sexuelle, l'ovule a la forme d'un sphéroïde casé dans un ovisac de l'ovaire qui lui sert de réceptacle jusqu'au moment de la ponte ovarienne. Entouré d'une ou plusieurs enveloppes, il présente un orifice, le micropyle, dans lequel pénétrera le spermatozoïde; il possède un protoplasme, un noyau, un centrosome. Le centrosome s'observe à certaines périodes près de la vésicule germinative; il disparaît d'ordinaire au moment de la maturation de l'œuf. Sa disparition met la cellule ovulaire dans l'impossibilité de subir une division spontanée. Il faudra, pour que l'ovule se divise et prolifère, qu'un nouveau centrosome lui soit apporté par un spermatozoïde. Le noyau de l'ovule occupe à peu près la partie médiane de la cellule. A

l'époque de la maturation, il perd une partie de sa chromatine. Nous verrons plus loin dans quelle proportion le cytoplasme ou vitellus revêt des apparences variant avec les qualités du deutoplasme ou jaune de l'œuf. Ce cytoplasme offre une sorte de structure alvéolaire formée de granules ou microsomes, enfouis dans une substance fondamentale claire et homogène. Les corps deutoplasmiques renfermés dans le cytoplasme (protoplasme cellulaire) ont une composition chimique variable et contiennent, à côté des matières protéiques, des nucléoalbumines associées à des substances grasses et à des hydrocarbures. Le deutoplasme est en général plus lourd que le protoplasme, de telle sorte que, lorsque le jaune est accumulé dans un hémisphère, il détermine par sa pesanteur la position de l'axe de l'œuf. Les enveloppes de l'œuf sont au nombre de trois : la membrane vitelline, sécrétée par l'ovule; le chorion, formé par l'activité du follicule maternel; les enveloppes accessoires, fournies par l'oviducte après que l'œuf a quitté l'ovaire.

Le spermatozoïde est aussi une cellule dérivée, comme l'élément femelle, de l'épithélium germinatif de l'éminence sexuelle. Considéré depuis deux cents ans comme un animalcule parasite, il ne fut rattaché au groupe des éléments cellulaires que par les travaux de Kölliker et surtout de Sweigger-Seidel et La Valette Saint-Georges (1865).

Dans sa forme flagellée, le spermatozoïde présente 4 parties (fig. 38).

1° Le noyau, qui constitue la partie principale de la tête, est formé d'une masse de chromatine entourée d'une mince enveloppe cytoplasmique;

2º Le sommet, situé au-dessus du noyau dont il semble dérivé;

3º La pièce intermédiaire, qui prend bien les couleurs acides et donne attache à la queue;

4º La queue ou *flagellum*, formée en partie de substance cytoplasmique, dérivée de la sphère d'attraction de la cellule maternelle. Elle consiste en un filament axial fibrillaire entouré d'une enveloppe. On suit le trajet de ce filament axial jusque dans la pièce intermédiaire où il se termine par un petit bouton qui représente vraisemblablement le centrosome. Ce flagellum du spermatozoïde est l'organe locomoteur

----E

Fig. 38. — Spermatozoïde (d'après Wilson).

A, sommet; — B, noyau compact formé de chromatine riche en phosphore; — C, extrémité renflée du filament axial représentant probablement le centrosome de la cellule; — D, pièce intermédiaire; — E, gaine protoplasmique du filament axial; — F, filament axial; — G, pièce terminale.

dont les mouvements vibratiles emportent le noyau et le centrosome jusque dans l'œuf ovulaire. On trouve les éléments constitutifs essentiels de cette forme du spermatozoïde flagellé chez tous les métazoaires, depuis les cœlentérés jusqu'à l'homme, avec des modifications plus ou moins marquées suivant les espèces.

Origine et maturation des cellules-germes. — L'ovule et le spermatozoïde prennent naissance aux dépens des cellules-germes primordiales qui de bonne heure, dans l'embryon, se distinguent des cellules somatiques. Leur différenciation sexuelle ne semble pas être le résultat d'une prédisposition antécédente, mais plutôt la conséquence d'une stimulation extérieure. Maupas a montré que, chez les rotifères, une élévation de température donnait naissance à des mâles, un abaissement thermique,

à des femelles. Quant à la naissance des cellules-germes, on peut la reconnaître de bonne heure (ascarides, d'après Boveri) à ce fait que ces cellules ne sont pas seulement plus volumineuses et plus riches en chromatine que les cellules somatiques voisines, mais encore que les blastomères donnant naissance à ces cellules-germes gardent tout entière leur chromatine sans en expulser une partie dans le cytoplasme, comme cela s'observe dans les blastomères des cellules somatiques.

Comment se fait leur développement et s'exécute leur différenciation?

Ovule. — On constate ordinairement une association active entre l'œuf et les cellules environnantes qui lui forment un follicule chargé de le protéger et de le nourrir. Quand l'œuf augmente de volume, le cytoplasme s'accroît et se charge de corps deutoplasmiques suspendus dans ses mailles et qui y apparaissent comme les granules zymogènes dans les cellules glandulaires. Dans beaucoup d'œufs d'oiseaux et de mammifères on distingue à un certain moment, dans le cytoplasme, la présence d'une sphère d'attraction et d'un centrosome, lesquels disparaissent tôt ou tard.

Spermatozoïde. — Les cellules-germes primordiales, en se divisant, donnent naissance à des cellules-filles qu'on nomme spermatogonies. Celles-ci, à un certain moment, cessent de se diviser, augmentent de volume et forment les spermatocytes primaires d'où découlent les spermatocytes secondaires, puis les spermatides et enfin les sper-

matozoïdes (fig. 39). Dans ceux-ci, le noyau est devenu petit, compact, et le cytoplasme a pris la forme d'une queue ou d'un filament flagellé. Le centrosome se trouve dans la pièce intermédiaire.

Avant d'entrer dans la description du phénomène cytologique qui assure la fusion de la cellule mâle et de la cellule femelle, deux remarques doivent attirer l'attention. Le produit de la fécondation comporte, comme le démontre l'observation clinique, la persistance de qualités qui lui viennent non seulement de ses parents immédiats mâle et femelle, mais aussi des ancêtres de ses parents, envisagés dans la branche masculine et dans la branche féminine. Le spermatozoide et l'ovule ne transmettent donc pas que des qualités purement masculines ou purement

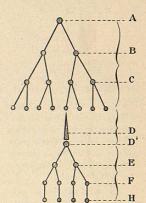


Fig. 39. — Schéma (d'après Boveri) montrant la formation et la maturation (c'est-à-dire la réduction de plus en plus grande de la masse chromatique) des cellules-germes mâles.

cellules-germes mâles.

A, cellules-germes primordiales; — B, C, spermatogonies constituées par les divisions successives des cellules primordiales; — D, période d'accroissement d'une spermatogonie; — D', spermatocyte primaire; — E, spermatocyte secondaire; — F, spermatide; — H, spermatide; — H

féminines. L'embryon, de son côté, ne renferme pas toutes les qualités du père et toutes les qualités de la mère additionnées les unes aux autres. Quelques-unes des p ropriétés des parents ont disparu, tandis que celles des ancêtres plus ou moins reculés ont surgi tout à coup. Ces diverses constatations que l'observation révèle

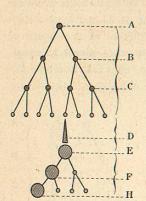


Fig. 40. - Schéma (d'après Boveri) montrant la formation et la maturation (c'est-à-dire l'élimination d'une partie de la masse chromatique) des cellulesgermes femelles.

A, cellules-germes primordiales; - B, C, oogonies constituées par les divisions successives de ces cellules primordiales; - D, période d'accroissement d'une oogonie; - E, oocyte primaire; - F, oocyte secondaire, œuf avec le premier corps polaire; - H, œuf arrivé à maturité et les trois corps polaires.

ont vraisemblablement pour raison d'être une cause physique, une condition anatomique déterminée. Et cette base physique se reconnaît précisément dans les modifications que présentent les cellules-germes mâle et femelle à l'approche de leur maturité. Ces modifications consistent essentiellement en ceci, comme le montre le schéma de Boveri (fig. 39 et 40), que l'ovule mûr ou le spermatozoïde ne renferment l'un et l'autre qu'une part de la quantité totale de chromatine contenue dans l'oocyte primaire ou dans le spermatocyte primaire.

La totalité de la chromatine du spermatocyte primaire est distribuée à quatre spermatozoïdes; celle de l'oocyte primaire est également divisée en quatre parties, la première attribuée à l'ovule arrivé à maturation et les autres aux corps polaires qui sont éliminés au moment de cette même maturation. Ce processus d'élimination des globules polaires joue un très grand rôle dans l'hérédité. La vésicule ou noyau de l'œuf subit la karyokinèse; il se forme un amphiaster qui envoie une de ses étoiles vers la surface de l'œuf d'où elle s'élimine. Cette élimination du premier globule polaire emporte la moitié de la chromatine du noyau. L'aster resté dans le vitellus se divise encore sans phase de repos, c'est-à-dire sans avoir eu le temps de reconstituer la masse de sa chromatine; le produit de sa division sous forme d'aster s'élimine encore, c'est le deuxième globule polaire. Ainsi la chromatine a perdu les trois quarts de sa masse. On s'explique de la sorte que l'ovule mûr et le spermatozoïde ne représentent l'un

et l'autre que des cellules incomplètes, et que ce soit précisément la fusion de ces deux cellules incomplètes qui restaure une cellule nouvelle complète, en lui fournissant, avec les éléments de son intégralité, la vitalité de la jeunesse. On s'explique aussi que cette élimination de la substance chromatique prive les cellules-germes d'une partie des qualités des parents. Ce processus met obstacle à l'accumulation dans l'œuf fécondé de toutes les propriétés des ancêtres qui s'additionneraient dans une proportion arithmétique et peu à peu aboutiraient à la création d'organismes

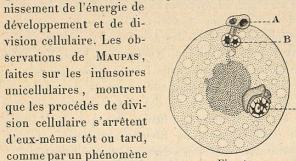
d'une incrovable complexité.

La réduction qui s'opère dans les cellules-germes avant leur union ne met pas obstacle à la transmission des qualités héréditaires; elle la limite seulement. Vertus et vices payent à la nature des droits de succession.

Fécondation. - Dans les formes les plus simples, la vie se transmet; peut-être estelle même capable de se transmettre indéfiniment, par simple division cellulaire successive; mais, dans l'immense majorité des cas, l'énergie de la division ne se maintient et ne persiste que grâce à l'addition à une cellule d'une parcelle de

matière vivante provenant d'une autre cellule. Le phénomène de la fécondation représente l'essence de

Fig. 41, 42, 43, 44, 45, 46, représentant les diverses phases de la fécondation de l'ascaris megalocephala bivalens (d'après Boveri, figures empruntées à Wilson).



la reproduction sexuelle,

qui a pour but le rajeu-

de sénilité, tandis que le

retour à l'activité, la jeu-

nesse, leur est restitué par

leur fusion avec un frag-

ment de matière vivante

venu d'une autre cellule.

Chez les êtres plus éle-

vés, la fécondation est la

fusion des cellules-germes

paternelle et maternelle.

spermatozoide dans l'œuf,

entrevue par Newport

en 1854, a été bien décrite

par For en 1879. Le

spermatozoïde est attiré

vers l'œuf par un acte

de sensibilité spéciale,

de chimiotaxie positive.

Sous l'influence d'un phé-

nomène, de nature peut-

être semblable, le vitellus

présente une sorte de

tuméfaction limitée, zone

d'attraction, dans laquelle

s'enfonce la tête du

spermatozoïde (fig. 48).

Aussitôt le vitellus s'en-

toure d'une membrane et

donne même des témoi-

gnages de chimiotaxie né-

La pénétration du

Fig. 41.

A,B, élimination du second corps polaire; - C, noyau du spermatozoïde qui a pénétré dans l'œuf; près de lui se distingue la sphère d'attraction.

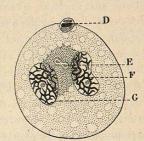


Fig. 42.

D, globules polaires éliminés; - E, sphère d'attraction contenant le centrosome qui se divise; - F,G, noyaux des cellules-ger-

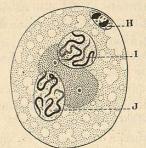


Fig. 43.

H, globules polaires en voie d'élimination; - I,J, formation des chromosomes.

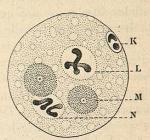


Fig. 44.

L,N, les noyaux des cellulesgermes réduits en deux chromosomes; - M,M, sphère d'attraction devenue double.

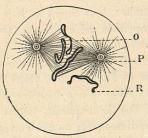


Fig. 45.

O, fibres du fuseau - processus devenu karyokinétique; - R, chromosomes à l'état de division longitudinale.

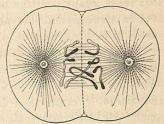


Fig. 46.

Les parcelles de chromosomes se dirigent vers les pôles du fuseau, première division cellulaire dont l'évolution va se poursuivre.

gative, qui ferment la voie à l'entrée d'autres spermatozoïdes. Si, par exception, deux spermatozoïdes réussissent à pénétrer dans l'œuf, il en résulte la création d'un monstre double.

La fécondation consiste essentiellement dans la fusion du noyau du spermatozoide avec le noyau de l'ovule. Ces deux noyaux réunis forment le noyau primaire de la cellule de l'embryon dans le règne animal et le règne végétal. Ce sont les divisions successives de ce noyau qui donnent naissance aux noyaux de toutes les autres cellules du corps, de telle sorte que chaque noyau de la cellule de l'enfant contient une certaine quantité de la substance nucléaire des parents. Ces faits s'observent d'une manière très précise sur les œufs des Ascarides (Van Beneden) et aussi dans le règne végétal (Strasburger, Guignard, Navaschine). Chez l'Ascaris bivalens, aussitôt après l'entrée du spermatozoïde dans l'ovule et pendant la formation des globules polaires, le noyau du spermatozoïde augmente de volume et ressemble exactement au noyau de l'ovule (fig. 42, 43, 44). Dans chaque noyau la chromatine se dispose en deux longs chromosomes filamenteux qui s'équivalent exactement par leur siège et leur réaction tinctoriale. Bientôt la membrane qui les sépare disparaît et les quatre chromosomes sont libres dans la substance ovulaire.

Cependant un amphiaster se développe, dans la région médiane duquel se voient les quatre chromosomes. On reconnaît ainsi une figure de karyokinèse, premier indice de la division de l'ovule. La substance chromatique qui subit ainsi ce processus de mitose a été constituée de toutes pièces par l'union de la chromatine des noyaux des cellules-germes des deux générateurs. L'évolution continue suivant le type ordinaire de la division indirecte, c'est-à-dire qu'en définitive chaque noyau des cellules-filles reçoit une quantité égale de chromatine de descendance paternelle et de descendance maternelle (fig. 45 et 46).

Boveri a établi la loi de l'égalité numérique des chromosomes fournis à la première cellule embryonnaire par l'un et l'autre parent. Le fait a été aussi constaté chez les végétaux (lys) par Guignard. On sait que, dans tout noyau de cellules somatiques qui subit la karyokinèse, on trouve toujours pour une même espèce un même nombre de chromosomes. Dans la fécondation de l'ovule, le noyau de l'œuf et le noyau du spermatozoïde présentent chacun un nombre de chromosomes qui est juste la moitié de celui que possèdent les cellules somatiques, et l'union des deux cellulesgermes rétablit précisément la totalité du nombre des chromosomes caractéristiques pour l'espèce.

Ces faits démontrent que les noyaux des cellules-germes mâle et femelle, envisagés au point de vue morphologique, sont équivalents et que les chromosomes des deux sexes, égaux par leur nombre, leur forme et leur volume, jouent un rôle égal dans la transmission des propriétés héréditaires. La chromatine apparaît ainsi comme la base physique de l'hérédité.

Nous avons vu que la distribution des chromosomes et la division de l'œuf étaient commandées par le centrosome et l'amphiaster. Dans un grand nombre de cas, les constatations suivantes ont été faites d'une manière précise. Avant ou pendant la fécondation, le centrosome de l'ovule disparaît, tandis que le nouveau centrosome apporté par le spermatozoide se divise pour former l'amphiaster. Chez l'oursin de mer on peut suivre facilement les diverses phases de ce processus (Wilson). Dans ce cas, la tête et la pièce intermédiaire du spermatozoïde pénètrent seuls dans l'œuf. Aussitôt après son entrée, la tête du spermatozoïde, portant à sa base la pièce intermédiaire, exécute sur elle-même un mouvement de rotation d'environ 180º (fig. 50, 51, 52). Pendant cette volte-face un petit aster se développe autour de la pièce intermédiaire, qui présente un centre se colorant vivement comme le centrosome. A mesure que le novau spermatique avance, l'aster se développe rapidement dans le cytoplasme ovulaire, occu-

pant presque un hémisphère (fig. 53, 54). La masse centrale de l'aster se met en contact avec le noyau de l'œuf, se divise en deux asters-filles qui se placent aux pôles opposés du noyau ovulaire, tandis que le noyau du spermatozoïde pénètre dans le noyau de l'œuf où on le distingue encore à son aspect de lentille biconvexe, et la fusion se termine (fig. 55, 56). Bientôt la membrane nucléaire disparaît, un fuseau

Fig. 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56. — Ces figures montrent (d'après Wilson) l'entrée et la rotation de la tête du spermatozoïde et la formation de l'aster achromatique d'origine spermatique dans l'œuf de l'oursin de mer.

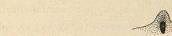






Fig. 47. - Tête du spermatozoïde avant son entrée. A, pièce intermédiaire portant un bout du filament Zone de tuméfaction de l'œuf au moment de axial; - B, noyau du spermatozoïde.

la pénétration du spermatozoïde.

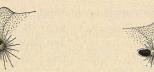
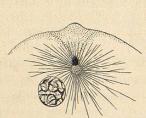
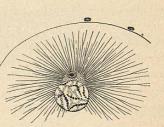




Fig. 51.

Fig. 52. Rotation de la tête du spermatozoïde et formation de l'aster d'origine spermatique au niveau de la pièce intermédiaire.





Rapprochement des noyaux des cellules-germes; grossissement de l'aster.

se montre entre les deux asters et les chromosomes se distinguent et se séparent, emportant chacun une part égale de la substance nucléaire des deux cellules-germes.

Tels sont les faits histologiques constatés aujourd'hui d'une manière très précise. On voit que l'opinion de Fol, la description qu'il avait donnée du quadrille des centres, ne peut plus être considérée comme un fait qui réponde à la réalité. Dans la formation des premiers blastomères, le centrosome qui dirige le processus de segmentation vient du mâle; il n'est pas un composé d'un demi-ovocentre et d'un demi-spermocentre, par l'excellente raison qu'au moment de la maturation, l'ovule a perdu son centrosome et qu'il est devenu une cellule incomplète, incapable de se développer sans l'apport du spermatozoïde.

Si le centrosome persistait dans l'ovule, la parthénogenèse serait en vérité trop

En résumé, il ressort de cette description sommaire les faits suivants : 1º La

première cellule embryonnaire est formée par la fusion de deux cellules-germes, ovule et spermatozoïde. Ces deux cellules sont l'une et l'autre incomplètes; elles

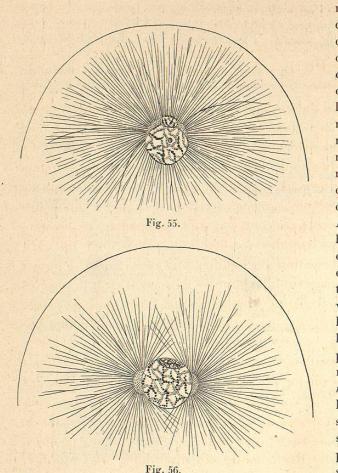


Fig. 55, 56. — Conjugaison des noyaux des cellules-germes et division de l'aster achromatique d'origine spermatique.

renferment une quantité de chromatine inférieure à celle qui existe dans les cellules somatiques ordinaires. La réduction qu'elles ont subie dans leur patrimoine de chromatine est due à un phénomène de maturation; cette maturation assure l'élimination d'une partie de la cellule qui porte en elle des propriétés ancestrales. Ainsi est évité dans l'embryon l'entassement total de toutes les propriétés des parents et des ancêtres; ainsi est préparée la voie de la variation dans les êtres. Ni les vertus ni les vices, dans le domaine physique et dans le domaine moral, ne sont obligatoirement transmis dans toute leur intégralité. 2º La substance chromatique, base physique de l'hérédité, porte-cachet de la race, tire son origine à dose égale des deux parents. 3º L'ovule donne le cytoplasme, substratum du développement

et de la différenciation futurs; le spermatozoïde fournit exclusivement le centrosome, l'agent actif de la division mitosique, le tisserand de l'œuvre qui va se poursuivre.

Les données précédentes vont nous permettre d'apprécier, à un point de vue pour ainsi dire objectif, les théories plus ou moins ingénieuses et surtout les faits dont la clinique et l'expérimentation ont établi la réalité dans le domaine de l'hérédité.

La théorie des anciens Préformistes, qui admettaient que l'œuf renfermait un embryon en miniature, comme la chrysalide renferme le papillon, la théorie de l'emboîtement des germes de Bonnet, fut bientôt abandonnée. Son absurdité découlait précisément de ses conséquences, car si un œuf contient un embryon complet, celui-ci doit aussi contenir des œufs, ceux-là d'autres œufs, et ainsi de suite à l'infini. D'ailleurs les observations de Wolff (1759) portèrent à cette théorie le dernier coup. Ce savant montra que dans l'œuf au début il n'y a pas trace d'embryon, que l'embryon apparaît peu à peu sous l'aspect de parties récemment formées; il créa en un mot la théorie de l'épigenèse, opposée à celle de l'évolution.

Parmi les théories qui ont été mises au jour pour expliquer la transmission des propriétés héréditaires, plusieurs sont célèbres par leur ingéniosité ou par le nom de leurs auteurs.

Buffon considérait que les molécules organiques qui n'étaient plus nécessaires à la nutrition formaient les éléments sexuels. Darwin supposa que des molécules organiques, gemmules cellulaires, émis comme des atomes par les unités du corps, circulaient, se multipliaient, se développaient ultérieurement en cellules semblables à celles dont ils dérivaient et servaient à la formation des cellules sexuelles. Ce fut la théorie de la pangenèse qui permettait d'expliquer facilement les propriétés innées et acquises, physiologiques et pathologiques, mais qui était privée de toute base anatomique et qui n'est plus aujourd'hui défendue par personne.

L'hypothèse de Hæckel est non moins métaphysique que celle de Darwin et ne repose sur aucune propriété objectivement constatable des cellules et des tissus. — Hæckel considère que la cellule n'est pas l'unité vivante, qu'il y a au-desssus d'elle des plastidules, molécules de substance jouissant de sensations, de volonté, de mouvements propres, de mémoire, de réceptivité. La mémoire des plastidules est l'hérédité, due à la persistance du même mouvement moléculaire ondulatoire, transmis des parents aux enfants; les modifications de la mémoire des plastidules, en plus ou en moins, dues à leur réceptivité, expliquent la variabilité des formes organisées. C'est la théorie de la périgenèse.

Cependant des théories allaient naître qui cherchaient à donner de l'hérédité une explication fondée sur des observations histologiques. Nœgeli a proposé le premier la théorie de l'idioplasme. Pour lui chaque cellule renferme deux espèces de plasma organisé, l'idioplasme et le trophoplasme. Au premier seul appartient la faculté de reproduire les qualités des générateurs, au second reviennent les phénomènes de nutrition, d'assimilation et de relation avec le monde extérieur. L'idioplasme des cellules sexuelles contient à l'état de germes toutes les particularités et les caractères des ascendants. Ces germes peuvent être comparés à l'énergie potentielle ou aux forces de tension de la matière non organisée. Ils peuvent se manifester et se développer dans des individus ou bien rester à l'état latent pendant de longues périodes de temps, si les impul-

CHANTEMESSE et Podwyssotsky. Processus généraux.