

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

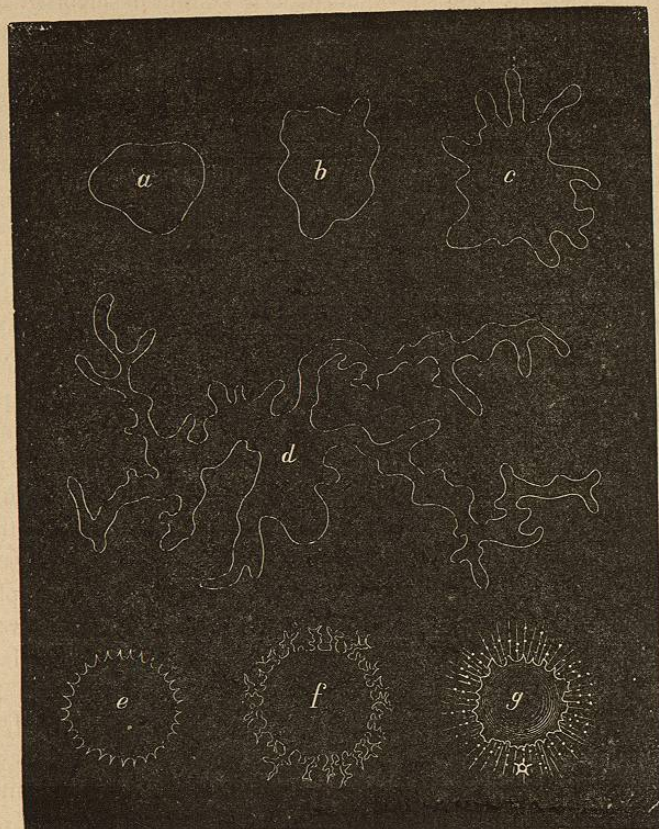


FIG. 42. — Formes prises par des gouttelettes d'huile étalées. D'après VERWORN, fig. 11.

*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-

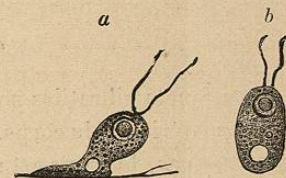


FIG. 43. — *Microgromia socialis*. Une cellule améboïde (a), née par division et émigrée de la colonie, se transforme en une zoospore (b) à la suite du retrait de tous ses pseudopodes, sauf deux, qui deviennent des fouets vibratiles. HERTWIG, pl. I, fig. 6. d et e.

giques, le germe se meut dans l'eau à l'aide de ses deux fouets vibratiles (Fig. 43, b). La petite Amibe est alors transformée en une spore nageante ou « zoospore ».

Nous avons donc le droit de dire que *les fouets vibratiles se sont développés aux dépens de fins prolongements protoplasmiques, qui sont devenus spécialement contractiles et ont ainsi acquis une constitution un peu différente de celle du restant du protoplasme*. Nous pouvons aussi les considérer comme des *produits du protoplasme* consistant spécialement en substance contractile, ou encore comme des *organes de la cellule*.

Fouets et cils vibratiles prennent toujours directement leur origine dans le corps cellulaire lui-même. Lorsque celui-ci est entouré d'une membrane, ils traversent des pores de la membrane. Leur base est toujours un peu plus épaisse et souvent leur point d'émergence à la surface du protoplasme est légèrement renflé; ils s'amincissent progressivement vers leur extrémité libre, qui est effilée.

Les organes vibratiles ou bien n'existent qu'en petit nombre (un à quatre) à l'une des extrémités de la cellule, ou bien ils recouvrent, en très grand nombre, souvent par milliers, toute la surface de la cellule. Dans le premier cas, ils sont plus longs et plus forts et on les appelle *fouets vibratiles* ou *flagellums*. Dans le second cas, ils constituent des *cils*, petits et rigides.

#### a) CELLULES FLAGELLÉES

Les fouets vibratiles sont fixés soit à l'extrémité antérieure, soit à l'extrémité postérieure du corps. De là, un mode de locomotion différent. Dans le premier cas, le corps est remorqué par les fouets vibratiles en mouvement. Dans le second cas, il est poussé en avant par eux. L'une de ces dispositions est surtout réalisée chez les Flagellates et certains organismes voisins (Fig. 44, A, B, C), chez une foule de Bactéries (Fig. 33, B), dans les anthérozoïdes des Mousses, Fougères et Équisétacées, ainsi que dans les zoospores, c'est-à-dire dans les corps reproducteurs d'une foule d'Algues et de Champignons. L'autre disposition se montre dans les filaments spermatisques ou spermatozoïdes de la plupart des animaux (Fig. 45).

Le travail physiologique qu'ont à accomplir les organes vibratiles dans la locomotion des organismes monocellulaires est double. D'abord, par leur activité, ils maintiennent le corps cellulaire en suspension dans l'eau, bien que son poids spécifique soit un peu plus considérable que celui du milieu ambiant. C'est ce que prouve déjà cette seule circonstance que les zoospores et les spermatozoïdes morts tombent aussitôt au fond de l'eau. D'autre part, ils font progresser le corps cellulaire dans une direction déterminée.

C'est NAEGELI (III, 16) qui s'est occupé le plus sérieusement du *mécanisme du mouvement* des cellules mobiles végétales. D'après cet auteur, les vibrations des flagellums donnent au corps un double mouvement, un mouvement de progression et en même temps un mouvement de rotation autour de son propre axe. Ce mouvement est donc semblable à celui

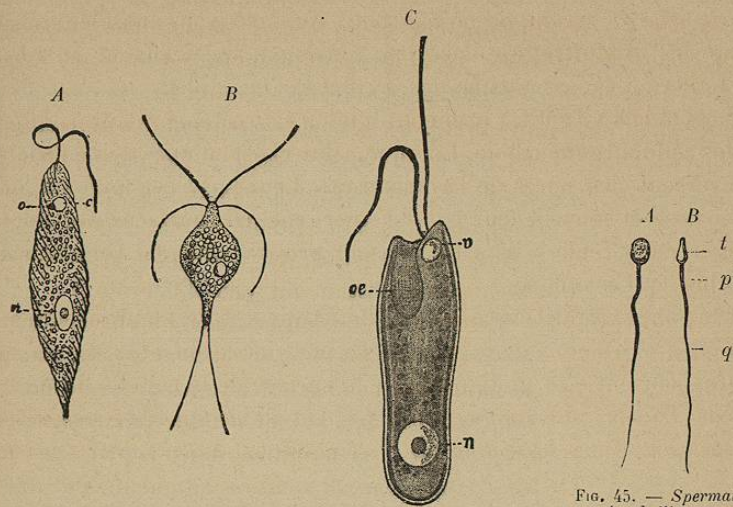


FIG. 44. — A. *Euglena viridis*. D'après STEIN. n, noyau. c, vacuole contractile. o, tache pigmentaire. B. *Hexamitus inflatus*. D'après STEIN. C. *Chilomonas paramecium*. D'après BÜRSCHLI. œ, cytostome. v, vacuole contractile; n, noyau. R. HERTWIG, fig. 130 à 132.

FIG. 45. — Spermatozoïdes mâles de l'homme, vus dans deux positions différentes. Ils consistent en une tête (t), une pièce intermédiaire (pi) et une queue (q).

d'une balle lancée par un canon rayé. Il y a, en outre, à distinguer trois types différents.

« Beaucoup de cellules mobiles avancent en ligne droite ou suivant une trajectoire légèrement courbe, l'extrémité antérieure et l'extrémité postérieure de leur axe restant exactement dans la même direction; elle nagent d'arrière en avant en restant rigides et sans décrire d'oscillations. D'autres décrivent un trajet légèrement hélicoïdal, chaque tour de l'hélice correspondant toujours à une rotation autour de l'axe; la même face de la cellule est alors toujours tournée en dehors et l'axe de la cellule court parallèlement à l'axe de l'hélice. Enfin, d'autres cellules mobiles se meuvent de telle sorte que leur extrémité antérieure décrit un trajet hélicoïdal, tandis que leur extrémité postérieure décrit un trajet rectiligne ou un trajet hélicoïdal de moindre rayon. On ne peut nettement constater ces deux derniers modes de mouvement que s'ils se produisent avec lenteur. Lorsqu'ils sont plus énergiques, on ne distingue qu'une oscillation, affectant surtout un caractère spécial dans le troisième mode de locomotion. »

La direction suivant laquelle les cellules mobiles tournent autour de leur axe est généralement constante pour chaque espèce, genre ou famille. Certaines d'entre elles tournent dans la direction sud-ouest (*Ulothrix*); d'autres, dans la direction sud-est (anthérozoïdes des Fougères); d'autres, enfin, tournent alternativement au sud-est et au sud-ouest (*Gonium*). Lorsque des cellules mobiles rencontrent un obstacle, elles s'arrêtent

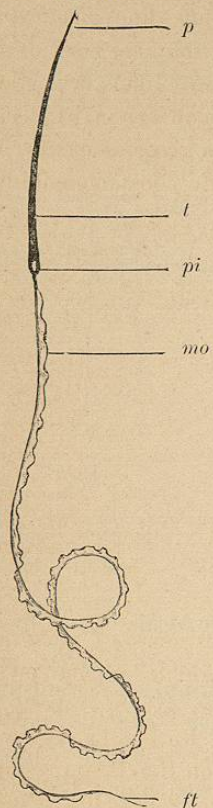


FIG. 46. — Filament spermatique de *Salamandra maculata*. *t*, tête; *pi*, pièce intermédiaire; *ft*, filament terminal; *p*, pointe; *mo*, membrane ondulante.

d'abord un certain temps, puis se meuvent en avant, mais en continuant à tourner autour de leur axe. « Alors généralement a lieu un mouvement de recul, pendant lequel elles se meuvent d'avant en arrière en tournant en sens inverse. Ce mouvement rétrograde ne dure habituellement que peu de temps et est toujours très lent. Bientôt il est remplacé par le mouvement normal, qui s'effectue, le plus souvent, dans une direction un peu différente. »

Par ses observations, NÆGELI a été conduit à admettre « que les cellules mobiles et les spermatozoïdes se mouvraient en ligne droite si leur forme était absolument régulière, si leur masse était répartie symétriquement et si le milieu dans lequel elles nagent était homogène; la rotation autour de leur axe ainsi que la trajectoire qu'elles décrivent résultent de ce que leur corps n'est pas symétrique, que leur centre de gravité ne correspond pas à leur centre géométrique, et qu'elles n'éprouvent pas partout la même résistance de frottement. »

La locomotion effectuée au moyen des flagellums est beaucoup plus rapide que la reptation produite par les pseudopodes. D'après NÆGELI, pour parcourir une longueur d'un pied, les cellules mobiles exigent habituellement une heure, et les plus rapides d'entre elles, un quart d'heure seulement. Tandis que l'homme ne parcourt en une seconde, au pas ordinaire, qu'un peu plus de la moitié de sa propre longueur, l'espace parcouru dans le même temps par une zoospore correspond à peu près au triple de son diamètre. Si ce mouvement nous semble très rapide sous le microscope, il ne faut pas oublier cependant qu'en raison du grossissement employé il nous paraît plus rapide qu'il n'est en réalité, l'espace parcouru étant aussi agrandi. La locomotion est donc faible au point de vue absolu. « Si nous pouvions nettement suivre des yeux ces organismes, sans nous aider de puissants gros-

sissements, leur mouvement nous semblerait presque nul, à cause de sa lenteur. »

Les filaments spermatisques des animaux (Fig. 45) se distinguent des cellules mobiles végétales en ce que leur unique fouet vibratile est fixé à l'extrémité postérieure du corps, qu'il pousse, par conséquent, en avant. Ils exécutent donc des mouvements ondulatoires semblables aux mouvements du corps de la plupart des Poissons. Dans certains cas, la structure du spermatozoïde se complique de l'existence d'une fine membrane contractile ou ondulante. Cette membrane est comparable au bord de la nageoire d'un Poisson; elle est spécialement développée dans la portion caudale des grands spermatozoïdes de la Salamandre et du Triton (Fig. 46).

En examinant ces spermatozoïdes à l'aide de forts grossissements, on voit sur la surface de la membrane ondulante courir constamment des

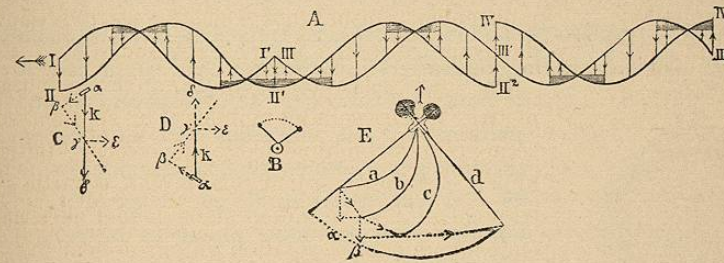


FIG. 47. — Explication du mécanisme du mouvement d'un spermatozoïde. D'après HENSEN, fig. 22. A. Les quatre phases de la position occupée par le bord vibratile, pendant qu'il est parcouru par une onde. I à I', première, II à II' à II<sup>2</sup>, deuxième, III à III' à III<sup>2</sup>, troisième, IV à IV' à IV<sup>2</sup>, quatrième phase de l'incurvation du bord dans la longueur d'une onde. B, section du filament caudal et du bord dans les deux positions de la plus forte élévation. C et D, décomposition des forces du bord. E, mouvement d'un corpuscule spermatique ordinaire. a b c, différentes phases du mouvement.

ondes qui progressent d'avant en arrière. « Ces ondes naissent, ainsi que l'explique HENSEN, parce que toute section transversale de la queue passe successivement dans les deux positions extrêmes (Fig. 47). Si au temps 0 la pièce du bord, vue d'en haut, a la position donnée I à I' (Fig. 47), à la fin du premier quart de la période elle aura la position II à II' ou, ce qui revient au même, la position II' à II<sup>2</sup>. A la fin du deuxième quart, II' à II<sup>2</sup> est passé dans la position III à III' ou, ce qui revient au même, dans la position III' à III<sup>2</sup>. A la fin du troisième quart de la période, III' à III<sup>2</sup> est alors passé dans la position IV à IV' et occupe de nouveau, à la fin de la période entière, la position I à I'. Tous ces mouvements s'accomplissent avec une certaine force et une certaine vitesse. Comment maintenant naît le mouvement en avant? Une unité de surface du bord (Fig. 47) se meut, comme l'indique la flèche, de  $\alpha$  vers  $\gamma$  avec la force  $x = \alpha\gamma$ . Cette force peut être décomposée en les composantes  $\alpha\beta$  et  $\beta\gamma$ . La force  $\alpha\beta$  pousse dans la direction du bord, le comprime et ne produit vraisemblablement aucun effet

extérieur. La force  $\beta\gamma$  se laisse de nouveau décomposer en  $\gamma\delta$  et  $\gamma\epsilon$ .  $\gamma\epsilon$  refoule l'eau directement en arrière et, pour autant que l'eau résiste à la pression, elle refoule le corpuscule en avant. La force  $\gamma\delta$  ferait tourner le corpuscule autour de son axe ; cependant agit contre elle, mais en sens inverse, la même composante qui se développe en tous les points où les flèches courent en sens opposé (par exemple au-dessus de D). En somme, la figure D donne la même force  $\gamma\epsilon$  que la figure C. Seules les surfaces hachurées de la figure A développent des forces opposées à la composante  $\gamma\epsilon$ . Mais on voit que la grandeur des surfaces en question et, par conséquent, leurs composantes sont complètement négligeables. » (HENSEN, III, 11.)

#### b) CELLULES CILIÉES

Parmi les organismes monocellulaires, les Infusoires se distinguent spécialement par l'abondance de leurs cils vibratiles : c'est ce qui leur a valu

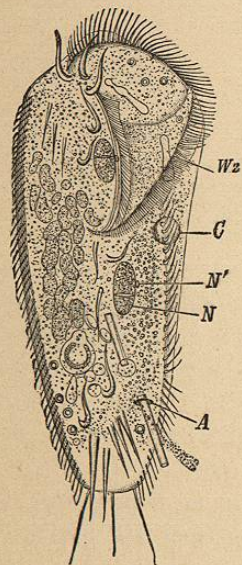


FIG. 48. — *Stylonichia mytilus* vu par sa face ventrale. D'après STEIN. Figure empruntée à CLAUSS, Zool. Wz, zone ciliée adorsale; C, vacuole contractile; N, macronucleus; N1, micronucleus. A, anus.

le nom de *Ciliés* (Fig. 48). Relativement aux flagellums, les cils vibratiles sont beaucoup moins grands : généralement, leur longueur est d'environ  $15 \mu$  et leur épaisseur de 0,1 à 0,3 de  $\mu$ . Leur nombre peut atteindre plusieurs milliers. Chez *Paramecium aurelia*, on l'estime à 2500 environ. BÜTSCHLI (III, 3) admet que chez le *Balantidium elongatum*, parasite de la Grenouille, qui atteint une longueur de 0,3 millimètre et dont les cils sont très serrés, le nombre des cils est d'environ dix mille. Habituellement ils sont disposés en de nombreuses séries longitudinales, soit limitées à une partie de la surface du corps, soit disposées en spirales.

Indépendamment des cils, il existe encore chez beaucoup d'Infusoires des organes locomoteurs plus volumineux ; ce sont les *cirres* et les *membranes ondulantes*. Les cirres se distinguent des cils par leur épaisseur et leur longueur plus considérables, ainsi que par ce fait qu'ils naissent par une base élargie et se terminent en une pointe affilée (Fig. 48). De plus, ils montrent, comme d'autres tissus particulièrement contractiles (fibres musculaires), une différenciation fibrillaire, de telle sorte qu'ils consistent en de nombreuses fibrilles très délicates (BÜTSCHLI). Les cirres sont spé-

cialement fréquents chez les Infusoires hypotriches et au pourtour de l'orifice buccal. Les membranes ondulantes n'existent qu'autour de l'orifice buccal. Ce sont des organes de locomotion développés en surface. Elles sont souvent nettement striées de la base vers le bord libre et possèdent donc, comme les cirres, une structure fibrillaire.

Le mode de locomotion des Infusoires est très variable. Le plus souvent, leur corps, lorsqu'il se meut librement dans l'eau, tourne autour de son axe longitudinal. La direction du mouvement peut varier ; l'activité des cils peut subitement se ralentir ou s'accélérer ; elle peut aussi cesser pendant un temps très court, sans cause extérieure spéciale. Il en résulte des formes variables de mouvement, qui donnent l'impression d'une spontanéité apparente. A ce sujet, un autre point digne de remarque, c'est que souvent les milliers de cils d'un même individu exécutent des mouvements parfaitement coordonnés. « Ils battent non seulement avec la même fréquence de vibrations oscillatoires (rythme) et avec la même amplitude d'oscillation ; mais ils battent encore ensemble dans la même direction et toujours dans le même ordre de succession. » (VERWORN.) La coordination du mouvement va même si loin que deux individus, qui naissent par fission d'un même organisme maternel, exécutent des mouvements parfaitement concordants et synchrones aussi longtemps qu'ils sont encore unis par un pont de protoplasme. Il en résulte donc que si les organes vibratiles ont le pouvoir de se contracter isolément, cependant leur action en commun est réglée par transmission d'excitations reçues par le corps protoplasmique.

Dans cette transmission des excitations, l'ectoplasme semble jouer un rôle particulièrement important, ainsi que le prouve une expérience de VERWORN (IV, 40). VERWORN fait, à l'aide d'une lancette, une petite incision dans l'ectoplasme cilié d'un *Spirostomum ambiguum* (Fig. 49). « Dans ce cas on peut nettement observer que les ondes vibratoires ne se propagent pas au-dessus du point incisé, mais ne se manifestent que d'un seul côté. »



FIG. 49. — *Spirostomum ambiguum*. La continuité de l'ectoplasme cilié du péristome est interrompue par une incision. D'après VERWORN (IV, 40), fig. 25.