Université Ibn Zohr

Complexe Universitaire de Ait Melloul

Filière SVI/STU – Semestre 1

Module Embryologie-Histologie (M2)

Responsable de Module :

Pr. Latifa LEFRERE

Année universitaire : 2017/2018

القطب الجامعي- أيت ملول

Campus Universitaire - Ait Melloul

Filière Sciences de la Vie
Semestre 1

MODULE M2 : HISTOLOGIE-EMBRYOLOGIE

1ère partie Reproduction
2ème partie Embryologie

Responsable de Module:

Pr. Latifa LEFRERE

Année Universitaire 2017/2018

Plan du Cours :

Partie première : Reproduction

1. Reproduction asexuée
2. Reproduction sexuée
3. Gonadogenèse
4. Gamétogenèse
5. Fécondation

Deuxième partie : Embryologie

1. La segmentation
2. La gastrulation
3. L'organogenèse
4. L'embryogenèse chez l'oursin

1ÈRE PARTIE : REPRODUCTION

CHAPITRE 1 : LA REPRODUCTION ASEXUÉE

1. La reproduction

1.1 Définition

C’est une fonction fondamentale permettant à tout organisme vivant de donner naissance à des petits (progéniture). Par différents processus, la reproduction permet de perpétuer l’espèce dans le temps et de coloniser les milieux.

1.2 Types

On distingue deux types de reproduction : la reproduction asexuée ou reproduction végétative (ou encore agame). Un seul individu (un animal) peut donner un ou plusieurs petits, à partir de son corps sans faire intervenir de gamètes. Le deuxième type c’est la reproduction sexuée. Celle-ci nécessite la participation de deux individus de sexe opposé produisant des cellules spécialisées ou gamètes.

2. La reproduction asexuée

La reproduction asexuée regroupe tous les moyens de reproduction ne faisant intervenir ni gamètes ni fécondation. C'est le résultat de la croissance de l'individu parent qui atteint une taille considérable. Elle concerne les animaux inférieurs uniquement. Le matériel génétique des parents et des descendants sont identiques car c'est la mitose seule qui assure la transmission de l'information génétique aux nouvelles cellules et individus. C'est une forme de clonage naturel. Chez les organismes unicellulaires eucaryotes (protistes) comme la paramécie, l'amibe ou l'euglène, la division cellulaire est synonyme de reproduction. Chez les organismes

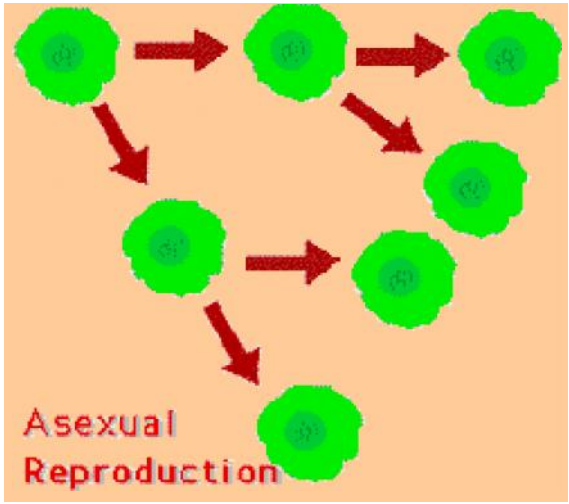
pluricellulaires particulièrement inférieurs, un parent adulte libère généralement un groupement de cellules qui formeront plus tard un jeune organisme. C'est un processus relativement simple, conduisant à la formation de clones isogéniques et à la colonisation rapide de territoire. Un seul individu peut engendrer de cette façon une population. Mais les variations génétiques aléatoires désordonnées sont souvent à l'origine de l'extinction de ces clones.

3. Les mécanismes de la reproduction asexuée

C'est principalement la **scissiparité, le bourgeonnement** et la **régénération q**ui assurent la reproduction asexuée.

La reproduction asexuée

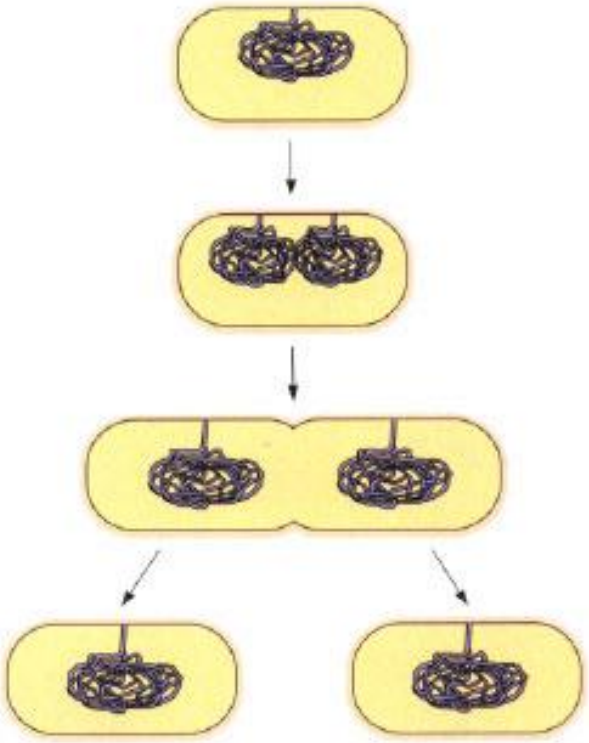
- <u>Reproduction asexuée</u> :
  - Un seul individu comme unique parent
  - Sans apport de matériel génétique nouveau.
  - Les organismes obtenus forment un clone.



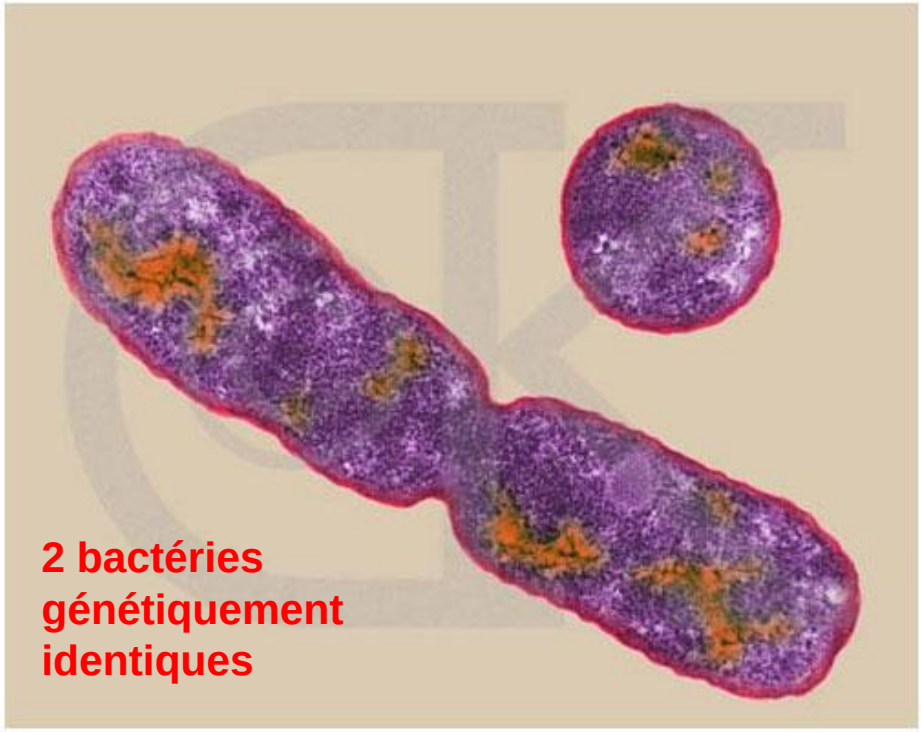
Les différents types de reproduction asexuée

1- la scissiparité Chez les procaryotes:

- **Les cellules procaryotes (souvent des bactéries) divisent par scissiparité.**
- **L'unique chromosome (circulaire) s'attache à l membrane bactérienne et se réplique (se doubl puis, la bactérie s'allonge et se divise en deux.**
- **Mode de reproduction qui n'introduit pas de variabilité génétique chez les bactéries filles.**
- **Celles-ci sont des « clones » : des bactéries génétiquement identiques à la bactérie mère**



Scissiparité de la bactérie



2 bactéries génétiquement identiques

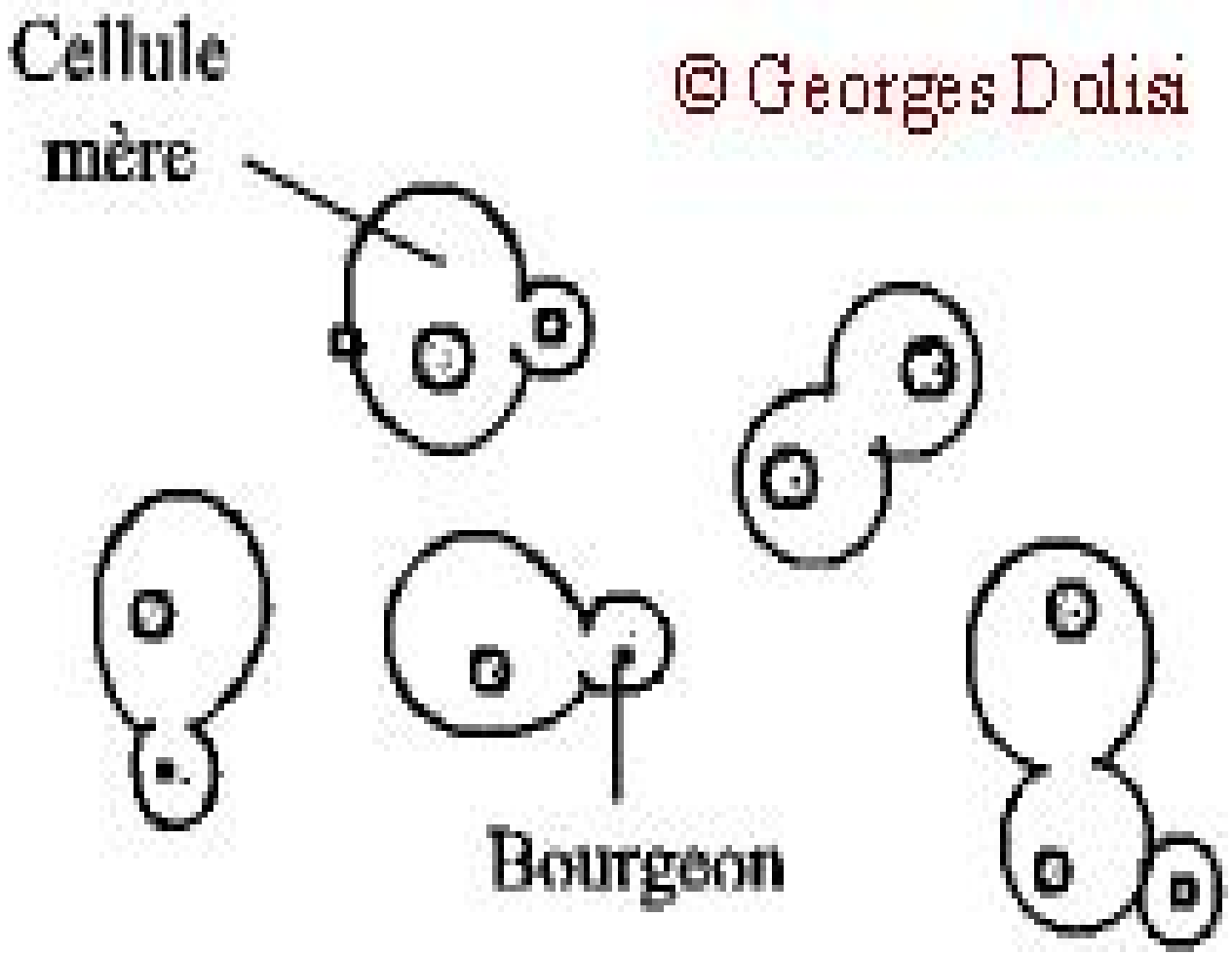
2-le bourgeonnement:

Dans ce type de reproduction, le nouvel individu se forme à partir de l'organisme du premier. (ex: les coraux se reproduisent de cette façon).

Exemple de reproduction asexuée

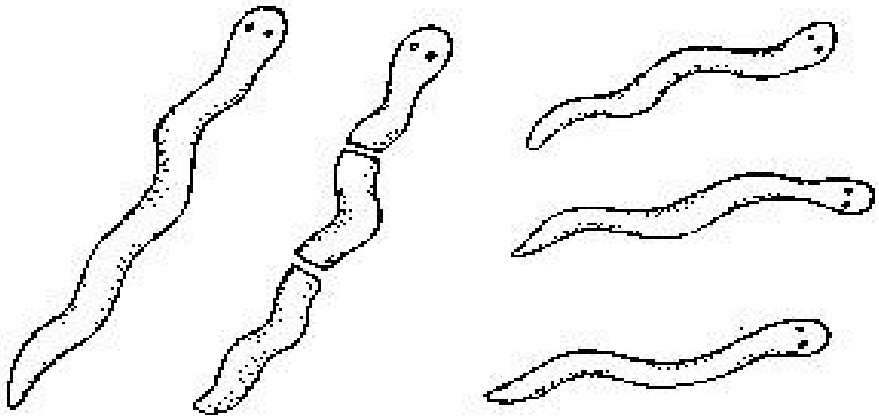
Bourgeonnement de l'hydre (un animal)

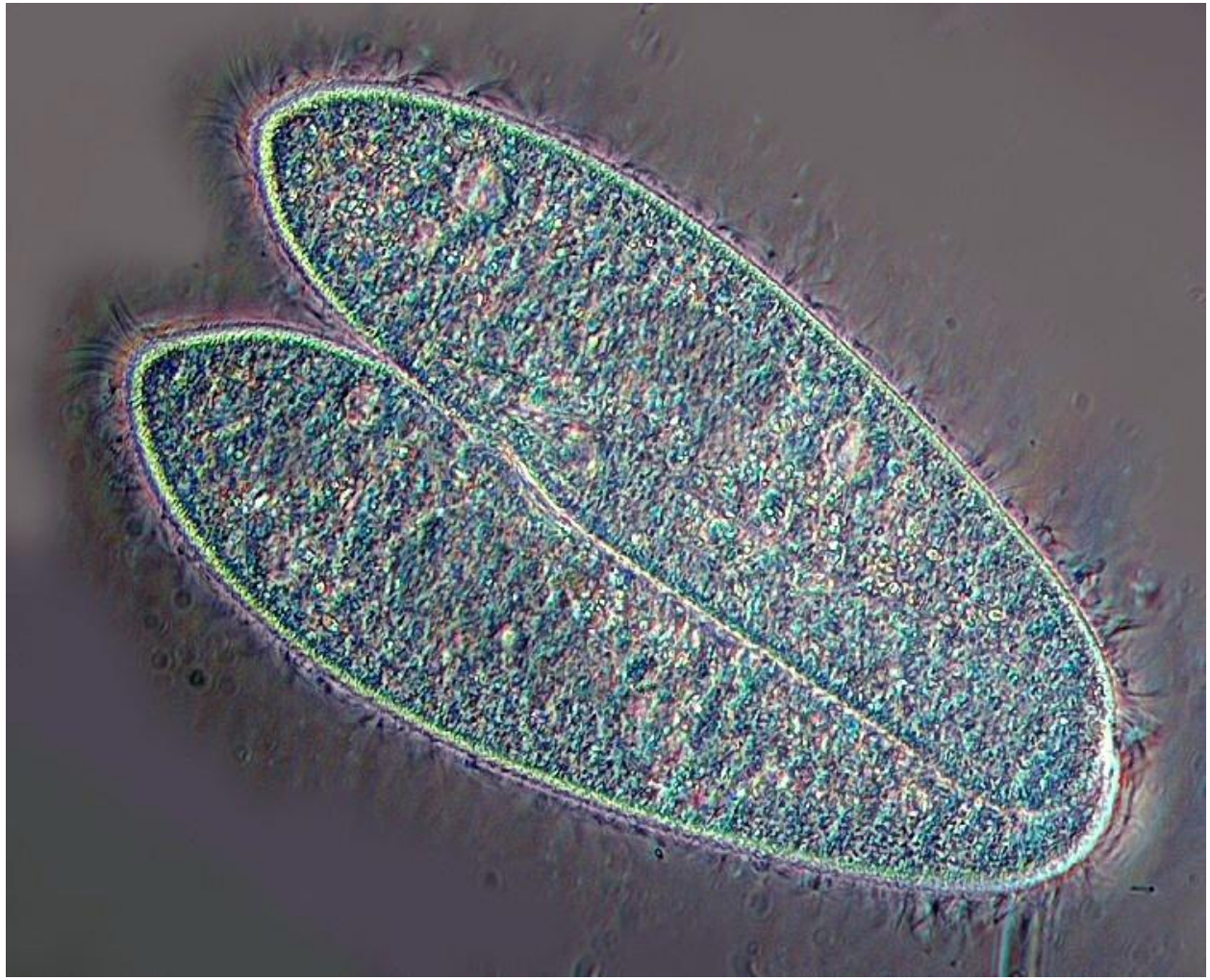
Production d'un clone (par mitose)


Cellule
mère
© Georges Dolisi
Bourgeon

-La fragmentation :

le corps se dissocie en plusieurs morceaux, et chacun devient un adulte complet (ex: les vers de terre).La reconstitution des organes fragmentés doit se faire par régénération pour que le processus fonctionne.





La parthénogenèse

C’est une voie de reproduction intermédiaire entre la voie sexuée et celle asexuée. Elle fait recours aux gamètes qui peuvent se développer sans qu’il ait rencontre entre eux, donc sans fécondation. Elle est rencontrée chez les **Arthropodes** (ex : les abeilles) ou certains reptiles (ex : les lézards). Chez les animaux supérieurs elle est inexistante. Les **ovules** parthénogénétiques peuvent **être diploïdes**: ils se développent sans avoir subi la réduction chromatique et donnent, des femelles par parthénogenèse thélytoque (ex : les pucerons). Dans d'autres cas, le développement parthénogénétique s'accomplit à partir d'un **ovule haploïde** qui a **subi la méiose**: c'est la parthénogenèse arrhénotoque qui ne donne que des mâles (ex : les abeilles). Enfin, une reproduction parthénogénétique deutérotoque donne à la fois des individus mâles et des individus femelles.

La parthénogenèse peut être obligatoire et permanente (chez les phasmes) comme elle peut être cyclique (alterner avec la reproduction sexuée selon les conditions climatiques). C'est le cas de la daphnie. Tant que les conditions climatiques sont bonnes on assiste à une reproduction par parthénogenèse (uniquement des femelles) mais dès que ces conditions deviennent défavorables il y a apparition des mâles et la reproduction sexuée prend place

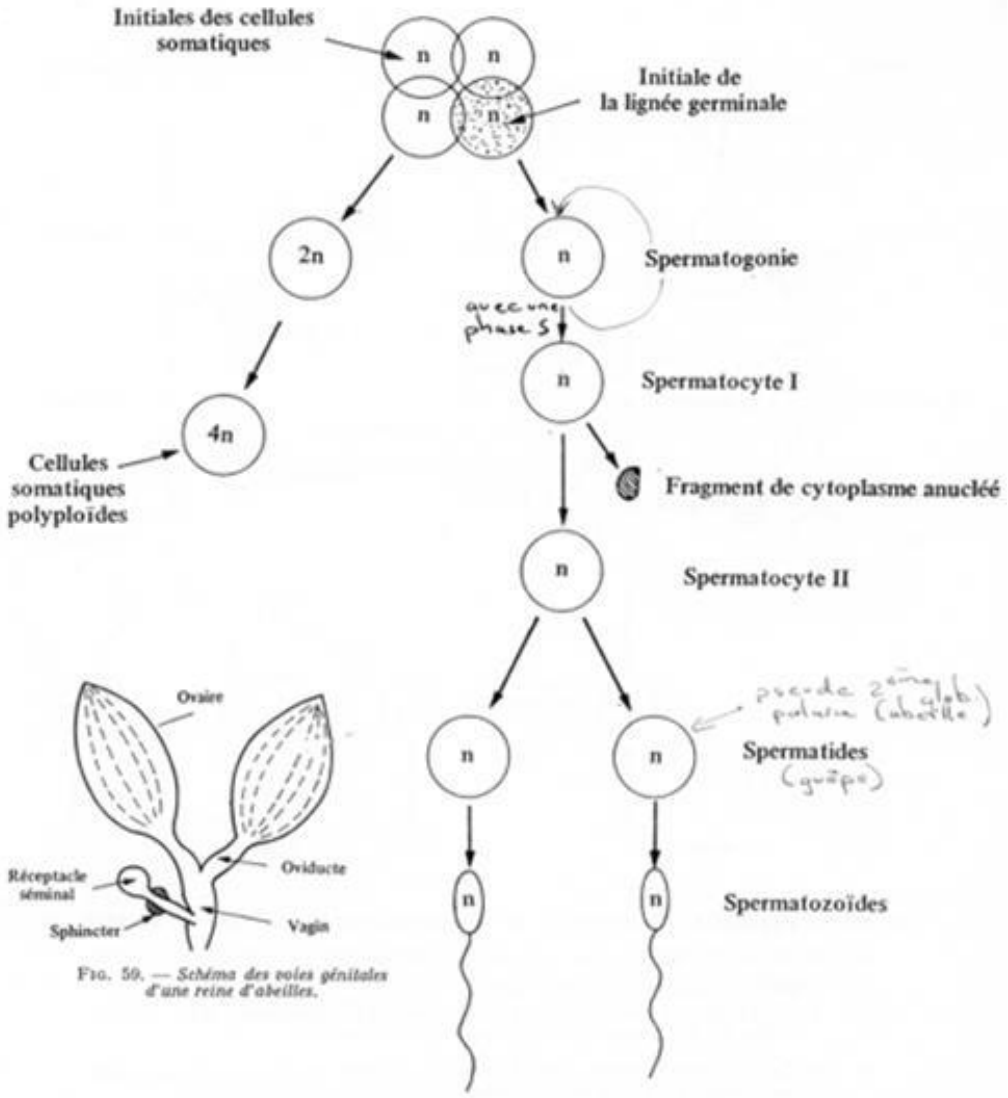
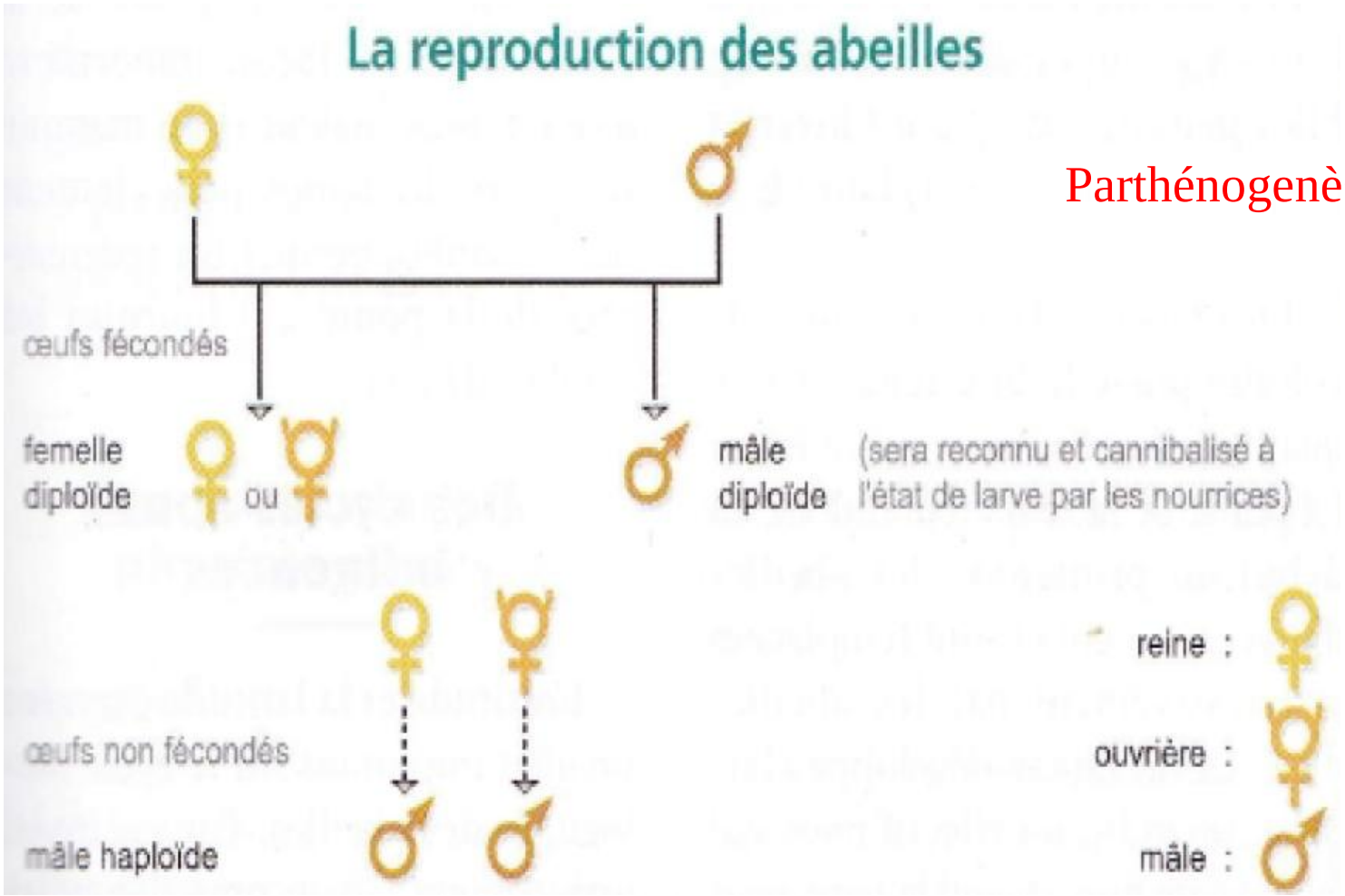


FIG. 59. — *Schéma des voies génitales d'une reine d'abeilles.*

FIG. 61. — *Schéma résumant la polyploïdisation des cellules somatiques et la production de spermatozoïdes haploïdes à partir d'un œuf parthénogénétique haploïde.*
(parthénogenèse arrhénotoque chez l'Abeille.)

Parthénogenèse arrhénotoque

La reproduction des abeilles



Parthénogenèse arrhénotoque

Chapitre II: REPRODUCTION SEXUEE (Eucaryotes)

-Intervention des gamètes qui se forment dans les gonades(gonochorisme et hermaphrodisme)

-Brassage génétique

1)- Différents types de reproduction.

On distingue des organismes **ovipares**, **vivipares** et **ovovivipares**.

LES OVIPARES

Chez les ovipares, **la cellule-œuf est émise dans le milieu extérieur et le développement de l'embryon se fait dans un œuf**. Le plus souvent, les œufs sont pondus et abandonnés. Parfois, ils sont enterrés ou cachés afin de les préserver des prédateurs. Il existe différents systèmes de protection de l'embryon en cours de formation :

- Une gangue gélatineuse, par exemple chez les amphibiens.
- Une enveloppe plus ou moins souple, chez les insectes ou invertébrés.
- Une coquille à base de calcaire qui peut rester souple (reptiles) ou être rigide (oiseaux).

La nutrition de l'embryon est assurée par des réserves stockées au préalable dans la cellule-œuf.

⇨ Par exemple, dans l'œuf de poule, « le jaune » est la cellule-œuf gorgée de réserves nutritives.

LES VIVIPARES

Chez les vivipares, la **cellule-œuf** se développe dans les voies génitales de la mère. L'**embryon** va s'implanter et se développer dans l'**utérus**. C'est le cas des mammifères.

La protection est ici maximale puisque elle est dans le corps.

La nutrition de l'embryon est assurée par des échanges entre le sang de la mère et celui de

l'embryon. Hormis le cas des mammifères de type marsupiaux (avec poche ventrale comme les

kangourous), ces échanges se font grâce à un organe embryonnaire : **le placenta**.

L'homme est un animal vivipare.

LES OVOVIVIPARES

Certains animaux sont dits **ovovivipares** car les œufs sont conservés et éclosent dans le corps de la femelle et les petits naissent donc directement.

Quelques poissons (les guppys) ou certains reptiles (comme la vipère) pratiquent ce mode reproductif qui augmente les chances de survie de l'espèce par la protection assurée aux œufs.

Biologie de la Reproduction

2/ LA GAMETOGENESE

2.1 Introduction

Chez les métazoaires la forme la plus typique de développement est celle qu'on observe dans la reproduction sexuée. Des cellules reproductrices haploïdes se différencient : on parle de spermatozoïdes et d'ovules.

A la fécondation elles fusionnent et forment un œuf ou zygote diploïde qui va se développer en individu.

Qu’est ce que la gamétogenèse ?

C’est la différenciation des cellules reproductrices ou gamètes.

- Les gamètes mâles sont les spermatozoïdes

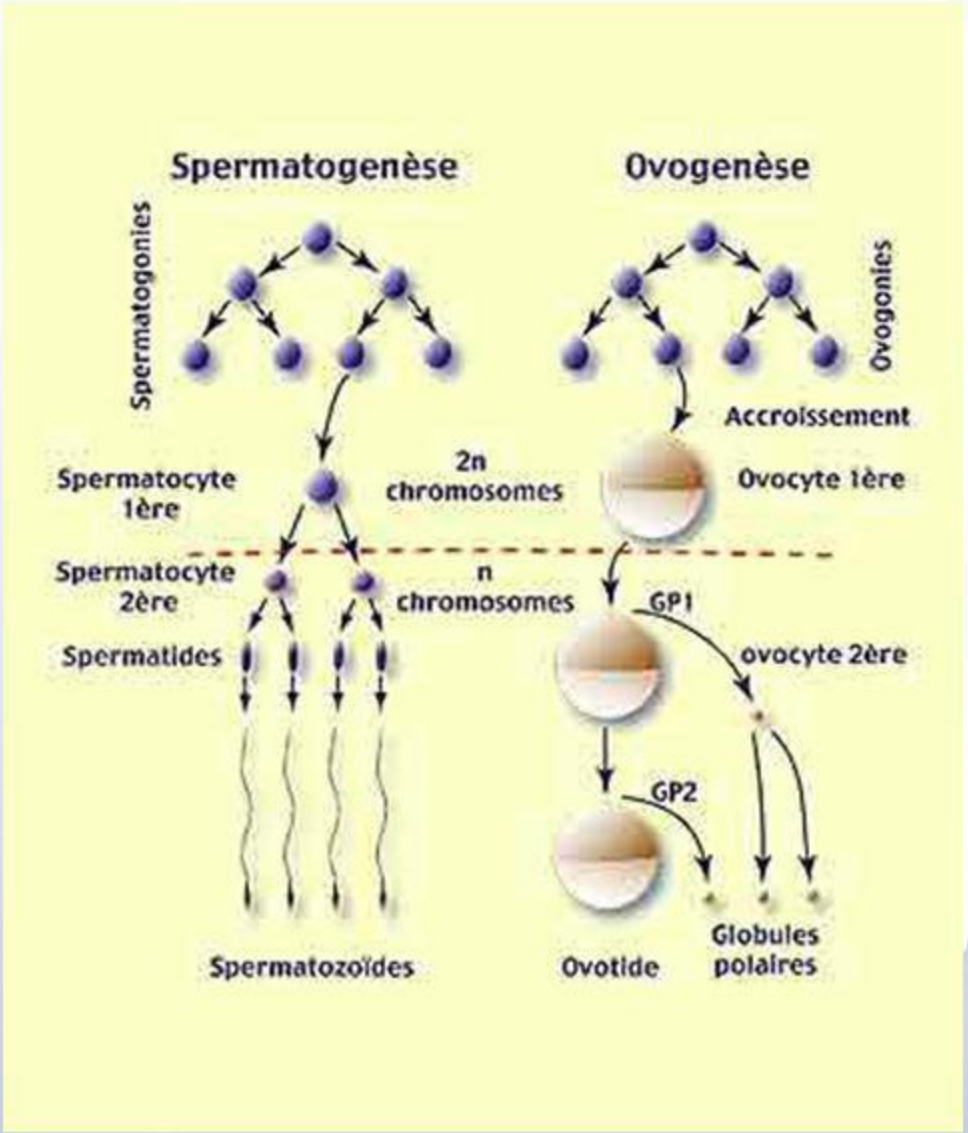
- Les gamètes femelles sont les ovules.

Leur formation est appelée spermatogenèses et ovogenèse, elle a lieu dans des organes spécialisés appelés gonades : testicules chez les mâles et ovaires chez les femelles.

La spermatogenèse et l’ovogenèse se déroulent chez des individus différents chez les espèces dites gonochoriques. C’est la règle générale chez les vertébrés. Les espèces chez lesquelles un même individu est porteur de gonades mâles et femelles sont dites hermaphrodites.

COMPARAISON :

OVOGENESE / SPERMATOGENESE



L’un des sexes est homogamétique et ne forme qu’une seule catégorie de gamètes (Exemple : la femelle XX chez les mammifères et le mâle ZZ chez les oiseaux). L’autre sexe est hétérogamétique : XY ou WZ

Les chromosomes sexuels sont symbolisés par X, Y, W et Z selon les espèces.

La constitution chromosomique diploïde de l'espèce humaine est 2n=46.

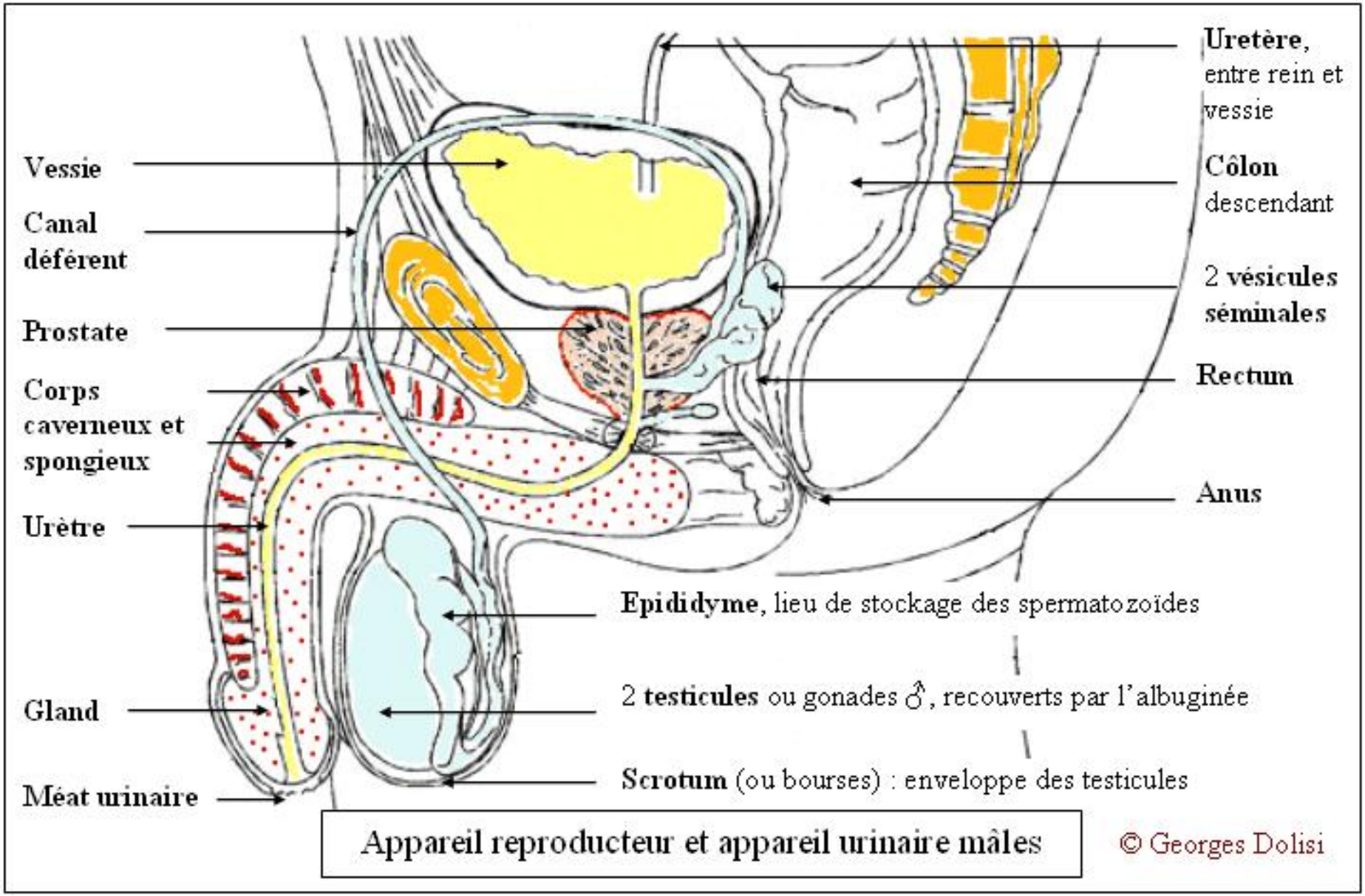
Sur les 23 paires de chromosomes du caryotype humain 22 paires sont constituées d'un couple de chromosomes morphologiquement semblables : les autosomes.

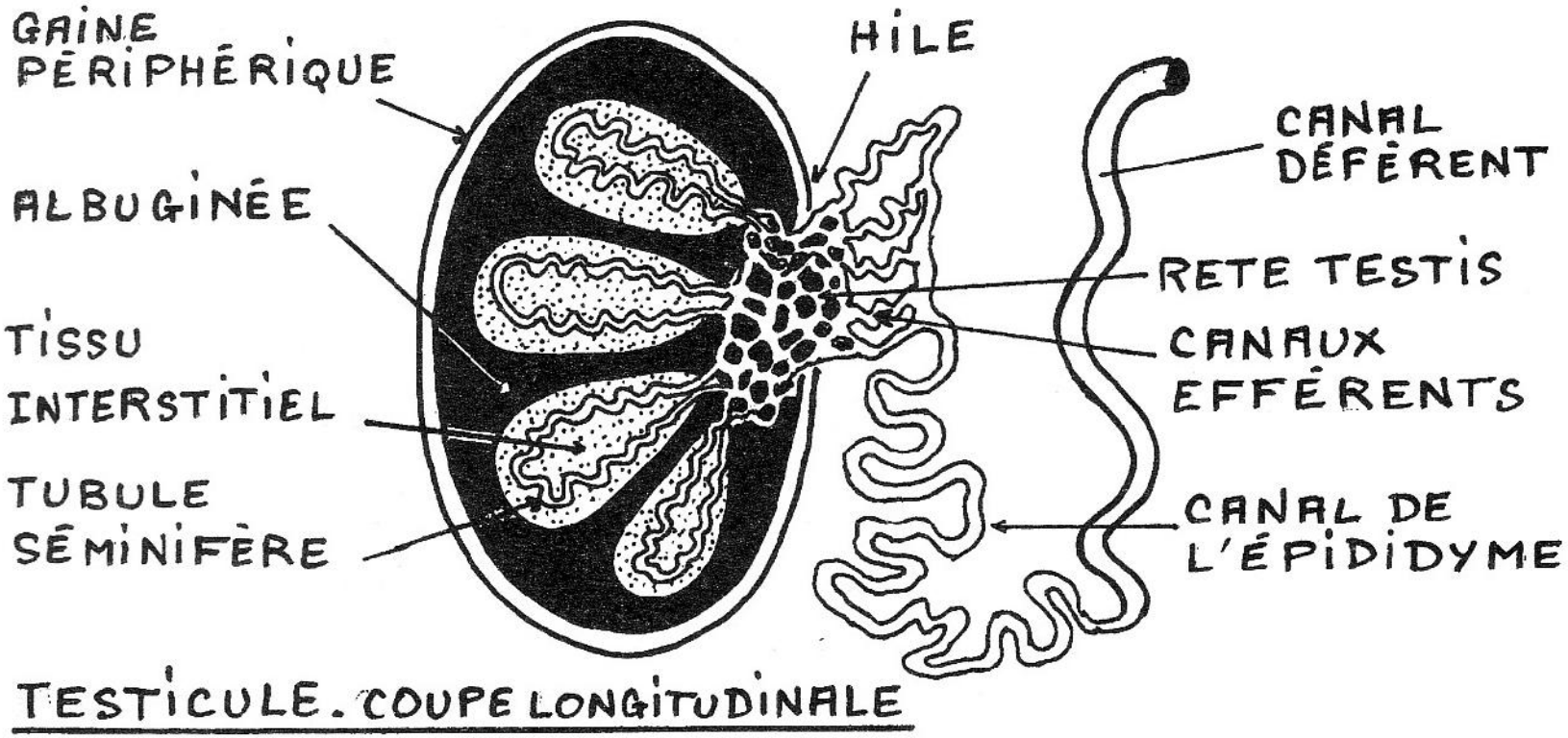
La dernière paire est constituée d'hétérochromosomes, appelés également, chromosomes sexuels. Ces deux chromosomes peuvent être morphologiquement semblables tous les deux de type X, dans ce cas on est en présence d'une femelle, ou différents un X et l'autre Y et dans ce cas on sera en présence d'un individu mâle.

2.2 La spermatogenèse (espèce humaine)

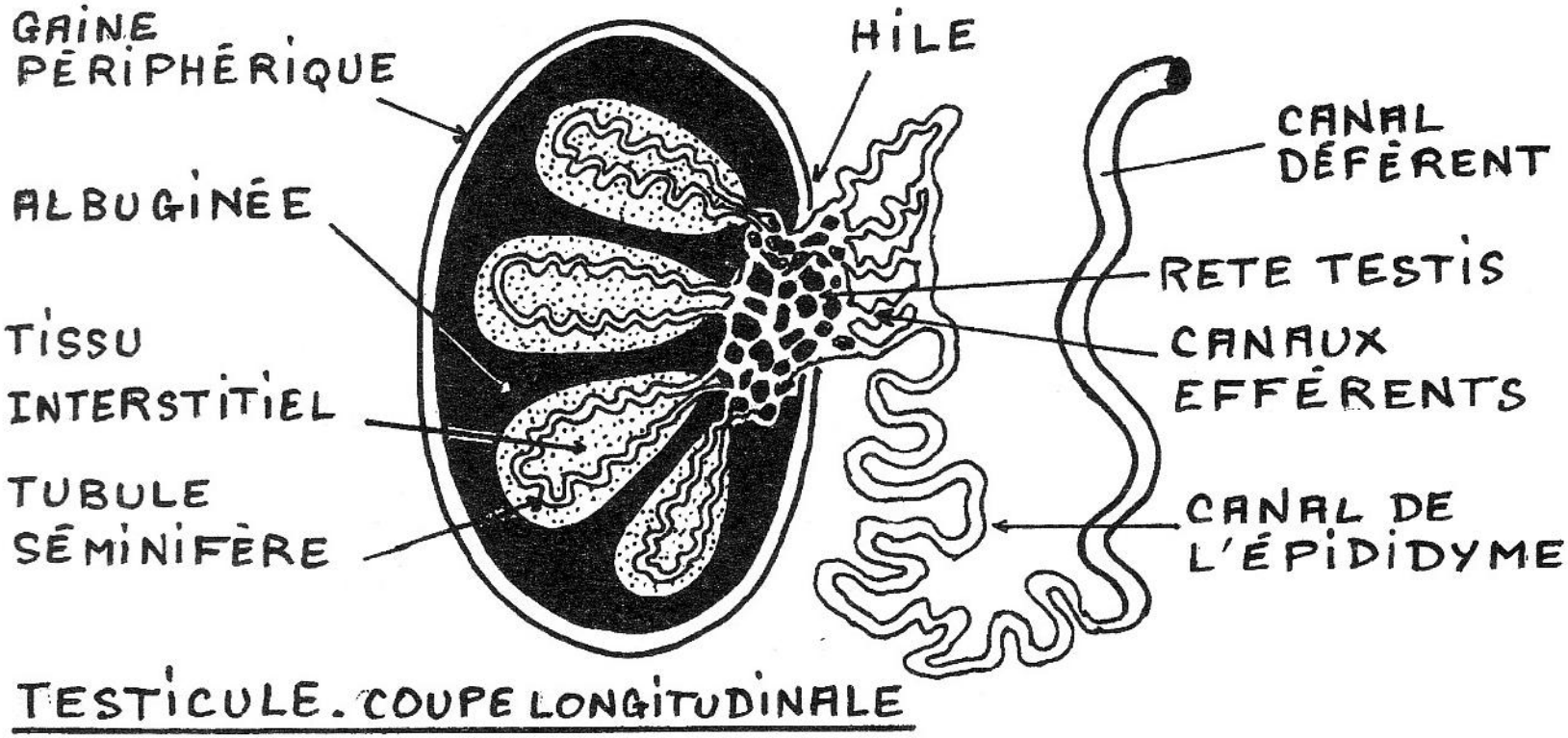
2.2.1 Localisation de la spermatogenèse:

Elle s'effectue à partir de la puberté, au niveau des tubules séminifères dans la gonade mâle (les testicules), suivant un cycle très précis. Chez l'Homme ce cycle dure 74 jours de la spermatogonie au spermatozoïde.

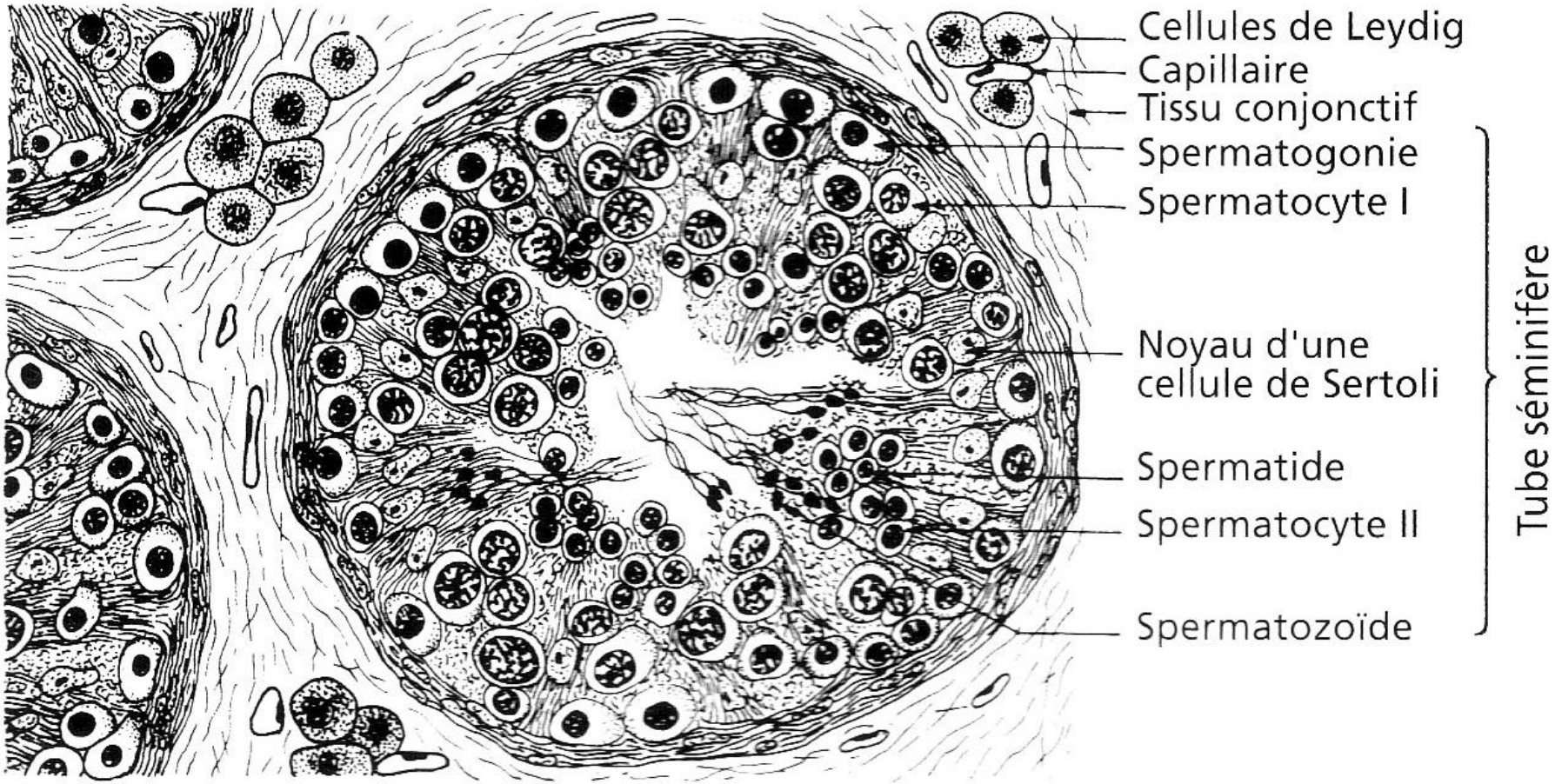

Uretère, entre rein et vessie
Vessie
Côlon descendant
Canal déférent
2 vésicules séminales
Prostate
Rectum
Corps caverneux et spongieux
Anus
Urètre
Epididyme, lieu de stockage des spermatozoïdes
2 testicules ou gonades ♂, recouverts par l'albuginée
Gland
Scrotum (ou bourses) : enveloppe des testicules
Méat urinaire
Appareil reproducteur et appareil urinaire mâles
© Georges Dolisi



Les testicules sont des structures ovoïdes dont la région périphérique entoure un tissu fibreux, l'albuginée. Chaque testicule est constitué de plusieurs lobules, situés dans la zone centrale contenant à l'intérieur des tubules séminifères. Ces tubules séminifères sont localisés à l'intérieur d'un tissu interstitiel richement vascularisé.

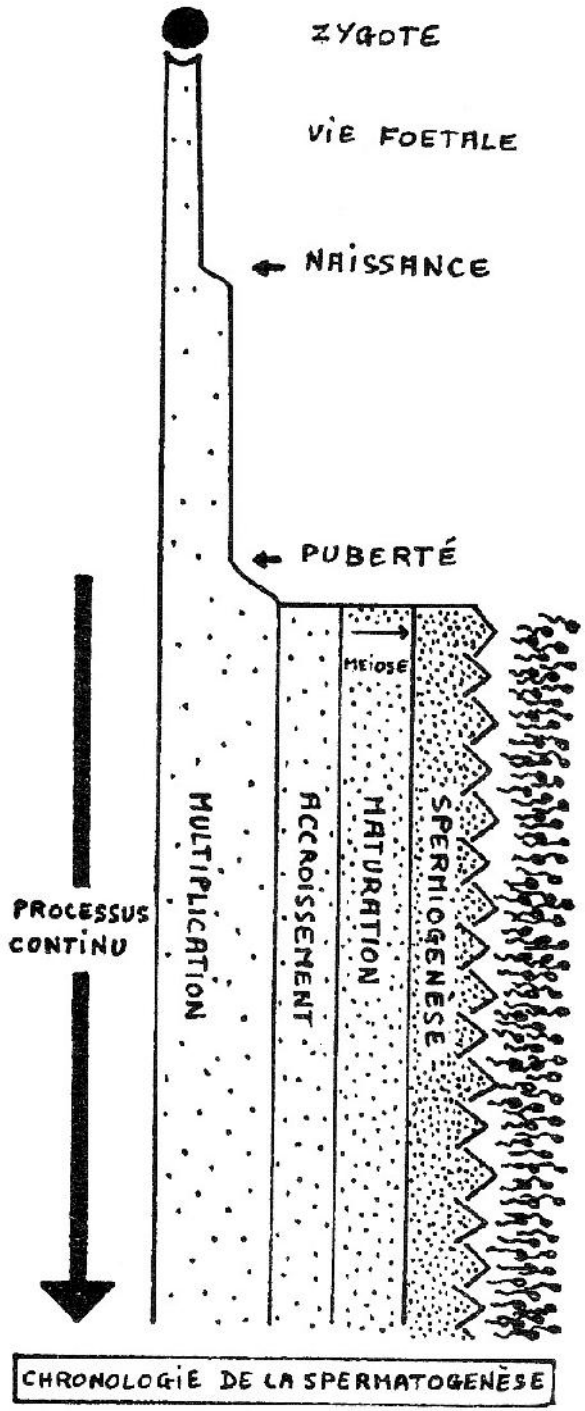


Les tubules séminifères convergent vers la région du hile du testicule ou ils aboutissent dans les canalicules évacuateurs formant le reste testis, qui se prolongent par les canaux efférents situés à l'extérieur du testicule. Ces canaux fusionnent en formant le canal de l'épididyme qui se prolonge par le canal déferant (canal de Wolff), qui aboutit au sommet de l'urètre.



Structure d'un tube séminifère

La paroi est formée par un tissu pluristratifié comprenant 2 types de cellules, des cellules germinales, à renouvellement continu, évoluant en spermatozoïdes qui sont libérés dans la lumière du tubule et des cellules somatiques: les cellules de Sertoli. Elles se multiplient jusqu'à la période pubertaire, leur nombre reste ensuite fixe chez l'adulte.



CHRONOLOGIE DE LA SPERMATOGENÈSE

Après la différenciation de la gonade en testicule, les gonocytes sont appelés spermatogonies. Par la suite les spermatogonies subissent une évolution qui se déroule en trois phases:

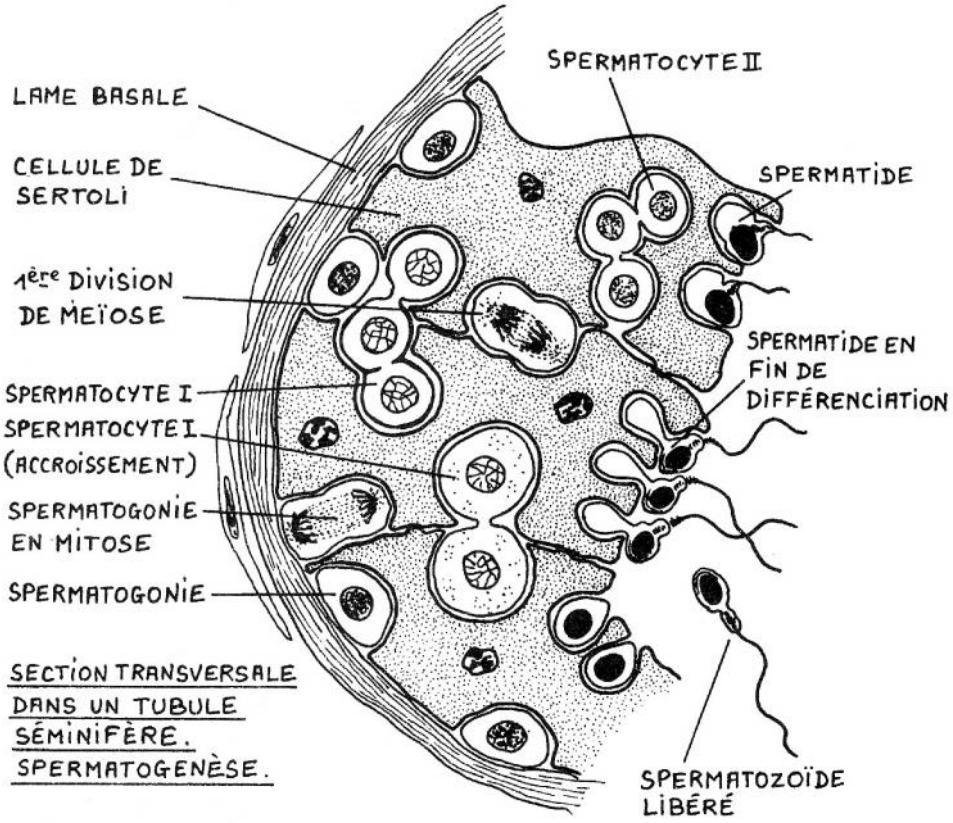
- **Une phase de multiplication (succession de mitoses)**
- **Une phase d'accroissement (accumulation de réserves)**
- **Une phase de maturation (Phénomène de méiose et formation des gamètes fonctionnelles)**

2.2.2 Phase de multiplication :

Les spermatogonies sont situées contre la membrane basale des tubules séminifères. De la vie fœtale jusqu'à la puberté, les spermatogonies se multiplient avec une faible fréquence.

Les spermatogonies sont des cellules souches, formant une réserve permanente, leur activité de prolifération est maintenue très élevée de la puberté jusqu'à la sénescence.

Au moment de la puberté les hormones sexuelles stimulent le développement des tubules séminifères, ainsi que la multiplication puis la différenciation des cellules germinales.



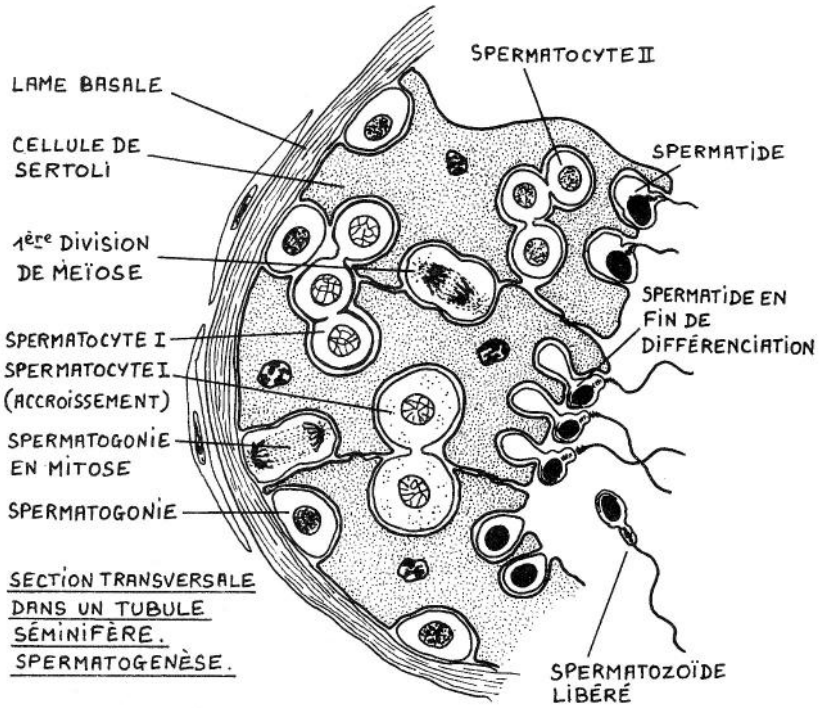
SECTION TRANSVERSALE DANS UN TUBULE SÉMINIFÈRE. SPERMATOGENÈSE.

2.2.3 Phase d'accroissement :

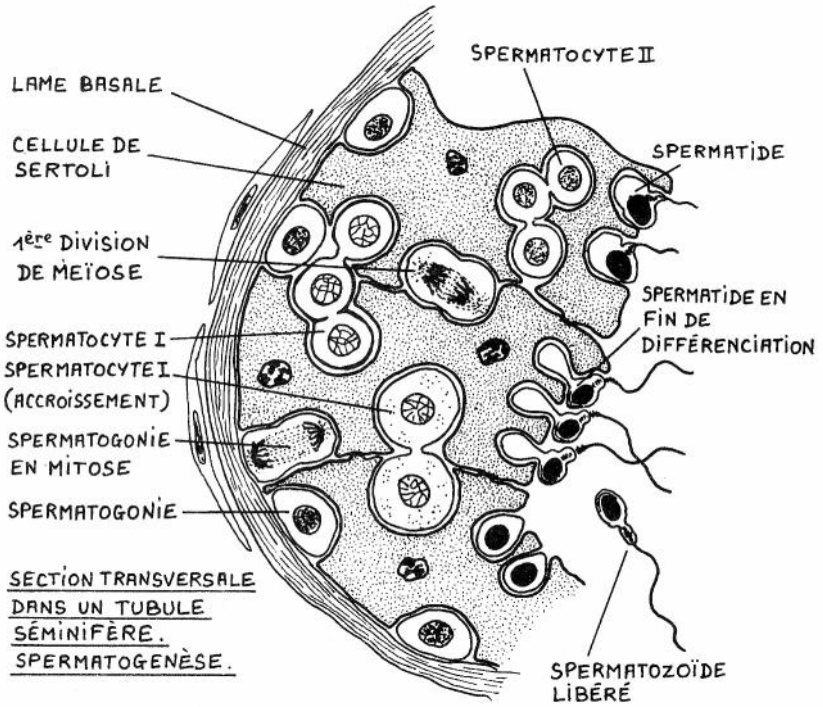
A partir de la population de spermatogonies souches, des cellules vont s'engager régulièrement dans une étape de différenciation.

Au début d'un cycle une spermatogonie initiale subit à peu près 4 mitoses successives donnant 8 spermatogonies.

L'une de ces 8 cellules reste localisée dans le compartiment basal de la paroi du tubule et retourne à l'état dormant. Les autres spermatogonies sont repoussées en position plus centrale dans la paroi du tubule puis se divisent une nouvelle fois, produisant 14, ensuite 28 spermatogonies.



Ces spermatogonies ont une taille sensiblement réduite et très actives et accumulent beaucoup de réserves fournies par les grandes cellules nourricières et de soutient présentent dans la paroi des tubules séminifères. Leur volume augmente et ceci donne des cellules qui portent le nom de spermatocytes I.



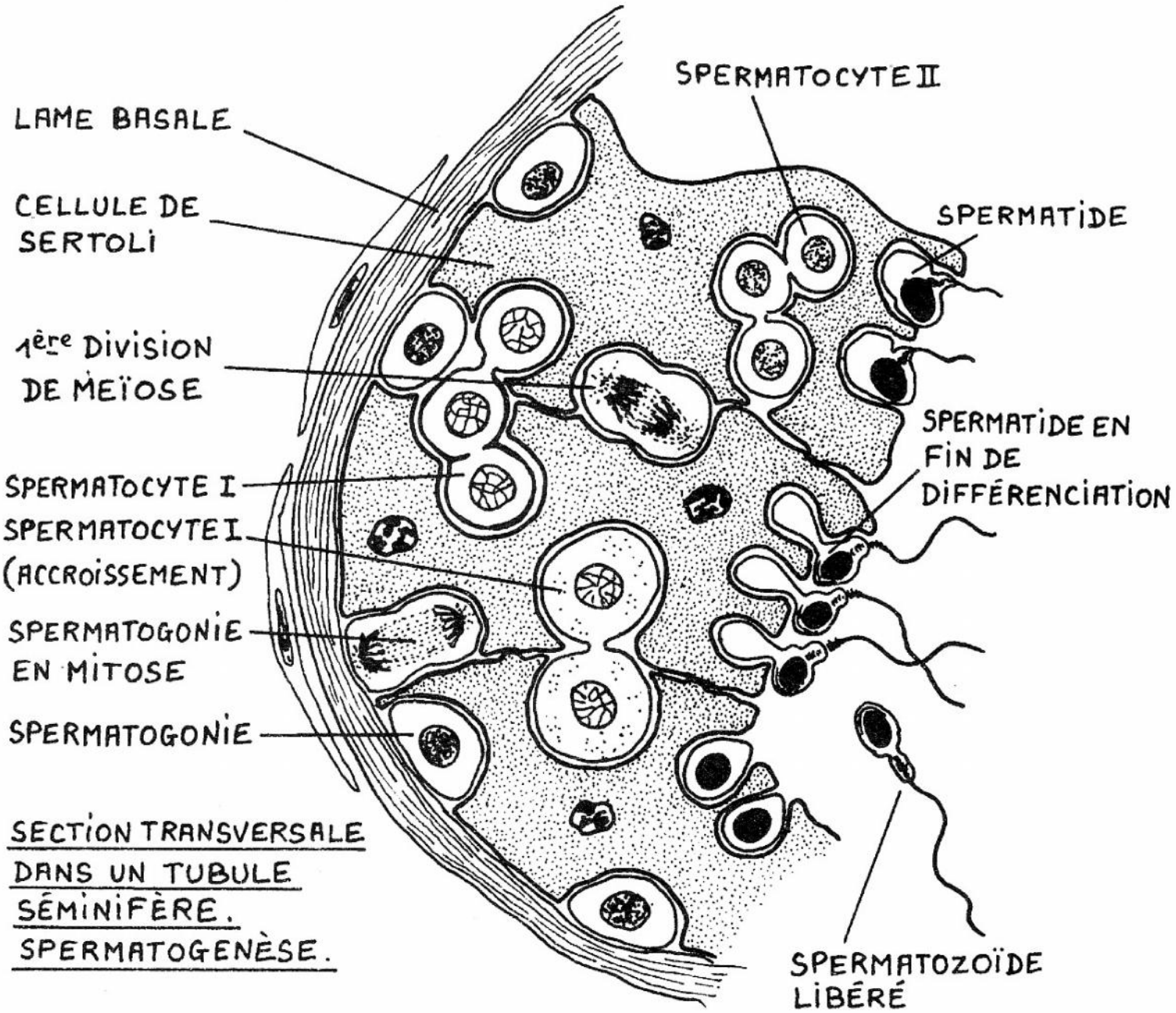
2.2.4 Phase de maturation :

a/ Méiose:

Les spermatocytes I subissent la 1ère division de méiose, donnant naissance à 2 cellules filles haploïdes: les spermatocytes II.

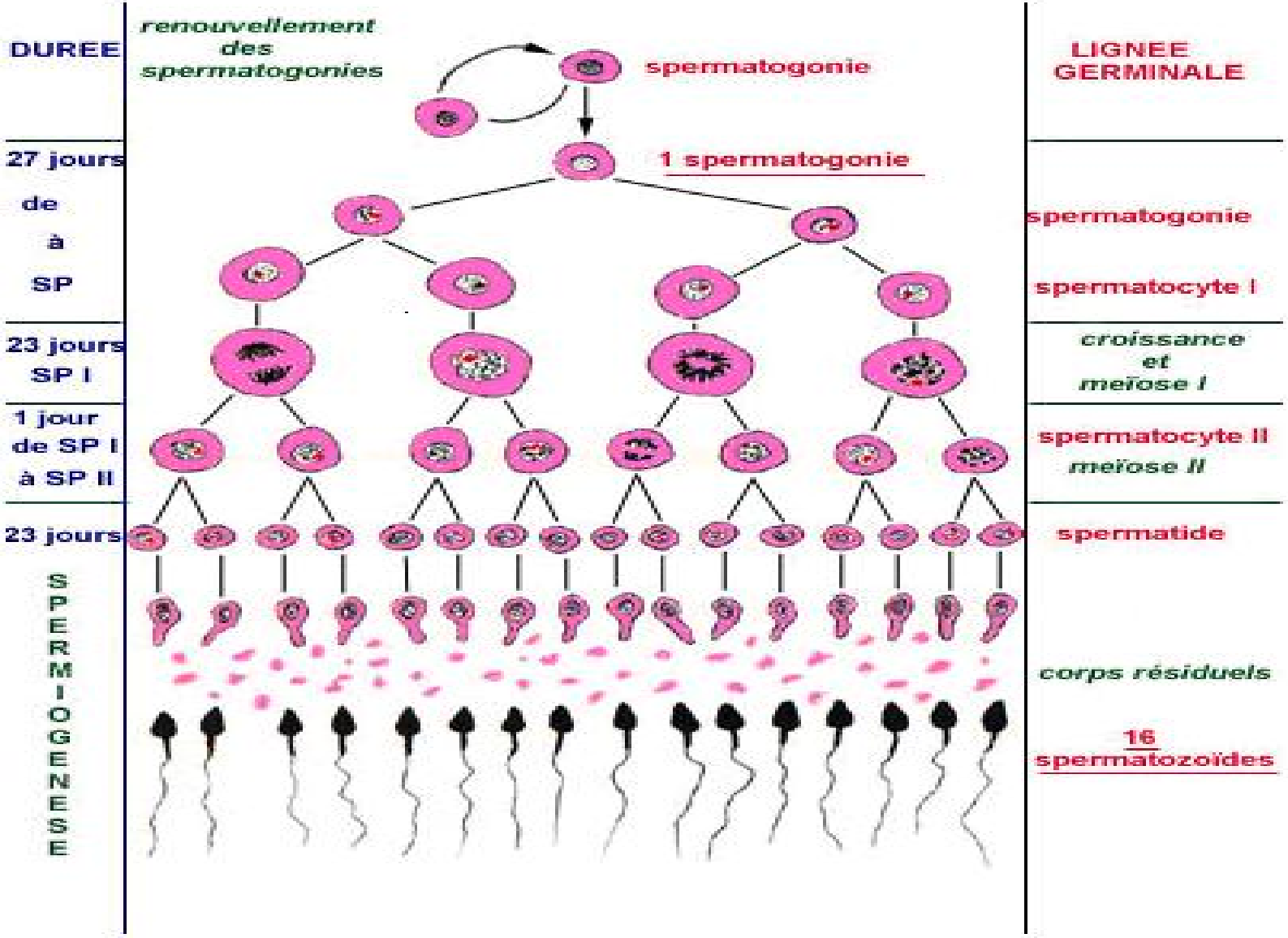
La 2ème division de méiose se produit rapidement. Chaque spermatocyte II donne naissance à 2 cellules filles: les spermatides.

Depuis le début de la spermatogenèse, et à chaque division, les cellules filles se retrouvent poussées vers la zone centrale du tubule tout en glissant entre les cellules de Sertoli. Ainsi les spermatides se retrouvent localisées dans la région apicale des cellules de Sertoli, au niveau de la lumière du tubule. Des ponts cytoplasmiques relient les cellules issues d'une même spermatogonie initiale entre elles.



SECTION TRANSVERSALE DANS UN TUBULE SÉMINIFÈRE. SPERMATOGENÈSE.

Résumé des Étapes de la spermatogenèse



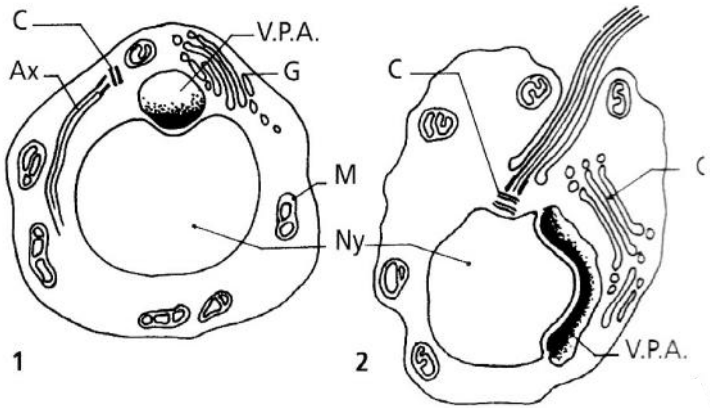
b/ Spermiogenèse :

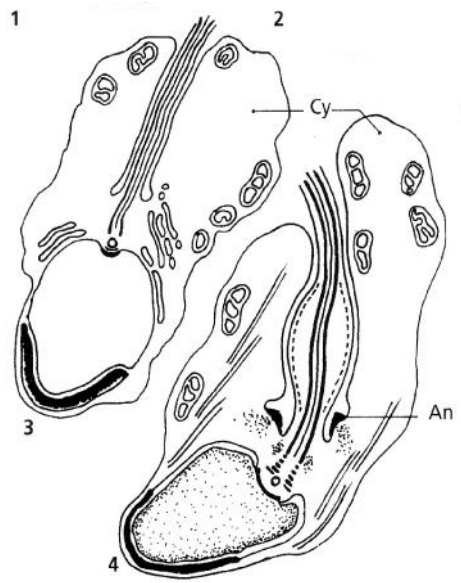
Arrivée à ce stade, les spermatides n'ont toujours pas complété leur différenciation cytologique et ne sont pas capables de se déplacer dans les voies génitales masculine et féminine pour atteindre les gamètes femelles.

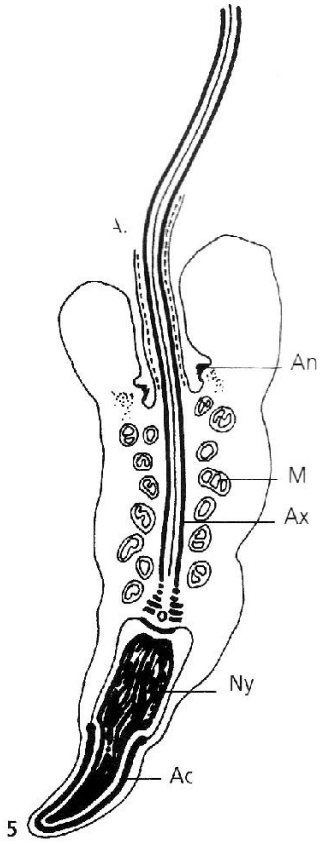
Elles vont subir une différenciation particulière: la spermiogenèse qui abouti à la formation des spermatozoïdes. Elle s'effectue dans la zone de la paroi qui entoure la lumière du tubule, les spermatides restant toujours en étroite relation avec les cellules de Sertoli. Une fois la spermiogenèse terminée, les spermatozoïdes se séparent des cellules de Sertoli et deviennent libres dans la lumière du tube séminifère.

La jeune spermatide subit des modifications morphologiques. Trois caractères évoluent de façon simultanée:

- **la condensation du noyau,**
- **la formation de l'acrosome,**
- **le développement du flagelle et de la pièce intermédiaire.**

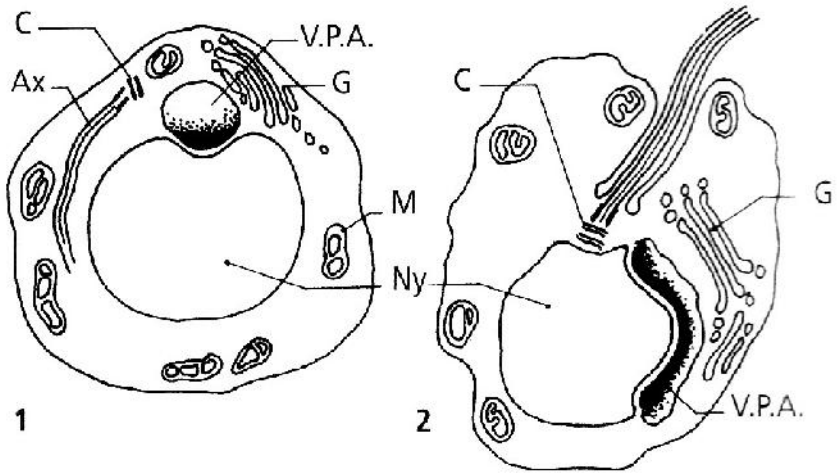






Description de la jeune spermatide (1)

- **Forme arrondie.**
- **Noyau à chromatine diffuse.**
- **Sécrétions de l'appareil de Golgi qui forment une vésicule que l'on appelle la vésicule proacrosomique. Cette vésicule est plaquée contre la membrane nucléaire.**
- **Complexe centriolaire avec une amorce de flagelle voisin de la vésicule.**
- **Réticulum endoplasmique organisé de façon concentrique autour du noyau.**
- **Mitochondries à la périphérie du cytoplasme.**



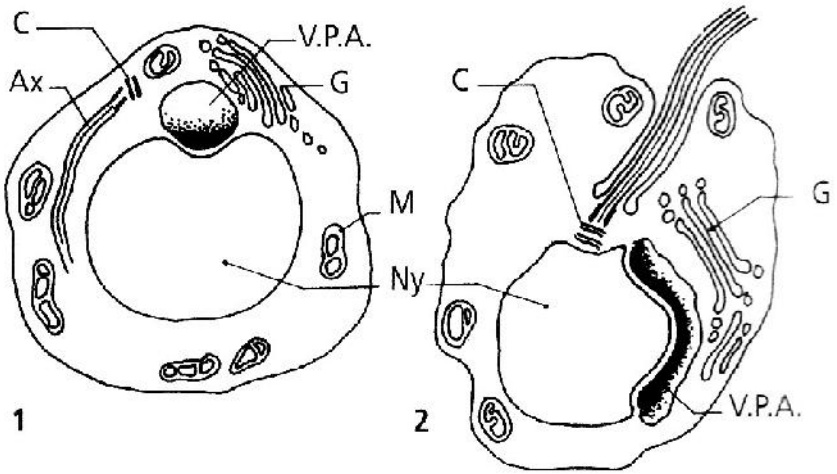
Acquisition de la polarité (2)

La vésicule proacrosomique migre dans le sens opposé du complexe centriolaire et commence à s'aplatir contre la surface antérieure du noyau, et constitue ainsi l'acrosome.

Le centriole proximal se rapproche du noyau et s'applique dans une invagination de la membrane nucléaire.

Le noyau commence a prendre une forme ovoïde; perd ses nucléoles et se condense progressivement.

La spermatide a alors acquis une polarité suivant un axe passant par l'acrosome et les centrioles.

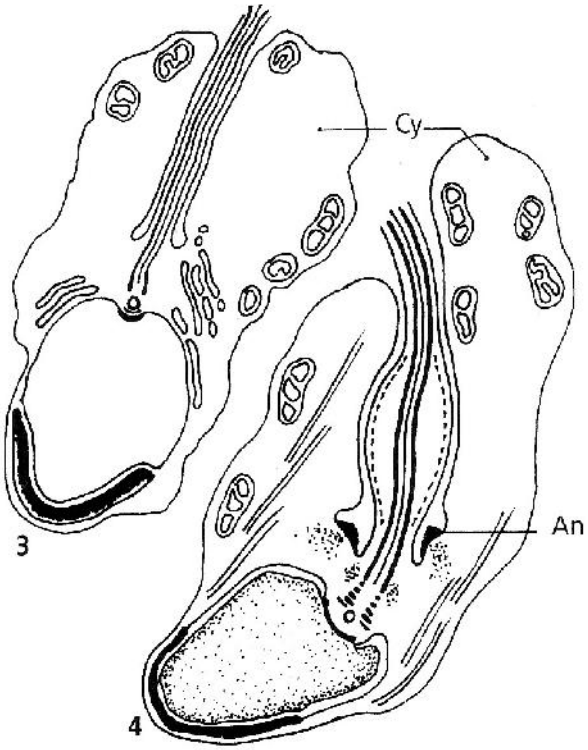


Condensation du noyau (3,4)

La chromatine se condense de plus en plus et le noyau se présente finalement sous l'aspect d'un seul bloc d'hétérochromatine limité par une membrane.

En arrière de l 'acrosome se forme une membrane dense postacrosomique autour du noyau. Cet ensemble forme la tête de la spermatide.

L'ensemble du cytoplasme se retire à l'arrière de la cellule, formant un lobe contenant des organites qui ne sont plus fonctionnels tels que le Golgi, le réticulum et le sur plus de mitochondries. Ce cytoplasme en excès sera phagocyté par les cellules de Sertoli.

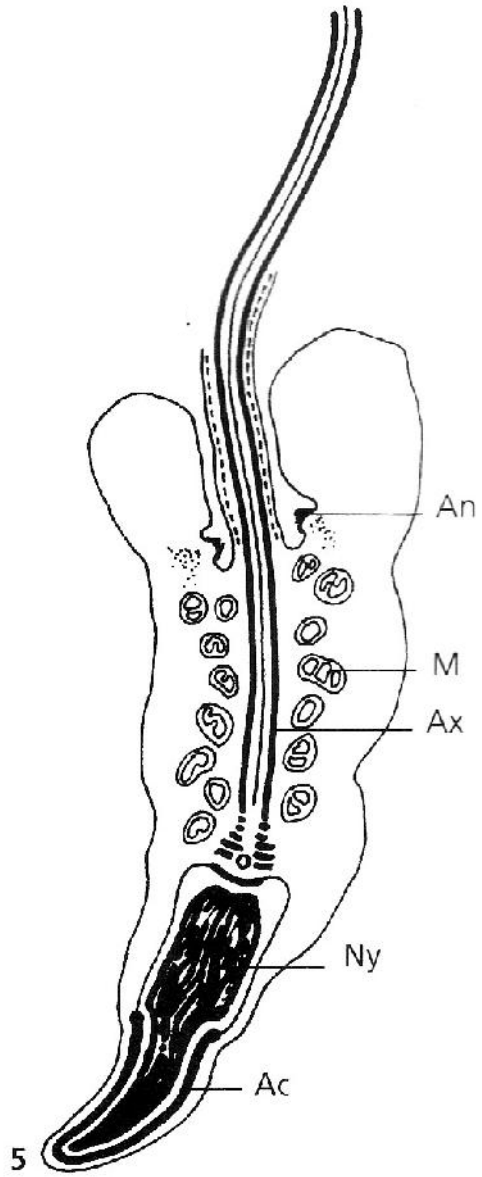


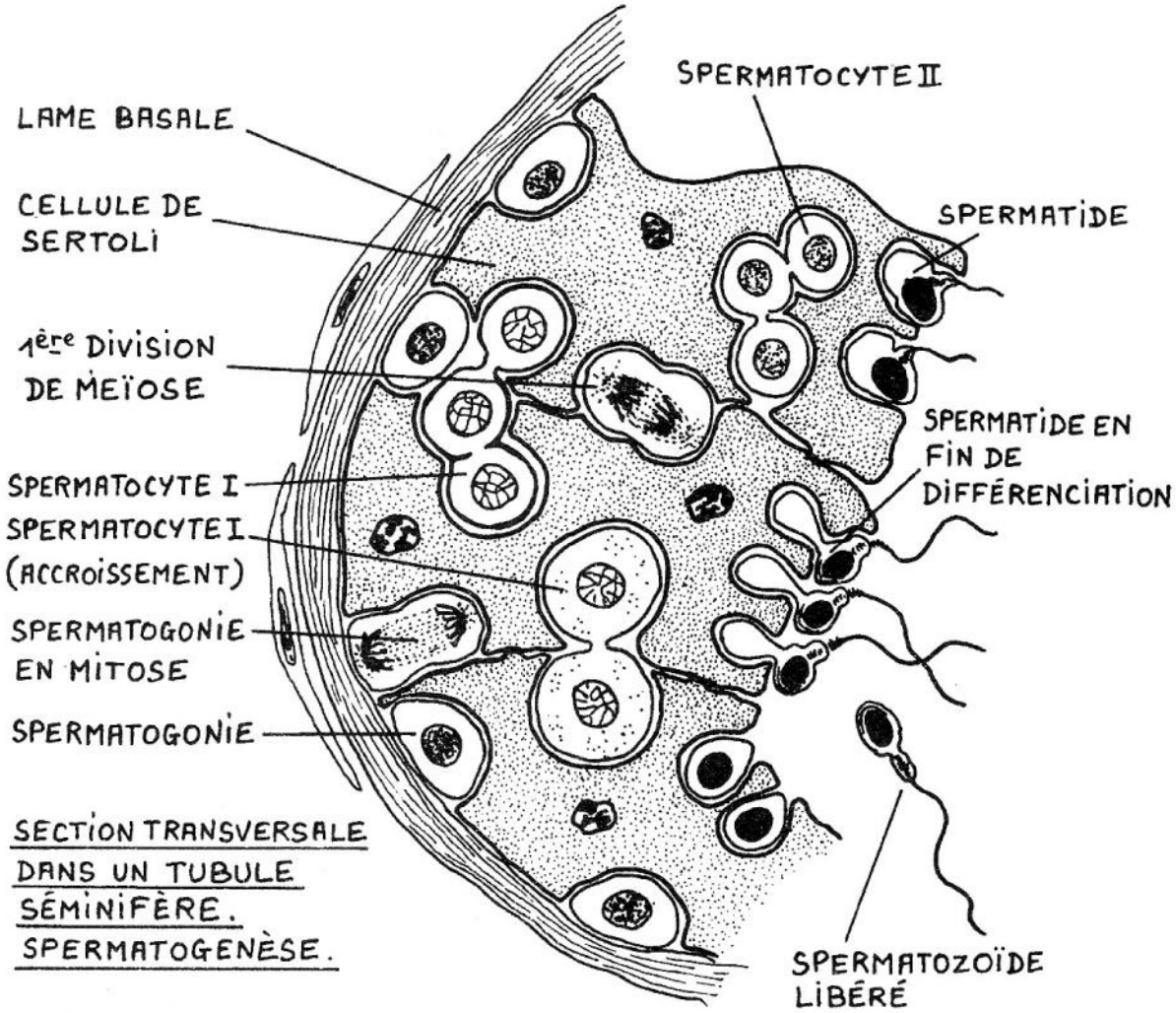
Différenciation de la pièce intermédiaire et du flagelle (5)

Le centriole distal donne naissance à un flagelle qui s ’allonge progressivement: l ’axonème. Il s ’agit d ’une paire de microtubules centraux entourée de 9 doublets de microtubules entourés eux même de 9 fibres denses.

Les mitochondries s ’enroulent en hélice autour de la base du flagelle: la pièce intermédiaire.

Formation de l ’annulus qui est un épaississement en forme d’anneau entourant le flagelle situé sous la membrane plasmique. Au cours de la différenciation, l’annulus migre vers l’emplacement qui constituera la limite postérieure de la pièce intermédiaire.





Les têtes spermatiques se dégagent des cellules de Sertoli qui les enveloppaient complètement et les spermatozoïdes peuvent être libérés dans la lumière du tube séminifère.

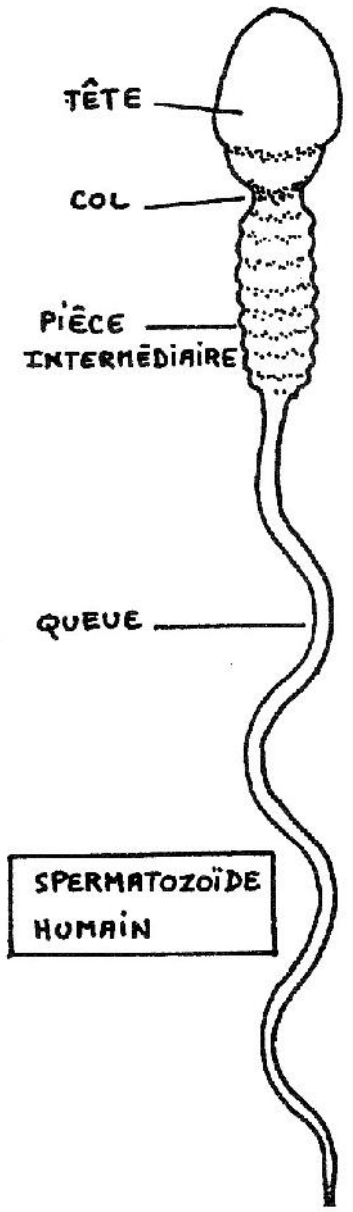
2.2.5 Morphologie et biologie des spermatozoïdes

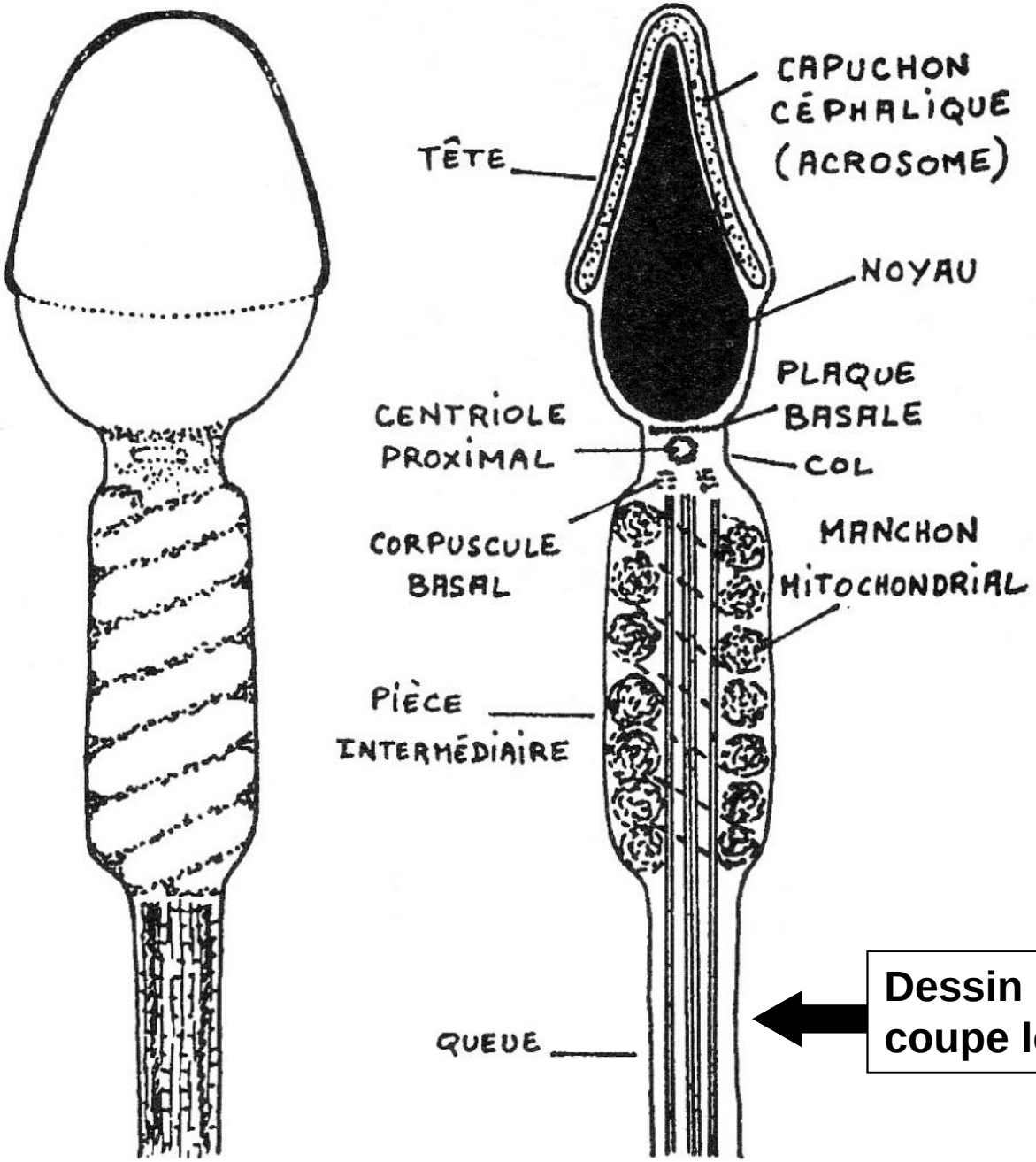
Le spermatozoïde est une cellule qui transfère le patrimoine génétique du mâle vers l'ovule de la femelle.

Le volume d'un spermatozoïde est très réduit par rapport à celui de l'ovocyte. Sa structure définitive s'acquiert hors du testicule, lors de son passage dans l'épididyme.

On distingue:

- **la tête, porteuse de l'acrosome et du noyau contenant un lot haploïde de chromosomes,**
- **le flagelle constitué d'un col (ou cou), d'une pièce intermédiaire et d'une pièce principale appelée généralement queue.**





Dessin d'un spermatozoïde en coupe longitudinale

2.2.6 Facteurs affectant la spermatogenèse:

La production de spermatozoïdes est assez variable et peut être affectée par des facteurs externes tels que les températures élevées, la lumière, la nutrition (les carences en vitamine A et E provoque une chute de la production des spermatozoïdes), etc.

2.2.7 Mobilité des spermatozoïdes:

La mobilité des spermatozoïdes est assurée par les ondulations du flagelle, l'énergie nécessaire est fournie par les mitochondries qui utilisent le fructose contenu dans le liquide séminal.

2.2.8 Survie des spermatozoïdes:

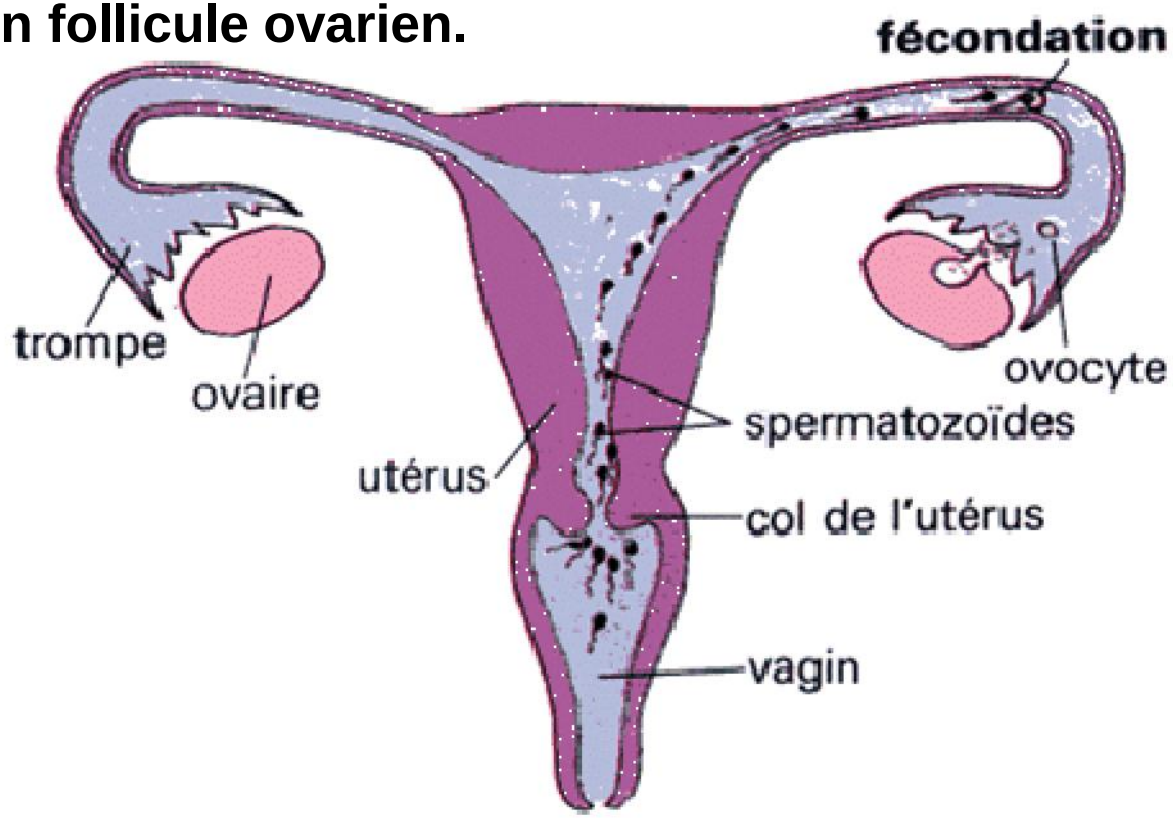
Les spermatozoïdes peuvent survivre de 2 à 8 jours, ils demeurent fécondants 4 à 5 jours et restent mobiles pendants 8 jours. On peut conserver les spermatozoïdes vivants, durant plusieurs années, en utilisant des techniques de préservation par le froid.

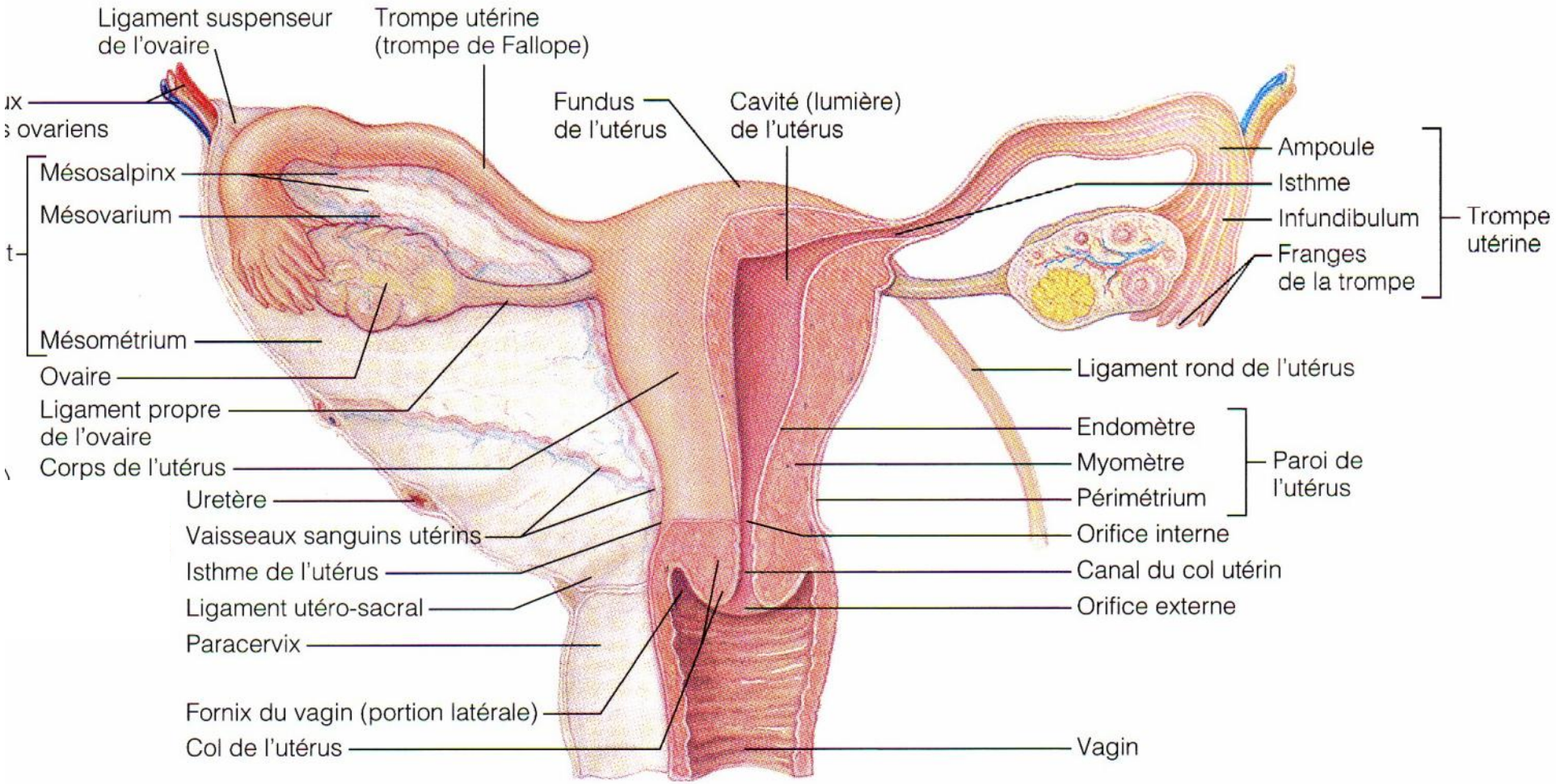
2.3 L'OVOGENÈSE (espèce humaine)

2.3.1. Localisation:

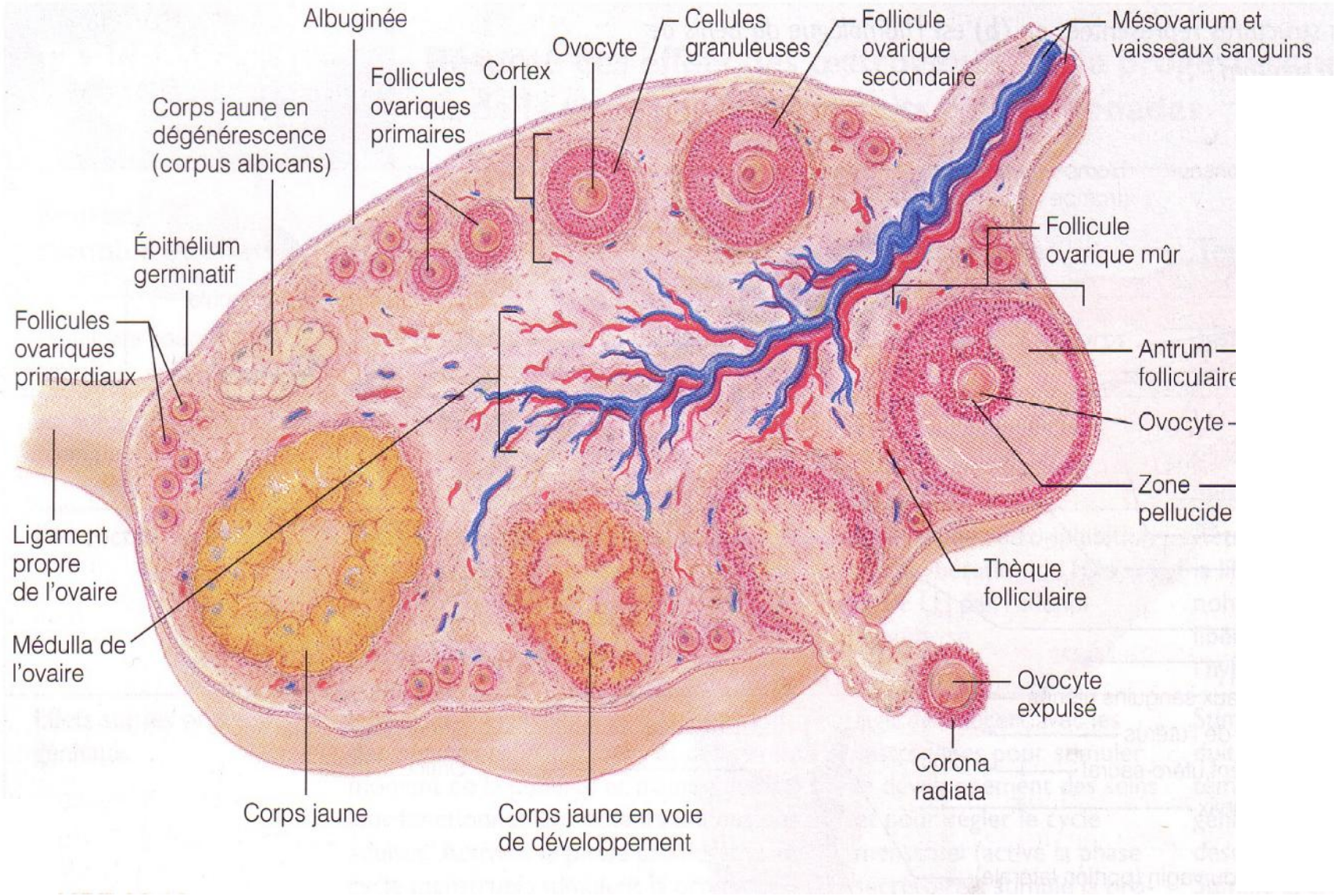
L'ovogenèse est l'ensemble des processus conduisant à la formation des gamètes femelles: les ovules. Elle se déroule dans les gonades femelles: les ovaires.

A l'intérieur des ovaires, les cellules sexuelles sont associées à des cellules somatiques, les cellules folliculeuses, l'ensemble formant un follicule ovarien.

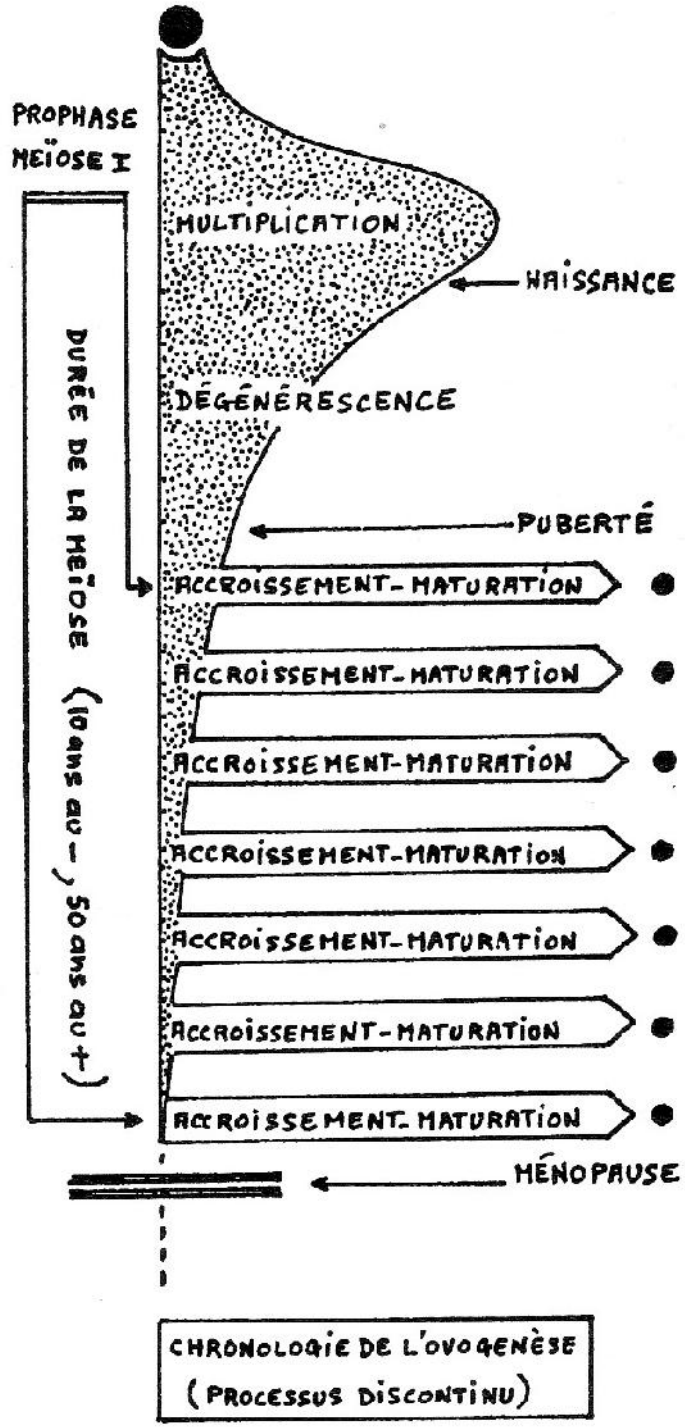




Organes génitaux internes de la femme (vue postérieure).



Structure d'un ovaire.



Les cellules germinales chez la femelle sont localisées au niveau de l'ovaire. Dans un premier temps, pendant la vie fœtale, elles passent par une phase de multiplication. Cette phase sera suivie d'une phase de dégénérescence.

Suite à cela, elles passent par une phase de préméiose suivie d'une phase d'accroissement et enfin une phase de maturation

2.3.2. Phase de multiplication

Pendant la vie fœtale, les ovogonies se multiplient au sein de l'ovaire jusqu'à la 16e semaine du développement, puis elles perdent leur capacité de multiplication.

Au 2e mois de la vie fœtale il n'y a que 600 000 ovogonies dans les ovaires.

Au début du 5e mois, à la fin de la phase de multiplication, le stock d'ovogonies s'élève à 7 millions de cellules.

2.3.3. Phase de dégénérescence :

Avec le 5e mois débute une phase de dégénérescence, qui réduit fortement cette réserve. Et on ne retrouve que 2 millions de cellules sexuelles dans les ovaires à la naissance, puis 250 000 au moment de la puberté.

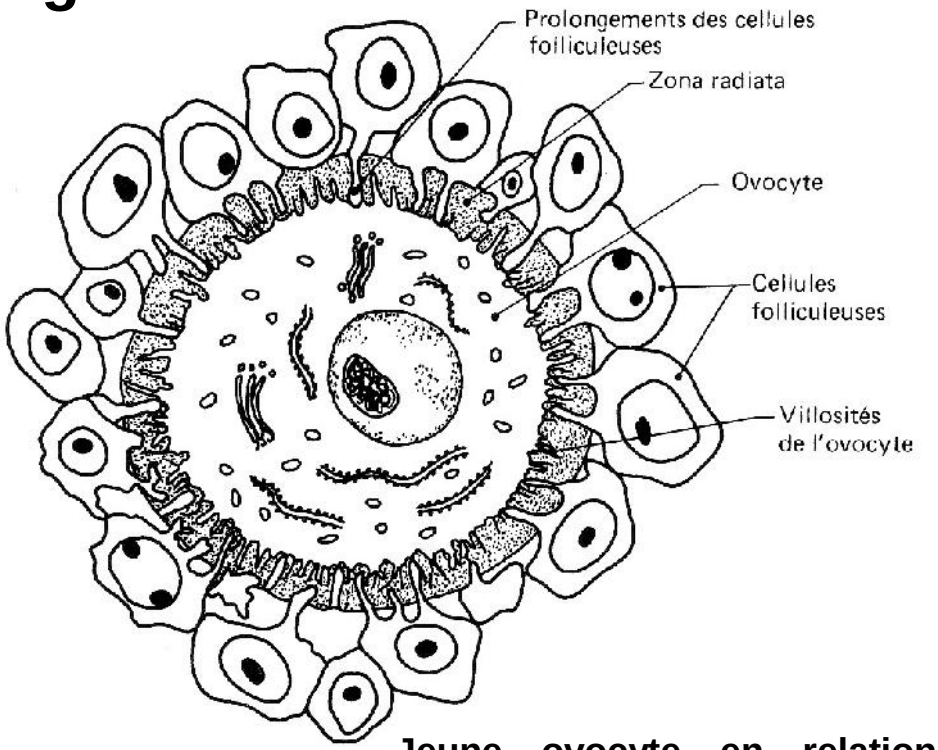
En définitive, au cours de la vie de la femme, seulement 400 à 500 cellules sexuelles parviennent au terme de leur différenciation, c'est-à-dire jusqu'à l'ovulation.

Toutes les autres dégénèrent, c'est ainsi qu'après la ménopause on ne trouve plus du tout de cellules de la lignée germinale dans les ovaires.

2.3.4. Phase de préméiose :

Entre le 4e et le 7e mois de la vie fœtale, les ovogonies cessent de se multiplier par mitose et rentrent en prophase de première division de méiose. On parle alors d'ovocytes de premier ordre: ovocyte I.

Le noyau des ovocytes I est volumineux on leur donne le nom de vésicule germinative.



Jeune ovocyte en relation avec le premier rang de cellules folliculeuses.

2.3.5. Phase d'accroissement :

Dés la naissance, successivement une vingtaine d'ovocytes I commencent a accumuler des réserves et entament ainsi une phase de grand accroissement qui dure en moyenne 3 mois.

Depuis la naissance jusqu'à la puberté, cette phase d'accroissement aboutit à la dégénérescence des ovocytes I.

A partir de la puberté, et jusqu'à la ménopause, les ovocytes I sont en mesure de continuer leur différenciation dans le cadre du cycle ovarien (qui est de 28 jours en moyenne chez la femme).

2.3.6. Phase de maturation :

Cette phase est caractérisée par la poursuite de la méiose.

En général, un seul ovocyte I par cycle de 28 jours qui parvient au stade de la maturation. Cet ovocyte reprend le processus de la 1ère division de méiose qui s'était interrompu en milieu de prophase et produit 2 cellules filles morphologiquement très différentes.

▶ Un ovocyte de second ordre: ovocyte II, haploïde qui conserve toutes les réserves accumulées pendant la phase d'accroissement.

▶ Un premier globule polaire, haploïde, dépourvu de réserves cytoplasmiques et destiné à dégénérer.

Après la première division de la méiose se produit la ponte ovulaire : l'ovulation. L'ovocyte II est émis par l'ovaire.

Deuxième division de méiose :

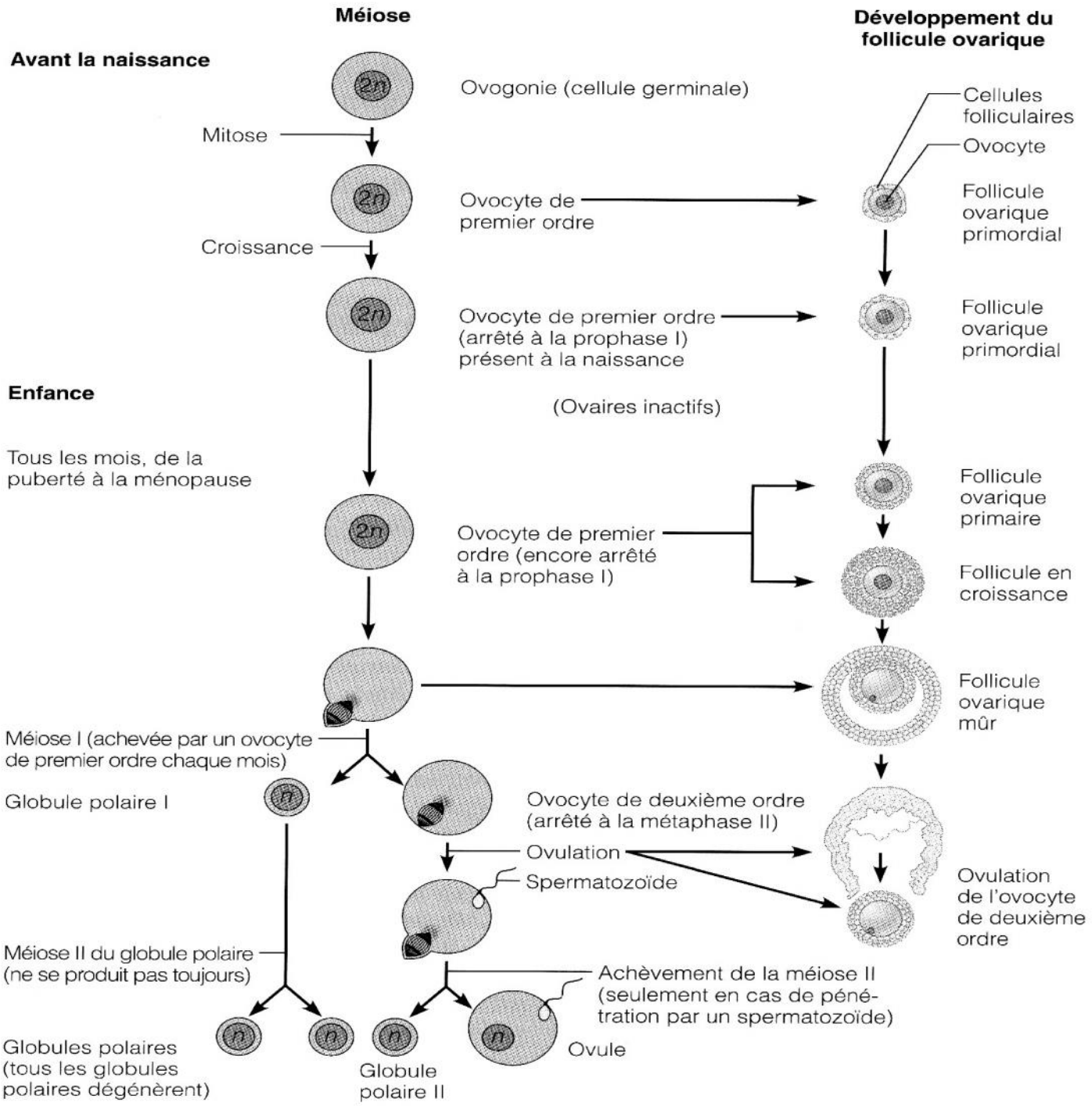
Juste avant que ne se produise l'ovulation, l'ovocyte II commence sa 2eme division de méiose et reste bloqué en métaphase. C'est l'activation éventuelle par un spermatozoïde qui permet à la seconde division de méiose de s'achever.

La fécondation s'effectue dans la partie haute du tractus génital de la mère, elle reste possible pendant 24 heures après la ponte ovulaire.

L'ovocyte II qui achève sa méiose donne naissance à deux cellules haploïdes :

▶ L'ovotide, haploïde, qui conserve la totalité des réserves, et qui représente le véritable gamète femelle.

▶ Le second globule polaire, haploïde et dépourvu de réserves.


Méiose
Développement du follicule ovarique
Avant la naissance
Ovogonie (cellule germinale)
Mitose
Cellules folliculaires
Ovocyte
Ovocyte de premier ordre
Follicule ovarique primordial
Croissance
Ovocyte de premier ordre (arrêté à la prophase I) présent à la naissance
Follicule ovarique primordial
Enfance
(Ovaires inactifs)
Tous les mois, de la puberté à la ménopause
Follicule ovarique primaire
Ovocyte de premier ordre (encore arrêté à la prophase I)
Follicule en croissance
Follicule ovarique mûr
Méiose I (achevée par un ovocyte de premier ordre chaque mois)
Globule polaire I
Ovocyte de deuxième ordre (arrêté à la métaphase II)
Ovulation
Spermatozoïde
Ovulation de l'ovocyte de deuxième ordre
Méiose II du globule polaire (ne se produit pas toujours)
Achèvement de la méiose II (seulement en cas de pénétration par un spermatozoïde)
Globules polaires (tous les globules polaires dégénèrent)
Globule polaire II
Ovule

2.3.7. Cycle Ovarien:

La série de phénomènes associés à la maturation d'un ovule est appelée cycle ovarien. On peut le diviser en 2 phases:

▶ La phase folliculaire, période de croissance du follicule qui s'étend habituellement du jour 1 au jour 14 du cycle.

▶ La phase lutéale, la période d'activité du corps jaune et qui s'étend des jours 14 à 28.

Le cycle ovarien typique recommence à intervalle de 28 jours, et l'ovulation se produit au milieu du cycle.

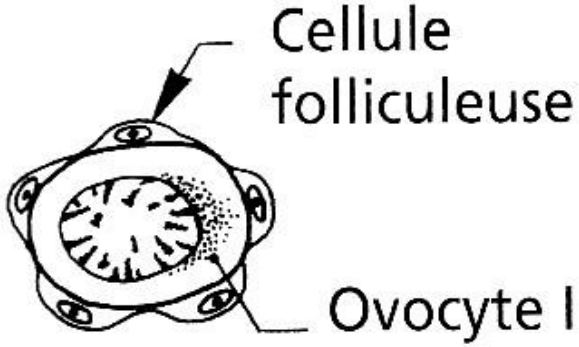
2.3.8. Développement des follicules ovariens:

Peu après la fin des mitoses ovogoniales, quelques cellules somatiques forment une couche enveloppant chaque ovocyte jeune. L'association ainsi formée constitue un follicule.

a/ Le follicule primordial :

A la fin de la phase de multiplication, à partir du 5^{e} mois de la vie du foetus, les ovogonies qui se transforment en ovocytes I s'entourent d'une assise de cellules somatiques.

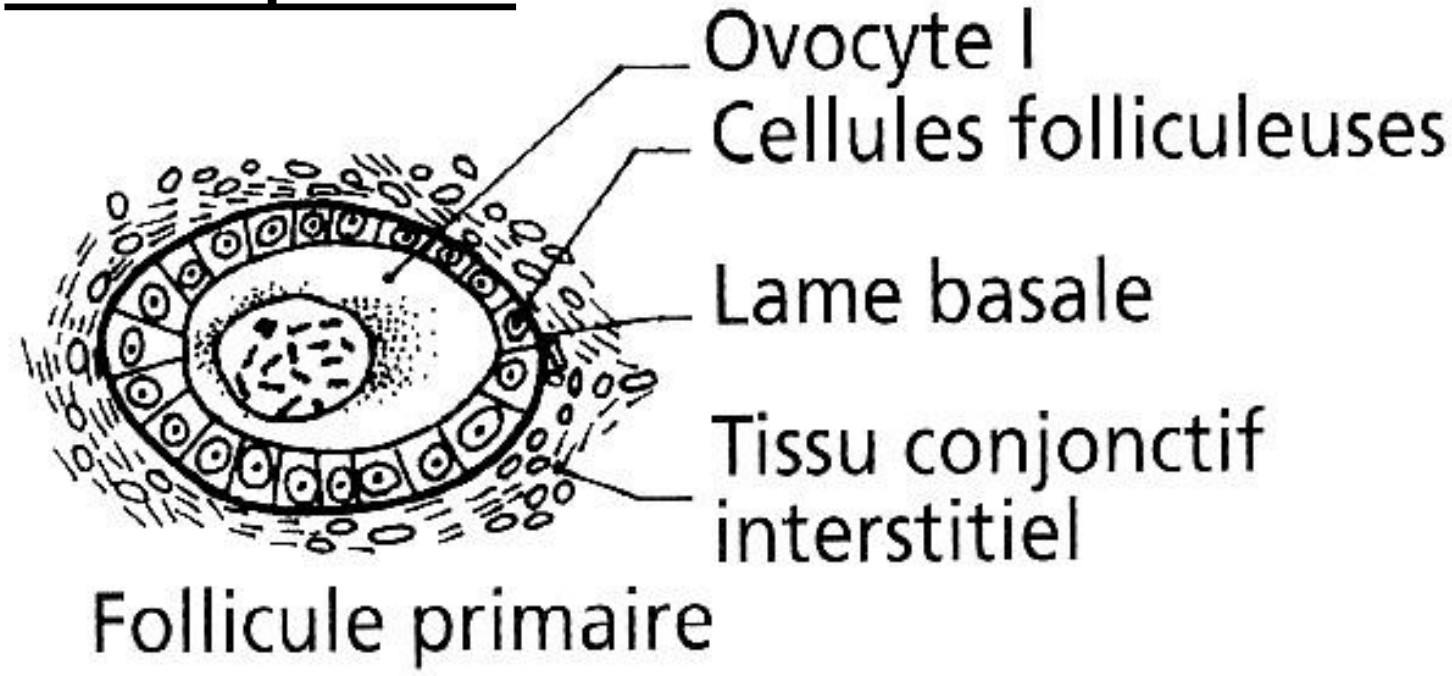
L'ensemble formé par l'ovocyte I plus les cellules somatiques qui l'entourent est appelé le follicule primordial.



Follicule primordial

b/ Follicules primaires :

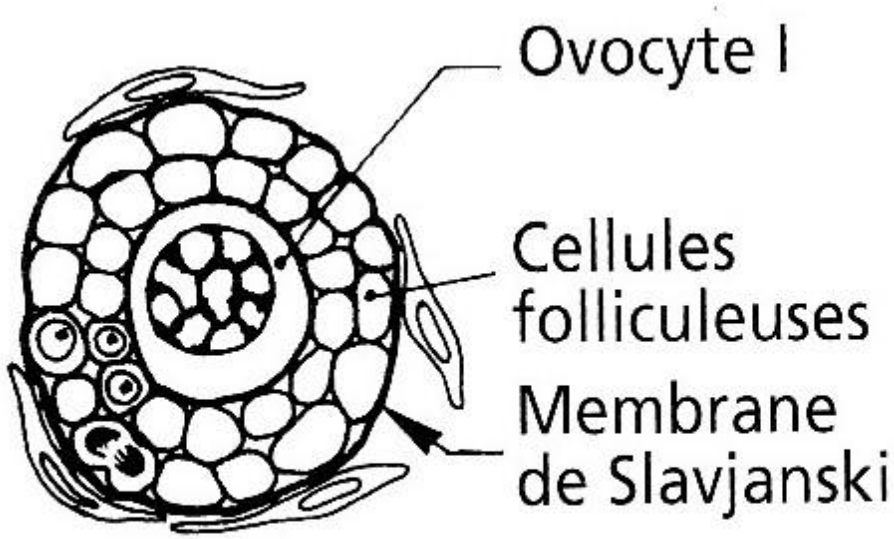
Après la naissance, les cellules somatiques du follicule se multiplient, elles forment autour de l'ovocyte I une couche de cellules cubiques et l'ensemble est limité par une membrane basale : la membrane de Slavjanski. L'ensemble prend le nom de follicule primaire.



c/ Follicules secondaires :

Chez la petite fille des groupes successifs de follicules primaires s'engagent dans une phase de croissance appelée la folliculogenèse.

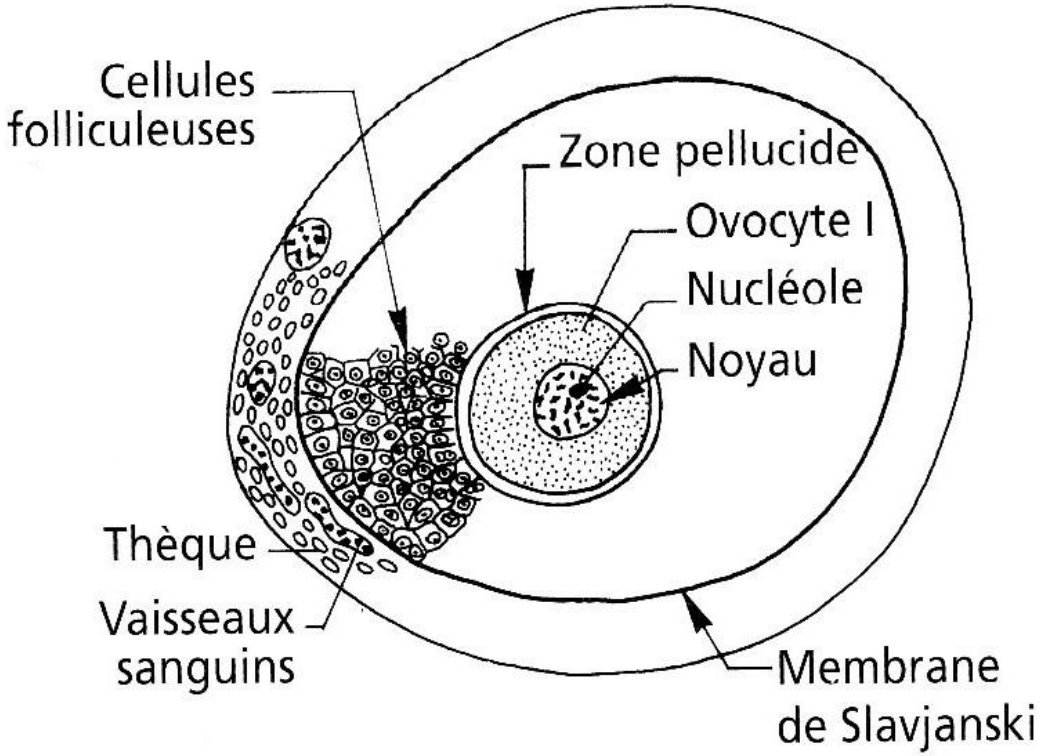
L'ovocyte I accumule les réserves et augmente de volume, les cellules folliculaires qui l'entourent se multiplient. Elles forment 2 à 3 assises cellulaires, et forment ainsi ce qu'on appelle la corona radiata, puis des couches périphériques qui forment un massif appelé granulosa. Cet ensemble forme le follicule secondaire.



Follicule secondaire jeune

Le tissu de l'ovaire se condense à la périphérie du follicule et forme ce que l'on appelle la thèque.

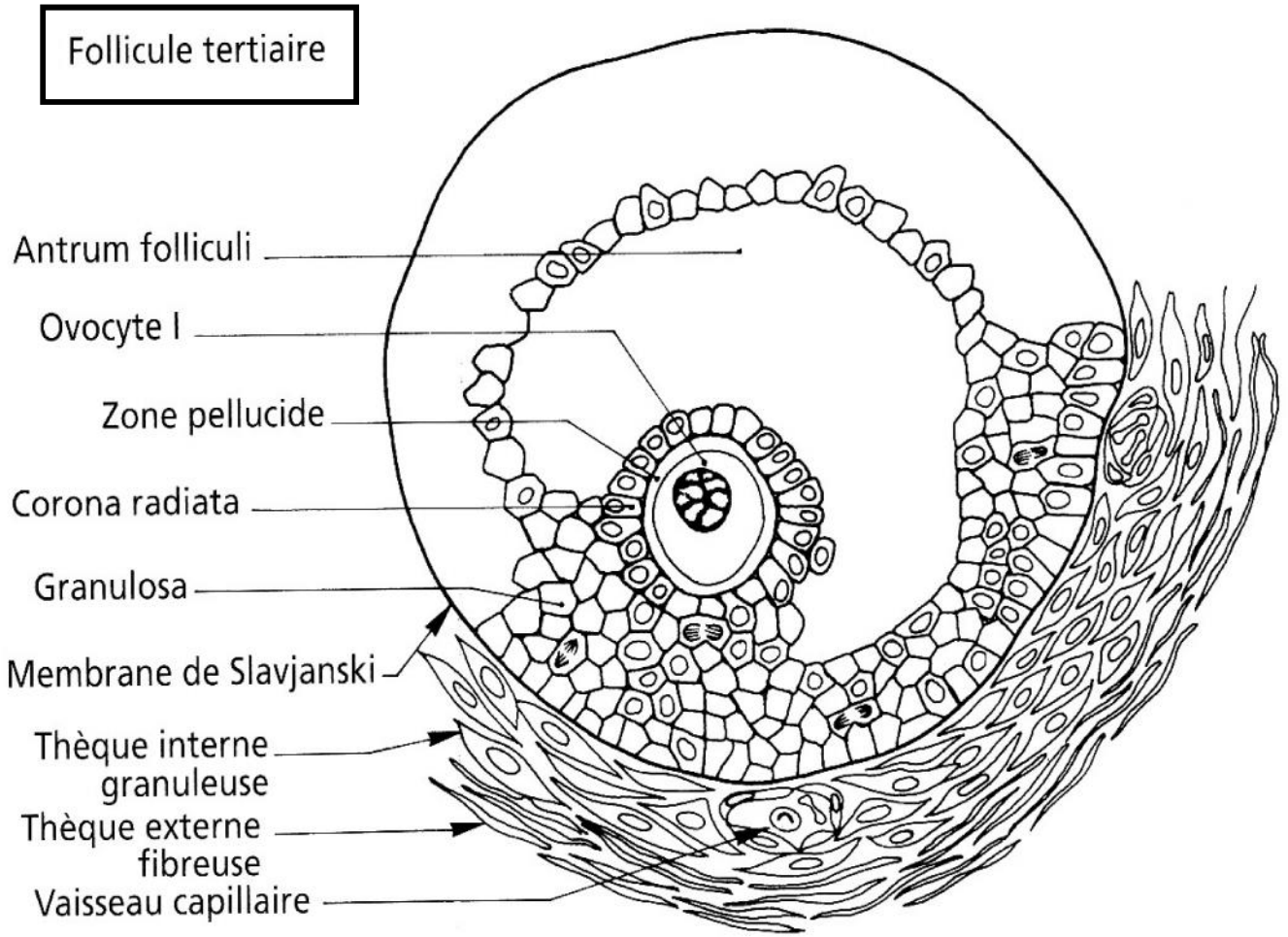
Tant que la puberté n'est pas atteinte, les follicules ne dépassent pas le stade secondaire et dégénèrent.



Follicule secondaire âgé

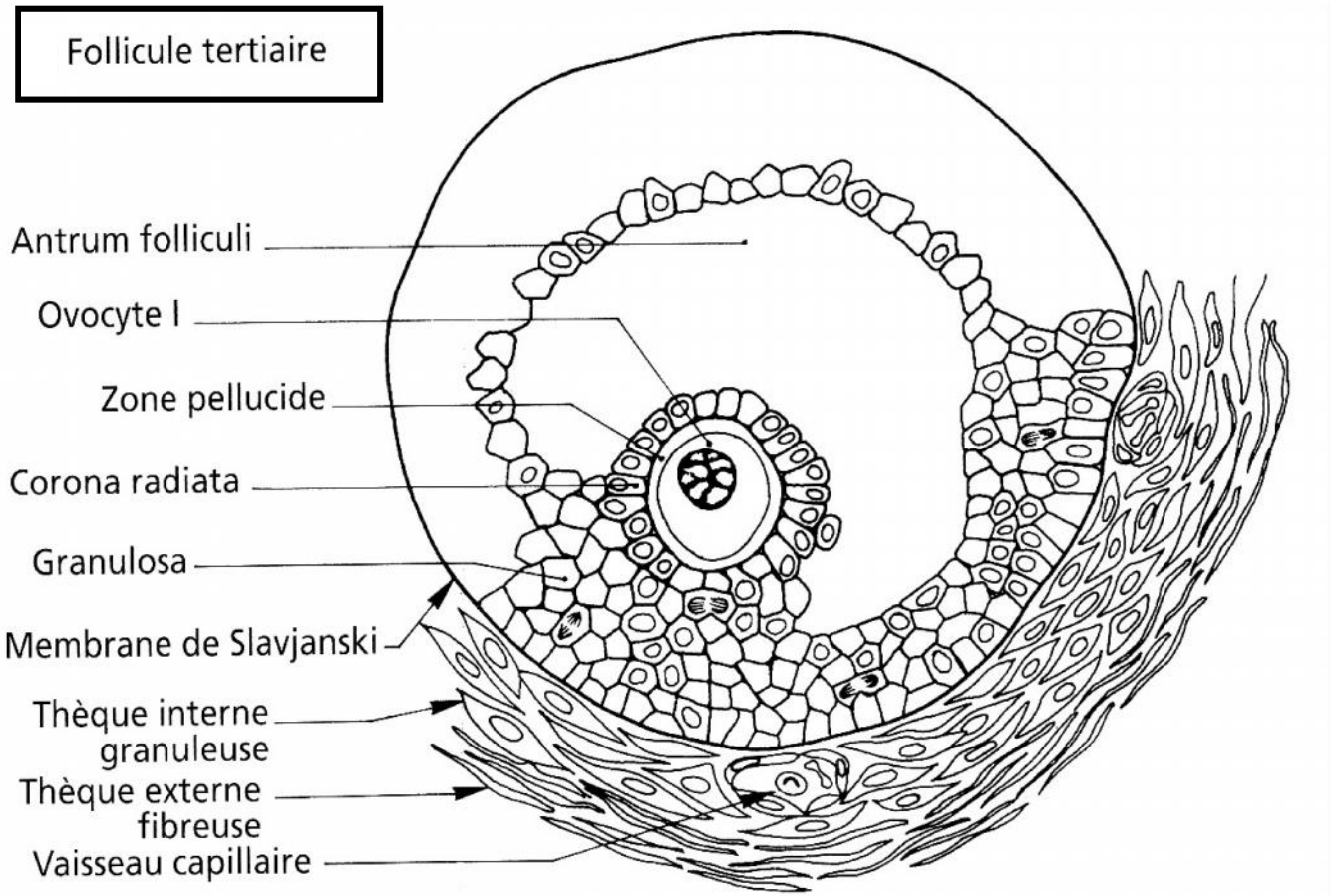
d/ Follicules tertiaires :

Dés la puberté, au début de chaque cycle ovarien, un lot de follicules secondaires évolue en follicules tertiaires. Quelques uns atteindrons l'ovulation, mais généralement un seul par cycle.



Les cellules de la granulosa se multiplient et le massif qu'elles forment se creuse d'une cavité (=l'antrum) qui contient un sérum riche en hormones sexuelles, œstrogènes et progestérone.

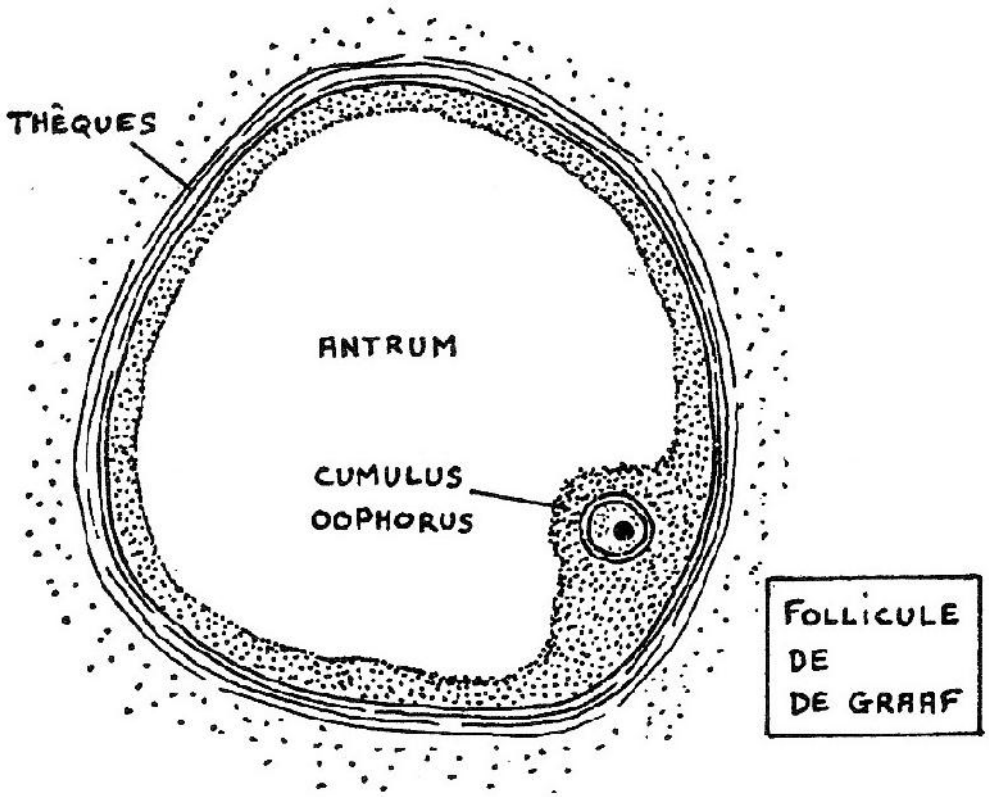
L'ovocyte I augmente son volume et continue de sécréter des glycoprotéines qui forment la zone pellucide qui l'isole de la corona radiata.



e/ Follicule de Graaf :

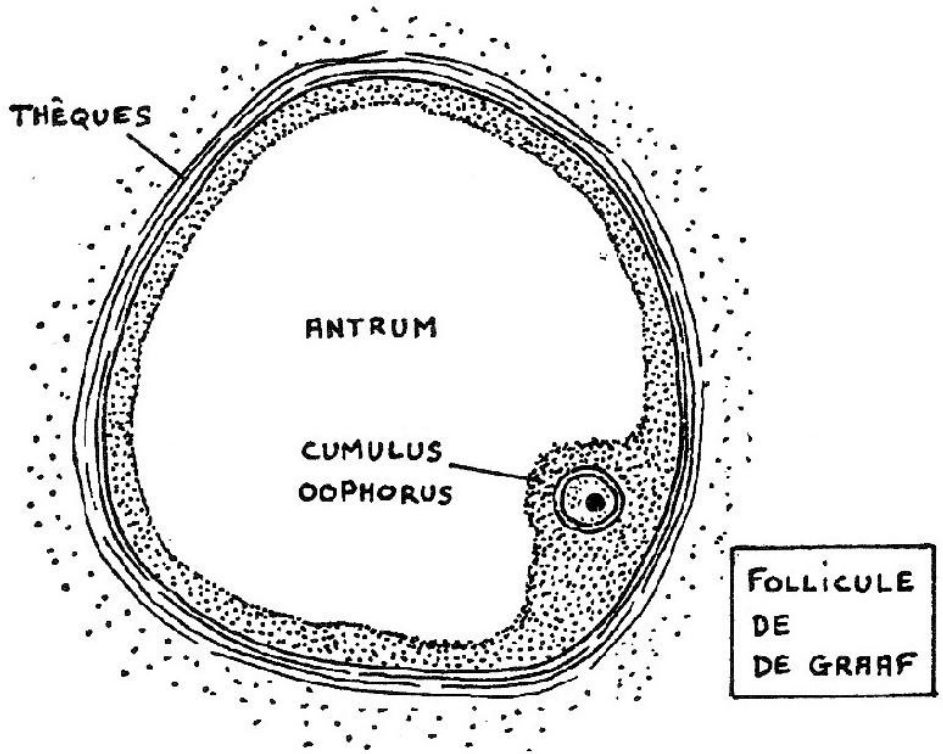
1 ou 2 follicules seulement terminent leur maturation vers la fin de la deuxième semaine du cycle et se transforment en follicules de Graaf.

L'ovocyte I chargé de réserves est étroitement enserré dans la zone pellucide, environnée par une assise de cellules folliculaires, et de 2 ou 3 couches de cellules disposées de façon radiaire.

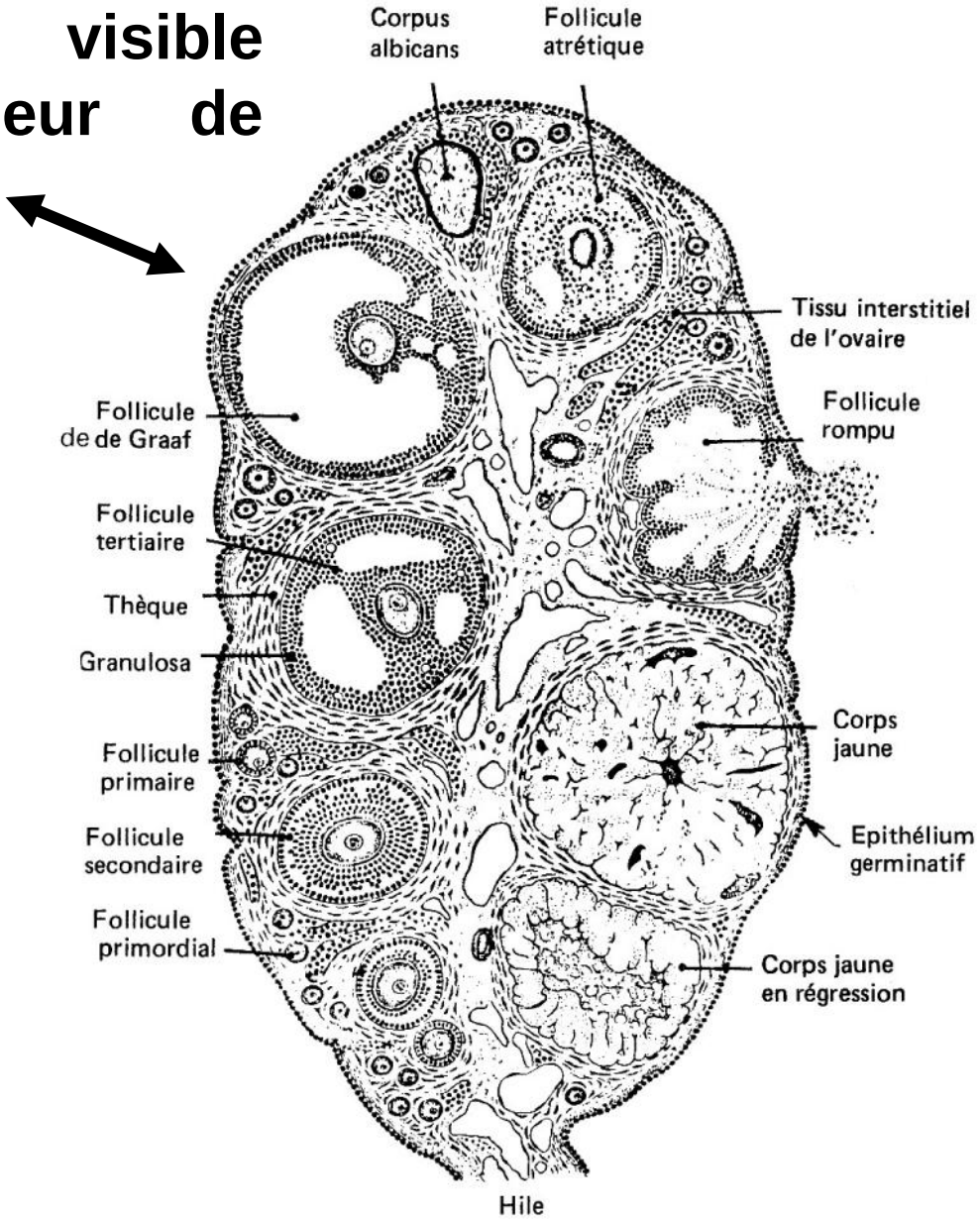


Ces cellules forment la corona radiata, elle-même située au centre d'un massif de cellules ± dissociées. Le tout forme le cumulus oophorus.

Le follicule se dilate (son diamètre atteint près de 2 cm après 14 jours) et forme un renflement très visible à la surface de l'ovaire.



Renflement visible de l'extérieur de l'ovaire



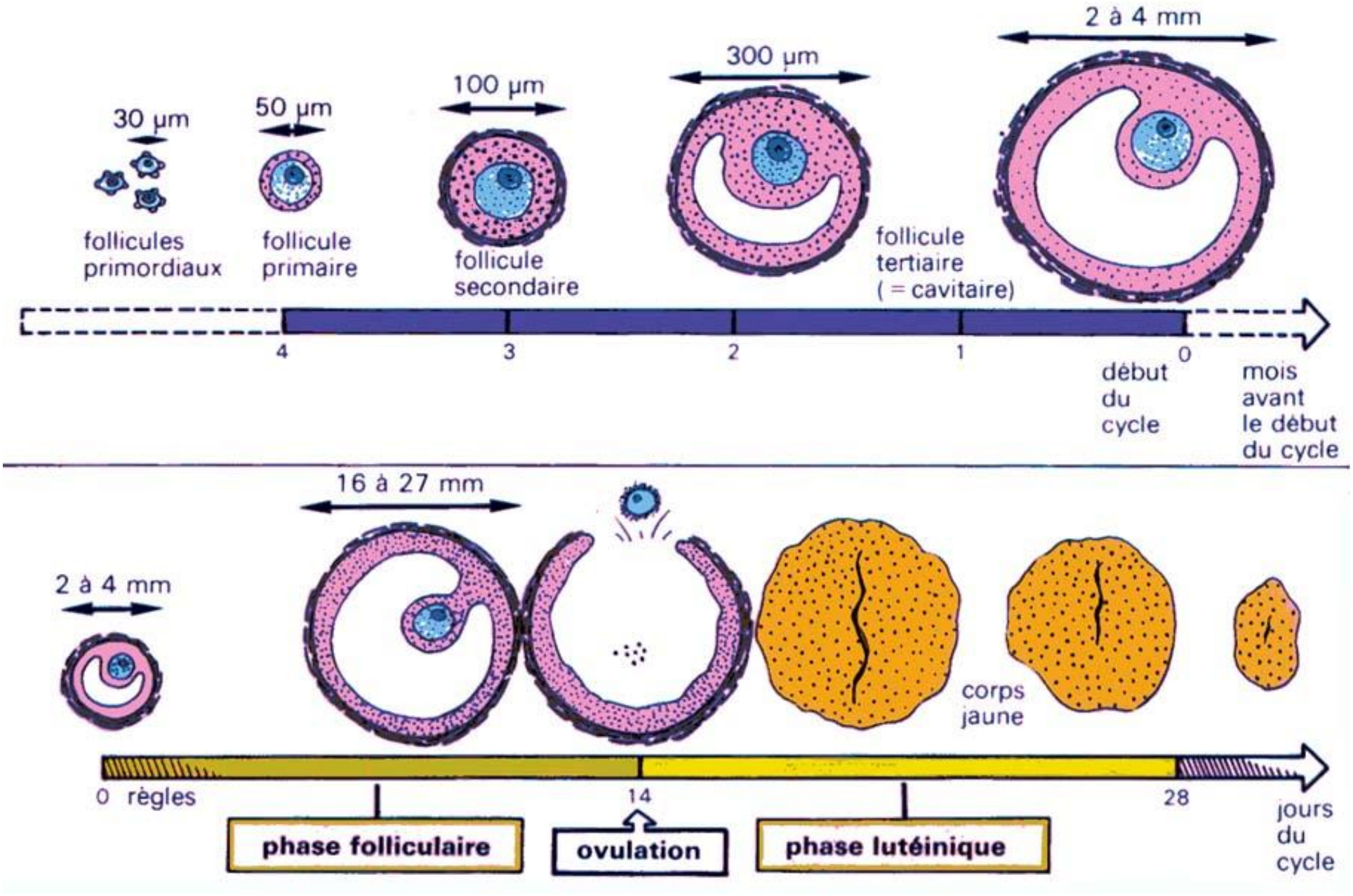
<u>Représentation d'un ovaire ou sont présentes toutes les étapes du cycle ovarien.</u>

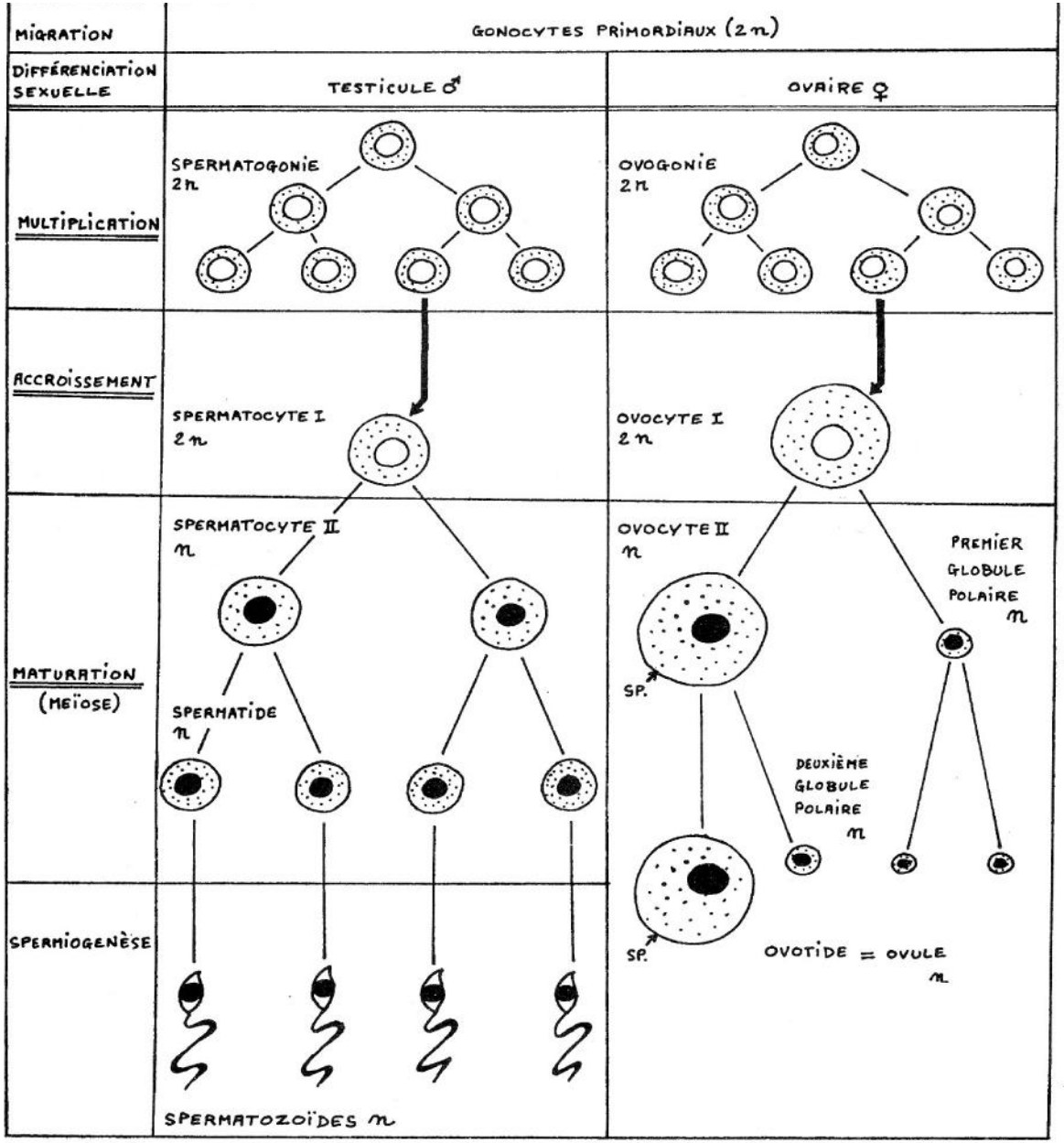
2.3.9. Évolution des follicules ovariens après l'ovulation

L'ovulation se produit quand la paroi de l'ovaire se rompt à l'endroit de la saillie formée par le follicule et qu'elle expulse dans le pavillon de l'oviducte l'ovocyte II encore entouré de sa corona radiata.

Le follicule, resté dans l'ovaire, forme alors le corps jaune ou corps progestatif.

Quelques jours avant la fin du cycle ovarien, le corps jaune se résorbe et ne laisse qu'une cicatrice appelée corpus albicans, s'il y a eu fécondation le corps jaune se maintient pendant la grossesse (gestation).


30 µm
50 µm
100 µm
300 µm
2 à 4 mm
follicules primordiaux
follicule primaire
follicule secondaire
follicule tertiaire (= cavitaire)
4
3
2
1
0
début du cycle
mois avant le début du cycle
2 à 4 mm
16 à 27 mm
corps jaune
0 règles
14
28
jours du cycle
phase folliculaire
ovulation
phase lutéinique



SPERMATOGENÈSE ET OVOGENÈSE

Première partie: Biologie de la Reproduction

3/ LA FECONDATION

3.1. Introduction:

La fusion du gamète mâle et du gamète femelle est appelée fécondation, elle permet la constitution du zygote.

Les modalités de la fécondation sont variables selon les espèces mais chez tous les métazoaires elle comporte 2 étapes principales :

- l'impact du spermatozoïde sur le gamète femelle. Cette étape s'accompagne d'un nombre de réactions caractéristiques de l'activation de l'œuf,

- l'amphimixie, qui est la fusion des 2 lots haploïdes de chromosomes des gamètes mâle et femelle, et qui permet la reconstitution de la diploïdie dans l'oeuf fécondé.

3.2. Conditions de la fécondation:

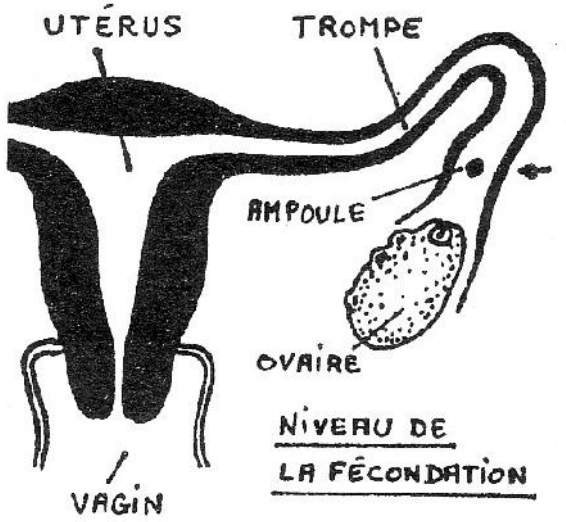
Chez les Mammifères placentaires l'insémination naturelle est interne et on parle d'accouplement. Et c'est ainsi que les gamètes mâles sont déposés dans les voies génitales femelles.

3.2.1. L'ovocyte II:

Pendant la ponte ovulaire un ovocyte II, entouré de sa zone pellucide et des cellules de la corona radiata, est émis à chaque cycle ovarien.

Il est capté par le pavillon de la trompe utérine, puis aspiré sous l'effet des mouvements de la musculature et des mouvements des cils du tissu de la trompe.

Suite à cela, il atteint le tiers externe de la trompe, l'ampoule, et c'est là que s'effectue éventuellement la fécondation. A ce stade, il est bloqué en métaphase de 2eme division de méiose. L'ovule n'est fécondable que 24 heures après la ponte ovulaire.



3.2.2. Les spermatozoïdes

Pour que la fécondation puisse s'effectuer, les spermatozoïdes doivent atteindre l'ovocyte II au niveau de l'ampoule. Ils sont propulsés par leurs flagelles et sont attirés par une substance secrétée par le col de l'utérus: la glaire. Elle favorise le passage des spermatozoïdes dans l'utérus.

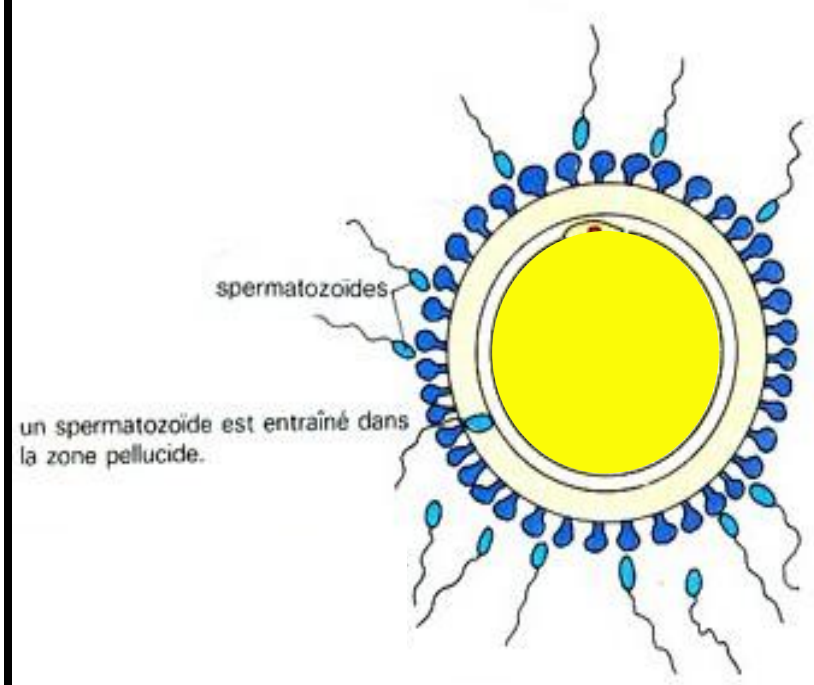
Les spermatozoïdes passent par l'utérus et arrivent jusqu'au niveau de l'ampoule. Arrivé a ce niveau, généralement ils conservent leur pouvoir fécondant pendant 48 heures.

3.2.3. Rapprochement des gamètes

Chez l'espèce humaine vu le nombre élevé de spermatozoïdes et vu la grande taille de l'ovule, les chances de rencontre entre les 2 gamètes mâle et femelle sont considérables.

Ceci a été confirmé dès les premières expériences de fécondation in vitro de l'oeuf humain (Rock et Menkin, 1944; Shenles, 1953): l'observation des phénomènes de la fécondation au microscope montre que l'ovule n'exerce aucune attraction particulière sur les spermatozoïdes.

A chaque fois qu'un spermatozoïde vient au contact de l'enveloppe ovulaire, Il se fixe perpendiculairement à sa surface et s'anime de mouvements particuliers.



3.3. Pénétration du spermatozoïde dans l'oeuf

3.3.1. Traversée des enveloppes ovulaires

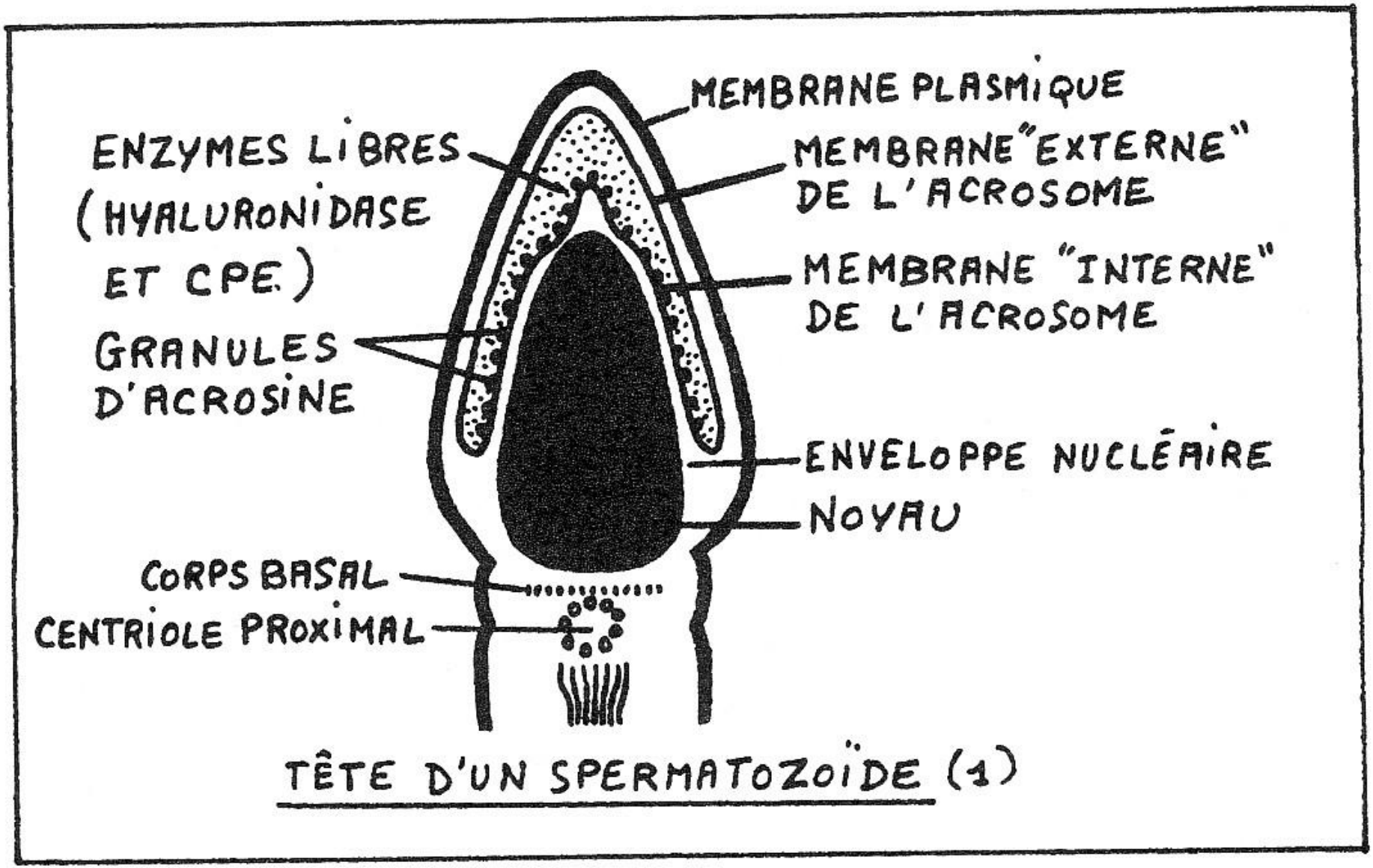
a/ Les enzymes de l'acrosome

Une fois arrivés au contact de l'ovule, les spermatozoïdes doivent franchir des barrières protectrices formées par les cellules de la corona radiata et de la zone pellucide.

Cette pénétration est rendue possible, d'une part par les mouvements des spermatozoïdes grâce au flagelle, et d'autre part grâce à l'action des enzymes acrosomiales.

On dénombre 3 enzymes acrosomiales impliquées dans ce phénomène de pénétration du spermatozoïde dans l'ovule:

- **la hyaluronidase,**
- **la Corona Penetrating Enzyme (CPE),**
- **l'acrosine.**



TÊTE D'UN SPERMATOZOÏDE (1)

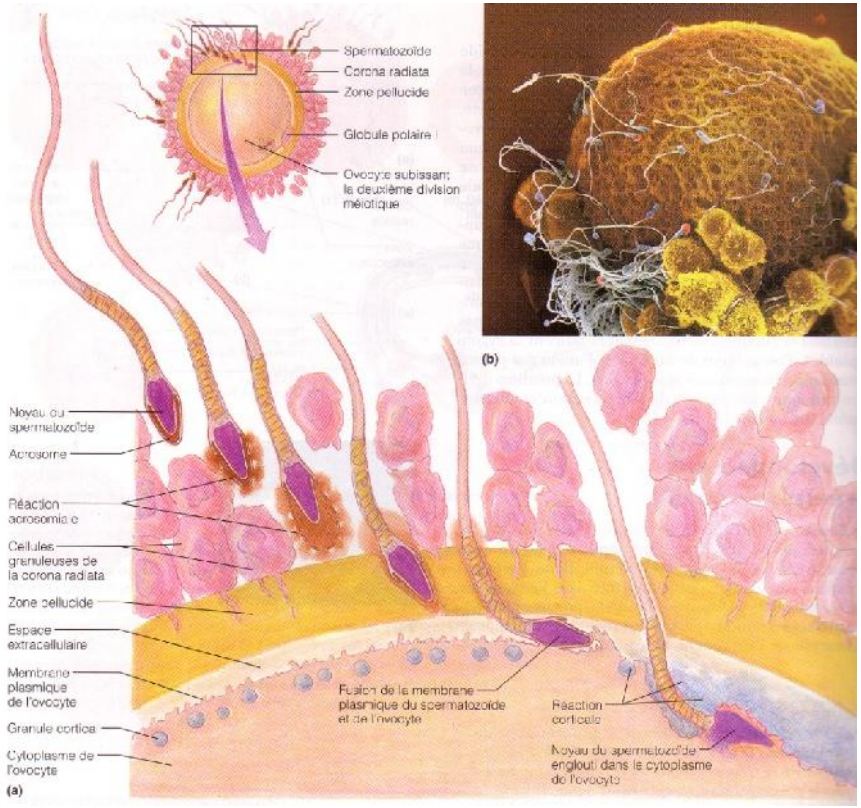
b/ La réaction acrosomiale

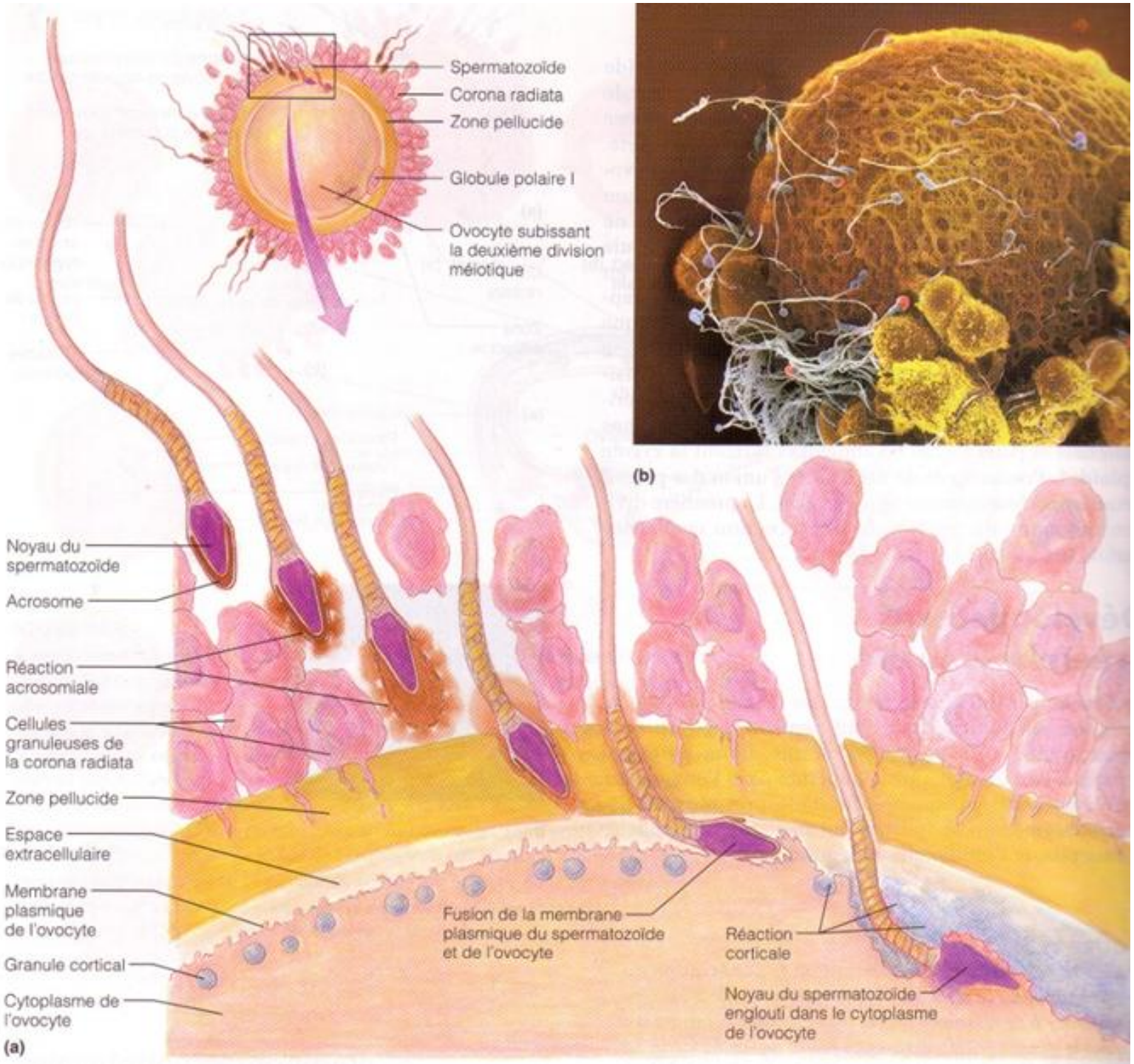
C’est une réaction qui se produit au moment où un spermatozoïde arrive au contact des assises de protection de l’ovocyte II.

Elle s’effectue en trois temps :

⇨Les cellules somatiques qui forment l’enveloppe externe de l’ovule, sont partiellement dissociées par l’action d’enzymes présentes au niveau de l’ampoule.

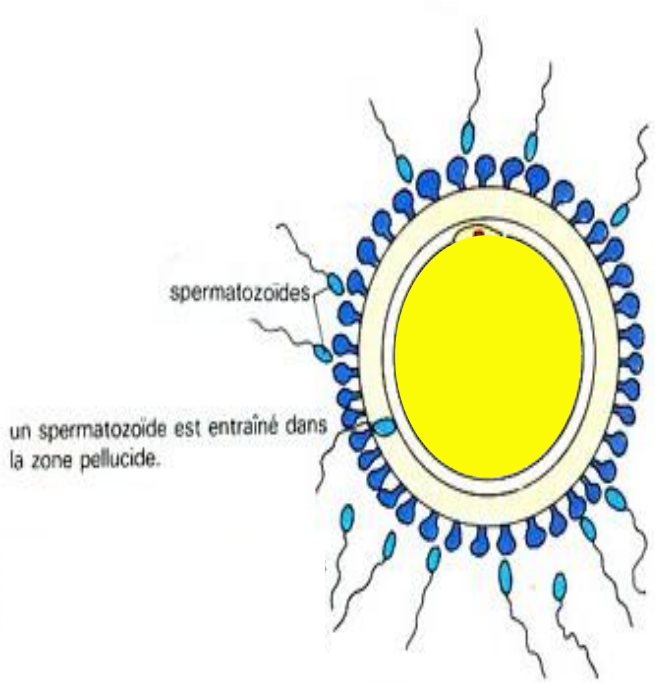
Les spermatozoïdes devenus très mobiles grâce aux mouvements oscillatoires de la tête spermatique, rentrent en contact avec la masse du cumulus oophorus et progressent facilement à travers les espaces intercellulaires disjoints.

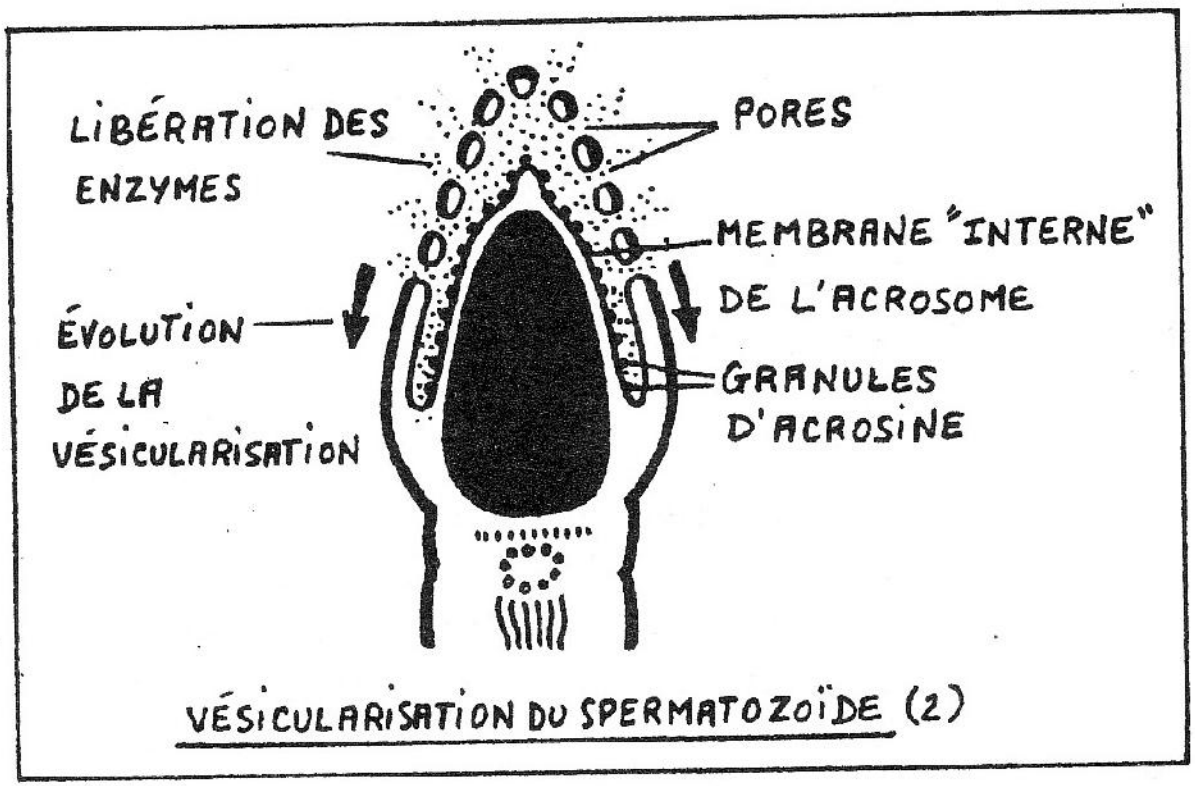



Spermatozoïde
Corona radiata
Zone pellucide
Globule polaire I
Ovocyte subissant la deuxième division méiotique
(b)
Noyau du spermatozoïde
Acrosome
Réaction acrosomiale
Cellules granuleuses de la corona radiata
Zone pellucide
Espace extracellulaire
Membrane plasmique de l'ovocyte
Granule cortical
Cytoplasme de l'ovocyte
(a)
Fusion de la membrane plasmique du spermatozoïde et de l'ovocyte
Réaction corticale
Noyau du spermatozoïde englouti dans le cytoplasme de l'ovocyte

Dans la région apicale de la tête spermatique, la membrane plasmique fusionne avec la membrane externe de l'acrosome. Il se produit une vésiculation, et des pores mettent en communication l'acrosome et le milieu extérieur.

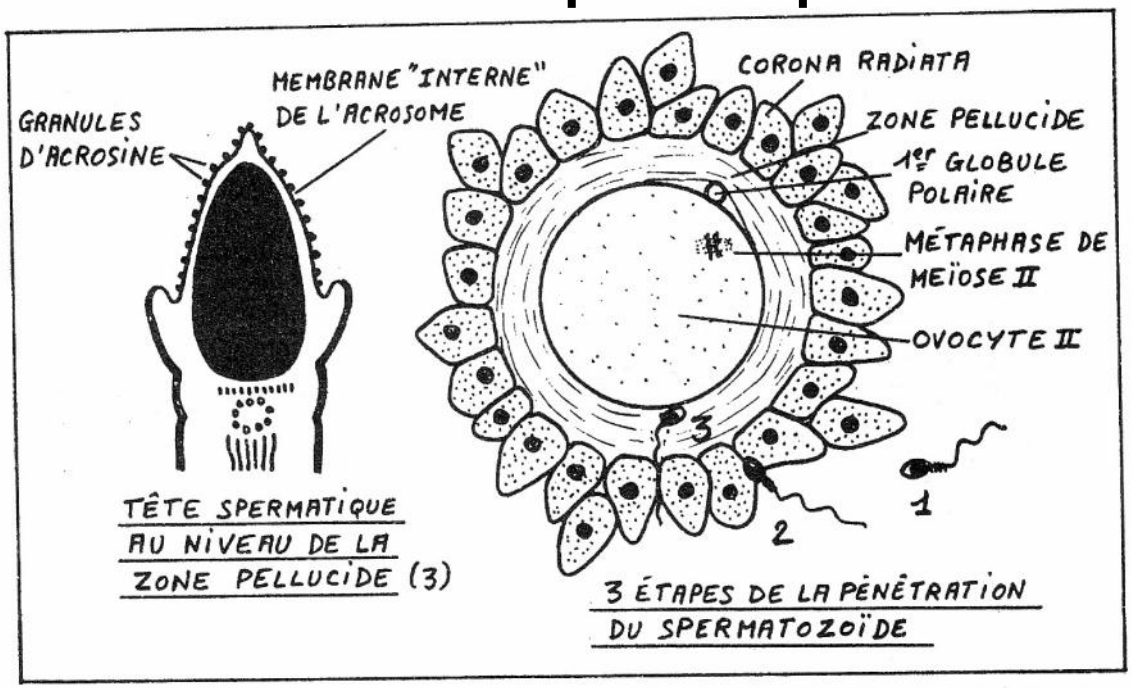
La CPE et l'hyaluronidase sont ainsi libérées, ce qui implique la dissociation des cellules de la corona radiata. Le spermatozoïde parvient ainsi au contact direct de la zone pellucide.





⇨ **Des protéines de liaison, présentes dans la membrane plasmique de la tête spermatique, reconnaissent des glycoprotéines spécifiques de la zone pellucide (ZP3), et assurent la fixation du spermatozoïde sur cette 2eme enveloppe de protection.**

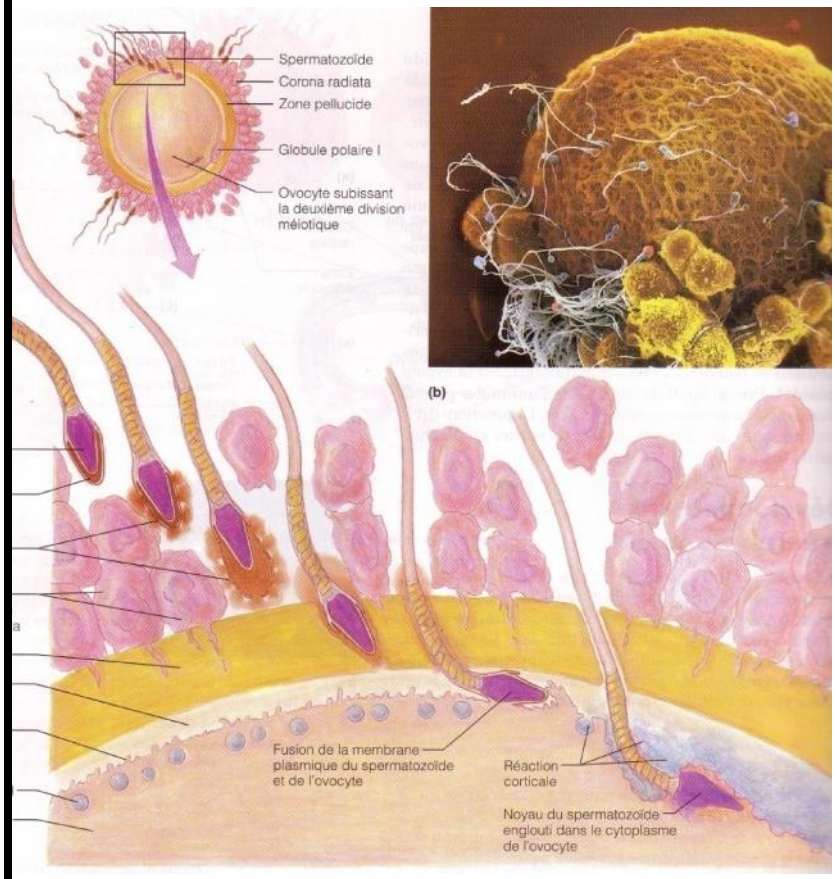
C'est la fixation du spermatozoïde à la zone pellucide qui déclenche la réaction acrosomiale proprement dite. Le processus de vésicularisation, qui avait débuté de façon très localisée dans la région apicale, s'étend progressivement vers la région postérieure de la tête spermatique.

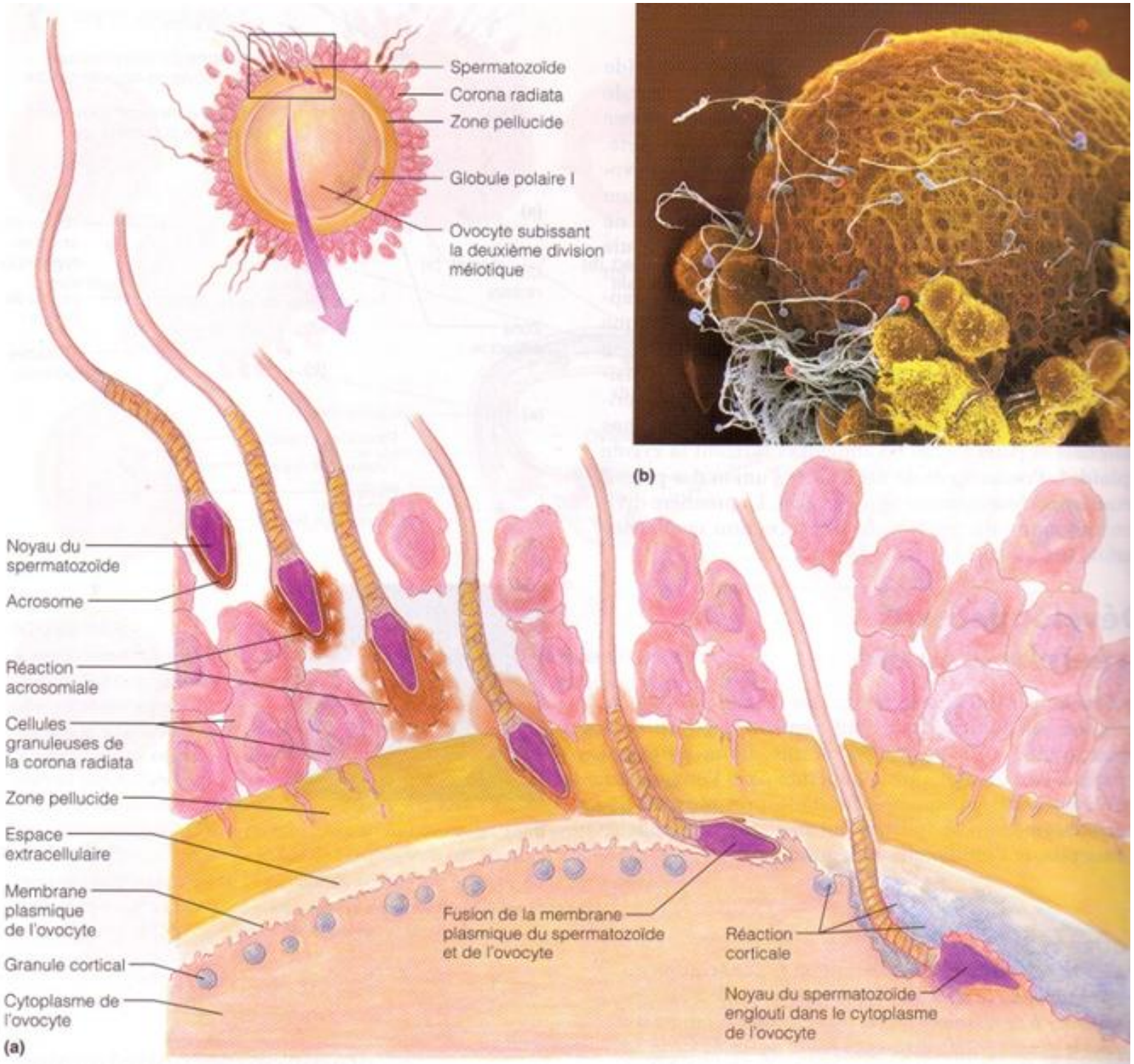


⇨**La tête spermatique n'est plus recouverte dans ses 2/3 antérieurs que par la membrane interne de l'acrosome, sur laquelle sont fixés des granules d'acrosine.**

Des protéines de liaison situées sur cette membrane se fixent à des glycoprotéines (ZP2) de la zone pellucide et assurent la persistance de la fixation du spermatozoïde sur cette enveloppe.

les mouvements propres du spermatozoïde dissocient mécaniquement la trame des glycoprotéines formant la zone pellucide, l'acrosine les dégrade localement. Ainsi se forme un fin tunnel par lequel le spermatozoïde arrive au contact de l'ovocyte II.



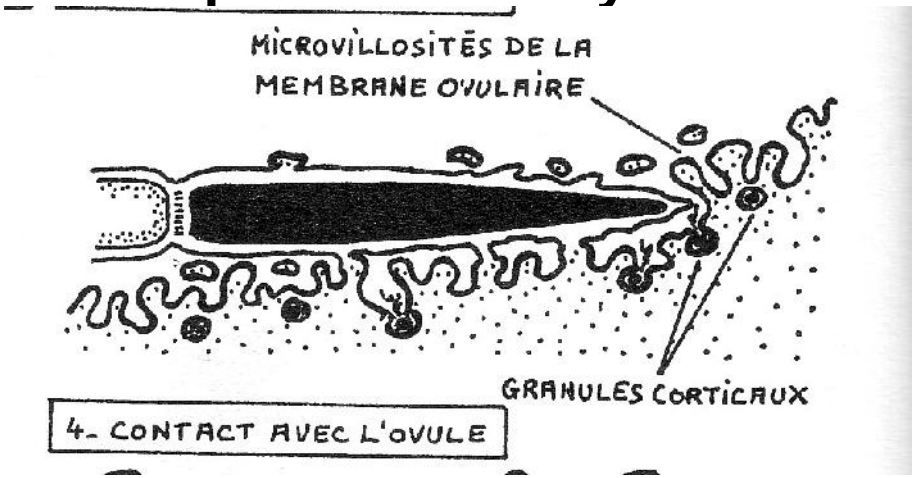

Spermatozoïde
Corona radiata
Zone pellucide
Globule polaire I
Ovocyte subissant la deuxième division méiotique
(b)
Noyau du spermatozoïde
Acrosome
Réaction acrosomiale
Cellules granuleuses de la corona radiata
Zone pellucide
Espace extracellulaire
Membrane plasmique de l'ovocyte
Granule cortical
Cytoplasme de l'ovocyte
(a)
Fusion de la membrane plasmique du spermatozoïde et de l'ovocyte
Réaction corticale
Noyau du spermatozoïde englouti dans le cytoplasme de l'ovocyte

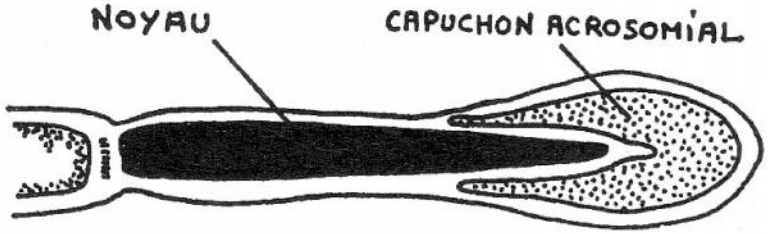
3.3.2 LA PLASMOGAMIE

a/ Fusion des gamètes

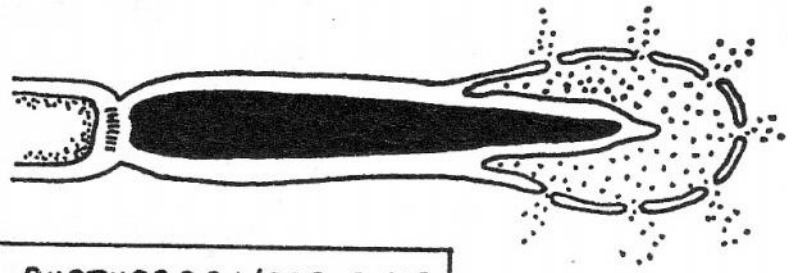
Lorsqu'un spermatozoïde arrive dans l'espace périovulaire, la tête spermatique dépourvue désormais d'acrosome se dispose tangentiellement à la surface de l'ovocyte II.

Les microvillosités de la membrane plasmique de l'ovocyte II entourent la tête spermatique. Et ensuite la membrane plasmique de l'ovocyte II et la membrane qui limite le spermatozoïde fusionnent. La fusion commence d'abord par la région post-acrosomale du spermatozoïde, puis progresse en direction postérieure. La totalité du spermatozoïde, flagelle compris, est ainsi incorporée à l'ovocyte II.

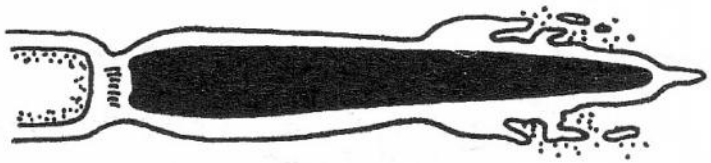




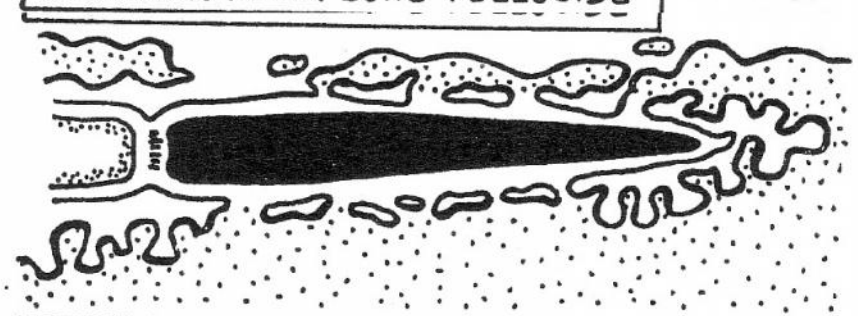
1_TÊTE DU SPERMATOZOÏDE (NIVEAU DE LA TROMPE)



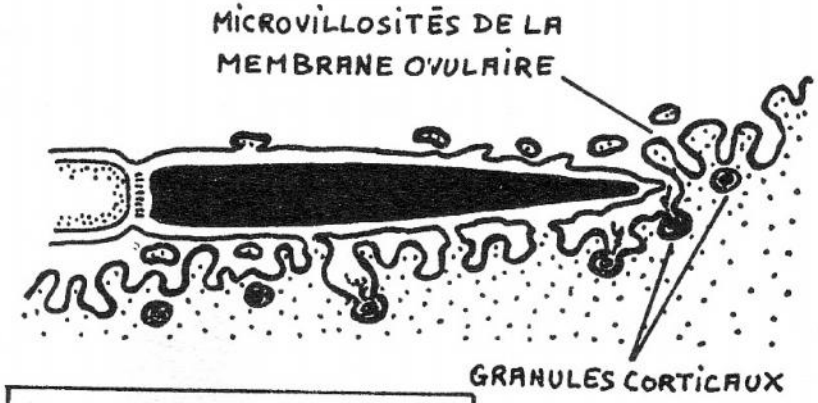
2_ RUPTURE DE L'ACROSOME



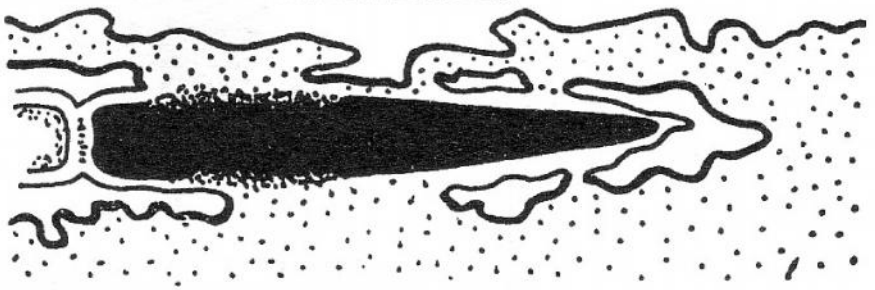
3_ NIVEAU DE LA ZONE PELLUCIDE



5_ FUSION MEMBRANAIRE



4_ CONTACT AVEC L'OVULE



6_ PÉNÉTRATION - DÉCONDENSATION NUCLÉAIRE

b/ Devenir du spermatozoïde :

Dans le cytoplasme ovulaire, le noyau du spermatozoïde gonfle et la chromatine se décondense. La membrane nucléaire est désorganisée et une nouvelle enveloppe se constitue à partir des membranes du réticulum endoplasmique de l'ovule.

Le noyau spermatique prend le nom de pronucléus mâle. Les mitochondries de la pièce intermédiaire sont détruites, et les éléments fibreux et microtubulaires du flagelle sont dépolymérisés.

3.3.3 L'activation de l'œuf

L'oeuf non fécondé est une cellule à l'état de repos. Dans l'espèce humaine c'est un ovocyte II bloqué en métaphase de 2eme division de méiose, c'est une cellule au métabolisme ralenti. C'est le contact avec un spermatozoïde qui sort l'oeuf de cet état d'inertie métabolique.

La tête spermatique agit comme un messager extérieur, en se liant à des récepteurs situés sur la face externe de la membrane plasmique de l'ovocyte II.

La mobilisation de ces récepteurs active la protéine G située sur la face interne de la membrane. Cette protéine stimule à son tour diverses enzymes membranaires qui déclenchent une série de réactions qui correspondent au phénomène d'activation:

- une protéine-kinase provoque l'entrée massive d'ions Na^+ dans l'ovocyte et une sortie simultanée d'ions H^+, entraînant une sensible élévation du pH intracytoplasmique qui passe de 6'8 à 7'3.

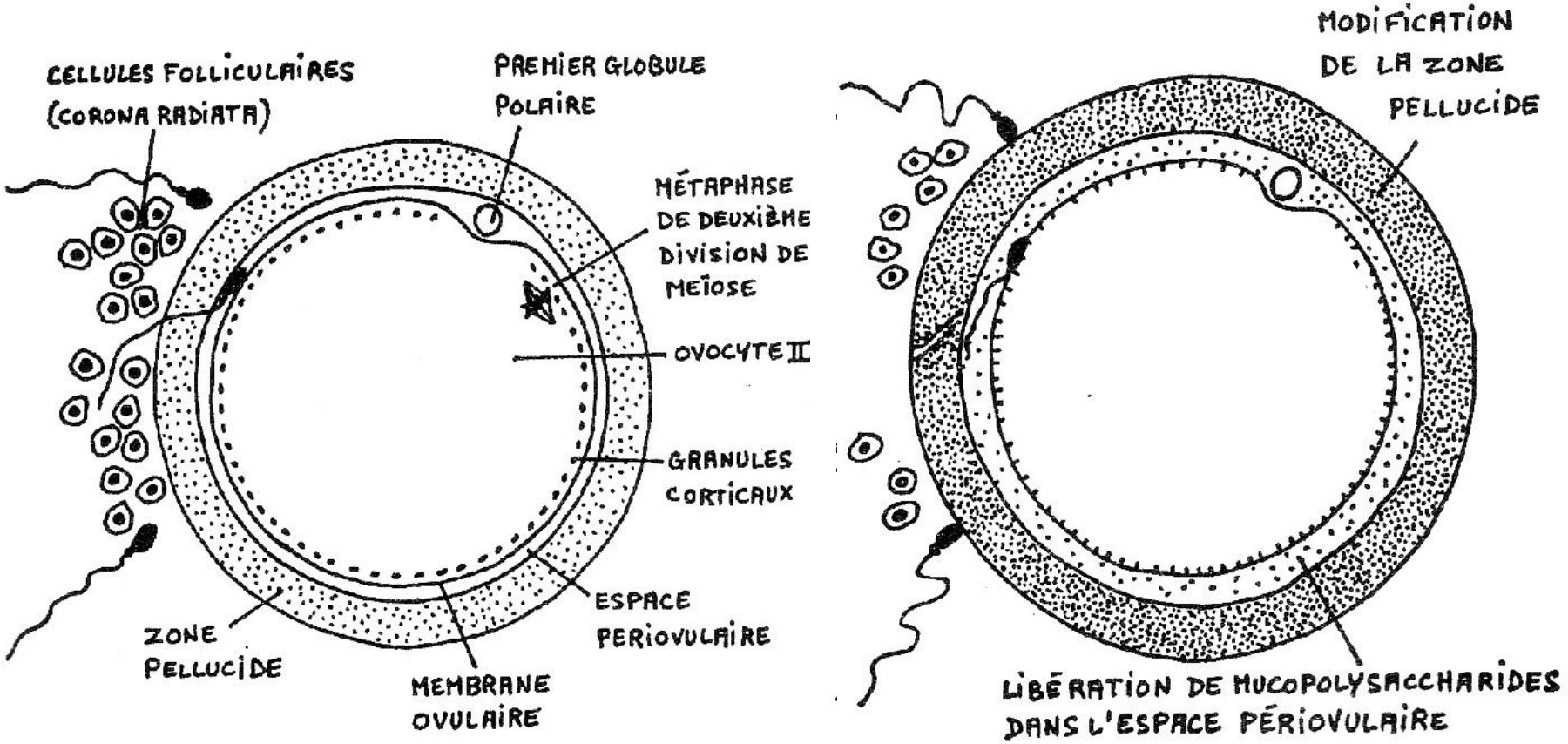
- une phospholipase induit la synthèse de l'inositol-triphosphate (IP3), qui diffuse dans le cytoplasme et implique la libération des ions Ca^{++} depuis le RE et les mitochondries.

En présence dans le cytoplasme du Ca^{++} une protéine est activée, la calmoduline. Cette protéine induit les phénomènes d'exocytose.

Avant la rencontre des gamètes on observe dans la région périphérique de l'ovocyte II, un grand nombre de vésicules contenant un matériel de nature enzymatique, les granules corticaux.

Au moment de la plasmogamie, ces vésicules subissent une exocytose et libèrent leur contenu enzymatique dans l'espace périovulaire, entre la membrane plasmique de l'oeuf et la zone pellucide.

Ces enzymes agissent sur la zone pellucide en provoquant un durcissement de cette enveloppe pour empêcher la pénétration d'autres spermatozoïdes.


CELLULES FOLLICULAIRES
(CORONA RADIATA)
PREMIER GLOBULE
POLAIRE
MÉTAPHASE
DE DEUXIÈME
DIVISION DE
MEIOSE
OVOCYTE II
GRANULES
CORTICAUX
ESPACE
PERIOVULAIRE
ZONE
PELLUCIDE
MEMBRANE
OVULAIRE
MODIFICATION
DE LA ZONE
PELLUCIDE
LIBÉRATION DE MUCOPOLYSACCHARIDES
DANS L'ESPACE PÉRIOVULAIRE

Après l'impact du spermatozoïde, l'anaphase de 2eme division de méiose est déclenchée. La méiose s'achève, l'ovocyte II expulse le second globule polaire dans l'espace périovulaire et l'ovule devient un ovotide.

3.4. L’amphimixie (fusion des noyaux)

3.4.1. Formation des pronucléus

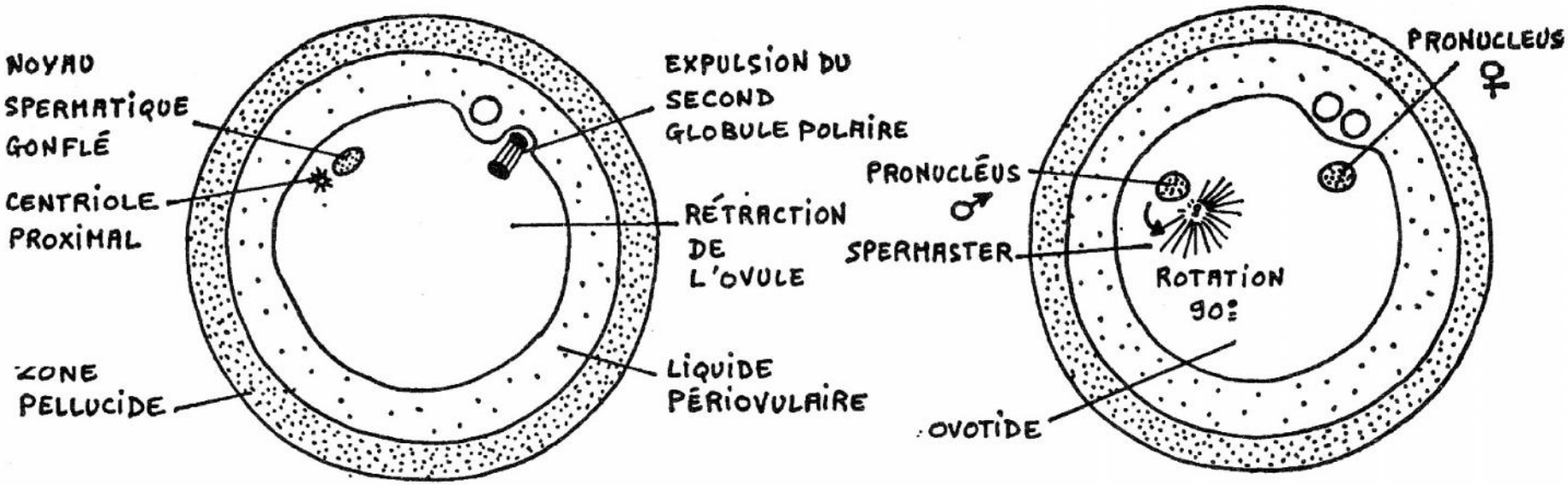
a/ Le pronucléus femelle

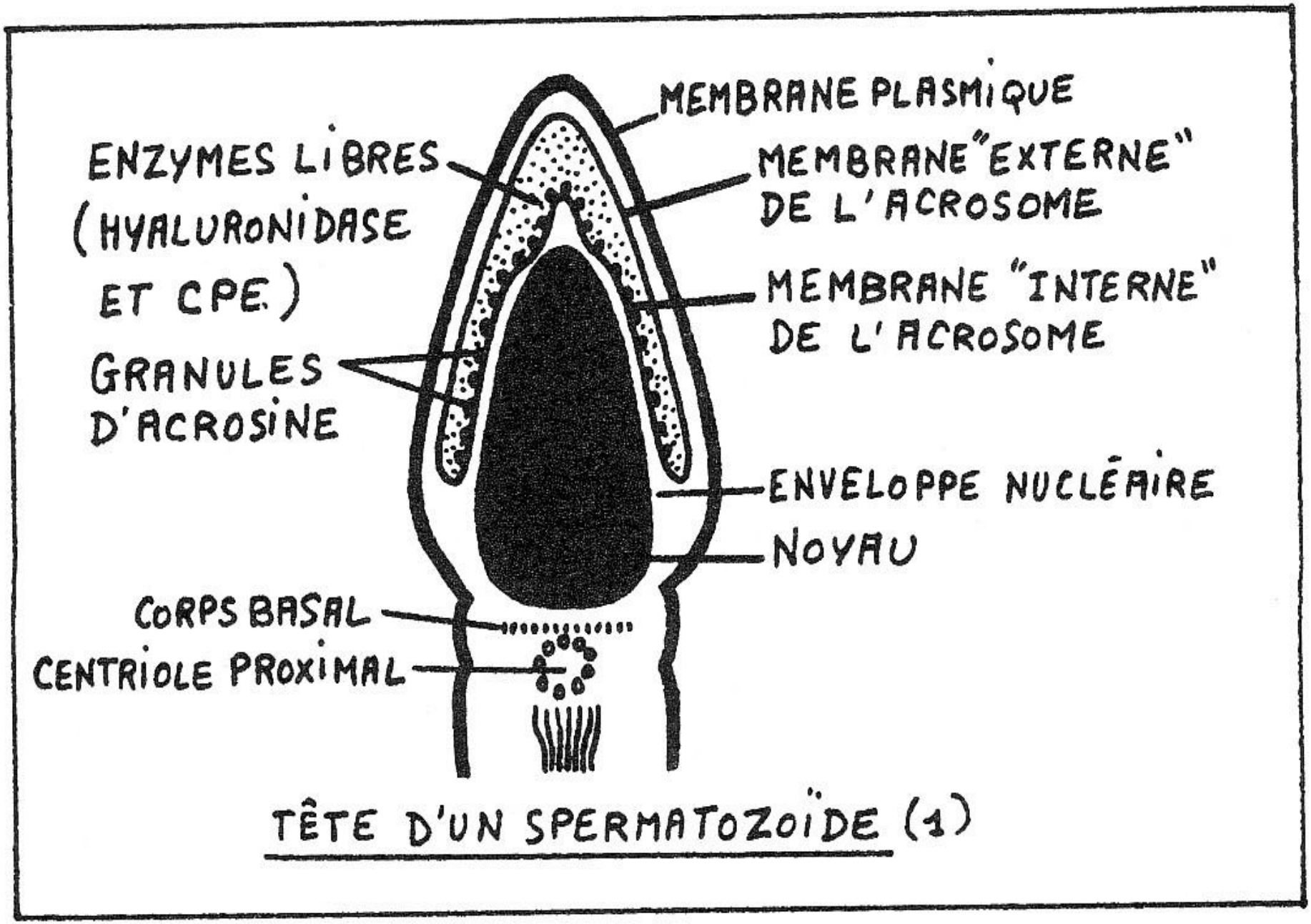
Une enveloppe nucléaire se reconstitue autour du lot haploïde de chromosomes de l’ovotide. Il se forme un noyau volumineux qui prend le nom de pronucléus femelle.

b/ Le pronucléus mâle :

Le pronucléus mâle devient sphérique et son volume augmente. Il effectue une rotation qui amène le centriole proximal en avant, orienté vers le centre de l'oeuf.

L'évolution des deux pronucléus est strictement parallèle. Tout retard dans l'évolution d'un des pronucléus se traduit par un retard identique dans l'évolution de l'autre pronucléus.





TÊTE D'UN SPERMATOZOÏDE (1)

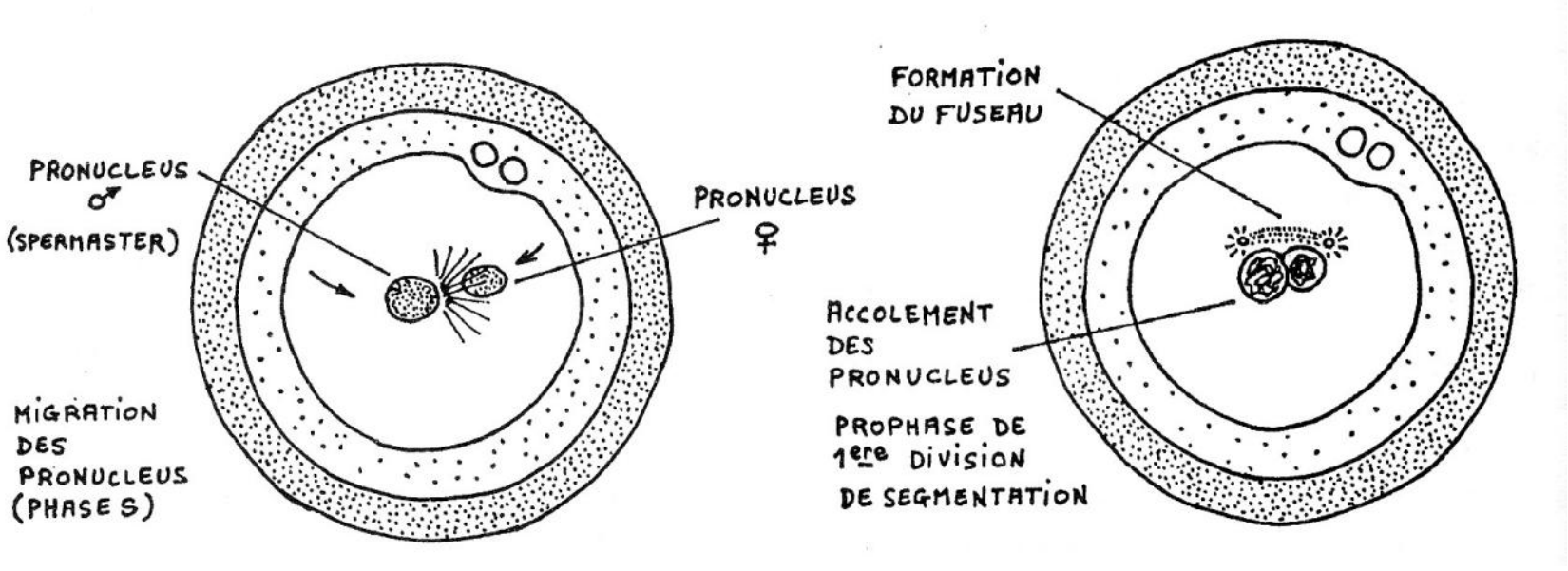
3.4.2. Migration des pronucléus et amphimixie :

a/ Migration

Le pronucléus mâle, migre vers le centre de l'ovotide. Les microtubules du centriole entrent en contact avec le pronucléus femelle et le tirent également vers la région centrale de l'oeuf ou les 2 pronucléus se rencontrent.

Pendant cette période, la réplication de l'ADN est initiée dans chacun des 2 pronucléus.

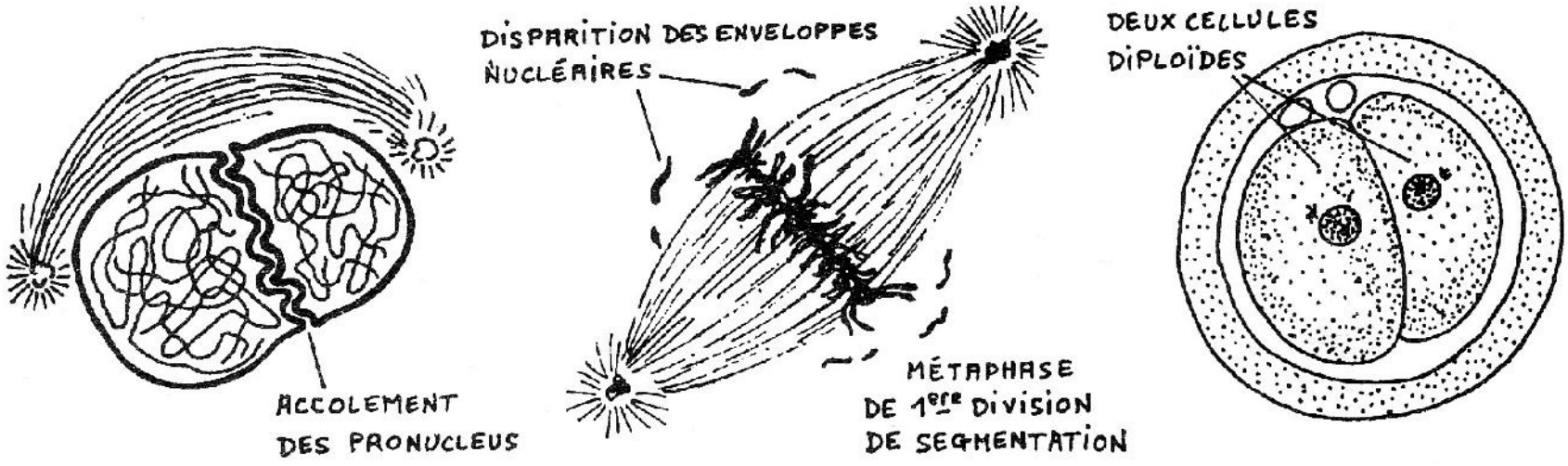
Chaque pronucléus, contenant un lot haploïde de n chromosomes monochromatidiens, renferme à la fin de sa migration n chromosomes devenus bichromatidiens.



b/ L'amphimixie

Dans un premier temps, les enveloppes nucléaires des 2 pronucléus viennent au contact, sans qu'il y ait fusion des membranes. Suite à cela, les membranes se résorbent et les 2 lots de chromosomes, paternel et maternel, se trouvent mélangés. C'est l'amphimixie.

Pendant ce temps le centriole s'est divisé, les 2 centrioles fils s'écartent et forment le fuseau mitotique, les chromosomes paternels et maternels se disposent à l'équateur de ce fuseau: c'est la métaphase de 1^{ere} division de segmentation de l'oeuf fécondé qui commence.



AMPHI(S)- 1. µfı- préf. : des deux côtés, en double – v. amb(i)-2
ex : amphibie ; amphibole ; amphimixie ; amphineure; amphioxus ; amphipode
2. µfíς adv. : des deux côtés – ex : amphisbène

3.5. Conséquences de la fécondation

Les principales conséquences de la fécondation sont les suivantes:

▶Retour au nombre diploïde de chromosomes.

▶Détermination du sexe génétique du nouvel individu.

▶Aspect génétique. Mécanismes assurant la transmission du programme héréditaire et le brassage des informations individuelles de l'espèce.