

paroi transversale supérieure, gagne l'autre paroi longitudinale, le long de laquelle il descend ; enfin, il longe la paroi transversale inférieure, revient à son point de départ, et le mouvement recommence. Entre le courant ascendant et le courant descendant existe une zone indifférente plus ou moins large, dans l'étendue de laquelle le protoplasme reste au repos et où il est généralement réduit à une couche très mince. Chez *Nitella*, au

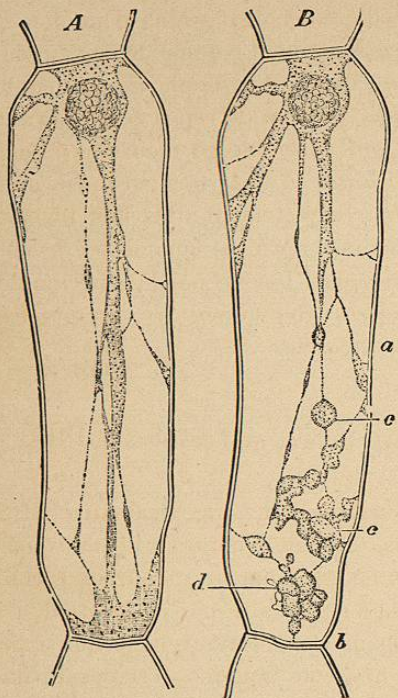


FIG. 41. — A et B. Cellule d'un poil staminal de *Tradescantia virginica*. A, courant protoplasmique normal ; B, le protoplasme ramassé en petites sphères après une irritation. a, membrane cellulaire ; b, cloison transversale entre deux cellules ; c, d, protoplasme ramassé en petits amas sphériques (d'après KÜHNÉ). Figure empruntée à VERWORN (fig. 13).

niveau de la zone indifférente, les corps chlorophylliens font défaut dans la couche externe.

La soi-disant rotation en jet d'eau (KLEBS, III, 14) forme une transition entre le mouvement de rotation et la circulation du protoplasme. Cette forme, généralement rare, se rencontre dans les jeunes cellules de l'endosperme de *Ceratophyllum*, dans les jeunes vaisseaux ligneux du pétiole du *Ricinus*, etc. Ici le protoplasme revêt d'une couche épaisse la face interne de la membrane de cellulose et traverse, en outre, le suc cellulaire, sous forme d'un cordon central, épais et longitudinal. Le cordon central n'est parcouru que par un seul courant, qui s'étale ensuite contre la paroi transversale, où il se brise, pour retomber en tous sens, comme un jet d'eau, dans l'utricule primordiale ; il gagne ainsi la cloison transversale opposée et, de là, passe de nouveau dans le cordon axial.

Le mouvement connu sous le nom de circulation s'observe dans des cellules végétales et animales, dont le protoplasme est disposé, à la fois, en une mince couche sous-jacente à la membrane cellulaire et en un réseau de filaments plus ou moins délicats parcourant l'espace cellulaire.

Les objets qui se prêtent le mieux à l'étude de ce genre de mouvement sont les poils staminaux de diverses espèces de *Tradescantia* et les jeunes poils des Orties.

Le phénomène de la circulation est semblable à celui que nous avons

appris à connaître dans le réseau protoplasmique des Myxomycètes et dans les fins pseudopodes des Rhizopodes. Il se compose aussi de deux espèces de mouvements. D'une part, on distingue le courant des granulations. Dans les filaments les plus fins, les granulations progressent plus ou moins rapidement dans une direction déterminée. Dans la couche pariétale ainsi que dans les cordons plus larges, circulent souvent les uns à côté des autres plusieurs courants distincts, soit dans le même sens, soit en sens inverse. Les corps chlorophylliens et les grains d'amidon que renferme le protoplasme sont entraînés lentement comme le noyau de la cellule. On observe aussi une couche externe d'hyaloplasme, au contact avec la membrane de cellulose et dans un état de repos relatif. D'autre part, le corps protoplasmique dans son ensemble se meut aussi lentement et change, par conséquent, de forme. Les larges cordons s'amincissent et peuvent même disparaître complètement ; les fins filaments grossissent ; de nouveaux prolongements se forment comme les pseudopodes des Myxomycètes et des Rhizopodes. Par-ci, par-là s'accumulent dans la couche pariétale des amas plus volumineux de protoplasme, pendant qu'ailleurs d'autres amas disparaissent.

c) ESSAIS D'EXPLICATION DU MOUVEMENT DU PROTOPLASME

Divers auteurs, QUINCKE (III, 17), BÜTSCHLI (III, 7, b), BERTHOLD (III, 2), et autres, ont, en ces derniers temps, tenté de comparer le mouvement du protoplasme avec ces phénomènes de mouvement qu'offrent certains mélanges de substances inorganisées et d'en déduire une explication.

QUINCKE a étudié avec soin les phénomènes de mouvement qui se produisent aux surfaces de contact de différents liquides. Il déposait, dans un verre contenant de l'eau, une goutte d'un mélange d'huile d'amandes et de chloroforme, dont le poids spécifique était un peu plus considérable que celui de l'eau ; puis, à l'aide d'un fin tube capillaire, il déposait contre la goutte d'huile une goutte d'une solution de carbonate sodique à 20/0. La goutte d'huile éprouvait alors des changements de forme semblables à ceux que montrent certaines Amibes quand on les observe au microscope. Ces changements sont dus à ce que la solution sodique s'étale peu à peu à la surface de l'huile et forme avec cette dernière un savon.

QUINCKE interprète d'une manière analogue l'essence du mouvement du protoplasme. Pendant la plasmolyse des cellules végétales, le corps protoplasmique se fragmente parfois en deux ou plusieurs sphères, qui se dilatent ensuite et s'unissent de nouveau ou qui restent séparées par une surface plane, comme le font deux bulles de savon de même taille que

l'on met en contact. De ces faits QUINCKE conclut que le corps protoplasmique doit être enveloppé d'une très mince membrane *fluide*, tout comme l'air contenu dans la bulle de savon est enveloppé par une mince membrane d'eau de savon. « La substance constituant la membrane qui enveloppe le corps protoplasmique, dit QUINCKE, doit être un liquide qui forme des gouttes dans l'eau. Or, comme de toutes les substances organiques connues les huiles seules présentent cette particularité, cette membrane doit être formée par une huile grasse ou par une graisse liquide. L'épaisseur de cette couche d'huile peut être très minime, moindre que 0,0001 mm, de sorte qu'elle n'est pas perceptible au microscope. » Par l'action de l'albumine sur l'huile naît, aux surfaces de contact, une substance qui se dissout dans l'eau et s'étale à la façon du savon formé par l'action du carbonate sodique sur l'huile. Cette substance est donc un savon d'albumine.

La cause du mouvement du protoplasme, QUINCKE considéra qu'elle réside dans l'expansion périodique du savon d'albumine à la face interne de la membrane oléagineuse qui enveloppe le corps protoplasmique. Le savon se régénère toujours à la surface de contact au fur et à mesure qu'il se dissout et qu'il diffuse dans le liquide ambiant. Le fait que la présence de l'oxygène est nécessaire pour l'accomplissement de ce phénomène chimique explique pourquoi le mouvement du protoplasme cesse quand l'oxygène vient à manquer, de même que les conditions physico-chimiques expliquent pourquoi ce mouvement cesse quand la température est trop ou trop peu élevée.

Poussé par les études de QUINCKE et par ses propres résultats concernant la structure alvéolaire du protoplasme, BÜTSCHLI entreprit des expériences intéressantes, qui lui parurent jeter quelque lumière sur les causes du mouvement du protoplasme. Il produisit de diverses façons des émulsions d'huile. Il obtint les plus délicates et les plus instructives en mélangeant quelques gouttes d'une huile d'olive, épaissie à l'étuve, avec du carbonate potassique très finement pulvérisé, de façon à former une pâte filante, dont il déposait une gouttelette dans l'eau. L'émulsion ainsi formée, dont les petites vacuoles sont remplies d'une solution de savon en voie de formation, présente un aspect blanc laiteux, qui s'éclaircit par addition de glycérine diluée. Il se produit alors des courants actifs qui persistent pendant six jours quand la préparation est réussie et qui ressemblent étonnamment aux mouvements protoplasmiques d'une Amibe. « Le courant se dirige par l'axe de la gouttelette vers un point du bord, d'où il s'écoule ensuite des deux côtés et en arrière pour rentrer peu à peu dans le courant central. » — « Par-ci, par-là se forme un prolongement aplati, qui rentre ensuite, et, ce phénomène se répétant, il arrive souvent que des gouttelettes

se déplacent assez rapidement. » BÜTSCHLI explique les phénomènes de mouvement observés par QUINCKE en admettant que, « en un point de la surface, de fins alvéoles crèvent et que là la solution de savon s'étale à la surface de la gouttelette, laquelle est formée par une très mince lamelle d'huile. Il en résulte une diminution de la tension superficielle en ce point et, par conséquent, la formation d'une légère saillie superficielle suivie d'un déplacement, qui provoque l'afflux de toute la masse alvéolaire vers ce point. Pendant que cet afflux se produit au point d'expansion, de nouveaux alvéoles crèvent et, ce phénomène se répétant, une fois le courant provoqué en ce point, il persiste jusqu'à ce qu'il ne rencontre pas d'obstacles importants ». BÜTSCHLI est convaincu qu'il existe une concordance principale entre les courants qui se forment dans les gouttes d'émulsions d'huile et le mouvement amœboïde du protoplasme.

Les expériences de QUINCKE et de BÜTSCHLI sont très intéressantes parce qu'elles montrent que des phénomènes de motilité déjà compliqués se ramènent à des causes relativement simples. Cependant diverses objections peuvent être émises contre leur conclusion, à savoir que le mouvement du protoplasme est la conséquence de phénomènes semblables. On peut déjà mettre en doute que le corps protoplasmique est revêtu d'une mince lamelle superficielle d'huile. De ce seul fait que le protoplasme se compose de substances chimiques très nombreuses, qui subissent constamment des changements physico-chimiques dans le processus de la nutrition dont dépend la vie, nous devons déjà conclure que les conditions des mouvements du protoplasme doivent être de nature beaucoup plus complexe que celles des mouvements d'une goutte d'émulsion d'huile. Elles doivent différer dans la même mesure que la composition chimique et l'organisation de ces éléments (voir aussi, à ce sujet, ce que nous avons dit p. 23, et le travail de VERWORN sur le mouvement de la substance vivante, III, 24). En outre, le courant protoplasmique, les radiations autour des centres attractifs, le mouvement des cils et fouets vibratiles, la contraction musculaire forment *un seul* groupe de phénomènes, qui exigent une explication unique. Or, cette explication, ni les expériences de QUINCKE ni celles de BÜTSCHLI ne peuvent nous la fournir. Les mouvements qu'ils ont provoqués dans leurs expériences sont aux mouvements du corps vivant comme la structure des cellules artificielles engendrées par TRAUBE est à la structure des cellules vivantes.

Afin de montrer quelle diversité de formes, très semblables à celles qu'affectent les pseudopodes, peut prendre, par simple expansion, une goutte d'huile à la surface de solutions aqueuses, examinons la figure 42, qui est empruntée à un mémoire de VERWORN (III, 24) : « *a-d* nous montrent une gouttelette d'huile de Provence qui s'étale sur une solu-

tion faible de carbonate sodique de concentration diverse ; en *a*, elle affecte la forme d'une *Amœba guttula* ; en *b* et *c*, celle d'une *Amœba proteus* ; en *d*, celle d'un plasmodium de Myxomycète. *e* et *f* représentent une gouttelette d'huile d'amandes, présentant des pseudopodes semblables à ceux des Héliozoaires et des Radiolaires ; en *g*, une image extraite de la

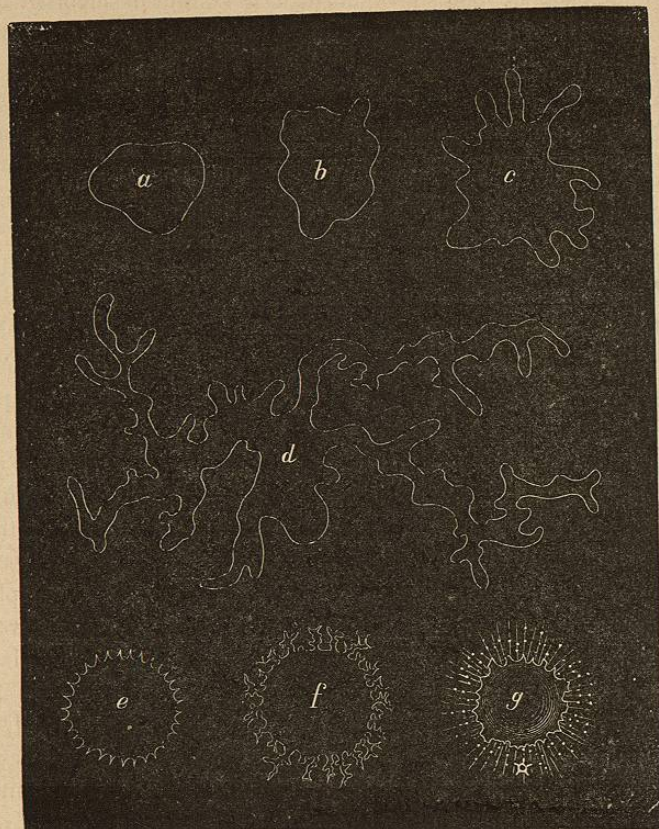


FIG. 42. — Formes prises par des gouttelettes d'huile étalées. D'après VERWORN, fig. 11.

Physique moléculaire de LEHMANN et représentant une goutte de créosote sur l'eau : elle imite un *Actinosphaerium* typique. » (VERWORN, III, 24, p. 47.)

D'autres tentatives d'explication des mouvements protoplasmiques (ENGELMANN, III, 6; HOFMEISTER, II, 20; SACHS) nous ramènent aux théories de la structure moléculaire des corps organisés, en ce sens qu'elles recherchent les causes des mouvements dans les changements de forme des particules les plus petites. Quant à l'essai d'explication de VERWORN

(III, 24), le plus récent en date, sa tendance est toute différente ; mais l'examiner nous entraînerait trop loin.

On peut dire, de toutes les hypothèses émises jusqu'à ce jour, qu'aucune d'elles ne nous donne une idée satisfaisante des causes et des conditions mécaniques des mouvements du protoplasme, et que nous devons, par conséquent, nous en tenir pour le moment à la simple description des faits observés. Cela ne doit nullement nous étonner, si nous songeons que, même en ce qui concerne la *structure intime du protoplasme* (voir p. 19), il règne encore les vues les plus divergentes. Or cette notion doit naturellement exercer une influence sérieuse sur l'explication du mouvement du protoplasme.

II. — Mouvements des cils et fouets vibratiles

Les organismes monocellulaires accomplissent, à l'aide de cils et de fouets vibratiles, des déplacements bien plus importants qu'à l'aide des pseudopodes.

Les cils et fouets vibratiles sont des prolongements piliformes qui existent, plus ou moins nombreux, à la surface de certaines cellules. Ils consistent en une substance homogène, dépourvue de granulations, et ressemblent, sous ce rapport, à de courts et minces pseudopodes formés exclusivement d'hyaloplasme. Ils s'en distinguent cependant, et par le mode différent et plus énergique de leur mouvement, et par ce fait qu'ils ne sont nullement des organes passagers, mais qu'ils se maintiennent en fonction, sans jamais se retirer à l'intérieur du corps protoplasmique.

Toutefois, à leur origine, les mouvements vibratiles et pseudopodiques sont en connexion étroite, ainsi que l'ont prouvé les observations de DE BARY (I, 2) sur les zoospores des Myxomycètes, et celles de HÆCKEL, d'ENGELMANN, de R. HERTWIG, III, 12 *b*, etc., sur les Rhizopodes.

Beaucoup d'organismes inférieurs se reproduisent notamment au moyen de petits germes, ressemblant à des Amibes et se mouvant aussi à la façon des Amibes (Fig. 43). Ces germes, après un certain temps, émettent habituellement deux pseudopodes filiformes (Fig. 43, *a*), qui exécutent lentement des mouvements pendulaires et se transforment en fouets vibratiles, pendant que le restant du corps s'arrondit à la suite de la rentrée de tous les autres prolongements. Lorsque les mouvements deviennent plus éner-

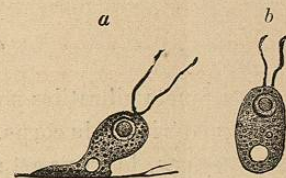


FIG. 43. — *Microgromia socialis*. Une cellule améboïde (*a*), née par division et émigrée de la colonie, se transforme en une zoospore (*b*) à la suite du retrait de tous ses pseudopodes, sauf deux, qui deviennent des fouets vibratiles. HERTWIG, pl. I, fig. 6. *d* et *e*.