algues se déplacent et s'accumulent à la surface de l'eau.

Euglena viridis (Fig. 44 A, IV, 8) est particulièrement sensible à la lumière. Si l'on éclaire une petite partie seulement d'une goutte d'eau contenant des Euglènes et déposée sur un porte-objet, aussitôt tous les organismes s'accumulent dans la région éclairée qui, pour employer l'expression d'ENGELMANN, agit comme un piège. Ces organismes sont encore surtout intéressants en ce qu'ils ne perçoivent la lumière qu'en un point très restreint de leur corps. Toute Euglène se constitue d'une partie postérieure, plus volumineuse et contenant de la chlorophylle, et d'une partie antérieure, incolore, portant le fouet vibratile et pourvue d'une tache pigmentée rouge. Or, si l'on ne fait agir la lumière ou l'obscurité que sur cette extrémité antérieure de l'organisme, ce dernier réagit en modifiant la direction de son mouvement (ENGELMANN). L'Euglène possède donc un organe agissant à la façon d'un œil.

STAHL (IV, 34) et STRASBÜRGER (IV, 37) se sont tout spécialement occupés de l'action de la lumière sur les zoospores.

STAHL résume ses résultats de la manière suivante : « La lumière exerce une action dirigeante sur les zoospores : l'axe longitudinal de ces organismes se place à peu près dans la direction du rayon lumineux. Leur extrémité incolore, flagellée, peut être tournée vers la source lumineuse ou en sens inverse. Ces deux positions peuvent varier selon le degré d'intensité de la lumière, les autres circonstances extérieures restant les mêmes. L'intensité de la lumière exerce la plus grande influence sur la position relative de ces organismes. Lorsque la lumière est intense, les

zoospores détournent leur extrémité buccale de la source lumineuse ; elles s'en éloignent ; lorsque la lumière est faible, elles se tournent, au contraire, vers elle. »

L'irritabilité vis-à-vis de la lumière est très variable, non seulement selon les espèces, mais aussi selon les divers individus d'une même espèce ; elle varie enfin, chez le même individu, lorsque les circonstances extérieures varient. STRASBÜRGER désigne ce pouvoir variable de réaction des zoospores sous la dénomination de *degré de sensibilité pour la lumière* (*Lichtstimmung*).

Deux objets qui conviennent bien pour étudier le degré de sensibilité pour la lumière, ce sont les zoospores de « *Botrydium* » et celles d'« *Ulothrix* », qui se comportent d'une façon un peu différente.

Lorsque des zoospores de *Botrydium* sont placées dans une goutte d'eau sur un porte-objet, à l'abri de la lumière, elles se répartissent uniformément dans l'eau. Si on les éclaire ensuite, elles tournent leur extrémité antérieure vers la source lumineuse et se précipitent vers elle en décrivant un trajet rectiligne et parallèle au rayon lumineux. Après une et demie à deux minutes, presque toutes les zoospores se trouvent amassées au point éclairé de la goutte d'eau, point que STRASBÜRGER désigne sous le nom de bord positif de la goutte, par opposition à l'autre bord qu'il appelle négatif. Si l'on fait tourner la préparation de 180 degrés, toutes les spores mobiles abandonnent momentanément le bord de la goutte qu'elles occupaient, et qui maintenant est opposé à la source lumineuse, et elles se précipitent de nouveau vers le rayon lumineux. Si l'on fait l'observation à l'aide d'un microscope muni d'une table tournante, on peut, en faisant tourner cette dernière, modifier constamment la direction du mouvement des zoospores. Elles se placent toujours dans la direction de la fenêtre vers la chambre.

Les zoospores d'*Ulothrix* réagissent un peu autrement. « Elles se précipitent aussi rapidement et en ligne droite vers le bord positif de la goutte ; cependant, ce n'est que rarement qu'elles le font toutes ; dans la plupart des préparations un plus ou moins grand nombre de zoospores se meuvent aussi rapidement, en sens inverse, c'est-à-dire vers le bord négatif. On assiste alors à un spectacle curieux, lorsque les spores se précipitent ainsi en sens inverse et, par conséquent, avec une vitesse en apparence doublée. Si l'on fait tourner la préparation de 180 degrés, on voit aussitôt les spores accumulées au bord précédemment positif se précipiter vers le bord opposé, et en même temps les autres se mouvoir en sens inverse. Elles s'entre-croisent ainsi avec rapidité. On observe aussi constamment, tant au bord positif qu'au bord négatif, un certain nombre de spores qui, subitement, quittent le bord où elles se sont portées, pour se diriger vers

l'autre. Il s'effectue constamment un échange semblable entre les deux bords de la goutte. Il n'est pas rare, non plus, de voir des spores qui, à peine arrivées, retournent là d'où elles viennent. D'autres s'arrêtent au milieu de leur course et retournent à leur point de départ pour recommencer ensuite le même mouvement pendulaire pendant un certain laps de temps. »

L'expérience suivante, relatée par STRASBÜRGER, montre combien est délicate et rapide la réaction des zoospores vis-à-vis de la lumière. « Pendant que les zoospores se meuvent d'un bord de la goutte d'eau vers l'autre bord, on interpose une feuille de papier entre le microscope et la source lumineuse : alors aussitôt les zoospores font une conversion ; un grand nombre d'entre elles même se mettent à tourner en cercle, mais cela ne dure qu'un instant, et elles reprennent le chemin qu'elles avaient abandonné (mouvement d'effroi). » STRASBÜRGER (IV, 37) appelle *photophiles les spores qui se précipitent vers la source lumineuse, et photophobes, celles qui s'en éloignent*.

Comme nous l'avons dit déjà, l'accumulation des spores au bord positif ou au bord négatif de la goutte d'eau, c'est-à-dire *leur degré de sensibilité pour la lumière*, dépend des *circonstances extérieures*, de l'intensité de la lumière, de la température, de l'aération de l'eau et du stade du développement de ces organismes.

Si l'on expérimente avec des zoospores qui, par un éclairage intense, se sont accumulées au bord négatif, on peut les attirer au bord opposé. Il faut pour cela atténuer progressivement la lumière jusqu'à un degré correspondant à leur sensibilité, en interposant entre la préparation et la source lumineuse un, deux, trois ou plusieurs écrans de verre dépoli. On peut encore obtenir plus simplement le même résultat en éloignant lentement le microscope de la fenêtre et en affaiblissant ainsi la lumière incidente.

Pour beaucoup de zoospores, la *température* ambiante exerce une influence importante sur leur degré de sensibilité pour la lumière. Habituellement, une élévation de température, qui augmente leur motilité, augmente aussi leur sensibilité pour la lumière, l'abaissement de la température produisant l'effet contraire. Dans le premier cas, elles deviennent donc plus photophiles ; dans le second cas, plus photophobes.

« Le degré de sensibilité pour la lumière varie, en outre, dans le cours du développement de ces organismes : dans le jeune âge, il est plus intense. »

Ainsi que l'ont établi les expériences de COHN, de STRASBÜRGER et autres, tous les rayons du spectre n'exercent pas une influence sur la direction du mouvement des spores ; *il n'y a guère que les rayons les plus*

réfrangibles, les rayons bleus, indigos et violets, qui agissent comme excitants.

Si l'on interpose entre la source lumineuse et la préparation un vase rempli d'une solution ammoniacale d'oxyde cuprique, qui ne laisse passer que les rayons bleus et violets, les zoospores réagissent comme si elles avaient été soumises à la lumière blanche du jour ; par contre, elles ne réagissent pas sous l'action des rayons lumineux qui ont traversé soit une solution de bichromate potassique, soit la flamme jaune du sodium ou un verre rouge rubis.

La lumière exerce encore une autre action importante sur la chlorophylle des cellules végétales. Elle agit comme excitant sur le protoplasme chargé de chlorophylle qu'elle fait s'accumuler, par des mouvements lents, en certains points de la face interne de la membrane cellulosique.

L'objet le plus favorable à l'étude de ces phénomènes est le *Mesocarpus*, algue filamenteuse, sur laquelle STAHL (IV, 34) a fait d'intéressantes observations.

Dans les cellules cylindriques du *Mesocarpus*, réunies en de longs filaments, s'étend longitudinalement un mince ruban de chlorophylle qui traverse le suc cellulaire, le divise en deux moitiés et se continue avec la couche protoplasmique pariétale de la cellule. Selon la direction de la lumière incidente, le ruban chlorophyllien change de position. Lorsqu'il est atteint directement, soit par le haut, soit par le bas, par la lumière du jour faible, il tourne sa surface vers l'observateur. Par contre, si l'éclairage est réglé de telle sorte que les rayons, parallèles à la table du microscope, tombent latéralement sur la préparation, le ruban chlorophyllien fait une rotation d'environ 90 degrés, jusqu'à ce qu'il occupe une position à peu près verticale : alors, il traverse longitudinalement la cellule devenue transparente, en affectant la forme d'une ligne vert foncé. Entre ces deux termes extrêmes le ruban peut occuper toutes les positions intermédiaires, sa surface étant toujours orientée perpendiculairement à la direction de la lumière incidente. Pendant les chaudes journées d'été, ces déplacements s'effectuent en quelques minutes, ce qui est dû à l'activité des mouvements qu'exécute le protoplasme à l'intérieur de la membrane cellulaire.

Ici encore, comme pour les zoospores, l'influence exercée par la lumière varie avec l'intensité de cette dernière. Tandis que la lumière diffuse produit le résultat que nous venons de signaler, sous l'action de la lumière solaire directe, le ruban chlorophyllien prend justement la position inverse, c'est-à-dire qu'il tourne son bord vers la lumière. De ces observations on peut déduire la loi suivante : « La lumière exerce une action dirigeante sur l'appareil chlorophyllien du *Mesocarpus*. Une lumière faible oriente le plan de cet appareil perpendiculairement à l'axe des rayons lumineux ; une

lumière intensive l'oriente, au contraire, parallèlement à cet axe. » STAHL appelle la première position *position de face*, et la seconde, *position de profil*.

Si l'on fait agir longtemps une lumière intense, tout le ruban se ramasse en un corps vermiforme, vert foncé, qui plus tard, dans des conditions favorables, reprend sa forme primitive.

Tous ces mouvements divers du protoplasme provoqués par l'excitation de la lumière ont pour but et d'amener l'appareil chlorophyllien vis-à-vis de la lumière dans une situation favorable à sa fonction, et de lui éviter l'action sensible d'un éclairage trop vif.

Les cellules des tissus végétaux pourvues de corps chlorophylliens sont d'ailleurs également soumises à cette action de la lumière, qui se manifeste si clairement chez *Mesocarpus*. Mais les phénomènes sont un peu plus compliqués (Fig. 52).

Ainsi que SACHS l'a le premier découvert, à la lumière solaire intensive les feuilles sont d'un vert plus clair qu'à la lumière diffuse ou dans l'ombre. Partant de cette observation, SACHS a pu produire artificiellement sur des feuilles vivement éclairées des images photographiques, en soustrayant à l'action de la lumière certaines parties des feuilles, à l'aide de bandelettes de papier (IV, 32 a). En enlevant ces dernières après un certain temps, on observe que les parties non éclairées ont pris une teinte vert foncé, tranchant nettement sur un fond vert clair.

Ce phénomène s'explique aisément à l'aide de la loi établie pour le *Mesocarpus* par les recherches de STAHL (IV, 34), recherches qui avaient été précédées de celles de FAMINTZIN, de FRANK et de BORODIN. A la lumière

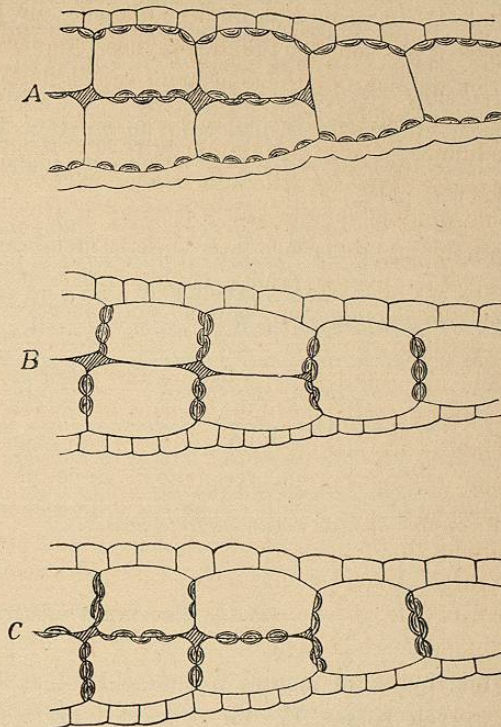


FIG. 52. — Coupe transversale d'une feuille de *Lemna trisulca* (d'après STAHL). A, position de face des corps chlorophylliens (lumière diffuse). B, disposition des corps chlorophylliens à la lumière intensive (position de profil). C, disposition des corps chlorophylliens dans l'obscurité.

diffuse et à l'ombre, le protoplasme exécute des mouvements tels que les corps chlorophylliens viennent se placer à la face externe des cellules dirigée vers la lumière (Fig. 52 A); ils disparaissent des parois latérales des cellules. Au contraire, à la lumière directe du soleil, le protoplasme afflue avec les corps chlorophylliens vers les parois latérales (Fig. 52 B), jusqu'à ce que la paroi externe soit complètement dépourvue de chlorophylle. Dans le premier cas, tout l'appareil chlorophyllien prend donc, comme chez *Mesocarpus*, vis-à-vis de la lumière incidente, une position de face, et dans le second cas une position de profil. Dans le premier cas, les feuilles prennent une teinte vert foncé; dans le second cas, une teinte vert pâle.

En outre, les corps chlorophylliens changent même de forme : à la lumière intensive, ils deviennent plus petits et plus sphériques.

Tous ces phénomènes conduisent à un seul et même résultat :

Les corps chlorophylliens se protègent contre un éclairage trop intense soit en exécutant des mouvements de rotation (*Mesocarpus*), soit en se déplaçant ou en changeant de forme. — Quand l'éclairage est faible, les corps chlorophylliens offrent la plus grande surface possible à la source lumineuse, afin de recueillir le plus de lumière possible. Quand l'éclairage est très puissant, c'est l'inverse qui a lieu : les corps chlorophylliens offrent à la lumière la plus petite surface possible.

III. — Excitants électriques

Ainsi que l'ont montré notamment les expériences de MAX SCHULTZE (I, 29) et de KÜHNE (IV, 15), celles d'ENGELMANN et de VERWORN (IV, 39), les courants galvaniques, induits ou constants, agissent comme excitants du protoplasme, lorsqu'ils le traversent directement.

Si l'on place des *poils staminaux de Tradescantia* (Fig. 53) entre les électrodes impolarisables très rapprochés, et qu'on les irrite par de faibles chocs d'induction, on voit dans la partie du réseau protoplasmique traversée par le courant galvanique la circulation du protoplasme granuleux s'arrêter subitement. Il se forme dans les filaments protoplasmiques de petits amas irréguliers qui se détachent des points les plus minces du réseau et passent dans les filaments voisins. Après un temps de repos la circulation recommence : les petits amas de protoplasme sont peu à peu entraînés dans la circulation et répartis dans toute l'étendue de la cellule. Si des chocs d'induction puissants et répétés ont frappé la cellule, alors la circulation cesse complètement, le corps protoplasmique s'étant transformé, par coagulation partielle, en un ou plusieurs amas opaques.

Chez les *Amibes* et les *corpuscules blancs du sang* les mouvements protoplasmiques et pseudopodiques cessent lorsqu'on irrite par de faibles chocs d'induction; après un certain temps, ils se rétablissent normalement. Des chocs d'induction plus puissants ont pour conséquence de faire rentrer rapidement les pseudopodes : le corps cellulaire se ramasse alors en une sphère. Enfin, les courants galvaniques très énergiques déterminent la rupture et la destruction du corps protoplasmique sphérique.

A l'aide de courants induits longtemps prolongés on peut déterminer la destruction, par fractionnement, des organismes monocellulaires. Chez *Actinosphaerium* le phénomène s'accomplit de la manière suivante. Les pseudopodes dirigés vers les deux électrodes montrent bientôt des varicosités et rentrent peu à peu, le protoplasme s'étant amassé en une petite sphère ou en un fuseau (Fig. 54). Ensuite, en ces points, la surface du corps se détruit de plus en plus : il se produit une sorte de fonte, puis les vacuoles liquides contenues dans le protoplasme éclatent. Par contre, les pseudopodes dirigés perpendiculairement à la direction du courant ne subissent aucun changement. Lorsqu'on écarte l'excitant, l'animal, éventuellement réduit à la moitié ou au tiers de ce qu'il était, se rétablit peu à peu et se complète en régénérant les parties perdues.

Un phénomène semblable s'accomplit, quand on se sert d'un courant constant, pour *Actinosphaerium* (Fig. 55), *Actinophrys*, *Pelomyxa* et les *Mycomyxètes*. Lors de la fermeture du courant (Fig. 55, +) il se produit une excitation au pôle positif (anode) : elle se manifeste par le retrait des pseudopodes. Si la durée du courant est prolongée, le protoplasme se détruit au point d'entrée du courant. Quand on ouvre le courant, la fonte protoplasmique cesse aussitôt à l'anode, en même temps que le protoplasme s'accumule momentanément à la surface du corps tournée vers la cathode.

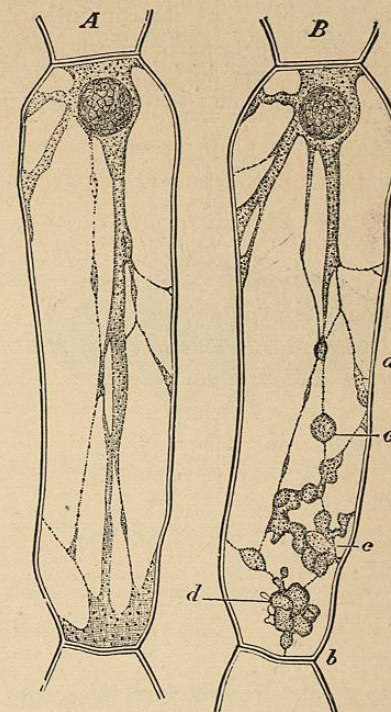


FIG. 53. — A et B. Cellule d'un poil staminal de *Tradescantia virginica*. A, courant protoplasmique normal; B, le protoplasme ramassé en petites sphères après une irritation. a, membrane cellulaire. b, cloison transversale entre deux cellules, c, d, protoplasme ramassé en petits amas sphériques (d'après KÜHNE) Figure empruntée à VERWORN (fig. 13).