

# LA GAMETOGENESE

A scanning electron micrograph (SEM) showing numerous sperm cells. The sperm heads are dark, oval-shaped structures, and their tails are long, thin, and wavy. They are scattered across a large, textured, reddish-brown surface that appears to be a biological structure, possibly a developing embryo or a specific tissue. The background is dark, making the red surface and white sperm tails stand out.

# A quoi sert le sexe ?

## La sexualité n'est pas vitale

- Des espèces peuvent survivre sans le sexe en utilisant la reproduction végétative
  - Des espèces esquivent le sexe par parthénogénèse de façon provisoire...
    - abeilles: les mâles des abeilles naissent d'œufs non fécondés ; ils sont par conséquent haploïdes.
    - Pucerons: du printemps au début de l'automne avec des populations uniquement femelles
- ou permanente...
- lézards "à queue de fouet" (genre *Cnemidophorus*) dont tous les individus sans exception sont femelles.



Femelle puceron en train d'accoucher  
wikipedia



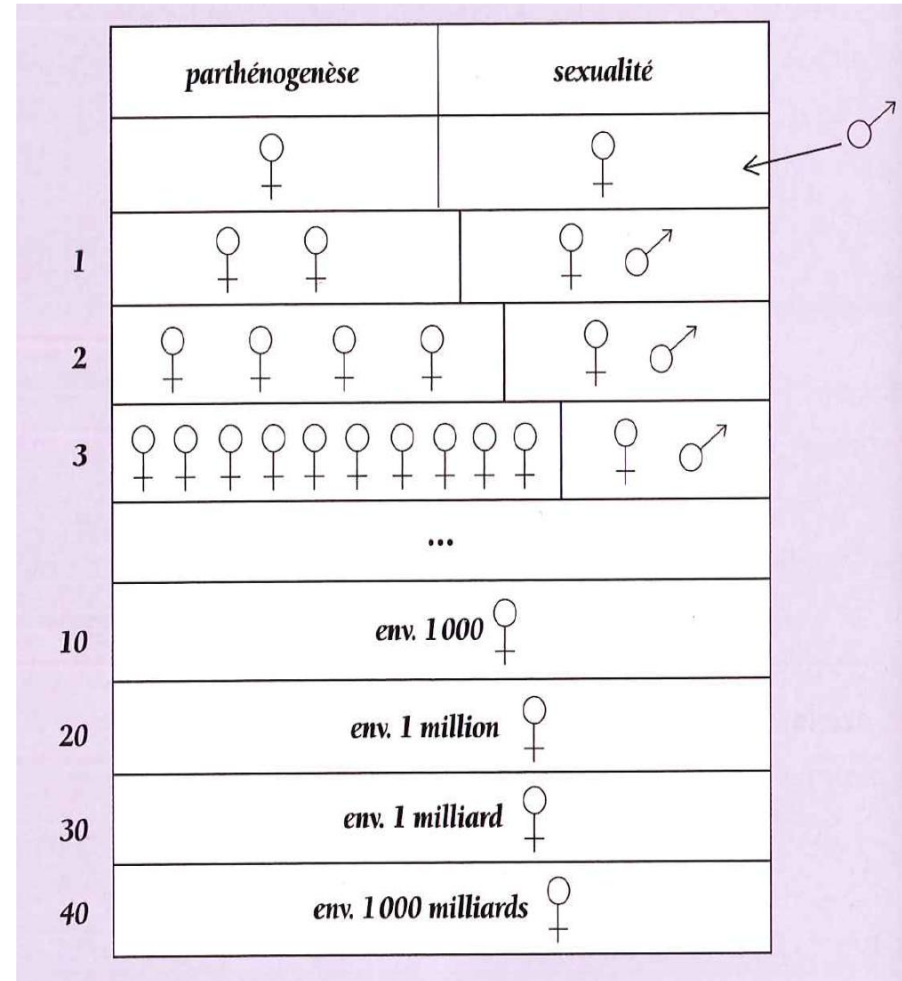
*Cnemidophorus tigris multiscutatus*

# Parthénogénèse

Mode de reproduction monoparental. Un gamète femelle non fécondé donne naissance à un ou plusieurs individus.

Avantage: évitement du coût du sexe et la production d'individus mâles.

un système de reproduction parthénogénétique générant des femelles permet une production d'individus plus grande sur un faible nombre de générations qu'un système de reproduction sexuée.



# I. Sexualité et reproduction

95% des espèces animales sont sexuées

→ 90% privilégient la sexualité comme mode de reproduction

Production de cellules spécialisées au cours de la méiose: les gamètes.

Avantage: C'est dans l'hétérogénéité et l'instabilité de l'environnement que les pratiques sexuelles trouvent leur bénéfice. La recombinaison accroît la flexibilité des adaptations dans la population. Profitant des caractères inédits, des individus nouveaux peuvent se confronter à des conditions inhabituelles.

Les espèces asexuées ne peuvent que proliférer dans un environnement stable

# I. Sexualité et reproduction

95% des espèce animales sont sexuées

→ 90% privilégient la sexualité comme mode de reproduction

Production de cellules spécialisées au cours de la méiose: les gamètes

Lorsque les gamètes males et femelles sont:

identique: isogamie

différents: anisogamie

spermatozoïde

-réduit à un simple véhicule à ADN  
-ne garde que l'essentiel pour  
survivre, se déplacer et féconder

mâle

*il privilégie la quantité*



ovule

-grande taille  
-grand cytoplasme  
-conserve énergie et organites cellulaires  
comme mitochondries, ribosomes  
-coque de protection

femelle

*elle privilégie la qualité*

# I. Gamétogénèse

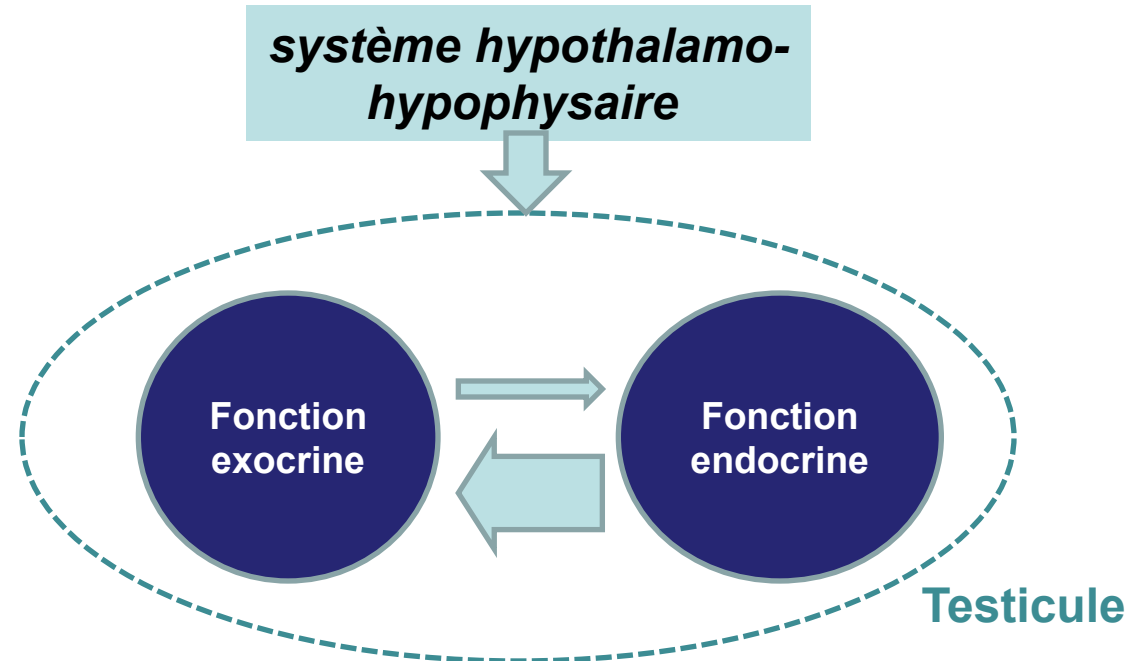
## A. Spermatogénèse

- Dans les testicules
- De la puberté jusqu'à 70-90 ans.
- Contrôlée hormonalement:
  - FSH (gonadotrophine hypophysaire)
  - testostérone (cellules de Leydig sous l'influence de LH )

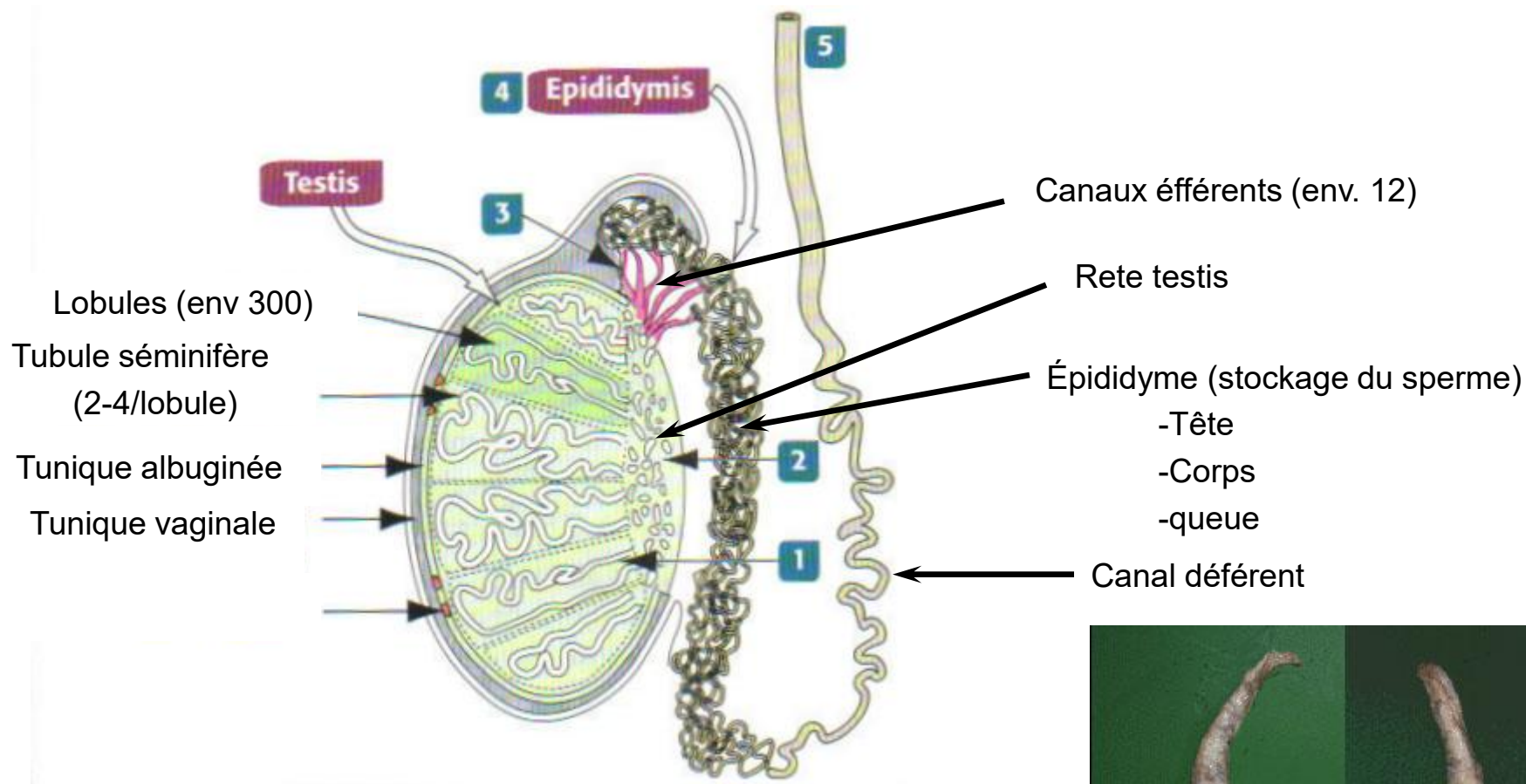
# Le testicule: 2 fonctions interdépendantes

- fonction exocrine (sécrétrice) : production de **gamètes**
- fonction endocrine : synthèse d'**hormones stéroïdes sexuelles**

➔ contrôlées par le **systeme hypothalamo-hypophysaire**



# Anatomie du système génital masculin



Kierzenbaum. Histology and cell biology (2002)

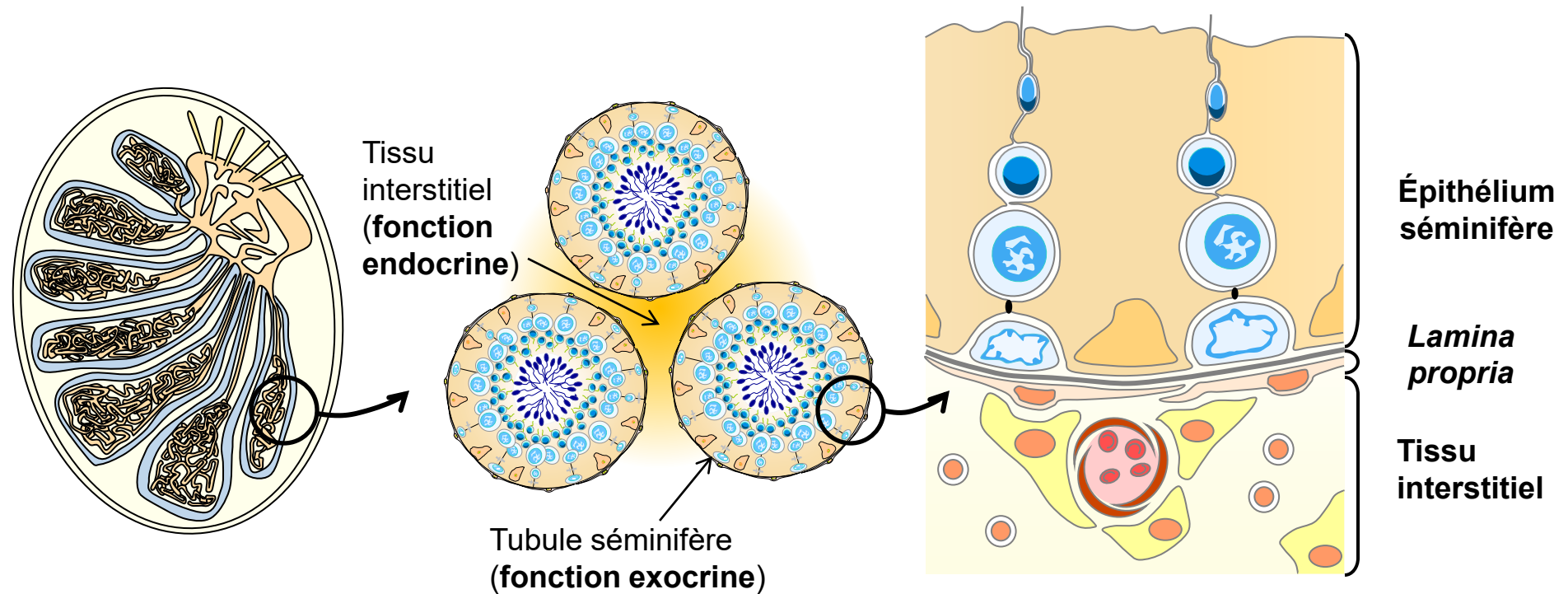
- 80% du poids du testicule provient des tubules séminifères (chez l'homme, environ **400 mètres** si mis bout à bout !)



# Structure anatomique interne du testicule et compartimentation

Deux compartiments interconnectés:

- **Les tubules séminifères** : production de gamètes
- **Le tissu interstitiel** : synthèse d'androgènes



Tunica albuginea

Tissu  
interstitiel  
(**fonction  
endocrine**)

Tubule  
séminifère  
(**fonction  
exocrine**)

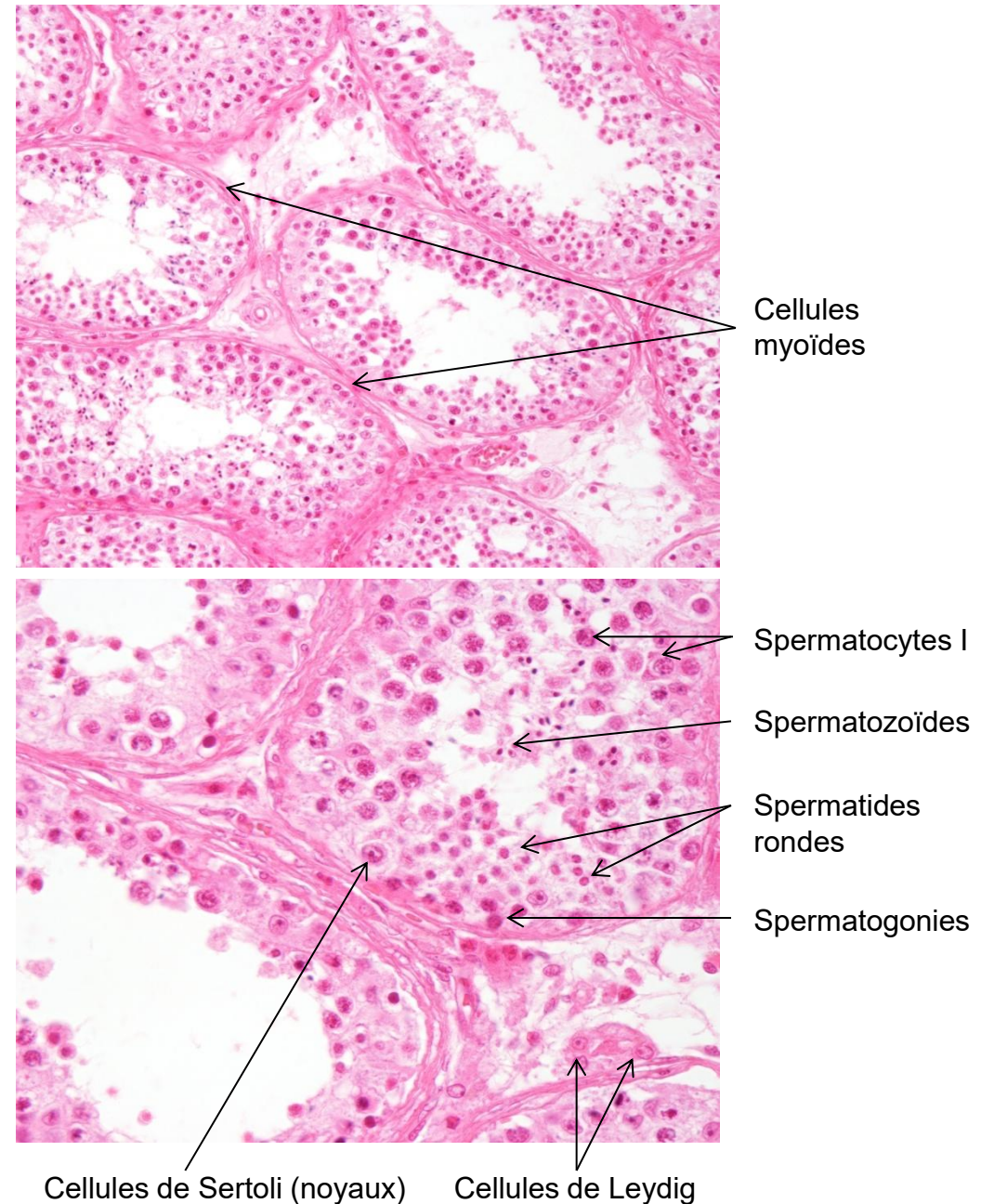


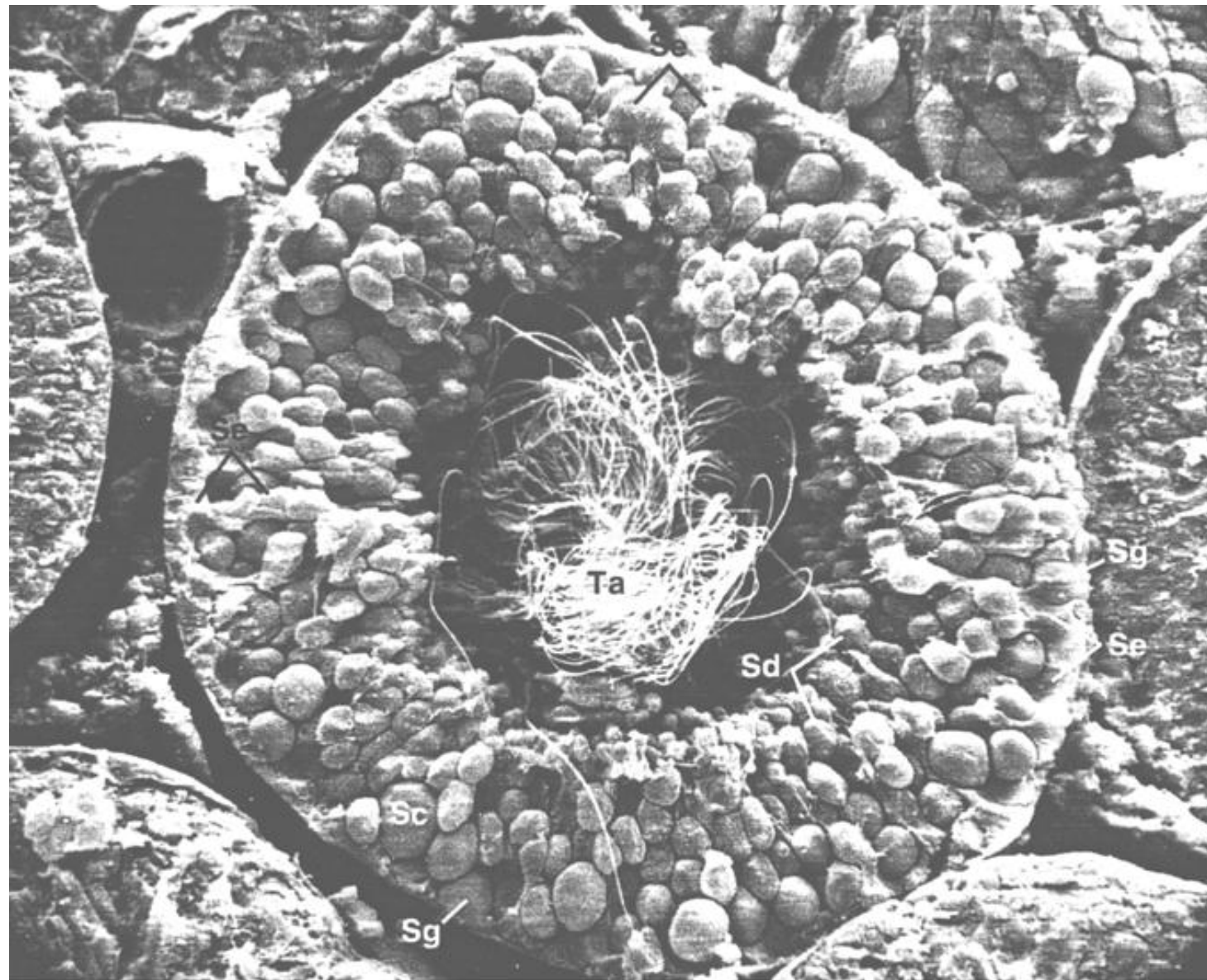
- les tubules séminifères sont entourés par les cellules myoïdes

- Les cellules de Leydig sont situées dans l'espace interstitiel. Ces cellules sont à proximité de vaisseaux sanguins et sont le site de synthèse de la testostérone

- Le développement des cellules germinales est orienté de la base des tubules vers le lumen

- le lumen des tubules séminifères contient les queues libres des spermatozoïdes ainsi que le fluide et les protéines sécrétées par les cellules de Sertoli



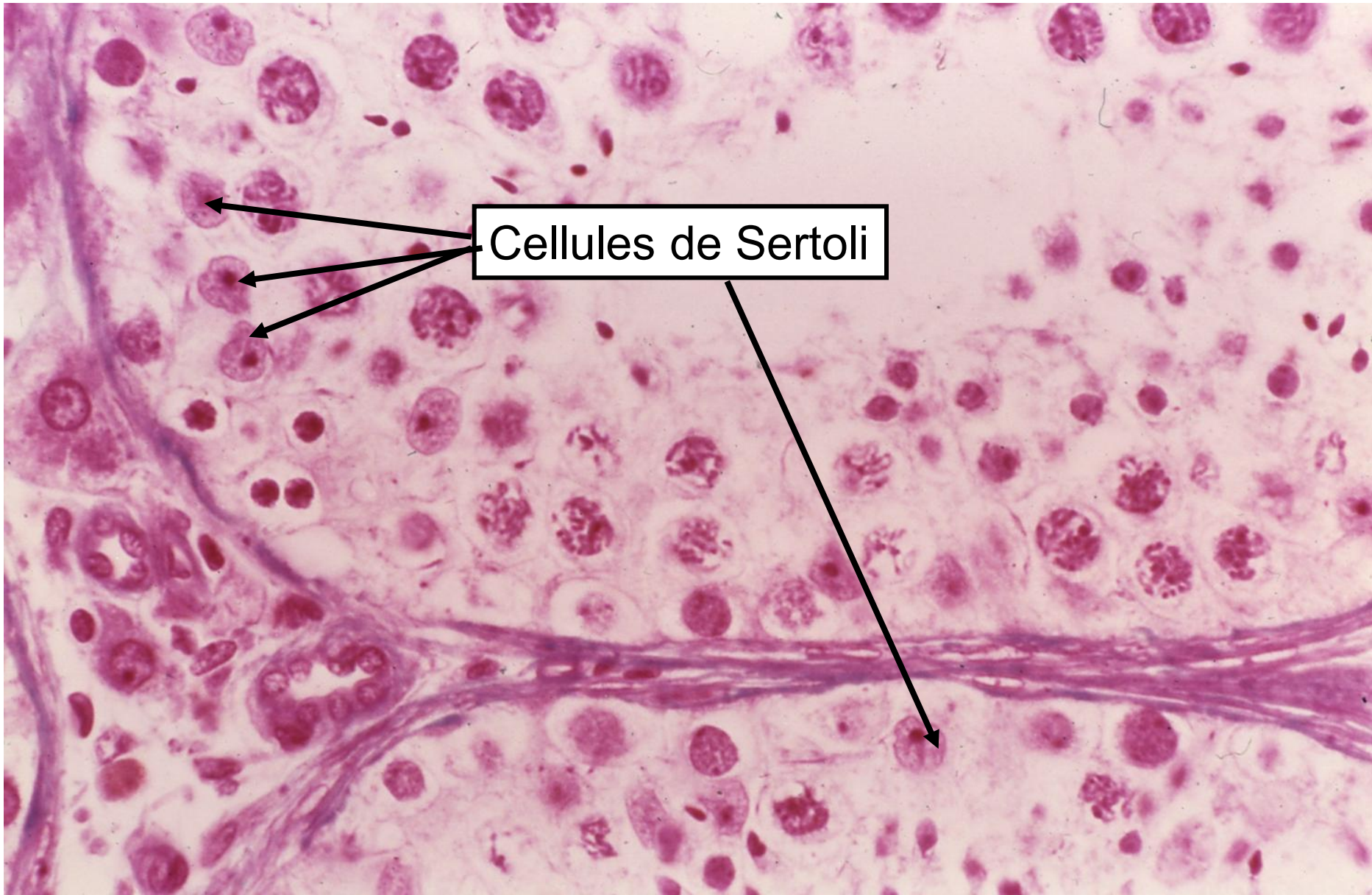


Scanning electron micrograph of a transverse section of a rat seminiferous tubule. Sertoli cells, Se, serve to nurture germ cell stages from spermatogonia, Sg, through spermatocytes, Sc, and spermatids, Sd, to fully differentiated spermatozoa whose tails, Ta, can be seen in the tubule lumen. Leydig cells would lie in the spaces between tubules along with blood vessels and lymphatics. Image by Kent Christensen, University of Michigan.

# I. Gamétogénèse

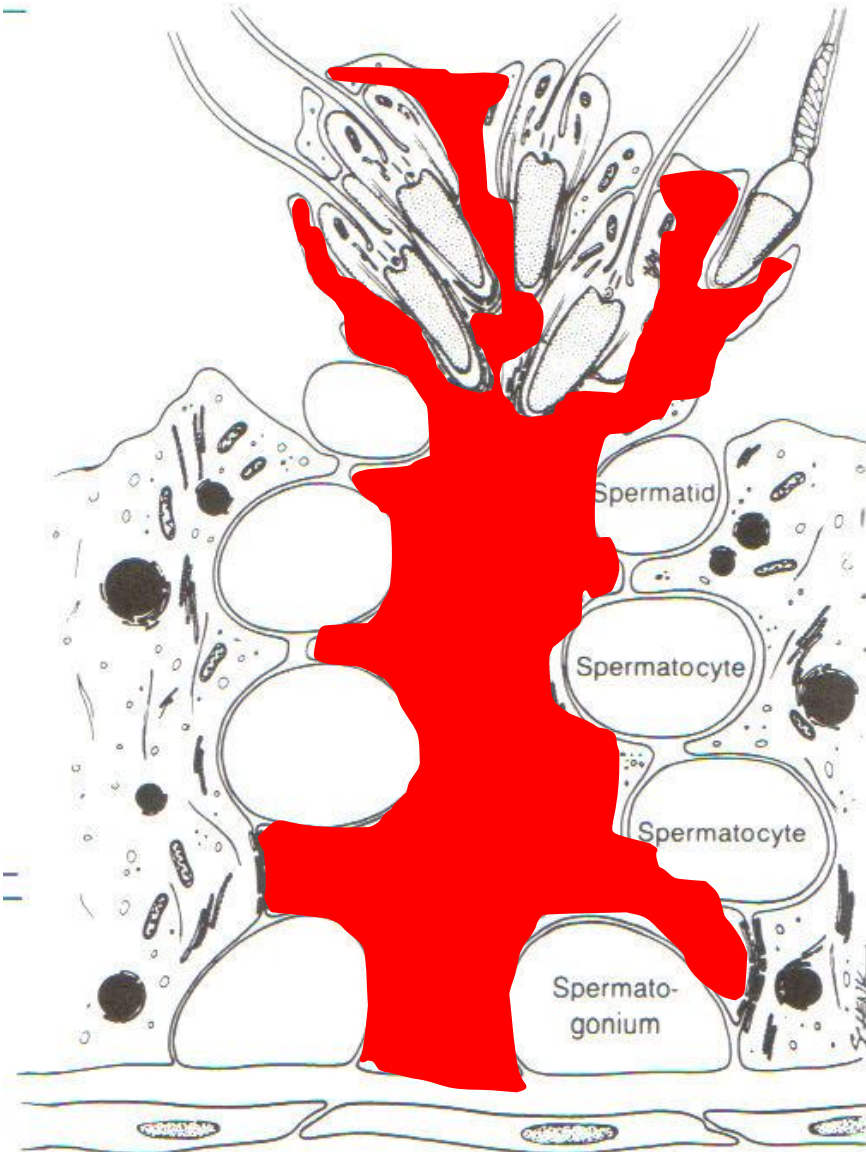
## A. Spermatogénèse

- De la puberté jusqu'à 70-90 ans.
- Contrôlée hormonalement:
  - FSH (gonadotrophine hypophysaire)
  - testostérone (cellules de Leydig sous l'influence de LH )
- Dans les testicules
  
- **Dans les tubes séminifères des testicules:**
  - cellules de Sertoli**
  - cellules germinales**



Cellules de Sertoli

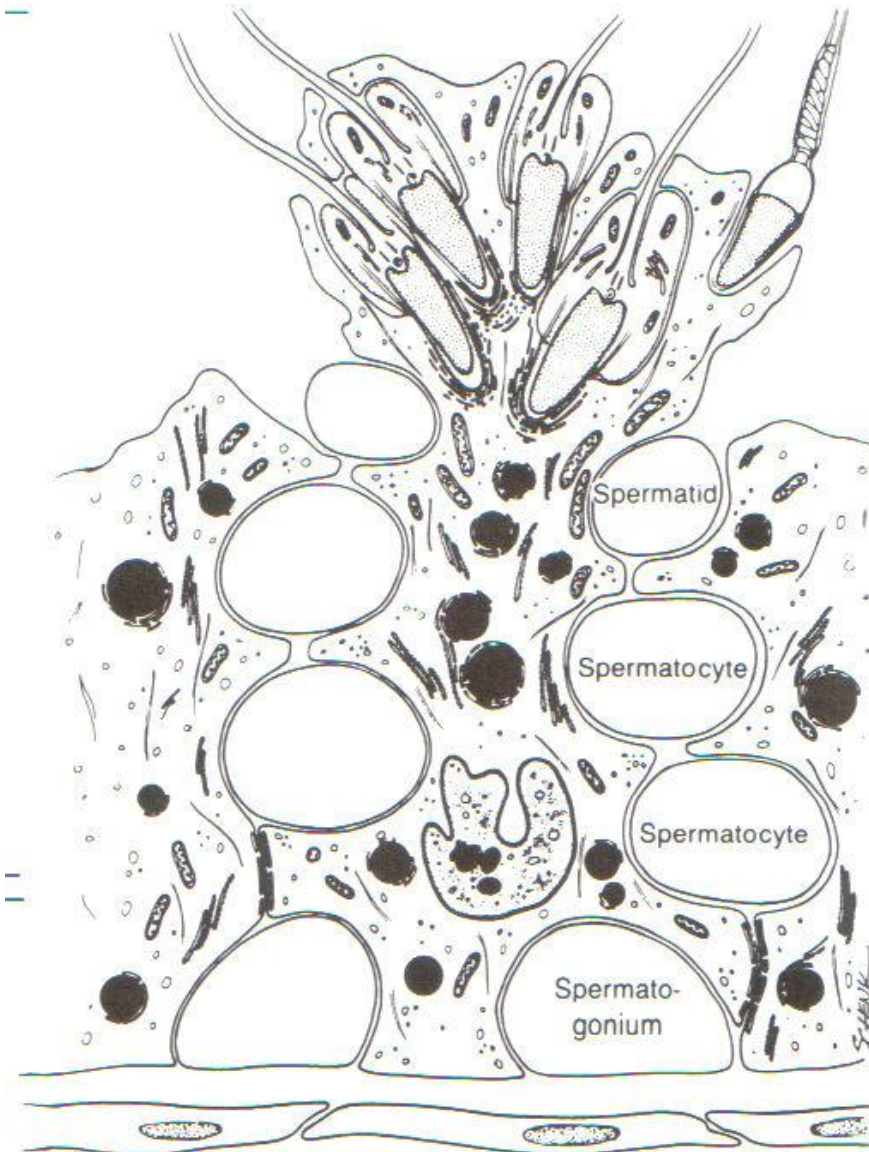
# La cellule de Sertoli



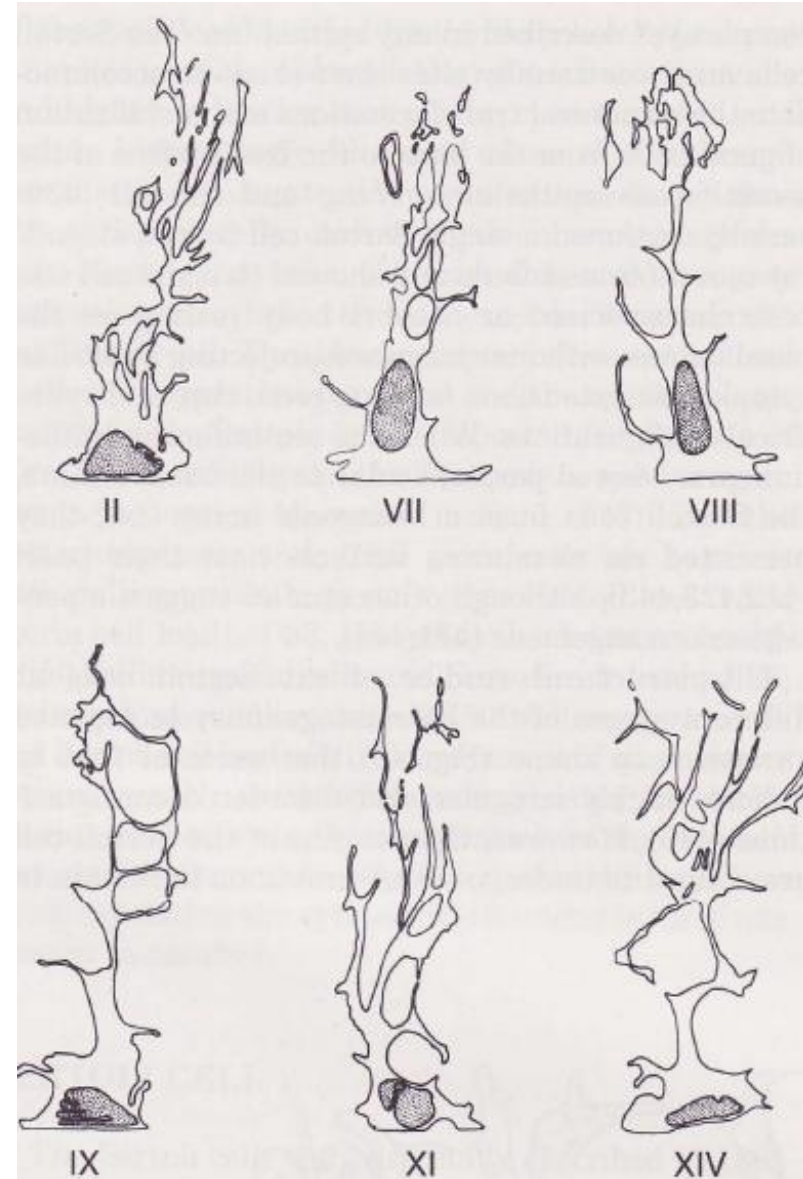
La cellule de Sertoli est une cellule supportrice qui régule et soutient la spermatogénèse:

- nutrition et protection des cellules germinales
- contrôle survie et différenciation des cellules germinales
- Phagocytose des excès de cytoplasme des spermatides à la fin de la spermiation
- noyau en position basale, avec présence d'un nucléole
- cytoplasme étendu, de la lame basale à la lumière du tube séminifère

# La cellule de Sertoli

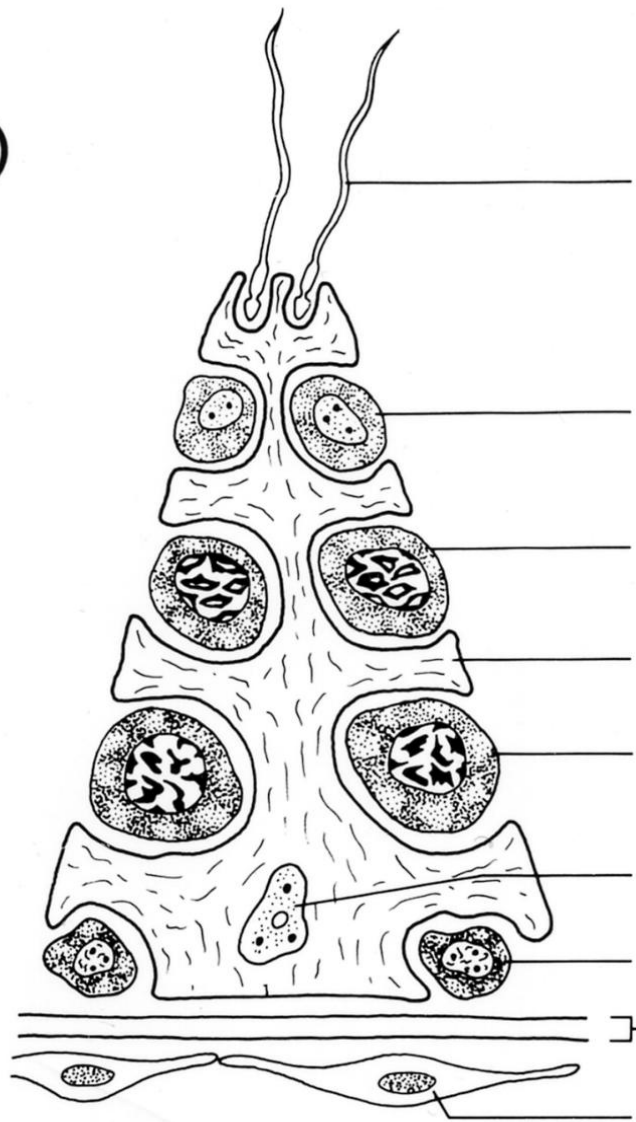


Griffin & Ojeda, Textbook of endocrine phys., 4th Ed.(2000)



Knobil and Neill's Physiology of reproduction 3rd Ed (2006)

1



Spermatozoïde

Spermatide

Spermatocyte II

Sertoli (cytoplasme)

Spermatocyte I

Sertoli (noyau)

Spermatogonie

Lame basale

Cellules myoïdes

# La spermatogénèse

- comparé à l'ovaire qui a un nombre fixe d'ovocytes qui diminue tout au long de la période reproductive, les spermatogonies se renouvellent par division cellulaire.

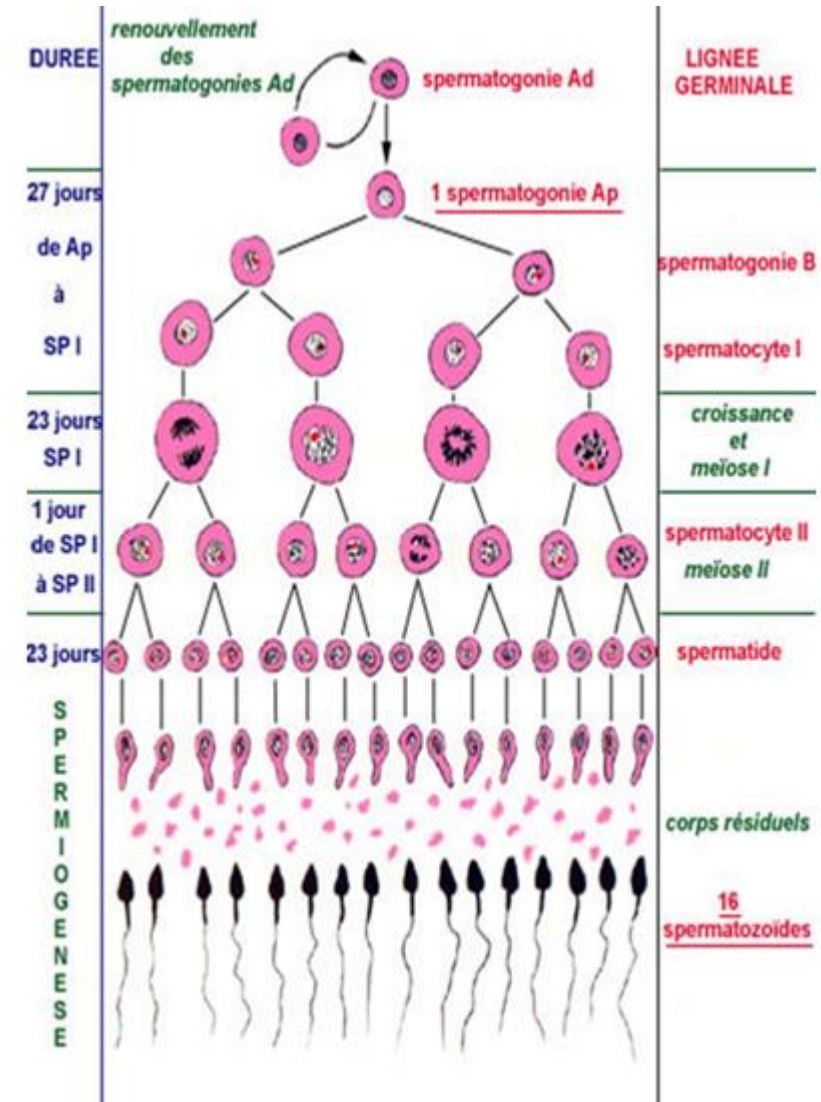
- la spermatogénèse se déroule en 3 étapes bien distinctes:

- Divisions mitotiques (spermatogonies)

- Divisions méiotiques (spermatocyte I, spermatocytes II, spermatides)

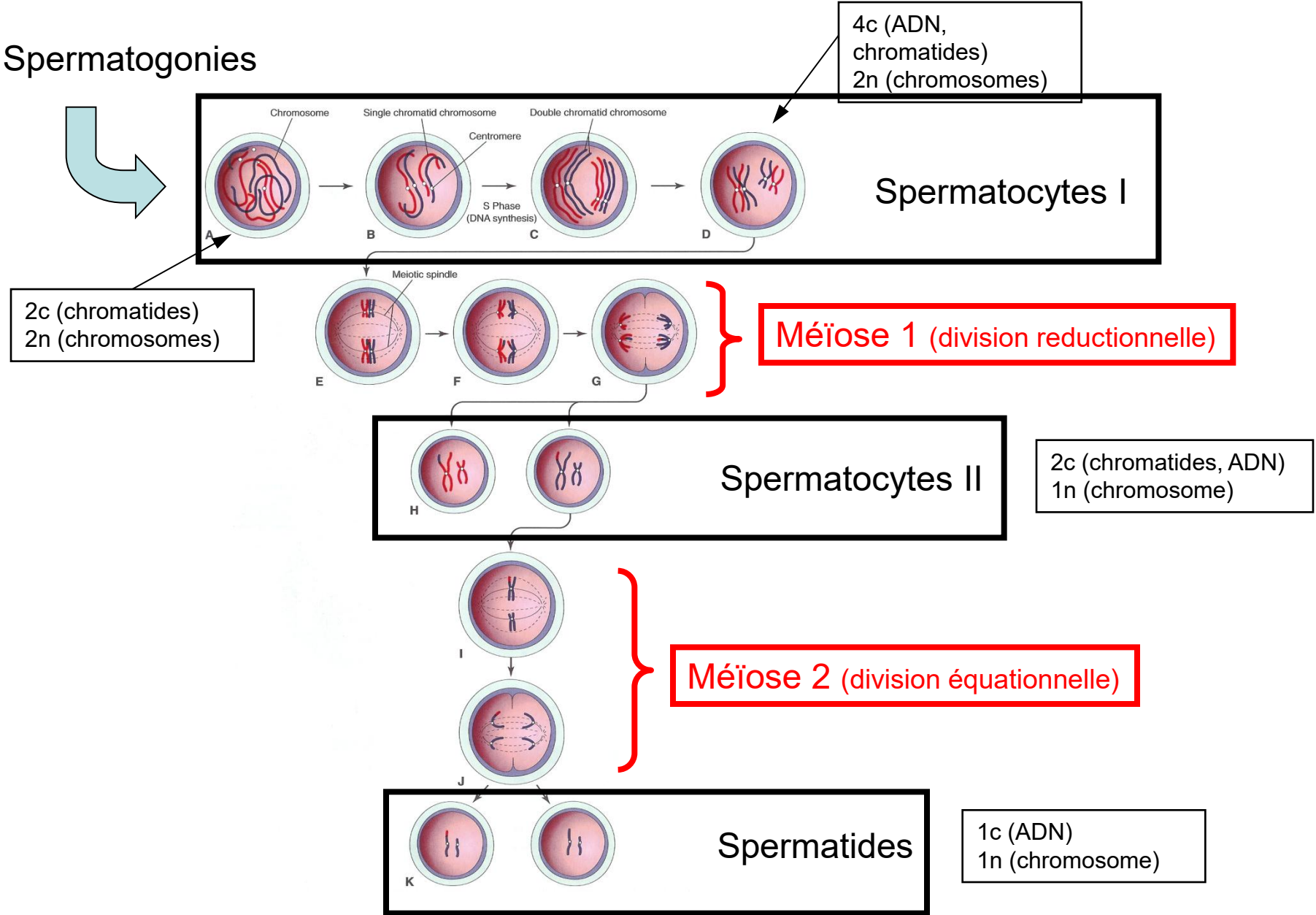
- spermiogénèse (spermatides à spermatozoïdes)

- chez l'homme, une spermatogonie Ap génère théoriquement 16 spermatides

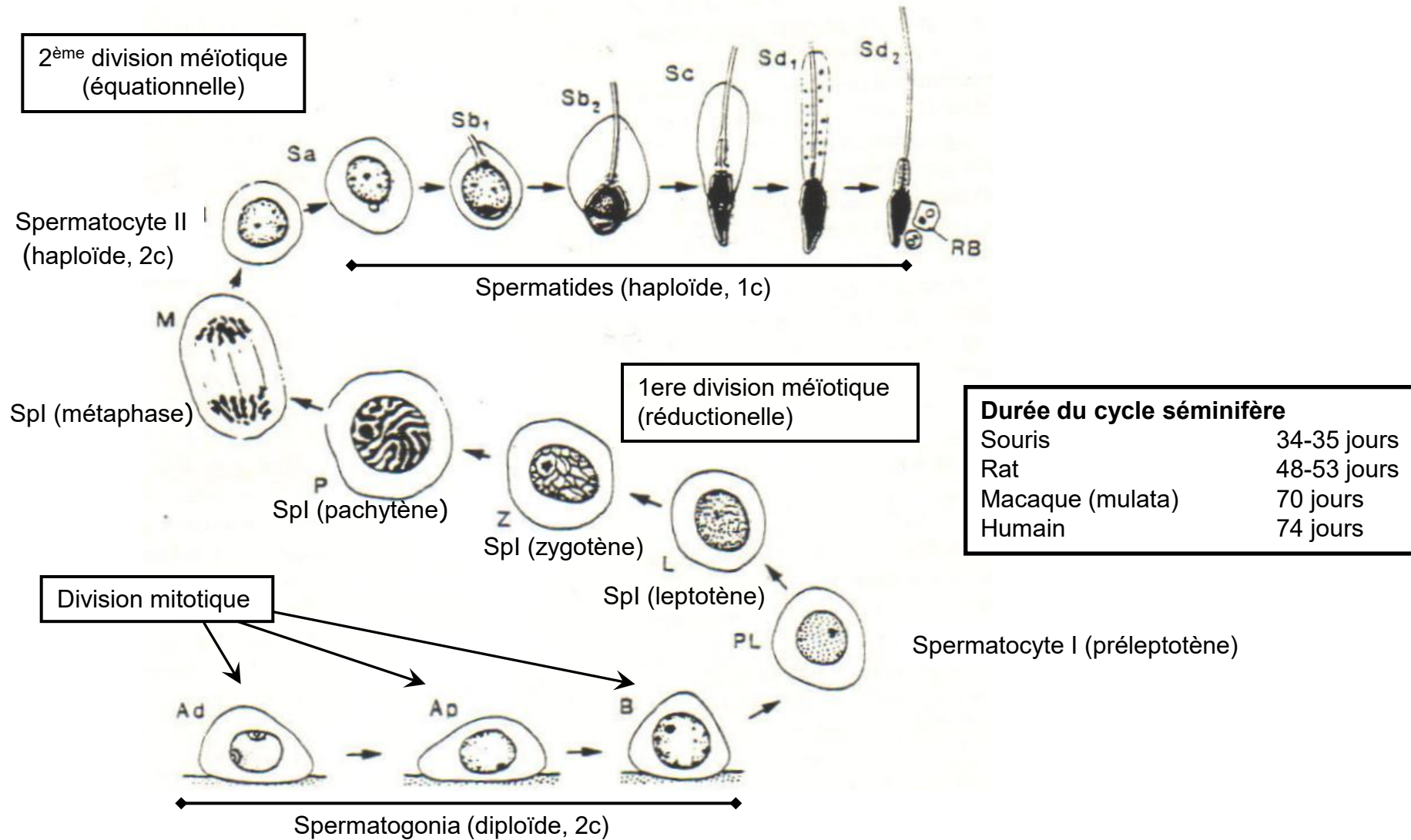


# Méiose des gamètes males

Spermatogonies

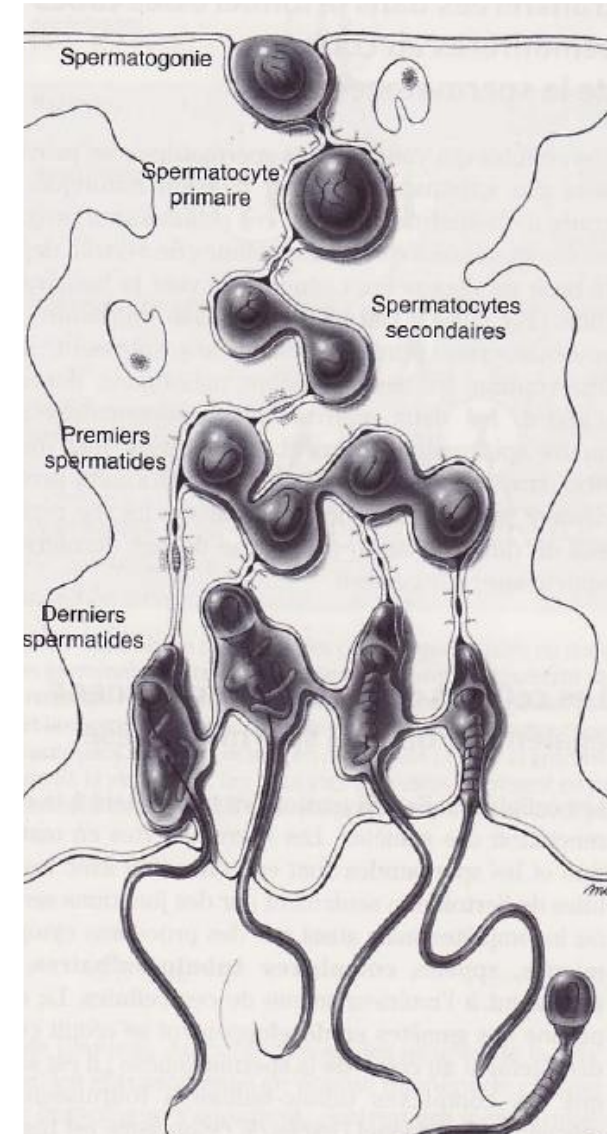


# Spermatogénèse-Spermiogénèse



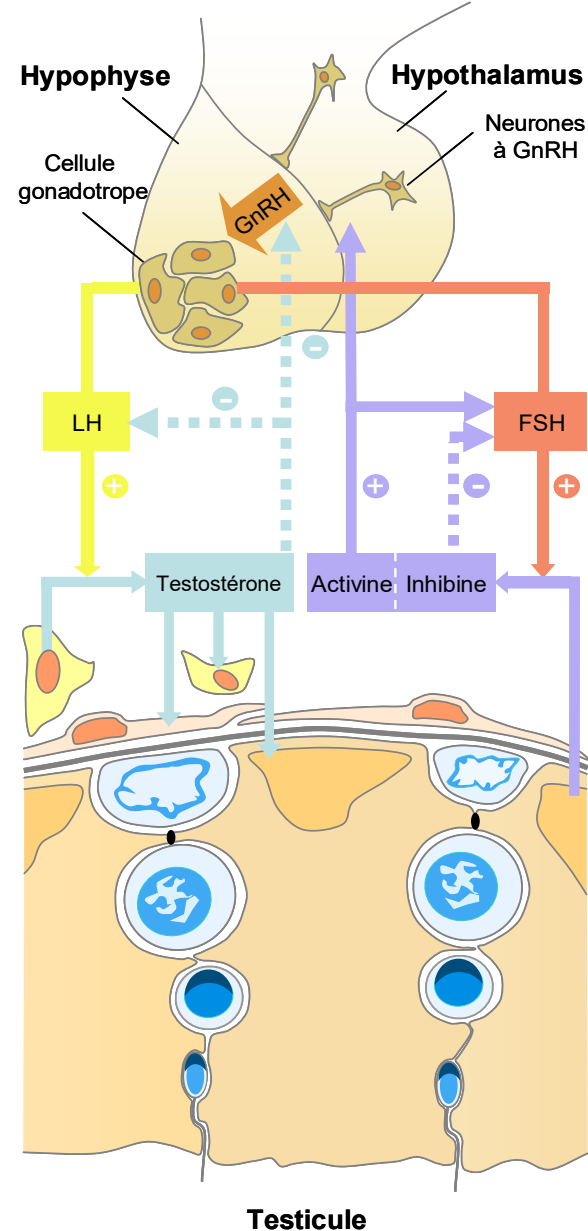
# La phase post-méiotique de la spermatogénèse: la spermiogénèse

- Une spermatogonie Ap donne naissance, après les divisions mitotiques puis méiotiques, à **16 spermatides**.
- Au cours des divisions mitotiques et méiotiques, la cytokinèse est incomplète, ce qui conduit à la formation de **syncytia de cellules germinales** reliées entre elles par des **ponts cytoplasmiques**.
- Ces ponts cytoplasmiques permettent le passage non restrictif de macromolécules entre spermatides sœurs et contribuent ainsi à la synchronisation de leur différenciation.



- Contrôle de la spermatogénèse
  - hormonal (FSH, LH, testostérone)
  - local

# L'axe hypothalamo-hypophysio-gonadique (HHG)

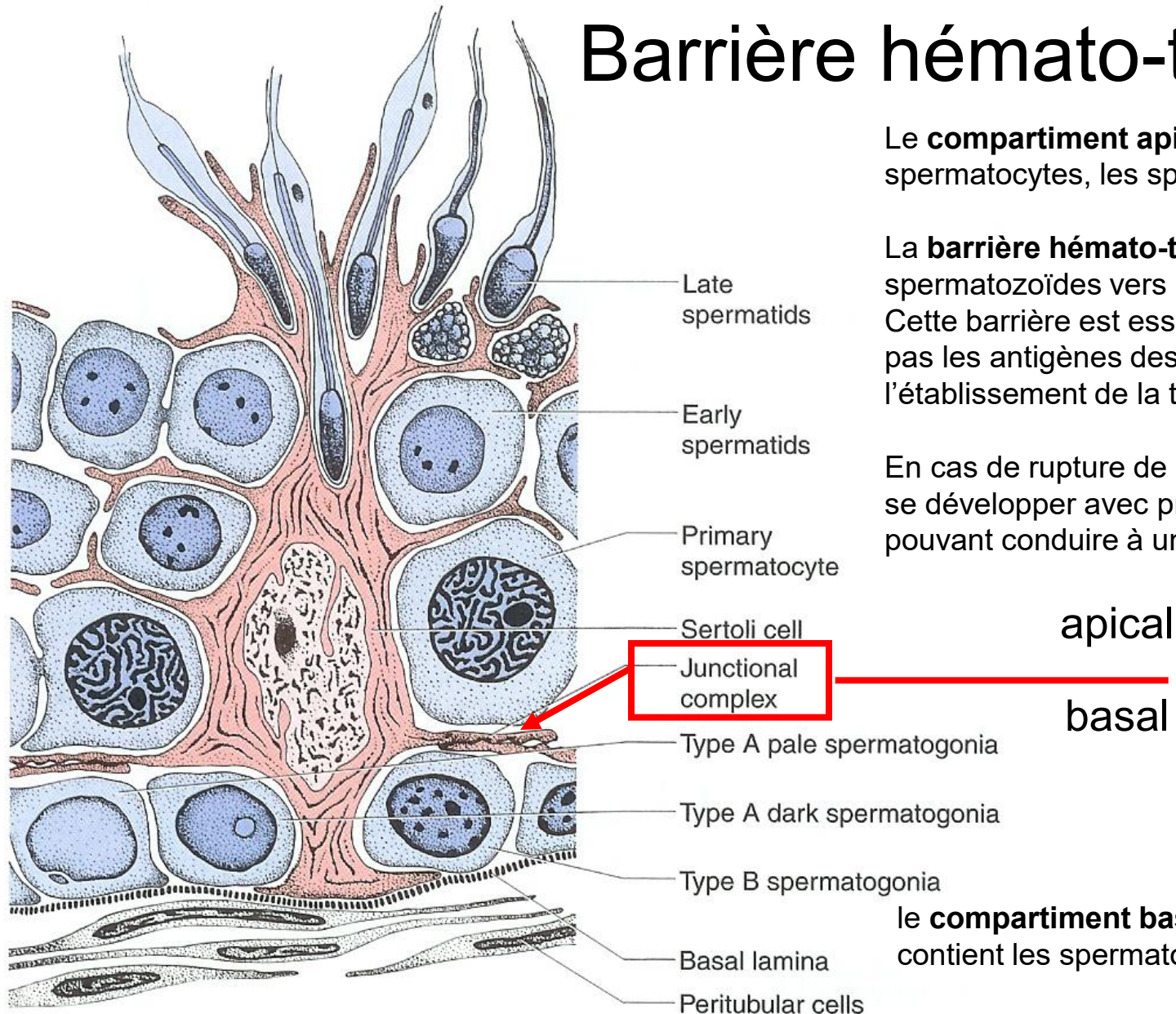


L'axe HHG est indispensable à la spermatogénèse:

- Il repose sur une **sécrétion pulsatile de GnRH**, qui induit la libération de **LH** et de **FSH** par l'hypophyse
- La **LH** stimule la synthèse de **testostérone** par les cellules de Leydig
- La testostérone agit ensuite sur les cellules de Sertoli via le **récepteur aux androgènes (AR)** pour promouvoir la spermatogénèse.
- La **FSH**, quant à elle, soutient directement la spermatogénèse en agissant sur les cellules de Sertoli.

- Contrôle de la spermatogenèse
  - hormonal (FSH, LH, testostérone)
  - local
- Barrière hémato-testiculaire
  - = jonctions serrées entre cellules de Sertoli
  - > compartiment basal (spermatogonies)
  - > compartiment apical (spermatocytes, spermatides)

# Barrière hémato-testiculaire



Le **compartiment apical** du tube séminifère contient les spermatocytes, les spermatides et les spermatozoïdes.

La **barrière hémato-testiculaire** empêche le passage des spermatozoïdes vers la circulation systémique et lymphatique. Cette barrière est essentielle car le système immunitaire ne tolère pas les antigènes des spermatozoïdes, apparus après l'établissement de la tolérance immunitaire.

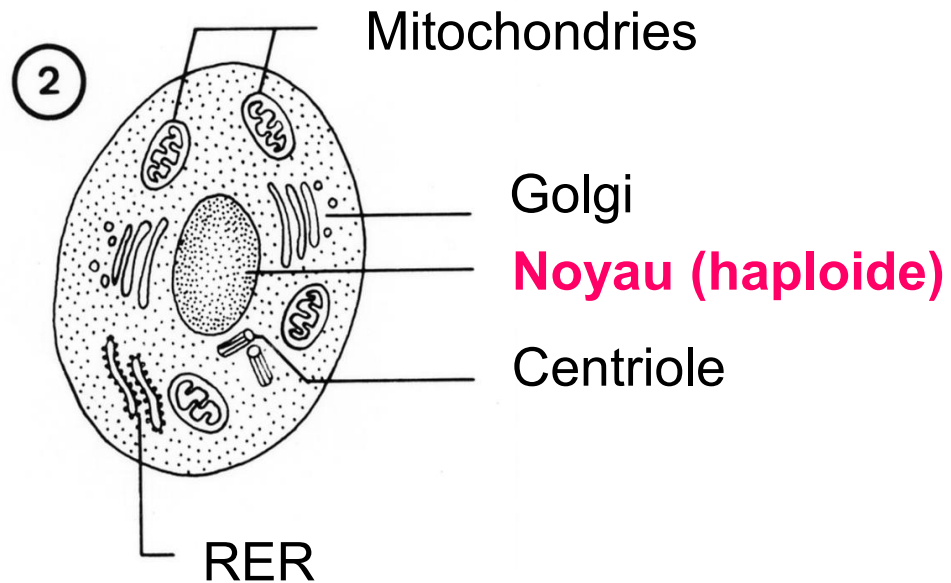
En cas de rupture de cette barrière, une réponse immunitaire peut se développer avec production d'**anticorps antispermiques**, pouvant conduire à une **orchite auto-allergique** et à une **stérilité**.

le **compartiment basal** du tube séminifère contient les spermatogonies

# Spermiogénèse

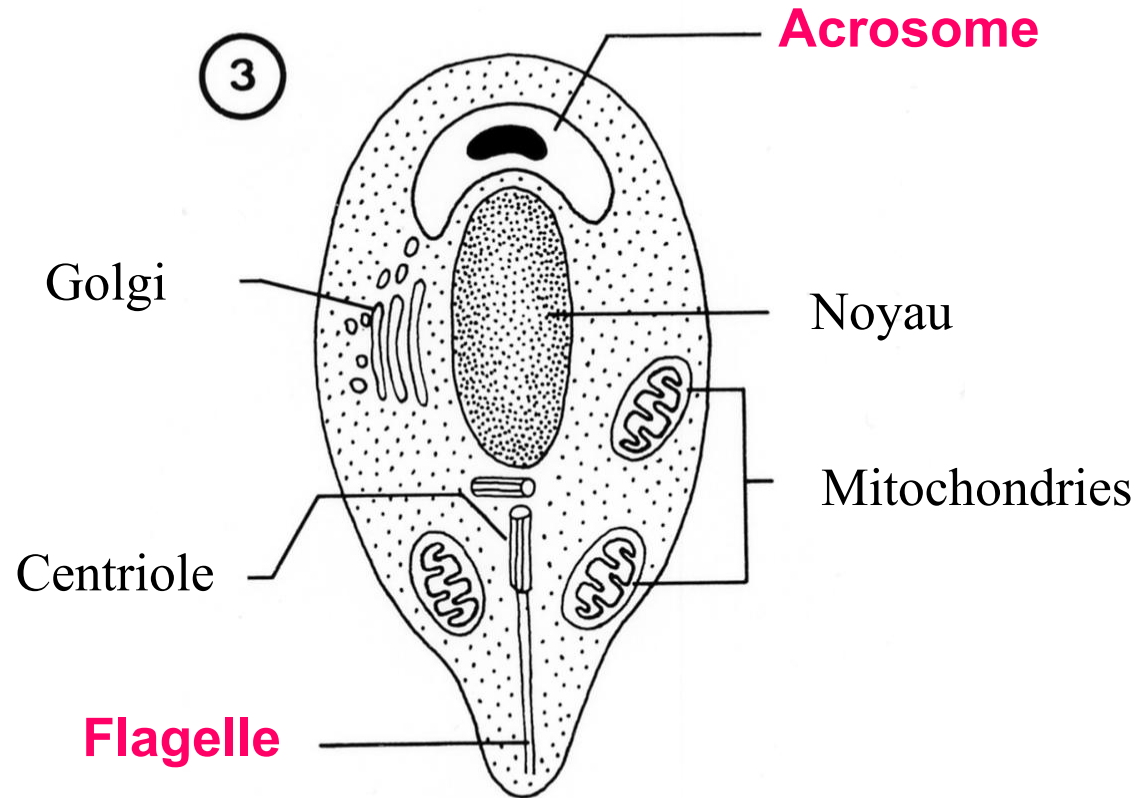
= maturation des spermatides en spermatozoïdes

- condensation de la chromatine ( par remplacement des histones en protamines)
- diminution de la taille du noyau.

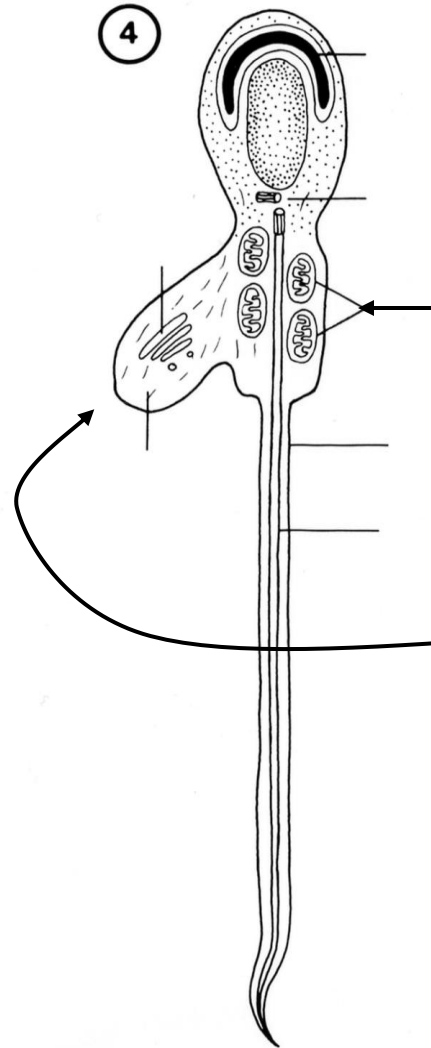


# Spermiogénèse

- formation de l'acrosome (granule de sécrétion; pro-acrosine, hyaluronidase, neuraminidase)
- développement du flagelle  
(9 + 1 paires de microtubules, formant le filament axial)



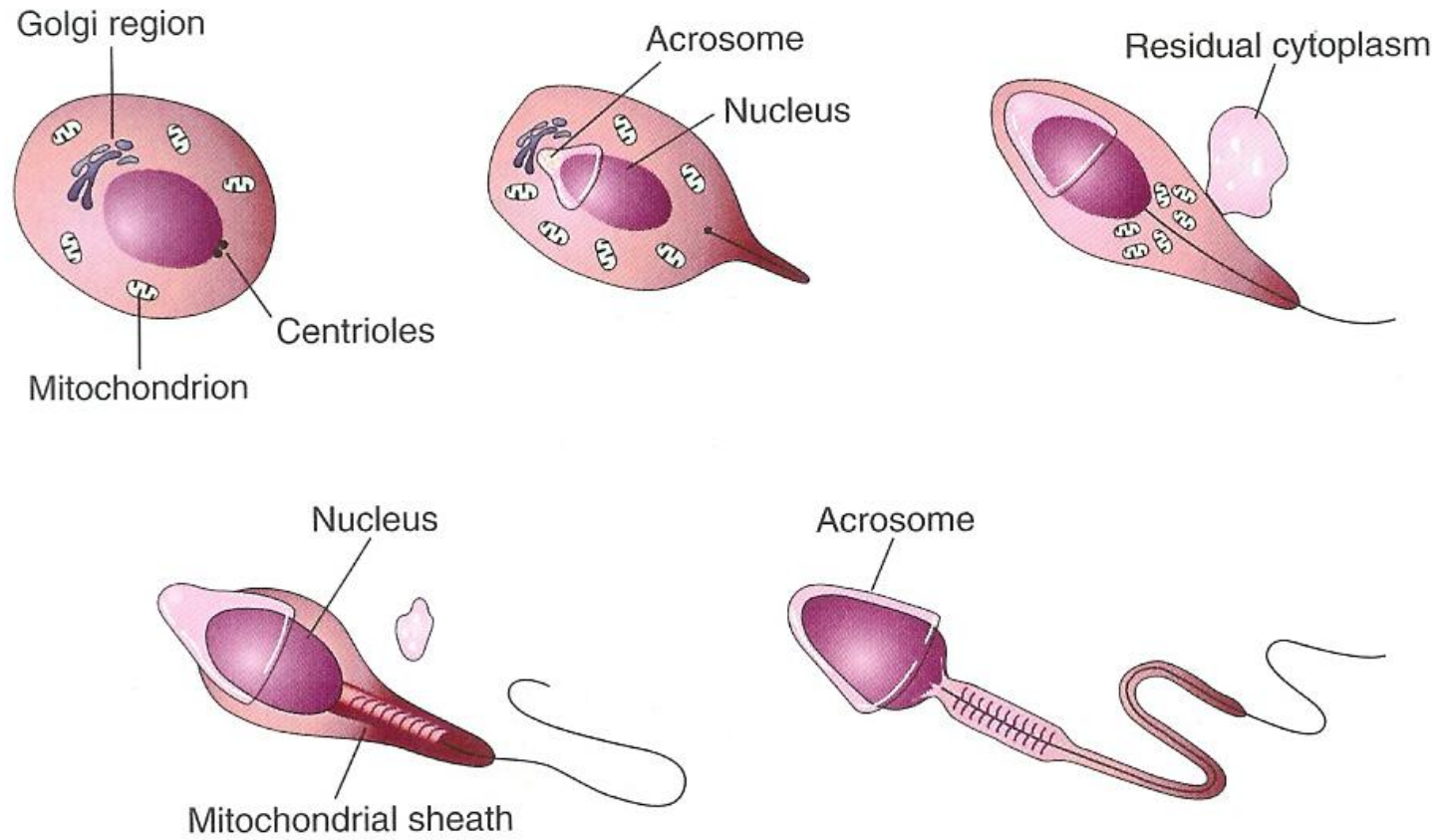
# Spermiogénèse



- accumulation de mitochondries au niveau de la pièce intermédiaire.

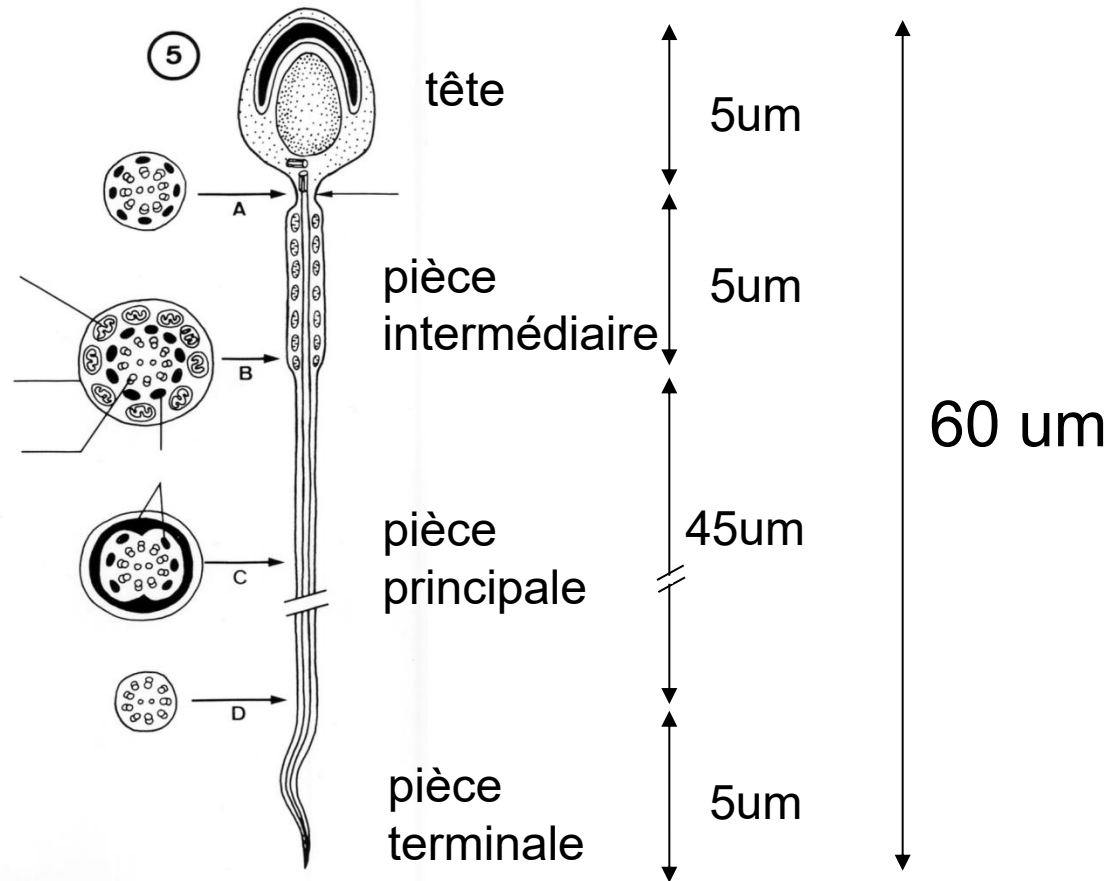
- phagocytose du cytoplasme «en excès» (corps résiduels) par les cellules de Sertoli.

# Spermiogénèse

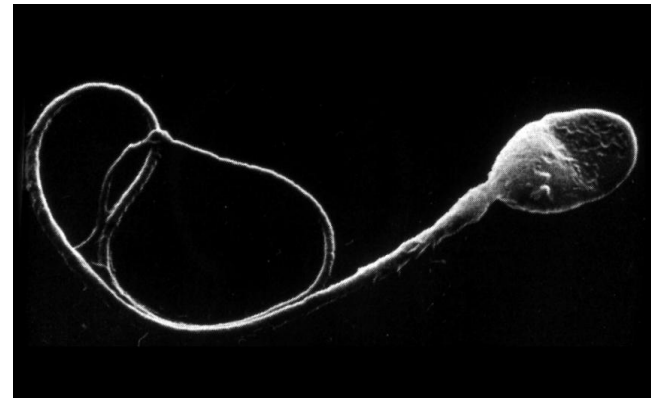


# Spermatozoïde

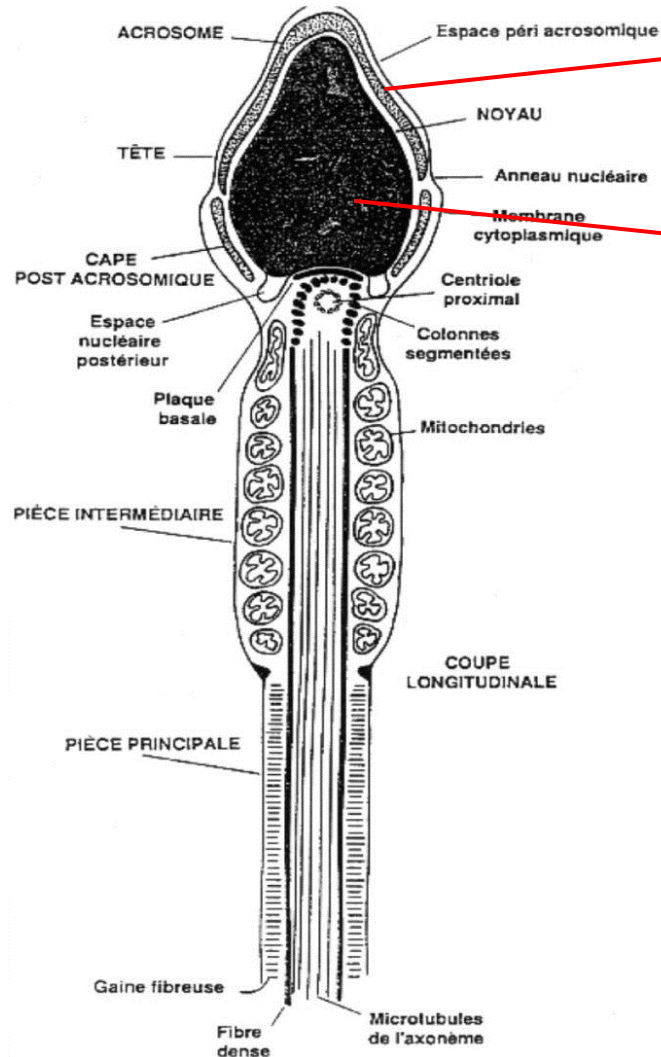
- 1) Tête
- 2) Flagelle: - pièce intermédiaire  
- pièce principale  
- pièce terminale



microscopie à balayage



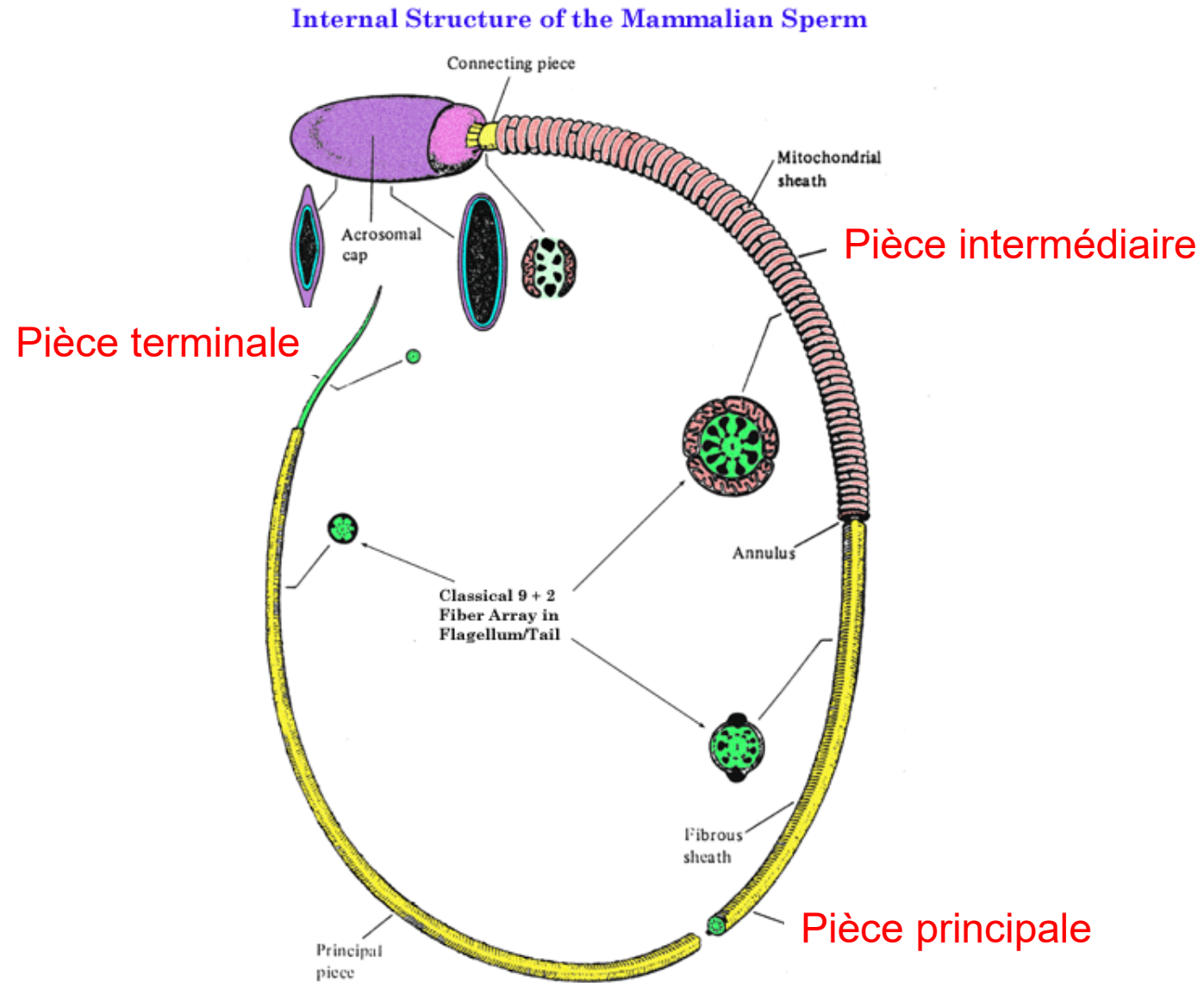
# Tête de spermatozoïde



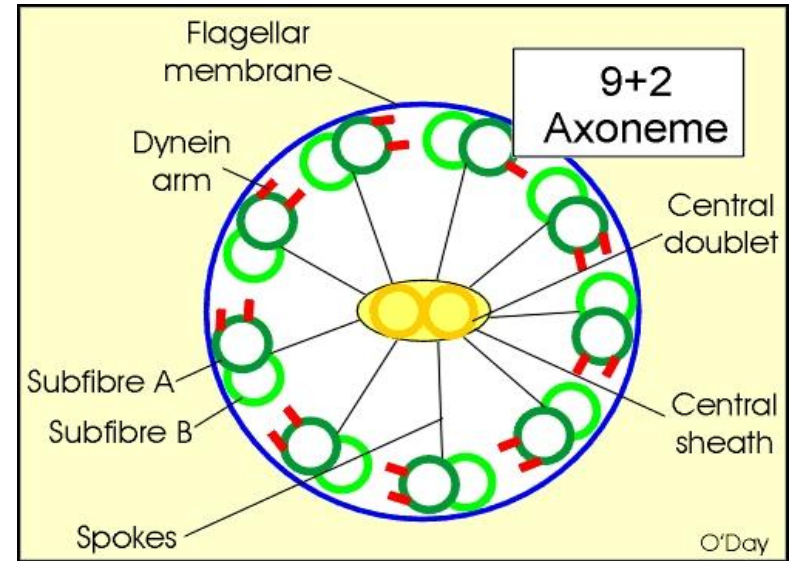
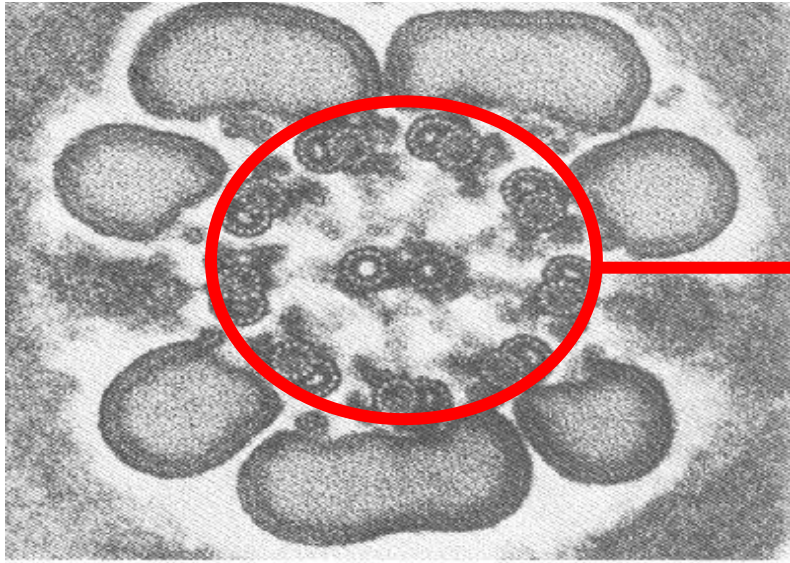
**Acrosome** (vésicule contenant des enzymes hydrolytiques: hyaluronidase, acrosine, neuraminidases, ...)

**Noyau** (ADN, protamines)

# Flagelle du spermatozoïde

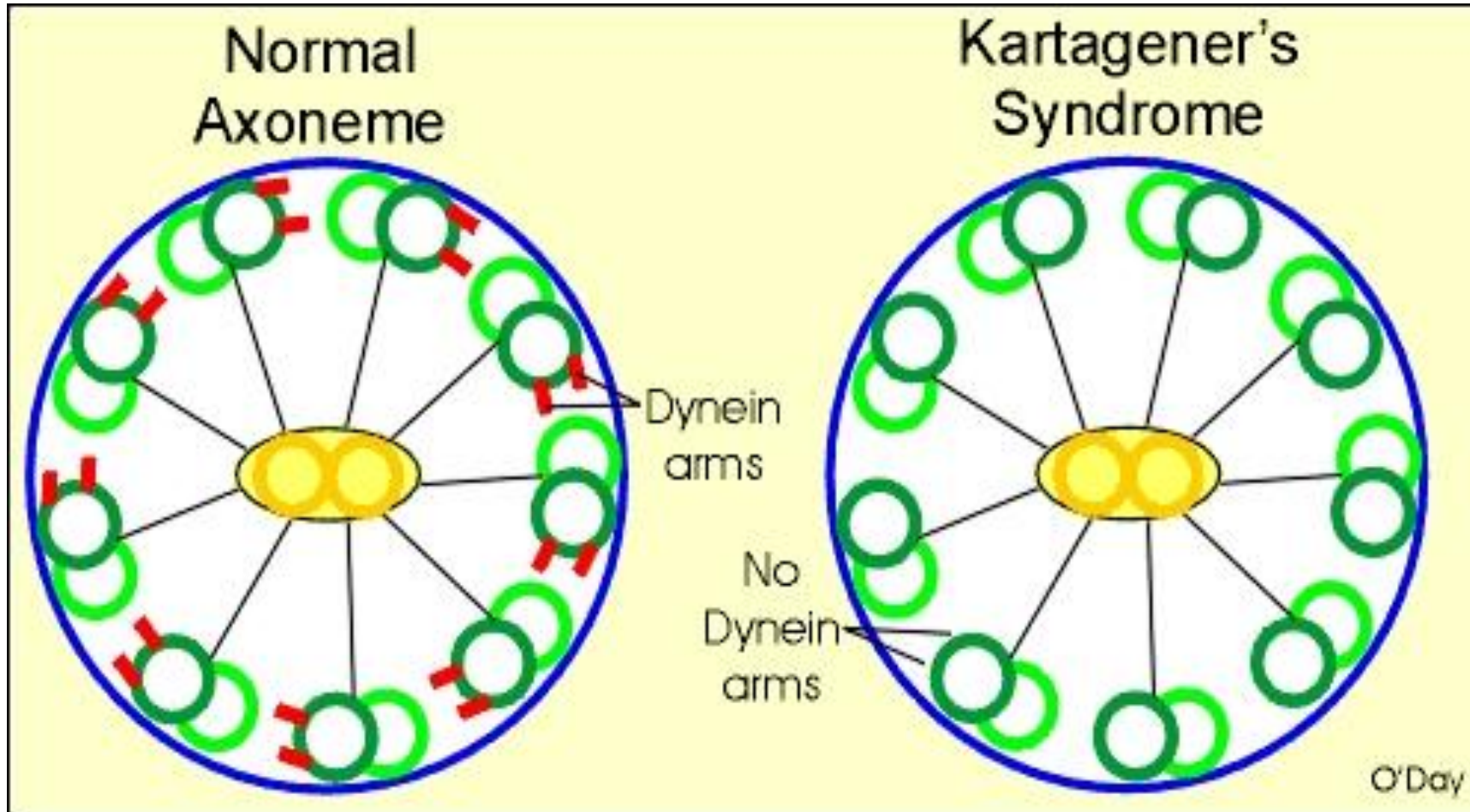


Modified from Fawcett, *Devel. Biol.* 44, 1975.



## Axonème

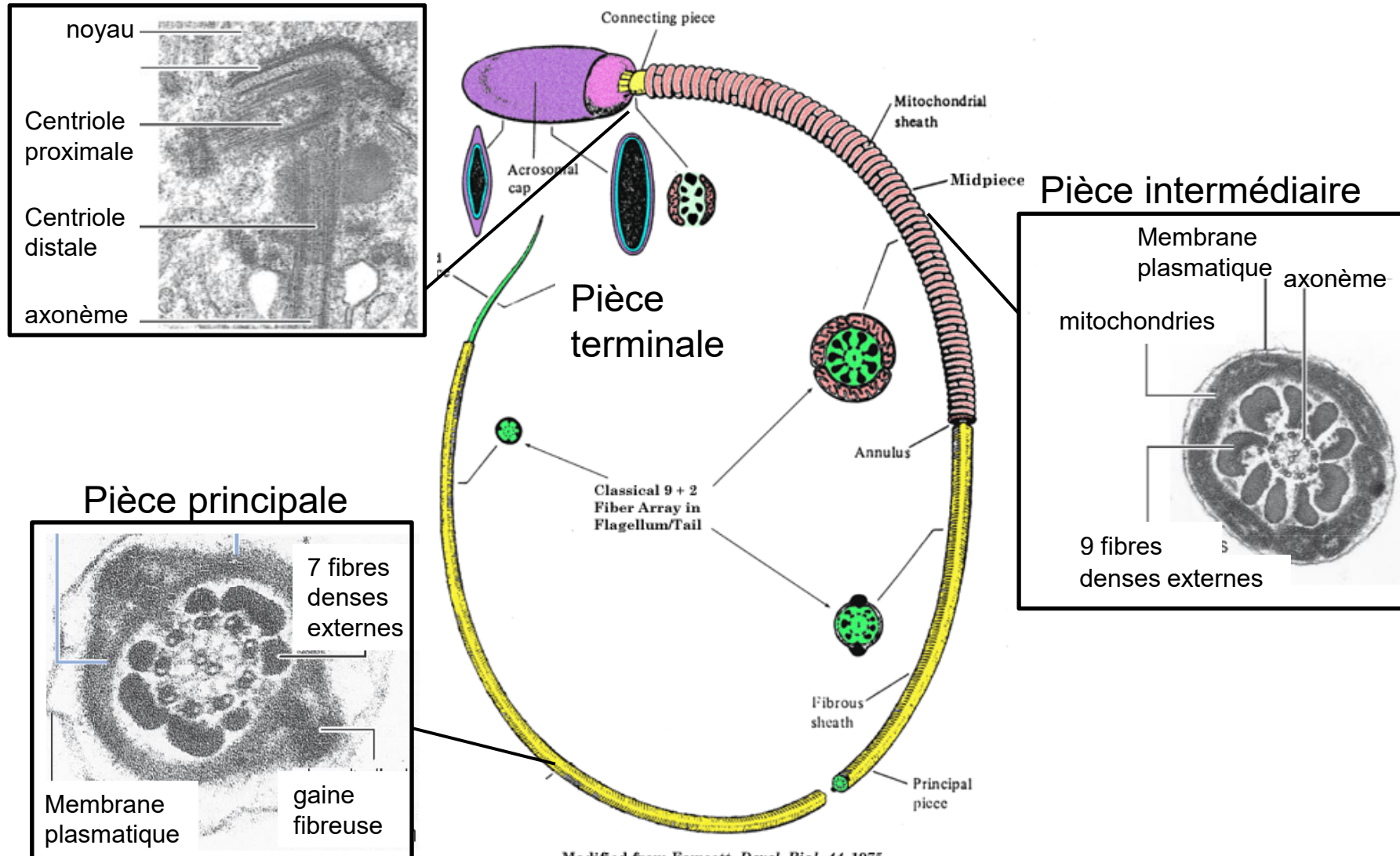
- 1 paire de microtubules centrales entourés par 9 doublets de microtubules
- 2 bras de dynéines par paire de microtubules externes qui agissent comme protéines moteurs
- Présent le long des 3 pièces (intermédiaire, principale et terminale)



Diskynésie ciliaire primitive (spermatozoïdes immobiles)

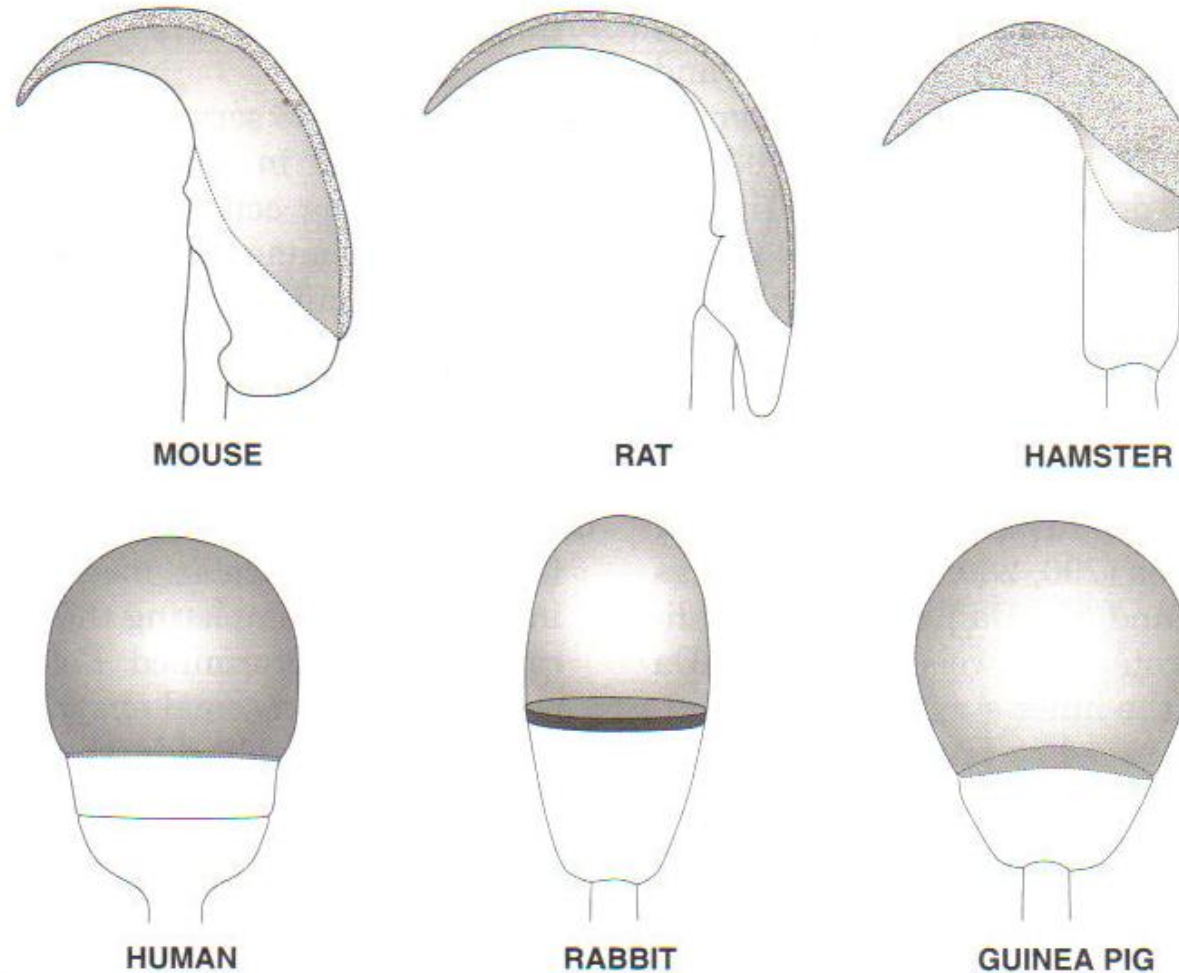
# Flagelle du spermatozoïde

## Internal Structure of the Mammalian Sperm



Modified from Fawcett, *Devel. Biol.* 44, 1975.

# Têtes de spermatozoïdes



**FIG. 4.** Lateral views of the falciform-shaped heads of mouse, rat, and hamster spermatozoa; ventral views of spatulate-shaped human, rabbit and human spermatozoa. The size and shape of the spermatozoon head is specific to each species, but varies considerably between species.

# Formes et structures des spermatozoïdes chez les vertébrés



Honey possum



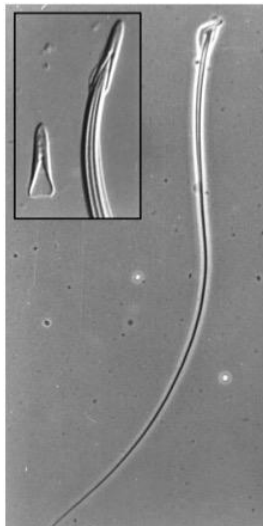
Opposum



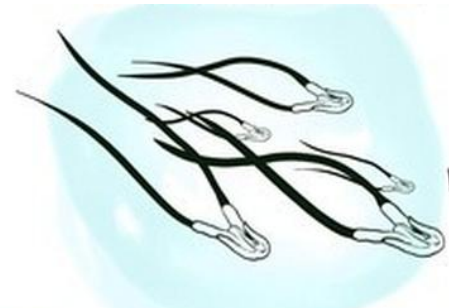
Echidné



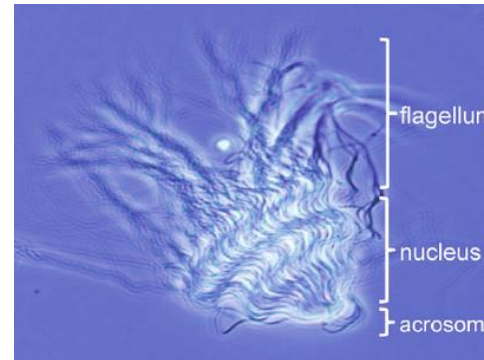
Homme



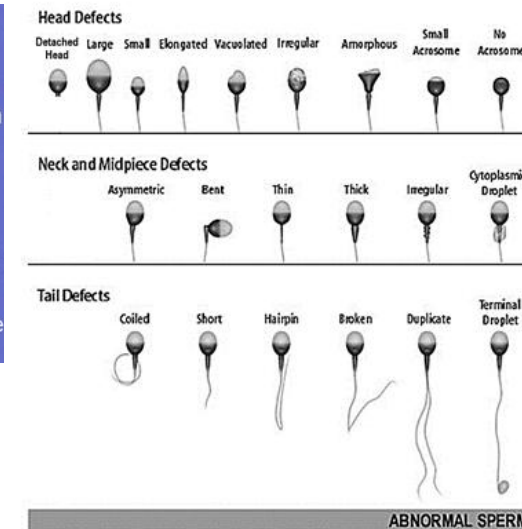
360 um (le plus long sperme de mammifère)  
 Testicule: 4% du poids de l'animal



Paires de spermatozoïdes (se forme lors de la maturation dans l'épididyme, offre un gain de motilité)



Spermatozoïdes nagent de façon synchronisées en paquets



Norme OMS 2010, class. Kruger  
 Minimum 4% de formes normales

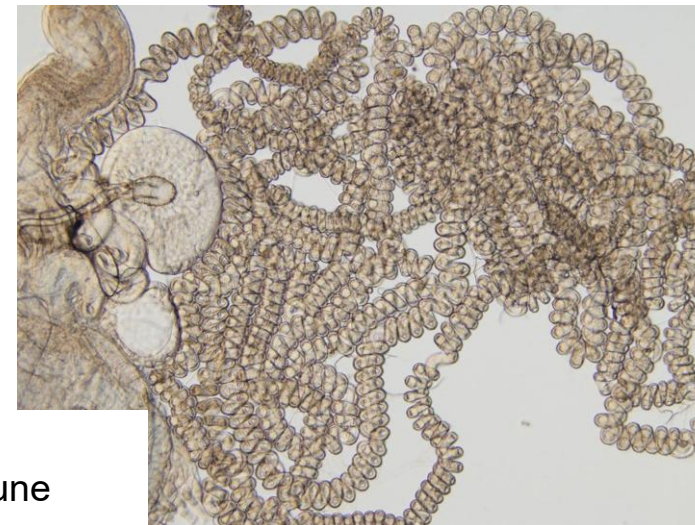
# Formes et structures des spermatozoïdes chez les invertébrés



*Drosophila bifurca*



- Sperme de 5.8 cm étroitement enroulé
- 20 fois plus long que son corps
- 1000 fois plus long que le sperme humain



Le tubule hélicoïdal de stockage du sperme de près de 8 cm de long d'une femelle

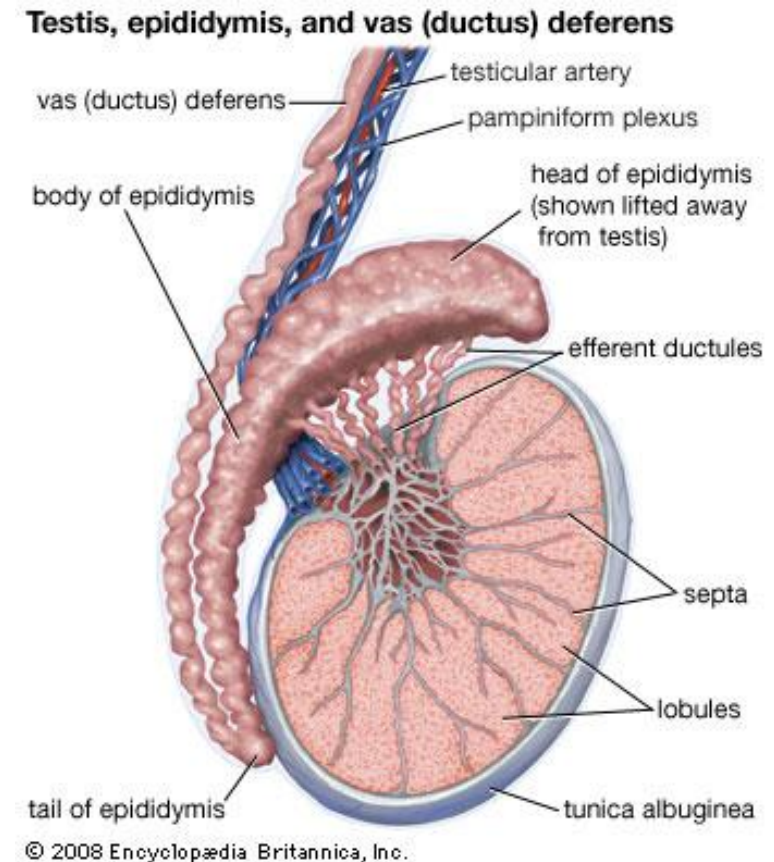
# Maturation et capacitation des spermatozoïdes

Les spermatozoïdes libérés par les testicules sont immatures, immobiles et incapable de féconder un ovocyte

Afin d'acquérir leur pouvoir fécondant, ils devront subir un processus de:

## 1) maturation épидидymaire:

- condensation nucléaire
- modification de la composition de la membrane plasmatique
- acquisition de la mobilité progressive
- autres



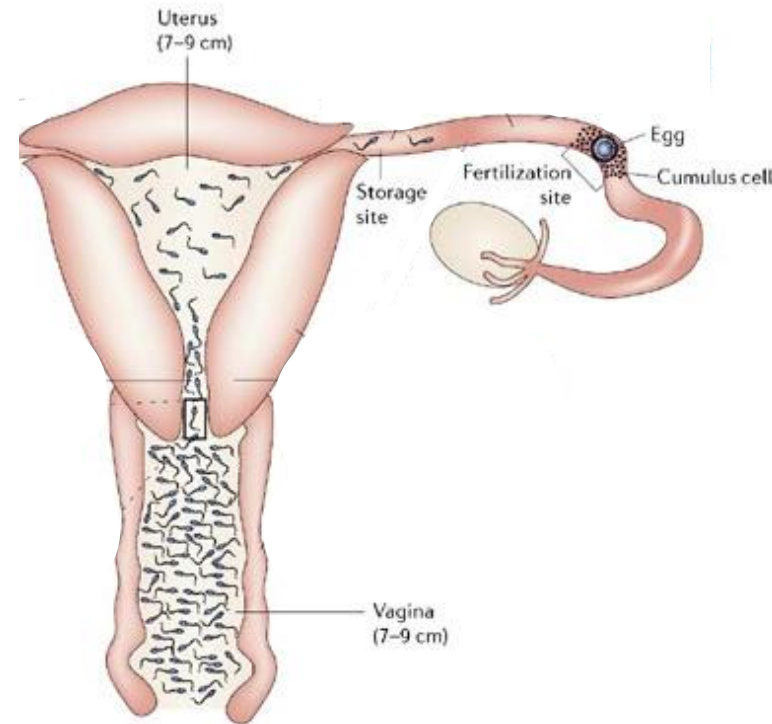
# Maturation et capacitation des spermatozoïdes

Une fois éjaculé, les spermatozoïdes sont mobiles mais toujours incapable de fertiliser un ovocyte

Afin d'acquérir leur pouvoir fécondant, ils devront subir un processus de:

## 2) **capacitation** (maturation fonctionnelle du spermatozoïde)

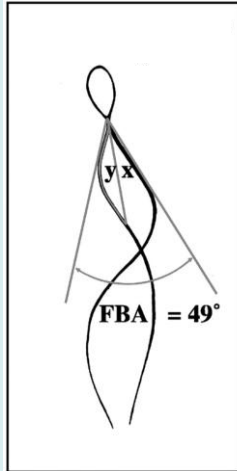
- dans le tractus génital féminin
- changements physiologiques qui conduit à l'hyperactivité du spermatozoïde qui lui permettent de subir plus tard la réaction acrosomique.



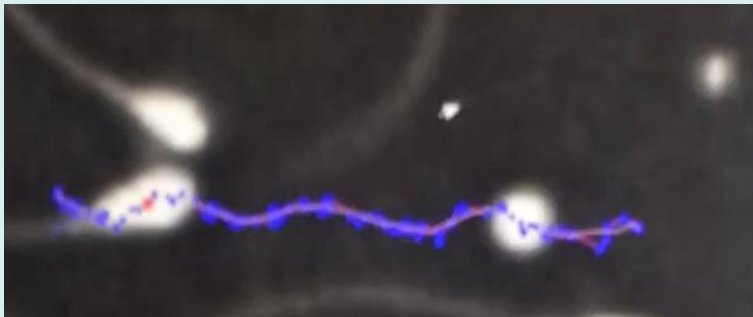
## 2/ capacitation

### Spermatozoïde immature

Non-hyperactive spermatozoon

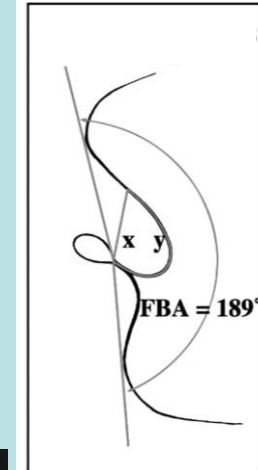


Motilité progressive caractérisée par Nage progressive avec battement de flagelle symétrique, de faible amplitude et de haute fréquence

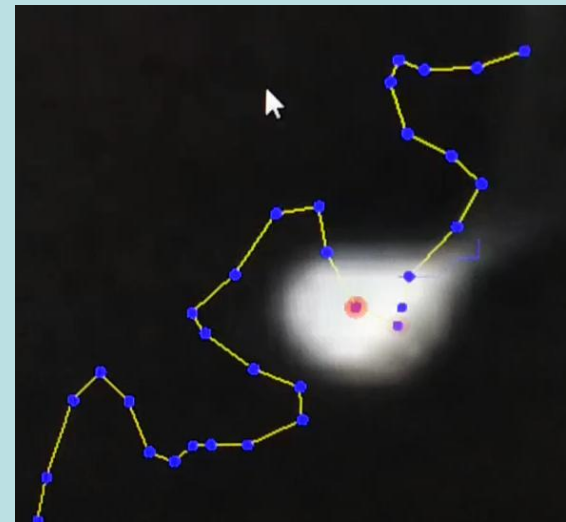


### Spermatozoïde mature

Hyperactive spermatozoon



Hyperactivation caractérisée par une motilité vigoureuse à battement flagellaire asymétrique, de haute amplitude et de basse fréquence



# Spermatogénèse

Spermatozoïdes tous génétiquement différents:

23 chromosomes, donc  $10^7$  ( $2^{23}$ ) possibilités différentes de combinaison  
+ la diversité due au crossing over.

Spermatogénèse prend environ 74 jours:

mitoses spermatogonies: 27 jours

1<sup>ère</sup> division méiotique: 23 jours

2<sup>ème</sup> division méiotique:  $\leq 1$  jours

Spermiogénèse: 23 jours

Production spermatique: 100-200 millions de spermatozoïdes par jour chez l'homme, soit 1000 spermatozoïdes produits à chaque battements du coeur !

Sperme concentration: 50-200  $10^6$ /ml. Formes anormales fréquentes.

# Physiologie spermatique

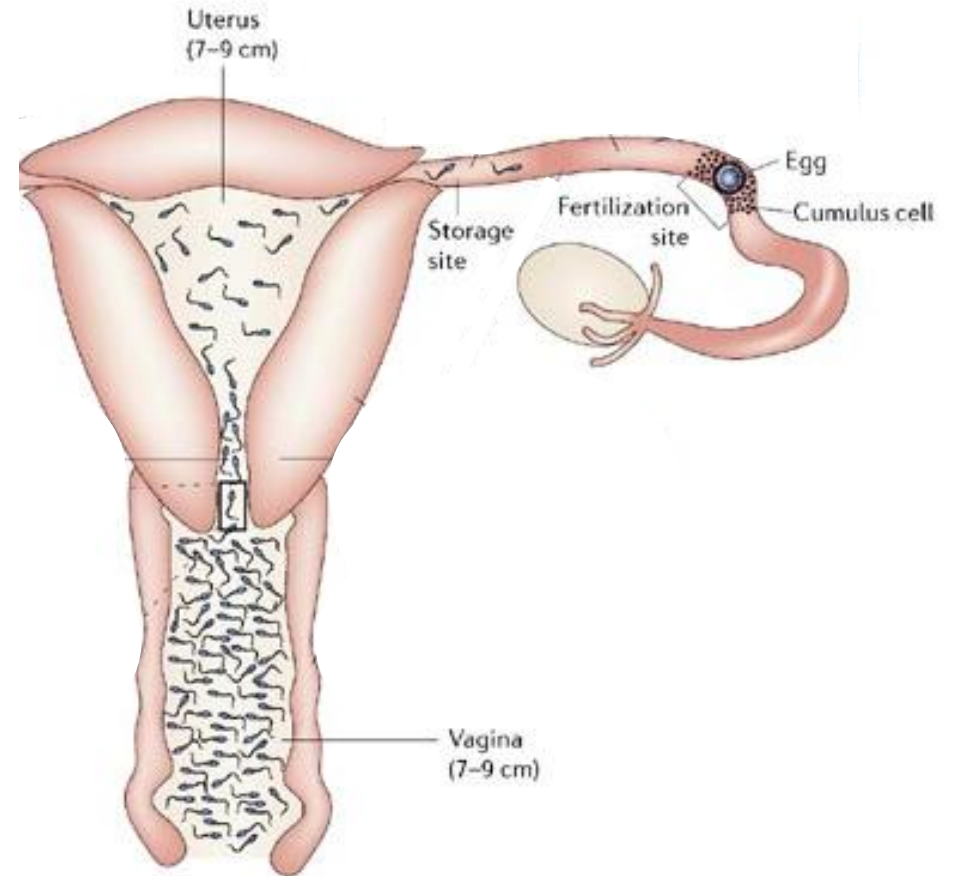
l'espérance de vie d'un spermatozoïde dans le tractus génital est d'environ **2 à 3 jours**.

Parmi les **50 à 150 millions de spermatozoïdes éjaculés**, seuls environ 100 000 franchissent le col de l'utérus, et **quelques centaines** atteignent le site de la fécondation au niveau de **l'ampoule tubaire**.

Le transport des spermatozoïdes dépend principalement des contractions musculaires du vagin, de l'utérus et des trompes, plutôt que de leur motilité propre.

Lors d'une **insémination artificielle**, le temps nécessaire aux spermatozoïdes pour atteindre l'ovule est d'environ **5 minutes** ; les spermatozoïdes non viables progressent aussi rapidement que les spermatozoïdes vivants.

La **motilité des spermatozoïdes** devient essentielle une fois l'ovule atteint, notamment pour la **pénétration des cellules de la corona radiata et de la zone pellucide**





# I. Gamétogénèse

## B. Ovogenèse

Comme spermatogénèse, le but est de:

- Former gamètes = cellules haploïdes (méiose).  
= cellules hautement différenciées.

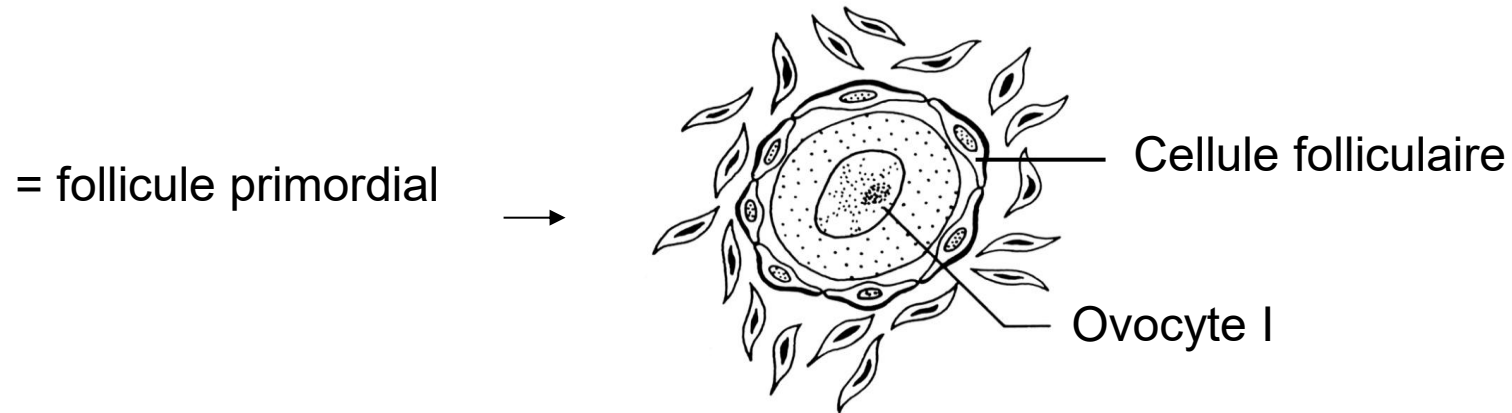
Contrairement à la spermatogénèse:

- Débute dans la vie foetale  
et ne se termine que s'il y a fécondation.
- Le stock de cellules capables  
de se différencier en ovules est limité.
- S'arrête à la ménopause.

# Ovogénèse

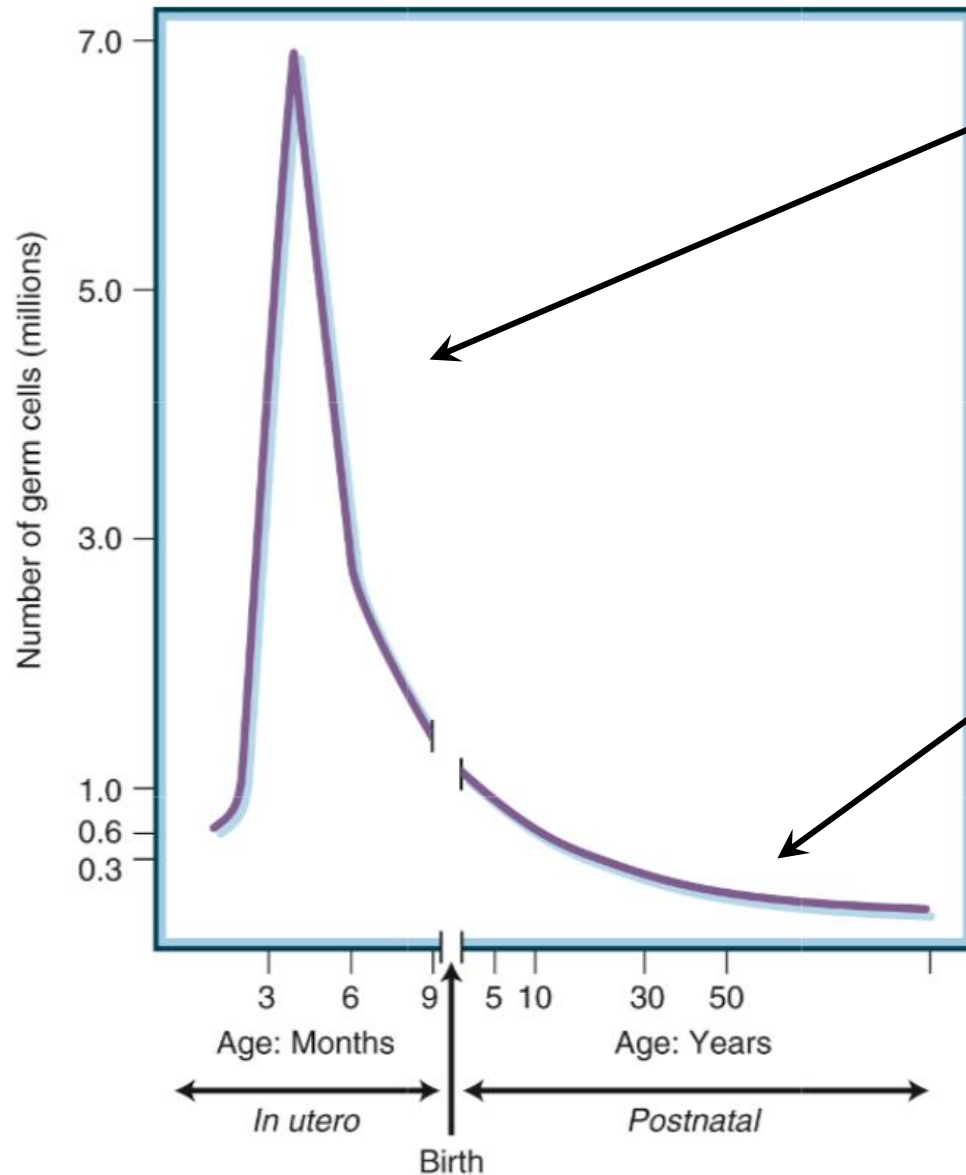
## 1. Formation des follicules primordiaux:

- Prolifération par mitose des ovogonies.
- Entrée en première division méiotique, et arrêt au stade diplotène de la prophase = ovocyte I.
- L'entrée en méiose des ovogonies s'effectue entre le 3ème et le 5ème mois
- Chaque ovocyte I est entouré d'une couche aplatie de cellules folliculaires



- A la naissance,  $\sim 10^6$  ovocytes I, et donc  $\sim 10^6$  follicules primordiaux.
- Entre la naissance et la puberté, atresie de la majorité des follicules.  
A la puberté, il ne reste plus qu'  $\sim 300-500'000$  follicules primordiaux.

# Ovogénèse



Le nombre de cellules germinales de l'ovaire est maximal à la mi-gestation, puis décroît brutalement

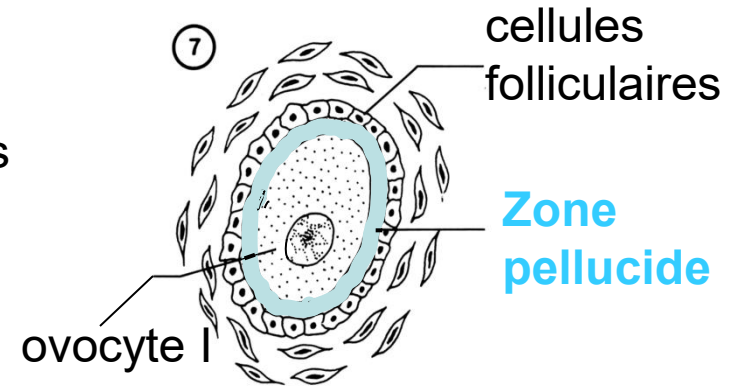
Le déclin progressif des ovocytes se poursuit jusqu'à l'épuisement complet à la ménopause

# Ovogénèse

## 2. Développement des follicules:

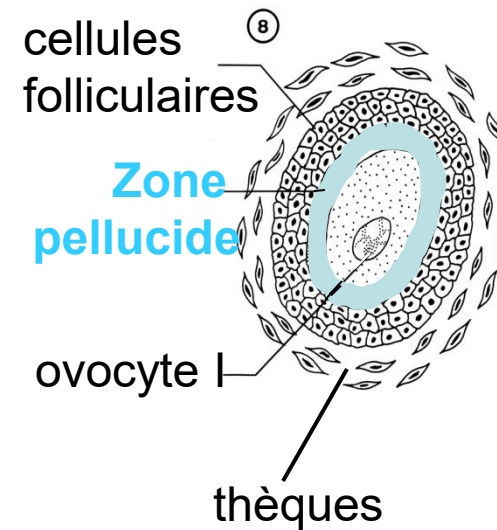
### Follicules primaires:

- une couche de cellules folliculaires cubiques
- **zone pellucide**: matériel extracellulaire entre les cellules folliculaires et l'ovocyte
- accroissement de la taille de l'ovocyte

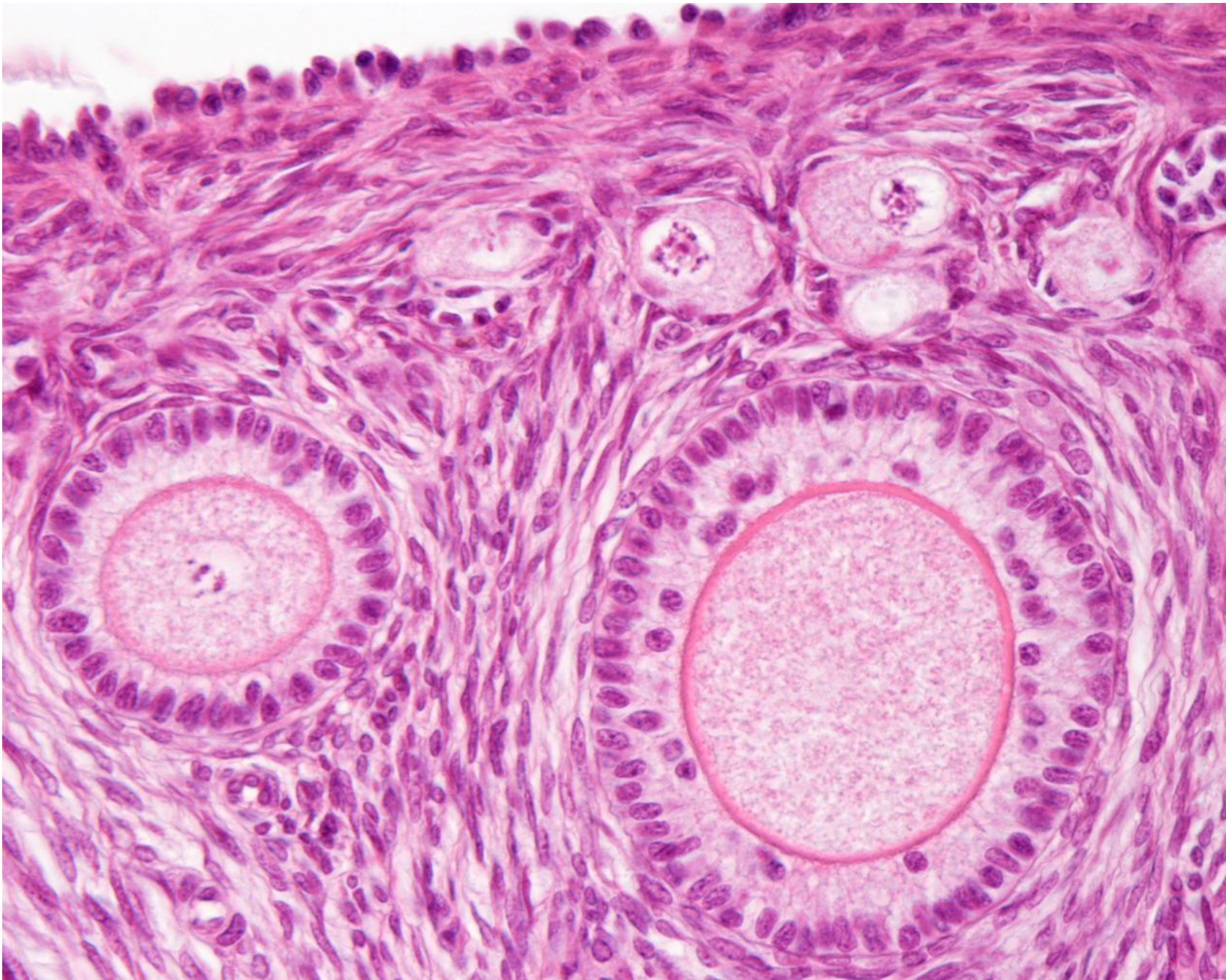


### Follicules secondaires:

- plusieurs couches de cellules folliculaires
- périphérie du follicule: stroma ovarien = thèque interne (formation d'hormones stéroïdes) et thèque externe (fibreuse).
- accroissement de la taille de l'ovocyte



Ce développement est "hormono-indépendant"





# Ovogénèse

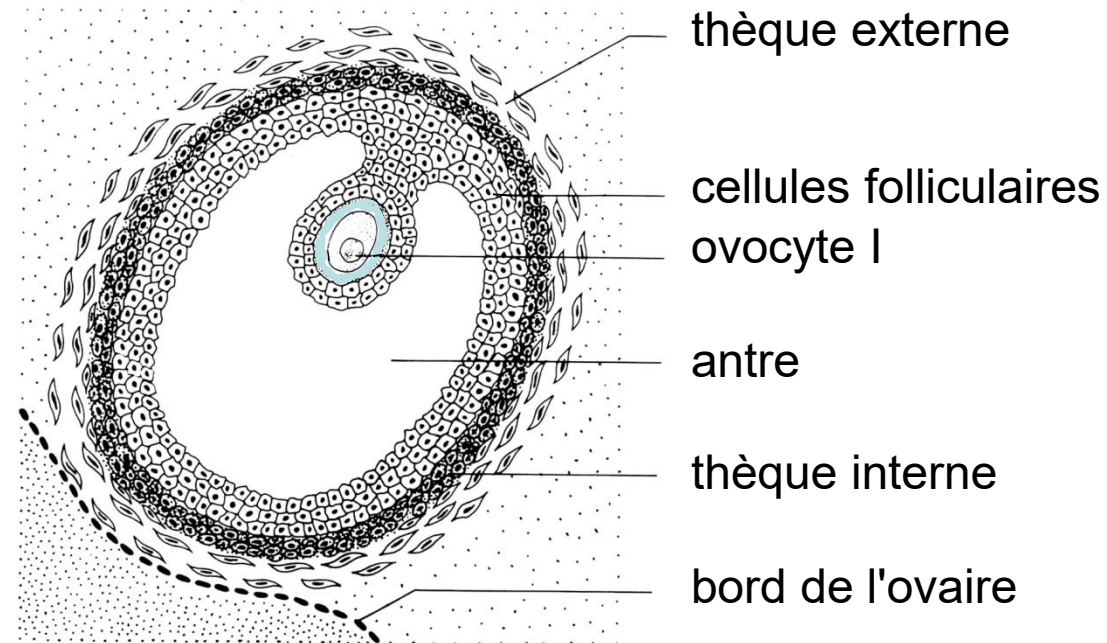
## 2. Développement des follicules (fin):

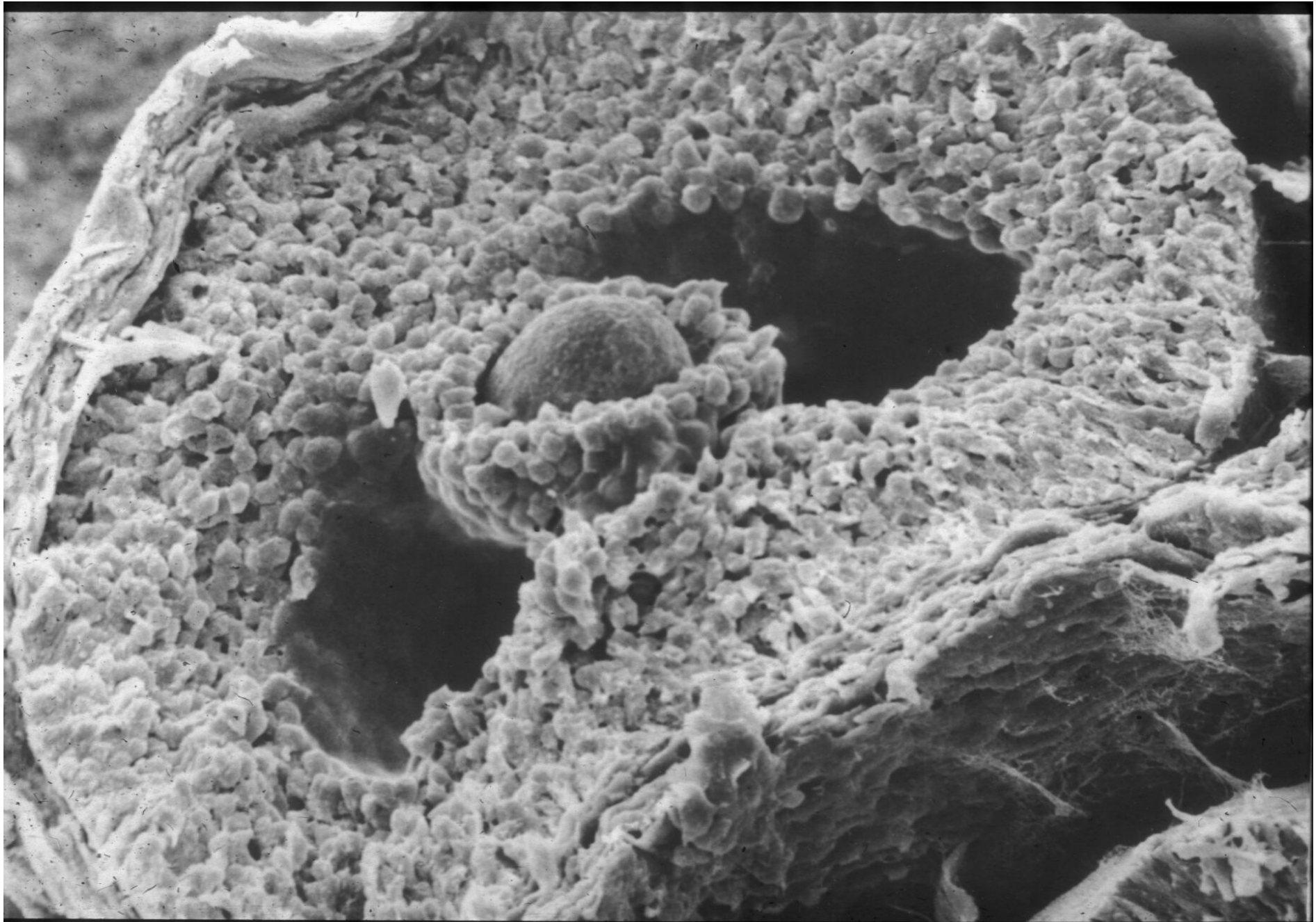
De la puberté à la ménopause, chaque mois, ~15-20 follicules secondaires entrent en différenciation.

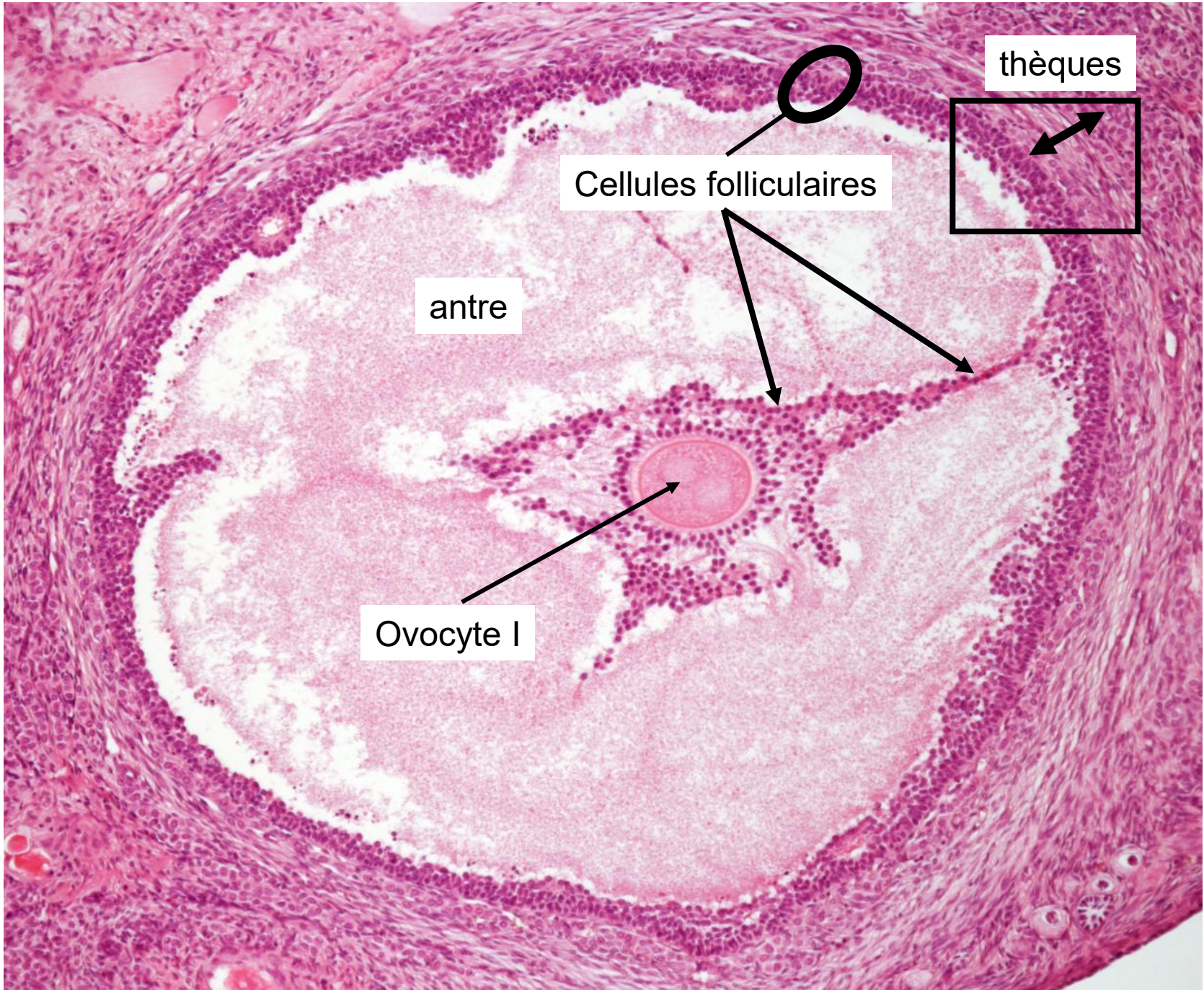
(FSH et LH produites par hypophyse et œstrogènes produits par le follicule)

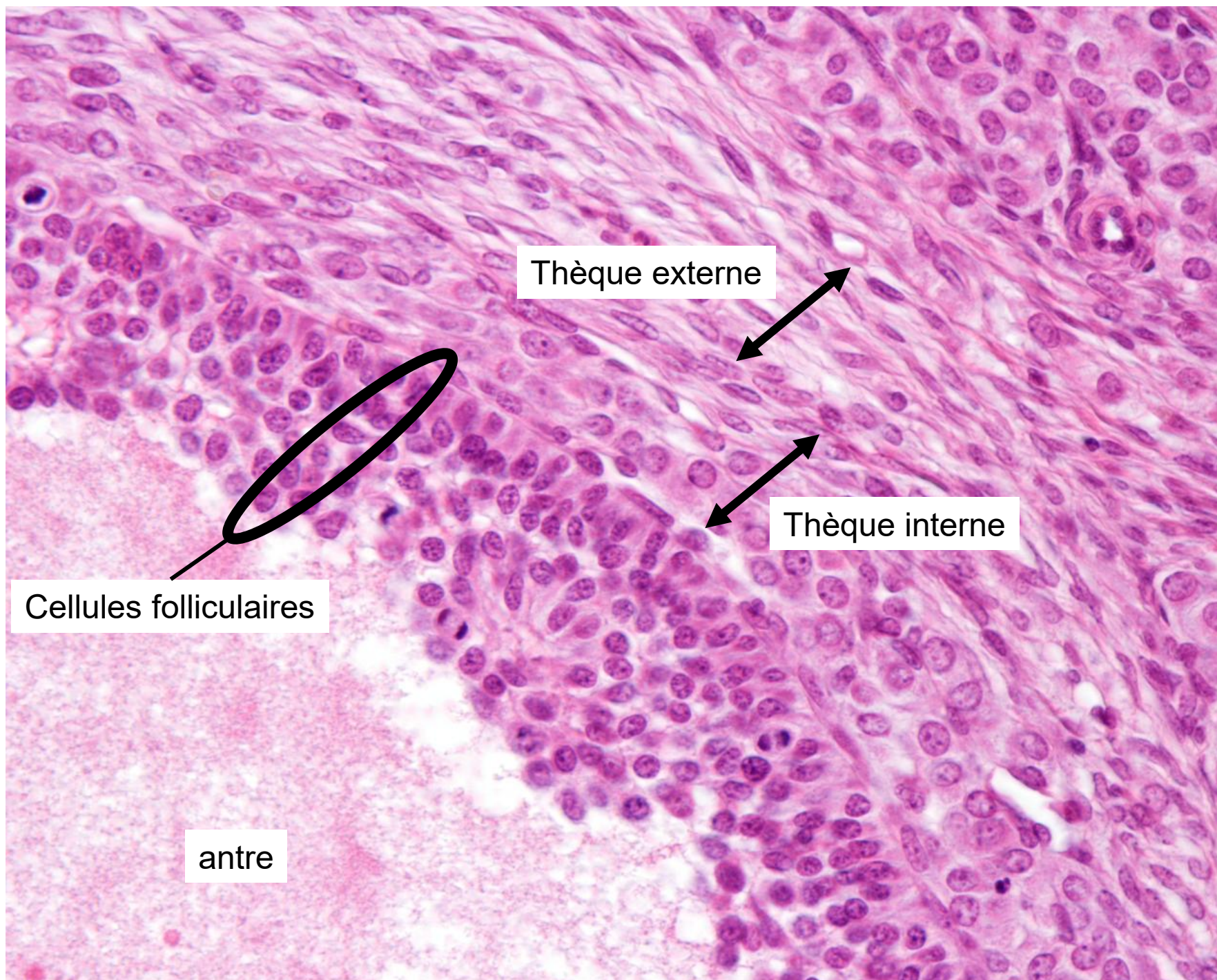
Accumulation de liquide entre les cellules folliculaires et formation de la cavité antrale.

9









Thèque externe

Thèque interne

Cellules folliculaires

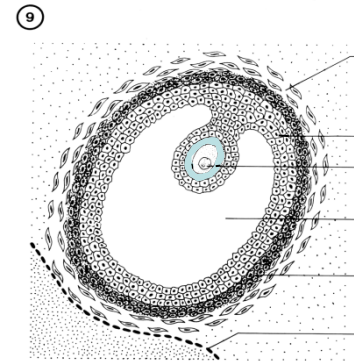
antre

# Ovogénèse

## 2. Développement des follicules:

Un seul follicule termine cette différenciation

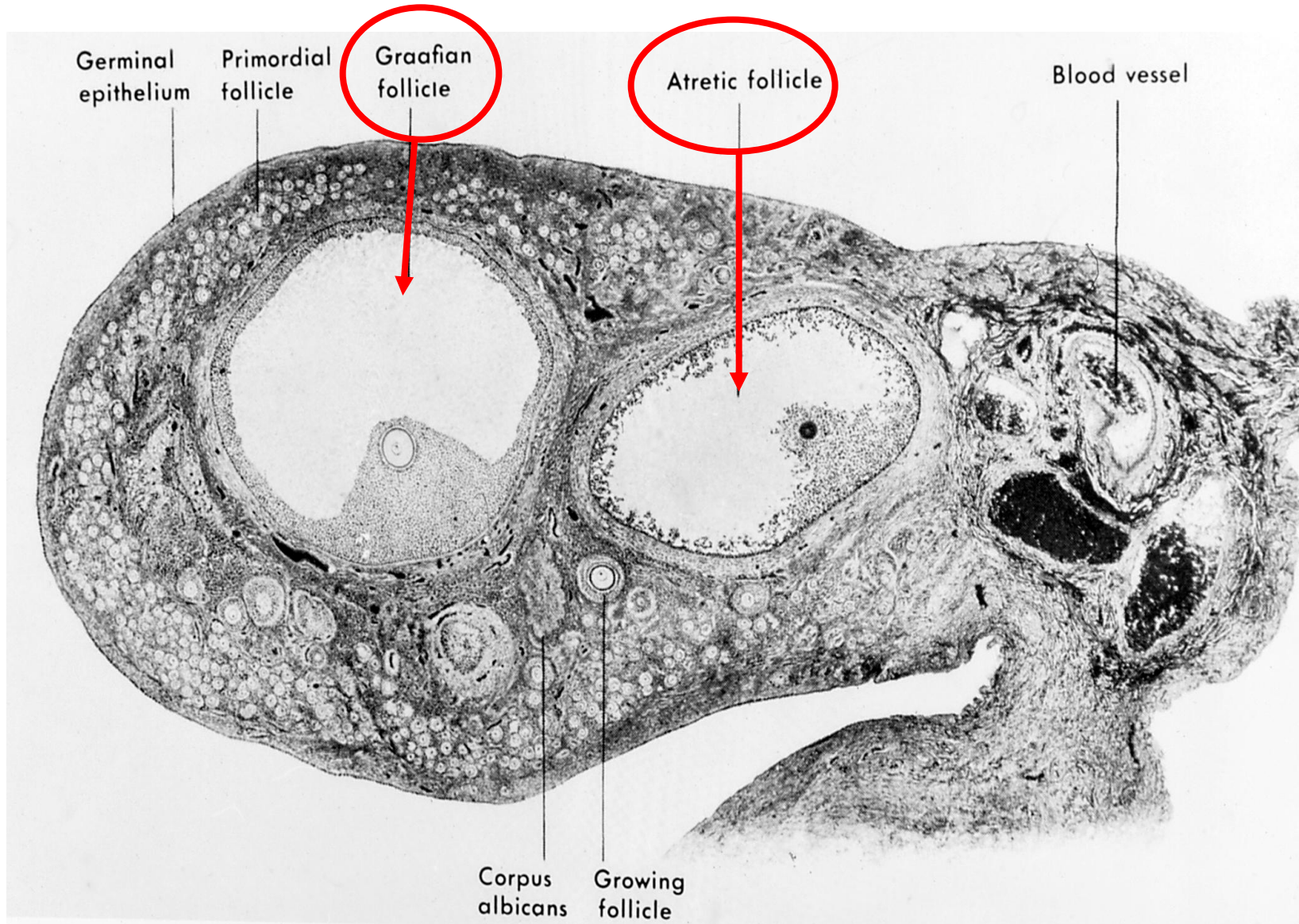
= follicule de Graaf



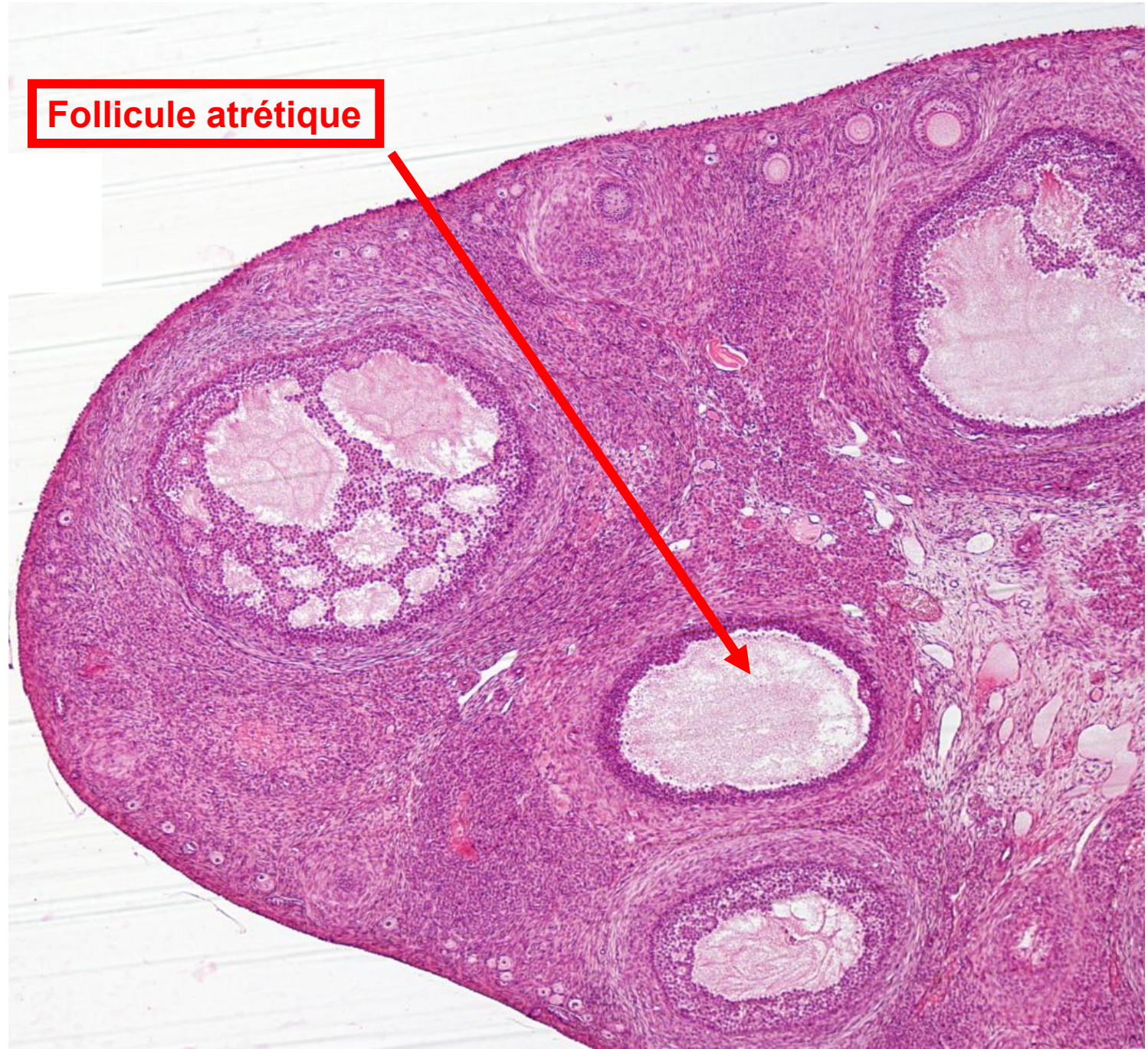
Ovulation (libération de l'ovule par le follicule de Graaf)  
après deux mois et demi.

Les autres follicules secondaires dégénèrent,  
à différents stades de développement (atrésie).

En tout, environ 400 ovocytes I évolueront en ovules,  
au cours d'autant de cycles menstruels.



**Follicule atrétique**

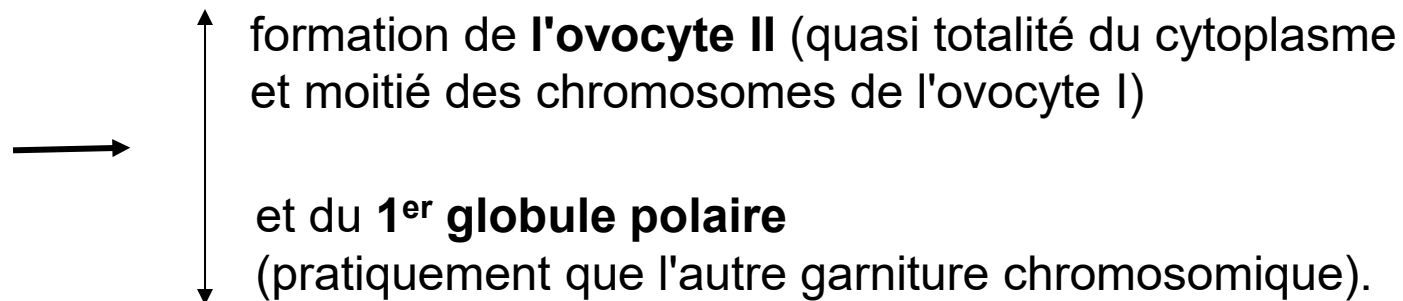


# Ovogénèse

## 3. Croissance et maturation de l'ovocyte :

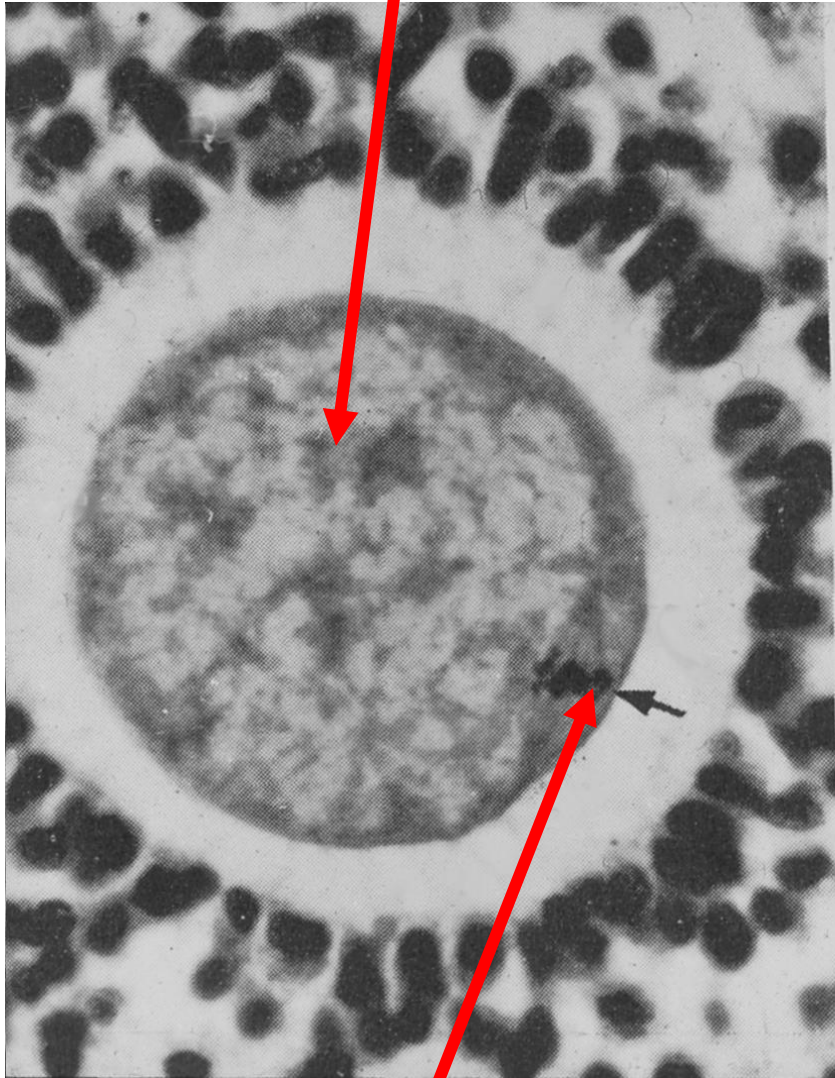
Croissance en parallèle avec le développement des follicules primaires. Augmentation du cytoplasme, accumulation de réserves, formation de granules corticaux. Diamètre croît de 15 $\mu$ m à 80 $\mu$ m.

Dans les heures qui précèdent l'ovulation:  
maturation méiotique = terminaison de la 1<sup>ère</sup> division méiotique



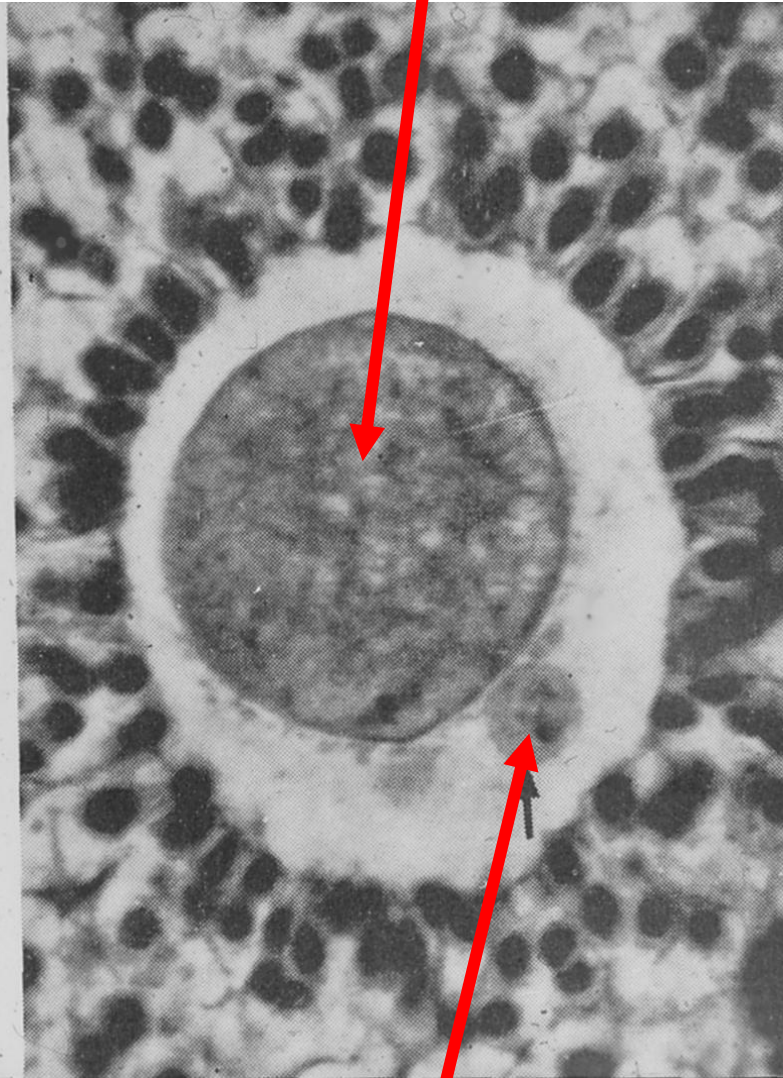
L'ovocyte II s'engage dans la 2<sup>ème</sup> division méiotique et s'arrête en métaphase

Ovocyte I



Métaphase de la 1<sup>ère</sup> division méiotique

Ovocyte II



1<sup>er</sup> globule polaire

# Ovulation

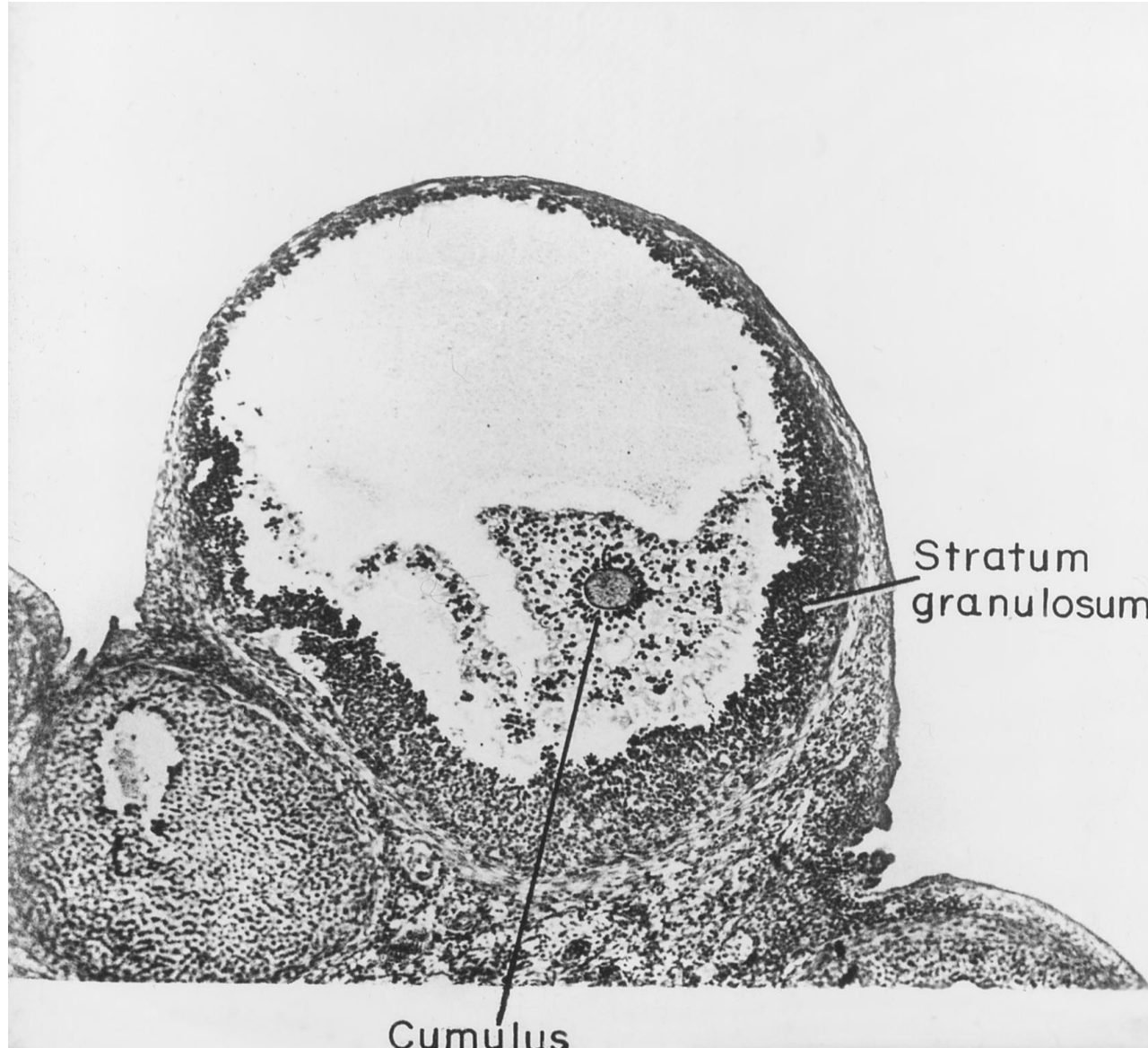
Rupture de la paroi du follicule:

- action d'enzymes protéolytiques.
- sous l'influence de FSH et LH.

Libération de l'ovule (ovocyte II) et des structures qui l'entourent (zone pellucide et cellules folliculaires formant la corona radiata).  
Captés par une des trompes.

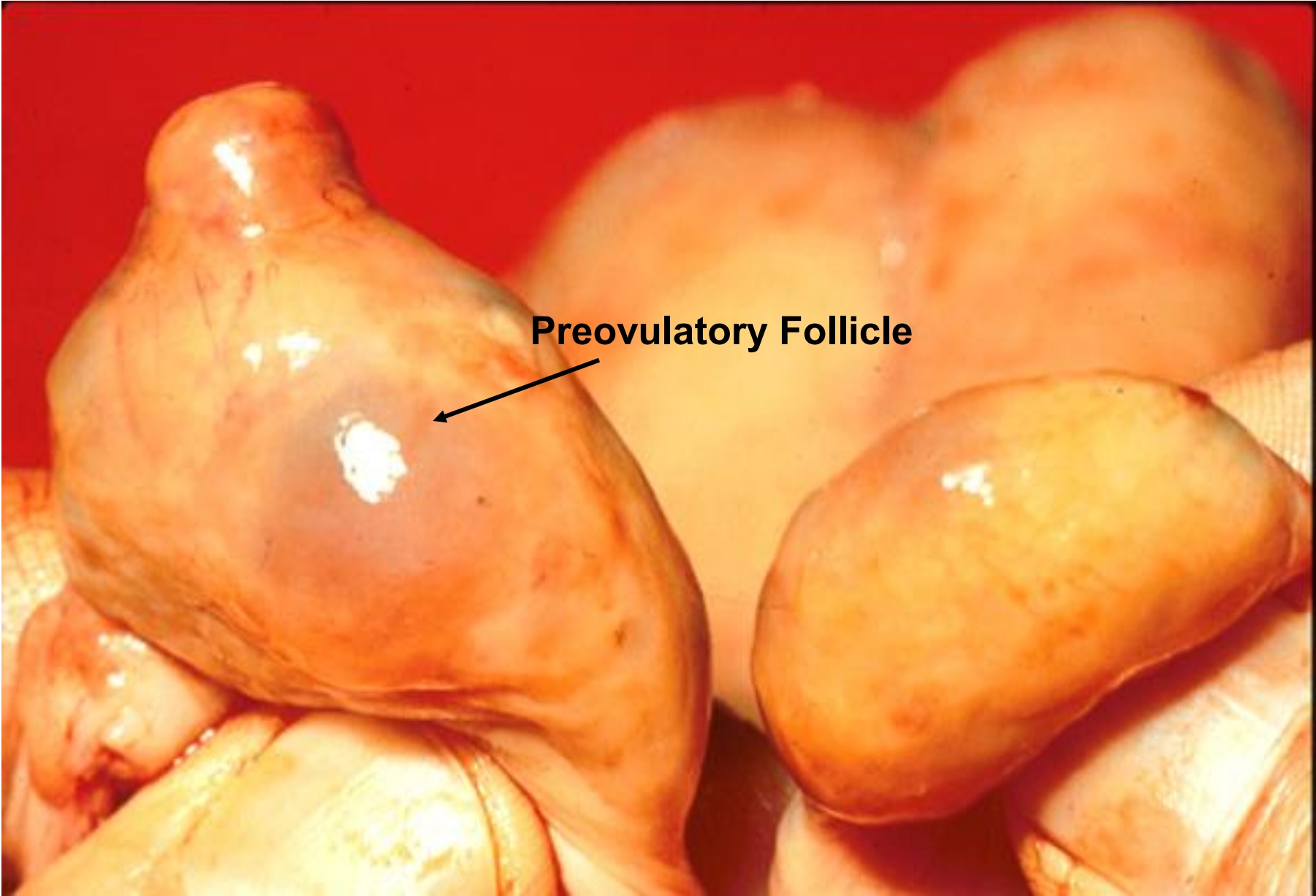
Follicule rupturé: différenciation en corps jaune.  
(cellules folliculaires produisent progestérone sous l'influence de LH)

(NB: oestrogènes pendant la 1ère phase du cycle,  
estrogènes et progestérone pendant la 2ème phase:  
développement et sécrétion des glandes de l'endomètre utérin).

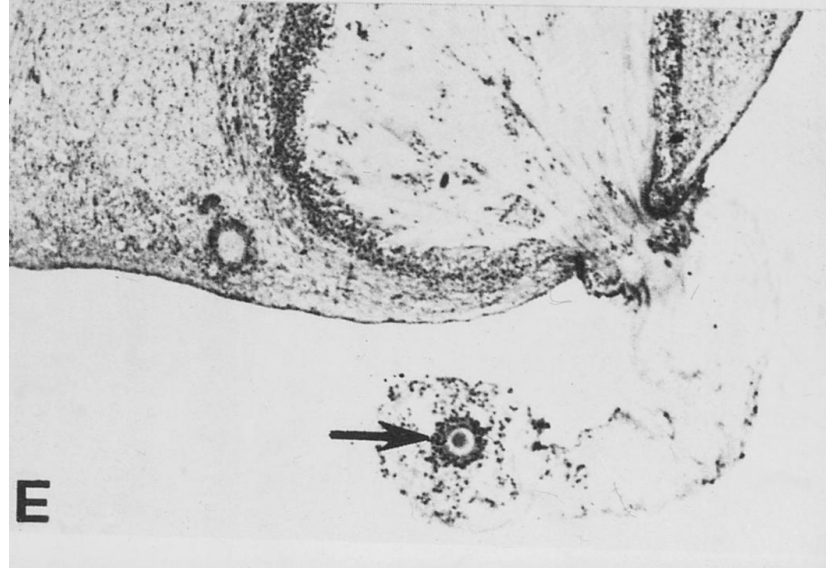
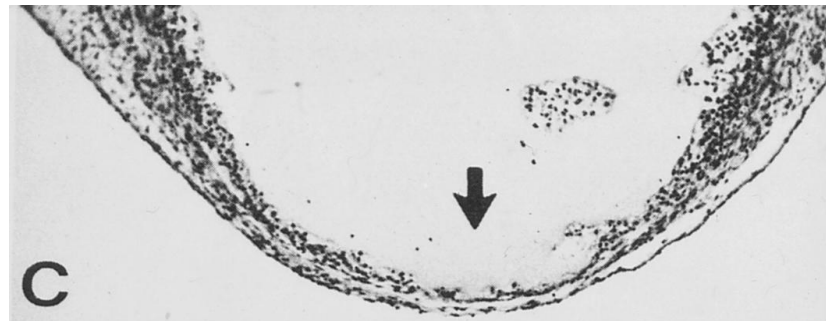


Stratum  
granulosum

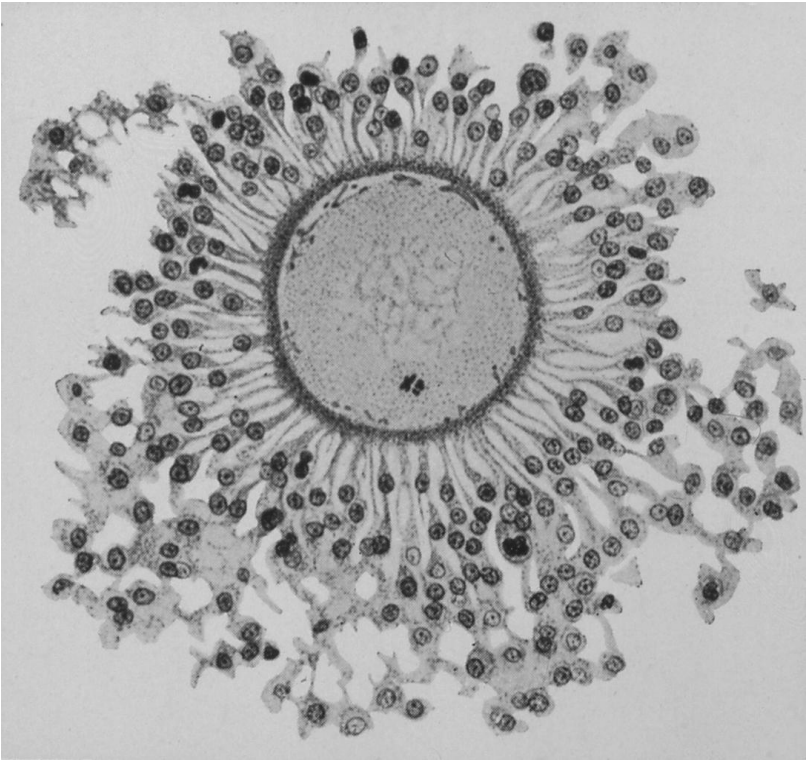
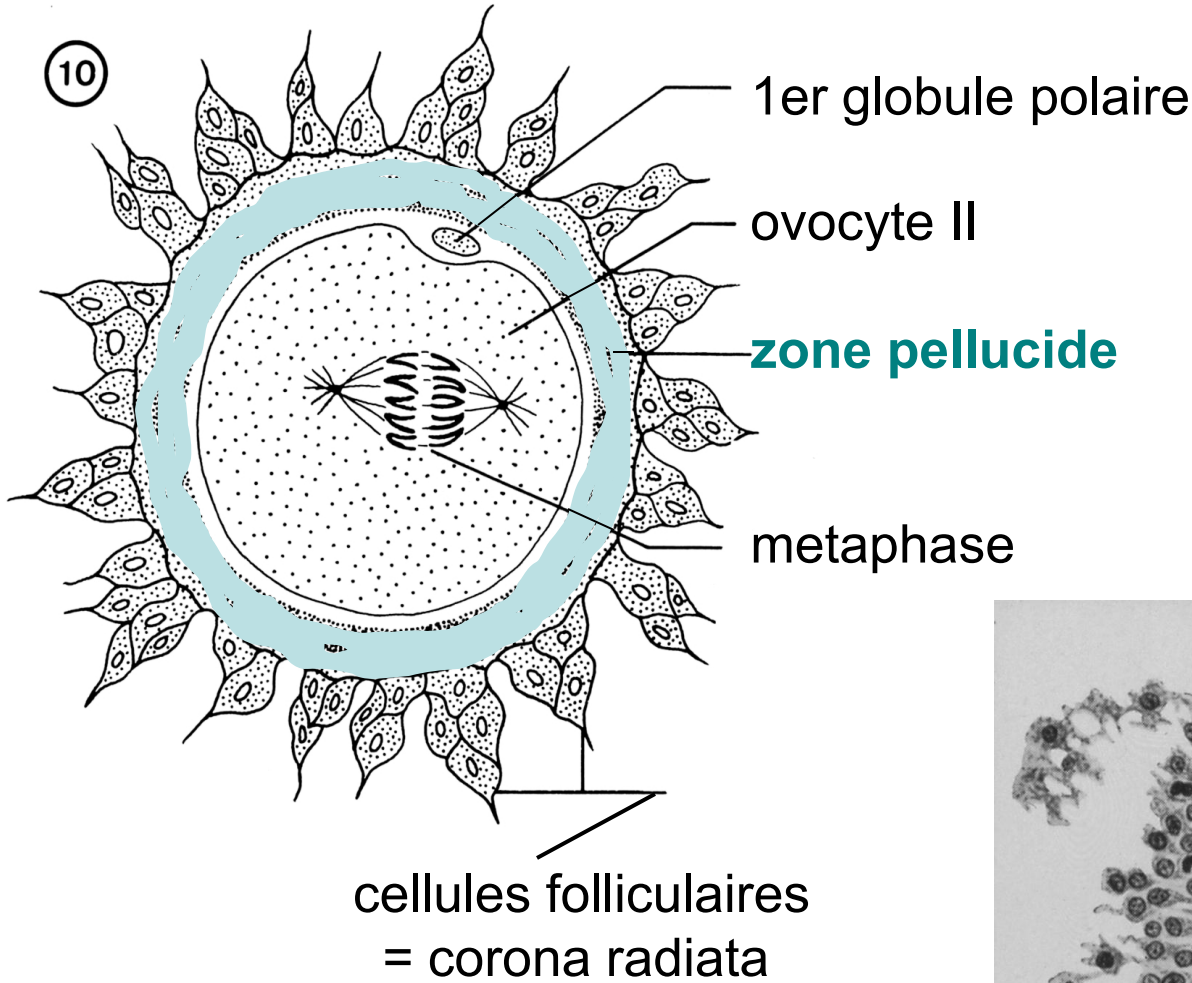
Cumulus

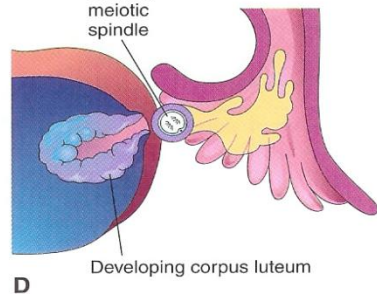
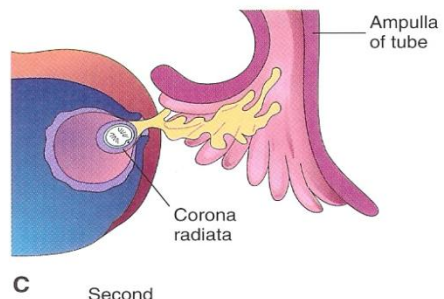
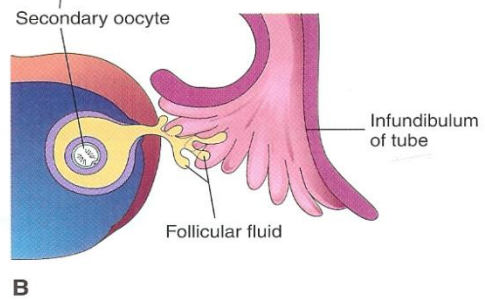
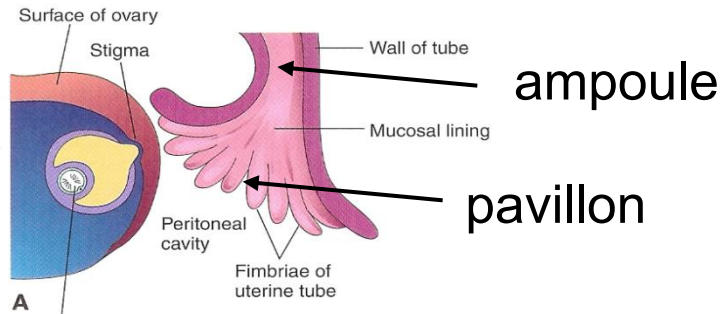


**Preovulatory Follicle**

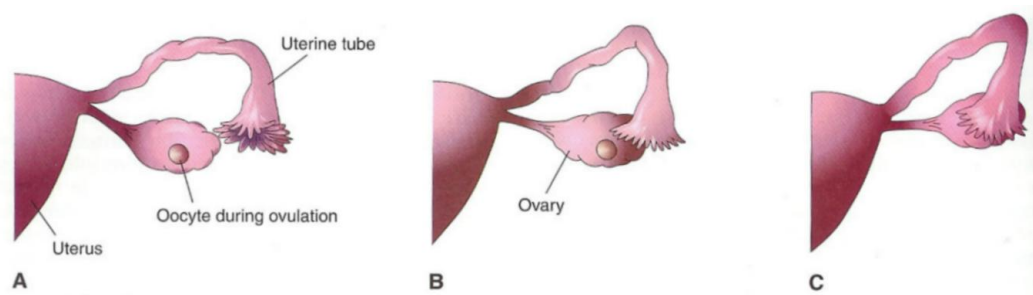


# OVULE

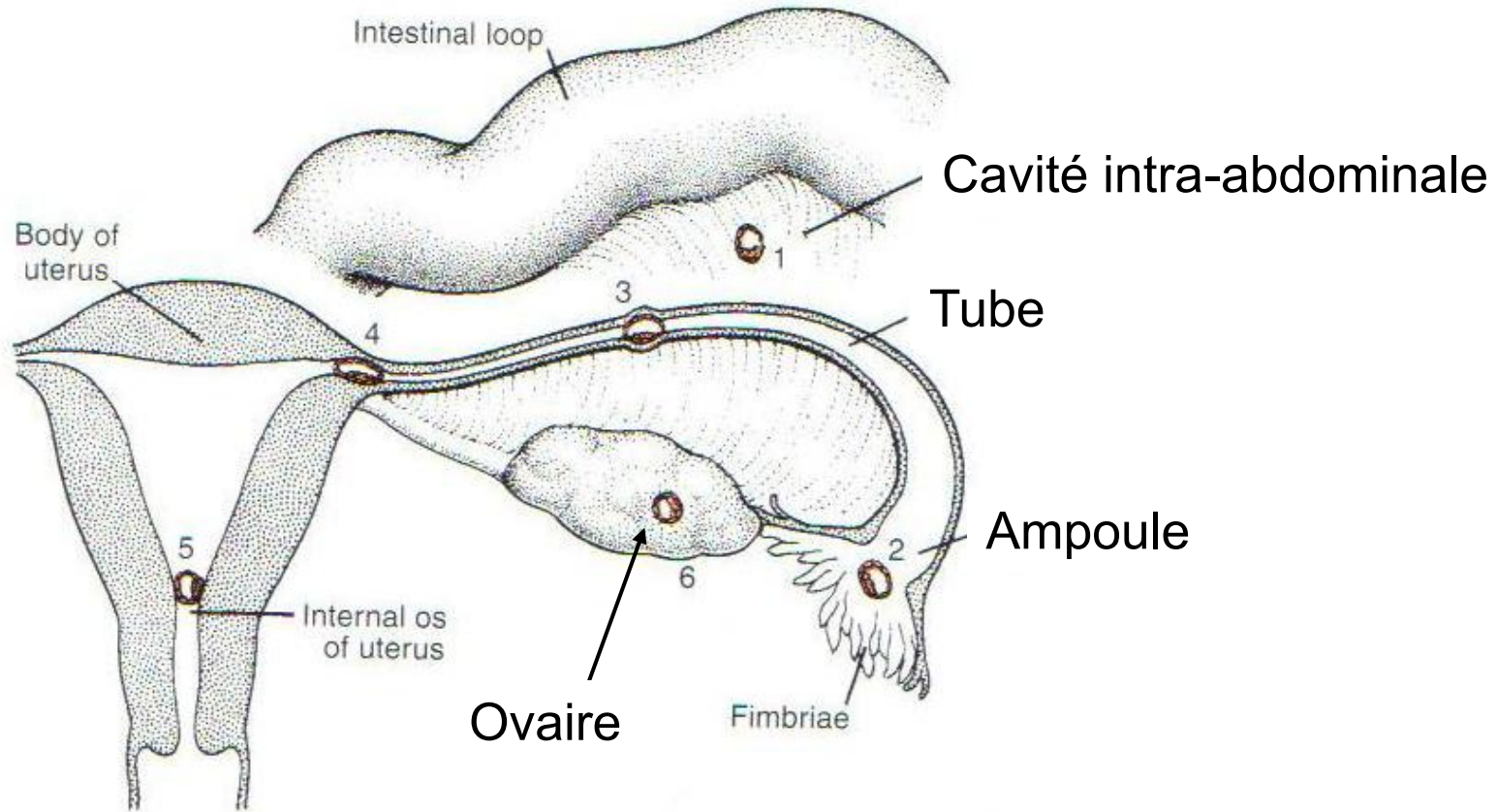




# Ovulation

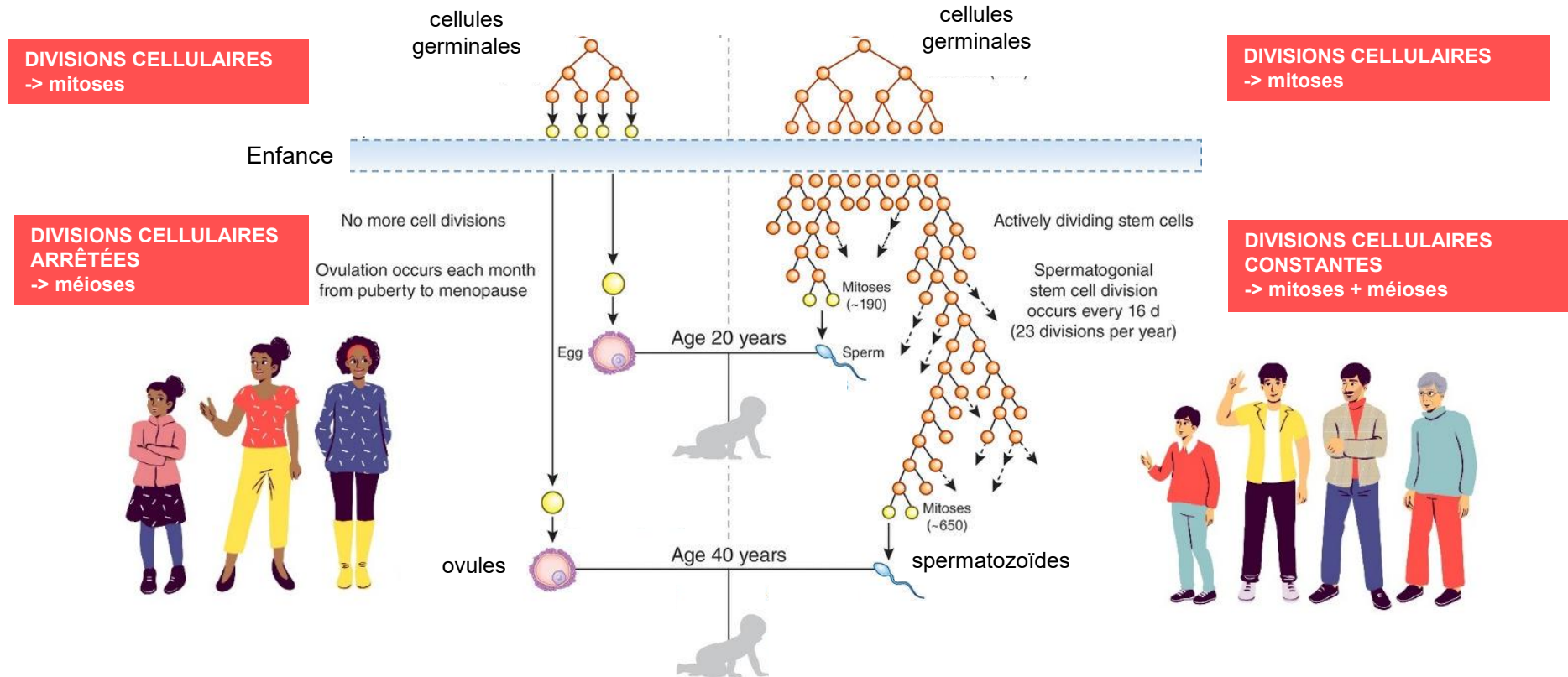


# Implantations extra-utérines



# Ovogénèse versus spermatogénèse

Voir cours de Christelle Borel



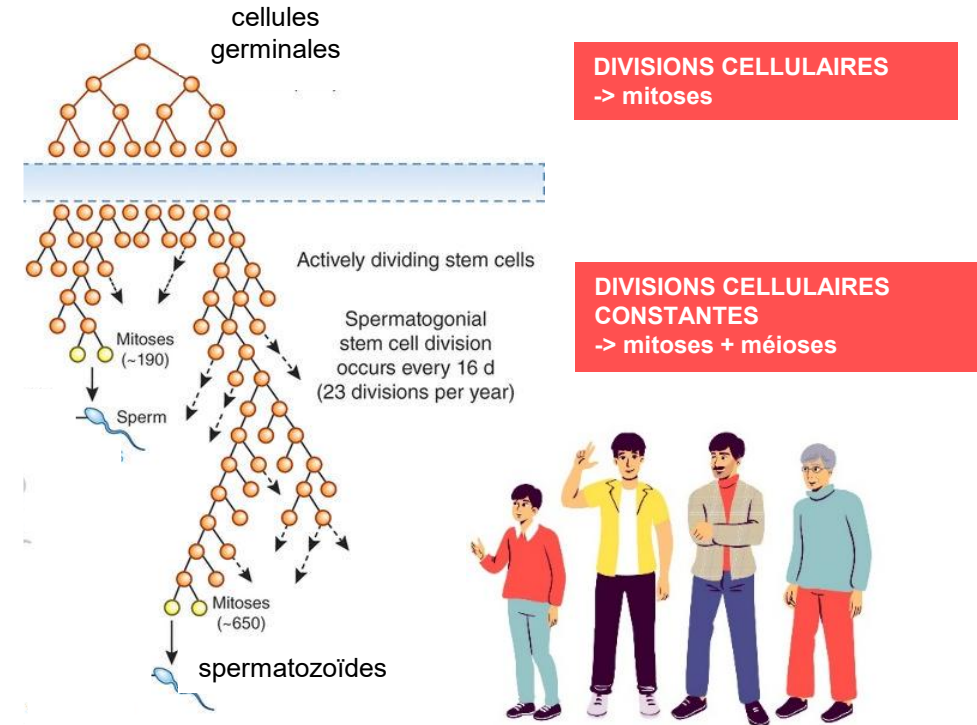
- 1 ovulation mensuelle
- Ovocytes arrêtés en méiose I pendant plusieurs décennies
- Absence de divisions mitotiques

- Spermatogénèse constante
- Millions de spermatozoïdes produit chaque jours
- Divisions mitotiques et méiotiques constantes

# Age et spermatogénèse

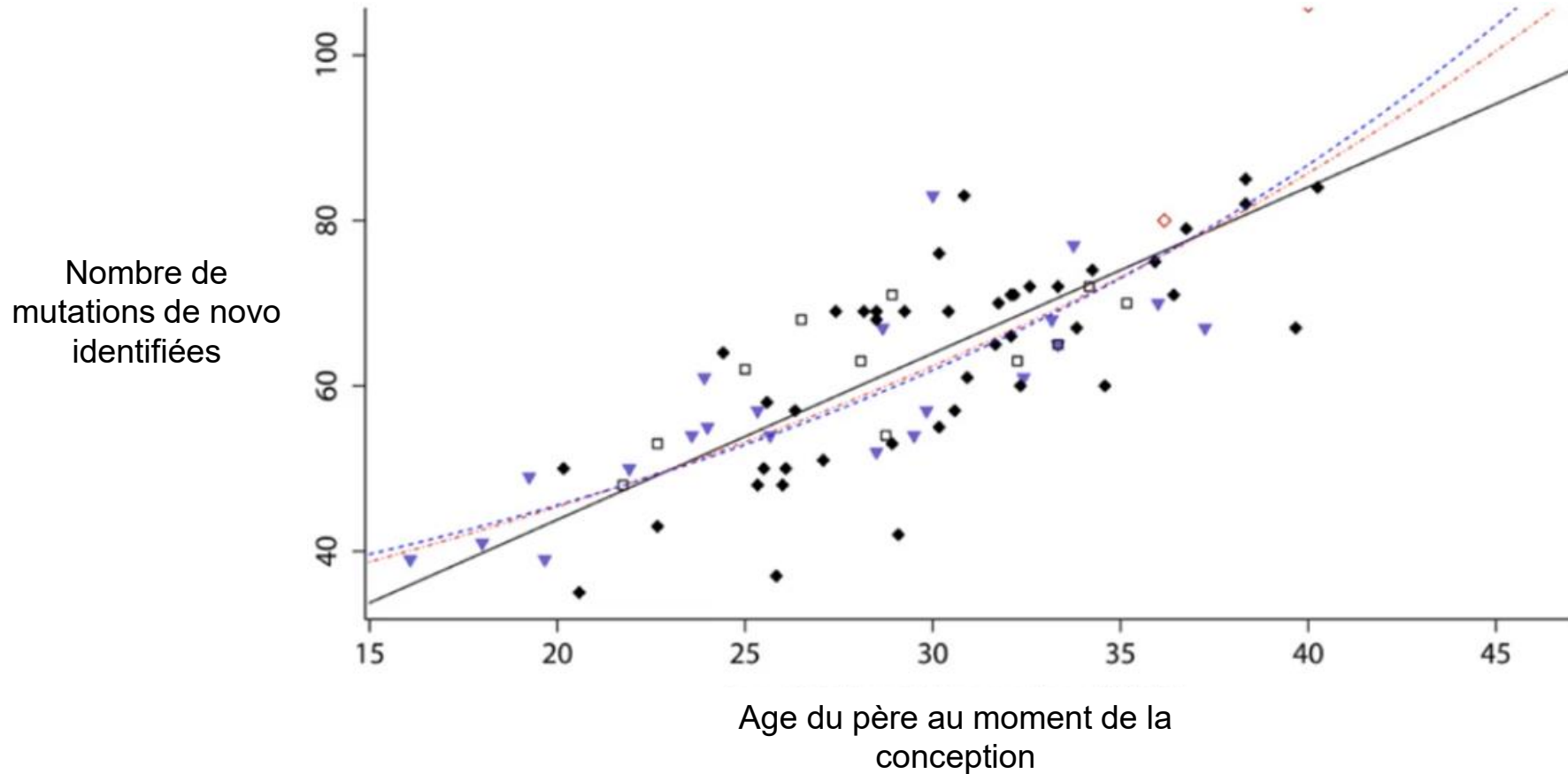
Voir cours de Christelle Borel

- **Augmentation des mutations de novo (SNV) dans les spermatozoïdes d'hommes âgés**
- Pourquoi? Parce que la fréquence d'apparition d'un variant *de novo* est corrélée au nombre de mitoses durant la gamétogénèse
- $\frac{3}{4}$  des variants SNV *de novo* retrouvés chez les enfants sont d'origine paternelle
- L'âge du père lors de la conception influence donc le nombre de variants *de novo* du génome de l'enfant
- ~70-100 variants *de novo*/individu



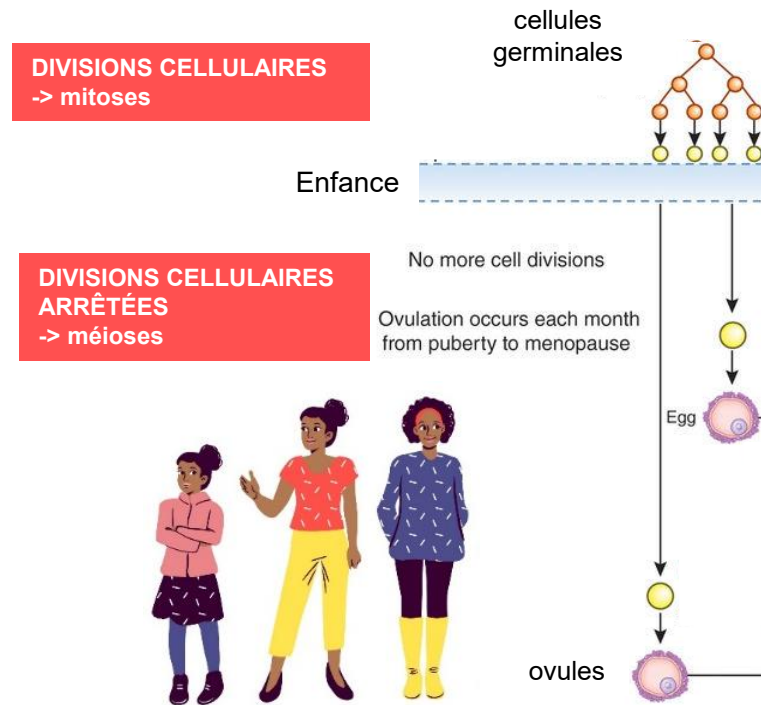
- Spermatogénèse constante
- Millions de spermatozoïdes produit chaque jours
- Divisions mitotiques et méiotiques constantes

# Augmentation du nombre de mutations de novo avec l'âge du père au moment de la conception



# Age et aneuploïdie

Voir cours de Christelle Borel

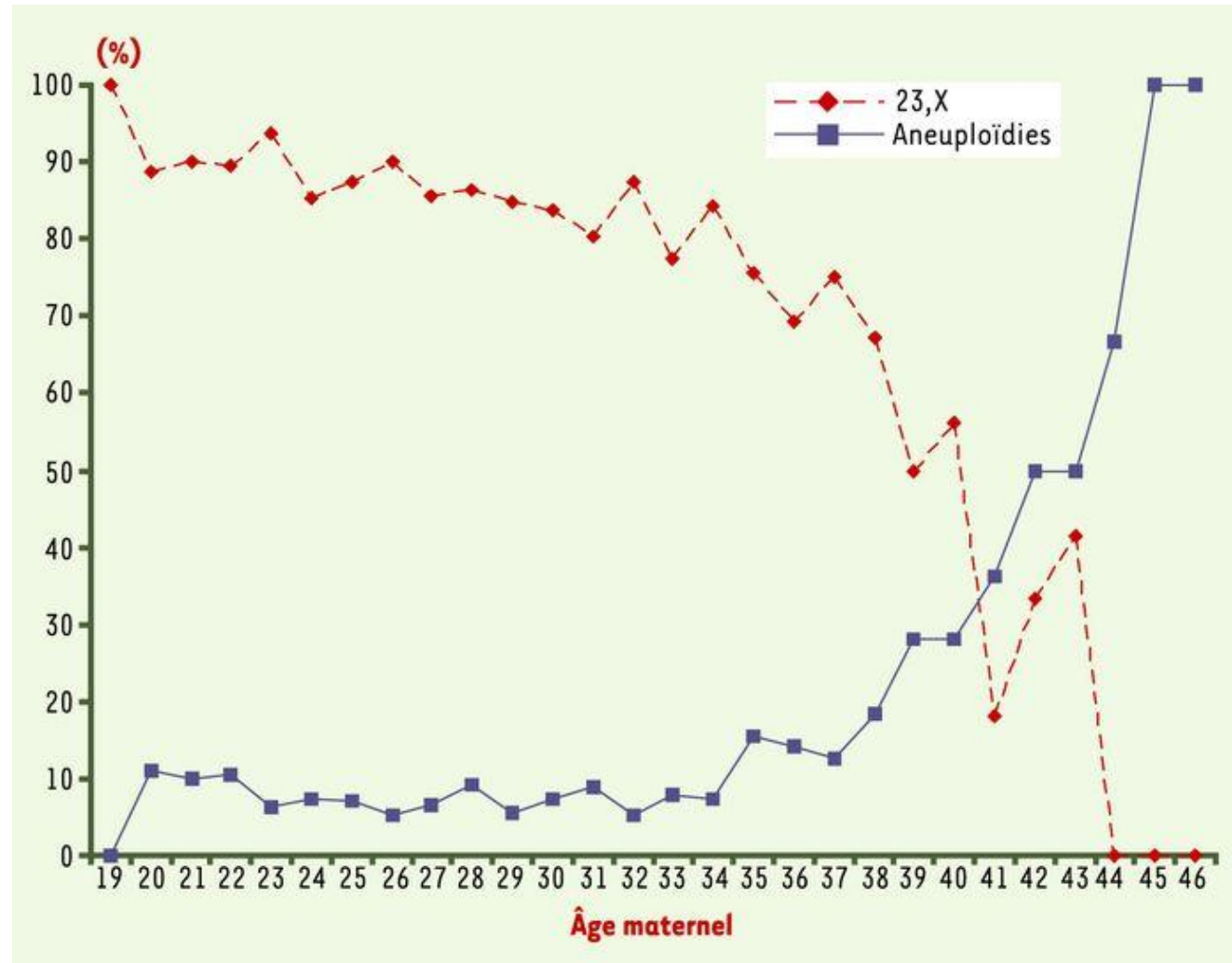


- 1 ovulation mensuelle
- Ovocytes arrêtés en méiose I pendant plusieurs décennies
- Absence de divisions mitotiques

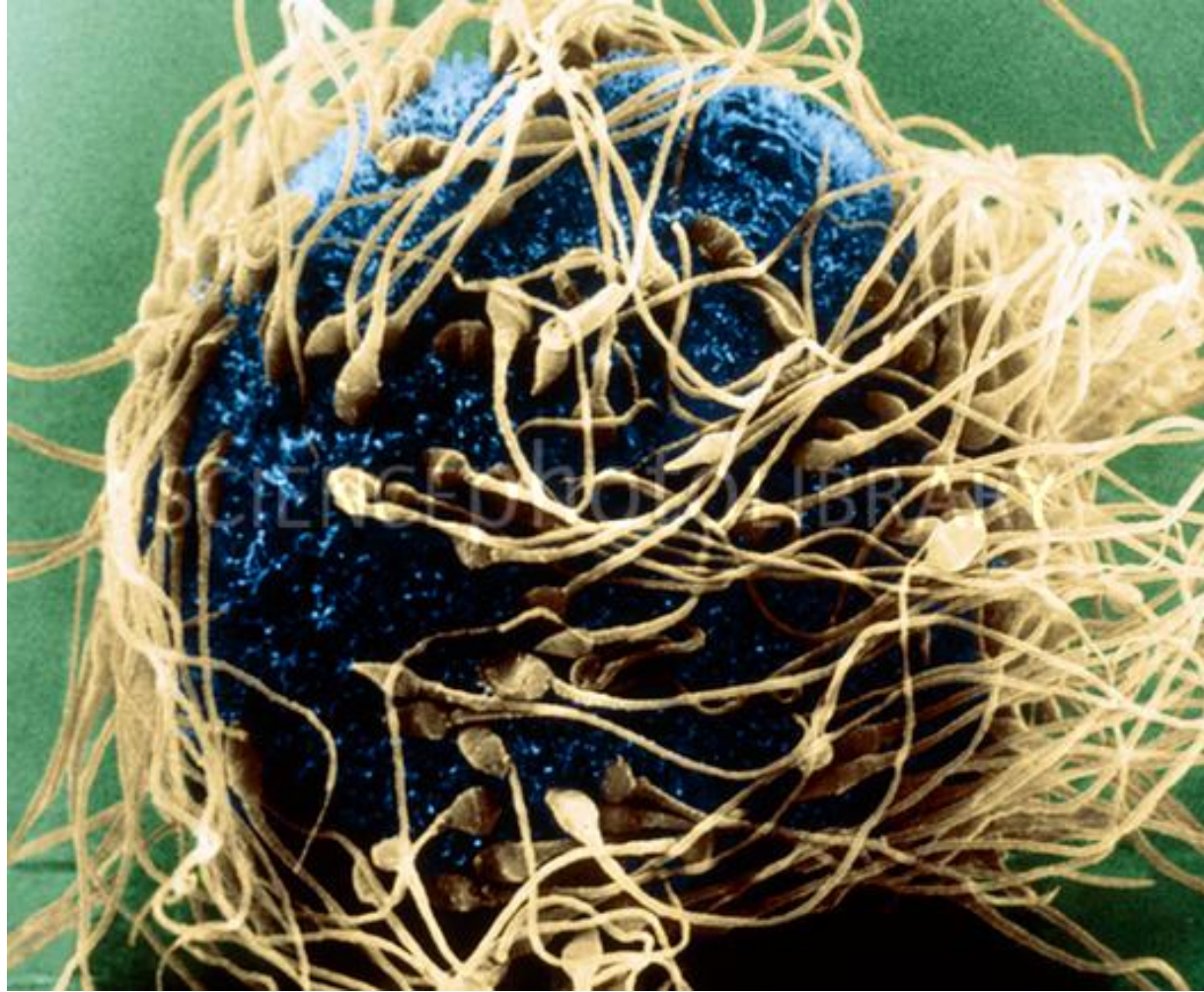
- **Augmentation des aneuploïdies avec l'âge maternel**
- Les non-disjonctions dépendantes de l'âge maternel intéressent l'ensemble des chromosomes (autosomes et gonosomes).
- Trisomies viables pour les chromosomes 13, 18, 21, et la trisomie des chromosomes sexuels.
- Trisomie 21: incidence 1/1'500 à 20 ans, 1/900 à 30 ans et 1/100 à 40 ans
- Causé principalement par une erreur de ségrégation survenue *de novo* lors de la première division méiotique.

Forte corrélation entre l'âge maternel et les erreurs de ségrégation méiotique donne lieu à une augmentation significative du taux d'aneuploïdies à partir de 36 ans.

fréquence des  
caryotypes  
ovocytaires  
normaux (23, X)  
et de la fréquence  
globale  
d'aneuploïdies.

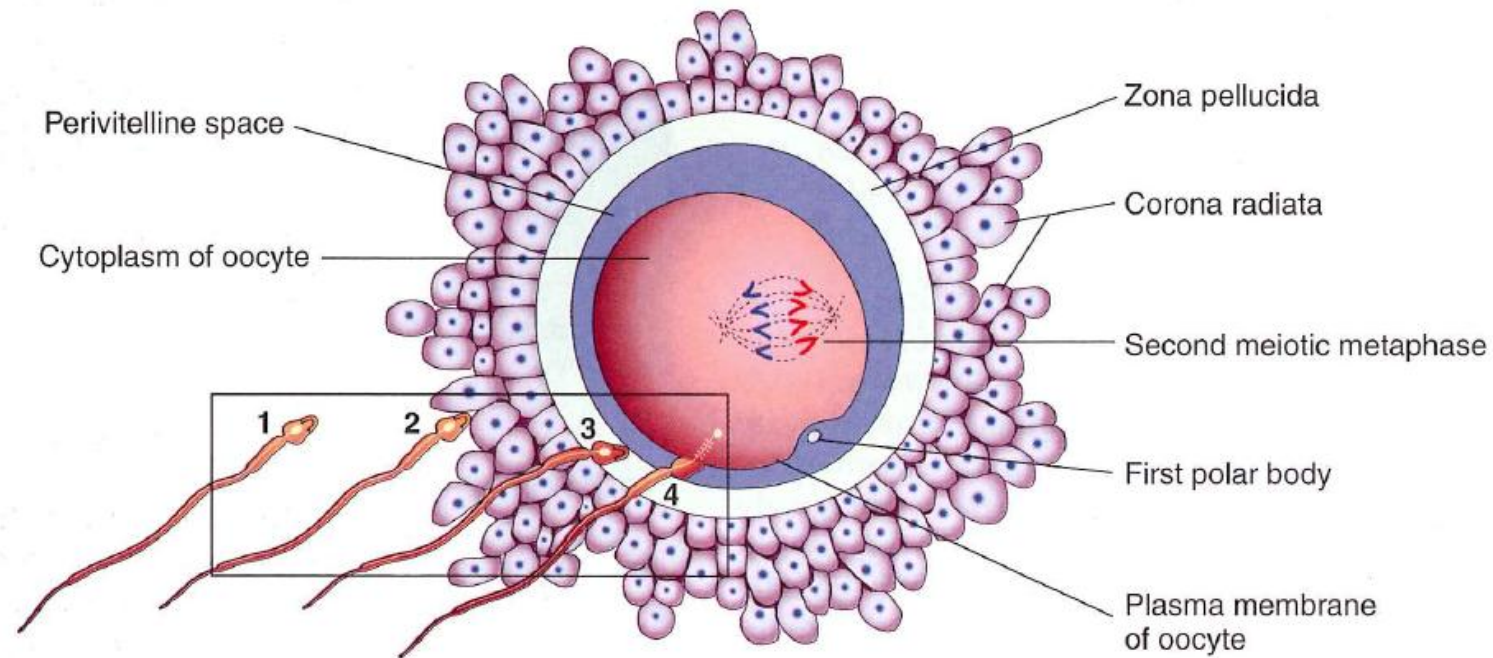


## II. Fécondation



Pour une fécondation, les spermatozoïdes doivent:

- Être localisés dans la trompe de Fallope et être hyperactivés
- se frayer un chemin à travers la corona radiata
- Traverser la zona pellucida
- Fusionner avec l'ovocyte et induire l'activation de l'ovocyte

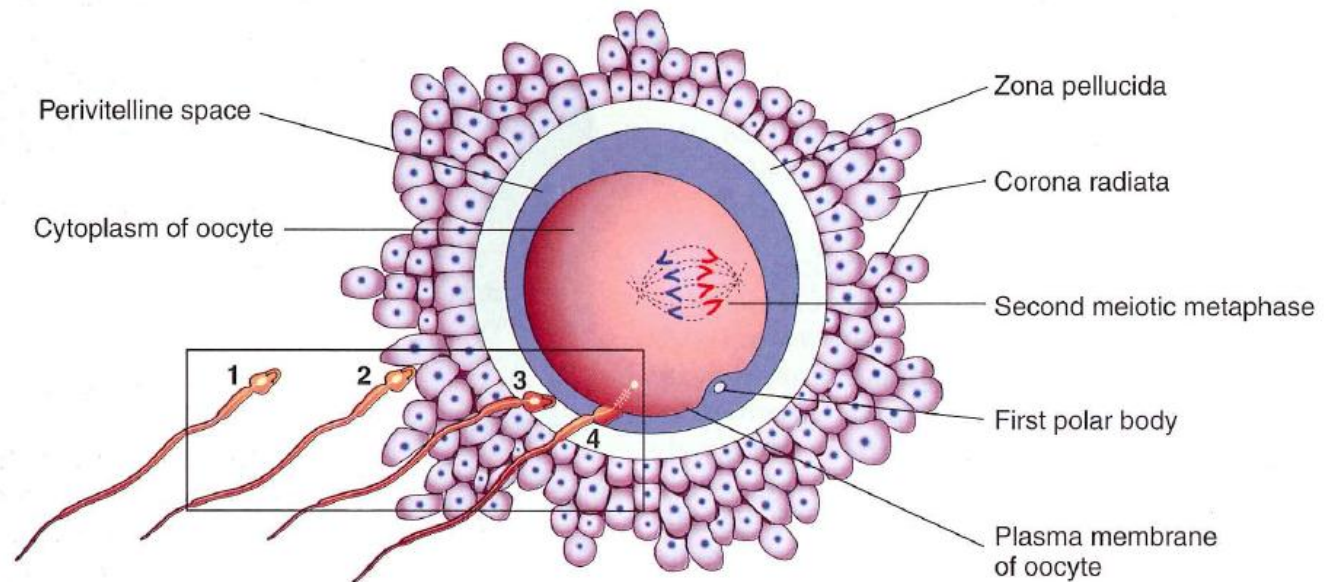
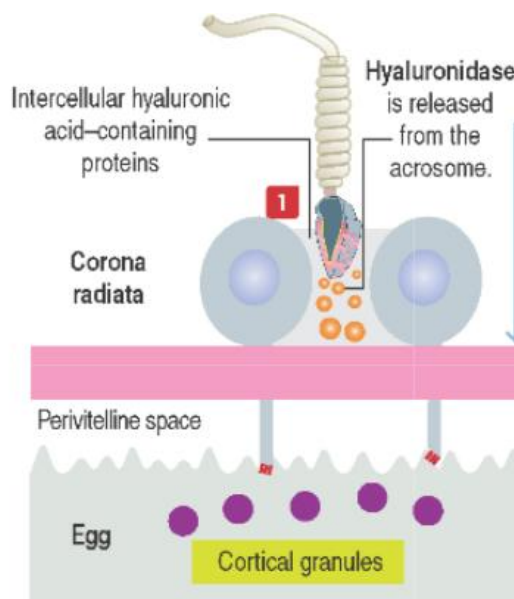


## A. Passage du sperme au travers de la corona radiata

-les cellules de la granulosa sont enrobés dans une matrice extracellulaire composée principalement de protéines associées à de l'acide hyaluronique

-Les spermatozoïdes se frayent un chemin à travers la corona radiata grâce à:

- la présence de hyaluronidases à leur surface
- force mécanique (sperm. hyperactifs)
- chemotaxis (progestérone)

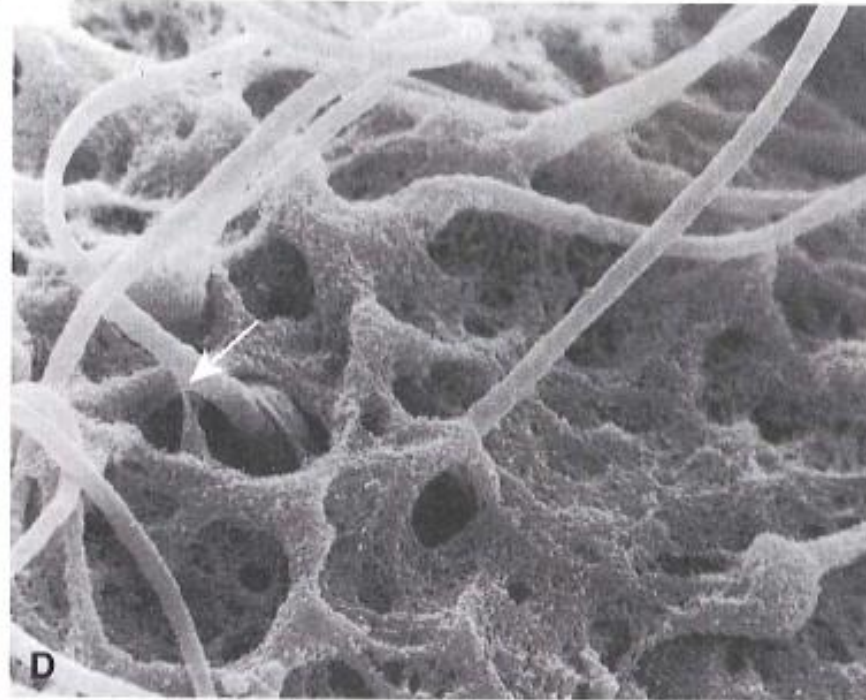
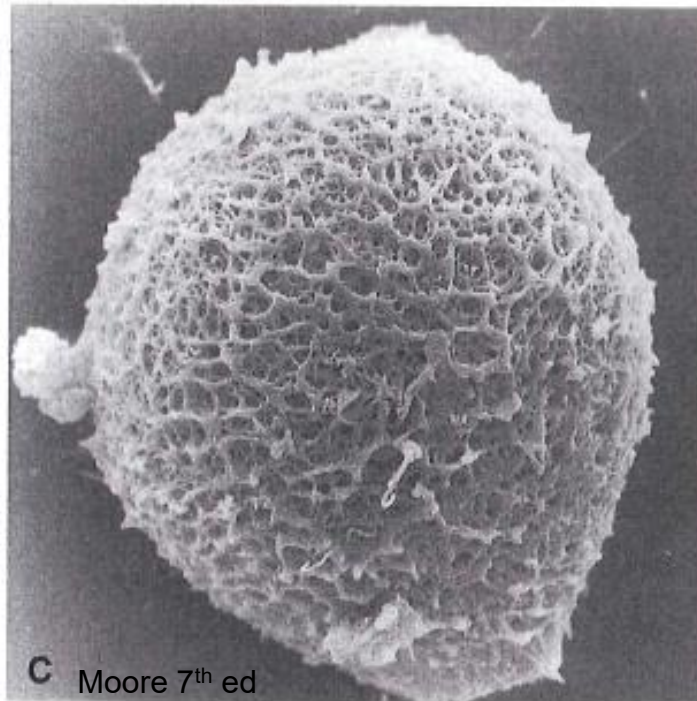


## B. Pénétration de la zone pellucide

La **zone pellucide** est composée des glycoprotéines **ZP1, ZP2 et ZP3**, qui forment un **maillage dense** entourant l'ovocyte.

La **glycoprotéine ZP3** joue un rôle clé dans la **liaison spécifique des spermatozoïdes** à la zone pellucide.

Le contact du spermatozoïde avec la zone pellucide induit la **réaction acrosomique**. La libération des enzymes contenues dans l'acrosome (notamment acrosine, estérases et neuraminidase) permet la **digestion locale de la zone pellucide** et le **passage du spermatozoïde**.

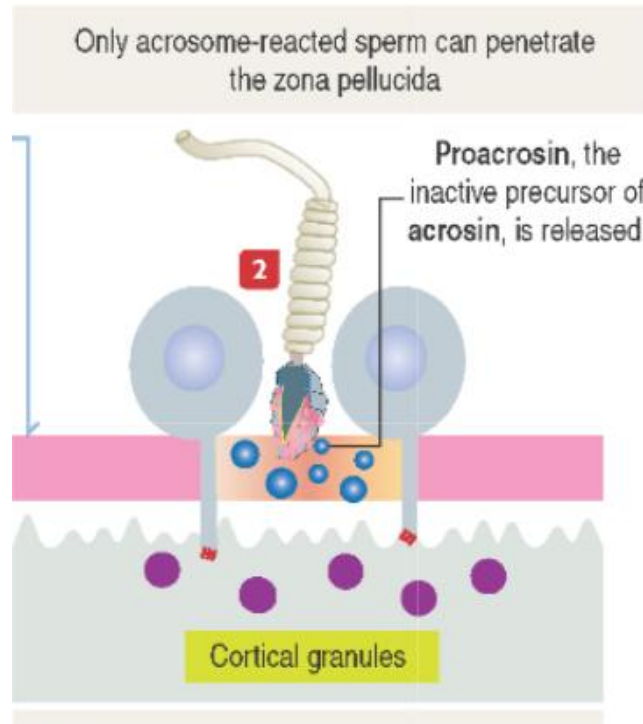


## B. Pénétration de la zone pellucide

La **zone pellucide** est composée des glycoprotéines **ZP1, ZP2 et ZP3**, qui forment un **maillage dense** entourant l'ovocyte.

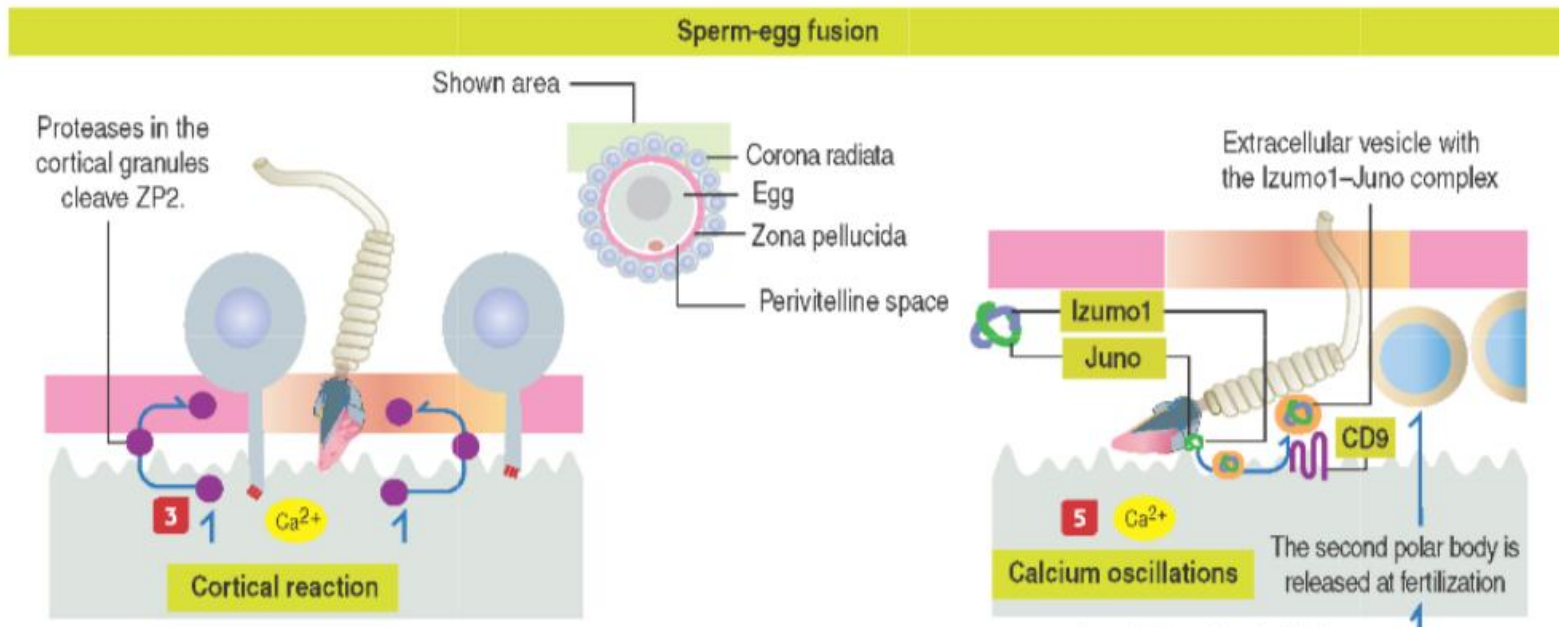
La **glycoprotéine ZP3** joue un rôle clé dans la **liaison spécifique des spermatozoïdes** à la zone pellucide.

Le contact du spermatozoïde avec la zone pellucide induit la **réaction acrosomique**. La libération des enzymes contenues dans l'acrosome (notamment acrosine, estérases et neuraminidase) permet la **digestion locale de la zone pellucide** et le **passage du spermatozoïde**.



## C. Fécondation (fusion spermatozoïde-ovocyte)

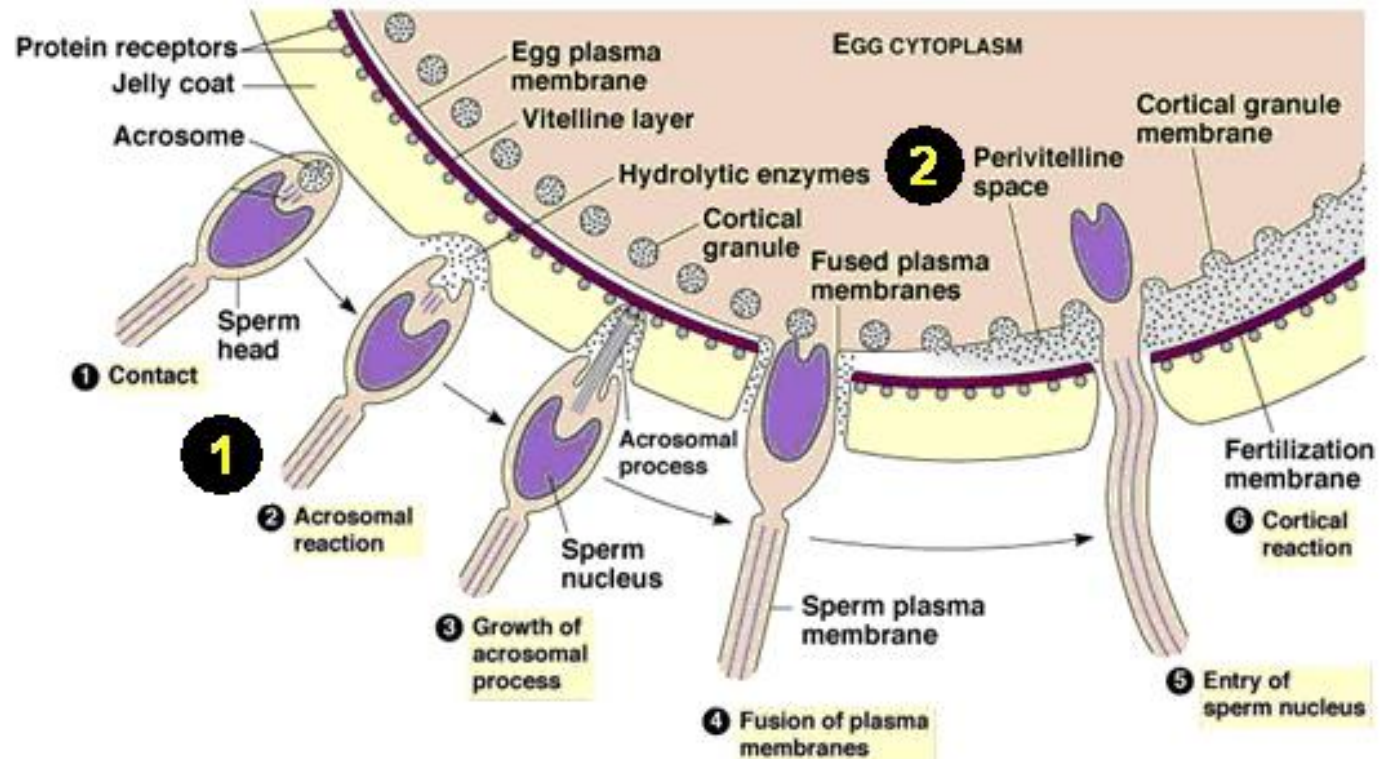
- Après la traversée de la zone pellucide, le spermatozoïde atteint l'**espace péri-vitellin**, où se produit la **fusion entre les membranes du spermatozoïde et de l'ovocyte**.
- Cette fusion repose sur des protéines spécifiques : **Izumo1** exprimée à la surface du spermatozoïde, et **Juno** ainsi que **CD9** présentes sur la membrane ovocytaire.
- la fusion sperme-oeuf induit l'**activation de l'ovocyte**:
  - Oscillations de  $\text{Ca}^{2+}$  intracellulaire
  - **Réaction corticale**: exocytose des granules corticaux
  - **Levée de l'arrêt méiotique** de l'ovocyte.



## C. Réaction corticale et polyspermie

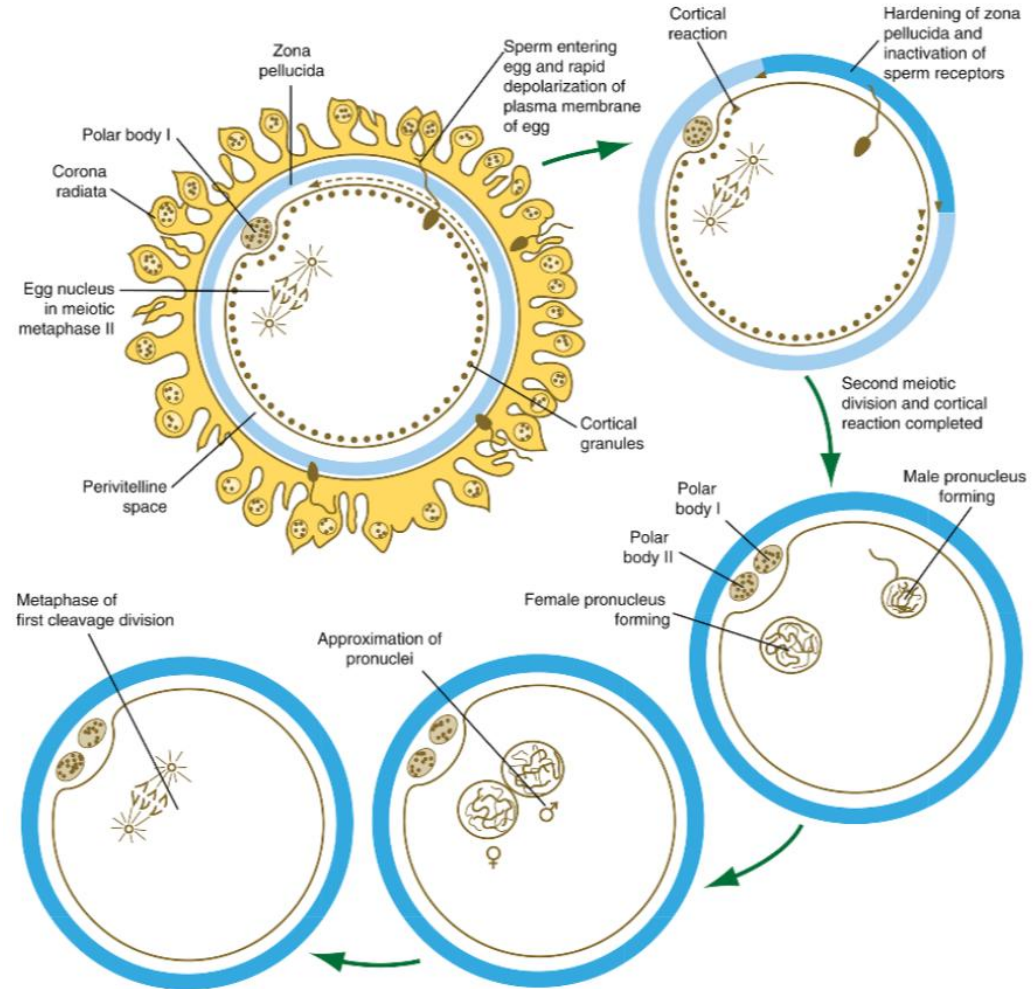
Plusieurs spermatozoïdes pénètrent la corona radiata et la ZP mais un seul fusionnera avec l'ovocyte. La fusion du spermatozoïde à la membrane de l'ovule déclenche la **réaction corticale**. La libération du contenu des **granules corticaux** dans l'espace peri-vitellin (glycosidases et protéases) empêche la polyspermie par:

- **modification de la zone pellucide**, avec transformation des glycoprotéines (ZP3f, ZP2f), empêchant la fixation de nouveaux spermatozoïdes.
- **Modification de la membrane plasmique ovocytaire**, qui devient imperméable à la fusion avec d'autres spermatozoïdes



## D. Fécondation et formation du zygote

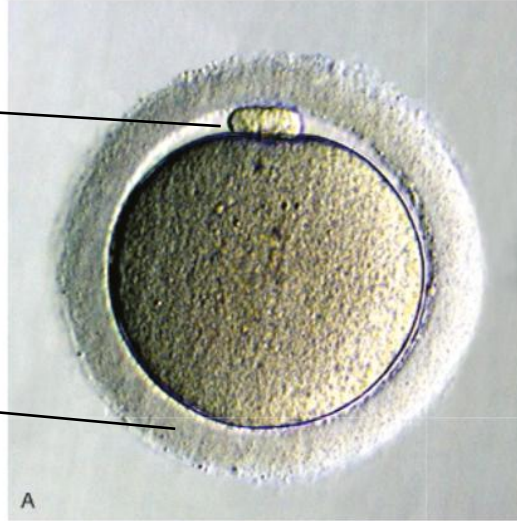
- Fusion des membranes plasmiques du spermatozoïde et de l'ovocyte
- La tête et le flagelle pénètrent dans l'ovocyte, ce qui déclenche la **réaction corticale**
- L'ovocyte achève alors la **deuxième division méiotique**, avec formation du pronoyau femelle et expulsion du deuxième globule polaire.
- Le noyau du spermatozoïde se transforme en **pronoyau mâle**, caractérisé par la dégénérescence du flagelle et la décondensation de l'ADN.
- Enfin, la **fusion des deux pronoyaux** (syngamie) aboutit à la **formation du zygote**.



## D. Fécondation et formation du zygote

1 corps polaire

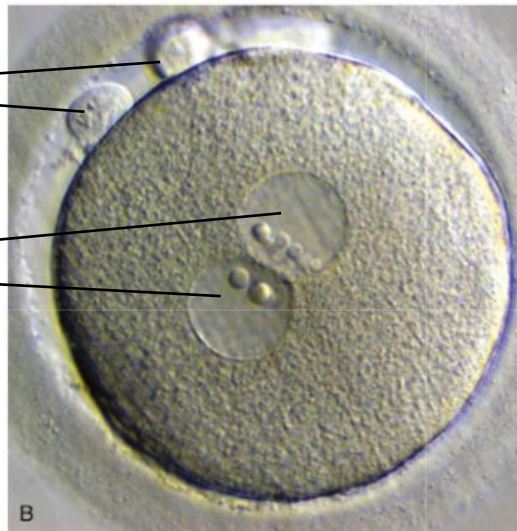
zone pellucide



ovocyte humain mature  
arrêté en métaphase II

2 corps polaires

2 pro-noyaux



ovocyte humain  
nouvellement fécondé