dence, une irritabilité qui paraît, au premier abord, être le propre de l'organisation animale.

Structure du protoplasme. — Il nous reste à examiner de plus près, pour terminer l'étude du protoplasme, la structure qu'il révèle quand on l'étudie aux plus forts grossissements que fournit le microscope.

Depuis longtemps déjà le microscope avait montré l'existence fréquente de granules infiniment petits à l'intérieur du protoplasme. Ces observations anciennes, reprises et généralisées par divers histologistes, notamment par Hanstein et Altmann, qui donnèrent à ces granulations protoplasmiques les noms de *microsomes* (Hanstein) ou de *granula* (Altmann), les conduisirent à attribuer au protoplasme une *structure* qu'on peut qualifier de *granuleuse* : dans une masse homogène seraient distribués des granules plus résistants et plus réfringents.

Dès 1837, Remak avait remarqué que le protoplasme du cylindre-axe des fibres nerveuses présente une striation longitudinale qui peut conduire à le considérer comme formé de fibrilles rapprochées parallèlement les unes aux autres et plongées dans une substance homogène. Plus récemment, Flemming, s'appuyant sur l'observation des figures rayonnantes qui marquent, au sein du protoplasme, comme nous le verrons prochainement, une des phases de la division cellulaire, fit remarquer cette tendance que possède le protoplasme à se diviser en fibrilles. C'était l'ébauche d'une théorie de la *structure fibrillaire* du protoplasme.

D'autres observateurs ont complété cette notion et ont admis que le protoplasme comprendrait non pas un système unique de fibrilles, orientées suivant des directions variables, mais un véritable réseau résistant et réfringent, dont les mailles seraient baignées par une substance homogène et plus fluide. Dans cette hypothèse, les microsomes ou granula seraient, au moins en partie, les points d'intersection des filaments du réseau. Leydig, un des principaux partisans de cette théorie *réticulaire* de la structure protoplasmique, compare la substance plus réfringente qui formerait les mailles

du réseau au squelette du corps d'une éponge, et lui donne le nom de *spongioplasma*, réservant celui d'*hyaloplasma* à la substance fluide qui baignerait ces mailles. Ce seraient des prolongements de l'hyaloplasma à travers la surface extérieure du réseau constitué par le spongioplasma, qui formeraient les cils vibratiles.

D'autres théories ont encore été émises pour répondre à ce besoin que nous éprouvons de connaître la constitution intime du protoplasme. Entre toutes ces théories, il serait peut-être difficile de se prononcer définitivement; mais il ne saurait plus être question d'assimiler le protoplasme à un mélange homogène de combinaisons chimiques : il faut, de toute nécessité, si l'on veut tenir compte des faits observés, lui attribuer une organisation propre. Ainsi se manifeste dans toute sa généralité, même chez les êtres à structure continue, ce caractère fondamental de la vie, qui est l'*organisation*.

DEUXIÈME LEÇON

Le noyau et la membrane. La division cellulaire.

Nous avons entamé, dans la seconde partie de notre première leçon, l'étude de l'organisation végétale et nous nous sommes proposé d'acquérir une connaissance générale de la cellule, élément fondamental du corps des plantes supérieures. Cette cellule, avons-nous dit, comprend trois parties principales qui sont, par ordre d'importance décroissante, le protoplasme, le noyau, la membrane. Nous connaissons maintenant les propriétés essentielles du protoplasme; arrivons au noyau.

Le noyau. — La plupart des cellules sont pourvues d'un noyau; le nombre de celles qui doivent être considérées comme n'en possédant pas diminue chaque jour, à mesure que les progrès des méthodes micrographiques permettent d'en déceler la présence dans les cas les plus litigieux. Il est également fort peu de corps protoplasmiques à structure continue qui en paraissent aujourd'hui dépourvus. On peut donc dire, sans erreur sensible, que le noyau est, en quelque sorte, le complément obligé du protoplasme.

Le noyau se distingue du protoplasme, au milieu duquel il est plongé, par une plus grande réfringence; comme, d'ailleurs, il est ordinairement limité par un contour assez net, il est parfois possible de l'apercevoir à l'aide du microscope, sans l'emploi d'aucun réactif spécial. C'est ainsi qu'en examinant de face, dans une goutte d'eau, un lambeau d'épiderme arraché à une écaille d'un bulbe d'Oignon ou de Jacinthe, on voit apparaître dans chaque cellule un noyau volumineux, de forme ovoïde. Mais il est nécessaire, le plus souvent, pour bien mettre en évidence l'existence du noyau, d'employer des réactifs colorants. L'iode, qui teinte le protoplasme en jaune brunâtre, colore le noyau d'une teinte plus foncée. Le carmin ou carminate d'ammoniaque, la fuchsine le colorent en rouge plus ou moins foncé. L'hématoxyline, matière colorante extraite du bois de Campêche, le violet de Paris lui communiquent une coloration violette. Le bleu d'aniline le colore en bleu, le vert de méthyle en vert. Ce dernier réactif est, par excellence, le réactif colorant du noyau. Comme le précédent, il doit agir en solution acide, condition qu'on réalise en plongeant pendant quelques secondes, dans une solution d'acide acétique à 1 p. 100, la préparation colorée par le vert de méthyle ou le bleu d'aniline.

La composition chimique du noyau est quaternaire, comme celle du protoplasme; on y trouve, en plus, une certaine quantité de phosphore.

Sa structure. — Le noyau ne possède pas une structure homogène. Depuis longtemps déjà on avait reconnu la présence fréquente, à son intérieur, de corpuscules plus petits auxquels on avait donné le nom de *nucléoles*, diminutif du mot *noyau*; parfois même on avait observé, inclus dans les nucléoles, des corpuscules plus petits encore, auxquels on avait donné le nom de *nucléolules*. Les progrès de la micrographie, en augmentant le pouvoir grossissant de nos microscopes et en faisant connaître chaque jour de nouveaux moyens de fixer ou de colorer les éléments du noyau, ont permis de s'assurer que la structure en est beaucoup plus complexe encore; à vrai dire, nucléoles et nucléolules n'en constituent pas les éléments les plus essentiels.

Parmi les noms des savants qui se sont attachés à faire connaître, dans ses moindres détails, l'organisation du noyau, il y en a trois surtout que nous devons retenir, ceux de MM. Flemming, Strasburger et Guignard : le premier a surtout étudié le noyau dans les cellules animales; le second, dans les cellules végétales; le troisième, par une série d'observations qui ont aussi porté sur les cellules végétales, a éclairci les points sur lesquels ses deux devanciers paraissaient en désaccord et complété nos connaissances sur l'organisation nucléaire.

Le noyau (*fig.* 8) est enveloppé extérieurement par une membrane très fine, qui l'isole du protoplasme ambiant et qu'on peut appeler *membrane nucléaire*. Est-ce un produit de l'activité du noyau lui-même, ou bien est-elle déposée à sa surface par le protoplasme ambiant? C'est un point qui ne paraît pas encore complètement éclairci.

La cavité limitée par la membrane nucléaire est remplie d'une substance semi-fluide, transparente, comparable à cette partie homogène du protoplasme que nous avons appelée l'hyaloplasme; donnons à ce liquide le nom de *suc nucléaire*.

Dans le suc nucléaire baigne un cordon allongé, pelotonné sur lui-même un grand nombre de fois et occupant presque toute la cavité de la membrane nucléaire : c'est le *filament nucléaire*. En raison de son pelotonnement, il est souvent difficile de dégager, au microscope, la forme exacte de ce filament. Peut-être, dans certains noyaux, les différents

tours qui le constituent peuvent-ils entrer en contact assez intime pour se souder les uns aux autres, contracter, comme on dit, des *anastomoses* : le filament nucléaire serait alors remplacé par un *réseau nucléaire*. C'est le filament ou le réseau nucléaire qui, dans le noyau, fixe surtout les réactifs colorants, le vert de méthyle en particulier; un fort grossissement montre qu'après l'action de ce réactif, la membrane et le suc nucléaire sont à peine teintés de vert, tandis que le filament a pris une coloration foncée. A un grossissement plus fort encore, on s'aperçoit que la majeure partie du filament nucléaire est constituée par une substance hyaline, que le réactif colore faiblement : dans cette masse sont distribués, en série longitudinale, des corpuscules arrondis qui fixent énergiquement la matière colorante et auxquels on peut donner, pour cette raison, le nom de *corpuscules chromatiques*. La substance qui les constitue serait un peu différente de celle qui forme la masse du filament; on lui a donné le nom de *chromatine*.

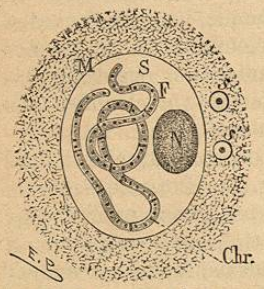

Fig. 8. — Structure du noyau (schéma).— M, membrane nucléaire; F, filament nucléaire; Chr., corpuscules chromatiques; N, nucléole; *s*, *s'*, sphères directrices.

A l'intérieur de la membrane nucléaire, baignant dans le suc nucléaire et enveloppés par les tours du filament, se trouvent un ou plusieurs corpuscules, de diamètre sensiblement supérieur à celui du filament, de forme ovoïde : ce sont les *nucléoles*, qui contiennent parfois, à leur tour, des *nucléolules*. Les nucléoles se distinguent généralement des autres parties du noyau par la manière dont ils se comportent à l'égard des réactifs colorants. C'est ainsi que, dans le noyau du sac embryonnaire du Lis, un mélange de fuchsine et de vert de méthyle colore le nucléole en rose, tandis que le filament nucléaire ou, pour parler plus exactement, les corpuscules chromatiques, fixent la coloration verte.

En dehors du noyau, à l'intérieur du protoplasme ambiant, mais au voisinage immédiat de la membrane nucléaire, une observation délicate permet de reconnaître l'existence de deux sphères très rapprochées, de très petites dimensions, qui paraissent formées, comme le protoplasme lui-même, d'une substance albuminoïde, mais qui s'en distinguent par une réfringence spéciale et par une élection plus grande pour certains réactifs colorants. Donnons dès maintenant à ces deux sphérules le nom de *sphères directrices*. Examinée à un très fort grossissement, chaque sphère directrice se montre limitée vers l'extérieur par une couche granuleuse; puis vient une zone transparente; enfin la région centrale de la sphère est occupée par une partie plus foncée, à laquelle on donne le nom de *centrosome*. Prenant le tout pour la partie, on étend quelquefois, assez improprement, le nom de centrosome à la sphère directrice tout entière.

Membrane nucléaire, suc nucléaire, filament nucléaire, nucléole : tels sont, en résumé, les éléments essentiels qui composent le noyau; mais on ne saurait en séparer les deux sphères directrices, qui sont toujours très rapprochées de la surface du noyau et qui prennent, comme nous le verrons tout à l'heure, une part importante au phénomène le plus essentiel dont le noyau est le siège.

Son rôle. — Nous avons eu l'occasion de dire combien il est rare d'observer un protoplasme sans noyau. De cette association à peu près constante entre le noyau et le protoplasme on peut être tenté de conclure que le noyau joue un rôle important dans la nutrition du protoplasme; mais ce rôle, que divers botanistes ont cherché à mettre en évidence, est encore peu connu. On sait au contraire fort bien, et nous verrons tout à l'heure, quelle part prend le noyau au phénomène de la multiplication des cellules.

La membrane. — Il nous reste à étudier le troisième élément constitutif d'une cellule végétale complète, la *membrane*.

Sa composition chimique. — Si on cherche à déter-

miner la composition chimique de la membrane d'une cellule appartenant à une portion adulte et molle du corps de la plante, on reconnaît qu'elle est formée par une combinaison de carbone, d'hydrogène et d'oxygène : c'est une substance ternaire. Les poids d'hydrogène et d'oxygène qui entrent dans la constitution d'une molécule de cette substance sont dans le même rapport que ceux qui contribuent à former une molécule d'eau : elle peut être considérée, par suite, comme résultant de la combinaison de quelques atomes de carbone avec quelques molécules d'eau, ce qu'on exprime en disant qu'elle est un *hydrate de carbone*. Sa formule brute, déterminée par l'analyse élémentaire, est $C^6H^{10}O^5$. On lui donne le nom de *cellulose*. Pour s'en procurer une quantité considérable, il suffit de recueillir du coton, qui en est entièrement formé.

La cellulose est soluble dans le bleu céleste : c'est, comme on le sait, le liquide, d'un beau bleu, qu'on obtient en faisant passer à plusieurs reprises de l'ammoniaque sur de la tournure de cuivre, ce qui fournit une solution ammoniacale d'azotite de cuivre.

Sous l'action des acides étendus ou de certains chlorures, comme le chlorure de zinc, la cellulose se transforme en une autre substance ternaire possédant la même formule brute, mais jouissant de propriétés spéciales, et que nous apprendrons à connaître sous le nom d'amidon. Ainsi s'explique l'action du chlorure de zinc iodé ou chloro-iodure de zinc sur les membranes cellulosiques. Ce réactif les colore en bleu : c'est que le chlorure de zinc transforme la cellulose en amidon, qui se combine avec l'iode pour donner de l'iodure d'amidon, dont la couleur est bleue.

Les recherches récentes de M. Mangin ont montré que d'autres substances, appartenant au groupe des *composés pectiques*, s'ajoutent généralement à la cellulose pour former les membranes des cellules végétales.

Sa structure. — Quelle est la structure intime de la membrane cellulaire?

En observant, à un très fort grossissement, des coupes

transversales faites dans les membranes très épaissies de certaines cellules (*fig.* 9), on reconnaît qu'elles sont formées par une série de couches concentriques, alternativement claires et sombres, parce qu'elles sont inégalement réfringentes ; les deux couches extrêmes, la plus externe et la plus interne, sont toujours claires. Cette inégalité de réfringence paraît due à une inégale répartition de l'eau dans l'épaisseur de la membrane : les couches claires seraient pauvres en eau ; les couches sombres en renfermeraient, au contraire, en excès.

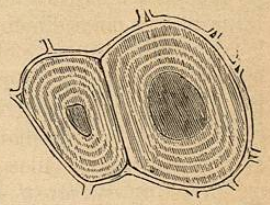

Fig. 9. — Coupe transversale de deux cellules à membranes très épaisses.

D'autres membranes (*fig.* 10), examinées de face, à un fort grossissement, présentent un aspect différent : elles manifestent l'existence de deux systèmes de stries, alternativement claires et sombres, se coupant sous un angle plus ou moins aigu, et qui correspondent vraisemblablement à deux systèmes de couches inégalement réfringentes, dirigées perpendiculairement à la surface de la membrane. Cette inégalité de réfringence doit être encore attribuée à une inégale répartition de l'eau. Il suffit de rapprocher cette observation de la précédente pour être amené à considérer chacune des couches concentriques, claires ou sombres, de la membrane cellulaire comme décomposée, à la façon d'un damier, en une multitude d'éléments de forme parallélipipédique, inégalement riches en eau et alternant suivant une loi régulière.

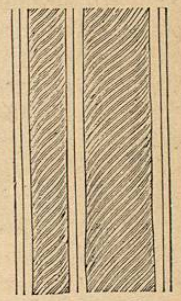

Fig. 10. — Membranes cellulaires à structure striée, vues de face.

Dans cette hypothèse, la structure de la membrane serait assez comparable à celle d'un cristal et, de fait, certaines membranes très épaisses, examinées entre les Nicols croisés, présentent le phénomène bien connu de la croix noire, qui

manifeste, comme on le sait, la biréfringence des corps cristallisés.

Nægeli a donné le nom de *micelles* aux éléments infiniment petits dont la juxtaposition formerait ainsi la membrane tout entière. Il a étendu, d'ailleurs, au protoplasme lui-même cette conception de la structure micellaire et admis que la substance vivante, dans toute son étendue, serait formée par l'association d'éléments comparables à des cristaux et susceptibles d'absorber une quantité plus ou moins forte d'eau.

Sa croissance. — En même temps que la cellule dont elle fait partie, la membrane s'accroît : elle augmente à la fois en surface et en épaisseur. Quel est le mécanisme de cet accroissement? Deux théories ont été proposées pour répondre à cette question.

Pour Nægeli, la membrane s'accroîtrait à la fois dans toutes ses parties; elle se laisserait pénétrer dans toute son épaisseur par les éléments nouveaux ; elle se nourrirait, en un mot, par *intussusception*. Les micelles anciens s'accroîtraient jusqu'à atteindre une certaine limite imposée à leur taille; en même temps, des micelles nouveaux se déposeraient, par une sorte de cristallisation, dans les intervalles des micelles anciens.

Pour Schmitz, Strasburger et quelques autres, la membrane s'accroîtrait simplement par un dépôt d'éléments nouveaux à la surface des éléments anciens : elle se nourrirait par *apposition*.

Wiesner a fait observer récemment que, si la théorie de l'apposition permet de comprendre aisément l'accroissement de la membrane en épaisseur, elle est insuffisante à expliquer son accroissement en surface. Il est donc revenu à l'idée de Nægeli. Mais, remarquant que tout accroissement soit de l'ensemble, soit d'une partie de l'être vivant, paraît généralement lié à un phénomène de multiplication, que toute cellule nouvelle, par exemple, provient de la multiplication d'une cellule préexistante, Wiesner a proposé d'attribuer aux corpuscules élémentaires ou micelles de Nægeli une individualité et une autonomie plus grandes; il les a considérés comme des éléments vivants, capables de se multiplier par bipartitions successives; à ceux de ces corpuscules qui entreraient dans la constitution du protoplasme il a donné le nom de *plasomes*, réservant celui de *dermatosomes* à ceux qui formeraient la membrane.

Origine des cellules végétales. — Nous connaissons maintenant dans ses grandes lignes l'organisation de la cellule à l'état statique. Mais, pas plus que l'être vivant tout entier dont elle fait partie, la cellule ne reste un seul instant identique à elle-même : elle se modifie constamment dans ses dimensions, dans sa forme, dans sa structure, dans la constitution chimique de ses divers éléments; en un mot elle *évolue*. Avant d'étudier les phases principales de cette évolution, voyons d'abord comment la cellule prend naissance.

Nous l'avons laissé pressentir tout à l'heure et il faut le dire tout de suite : il n'y a pas plus de génération spontanée de cellules qu'il n'y a de génération spontanée d'êtres vivants; toute cellule provient d'une cellule préexistante, qui s'est reproduite en lui donnant naissance.

Bipartition cellulaire. — Comment se fait la reproduction des cellules? Le mode qu'on observe le plus ordinairement est la division d'une cellule préexistante, ou *cellule mère*, en deux cellules nouvelles ou *cellules filles*; c'est le phénomène de la *bipartition cellulaire*. On voit d'abord le noyau de la cellule mère se diviser en deux noyaux nouveaux, qui viennent occuper deux pôles opposés à l'intérieur de cette cellule; puis une cloison de séparation apparaît entre ces deux noyaux et divise complètement le contenu de la cellule mère. La bipartition de la cellule comporte donc deux phases principales : 1° la *bipartition du noyau*; 2° le *cloisonnement*.

Division du noyau. — On donnait autrefois, du phénomène de la bipartition nucléaire, une description très simple (*fig.* 11) : le noyau, d'abord ovoïde, s'étranglerait vers son milieu; puis, l'étranglement s'accentuant davantage, les

deux moitiés du noyau ne seraient plus réunies que par un mince pédicule qui s'étirerait progressivement; enfin la rupture de ce pédicule déterminerait la formation de deux noyaux indépendants, qui ne tarderaient pas à s'écarter l'un de l'autre et à reprendre les dimensions et la forme du noyau primitif. La division du noyau serait *directe*.

Fig. 11. — Division directe du noyau (schéma). — 1, 2, 3, 4, quatre phases successives de la division.

Les progrès qui ont été faits récemment dans la connaissance de la structure du noyau ont conduit à observer de plus près le phénomène de sa bipartition. On a constaté que, dans la plupart des cas, la description précédente est en défaut : à la division directe il faut substituer un phénomène beaucoup plus complexe, qu'on a désigné du nom de *division indirecte*. C'est encore aux travaux de MM. Strasburger, Flemming et Guignard que nous devons la plupart des connaissances acquises aujourd'hui sur ce point.

Pour examiner dans tous ses détails le phénomène de la division indirecte, on doit étudier des coupes minces d'organes fixés dans leur structure et colorés par des réactifs spéciaux; il est donc manifestement impossible de suivre les modifications continues d'un seul et même noyau; il faut rapprocher les aspects différents que présentent, au cours de leur division, des cellules aussi comparables que possible et reconstituer, par la pensée, la succession des états par lesquels doit passer une d'entre elles.

Le signal de la bipartition nucléaire est donné par les sphères directrices. Etroitement rapprochées l'une de l'autre quand le noyau est à l'état de repos, elles s'écartent lentement et se dirigent vers deux points opposés, qu'on peut dès lors appeler les pôles de la division nucléaire. Autour de chacune d'elles, des granulations protoplasmiques, réfractaires aux réactifs colorants, ne tardent pas à s'orienter suivant certaines lignes, formant des stries qui divergent dans toutes les directions, à la façon des rayons d'une sphère. Ainsi se constituent, au sein du protoplasme, deux figures caractéris-

tiques qui offrent une certaine ressemblance avec des étoiles et qu'on appelle les *asters*.

Un peu plus tard, le filament nucléaire se contracte à l'intérieur de sa membrane, s'épaissit et rapproche ses tours; puis il se divise transversalement en une série de tronçons qui présentent les formes les plus diverses et les plus irrégulières, celles d'un U, d'un V, d'un Y, etc.; le nombre de ces tronçons paraît déterminé pour une cellule occupant une position donnée dans une espèce végétale donnée. La constance de ce nombre a conduit à se demander si les tronçons, en lesquels le filament se décompose au moment de la bipartition nucléaire, ne seraient pas préformés dans le noyau à l'état de repos. La question ne paraît pas avoir reçu, d'une manière certaine, une solution affirmative; mais, si on peut accepter cette hypothèse, on voit que le filament nucléaire doit être considéré comme résultant de la juxtaposition d'un nombre déterminé de tronçons ajustés bout à bout.

Cependant la membrane nucléaire se dissout lentement dans le protoplasme ambiant, puis disparaît complètement : le protoplasme se fond avec le suc nucléaire. Les rayons des asters qui sont dirigés vers le noyau s'allongent progressivement, puis s'étendent entre les tronçons résultant de la segmentation du filament et se raccordent d'un aster à l'autre. Ainsi se trouve constitué, à l'intérieur de la cellule mère, une sorte de fuseau dont les extrémités correspondent aux sphères directrices. Comme les stries qui constituent ce fuseau fixent difficilement les réactifs colorants, on lui donne le nom de *fuseau achromatique*.

Au bout de quelque temps, les tronçons du filament nucléaire se rassemblent dans un plan qui coïncide sensiblement avec l'équateur du fuseau achromatique. Dans ce plan, chaque tronçon s'oriente en général de manière à tourner vers le centre sa partie courbée. Ainsi se forme, vers le milieu de la cellule mère, une sorte de plaque dans laquelle s'est, en quelque sorte, condensée presque toute la substance du noyau. L'existence de cette plaque, visible à de faibles grossissements, avait été signalée bien avant que le phéno-

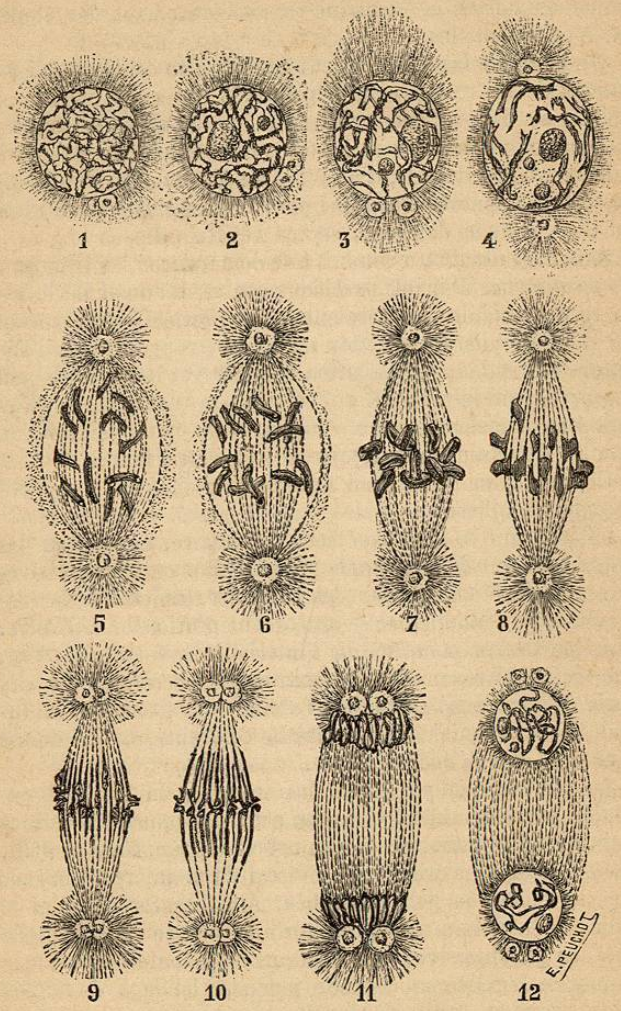

Fig. 12. — Phases successives de la division indirecte du noyau.

mène de la division nucléaire fût connu dans tous ses détails : on lui donnait, dès lors, le nom de *plaque nucléaire*.

Plus tard, chacun des tronçons qui composent la plaque nucléaire subit une modification importante (*fig.* 13) : il se segmente dans le sens longitudinal, se fend, en d'autres termes, de manière à se diviser en deux tronçons nouveaux, d'égale longueur. La division de chaque tronçon paraît commencer, en général, dans sa région coudée ; puis la fente qui s'est produite en ce point se poursuit de proche en proche et s'étend bientôt d'un bout à l'autre du tronçon, qui est remplacé par deux tronçons parallèles, emboîtés l'un dans l'autre. Si on examine de plus près encore la constitution du tronçon au moment où va commencer sa segmentation longitudinale, on observe que la série unique de corpuscules chromatiques qu'il renfermait primitivement se trouve alors remplacée par une double série : il est probable que chaque corpuscule se divise transversalement en deux corpuscules nouveaux, par une sorte d'étranglement. Cette segmentation longitudinale de chaque tronçon du filament nucléaire a évidemment pour effet de le diviser en deux parties rigoureusement équivalentes. Supposons en effet que ce tronçon n'ait pas un calibre absolument constant dans toute sa longueur, qu'il présente, par exemple, quelques nodosités ; une segmentation transversale, se produisant vers le milieu de la longueur du tronçon, pourrait déterminer deux segments assez inégaux, l'un chargé de nodosités, l'autre en renfermant moins ou même n'en renfermant pas ; une segmentation longitudinale, au contraire, portant sur toutes les parties du tronçon, répartit également entre les deux segments nouveaux toutes les irrégularités que pouvait présenter le tronçon primitif. C'est ainsi qu'en coupant transversalement une corde nouée, on peut la diviser en deux parties très dissemblables, tandis que, si l'on arrivait

Fig. 13. — Segmentation longitudinale d'un tronçon du filament nucléaire (schéma). — 1, 2, 3, 4, quatre phases de la segmentation.

à la fendre d'un bout à l'autre en deux moitiés symétriques, le partage serait beaucoup plus rigoureux.

C'est au moment où vient de se produire la segmentation longitudinale des tronçons chromatiques que le phénomène de la bipartition nucléaire atteint ce qu'on pourrait appeler son point culminant : la substance qui composait le noyau primitif est alors, en quelque sorte, pulvérisée.

Bientôt on voit les deux segments qui résultent de la division d'un tronçon s'écarter l'un de l'autre, puis glisser lentement le long du fil achromatique qui passe par sa partie coudée : l'un d'eux se dirige vers l'un des asters, l'autre vers l'aster opposé. Le même phénomène affectant simultanément tous les segments du filament nucléaire, on observe bientôt, vers le milieu de la distance qui sépare chaque aster du plan de la plaque nucléaire, un groupe de segments en voie de déplacement vers l'aster ; tous ces segments paraissent orientés d'une manière uniforme : s'ils présentent, par exemple, la forme de la lettre U, la partie coudée de chaque segment est tournée vers l'aster, les deux branches regardent l'équateur du fuseau achromatique.

Pendant ce temps, la sphère directrice qui occupait le centre de l'aster s'en est écartée légèrement, au sein du protoplasme, et s'est dédoublée en deux sphères directrices nouvelles.

Les segments poursuivent leur trajet au sein du protoplasme et, guidés par les fils du fuseau achromatique, ils ne tardent pas à atteindre le centre de l'aster. Arrivés à ce point, ils s'ajustent bout à bout et reconstituent bientôt un nouveau filament nucléaire, pelotonné sur lui-même, dont les tours se rapprochent et peuvent entrer en contact les uns avec les autres : si le noyau de la cellule mère renfermait un réseau, au lieu d'un simple filament, c'est un réseau qui se trouve reconstitué à chaque pôle de la bipartition.

Plus tard, une fine membrane se dépose autour du nouveau filament nucléaire et isole du protoplasme ambiant une substance plus homogène, plus hyaline, qui prend tous les caractères d'un suc nucléaire ; les deux sphères directrices nouvelles viennent s'appliquer contre cette fine membrane. Ainsi se trouve reconstitué de toutes pièces un noyau nouveau, semblable au noyau primitif. Si on se rappelle que la segmentation longitudinale des tronçons du filament primitif a eu pour effet de diviser la substance de ce filament en deux moitiés rigoureusement équivalentes, et que les deux segments fournis par chaque tronçon se partagent toujours entre les deux noyaux nouveaux, on voit que la division du noyau consiste essentiellement en une bipartition rigoureuse de son filament constitutif.

Comment se comportent, au cours de la bipartition nucléaire, les nucléoles contenus dans le noyau de la cellule mère? On les voit disparaître peu de temps après la résorption de la membrane nucléaire, sans qu'il soit possible de dire exactement ce que deviennent les produits de leur destruction. On voit, au contraire, reparaître de nouveaux nucléoles à l'intérieur des noyaux qui proviennent de la bipartition, sans qu'il soit possible de préciser leur origine. Que devient, pendant le temps qui sépare ces deux phases, la substance constituante des nucléoles? Peut-être forme-t-elle pour le noyau une sorte de réserve nutritive qui serait précisément employée au phénomène de la bipartition ; mais il n'est pas possible, actuellement, de le dire avec certitude.

L'étude un peu minutieuse que nous venons de faire de la bipartition nucléaire nous montre que ce phénomène complexe peut être, au moins théoriquement, décomposé en une série nombreuse de stades plus ou moins distincts. Il faut dire, il est vrai, que cette succession est sujette à certaines variations, suivant les cellules dans lesquelles on la considère. Quoi qu'il en soit de ces variations, les stades extrêmes sont distribués symétriquement par rapport à un stade moyen, celui de la segmentation longitudinale, qui marque le point culminant de la bipartition.

De cette étude, nous devons retenir surtout deux remarques essentielles. Première remarque : la segmentation longitudinale des tronçons du filament nucléaire a pour résultat de le diviser en deux moitiés rigoureusement équivalentes.

Deuxième remarque : ce n'est pas, à proprement parler, le noyau qui prend l'initiative de la bipartition ; c'est le protoplasme qui, par l'intermédiaire d'éléments différenciés dans son sein, les sphères directrices, en donne le premier signal. Ainsi se manifeste l'indépendance du protoplasme et du noyau.

On réunit l'ensemble des phénomènes qui caractérisent la bipartition nucléaire sous le nom de *caryokinèse*, terme destiné à rappeler le déplacement qu'éprouve la substance nucléaire au cours de cette bipartition. Ce qui donne à l'étude de ces phénomènes un intérêt très grand, c'est que la nature animale ou végétale des cellules dans lesquelles on les étudie ne leur imprime pas de différences sensibles. Cette identité dans le processus de phénomènes aussi généraux est bien faite pour combler entre les deux « règnes » le fossé que les anciens naturalistes croyaient si profond.

TROISIÈME LEÇON

La différenciation cellulaire. Les grandes divisions du règne végétal.

La seconde partie de notre deuxième leçon a été consacrée à l'étude des phénomènes de la caryokinèse, qui intéressent au même titre les cellules animales et les cellules végétales. Cette étude appartient donc au domaine de la biologie générale. Il nous faut maintenant quitter ce domaine pour examiner plus spécialement, chez la cellule végétale, les phénomènes qui suivent la division du noyau.

Nous avons dit que la division d'une cellule initiale, ou *cellule mère*, en deux cellules nouvelles, ou *cellules filles*, comporte ici deux phases : la bipartition du noyau et le cloisonnement. C'est l'étude du cloisonnement qui doit nous occuper au début de cette leçon.

Le cloisonnement (*fig.* 14). — Au moment où les noyaux des deux cellules filles viennent de se constituer, ils sont encore reliés l'un à l'autre par les fils du fuseau achromatique, qui ont servi, comme nous le savons, à guider les segments du filament nucléaire dans leur déplacement au sein du protoplasme (1).

Si la division du noyau n'est pas suivie de cloisonnement, ces fils ne tardent pas à s'effacer, leur nombre diminue progressivement et bientôt disparaît toute trace des phénomènes qui ont accompagné la formation des noyaux nouveaux.

Si, au contraire, une cloison doit apparaître entre ces derniers, on voit bientôt se former de nouveaux fils achromatiques entre ceux qui avaient pris part à la caryokinèse ; il s'en forme aussi d'autres vers l'extérieur du fuseau, qui se renfle dans le plan de son équateur et finit par atteindre les limites extérieures de la cellule mère, c'est-à-dire la membrane cellulosique (2).

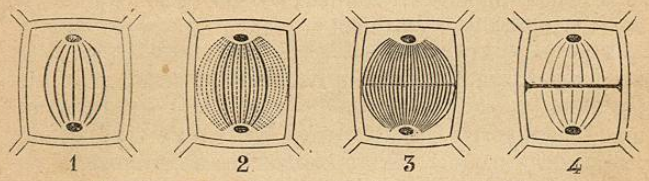

Fig. 14. — Principales phases du cloisonnement (schéma).

En même temps se dépose vers le milieu de chaque fil une sorte de granulation de nature albuminoïde, se colorant, par exemple, en jaune par l'iode : sur une coupe longitudinale du fuseau achromatique, toutes ces granulations, situées à peu près dans un même plan, donnent l'aspect d'une droite pointillée, perpendiculaire à la ligne des pôles du fuseau (3).

Bientôt les nodosités albuminoïdes, augmentant de vo-