

molécules d'eau, on trouve que sur une surface de 0,1 de micromillimètre carré il y a place pour 25,000 micelles. Dans un corpuscule de la grosseur d'un filament spermatique, il y a donc toujours place pour un nombre considérable de groupes de micelles ou d'idioblastes. De ce côté, la théorie ne rencontre donc nulles difficultés.

Les raisonnements logiques ont pour le naturaliste une valeur d'autant plus grande qu'ils sont mieux en harmonie avec les faits. Or les observations dont je vais parler sont favorables à l'hypothèse d'après laquelle les idioblastes se multiplient par accroissement et autodivision.

Il n'y a pas que la cellule en tant qu'organisme élémentaire qui ait la propriété de se diviser ; il en est de même, comme on peut l'observer, pour des éléments extrêmement petits que renferme la cellule. C'est ainsi que les chloroplastes, les amyloplastés et les chromoplastes se multiplient par étranglement ; les corpuscules polaires, qui sont presque les éléments les plus minuscules que l'on puisse percevoir au microscope, se divisent aussi par étranglement lors de la division nucléaire ; les segments nucléaires eux-mêmes se scindent longitudinalement en segments filles, et ce phénomène est dû, comme on l'admet généralement, à ce que des unités qualitativement différentes, les microsomes mères, sont alignées les unes derrière les autres dans le segment nucléaire mère et se divisent toutes par étranglement en deux microsomes-filles qui se répartissent uniformément ensuite sur les segments nucléaires filles.

Bien que dans toutes ces divisions il ne s'agisse pas d'idioblastes, que nous devons admettre être beaucoup moins volumineux encore, cependant nous devons considérer ces éléments comme des groupes d'idioblastes. L'importance qu'ont les observations que je viens de relater pour notre théorie consiste en ce qu'elles nous apprennent que dans la cellule de petites masses de matière sont capables de s'accroître par elles-mêmes et de se multiplier par division.

Enfin, il est encore une dernière hypothèse qui découle de la théorie des idioblastes et que je dois brièvement mentionner.

Si un organisme déterminé se compose d'une somme d'ébauches ou de tendances distinctes, les diverses tendances doivent se développer régulièrement les unes à la suite des autres dans le cours du développement. Les mots sont le résultat de la succession régulière de certaines lettres, et les phrases sont le résultat de la succession régulière de certains mots ; de même les harmonies sont des enchaînements de sons déterminés, et l'ensemble d'une œuvre musicale n'est qu'un enchaînement d'harmonies déterminées. De même aussi nous devons admettre que dans l'ébauche totale les nombreux idioblastes sont ordonnés régulièrement. Cette partie de la théorie est celle que nous nous représentons le plus difficilement.

Je viens de faire connaître quelques principes logiques d'une théorie physiologo-moléculaire de la génération et de l'hérédité qui, d'une façon générale, est conforme aux idées de NÆGELI. L'avenir aura à apporter, par l'observation et l'expérimentation, la preuve matérielle de l'exactitude de ces hypothèses. De même que l'observation a démontré le bien-fondé de la théorie cellulaire, à savoir que tous les organismes, tant végétaux qu'animaux, sont formés d'unités élémentaires, de même les faits prouveront le bien-fondé de la théorie de l'hérédité. Déjà de nombreuses tentatives ont été faites dans cette direction. Elles se rapportent aux phénomènes observés lors de la fécondation des Animaux, des Végétaux et des Infusoires.

III. — Le noyau en tant que porteur des tendances héréditaires

L'étude des phénomènes de la fécondation et les réflexions théoriques qui en découlent nous ont amené, STRASBÜRGER et moi, à émettre cette hypothèse que les noyaux sont les porteurs des caractères héréditaires ; nous avons ainsi attribué à la substance nucléaire, un rôle différent de celui du protoplasme. Peu de temps auparavant, NÆGELI (IX, 20), en se fondant uniquement sur des considérations théoriques logiques, était déjà arrivé à supposer qu'il faut distinguer dans les cellules sexuelles deux espèces de protoplasme de nature différente : l'une, qui existe en quantités à peu près égales dans la cellule-œuf et dans la cellule spermatique, et qui transmet les caractères héréditaires ; l'autre, qui est accumulée en grande quantité dans l'œuf et dans laquelle s'accomplissent essentiellement les phénomènes de nutrition. La première, il l'appela *idioplasme* ; la seconde, *plasma de nutrition*. A la première il attribua une structure plus solide, plus fixe, avec union plus stable des micelles ; à la seconde, il attribua une structure plus lâche, une plus grande abondance d'eau et une union plus lâche, moins stable, des micelles. Il admit que l'idioplasme est disposé en un réseau délicat, répandu dans toute l'étendue du corps.

Pour qui admet qu'il est légitime de supposer l'existence d'un idioplasme particulier, il ne pourra manquer de venir à la pensée que la substance nucléaire est la substance héréditaire. Cette théorie a l'avantage de donner une portée effective, réelle à l'idée exclusivement logique de NÆGELI, idée qui, comme telle, est inaccessible à l'observation et, par conséquent, incapable de progresser, c'est-à-dire stérile. Cette théorie a l'avantage d'entrer dans le domaine de l'observation et de la discussion scientifiques et, par conséquent, d'être féconde.

Quatre principes plaident en faveur de l'hypothèse d'après laquelle le noyau est le porteur des tendances héréditaires. Les voici :

1° La substance héréditaire mâle et la substance héréditaire femelle sont équivalentes ;

2° La substance héréditaire, en se multipliant, se répartit uniformément sur toutes les cellules dérivant de l'œuf fécondé ;

3° La substance héréditaire est empêchée d'augmenter d'une génération à l'autre ;

4° Le protoplasme est isotrope.

1° La substance héréditaire mâle et la substance héréditaire femelle sont équivalentes

C'est une vérité qui s'impose par elle-même et qui a donc la valeur d'un axiome, que la cellule-œuf et la cellule spermatique sont des unités correspondantes, douées l'une comme l'autre de tous les caractères héréditaires de l'espèce et transmettant, l'une comme l'autre, à l'enfant la même quantité de substance héréditaire. L'enfant est généralement un produit mixte de ses deux parents ; il reçoit de son père et de sa mère des quantités égales d'idioblastes ou de particules actives, qui sont porteurs des caractères héréditaires.

Cependant c'est chez les organismes les plus inférieurs seulement que les cellules sexuelles ont le même volume et la même composition matérielle. Chez les organismes supérieurs elles offrent, à ce double point de vue, les différences les plus considérables. C'est ainsi que dans les cas extrêmes un spermatozoïde représente à peine, en volume, la cent millionième partie de l'œuf, parfois même moins encore. Or on ne peut admettre que les porteurs des tendances héréditaires, que l'on doit *a priori* supposer égales en nombre et en caractères, puissent présenter de semblables différences dans leur volume. Le fait que deux cellules de taille absolument différente possèdent la même puissance héréditaire s'explique très simplement si l'on admet qu'elles renferment côte à côte des substances de valeur très inégale pour l'hérédité, les unes idioblastiques et les autres non idioblastiques.

Nous devons donc rechercher ce qui est l'idioplasme dans l'œuf et dans le spermatozoïde et le séparer des autres substances non idioplasmiques.

Tout d'abord, on ne peut douter que les substances de réserve incluses dans l'œuf, les gouttelettes de graisse, les lamelles vitellines, etc., ne doivent être rangées dans la catégorie des substances inactives en ce qui concerne l'hérédité. Mais, si nous faisons même abstraction complète de ces substances, les quantités des autres substances contenues dans l'œuf et le

spermatozoïde ne sont pas encore égales. En effet, si nous enlevons d'un œuf volumineux toutes ses inclusions vitellines, la quantité de protoplasme restant est encore beaucoup plus grande que toute la substance d'un spermatozoïde : le protoplasme ne répond donc pas non plus à la condition que nous venons d'indiquer. Cette condition n'est réalisée que par *un seul* élément de l'œuf et du spermatozoïde, par leur substance nucléaire.

L'étude des phénomènes de la fécondation dans le règne animal et dans le règne végétal nous en fournit la preuve irréfutable.

Comme nous l'avons dit dans le chapitre VII, l'essence de la fécondation consiste en ceci qu'un noyau dérivant du spermatozoïde et un noyau dérivant de la cellule-œuf, un noyau spermatique et un noyau ovulaire, accompagnés l'un et l'autre d'un corpuscule polaire, se rapprochent et se fusionnent en un noyau de segmentation, dont procèdent, par divisions successives, tous les noyaux de l'organisme adulte. Chez les Infusoires, deux individus s'accroissent même transitoirement pour échanger leurs noyaux migrants, qui se fusionnent ensuite avec les noyaux stationnaires des conjugués.

Pour autant que le montre l'observation la plus minutieuse, le noyau spermatique et le noyau migrant fournissent au noyau de segmentation absolument la même quantité de substance, aussi bien de substance polaire, que je considère comme une partie constitutive du noyau, que de nucléine.

FOL (VII, 14) a démontré l'équivalence de la substance polaire du noyau spermatique et du noyau ovulaire. Quant à l'équivalence de la nucléine de ces éléments, les observations de VAN BENEDEN (VI, 4 b) sur la fécondation de l'*Ascaris megalocephala* la prouvent d'une façon irréfutable.

Nous tirons donc des faits établis par l'étude de la fécondation cette importante conclusion :

Puisque lors de la fécondation les substances nucléaires (nucléine et substance polaire) sont les seules substances équivalentes en masse qui s'unissent pour former une nouvelle ébauche, le noyau de segmentation, ce sont donc aussi les seules qui puissent constituer les substances héréditaires que les parents transmettent à l'enfant. Comment la nucléine et la substance polaire se comportent-elles vis-à-vis du problème de l'idioplasme ? Pour le moment, nous ne pouvons répondre à cette question.

2° La substance héréditaire, en se multipliant, se répartit uniformément sur toutes les cellules dérivant de l'œuf fécondé

De nombreux faits relatifs à la génération et à la régénération exigent absolument que la substance héréditaire, en se multipliant, se répartisse

uniformément sur les cellules qui dérivent de l'œuf fécondé. Je citerai d'abord ce simple fait que tout organisme engendre de nombreux œufs ou de nombreux spermatozoïdes, qui renferment à leur tour la même quantité de substance héréditaire que les cellules sexuelles dont l'organisme est issu.

Cette hypothèse est encore nécessaire pour expliquer ce fait d'observation que chez une foule de végétaux ainsi que chez une foule d'animaux

inférieurs presque tout complexe cellulaire du corps, même le plus minime, est en état de reproduire le tout.

Si l'on hache en très menus morceaux une Mousse de l'espèce *Funaria hygrometrica* et qu'on les dissémine sur de la terre humide, chaque fragment, même le plus petit, régénère une mousse complète. L'Hydre d'eau douce peut être coupée en petits morceaux, et chacun de ceux-ci se retransforme en une Hydre complète avec tous ses caractères. Un Arbre peut, en les points les plus variables, former des bourgeons par prolifération de cellules végéta-

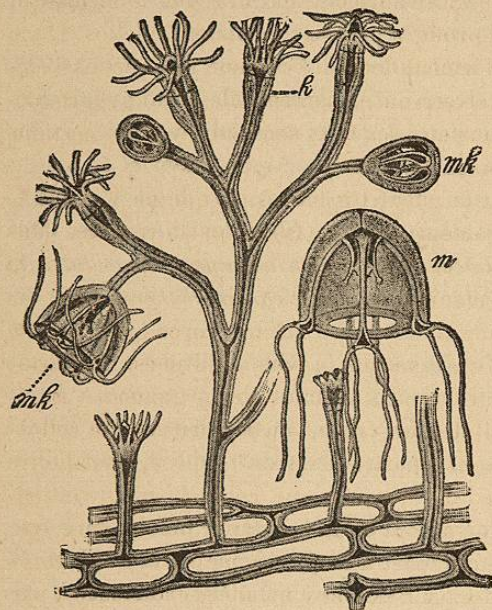


FIG. 168. — *Bougainvillea ramosa*. D'après LANG. h, hydranthes qui engendrent des bourgeons médusoïdes (nourrices) mk; m, méduse de *Margelis ramosa* libre.

tives. Chacun de ces bourgeons se développe en une pousse qui, détachée de l'arbre et plantée en terre, développe des racines et devient un Arbre complet. Chez les Cœlentérés, une foule de Vers et de Tuniciers, il s'accomplit une multiplication asexuelle, végétative, semblable. A peu près en tout point du corps, il se forme des bourgeons et chacun d'eux peut devenir un nouvel individu. Chez *Bougainvillea ramosa* par exemple (Fig. 168), il se forme de nouveaux individus non seulement comme branches latérales du polype hydroïde, mais aussi aux dépens de stolons, qui se ramifient sur une surface quelconque et qui servent à fixer le polype.

En troisième lieu, une foule de phénomènes de régénération d'organes perdus montrent que dans la cellule, indépendamment des caractères qui se manifestent ouvertement, sommeillent encore des caractères latents, qui peuvent se manifester dans des circonstances anormales.

Une branche de Saule détachée de l'arbre et déposée dans l'eau développe des cellules qui forment des racines à son extrémité inférieure et qui proviennent, par conséquent, de cellules qui, dans le plan d'organisation du tout primitif, avaient à remplir une tout autre fonction. Elles acquièrent donc une fonction appropriée aux circonstances nouvelles, ce qui prouve qu'elles en contenaient la tendance, l'ébauche. Inversement aussi des racines détachées de la plante peuvent se transformer en bourgeons foliacés, qui donnent même naissance à des produits sexuels mâles et femelles. Dans ce cas, des cellules sexuelles se forment donc directement aux dépens d'éléments cellulaires d'une racine, et servent, comme telles, à la reproduction du tout. LOEB (IX, 17) a constaté des faits semblables chez certains polypes hydroïdes.

Les botanistes se rallient pour la plupart à la théorie que DE VRIES (IX, 30) a défendue, encore récemment, contre WEISMANN et qu'il a résumée dans cette proposition : *Toutes les cellules, ou du moins la plupart des cellules du corps d'un végétal renferment à l'état latent tous les caractères héréditaires de l'espèce. On peut en dire autant des animaux inférieurs.* En ce qui concerne les animaux supérieurs, on ne peut sans doute prouver qu'il en est de même; cependant il n'en faut pas conclure que les cellules des organismes supérieurs diffèrent à ce point des cellules des organismes inférieurs que celles-ci contiendraient à l'état latent tous les caractères de l'espèce, c'est-à-dire l'entière de la substance héréditaire, tandis que celles-là n'en contiendraient qu'une partie. En effet, on a tout autant de droit de conclure que si chez les animaux supérieurs la plupart des cellules ne peuvent développer leurs caractères latents, cela dépend des circonstances extérieures, par exemple de la grande différenciation du corps de la cellule dans lequel est logée la substance héréditaire, ainsi que d'autres circonstances semblables.

JOH. MÜLLER (IX, 18) avait déjà soulevé cette question : « Comment se fait-il, disait-il, que certaines cellules du corps, semblables aux autres et à la première cellule du germe, ne peuvent cependant engendrer que des cellules semblables à elles-mêmes, mais ne peuvent devenir le germe d'un organisme tout entier? Pourquoi des cellules épidermiques peuvent-elles former, par assimilation de la matière, de nouvelles cellules épidermiques et les cellules cartilagineuses, de nouvelles cellules cartilagineuses, alors qu'elles ne peuvent devenir de petits embryons ou des bourgeons? » Et il répondait à cette question : « Ceci peut dépendre de ce que ces cellules, quoique ayant la force nécessaire à la formation du tout, ont cependant, par une métamorphose de leur substance en substance cornée ou en cartilage, subi un arrêt tel qu'elles perdent bientôt leur force de germe de l'organisme tout entier et qu'une fois mortes elles se désquament ou que, détachées du tout, elles ne peuvent régénérer le tout. »

D'ailleurs, en ce qui concerne les animaux supérieurs on peut faire telle hypothèse que l'on veut, il suffit, pour le but que nous nous proposons, que chez les végétaux et chez les animaux inférieurs toutes les cellules provenant de l'œuf renferment la même quantité de substance héréditaire. Cette substance doit donc, avant chaque division, se multiplier par accroissement et devenir dans chaque cellule deux fois plus considérable qu'au moment de la formation de la cellule. Tous les idioblastes doivent se diviser et se répartir sur les cellules filles d'une façon qualitativement et quantitativement égale.

NÄGELI (IX, 20, p. 531) a développé la même idée en disant : « L'idioplasme se multiplie continuellement au fur et à mesure qu'il se divise lors des divisions cellulaires qui déterminent l'accroissement de l'organisme ; il se divise en autant de parties qu'il en faut pour les différentes cellules. » Il en résulte donc que « toute cellule de l'organisme est idioplasmiquement capable de devenir le germe d'un nouvel individu. Il dépend de la constitution du plasma de nutrition que ce pouvoir puisse ou ne puisse pas se réaliser. »

Si de ce second point de vue nous envisageons le processus vital des cellules, alors il ne peut y avoir de doute que, de tous les éléments de la cellule que nous connaissons, seule la substance nucléaire satisfait à toutes les conditions que nous venons de faire valoir et qu'elle y satisfait complètement.

Dans toutes les cellules des végétaux et des animaux, le noyau présente une uniformité étonnante. Si nous faisons abstraction de quelques exceptions qui méritent une explication spéciale, le noyau nous apparaît dans toutes les cellules d'un même organisme toujours sous une même forme et sous un même volume, tandis que le protoplasme est soumis à d'extraordinaires variations de volume. Dans une cellule endothéliale, une cellule musculaire ou une cellule tendineuse, le noyau présente sensiblement la même structure et la même quantité de substance que dans une cellule épidermique, une cellule hépatique ou une cellule cartilagineuse ; par contre, le protoplasme, dans le premier cas, n'existe qu'à l'état de traces, tandis que dans le second cas il est très abondant.

Mais plus importants encore sont les phénomènes compliqués de la division nucléaire, dont la signification devient très nette dans notre théorie. La disposition de la substance nucléaire en filaments consistant en petits microsomes disposés les uns à la suite des autres, la formation des anses et du fuseau, la bipartition longitudinale des filaments et leur mode de répartition sur les noyaux filles, tous ces phénomènes n'ont manifestement pour but que de diviser la substance nucléaire en deux parties égales et de la répartir uniformément entre les deux cellules filles.

En se plaçant à un autre point de vue que nous, Roux a déjà considéré avec raison « les figures de la division nucléaire comme des mécanismes qui permettent au noyau de diviser non seulement sa masse, mais la masse et la nature de ses diverses qualités ». « Le phénomène essentiel de la division nucléaire est la division des microsomes maternels ; tous les autres phénomènes ont pour but d'amener l'un des deux microsomes filles issus de la division d'un même microsome mère, dans le centre de l'une des deux cellules filles, et l'autre microsome fille, dans le centre de l'autre cellule fille. » Remplaçons les mots « microsome mère » par le mot « idioblaste » et nous aurons rattaché le processus de la segmentation nucléaire à la théorie de l'hérédité.

La signification de la substance nucléaire comme substance héréditaire nous explique aussi pourquoi cette substance se soustrait mieux aux phénomènes grossiers de la nutrition qui s'accomplissent dans le protoplasme et, pour se mieux protéger, s'enferme dans une vésicule pourvue d'une membrane propre.

3° La substance héréditaire est empêchée d'augmenter d'une génération à l'autre

Je considère comme une preuve importante en faveur de notre hypothèse ce fait que dans la génération sexuelle la substance héréditaire est empêchée d'augmenter d'une génération à l'autre.

Conformément à l'essence même du processus de la division nucléaire, toute cellule contient la même quantité de substance nucléaire que l'œuf fécondé A dont elle dérive. Par conséquent, si deux cellules sexuelles se réunissent comme telles, le produit de la génération B contiendrait deux fois autant de substance nucléaire qu'en contenait la cellule A, qui nous sert de point de départ. Après une nouvelle copulation, la cellule C, produit de la troisième génération sexuelle, contiendrait de nouveau deux fois autant de substance nucléaire que B et, par conséquent, quatre fois autant que A et ainsi de suite, de telle sorte qu'à chaque nouvelle génération par fécondation la quantité de substance nucléaire augmenterait en progression géométrique. Or, dans la nature, cette augmentation est empêchée.

Ce que nous venons de dire serait applicable à l'idioplasme si l'idioplasme se transmettait entièrement à toute cellule et doublait à chaque génération par fécondation. Cette circonstance en elle-même ne modifierait pas cependant la nature même de l'idioplasme. Seulement, toutes les tendances héréditaires, au lieu d'être représentées deux fois, le seraient quatre fois, huit fois ou davantage. L'augmentation de la quantité d'iodo-