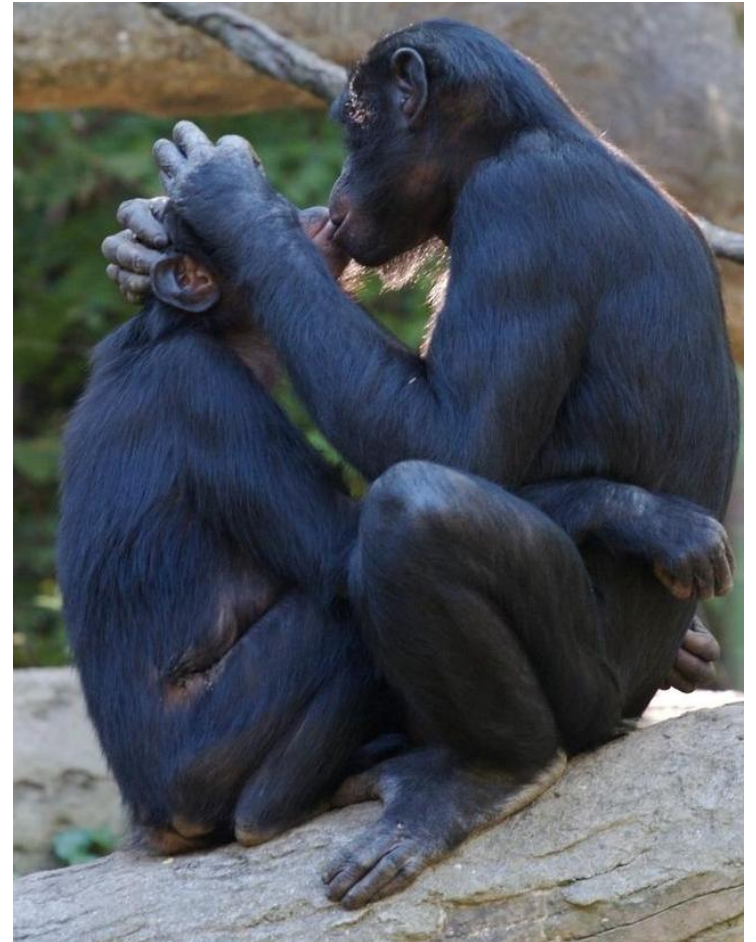
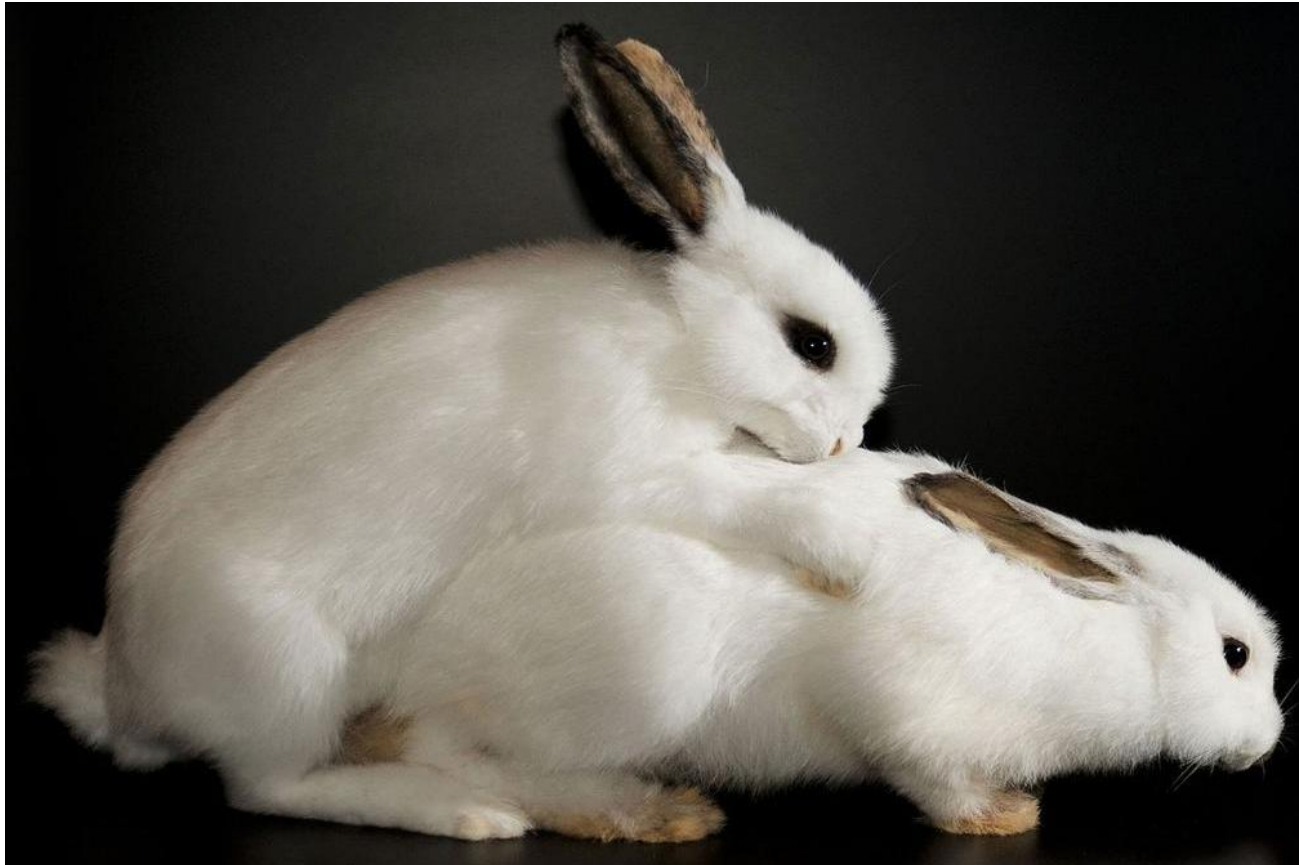


# Séance 5

# SV-G La reproduction des embryophytes et des animaux

## SV-G-3. La reproduction sexuée chez les mammifères



### 3.1. Rappel sup : comportement reproducteur et fécondation interne

Parades nuptiales : choix du partenaire



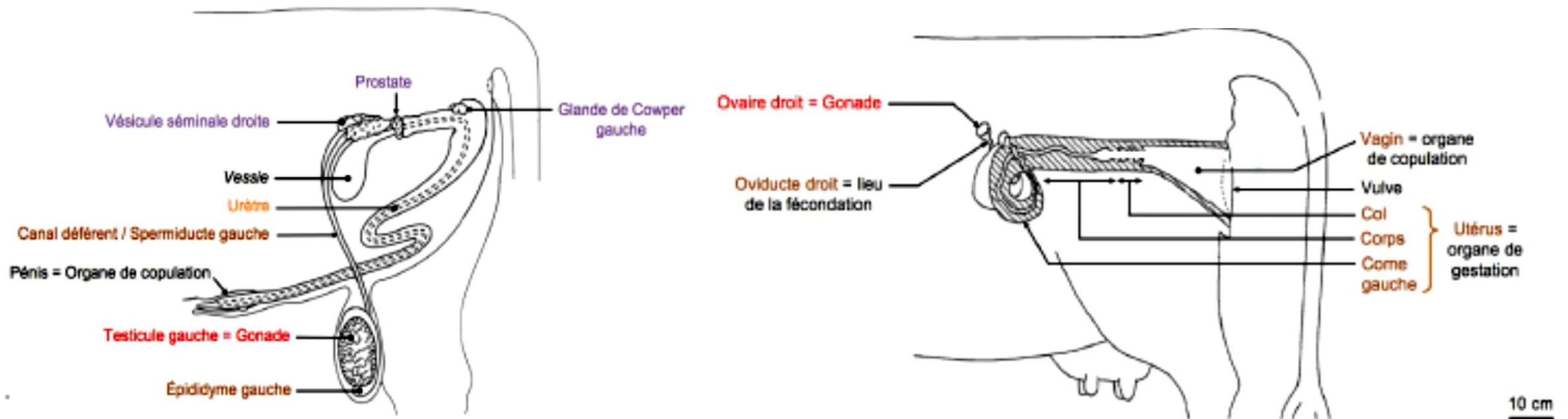
# Parades nuptiales : choix du partenaire

Lien avec SV-K : sélection sexuelle



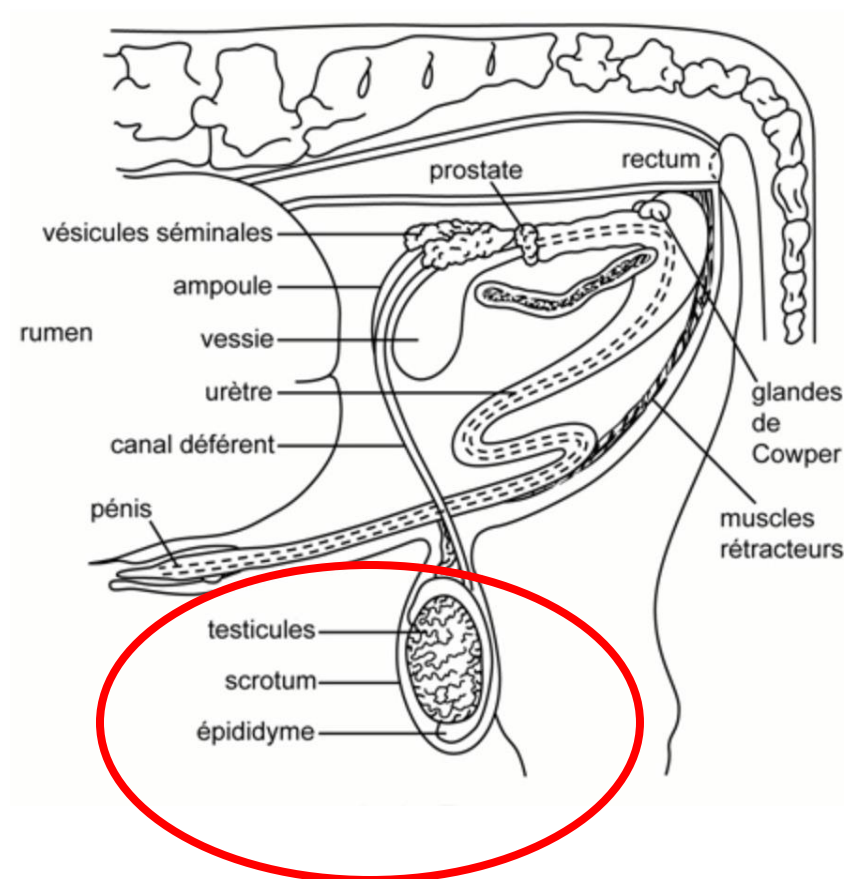
# 3.1. Rappel sup : comportement reproducteur et fécondation interne

Revoir cours Vache

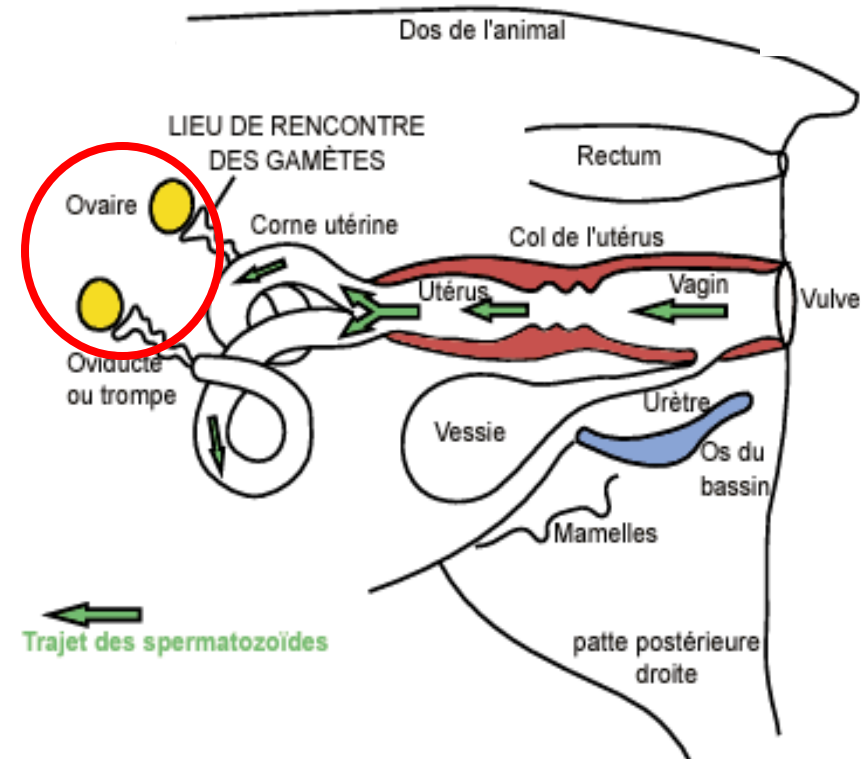


A partir de la maturité sexuelle, une production de gamètes  
par méiose au sein des gonades

Mâle

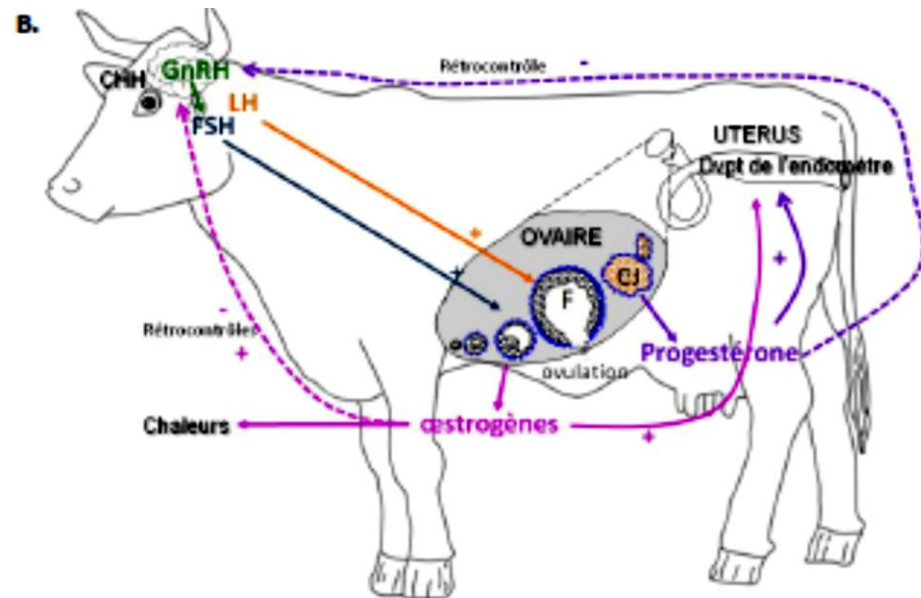


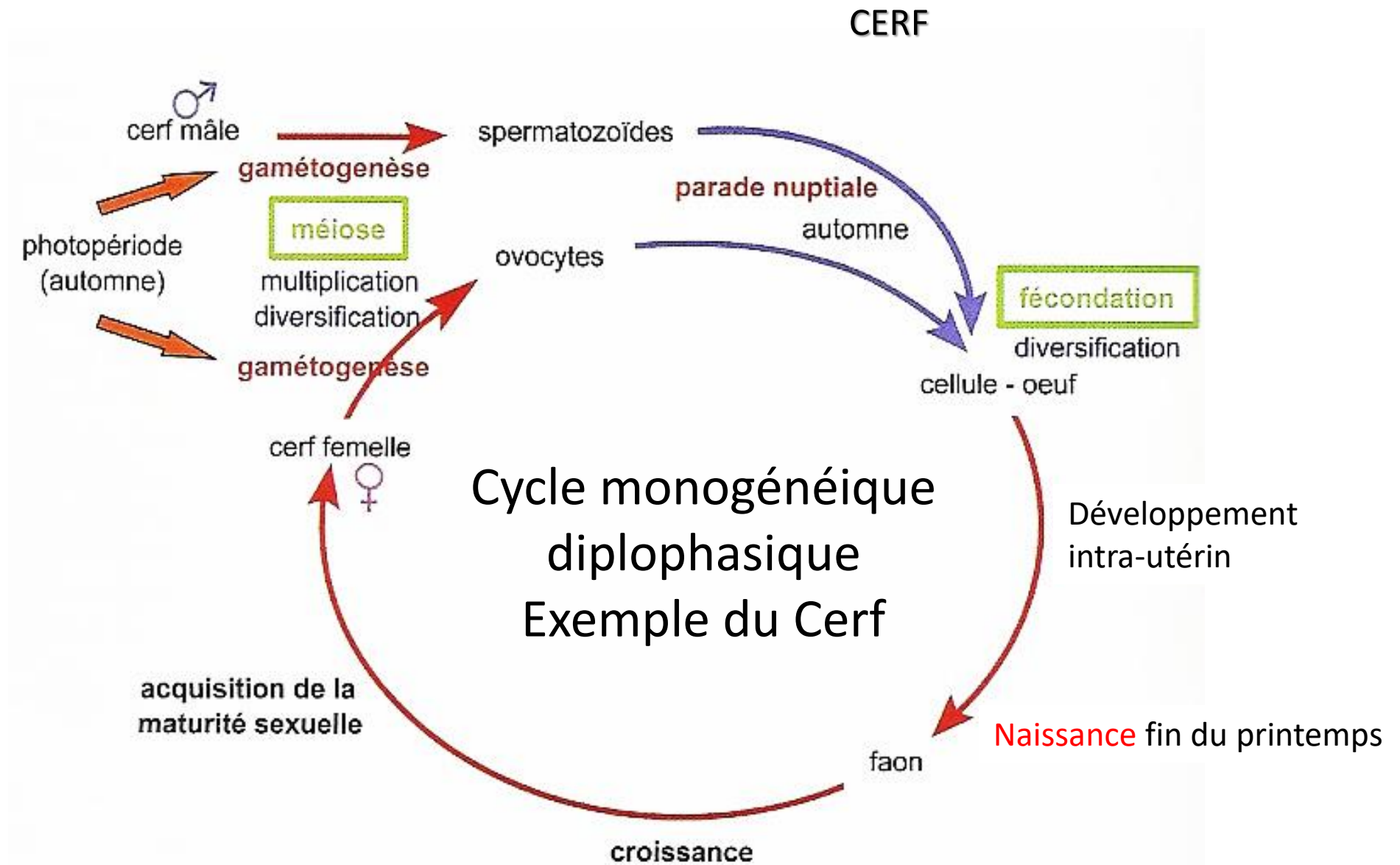
Femelle



# Majorité de mammifères : cycles à ovulation provoquée

Importance des hormones ovariennes (Œstrogène, progestérone) et hypophysaires (FSH, LH) dans le contrôle de l'ovulation.





**Raccourcissement photopériode**  
⇒ ↑ taux d'hormones sexuelles  
⇒ période de rut

**Spermatozoïde**  
= gamète ♂ n

**MEIOSE**  
*Brassage génétique*

Gaméto-génèse dans les testicules

**Parade nuptiale et accouplement**  
(Sep-oct)

**Ovotide**  
= gamète ♀ n (émis au stade ovocyte II)

**MEIOSE**  
*Brassage génétique*

Gaméto-génèse dans les ovaires

**FECUNDATION**  
*Brassage génétique*

**ZYGOTE** 2n

Mitose

**EMBRYON** 2n

**FCETUS** 2n

Naissance (Mai-juin)

**JEUNE faon** 2n

**Adulte ♂ 2n (cerf)**  
(maturité sexuelle vers 2 ans)

**Adulte ♀ 2n (biche)**

*croissance*

*sexualisation*

*Mitoses + ≠ ciation*

— — — — —

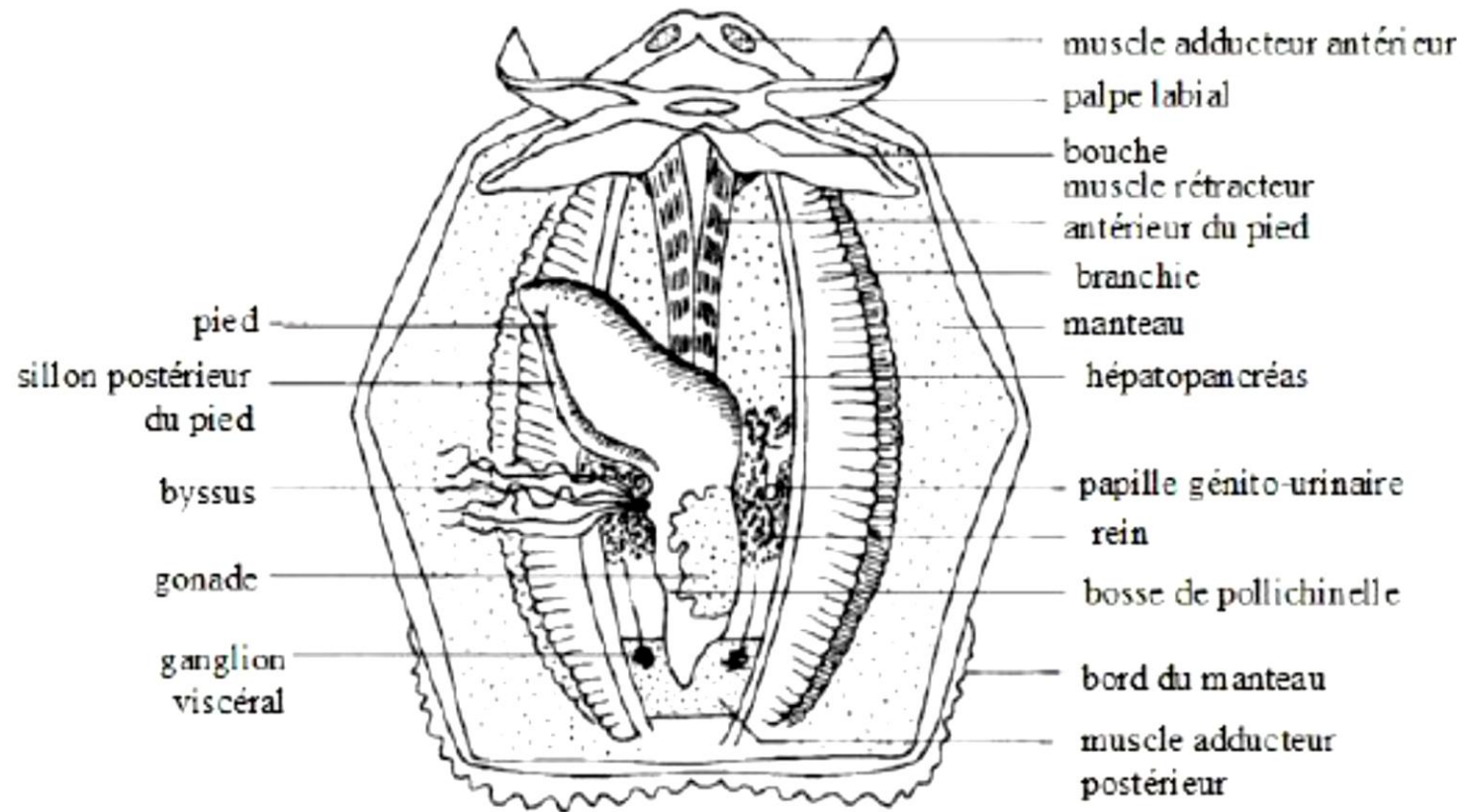
→ HAPLOPHASE  
→ DIPLOPHASE

*croissance*

# Remarque : rappel sup

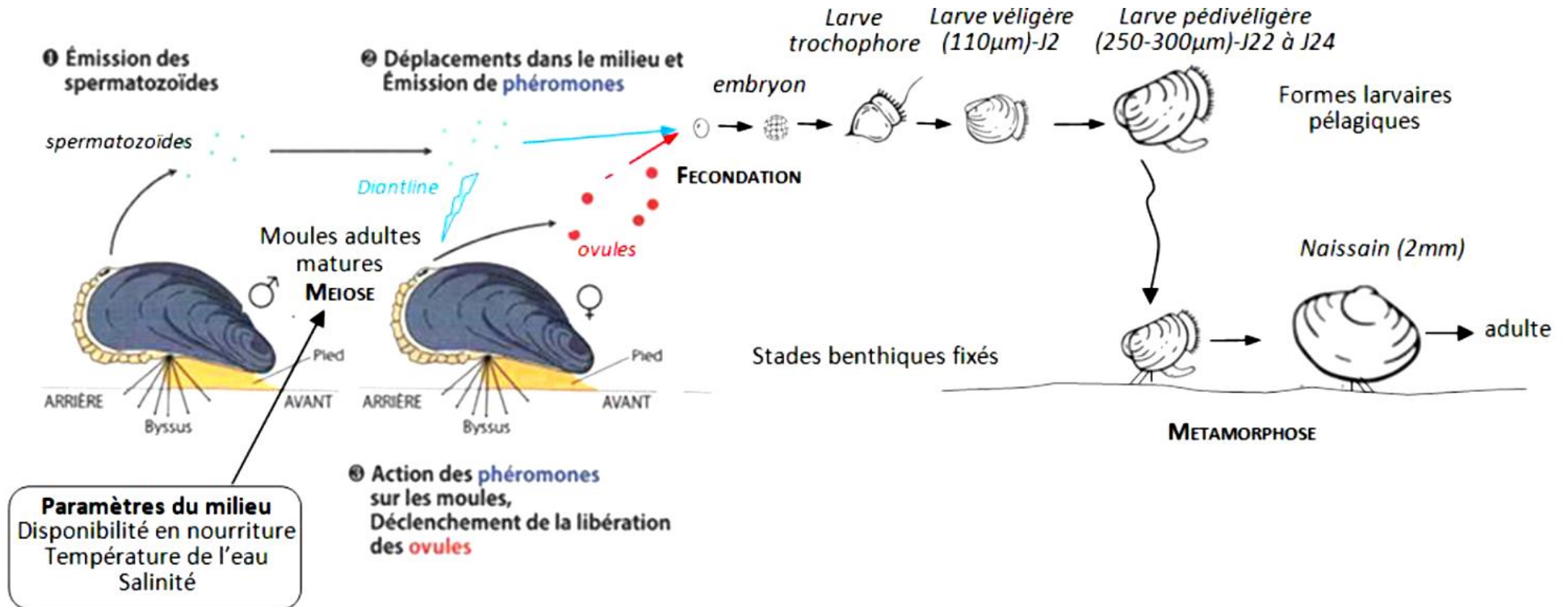
Fécondation externe chez la moule

Séparation des sexes, gonade = bosse de polichinelle



# Moule : fécondation externe et nombreux œufs formés

## Rappel sup

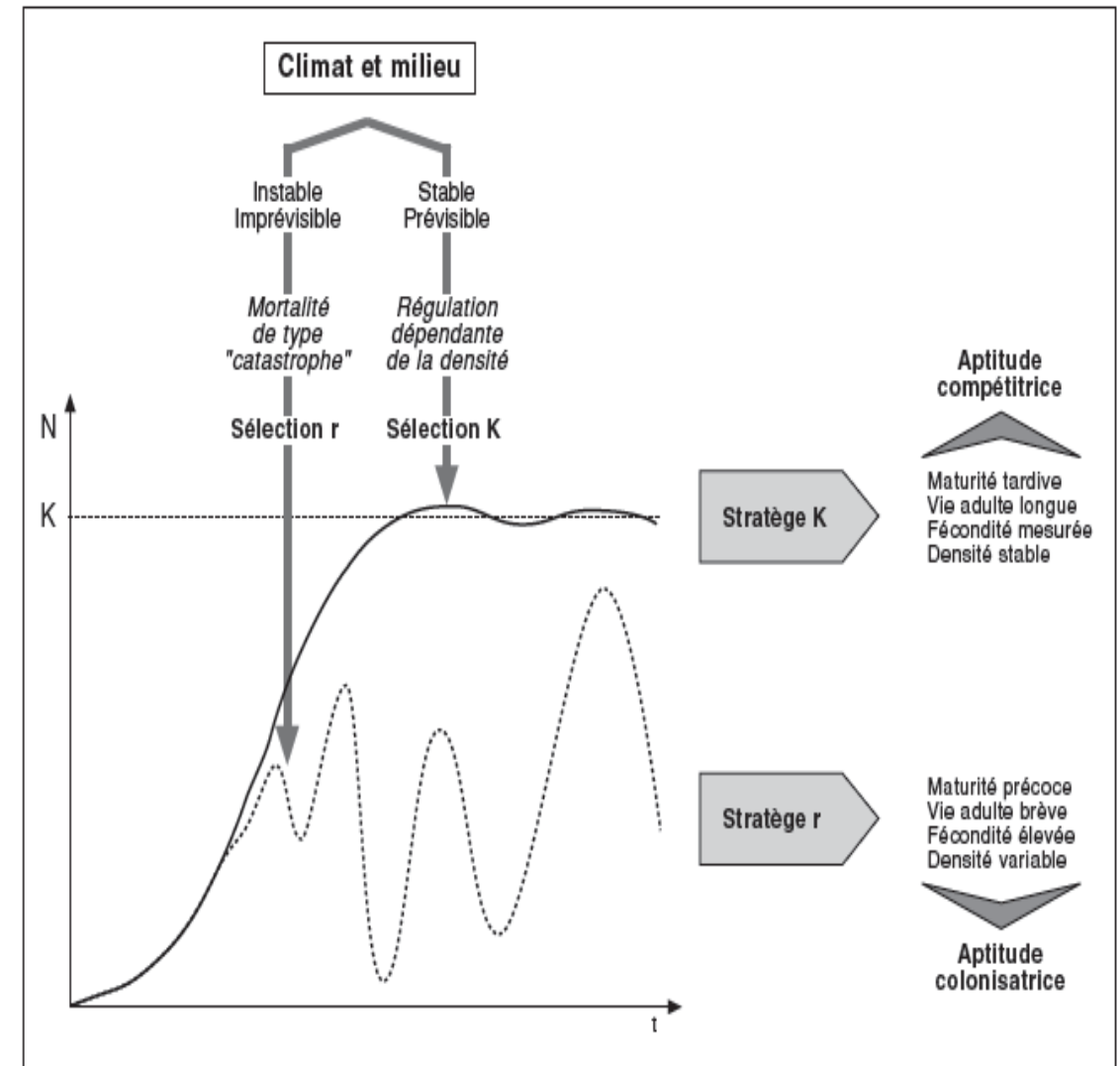


# Rappel sup

## Stratégie r et stratégie K

### Deux stratégies :

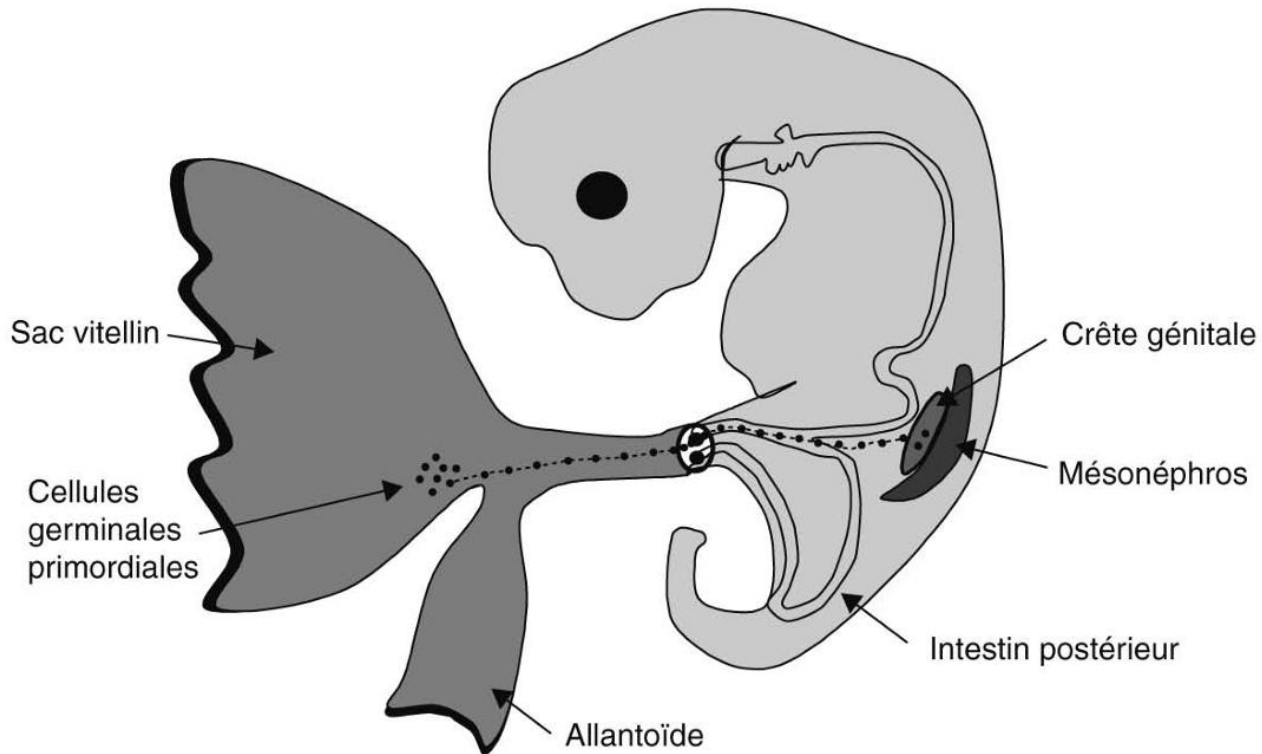
- « le nombre » (stratégie r): fécondité élevée, mortalité infantile importante, cycle de vie court, croissance rapide, maturité sexuelle précoce. *Ex: moule*
- « grosse dépense pour peu d'individus » (stratégie K) optimisant les chances d'arriver à maturité sexuelle : fécondité faible, soin aux jeunes, mortalité infantile moindre, cycle de vie long, croissance longue, maturité sexuelle lente. *Ex: mammifères*



## 3.2. La méiose à l'origine des gamètes : **synapomorphie** des métazoaires

CGP au stade foetal d'origine extra embryonnaire puis migration dans les crêtes génitales ( à l'origine des futures gonades) via l'endoderme.

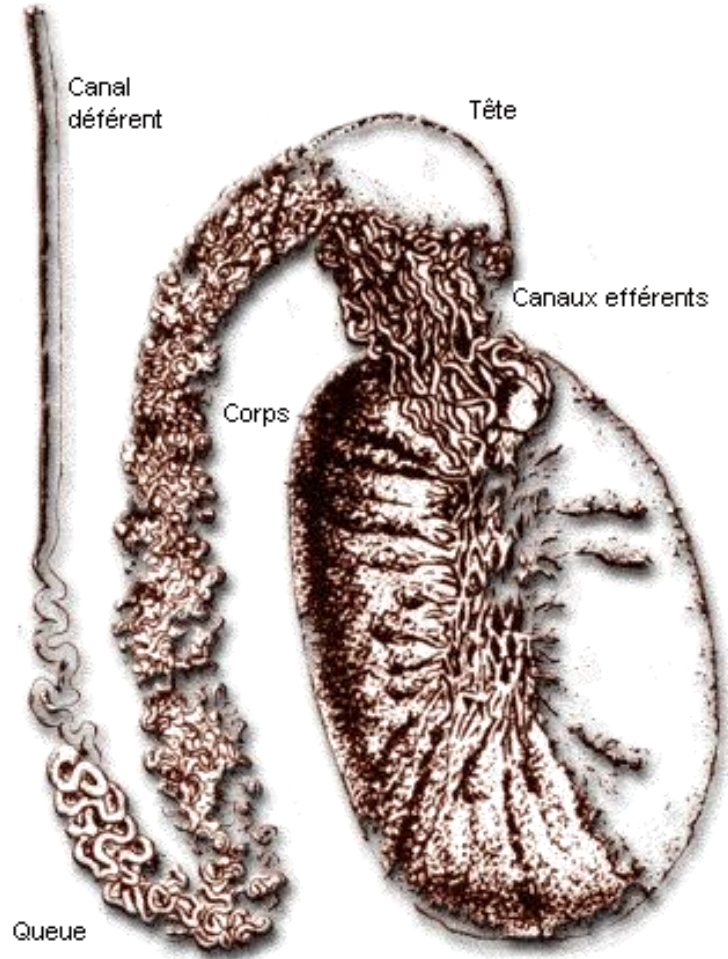
- Spermatogonies mitoses nombreuses durant toute la vie.
- Ovogonies mitoses durant la vie embryonnaire, cessent avant la naissance (humains).



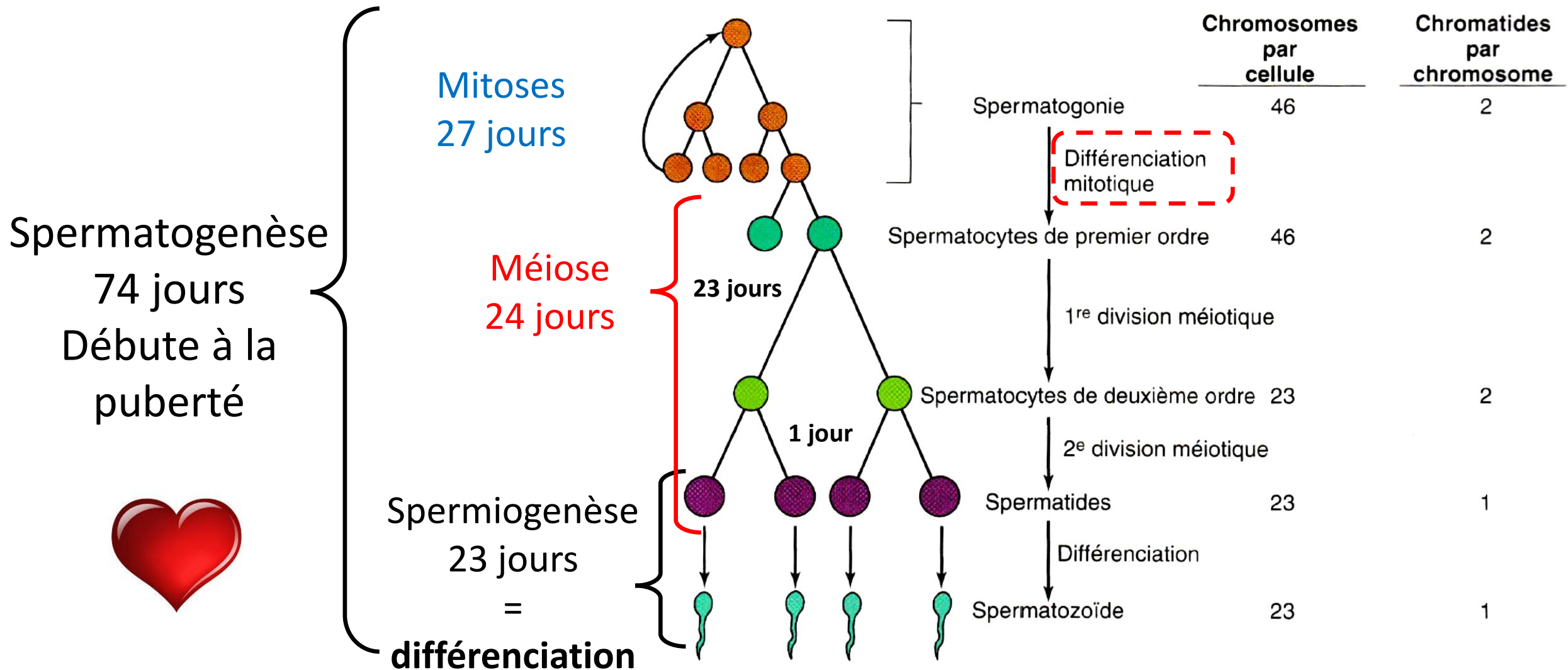
**Figure 1.2.** Migration des cellules germinales primordiales.

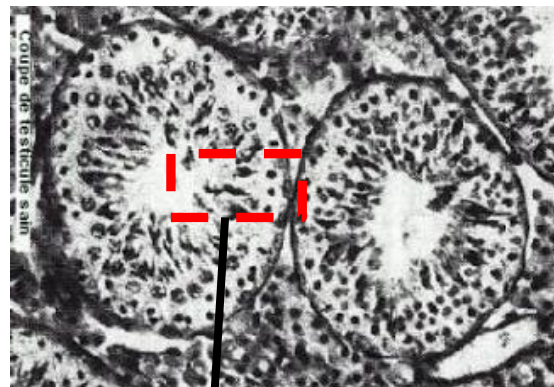
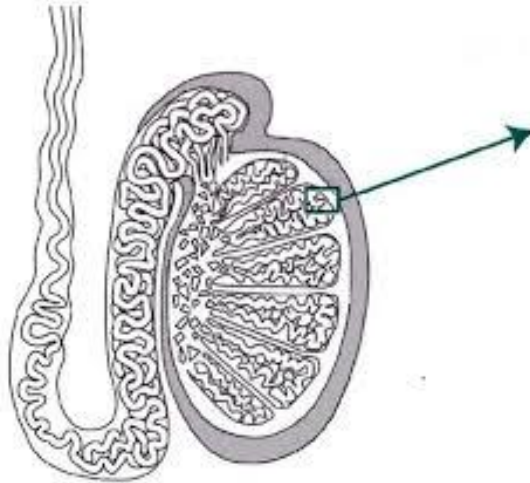
**NB : synapomorphie : caractère dérivé partagé par deux ou plusieurs taxons**

# - Testicules et spermatogenèse



# De la spermatogonie aux spermatozoïdes





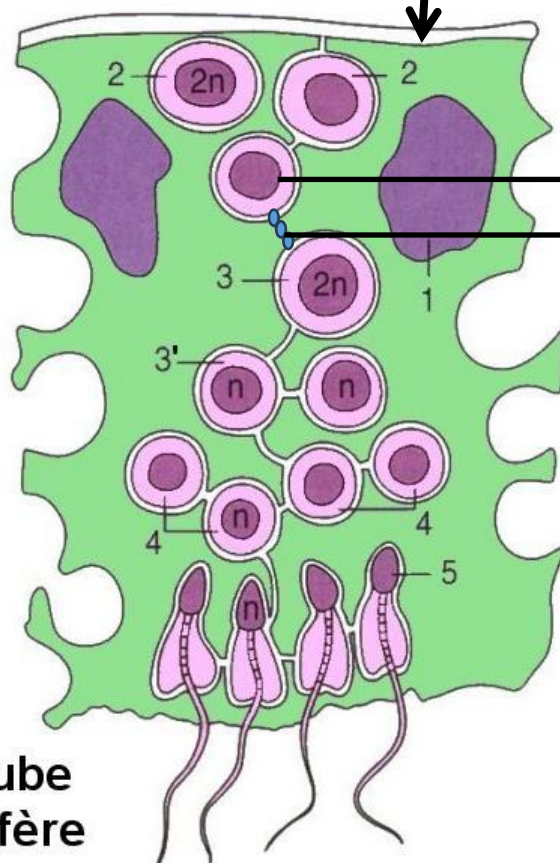
Production continue de spermatozoïdes chez le mâle dans les tubes séminifères des testicules = **spermatogénèse**, processus centripète.



maturation centripète

paroi du tube séminifère

lumière du tube séminifère



Spermatocyte I en préméiose  
Complexe jonctionnel

1. noyau d'une cellule de Sertoli
2. spermatogonie
3. spermatocyte diploïde
- 3'. spermatocyte haploïde
4. spermatide
5. spermatozoïde

La méiose commence dans les spermatocytes I après le passage des complexes jonctionnels.  
Des mouvements cytoplasmiques des Sertoli permettent le déplacement des spermatocytes + apports trophiques nécessaires à la croissance des spermatocytes.

# Différenciation des spermatides

- **Formation de l'acrosome au pôle apical du noyau** : issus du Golgi, contient des enzymes acrosines et hyaluronidases.
- **Élongation du noyau et condensation de la chromatine** : par remplacement des histones par des protamines. (Diapo suivante)
- **Formation du flagelle** migration du futur centriole proximal dans la région du col, le centriole distal est à l'origine de la formation du flagelle.

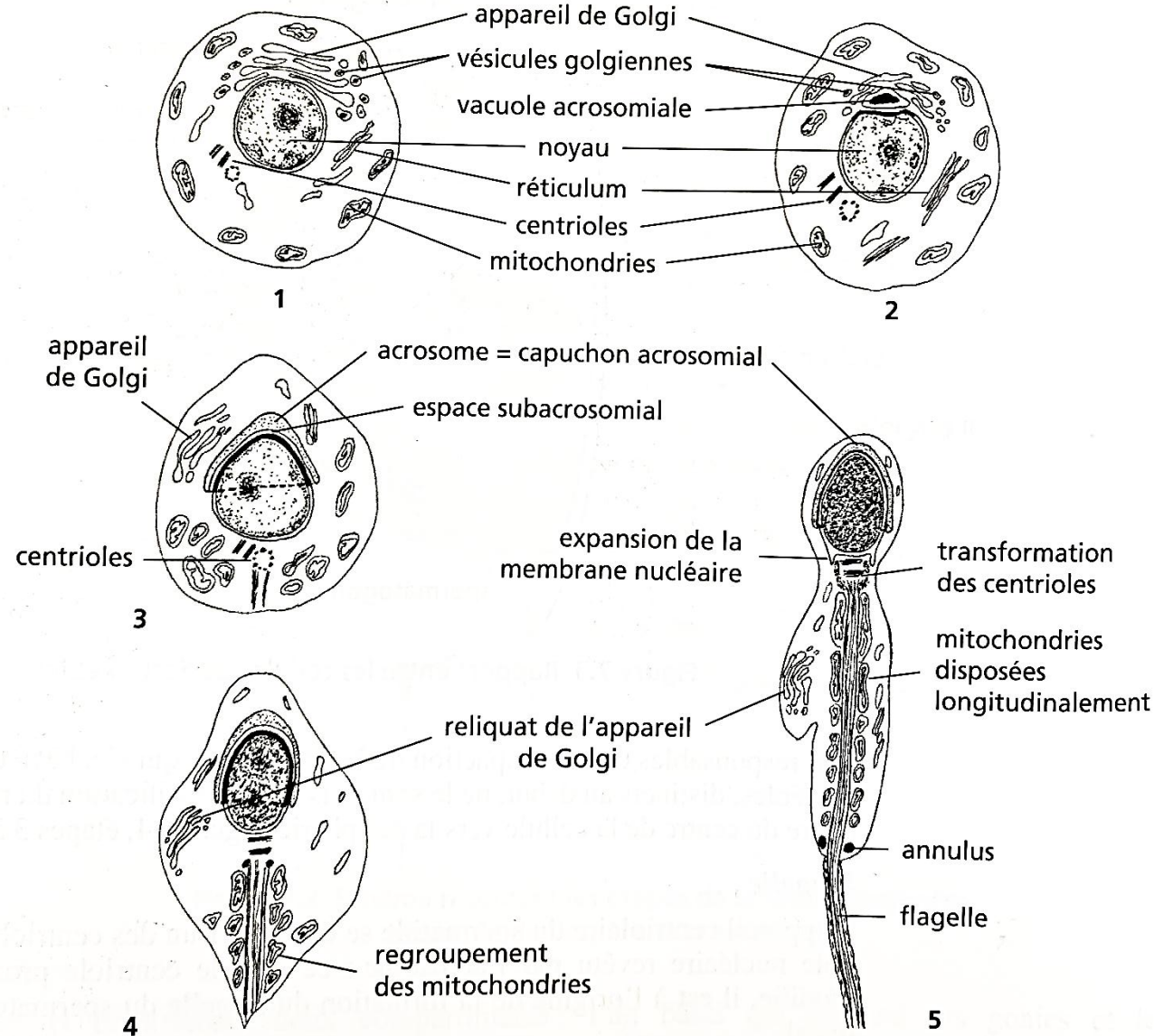
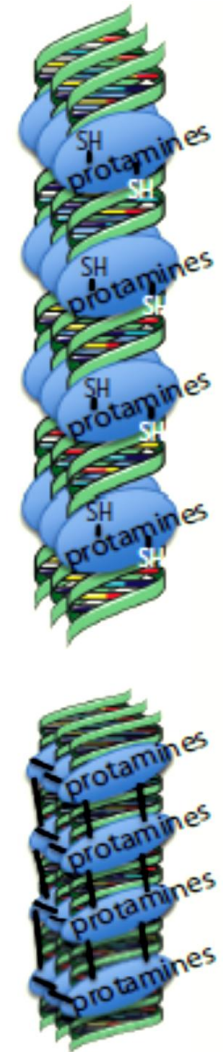
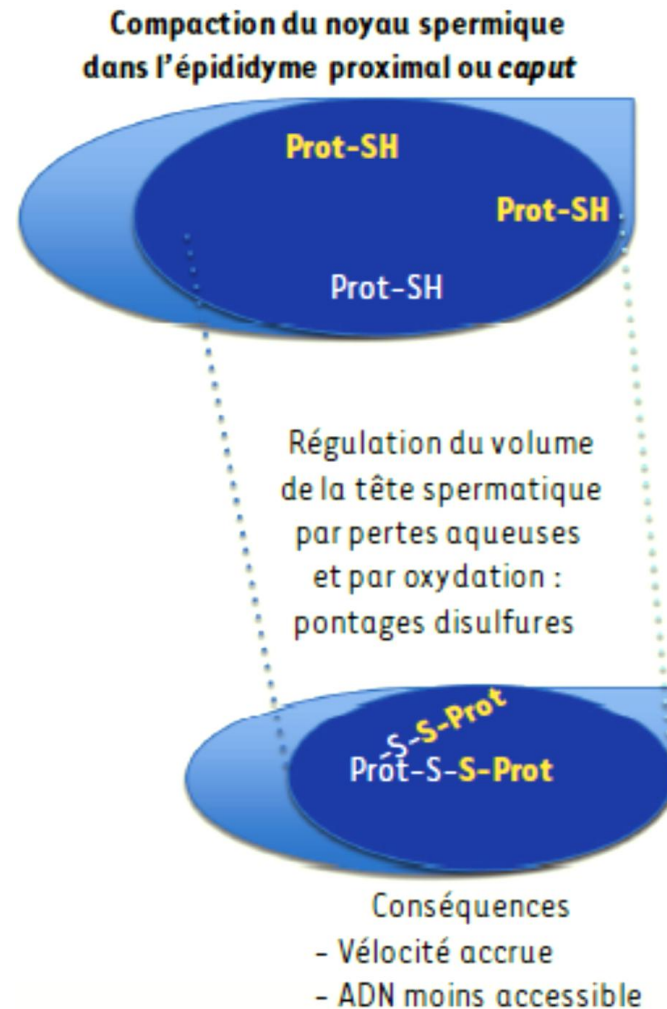


Figure 7.4 Les étapes de la spermiogenèse.

# Compaction accrue de la chromatine

La compaction de la chromatine s'achève dans l'épididyme :

Rôle des protamines :  
Augmentation du nombre de ponts disulfure donc de la compaction de la chromatine. (+ rôle dans le bon déroulement de la fécondation)



# Différenciation des spermatides

- **Formation de l'acrosome au pôle apical du noyau** : issus du Golgi, contient des enzymes acrosines et hyaluronidases.
- **Élongation du noyau et condensation de la chromatine** : par remplacement des histones par des protamines. (Diapo suivante)
- **Formation du flagelle** migration du futur centriole proximal dans la région du col, le centriole distal est à l'origine de la formation du flagelle.

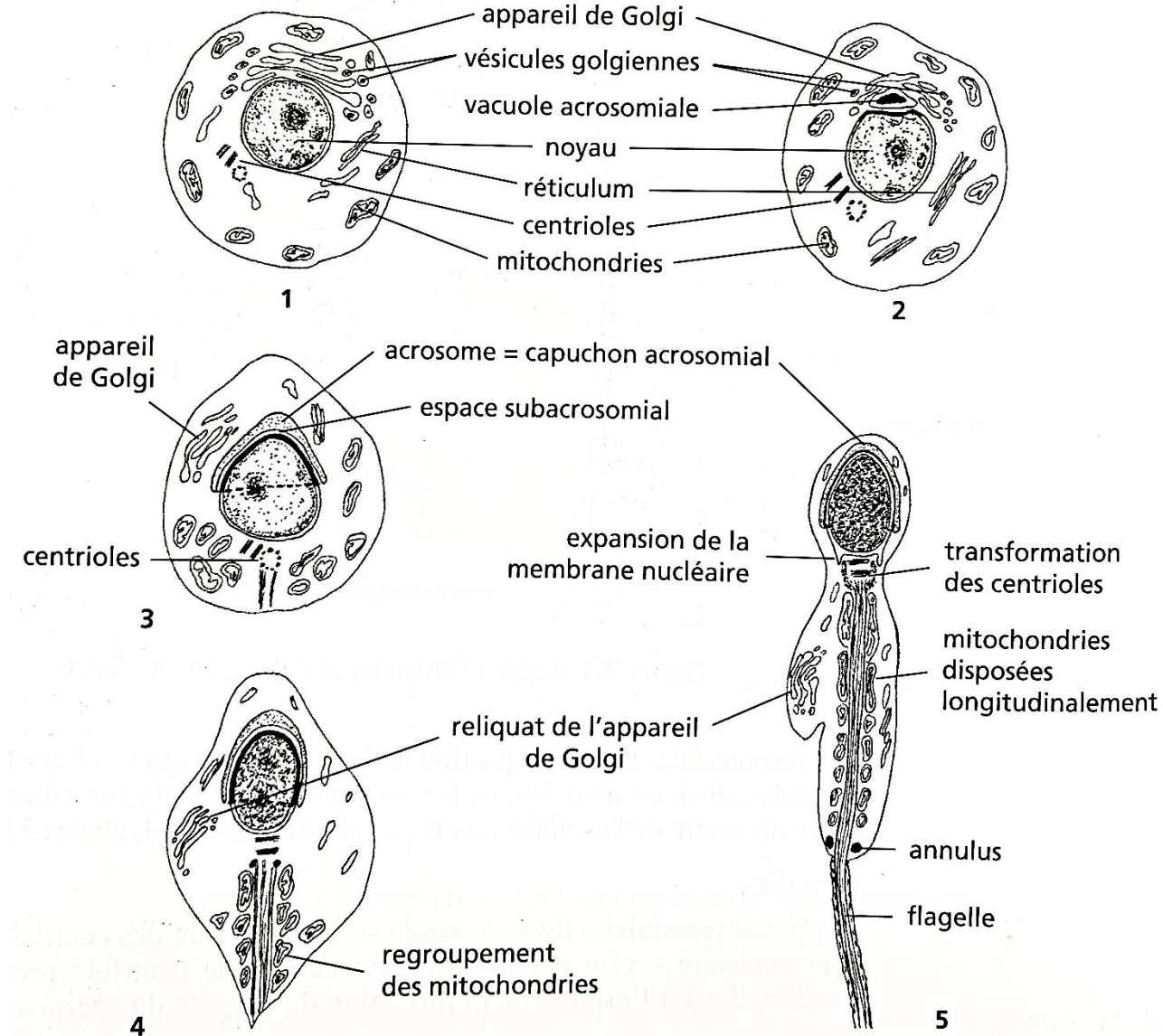
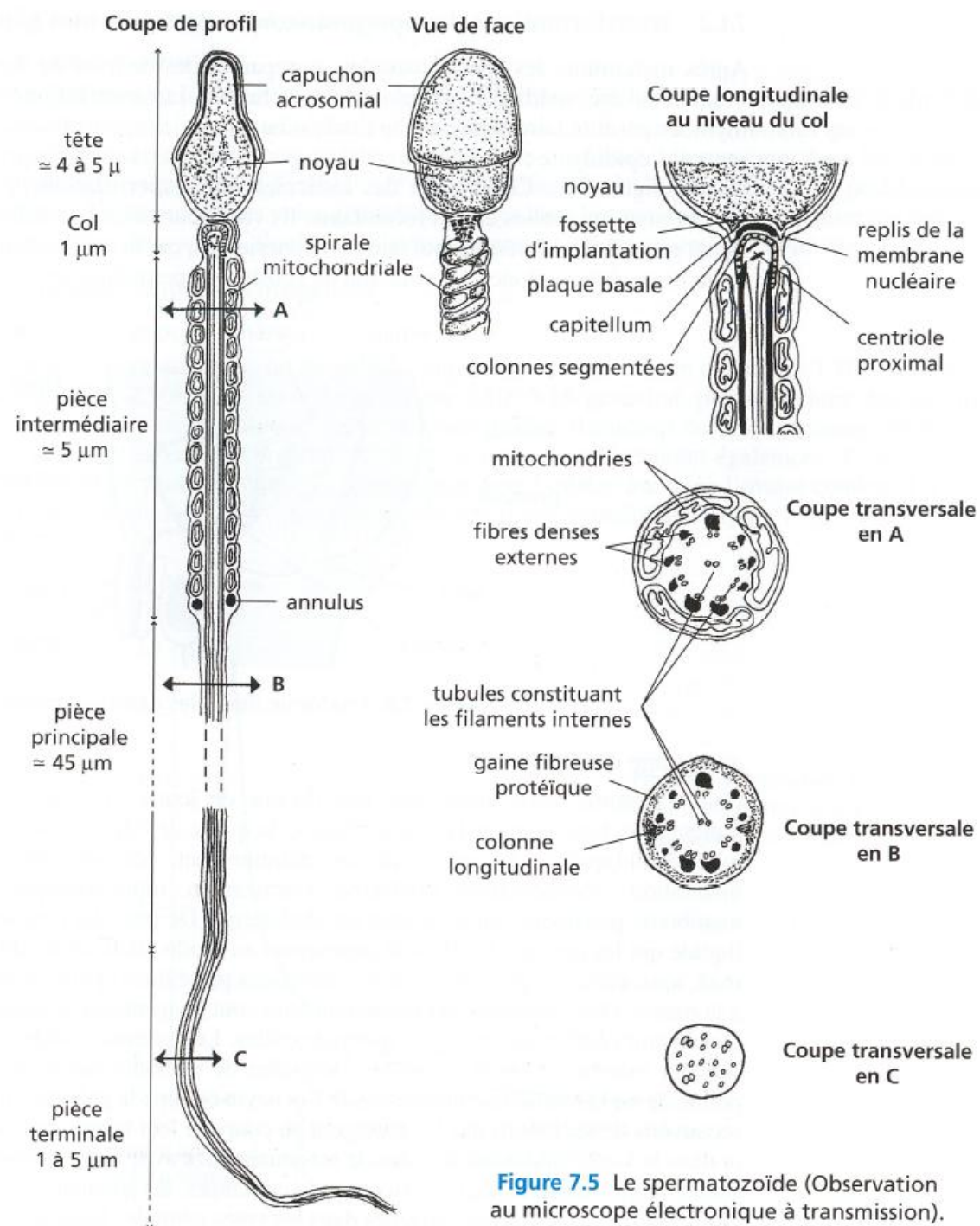
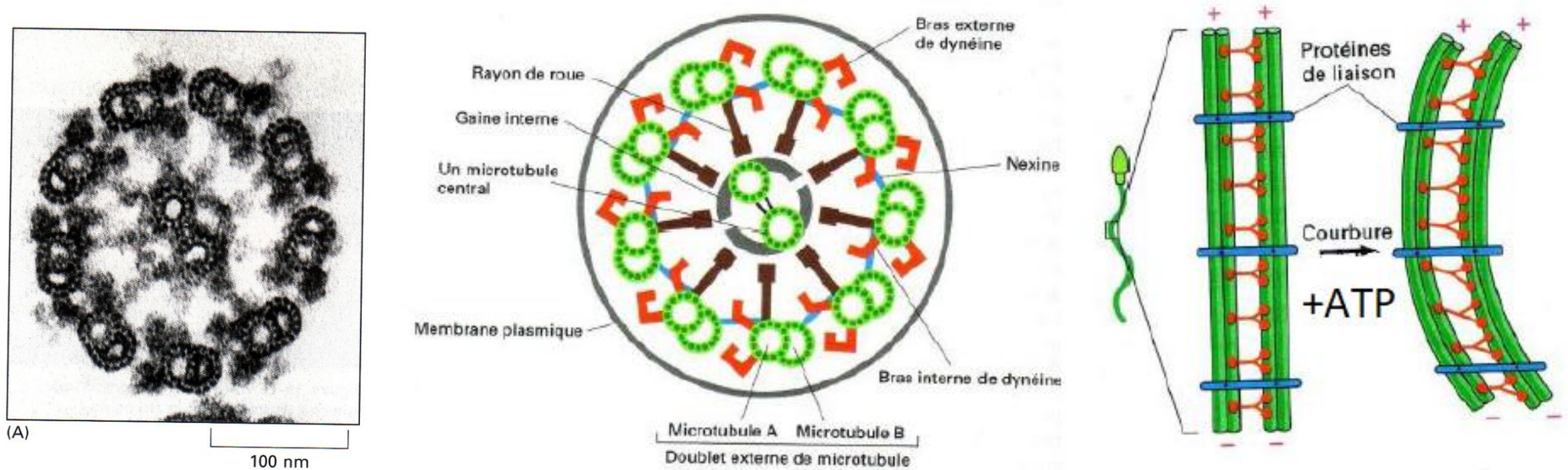


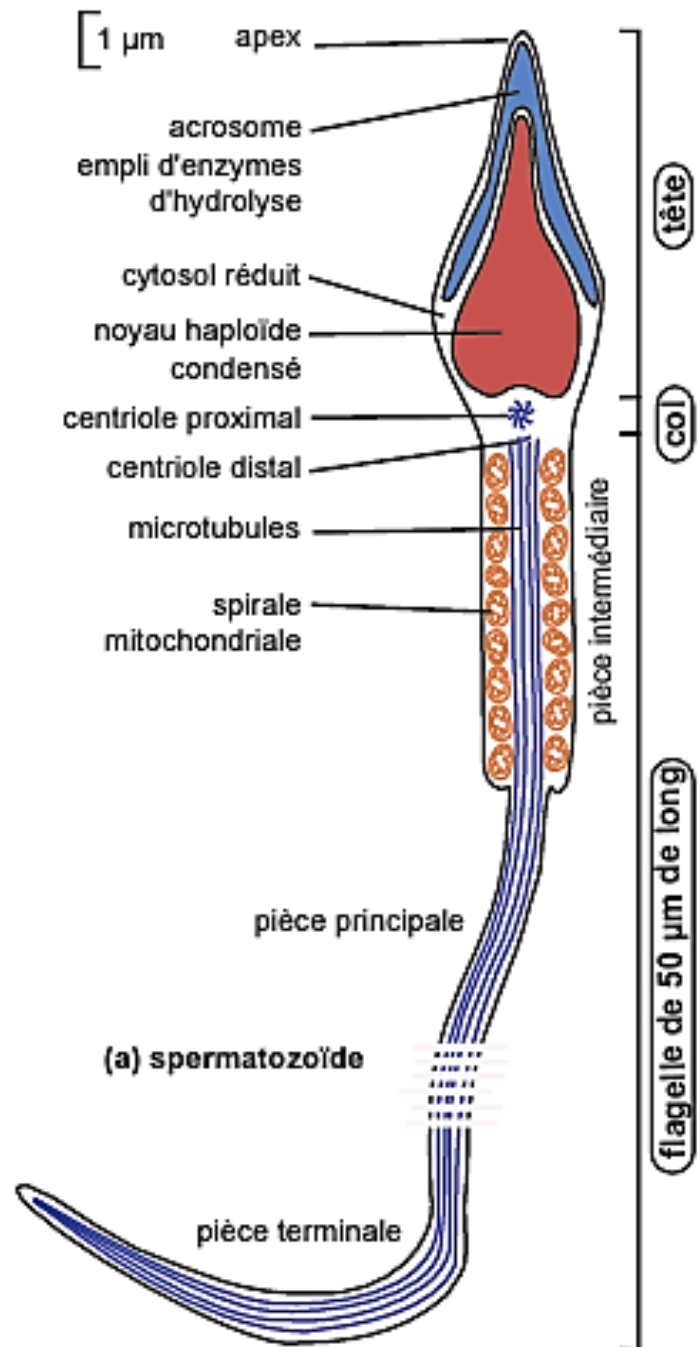
Figure 7.4 Les étapes de la spermiogenèse.



# CT Flagelle (diamètre environ 100 nm)



**Figure 16-77 Disposition des microtubules d'un flagelle ou d'un cil.** (A) Photographie en microscopie électronique du flagelle d'une cellule d'algue verte (*Chlamydomonas*) montrée en coupe transversale, qui illustre la disposition particulière en « 9 + 2 » des microtubules. (B) Schéma des parties d'un flagelle ou d'un cil. Les divers projections issues des microtubules relient les microtubules et sont placées à intervalles réguliers tout le long de l'axonème. (A, due à l'obligeance de Lewis Tilney.)



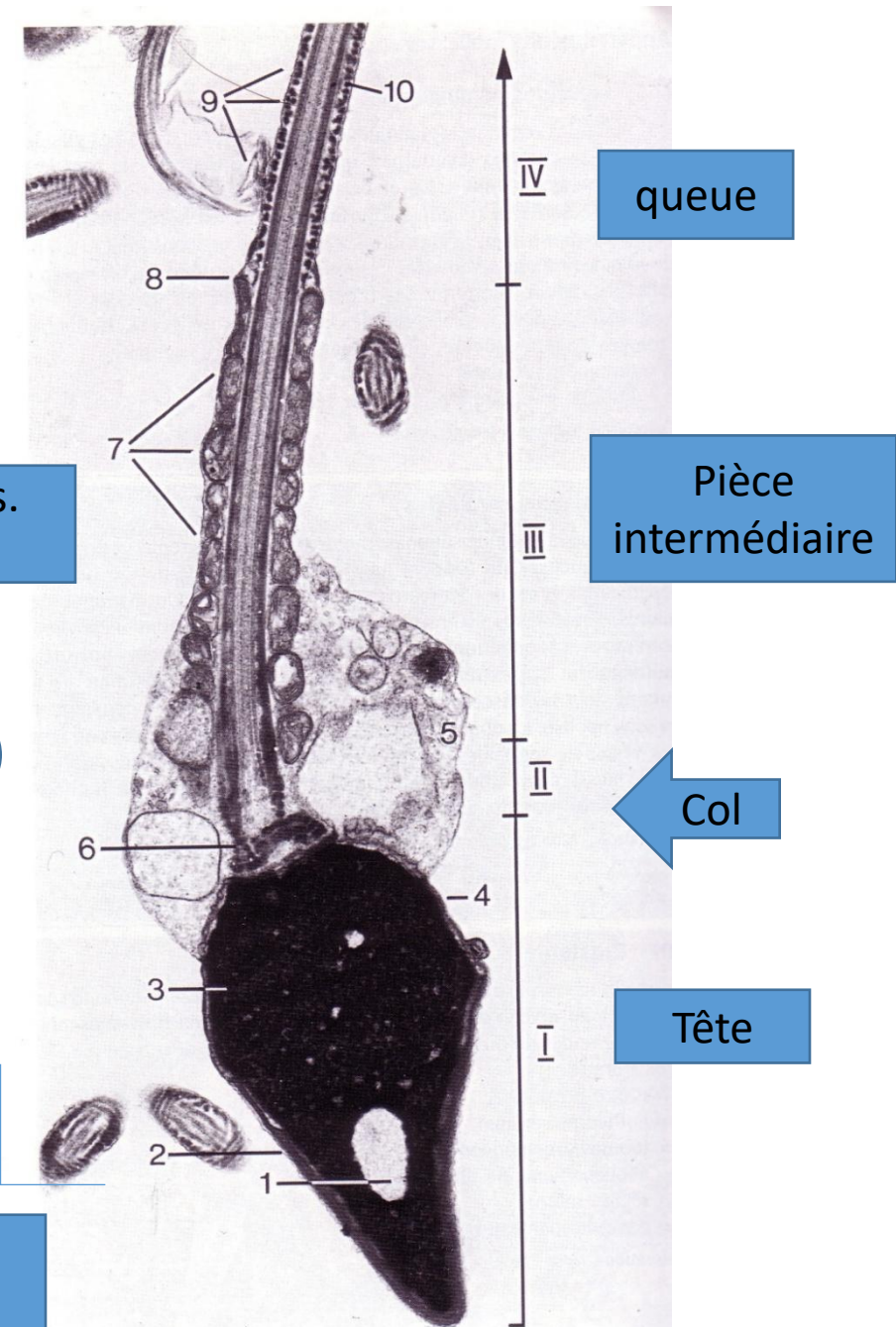
9 = gaine fibreuse  
10 = axonème

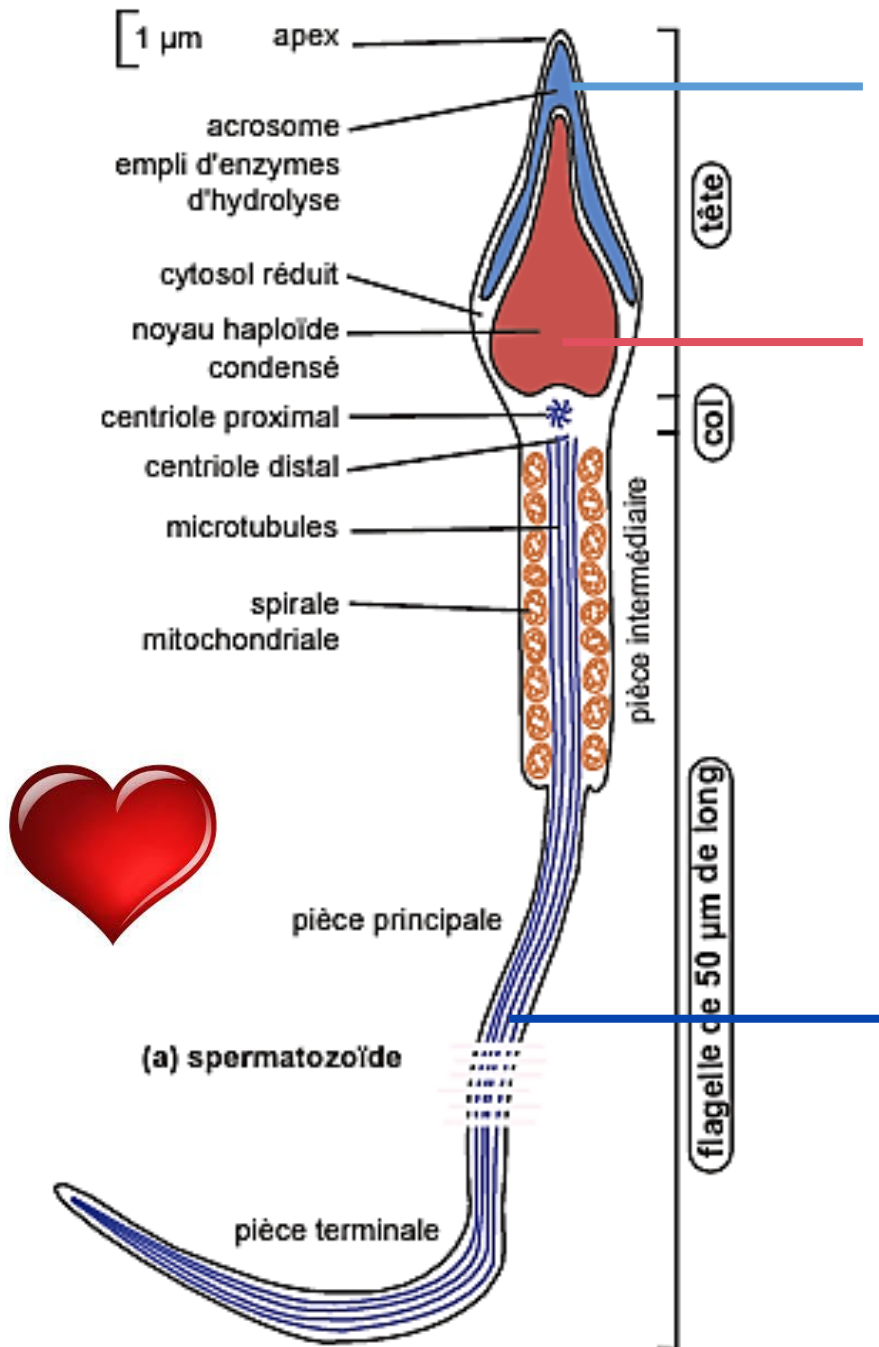
7 = mitochondries.  
8 = annulus

5 = gouttelettes  
cytoplasmiques  
6 = pièce  
connective

2 = acrosome  
4 = région post  
acrosomial

1 et 3 =  
noyau





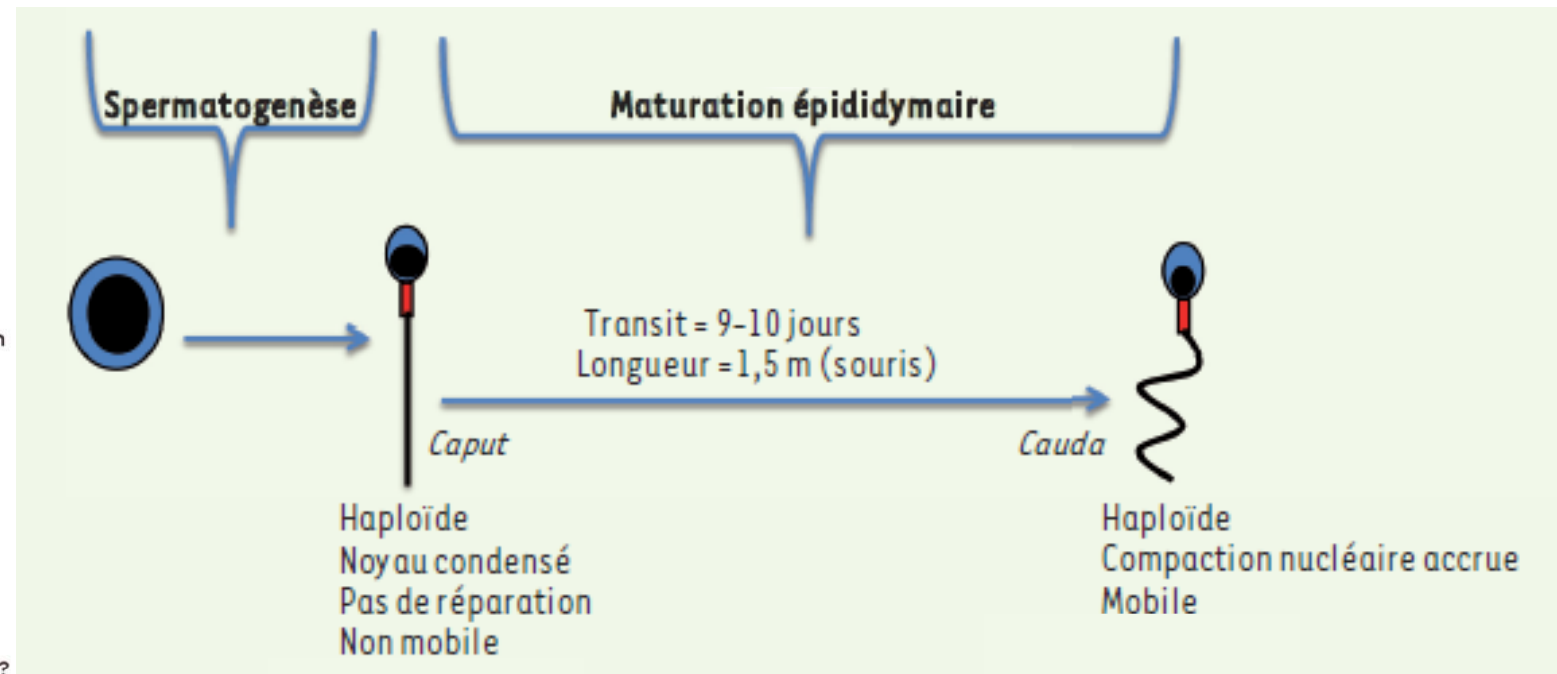
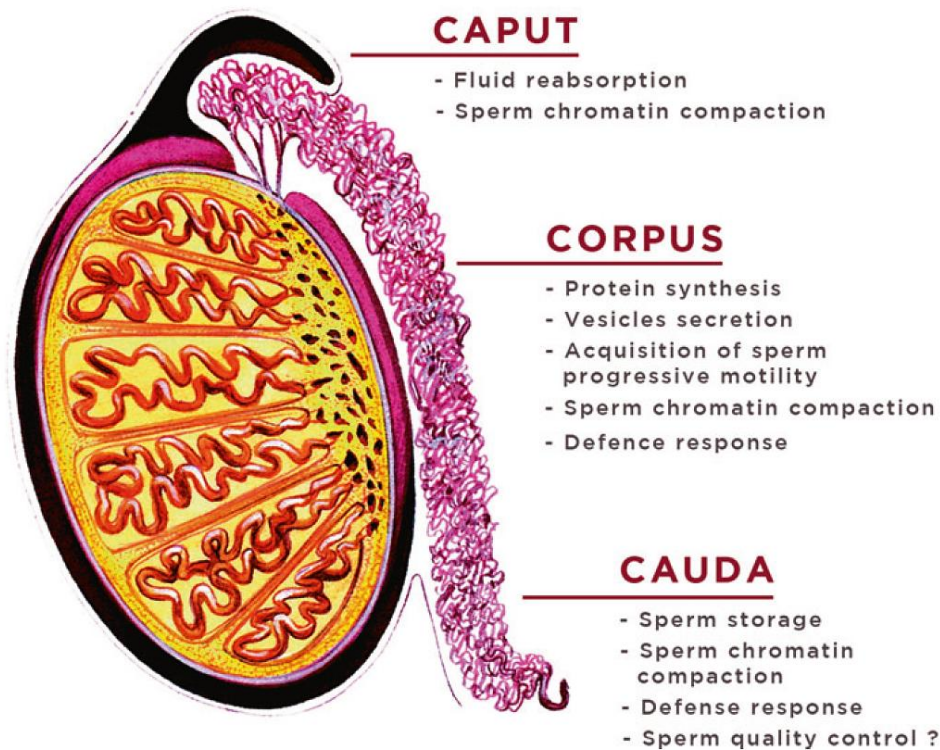
Enzymes qui seront mobilisées au cours de la fécondation lors de la pénétration des enveloppes externes du gamète femelle

Gros noyau (proportionnellement à la cellule), chromatine dense liée à des protamines qui compactent l'ADN de façon importante et sont nécessaires au bon déroulement de la fécondation.

Axonème fait de l'assemblages de microbulues et de bras de dynéine qui permettent par le jeu de leurs jonction et dysfonction, le mouvement du flagelle

# Maturation des spermatozoïdes dans l'épididyme

Epididyme : une glande annexe permettant maturation et stockage



**Fig. 1** Regions of the human epididymis: caput (including the initial segment), corpus, and cauda. The distinctive functions of each region is indicated

# Maturation dans l'épididyme :

**Spermiation** sortie du testicule

Dans l'épididyme :

- **Condensation** de la chromatine (ponts disulfures des protamines) qui interdit toute transcription.
- Remaniement des lipides de la membrane : enrichissement de la membrane en **cholestérol**.
- Acquisition d'une partie de la fécondance : mise en place de molécules impliquées dans la reconnaissance et l'adhésion à la zone pellucide ou à la membrane plasmique de l'ovocyte (**galactosyl-transférase**).
- Acquisition d'une **motilité**.

# Après la sortie de l'épididyme

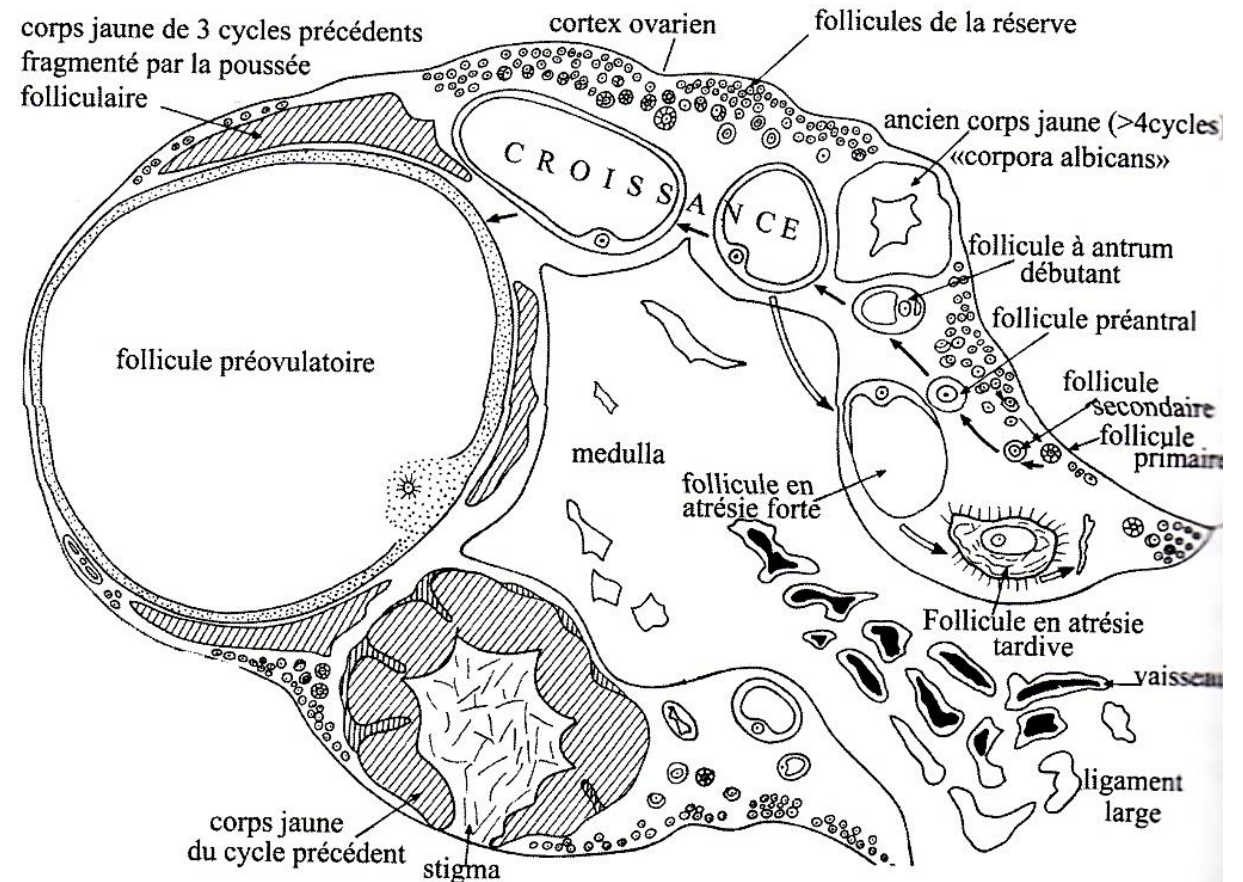
- Sperme produit par le tractus génital : épididyme + prostate + vésicules séminales
- Vésicules séminales : pas de stockage, rôle purement sécrétoire, production de fructose, prostaglandines et zinc.
- Fraction liquide produite par la prostate, les vésicules séminales et les glandes de Cowper.

# - Ovaire et ovogenèse

## a. développement des cellules reproductrices et du follicule ovarien

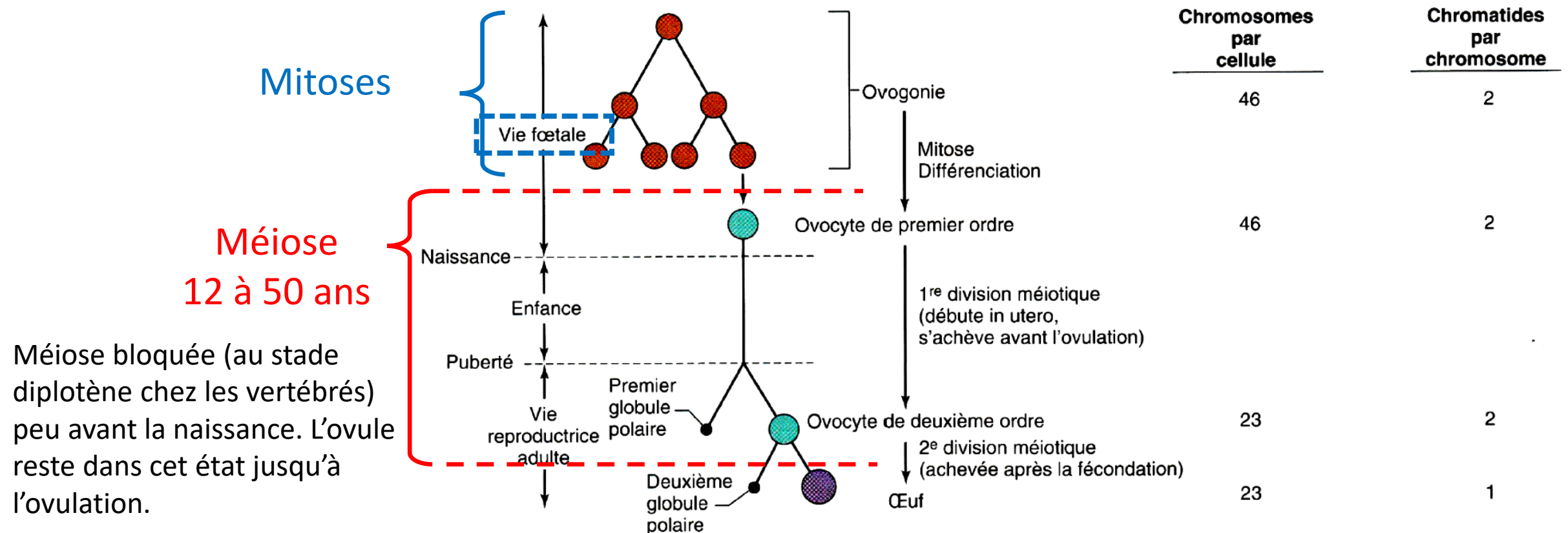
Lien TP : ovaire et différents follicules

L'ovogénèse se déroule dans les follicules qui ont aussi un rôle hormonal (vertébrés)

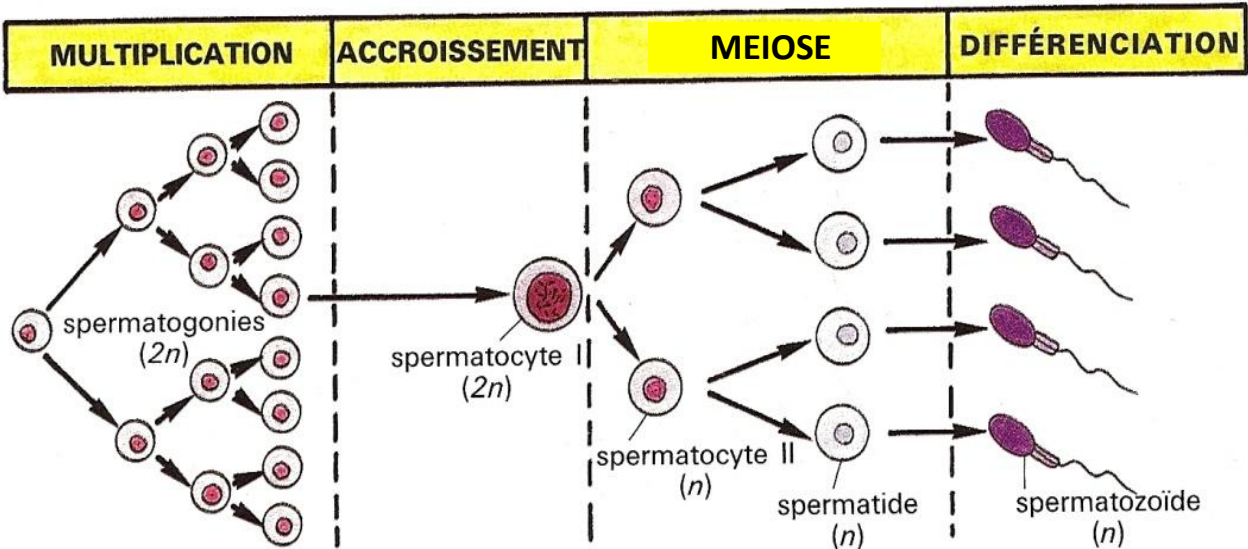


# Multiplication des ovogonies durant la vie foetale chez les mammifères puis blocage de la méiose

Passage ovocyte 1 → ovocyte 2 quelques heures avant l'ovulation

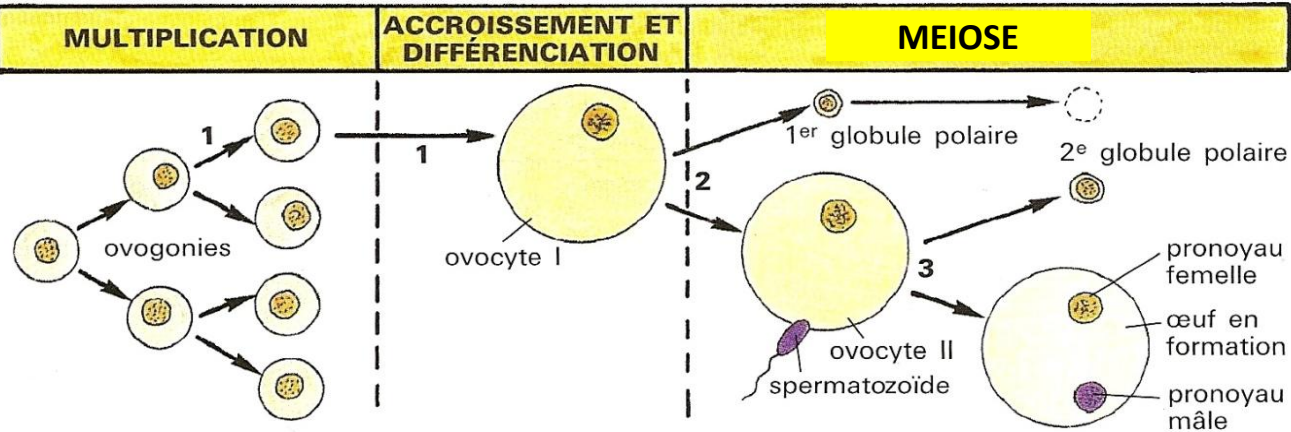


# Comparaison ovogénèse spermatogénèse



Spermatogénèse

Méiose inégale qui conduit à une grosse cellule remplie de réserves et une petite cellule pratiquement dépourvue de cytoplasme : le **globule polaire**



Ovogenèse

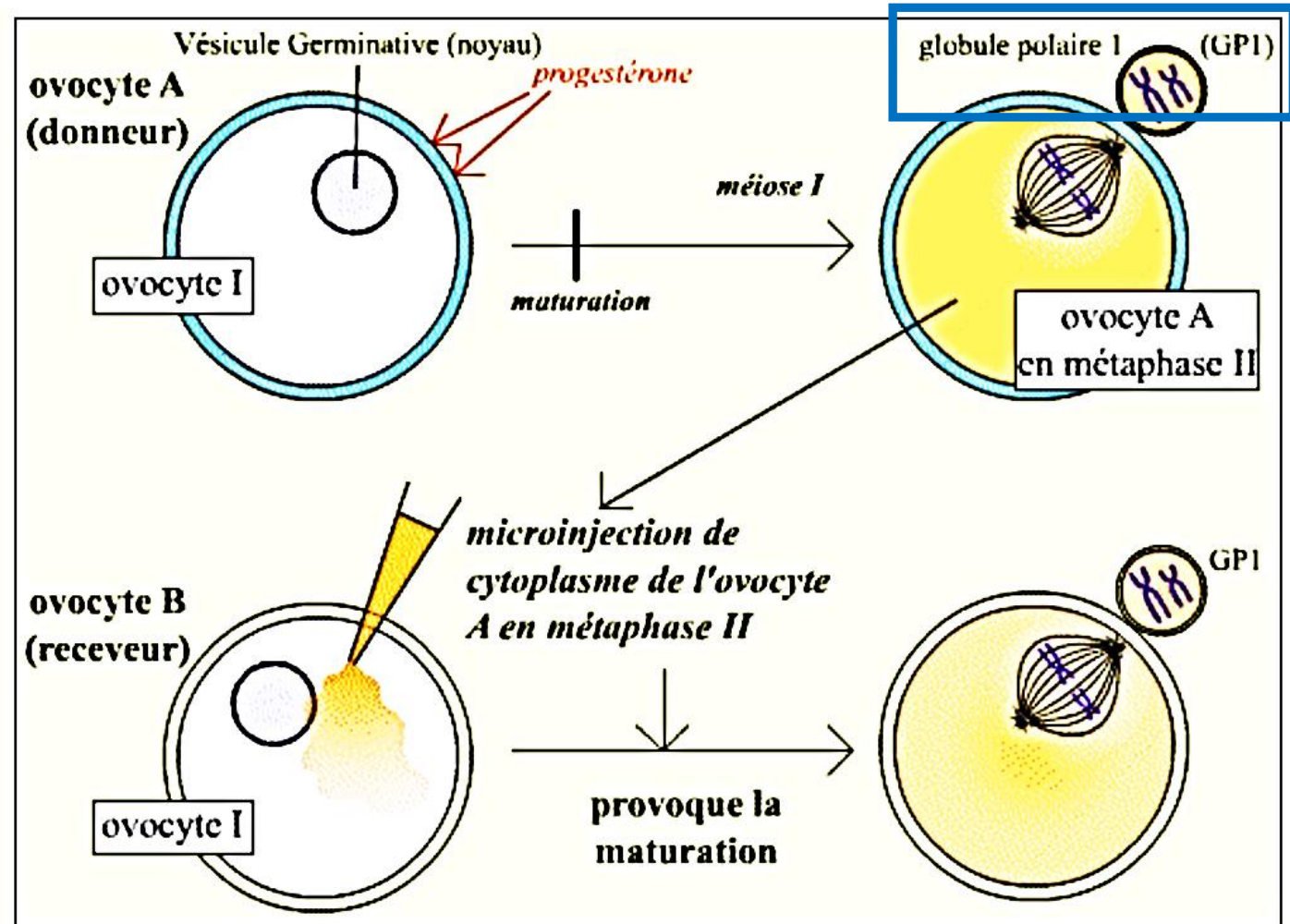
1: Au cours de la vie embryonnaire, la multiplication de **cellules souches** produit un stock limité d'**ovogonies** qui commencent à grossir, se transformant en **ovocytes I**. La méiose débute très tôt mais se bloque en **prophase** de première division.  
 2: Juste avant la ponte ovulaire.  
 3: Au moment de la fécondation.

Ces expériences montrent que l'entrée en la méiose est contrôlée par un facteur cytoplasmique diffusible, le MPF.

**MPF** = complexe de deux protéines :

- protéine kinase, qui est une enzyme phosphorylant des protéines cibles, et qui n'est activée qu'en présence d'une cycline, d'où son nom, **protéine kinase-cycline dépendante (Cdk)**.
- + une sous-unité régulatrice appartenant à la famille des **cyclines**.

Ce complexe **cycline / Cdk** agit en déclenchant différentes réactions (**revoir cycle cellulaire supp**)

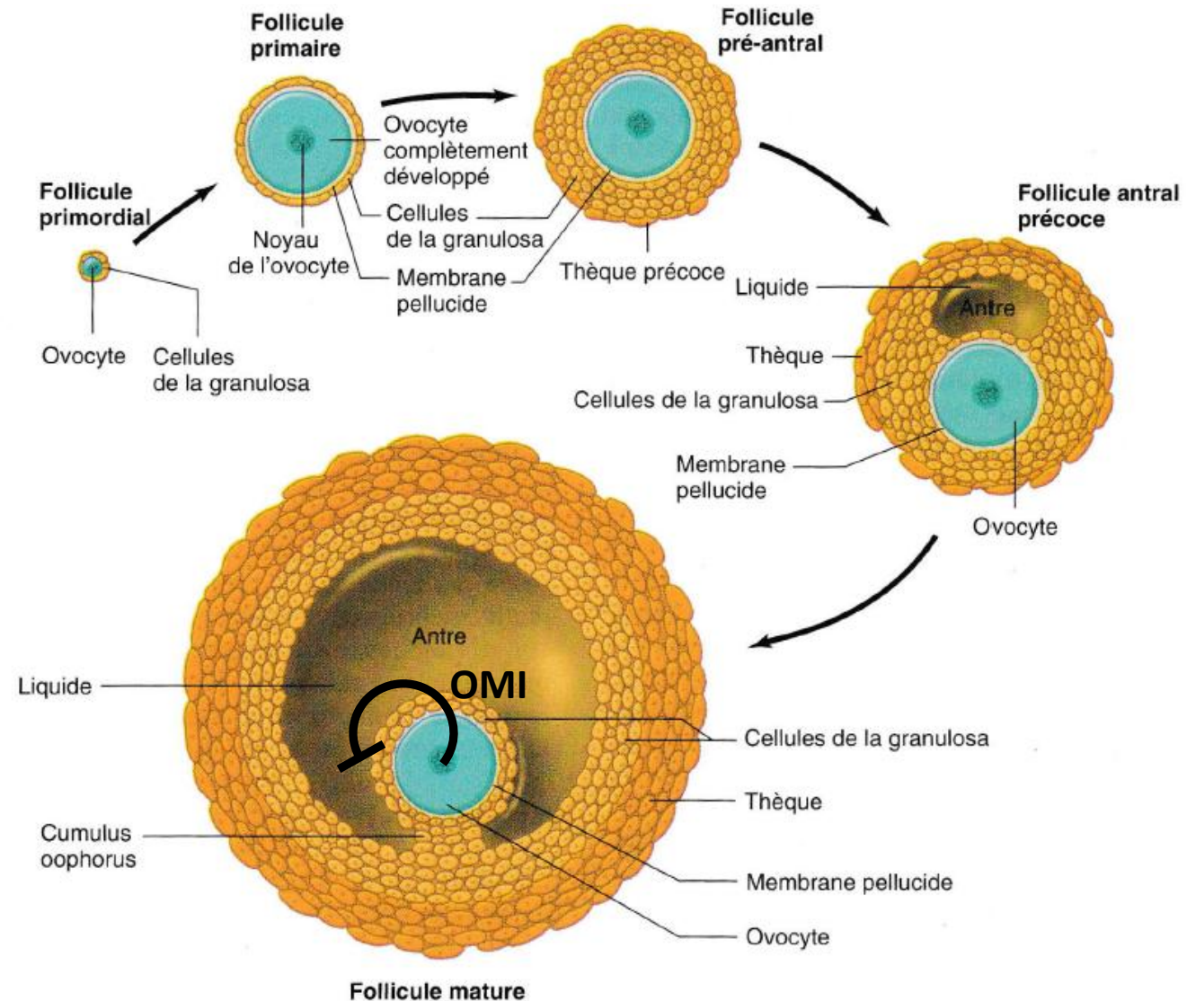


*Expérience d'injection de cytoplasme entre des ovocytes de Xénope. L'injection du cytoplasme prélevé dans un ovocyte II mûré (bloqué en métaphase II) dans un ovocyte I, induit l'entrée en méiose de ce dernier. Cette expérience montre que le cytoplasme de l'ovocyte A contient un composé, présent en méiose, et suffisant pour induire le passage en méiose.*

# Evolution des follicules

**OMI** (Oocyte Meiotic Inhibitor) produits par les cellules folliculaires qui bloquent la reprise de la méiose.

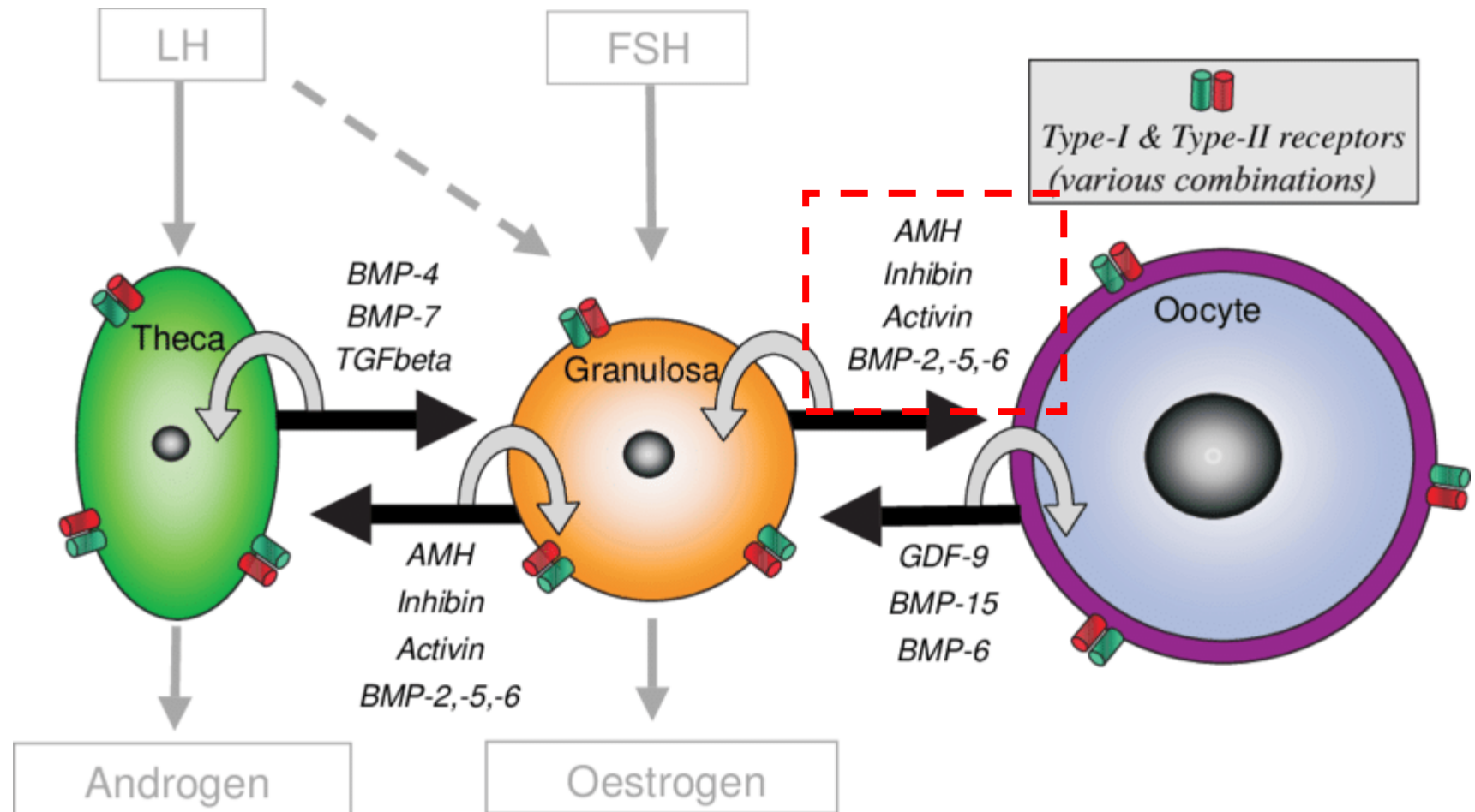
Le blocage de la méiose permet à l'ovule la synthèse d'ARN et de protéines qui seront mobilisées après la fécondation pour le développement embryonnaire



# Inhibition de la méiose par les cellules folliculaires

## Exemples d'OMI

Le nom des molécules n'est pas attendu.



Cumulus  
oophorus

AMPc +++

PKA

MPF

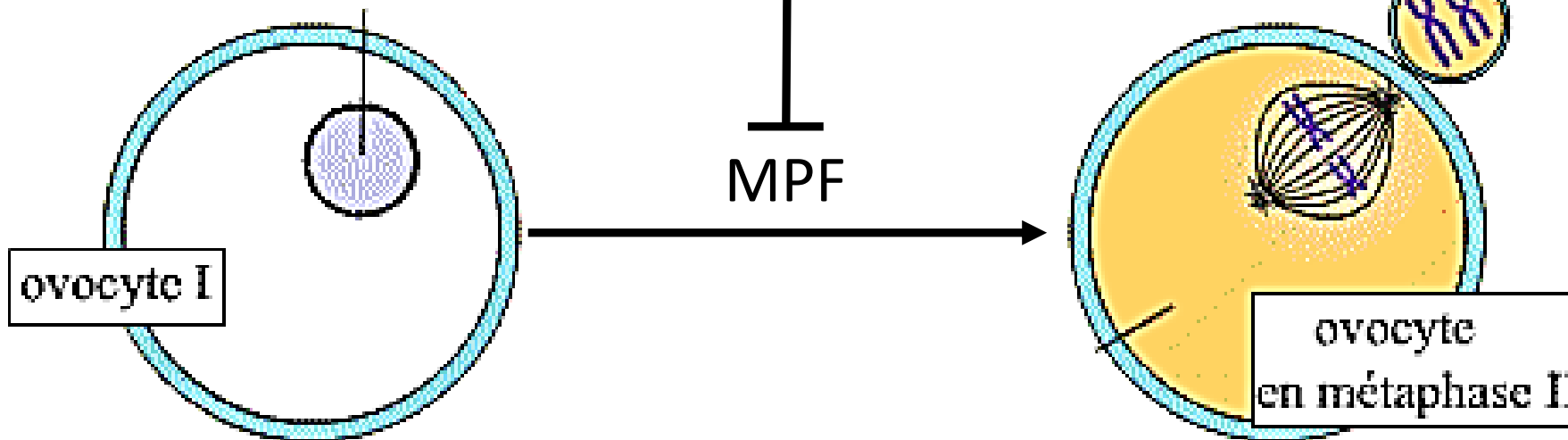
Noyau

ovocyte I

globule polaire I (GPI)

ovocyte  
en métaphase II

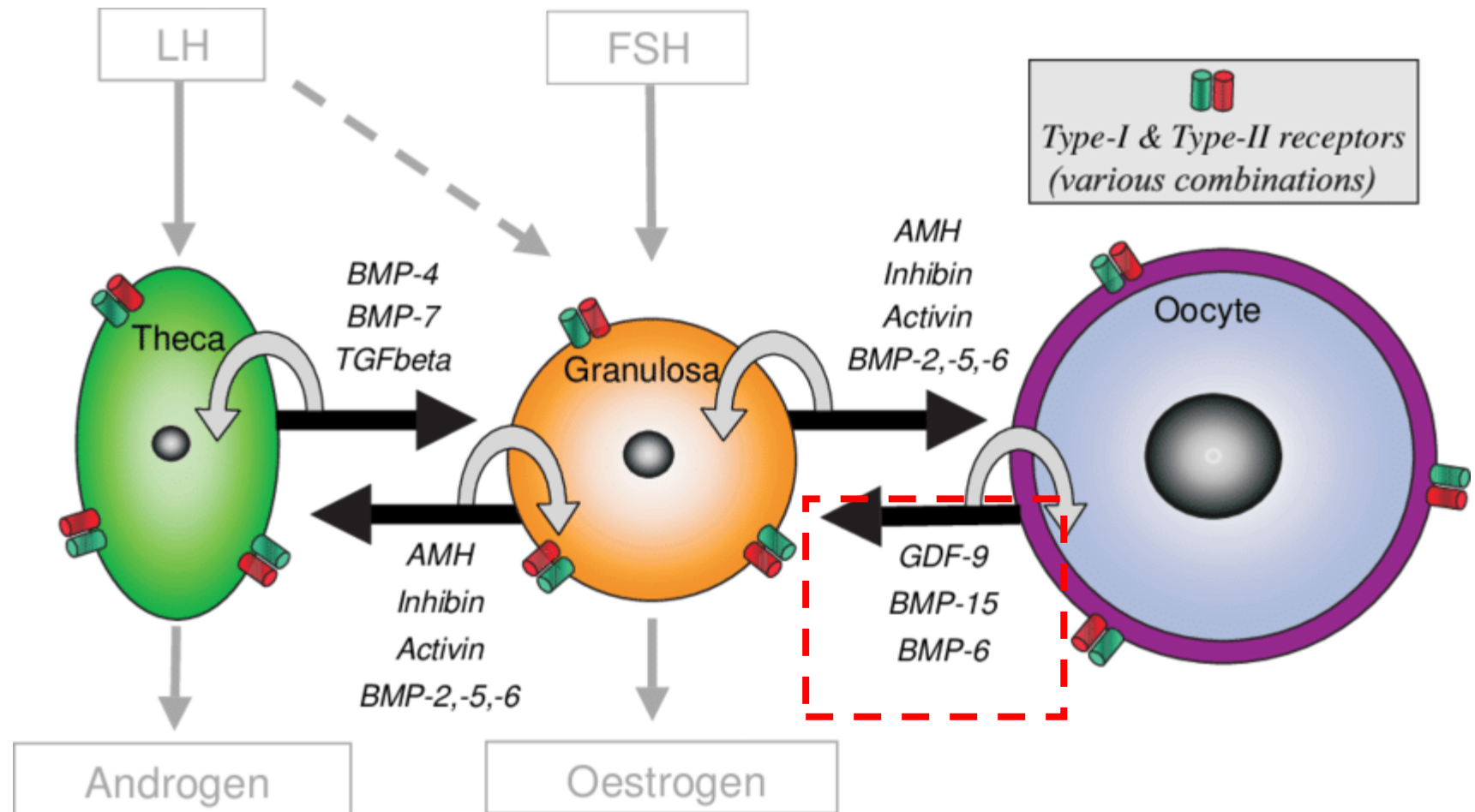
Suite au pic de LH, production de MEC par les cellules du cumulus, donc rupture des complexes de jonctions avec l'ovocyte, donc arrêt du transport d'AMPc via les GAP jonctions, vers l'ovocyte = levée de l'inhibition sur MPF.



# Dialogue ovocyte - cellules somatiques

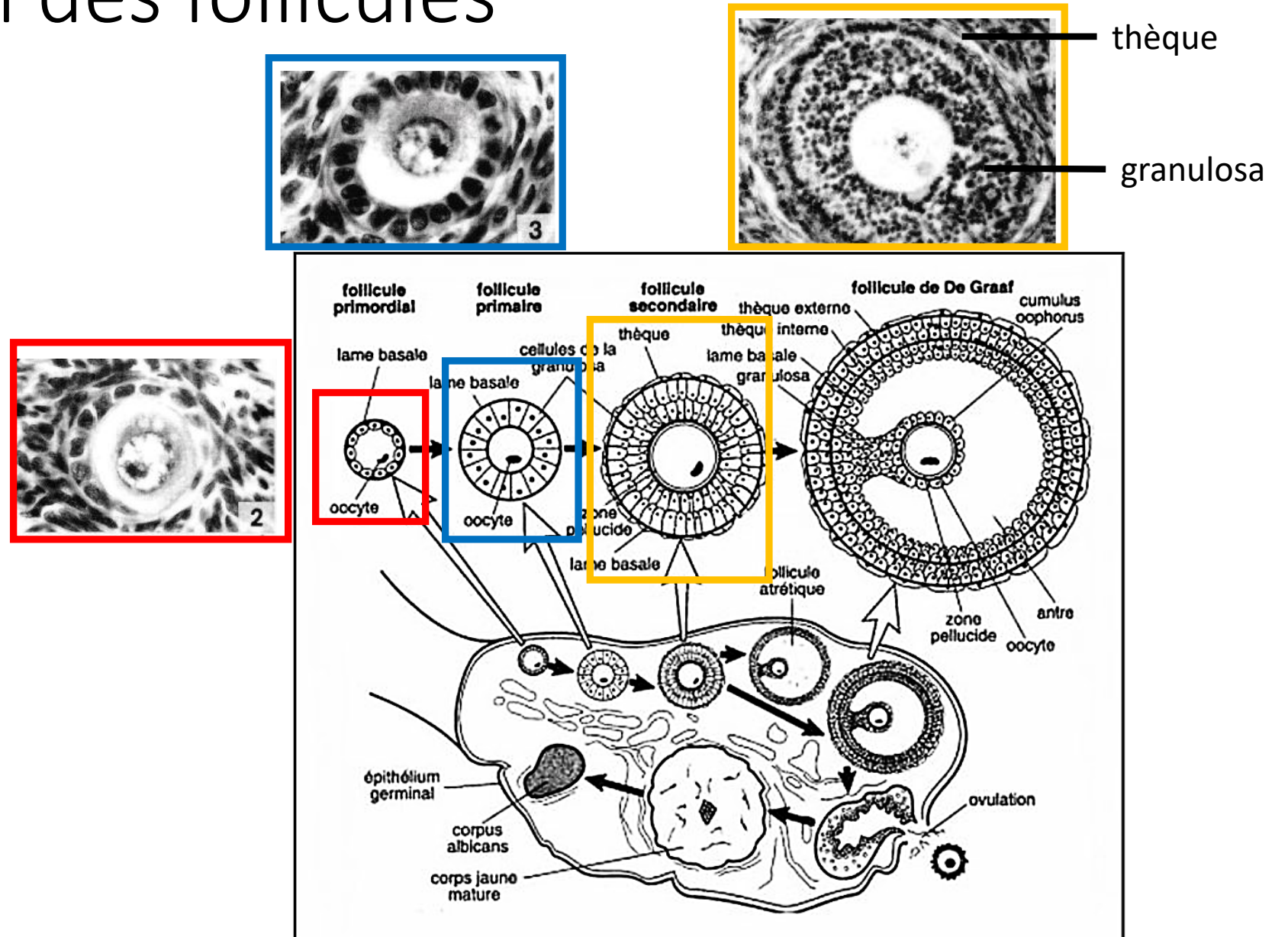
Le nom des molécules n'est pas attendu.

L'idée de **dialogue moléculaire** est importante.



## b. évolution des follicules

Rappel TP



**Figure 2:** Représentation des différents stades de croissance des follicules

# Evolution des follicules

## Rappel TP



## Organe reproducteur femelle

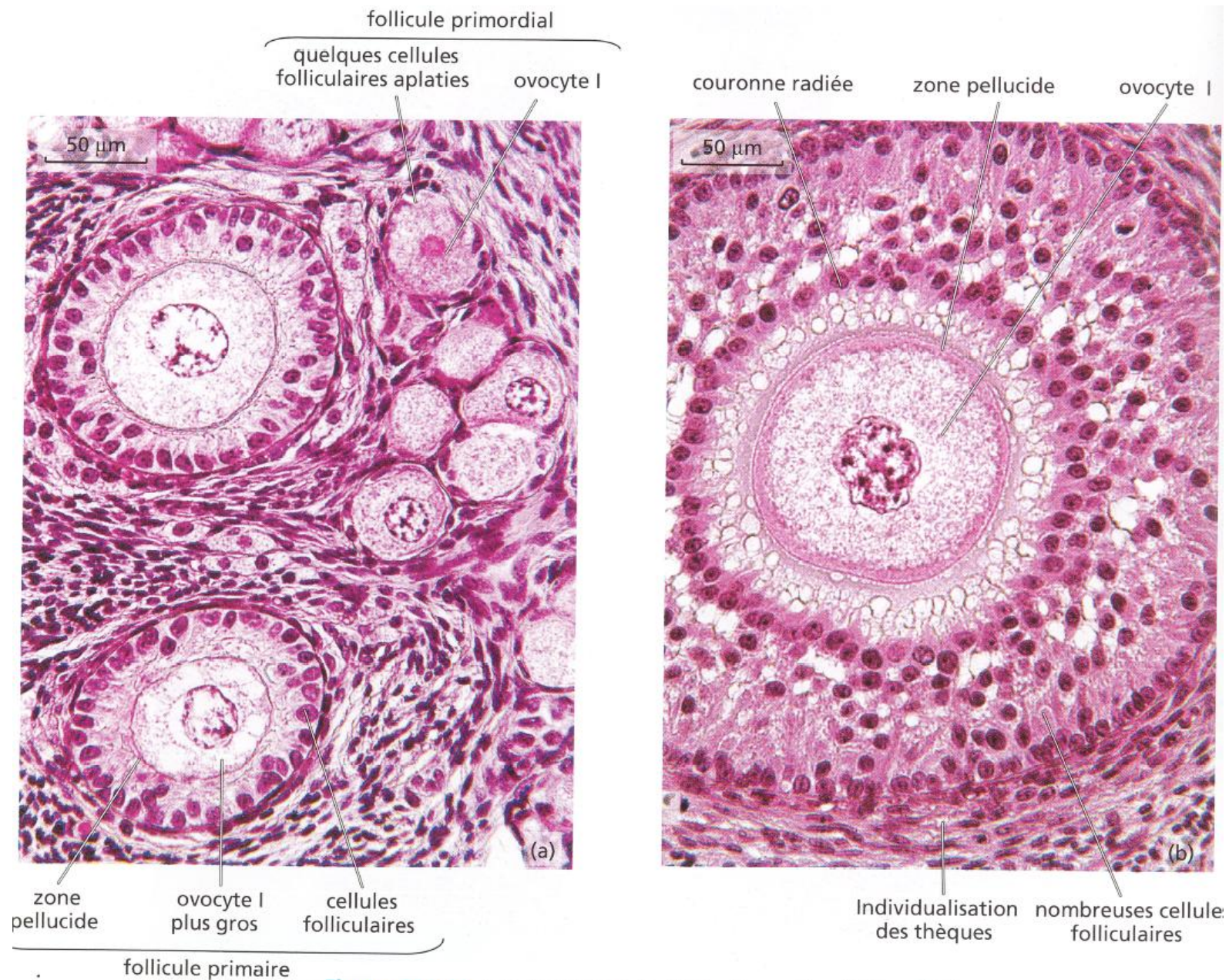
Zone corticale riche en follicules

Zone médullaire riche en vaisseaux sanguin (fonction endocrine)

Ovocyte I bloqué en prophase I

\* On peut suivre histologiquement la **folliculogénèse** mais pas l'**ovogénèse** qui commence au stade fœtal.

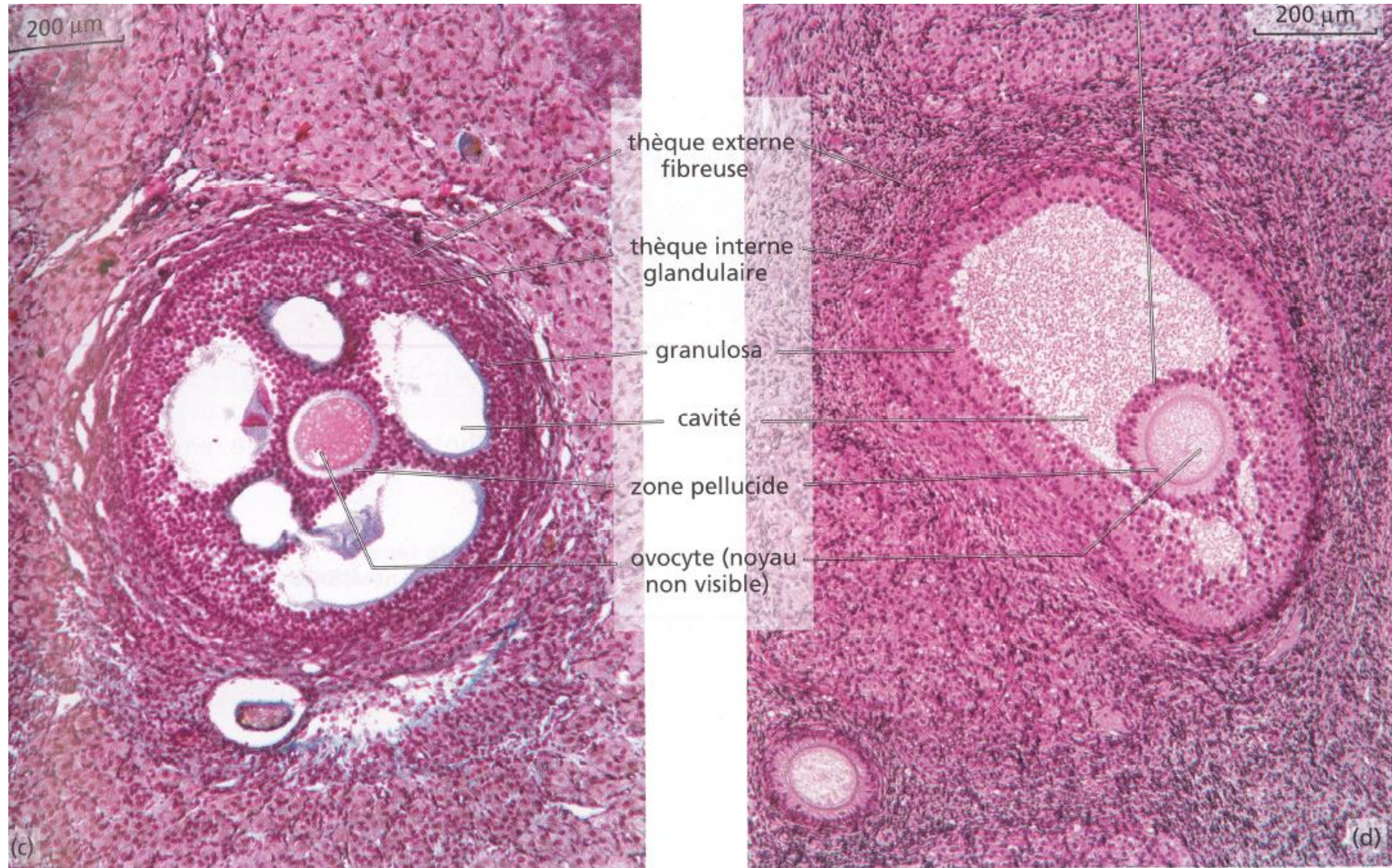
**Figure TP5.37** Vue d'ensemble d'une coupe transversale d'un ovaire (MO x 40).



**Figure TP5.38** Les étapes de la folliculogenèse (MO x 400).

(a) Follicules primordiaux et primaires dans la zone corticale (b) Follicule secondaire.

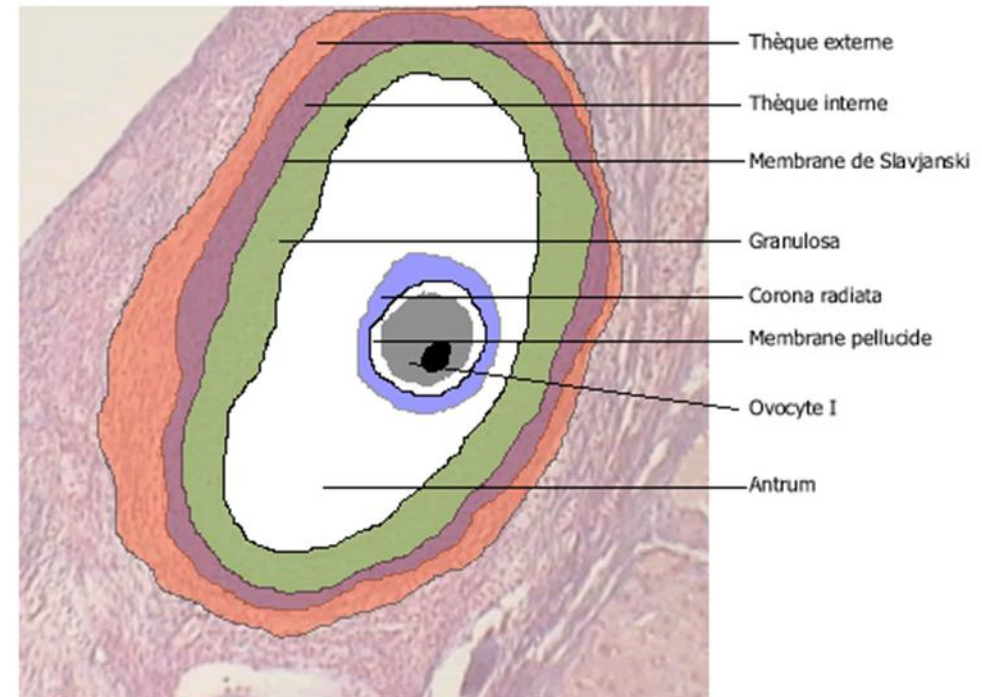
## Cumulus oophorus



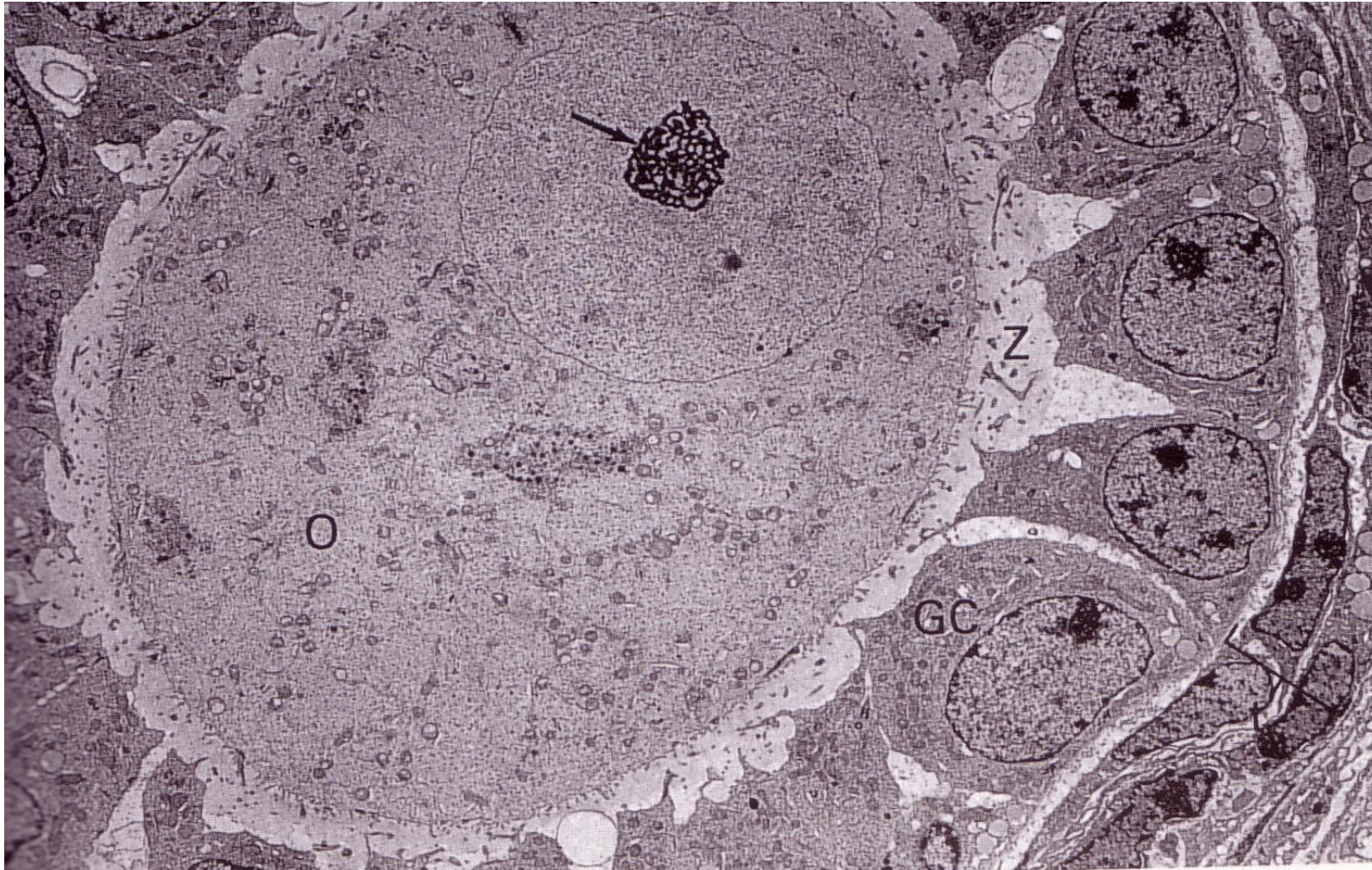
**Figure TP5.38** Les étapes de la folliculogenèse (MO x 100).  
(c) follicule tertiaire ; (d) follicule mûr.

# Follicule de De Graaf

## Follicule pré-ovulatoire

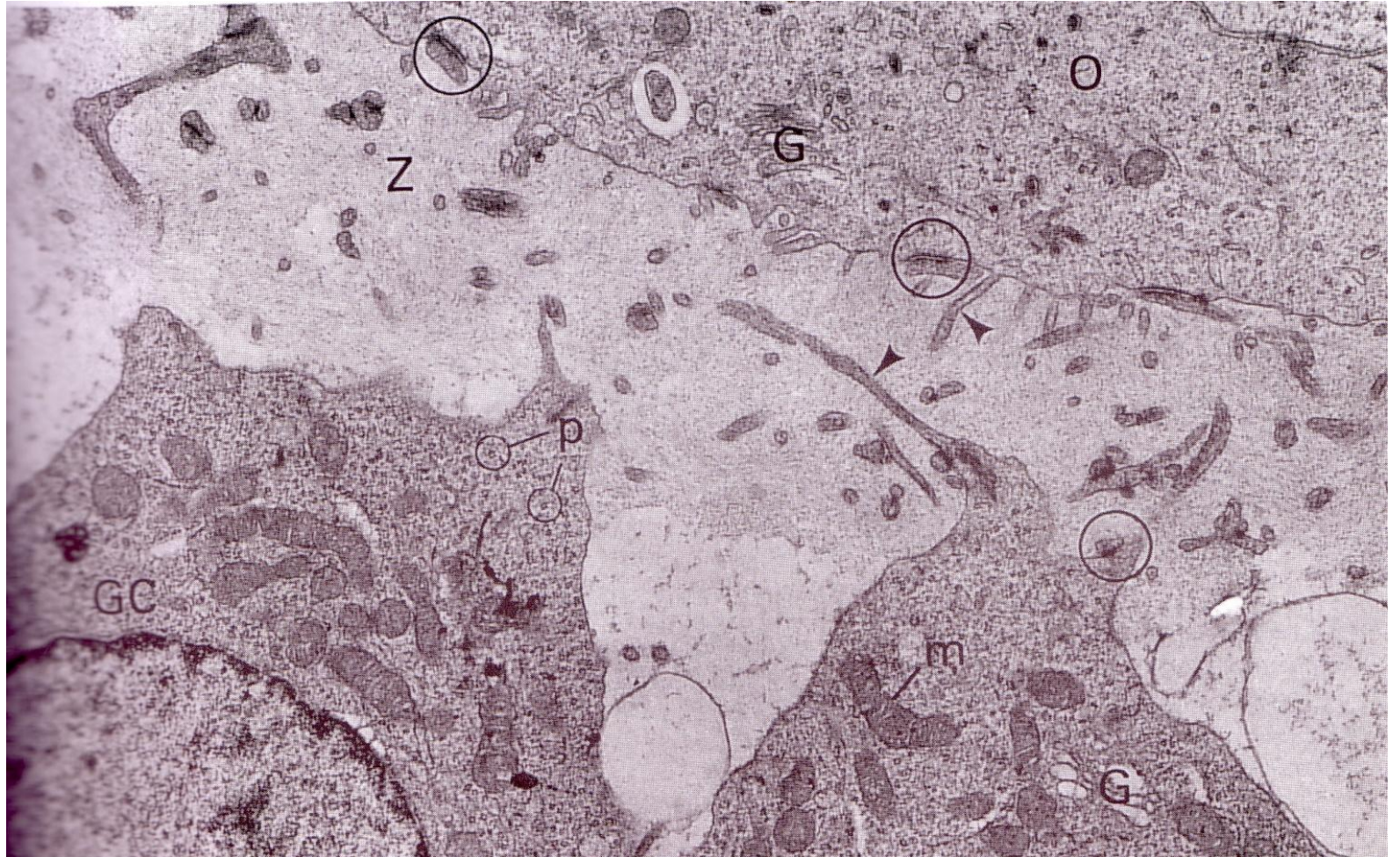


## Ovocyte dans un follicule

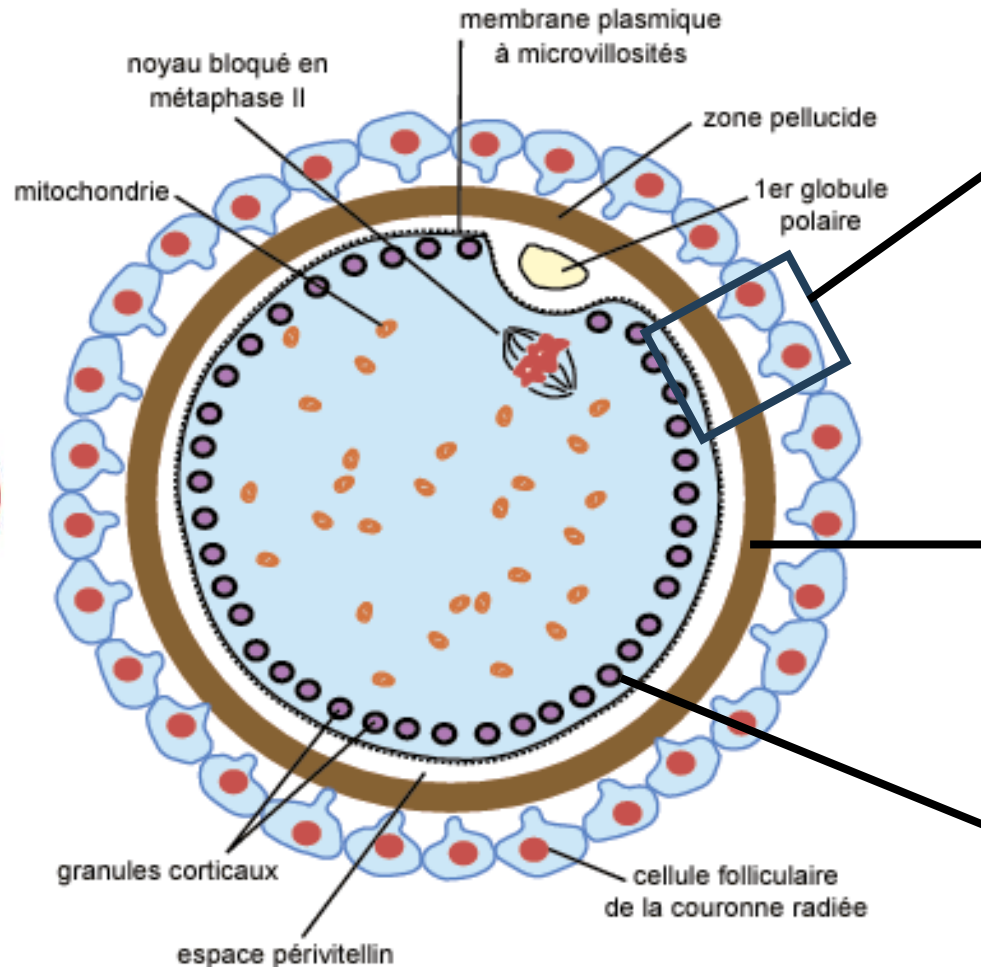


## Importance de la liaison cellule folliculaire / ovocyte

Les liaisons entre les cellules folliculaires de la granulosa et l'ovocyte permettant des échanges.



Les gamètes sont des cellules haploïdes différenciées  
**très spécialisées** et **complémentaires** sur les plans  
structural et fonctionnel



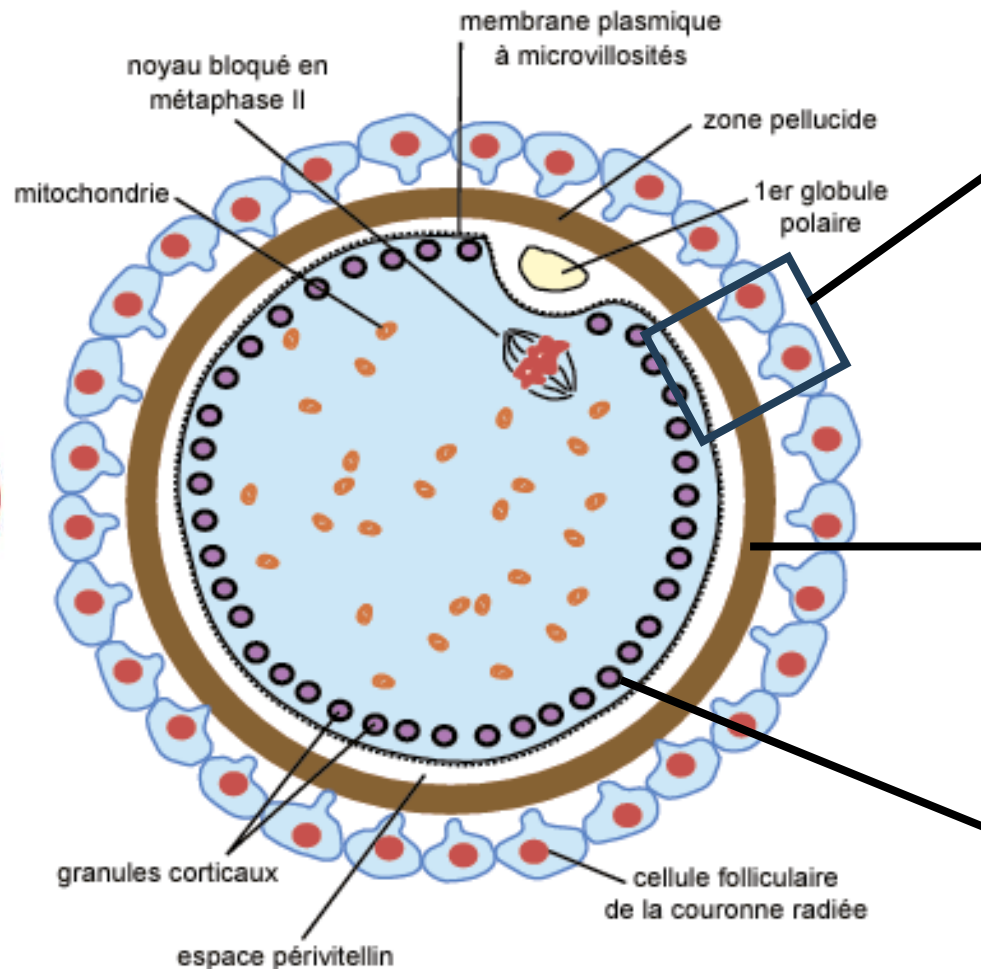
Zone de contact entre les  
microvillosités de la membrane de  
l'ovocyte et les cellules folliculaires  
**[fonction]??**

Zone pellucide  
**[fonction]??**

Granules corticaux  
**[fonction]??**

(b) ovocyte de 100  $\mu\text{m}$  de diamètre

Les gamètes sont des cellules haploïdes différenciées  
**très spécialisées** et **complémentaires** sur les plans  
structural et fonctionnel



Zone de contact entre les  
microvillosités de la membrane de  
l'ovocyte et les cellules folliculaires  
participe au dialogue moléculaire

Zone pellucide, participe à  
l'interaction et la reconnaissance des  
spermatozoïdes

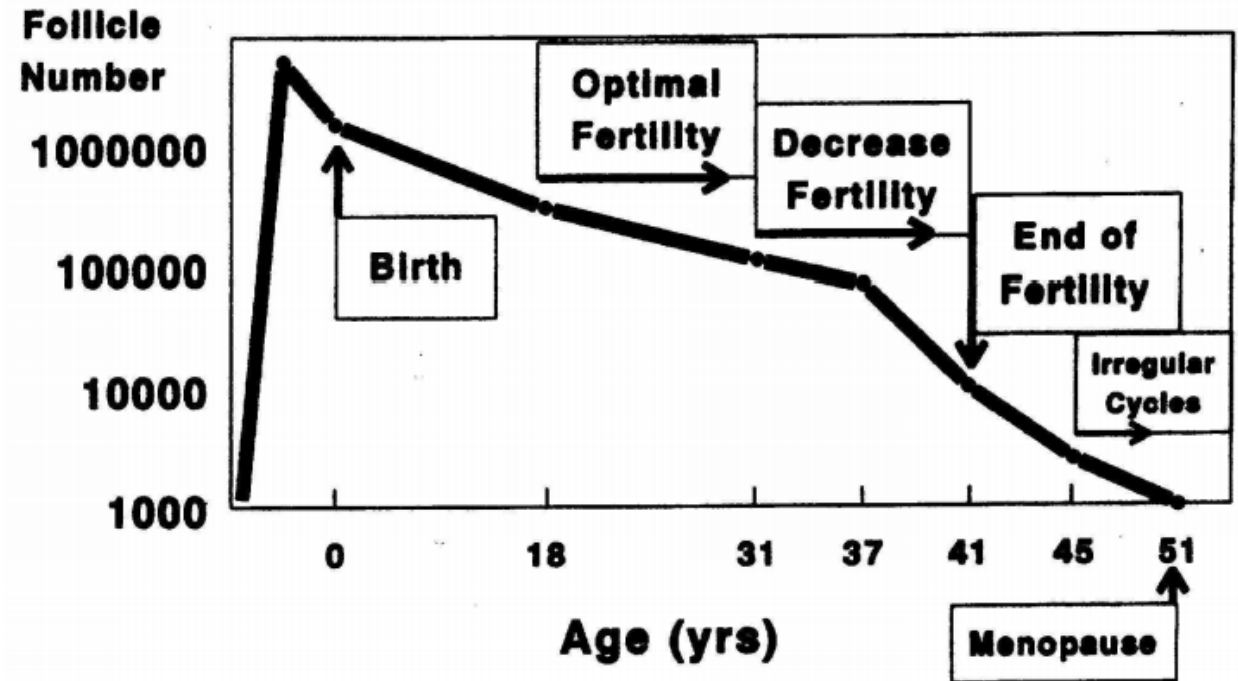
Granules corticaux qui seront  
exocytés lors de la fécondation et  
contribuent à limiter la polyspermie

(b) ovocyte de 100  $\mu\text{m}$  de diamètre

# Mise en place des ovocytes I avant la naissance

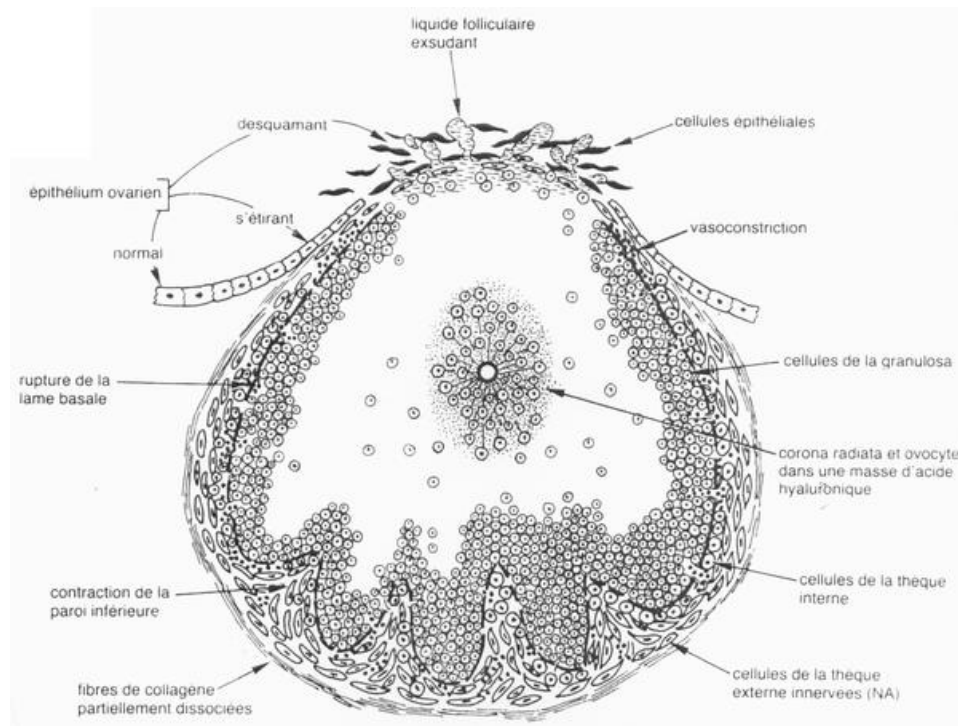
Phénomène **d'atrésie** : de nombreux follicules dégénèrent  
Jusqu'à  $7 \cdot 10^6$  ovocytes I dans l'ovaire foetal, puis décroissance vers 400 000 ovocytes I en réserve à la puberté.

400 à 500 follicules arrivent jusqu'au stade de l'ovulation entre la puberté et la ménopause.



- Croissance folliculaire **basale** :
  - avant la puberté c'est la seule phase de la folliculogenèse.
  - aboutie à la formation de follicules III.
  - commence avant la phase folliculaire du cycle ( sous l'influence de facteurs de croissances )
  - phase indépendante de FHS et LH.
- Croissance folliculaire **terminale** :
  - à partir de la puberté
  - dépendante de la FSH – apparition de récepteurs à la LH sur la granulosa
  - recrutement des follicules III

## Ponte ovulaire suite à la décharge ovulante (pic de LH)



# Ovulation

= Rupture et expulsion de l'ovocyte bloqué en métaphase II, recueilli par le pavillon de l'oviducte.

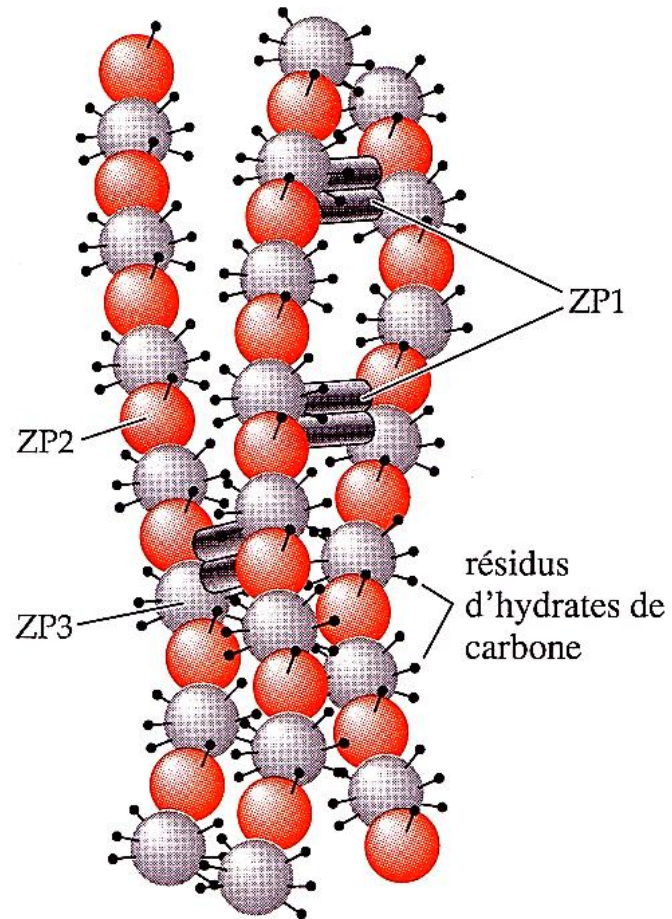
Rappel l'ovocyte reste bloqué en prophase I méiotique car les cellules de la granulosa sécrètent OMI – en raison du pic de LH, l'ovocyte n'est plus soumis à l'inhibition par OMI donc il reprend sa méiose et est bloqué en métaphase II.

Après ovulation, transformation des cellules de la thèque de la granulosa en corps jaune qui sécrète des hormones sexuelles stéroïdes. Ce corps jaune régresse en l'absence de stimulation hormonale par l'HCG produite par l'embryon puis le placenta.

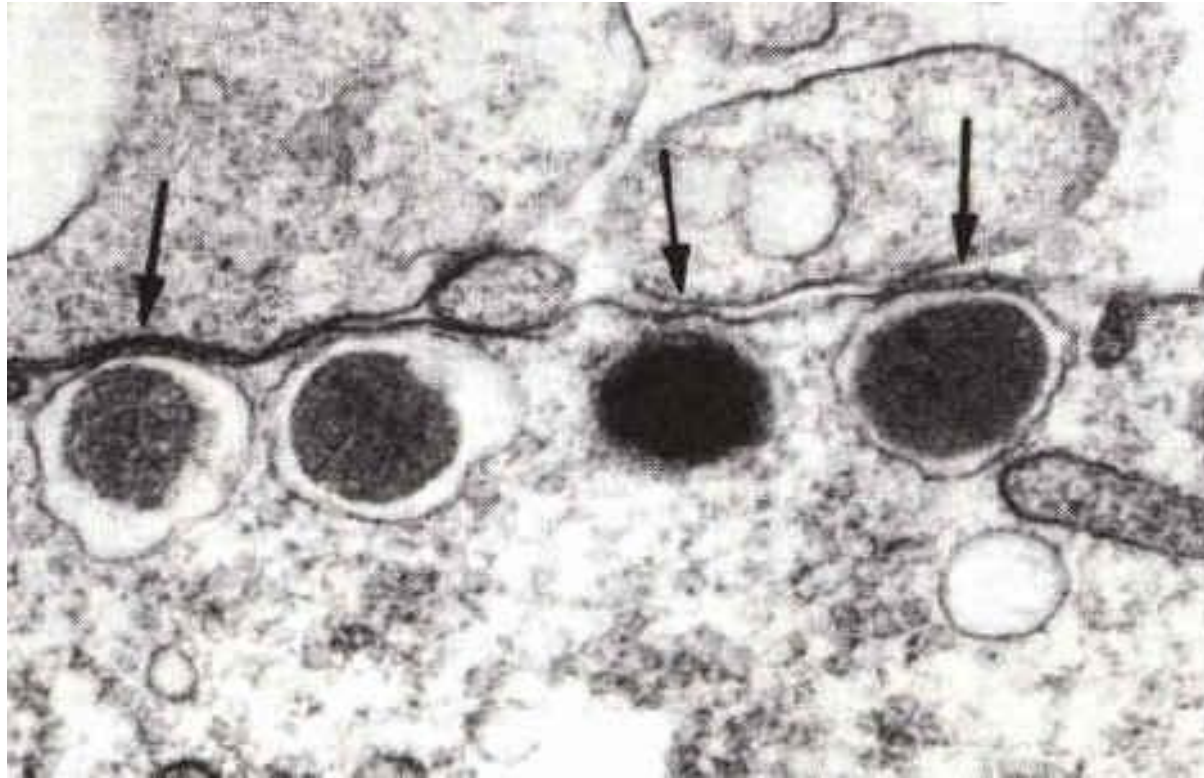
## c. Métabolisme au cours de l'ovogénèse

- **Le cytoplasme de l'ovocyte est très original par l'accumulation d'ARNm et de protéines à des endroits précis qui seront indispensables aux premières étapes du DE** (étapes « préparées » avant la fécondation).
- L'ovocyte s'entoure de la zone pellucide chez les mammifères, une zone acellulaire riche en protéines ZP1, ZP2 et ZP3.
- Accumulation de granules corticaux sous la membrane plasmique
- Accumulation de réserves faible chez les mammifères = œuf alectithes

# Protéines ZP de la zone pellucide



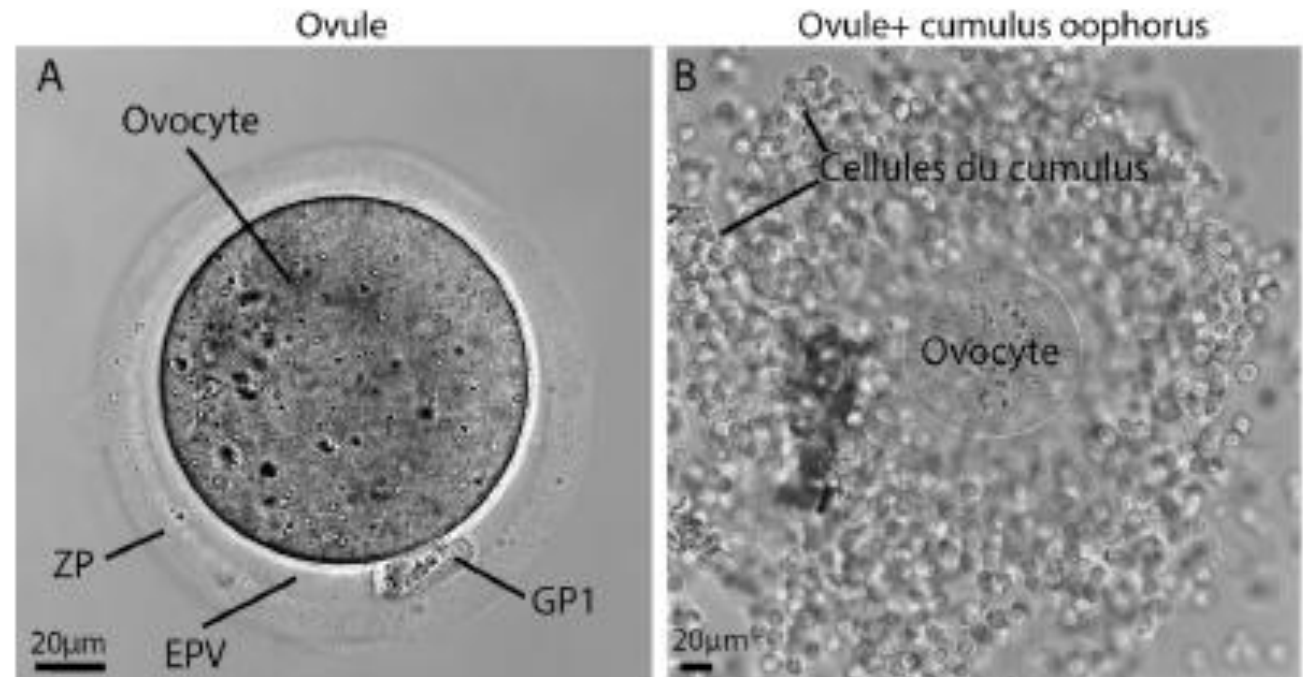
# Granules corticaux sous la membrane plasmique de l'ovocyte



# Absence de réserves chez les Mammifères

Œuf Alécithe en liaison avec la viviparité

Lien SV-H développement : avec réserves chez la grenouille (hétérolécithe)



# Différentes stratégies d'accumulation de réserves

- **Peu de réserves, donc œuf peu « coûteux » énergétiquement, et œufs produits en grand nombre donnant des individus au plan d'organisation simple (souvent des larves) = stratégie r ;**
- **Beaucoup de réserves, donc œuf coûteux en énergie mais produit en petit nombre, donnant un individu complexe, très bien adapté à son milieu = stratégie k.**

Remarquons que des œufs télolécithes (riches en réserves) existent dans l'eau (céphalopodes) comme dans l'air : l'œuf télolécithe n'est pas une originalité du milieu aérien.

# Bilan : le gamète femelle (en fait ovocyte II) est une cellule très différenciée

Surtout par sa polarité et la qualité de son cytoplasme

Ovocyte = grosse cellule polarisée, avec ARN et protéines (et réserves éventuelles) distribués de façon différentielle.

Cellule immobile complémentaire du gamète mâle.

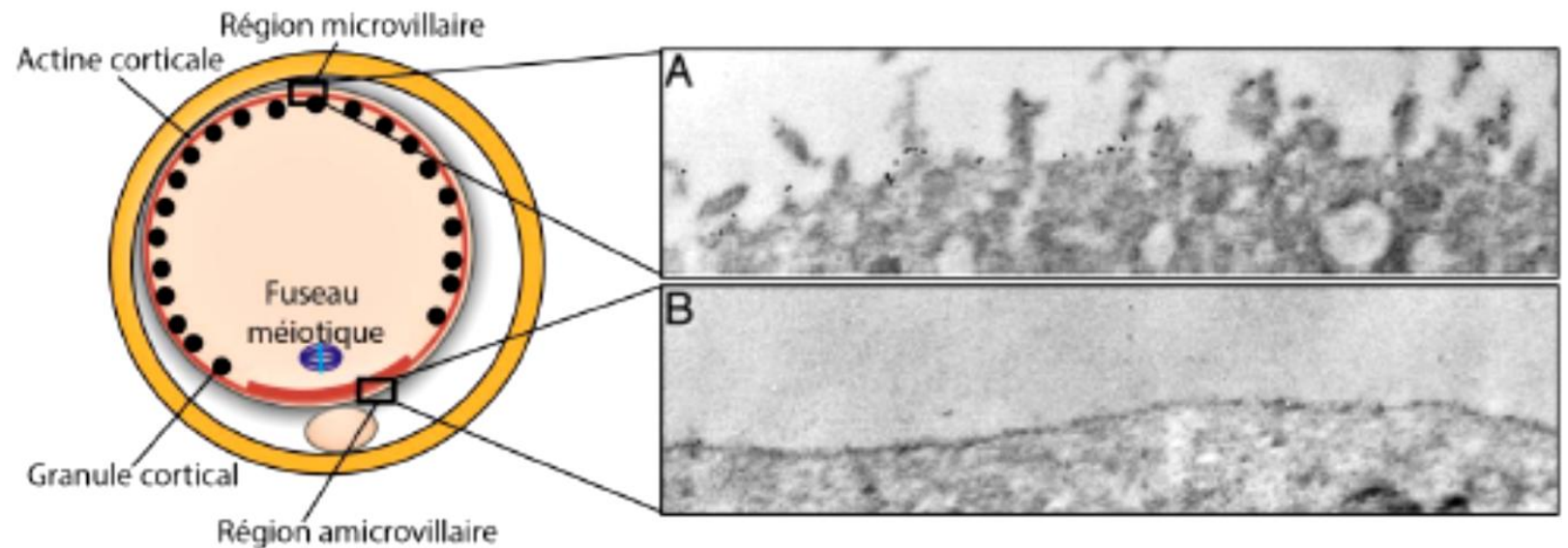
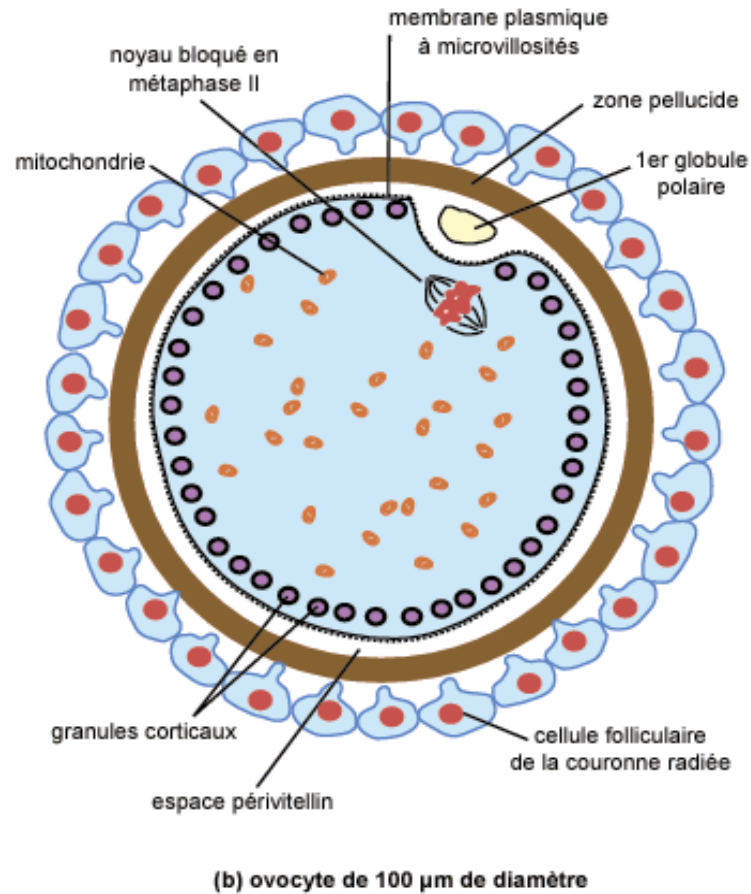
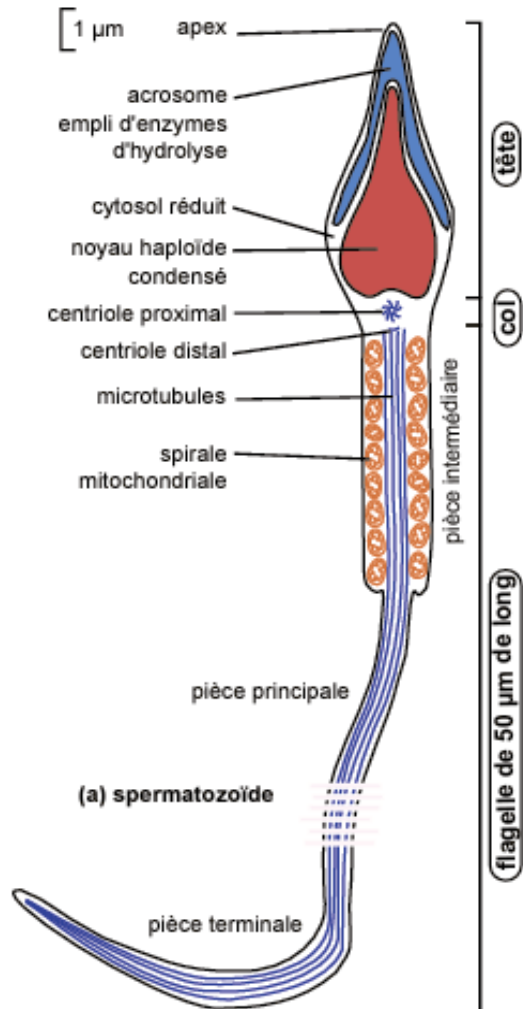


Figure 2. Schéma d'un ovocyte murin avec ses régions microvillaire (A) et amicrovillaire (B). A et B sont des coupes de microscopie électronique de membranes ovocytaires issues d'Evans et al 2000.

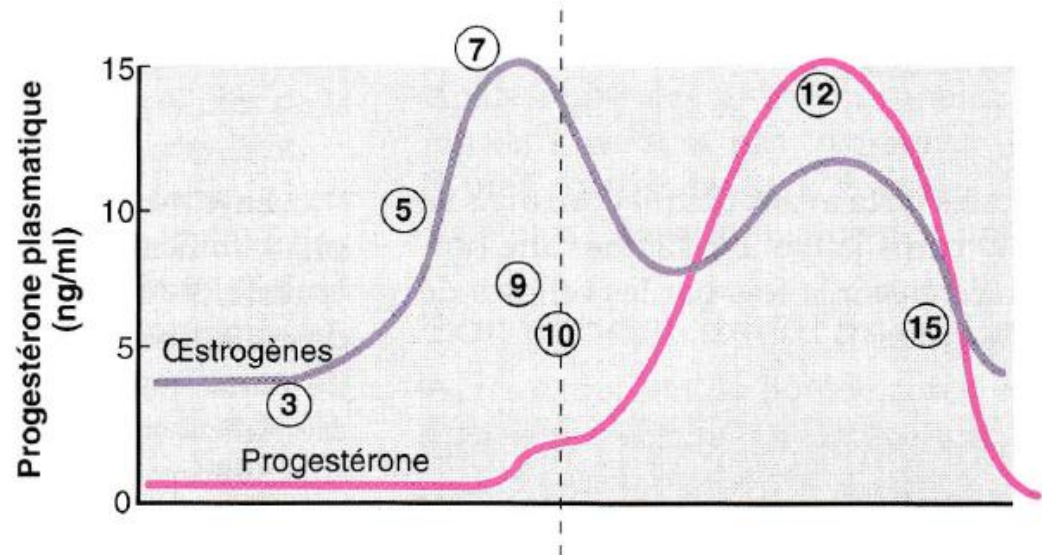
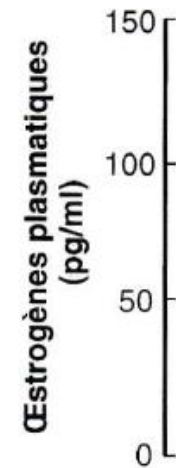
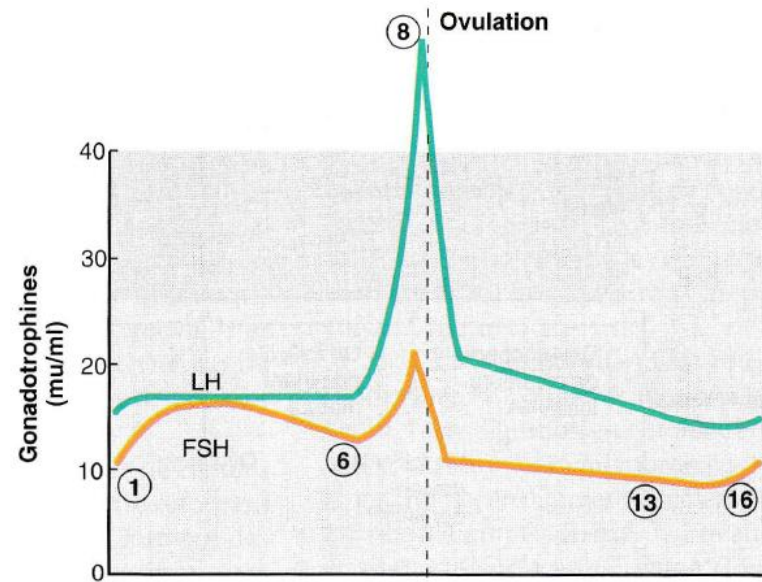
Les gamètes sont des cellules haploïdes différenciées  
**très spécialisées** et **complémentaires** sur les plans  
structural et fonctionnel



*Schémas à savoir faire - Liens  
structure/fonction à connaître*

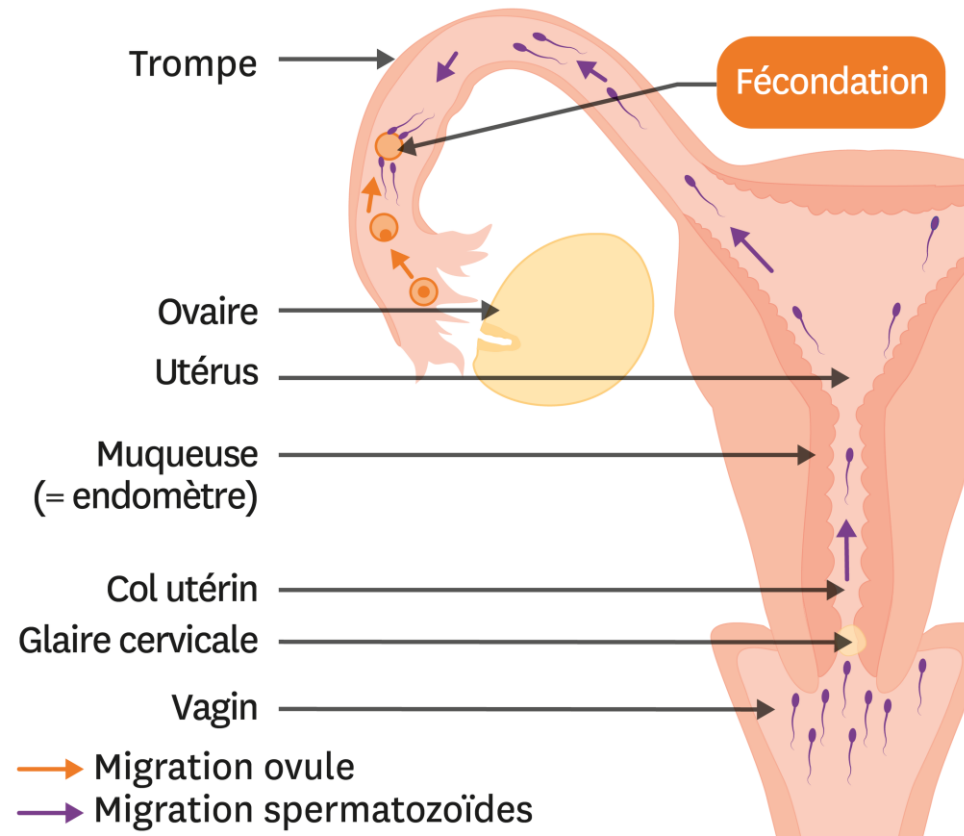
# Rappel sup et lycée

Cycle sous la dépendance des hormones ovariennes (œstrogènes et progestérone), et hypophysaire (LH et FSH)



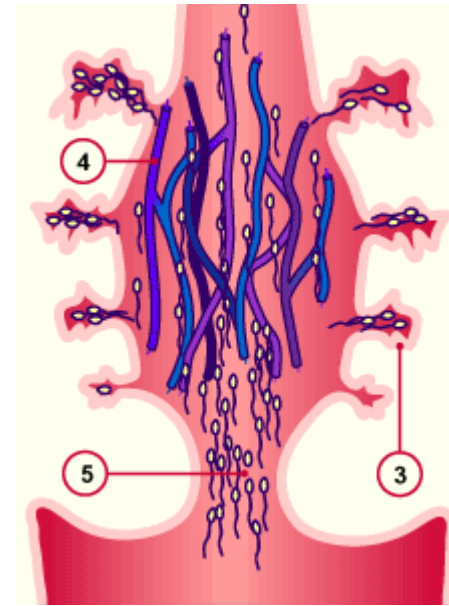
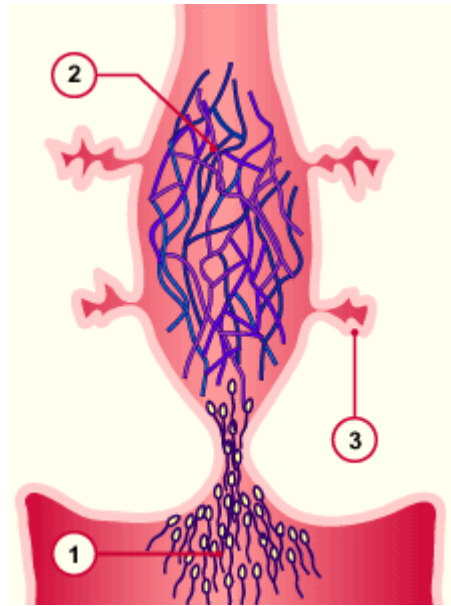
### 3.3. Rencontre et reconnaissance des gamètes dans les voies génitales femelles

Exemple chez la femme :



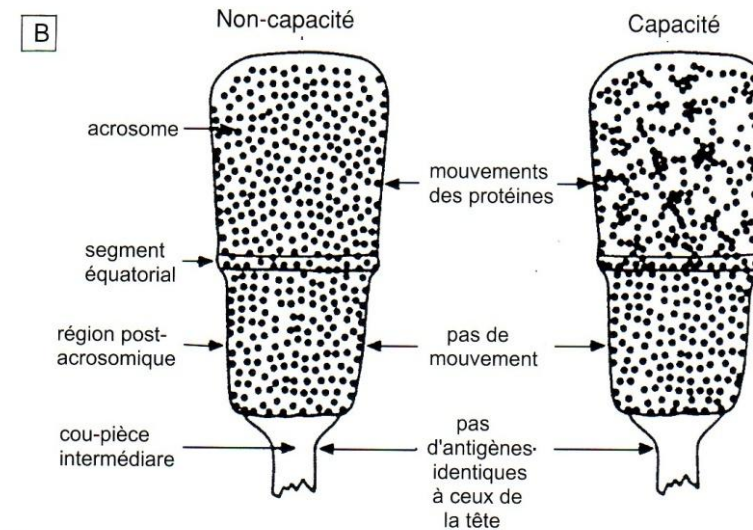
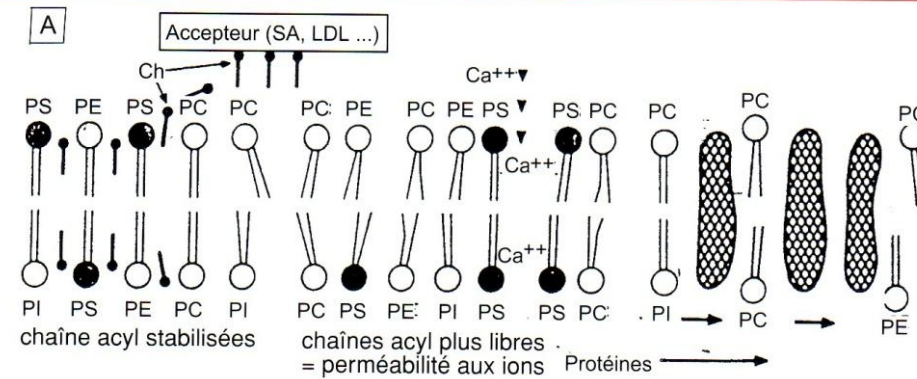
# Modifications du mucus au niveau du col de l'utérus dans la période ovulatoire

Franchissement du col de l'utérus chez la femme dépendante du moment du cycle : modification de la glaire cervicale



# Capacitation

## Dans les voies génitales femelle



**Planche 6.4.** — A. Au cours de la capacitation, des protéines de revêtement liées principalement à la phosphatidylcholine (PC) se détachent. Le cholestérol (Ch), qui permet un ordonnancement régulier des phospholipides dans la membrane, est enlevé partiellement par des accepteurs présents dans les milieux tubaires et utérins (sérum albumine = SA, lipoprotéines (LDL)) ou introduits *in vitro* dans les milieux de capacitation notamment la SA. Ceci permet aux ions de pénétrer entre les feuillets formés par les phospholipides : le  $\text{Ca}^{2+}$  se fixe à la phosphatidylsérine (PS) qui perd son rôle stabilisateur sur la phosphatidyléthanolamine (PE), laquelle tend à former des micelles, ce qui facilite la fusion membranaire. B. Ces changements facilitent la migration des protéines de la membrane plasmique ; il se crée ainsi des domaines membranaires sans protéines favorisant la fusion des membranes plasmique et acrosomique interne lors de la fixation à la zone pellucide (réaction acrosomique). PI : phosphatidylinositol (d'après Fournier-Delpech S., Thibault C., in *Reproduction in mammals and man* Thibault C., Levasseur M-CI et Hunter R.H.F. Eds, Ellipses, Paris 1993).

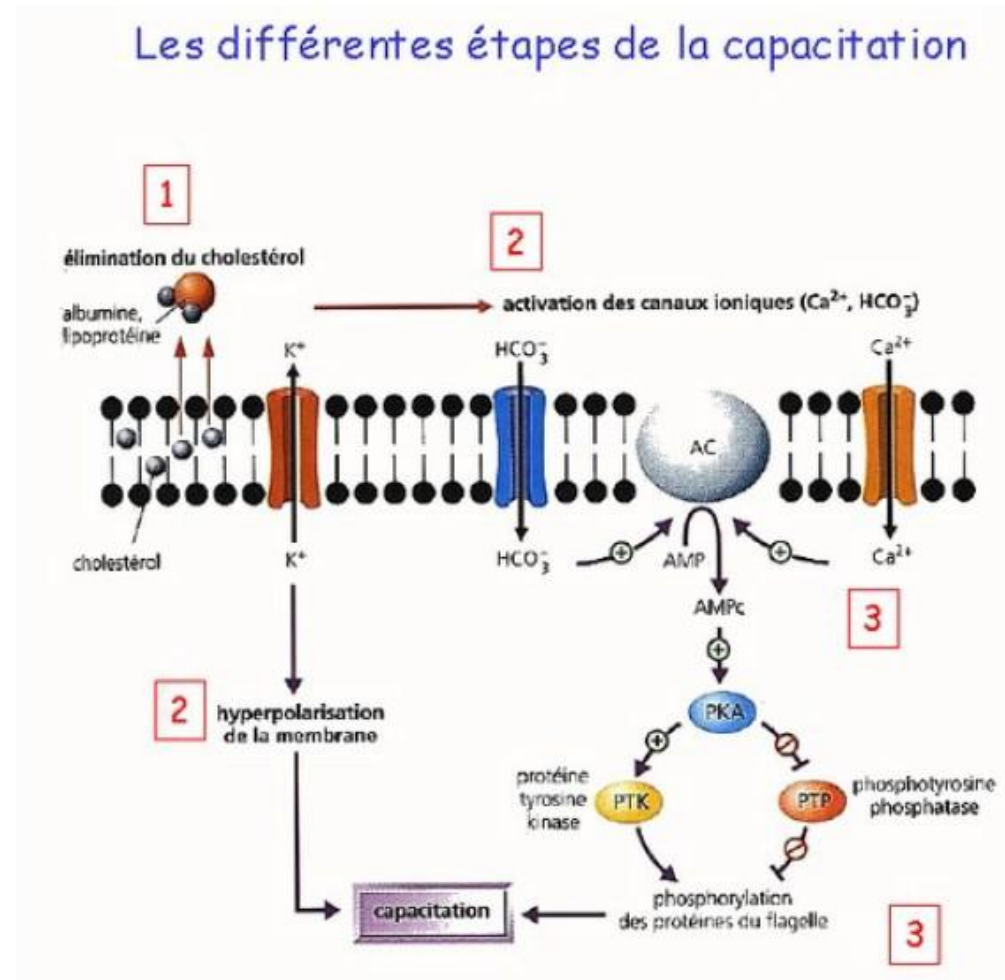
# Capacitation

- 1/Modifications de la membrane du spermatozoïde
  - Enlèvement des protéines déposées au cours du trajet épидидymaire
  - Modifications de la composition en lipides : Diminution des du cholestérol, qui limite l'insertion et la mobilité des protéines dans la membrane.
- 2/ Modification de la perméabilité membranaire
  - Entrée massive de  $\text{Ca}^{++}$
  - Augmentation du métabolisme : entraine la modification du mouvement du spermatozoïde -> mouvement Hyperactivé: augmentation de la fréquence et de l'amplitude de l'onde flagellaire

Remarque :

Animaux à fécondation externe (exemple de la moule) : capacitation dans l'eau de mer.

# Aspects ioniques de la capacitation du spermatozoïde



# Remarque : motilité / mobilité

**Motilité** = capacité à produire un mouvement

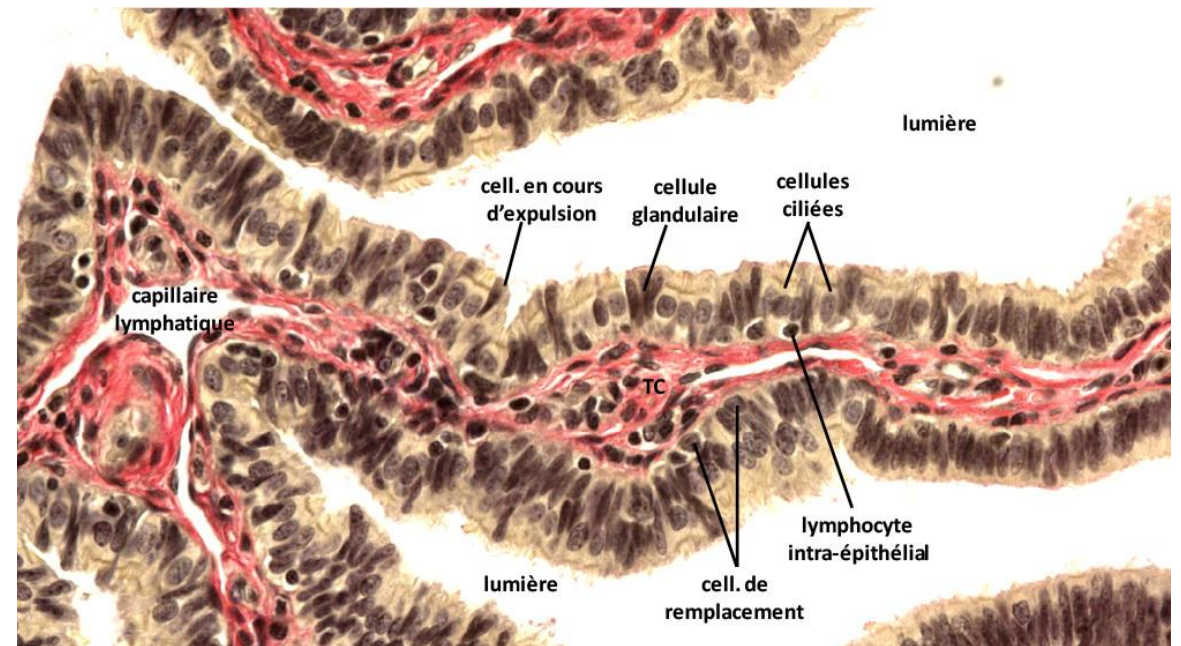
**Mobilité** = capacité à se déplacer ou à être déplacé

Image : détail de la muqueuse dans une trompe de Fallope

Cellules ciliées permettant la mise en mouvement.

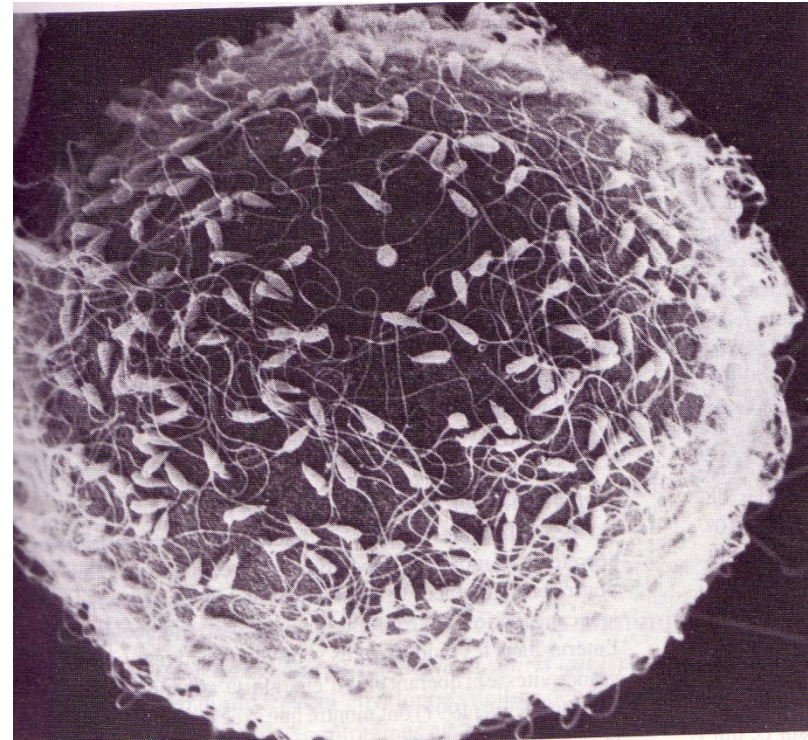
Donc spermatozoïde motile et mobile

Ovocyte II mobile mais pas motile.



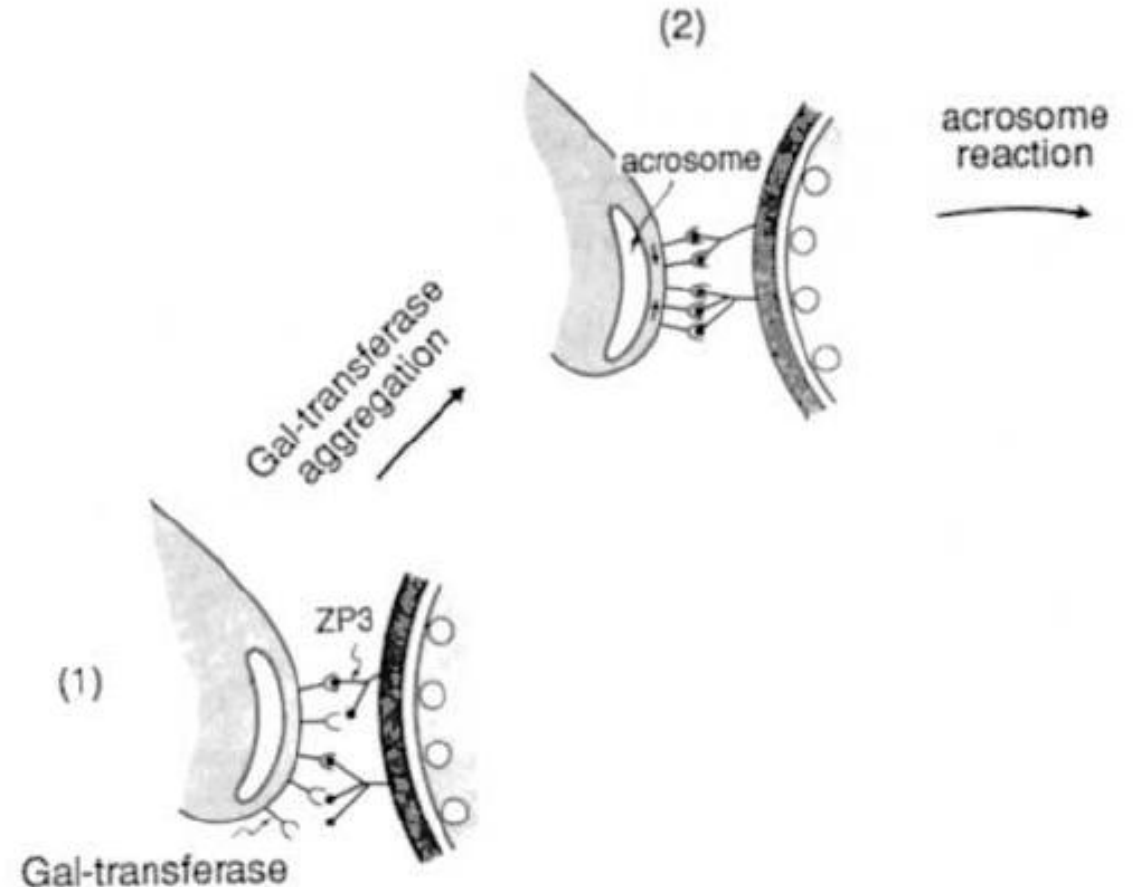
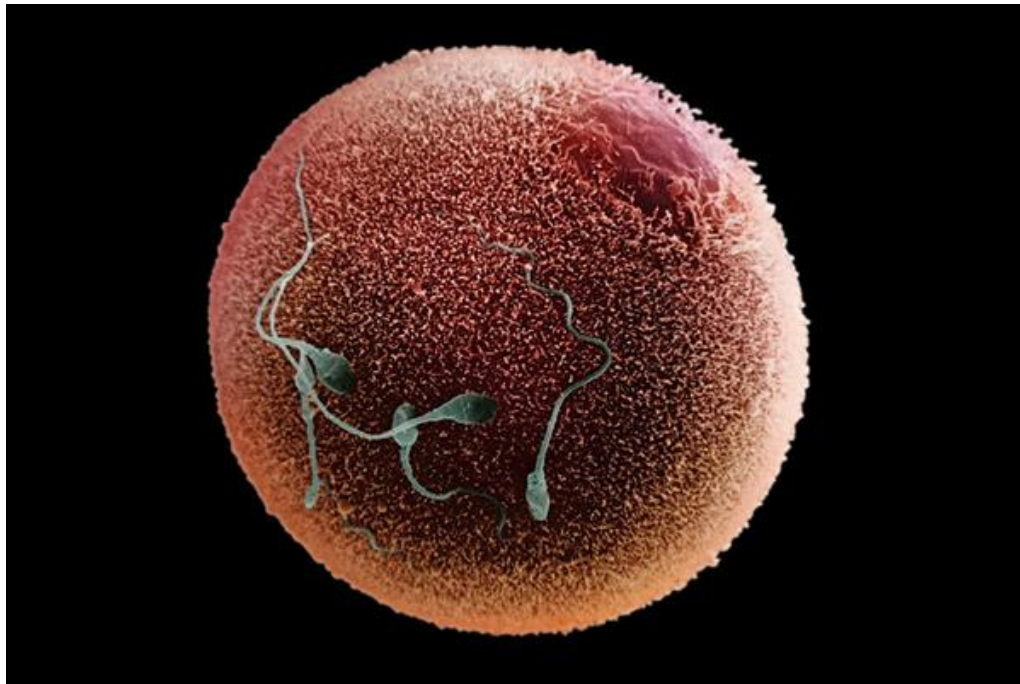
# La rencontre des gamètes

Approche de la zone pellucide

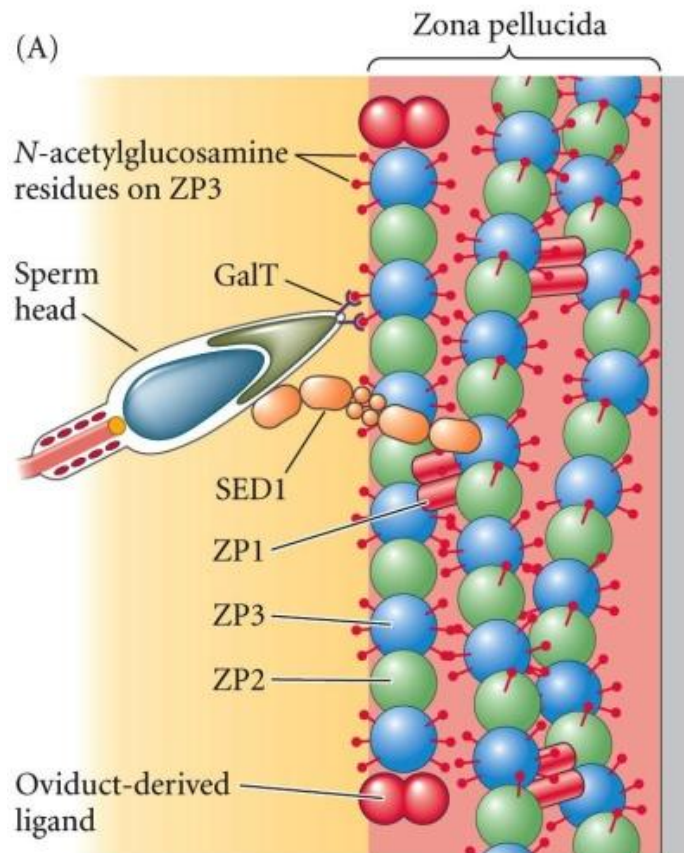


# Importance de la reconnaissance gamète mâle gamète femelle

Première interaction : ZP3 / Récepteur à ZP3 (=galactosyltransférase : Glt)



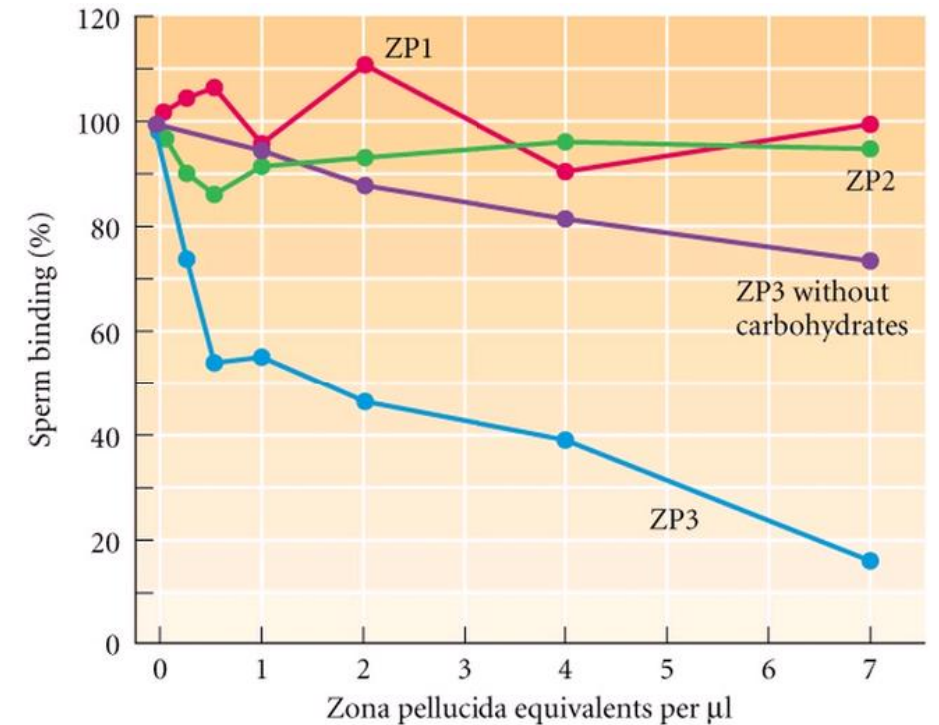
# Le franchissement de la zone pellucide par le spz implique une reconnaissance moléculaire strictement spécifique



DEVELOPMENTAL BIOLOGY, 9e, Figure 4.31



© 2010 Sinauer Associates, Inc.

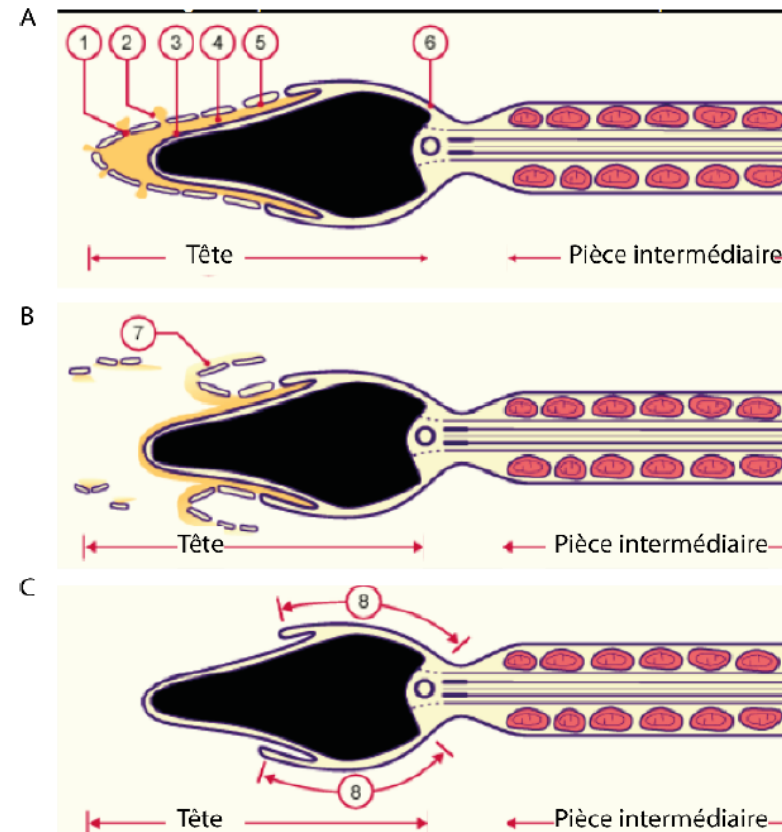


© 2000 Sinauer Associates, Inc.

Test in vitro mesurant le % de spermatozoïdes fixés à la zone pellucide d'un ovocyte II après une étape de pré-incubation du sperme avec des doses croissantes de protéines ZP purifiées (d'après Bled et Wassarman 1989 ; Florman et Wassarman, 1985)

# Réaction acrosomique : libération du contenu de l'acrosome

Libération d'enzymes permettant la désorganisation de la zone pellucide



**Figure 7.** Schéma de la réaction acrosomique du spermatozoïde.

**A :** Spermatozoïde « non acrosome réagi ».

**B :** Spermatozoïde en cours de réaction acrosomique.

**C :** Spermatozoïde « acrosome réagi »

1 Pores

2 Sortie du contenu acrosomique

3 Membrane acrosomique interne

4 Contenu acrosomique (enzymes)

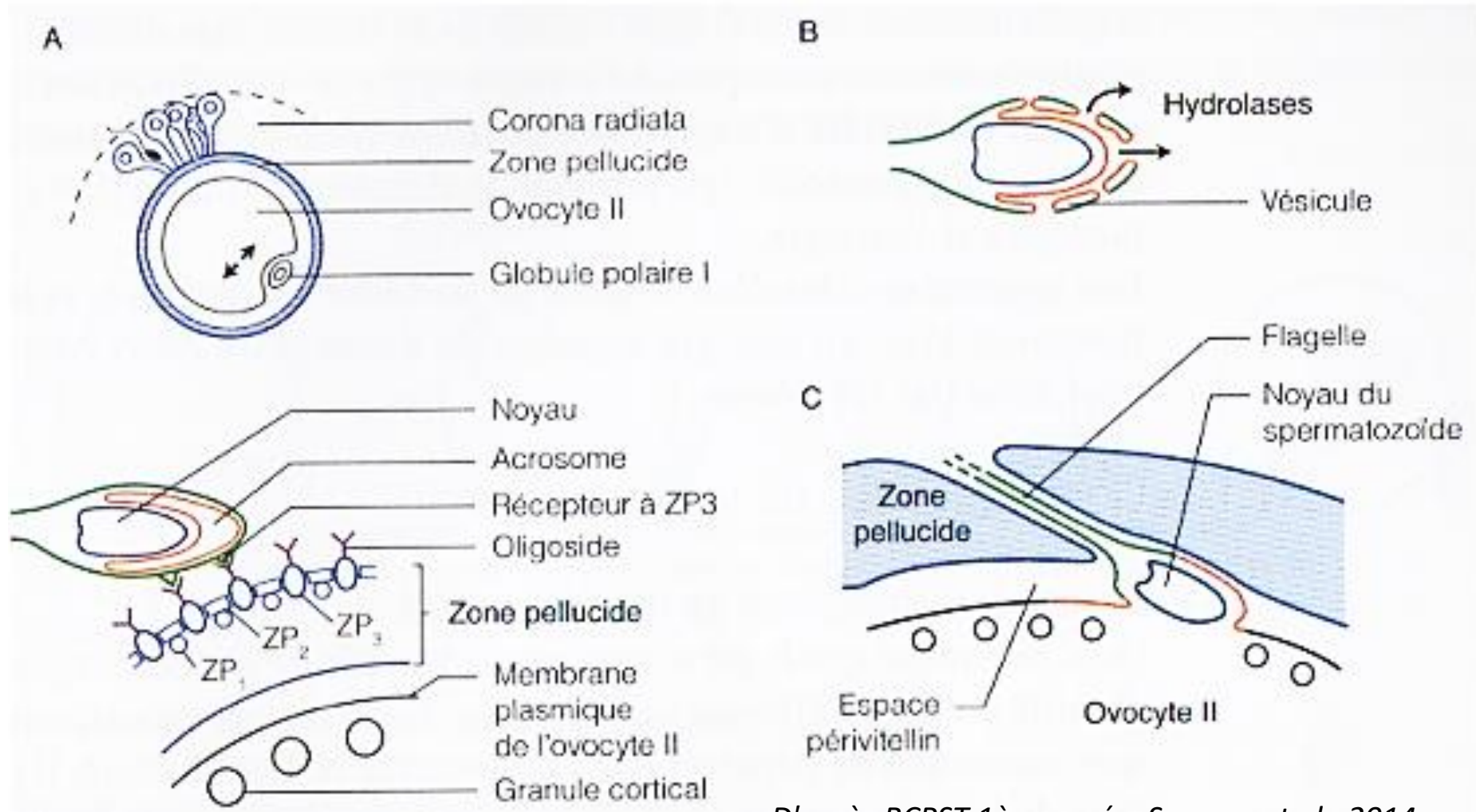
5 Membrane acrosomique externe

6 Membrane cellulaire

7 Restes de membranes qui se décrochent

8 Zone membranaire post-acrosomique

# La réaction acrosomiale permet la destruction de la zone pellucide et la pénétration du spermatozoïde dans l'ovocyte



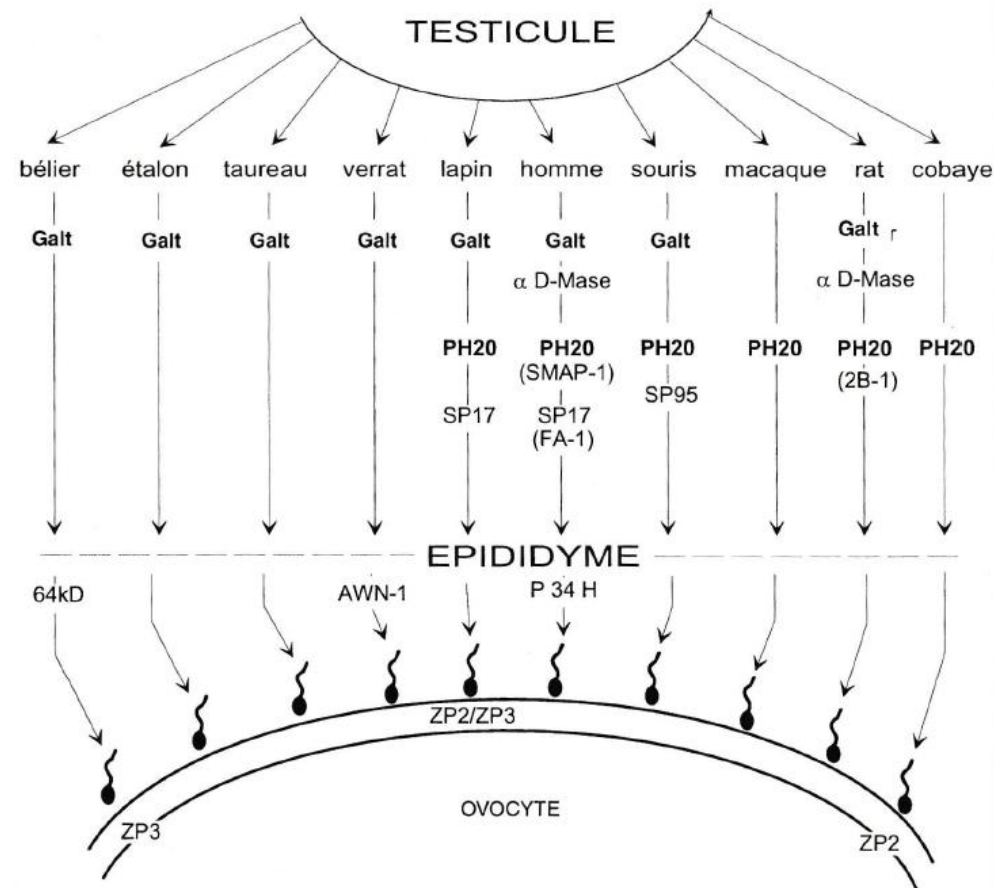
*D'après BCPST 1ère année, Segarra et al., 2014.*

# Différentes protéines de reconnaissance

Pour Homo sapiens : Galt (/ZP3) puis PH20 (/ZP2)

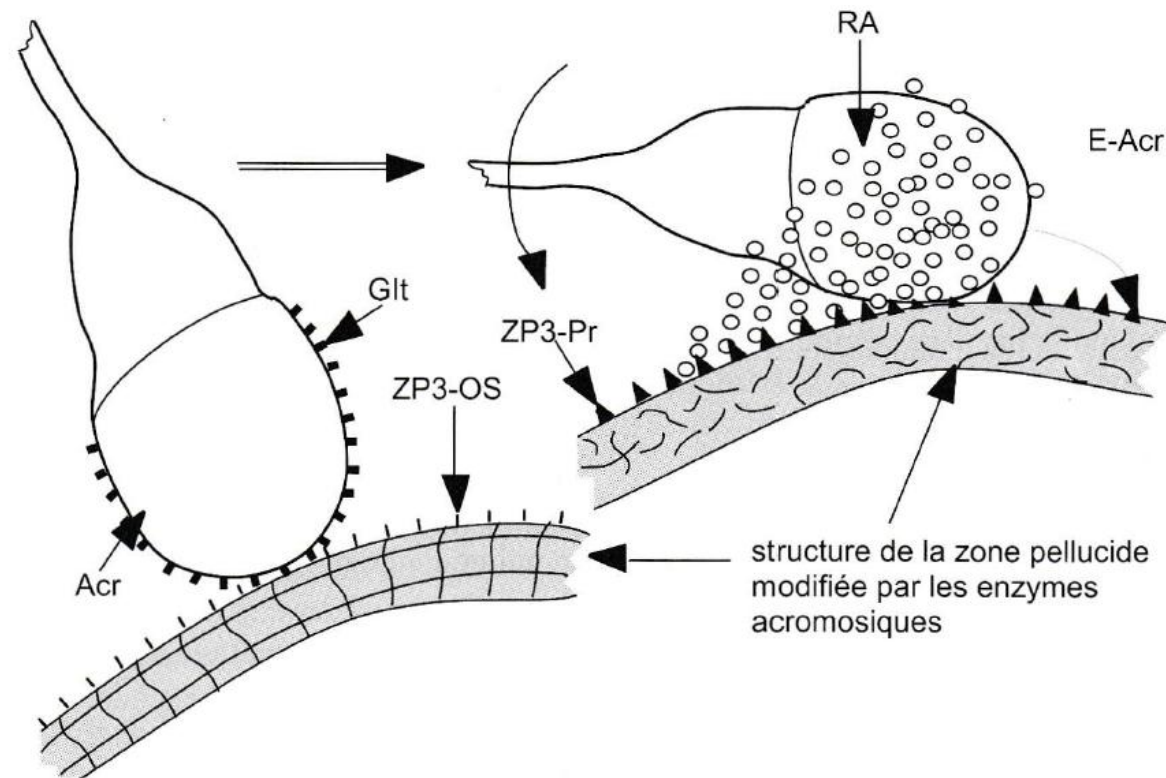
Galt = galactosyl  
transférase

Liaison entre le galactose  
porté par la membrane  
du spermatozoïde et les  
oligosaccharides des  
glycoprotéines ZP

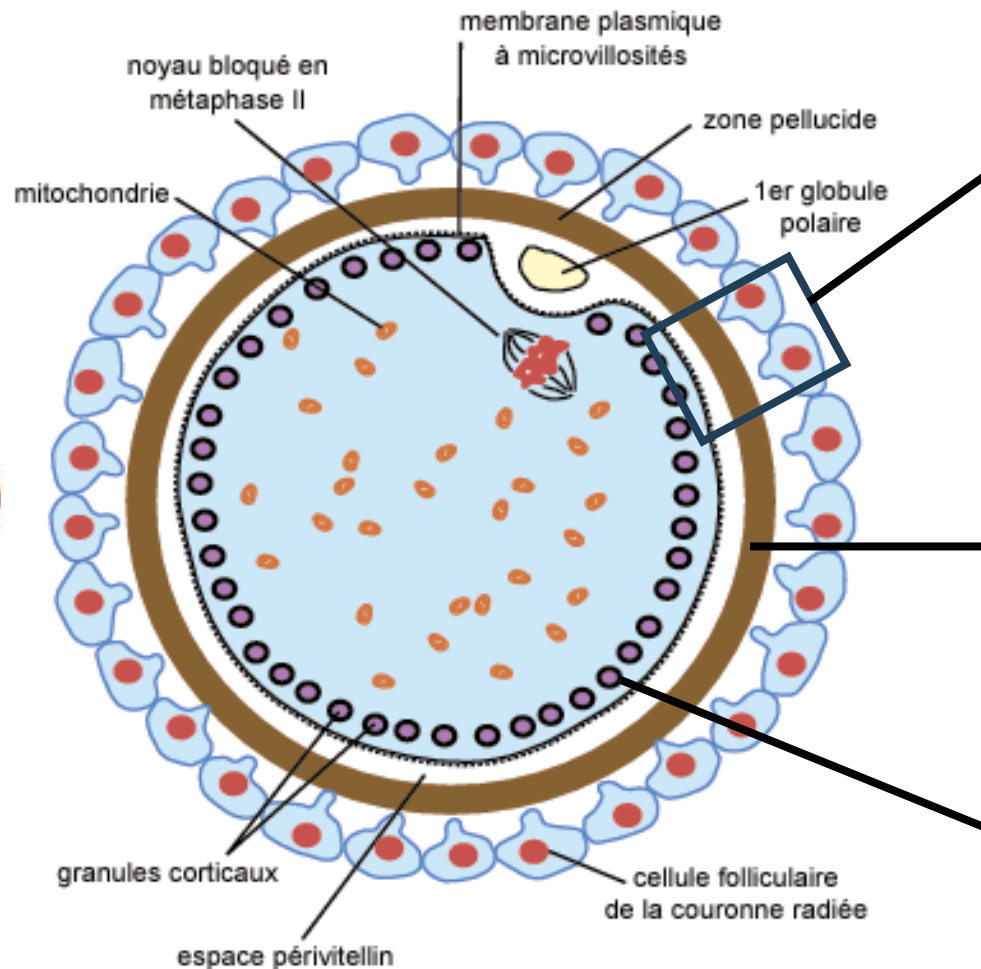


# Reconnaissance : une barrière interspécifique

Reconnaissance et modification de la zone pellucide : pénétration des spermatozoïdes vers la membrane de l'ovocyte II



Les gamètes sont des cellules haploïdes différenciées  
**très spécialisées** et **complémentaires** sur les plans  
structural et fonctionnel



(b) ovocyte de 100  $\mu\text{m}$  de diamètre

Zone de contact entre les  
microvillosités de la membrane de  
l'ovocyte et les cellules folliculaires  
participe au dialogue moléculaire

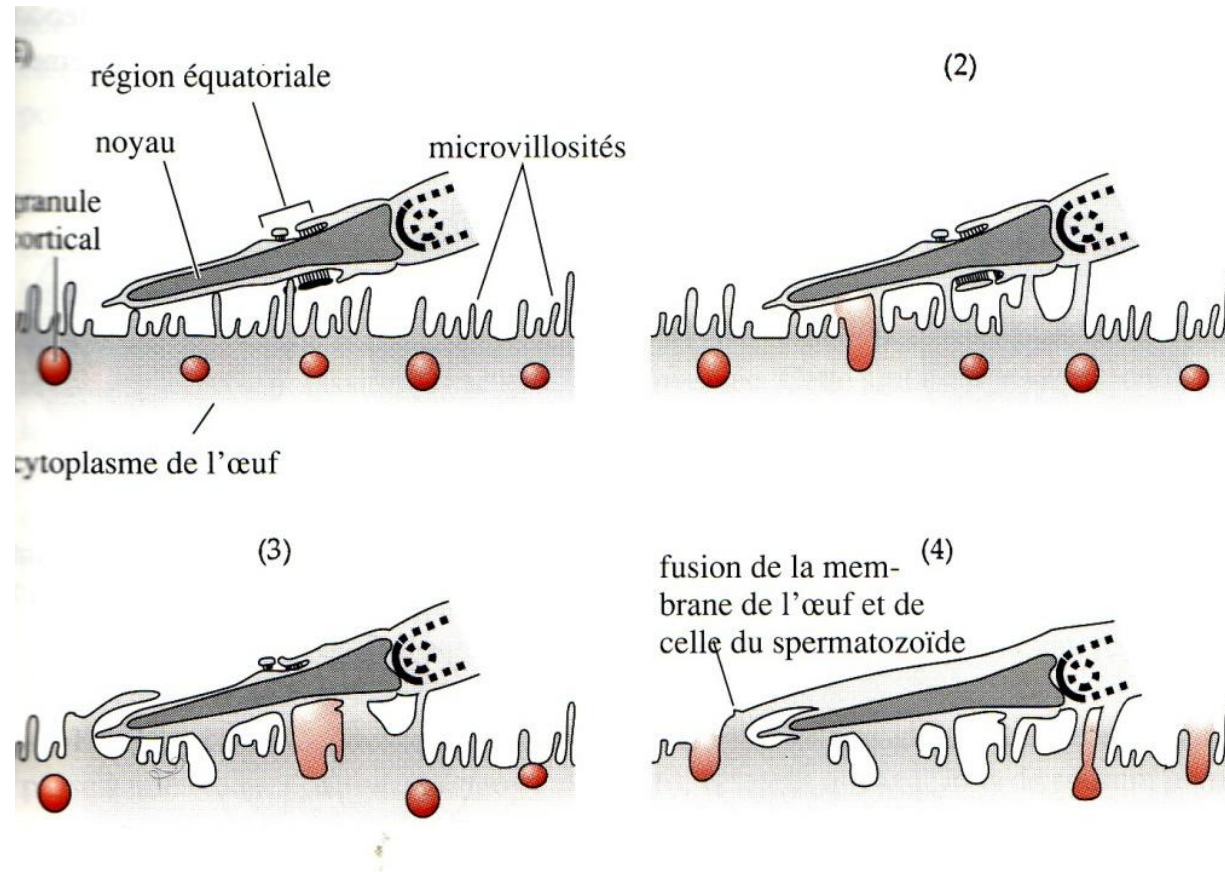
Zone pellucide, participe à  
l'interaction et la reconnaissance des  
spermatozoïdes

Granules corticaux qui seront  
exocytés lors de la fécondation et  
contribuent à limiter la polyspermie



# 3.4. Union des gamètes et formation du zygote

## Pénétration du spermatozoïde : fusion des membranes et plasmogamie

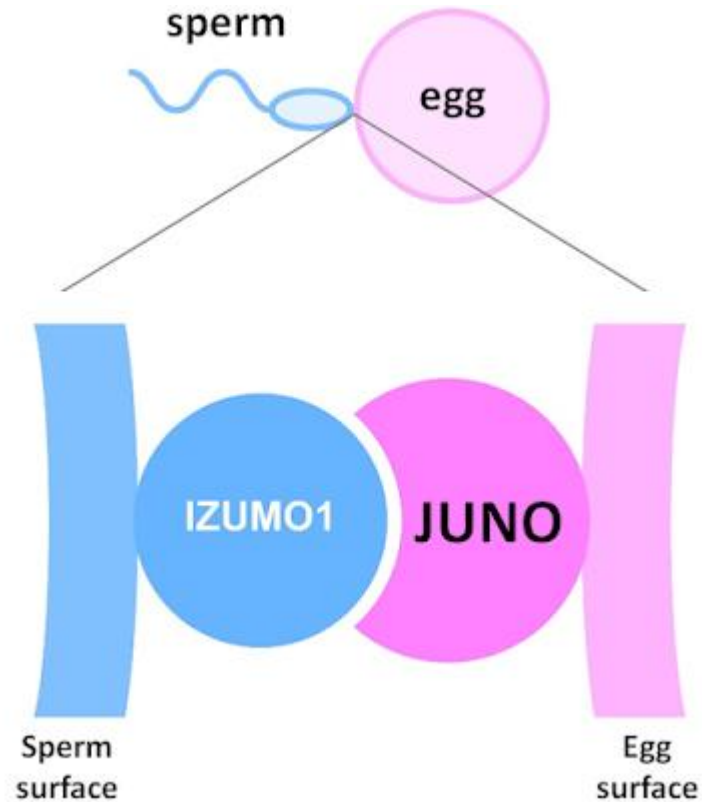


**FIGURE 4.19**

Pénétration du spermatozoïde dans l'œuf du hamster doré. (A) Micrographie à balayage de la fusion d'un spermatozoïde avec l'œuf. La surface lisse sans microvillosités correspond à l'endroit où le globule polaire a été émis. (B) En gros plan, la liaison entre le spermatozoïde et la zone pellucide. Micrographie électronique à transmission montrant (C) la tête spermatique qui franchit la zone pellucide et (D) le spermatozoïde de hamster qui fusionne parallèlement à la membrane plasmique de l'œuf. (E) Diagramme montrant la fusion de l'acrosome et de la membrane plasmique de l'œuf hérissée de ses microvillosités. (D'après Yanagimachi et Noda, 1970 ; Yanagimachi, 1988 ; photographies dues à l'amabilité de R. Yanagimachi.)

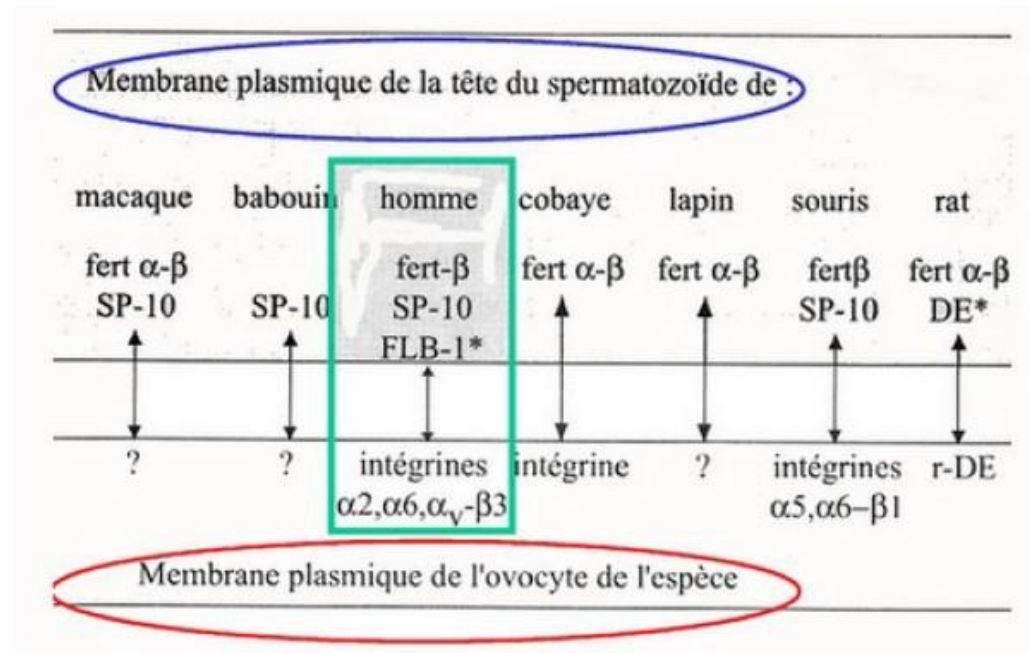
# Contact des membranes et reconnaissance

Fusion des 2 membranes initiée par interaction protéine ♂ (Izumo)  
protéine ♀ (Juno)

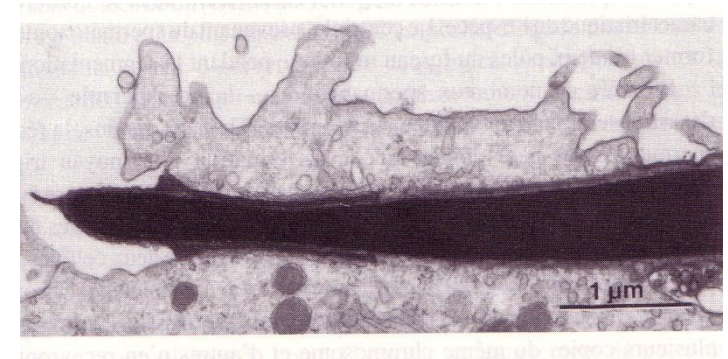


# D'autres reconnaissances à ce stade

Là aussi : des reconnaissances

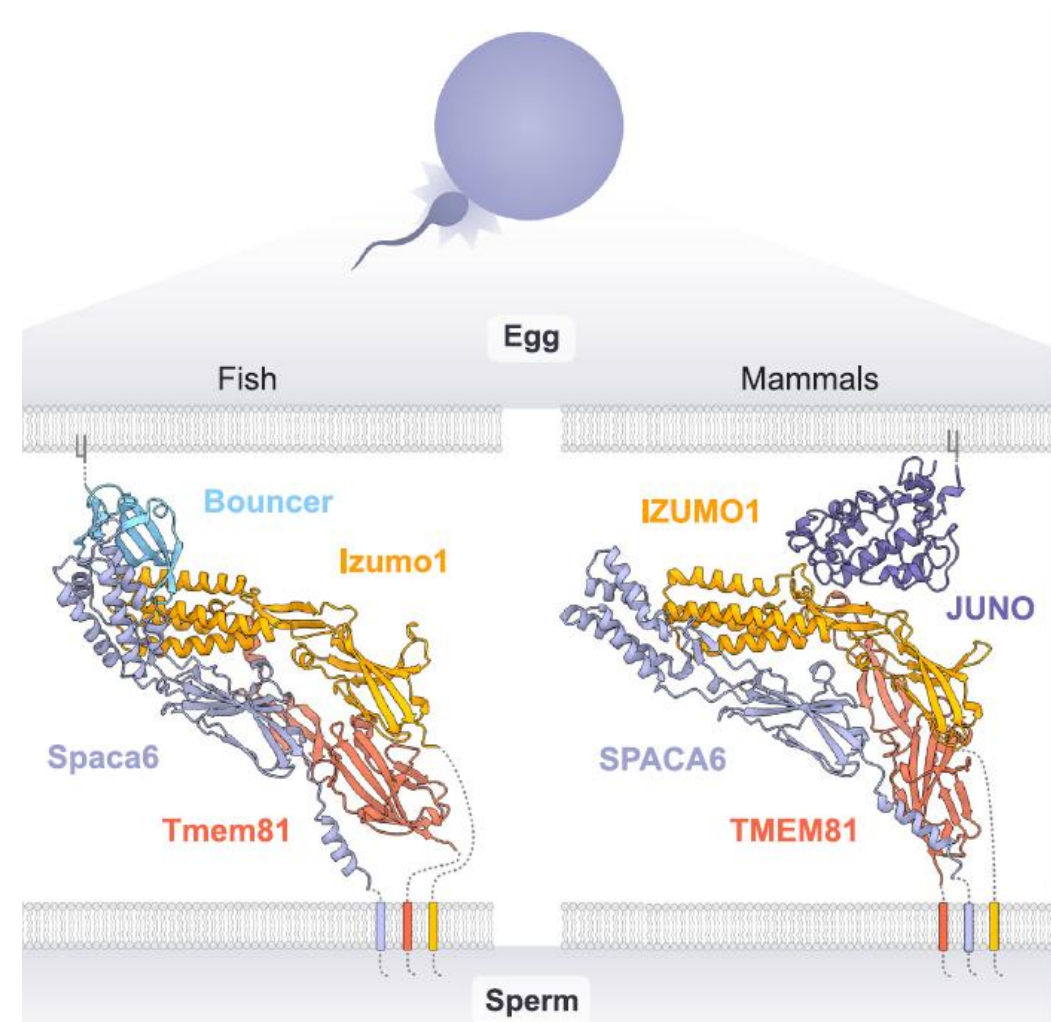
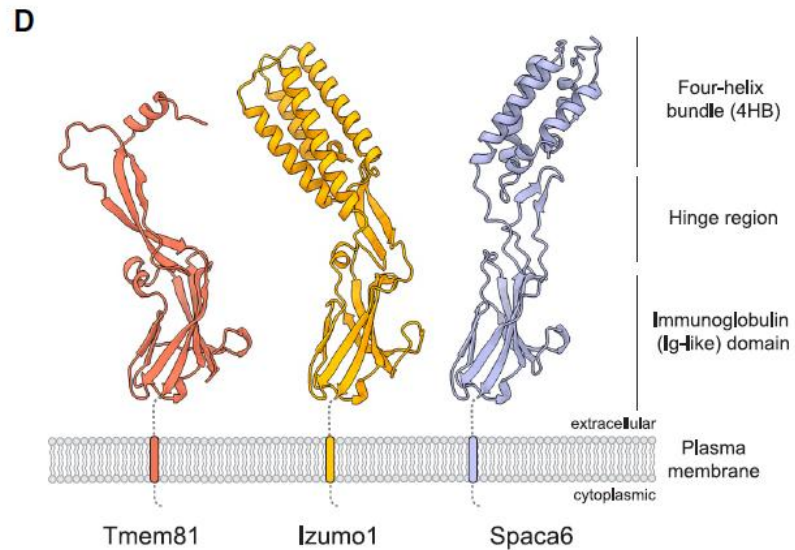


# chez l'homme : la fertiline  $\beta$ , SP-10, FLB1  $\rightarrow$  membrane interne de l'acrosome  
# chez la femme : les intégrines  $\alpha 2 \beta 3$ ,  $\alpha_v \beta 3$ , et  $\alpha 6 \beta 3$   $\rightarrow$  membrane de l'ovocyte.  
Les intégrines sont des hétérodimères avec une sous unité  $\alpha$  et une sous unité  $\beta$ .



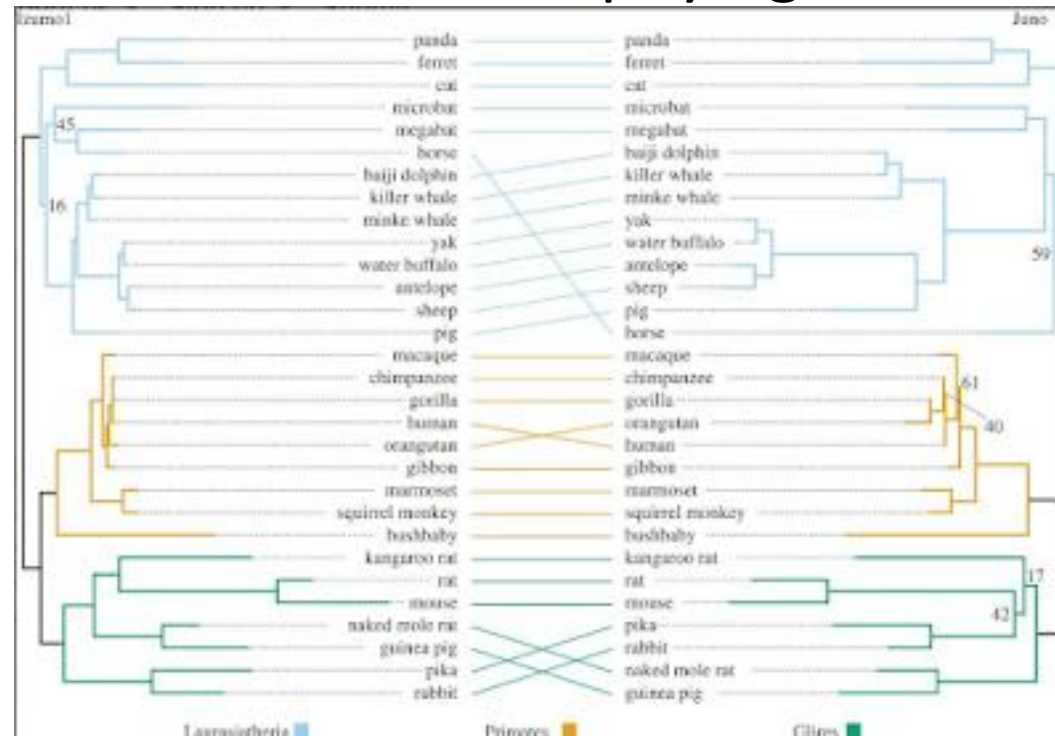
# En fait : plus complexe qu'une seule protéine

Un complexe  
d'au moins  
trois protéines



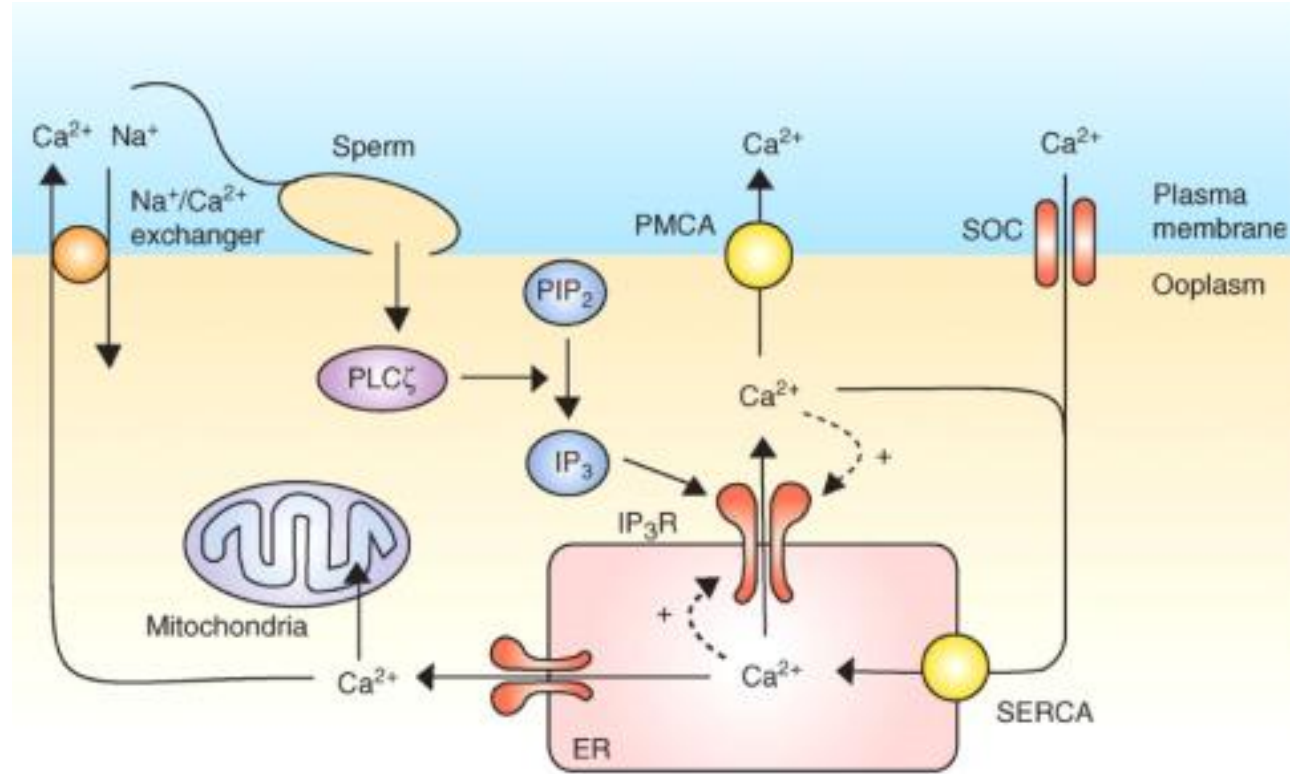
# Remarque : évolution conjointe

Arbres de comparaison des séquences d'Izumo (à gauche) et de Juno (à droite) chez différents Mammifères : phylogénie en miroir (voir SV-K-2).



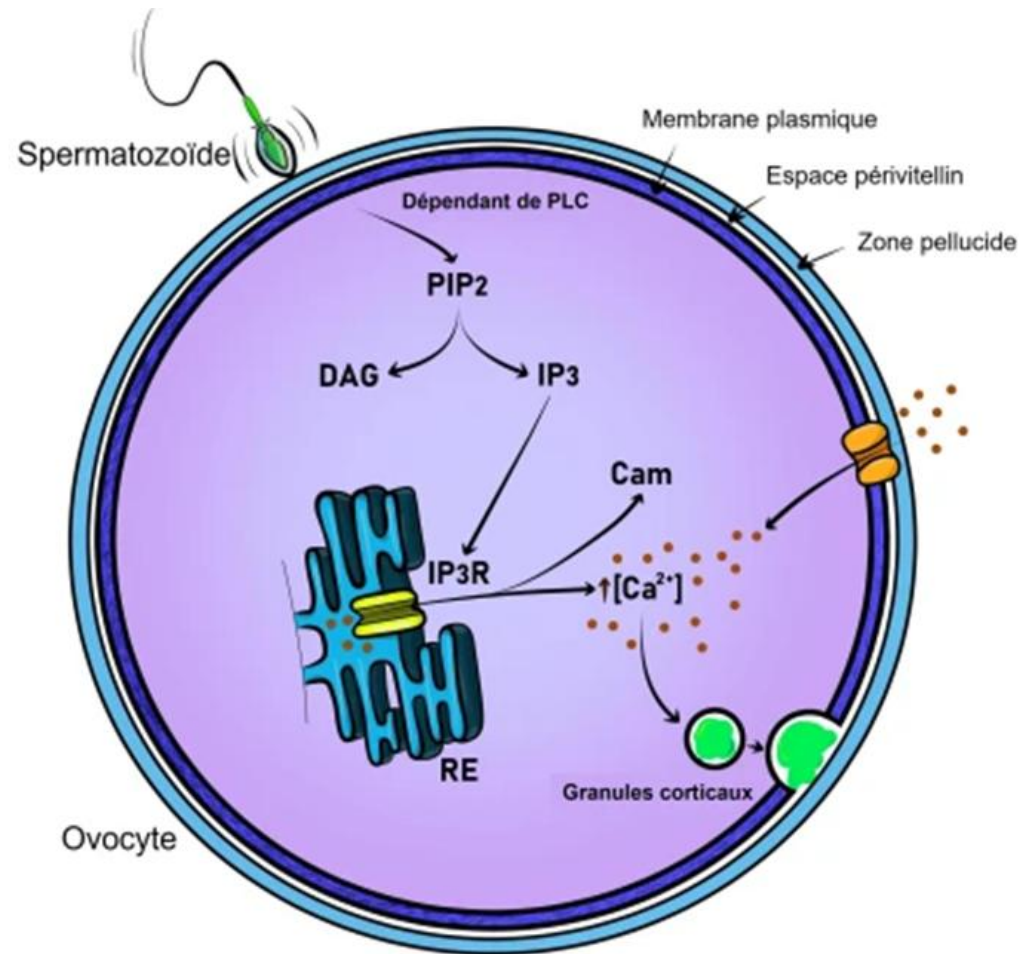
# Activation de l'ovocyte et formation d'une membrane de fécondation

Flux intracellulaire de calcium  
médié par la production d'IP3  
et la sortie de calcium  
à partir du réticulum

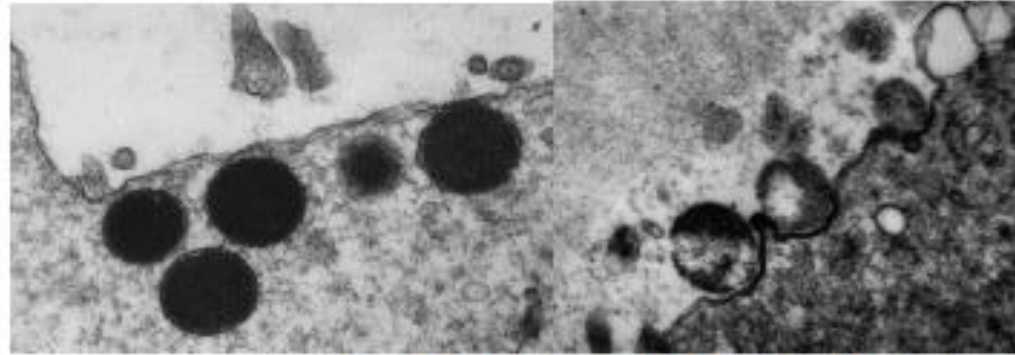


# Augmentation des ions calcium : provoque l'exocytose des granules corticaux

Flux calcique  
à l'origine de l'exocytose



**L'exocytose des granules corticaux de l'ovocyte fécondé permet la formation d'une membrane de fécondation, barrière à la polyspermie**

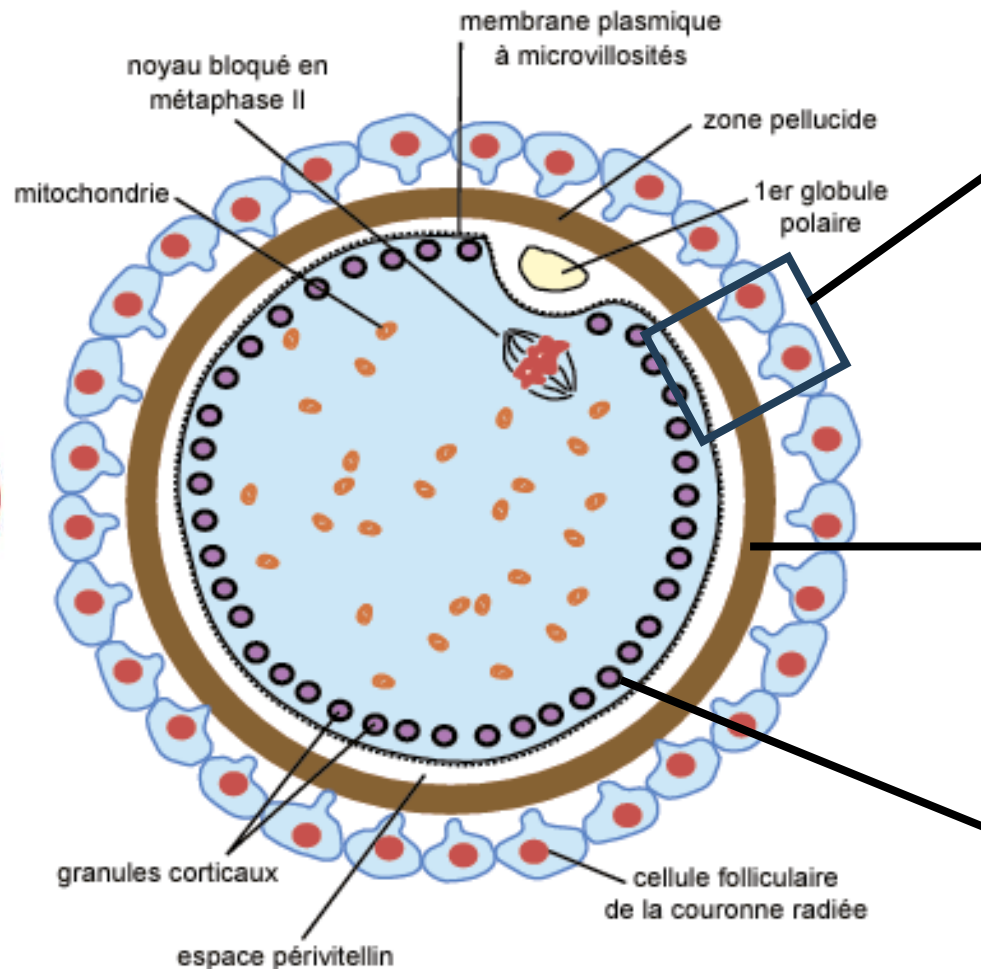


*Micrographie électronique (MET) au niveau de la membrane plasmique d'un ovocyte humain avant fécondation (gauche) et 10 min après fécondation (droite). Echelle : 1 cm = 200 nm.*



*Observation de l'ovocyte à intervalles de temps réguliers. A : 10 min après fécondation. De A à E : une photographie toutes les 15 min.*

Les gamètes sont des cellules haploïdes différenciées  
**très spécialisées** et **complémentaires** sur les plans  
structural et fonctionnel



(b) ovocyte de 100  $\mu\text{m}$  de diamètre

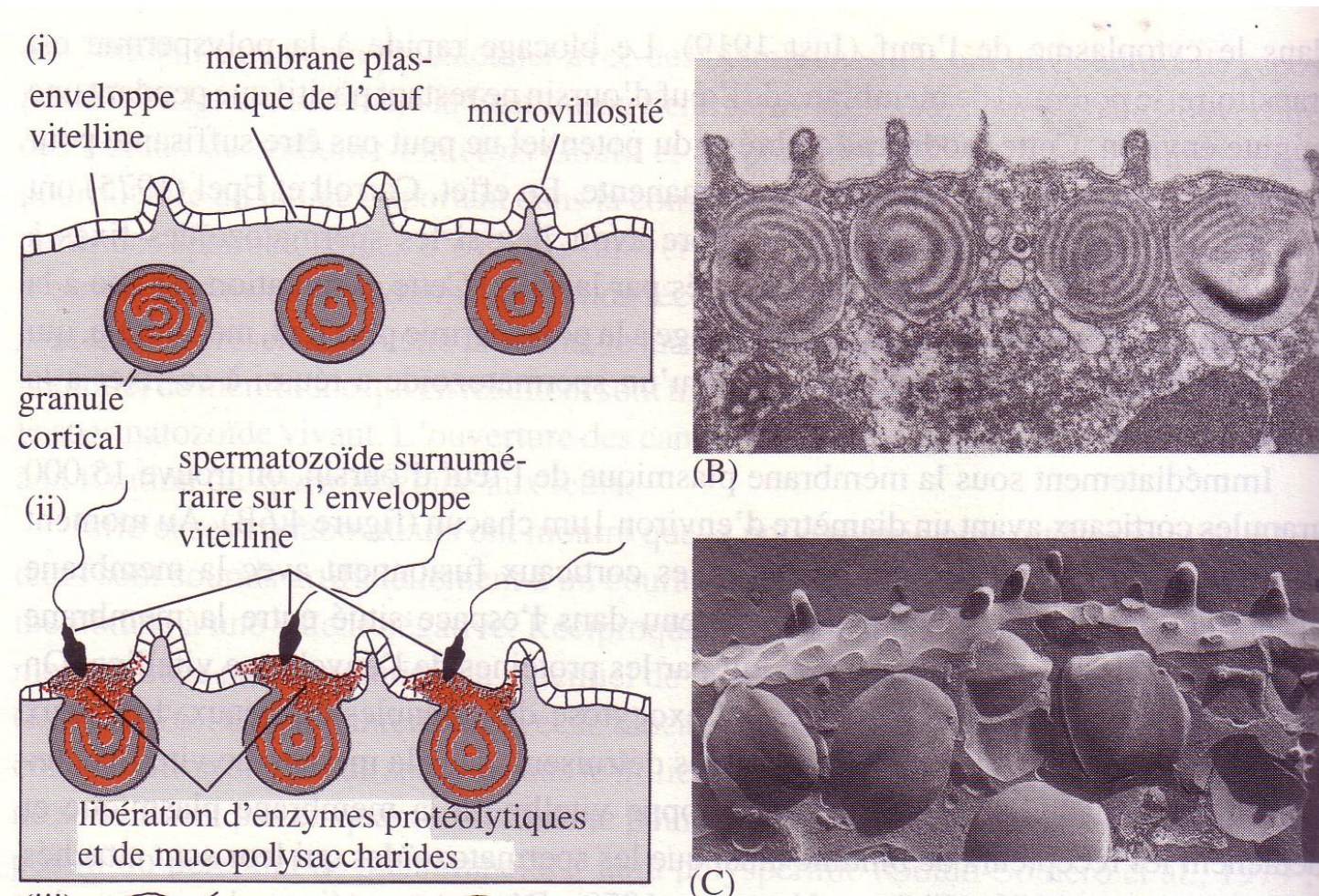
Zone de contact entre les  
microvillosités de la membrane de  
l'ovocyte et les cellules folliculaires  
participe au dialogue moléculaire

Zone pellucide, participe à  
l'interaction et la reconnaissance des  
spermatozoïdes

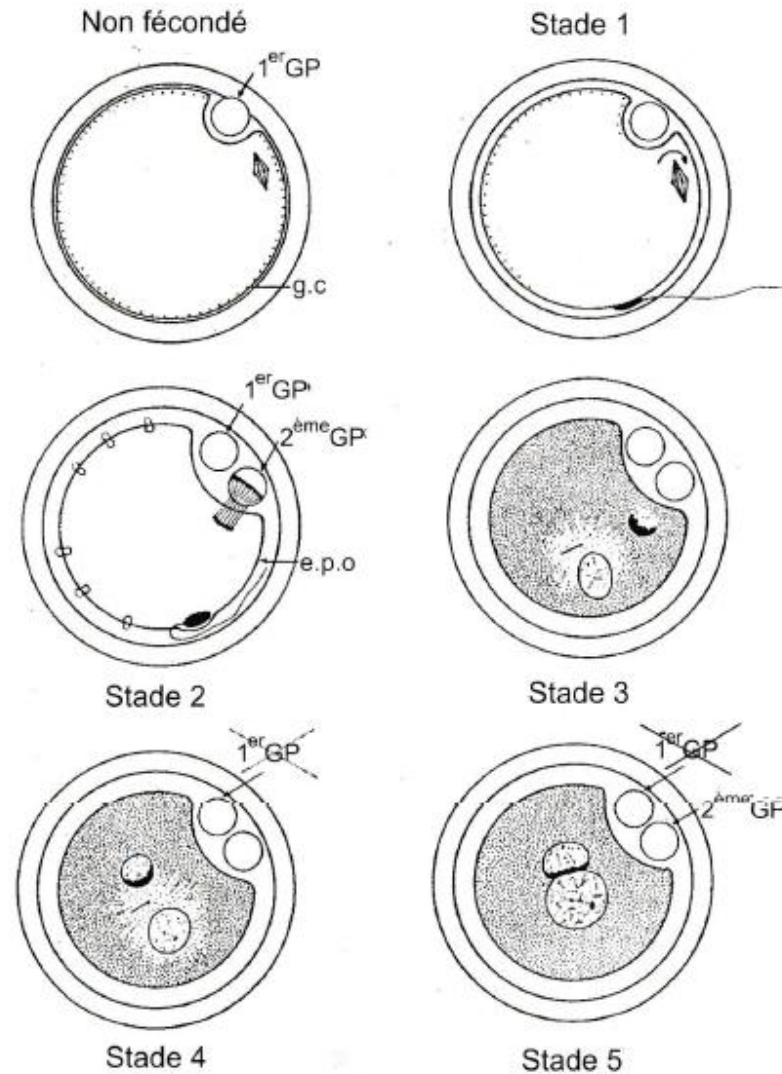
Granules corticaux qui seront  
exocytés lors de la fécondation et  
contribuent à limiter la polyspermie



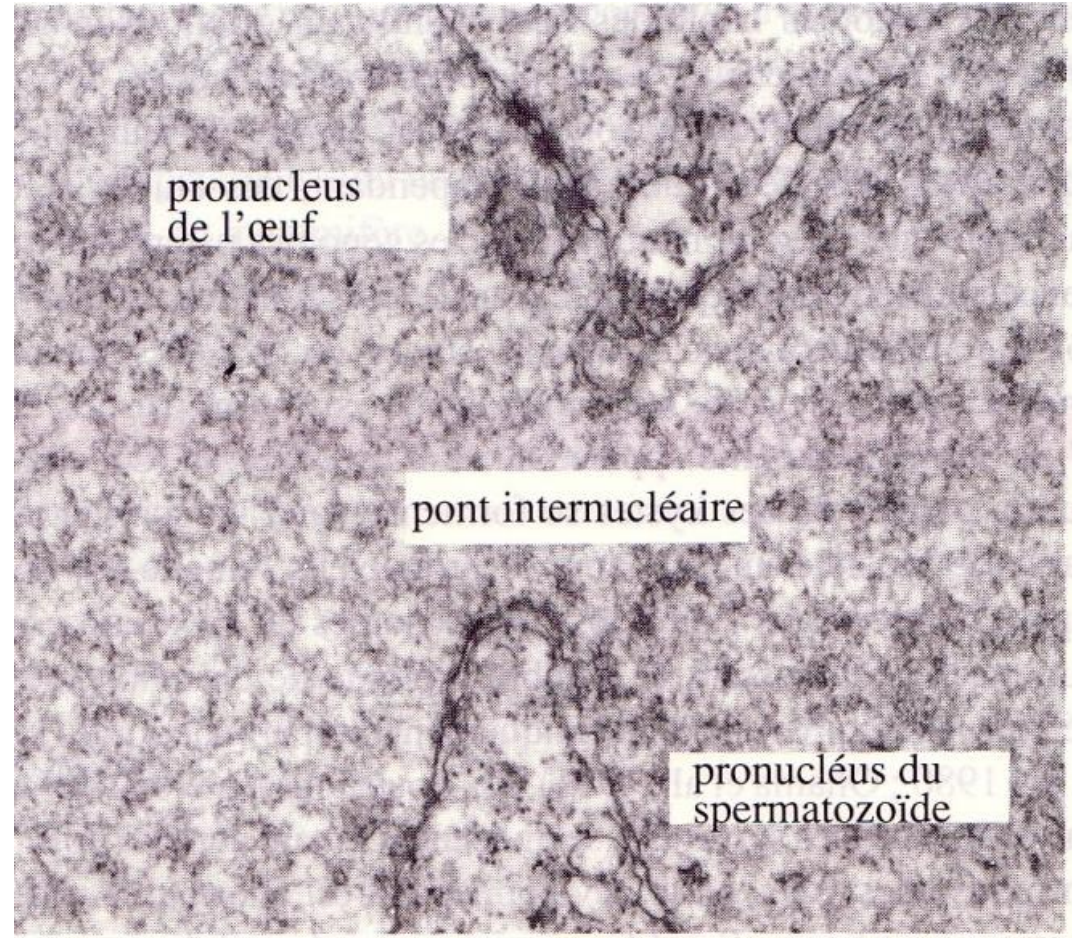
# Exocytose des granules corticaux



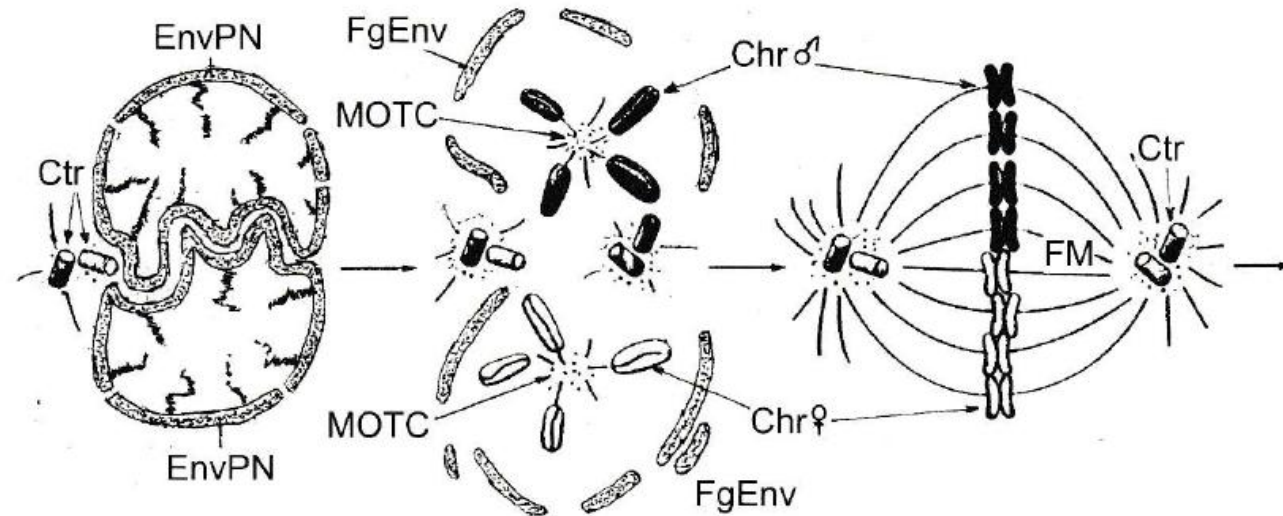
# Achèvement de la méiose après la fécondation



# Migration des noyaux

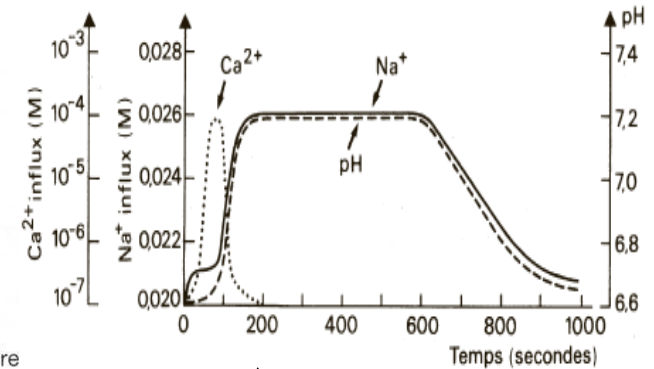
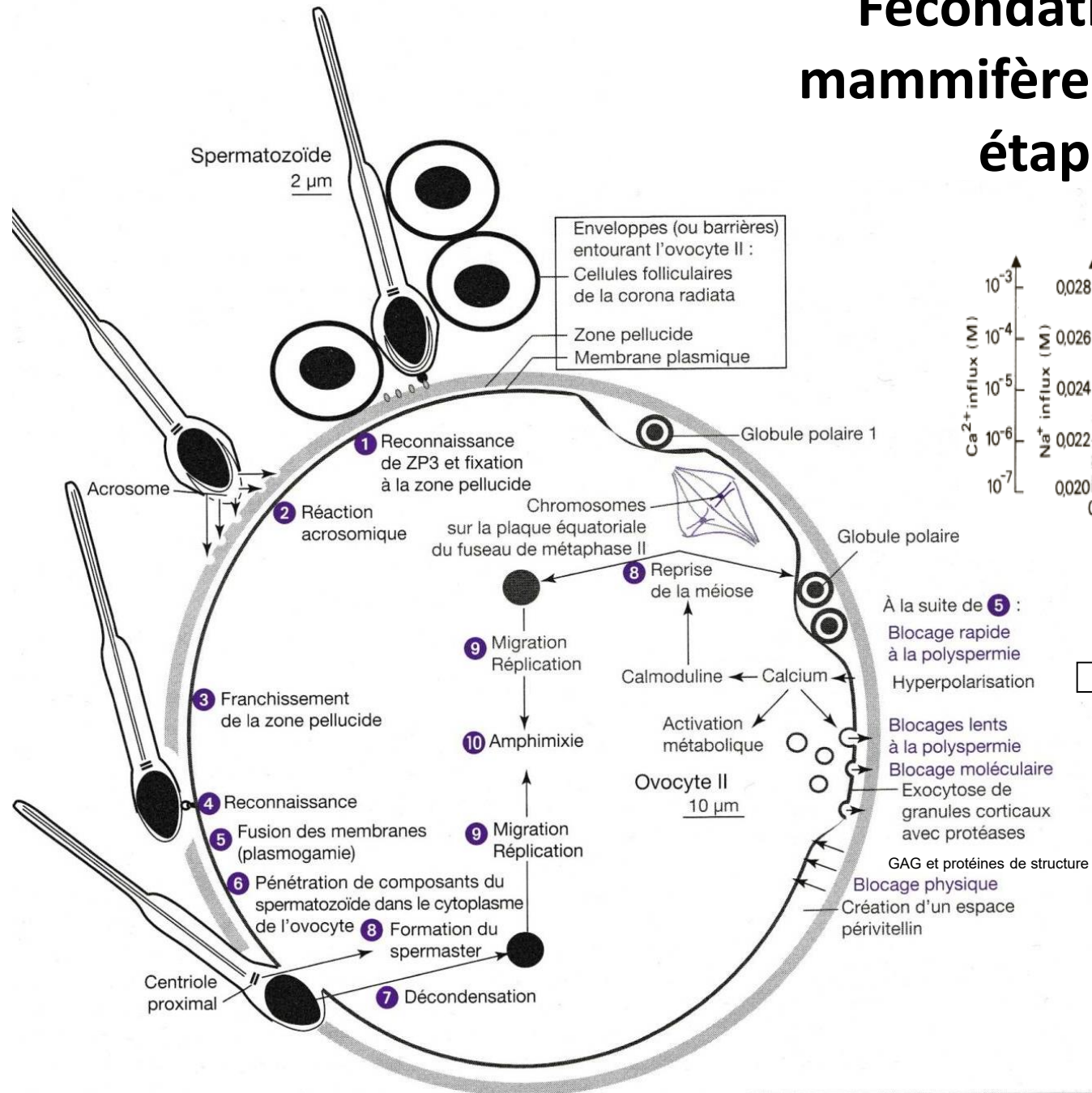


# Caryogamie (pas véritablement), amphimixie et première division



**Planche 6.14.** — Les chromosomes formés dans chacun des pronuclei restent groupés car liés entre eux par deux structures analogues à des MTOCs (*microtubules organizing centers*). C'est à partir des centrioles dupliqués du spermatozoïde que s'organise le premier fuseau de segmentation. Ctr : centrioles ; EnvPN : enveloppe nucléaire des pronuclei ; FgEnv : seuls subsistent des fragments des enveloppes nucléaires. Chr ♂ : chromosomes paternels ; Chr ♀ : chromosomes maternels ; FM : fuseau mitotique (d'après Szöllösi, in *Molecular Biology of the cell*, Alberts et al., Eds, Garland, New-York, 1994, 1033).

# Fécondation chez les mammifères: résumé des étapes clés



## 3.5. Reproduction et sélection

Race = population animale résultant d'une sélection humaine,  
Exemple : Holstein : race laitière ; Limousine : race à viande



Race pure : reproduction au sein d'une même population

# Principe sélection par l'homme

Vrai chez les végétaux comme chez les animaux

Choix des meilleurs reproducteurs

Insémination artificielle



La sélection animale consiste à **favoriser la reproduction d'animaux qui possèdent des attributs supérieurs** de façon à en propager les qualités au plus grand nombre.

**En race pure, le taux d'homozygotie est plus élevé qu'en croisement, mais il n'est jamais de 100 %.** La notion de race pure est donc à distinguer de celle de lignée pure, utilisé pour des animaux de laboratoire, où l'accouplement d'animaux consanguins permet d'obtenir à terme une homozygotie pour tous les locus.

À partir de 1980, la **sélection génétique s'intensifie**, notamment grâce à la **maîtrise des méthodes de reproduction artificielle** et d'évaluations génétiques de plus en plus complexes, permises par le progrès du numérique et par la maîtrise des outils de biologie moléculaire

L'amélioration génétique repose sur deux grands types d'effets génétiques : les **effets additifs** et les **effets d'interactions**.

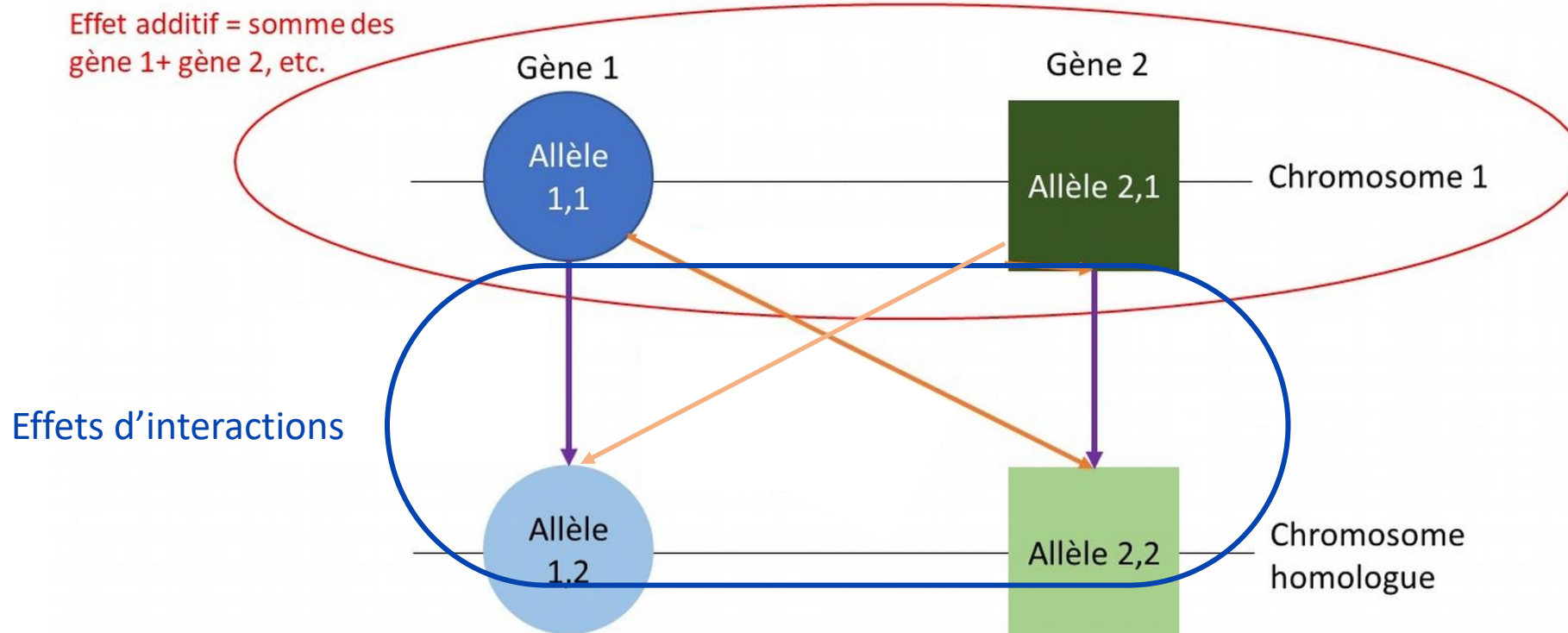
La somme des effets des gènes transmis à la descendance s'appelle la **valeur génétique additive** d'un individu.

Les **effets d'interactions** sont propres à chaque individu car ils dépendent des allèles transmis par les deux parents. Ces effets d'interaction peuvent être positifs et augmenter la performance de l'individu ou négatifs et pénaliser la performance de l'individu.

En sélectionnant les meilleurs individus **en race pure**, l'espèce humaine a sélectionné les meilleurs effets additifs mais également sélectionné les interactions génétiques favorables à l'expression de la performance.

# Complexité de l'amélioration génétique

Principe génétique : sélection aussi d'effets additifs et d'interactions favorables à la performance



En productions animales, les caractères d'intérêt pour la sélection génétique sont des caractères quantitatifs polygéniques : ils sont mesurables chez les animaux qui les expriment et déterminés par un très grand nombre de gènes.

Si l'on considère un caractère quantitatif polygénique chez un individu en particulier, on peut, pour cet individu, déterminer la différence entre sa performance et la performance moyenne de la population à laquelle il appartient. Cette différence s'explique par des **différences de valeur génétique** et par **des différences de milieu d'élevage**.

Plus l'effet du milieu sur l'expression du caractère est important moins la différence de performance s'explique par une différence de valeur génétique.

# Amélioration génétique

3 paramètres à prendre en compte :

Variabilité génétique : des individus plus performants que d'autres, en partie au moins lié à des différences génétiques.

Corrélations génétiques entre caractères ; contrôle de la consanguinité pouvant entraîner des tares génétiques

Héritabilité : capacité de transmettre le caractère à la descendance : fraction de la variance phénotypique qui s'explique par une variation d'origine génétique.

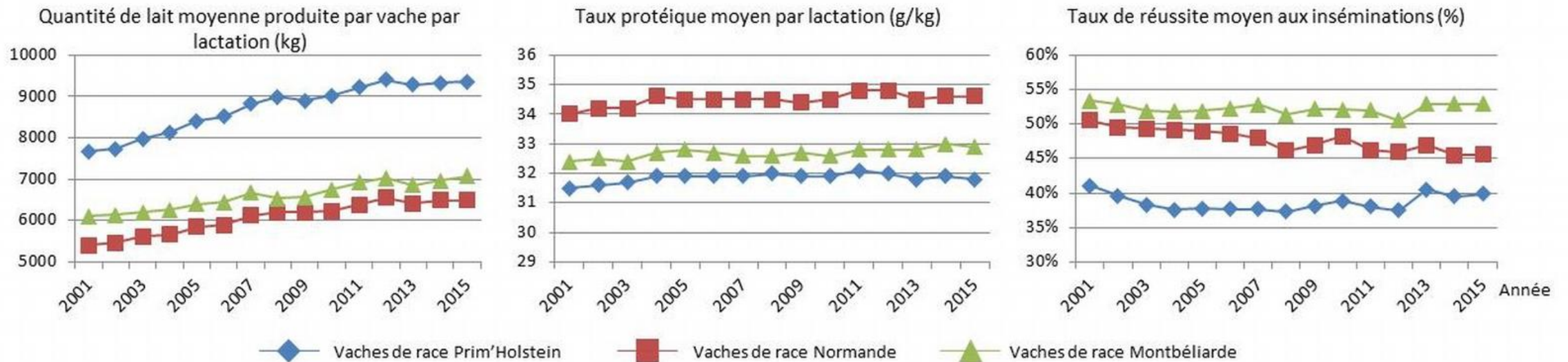
Plus un caractère est héritable, plus la probabilité qu'un individu avec des performances supérieures à la moyenne de la population transmette une valeur génétique additive positive est importante.

Exemple : en bovin laitier, les caractères les plus héritables sont les taux de matière utile (comme le taux de protéine).

Exemple : en laitier, la quantité de lait et la fertilité sont des **caractères corrélés** génétiquement **négativement**. Sélectionner les meilleurs reproducteurs sur la quantité de lait entraîne donc une diminution de la fertilité dans la race.

# Importance du quantitatif

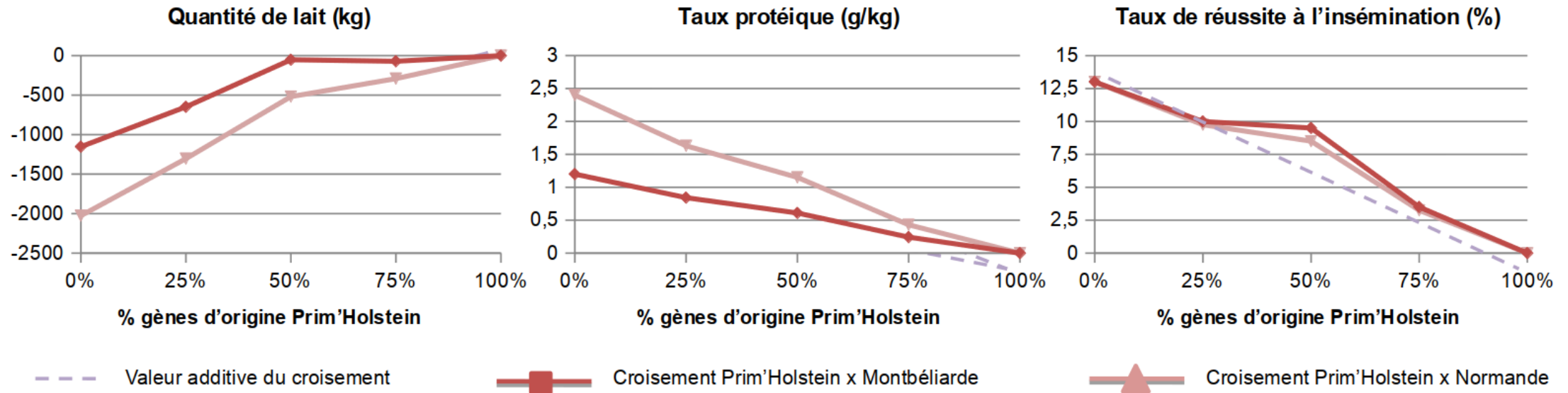
Suivi au cours du temps de trois races laitières : corrélations négatives entre la quantité de lait et la fertilité



# Intérêt des croisements : analyse d'une F1 entre deux parents de race pure

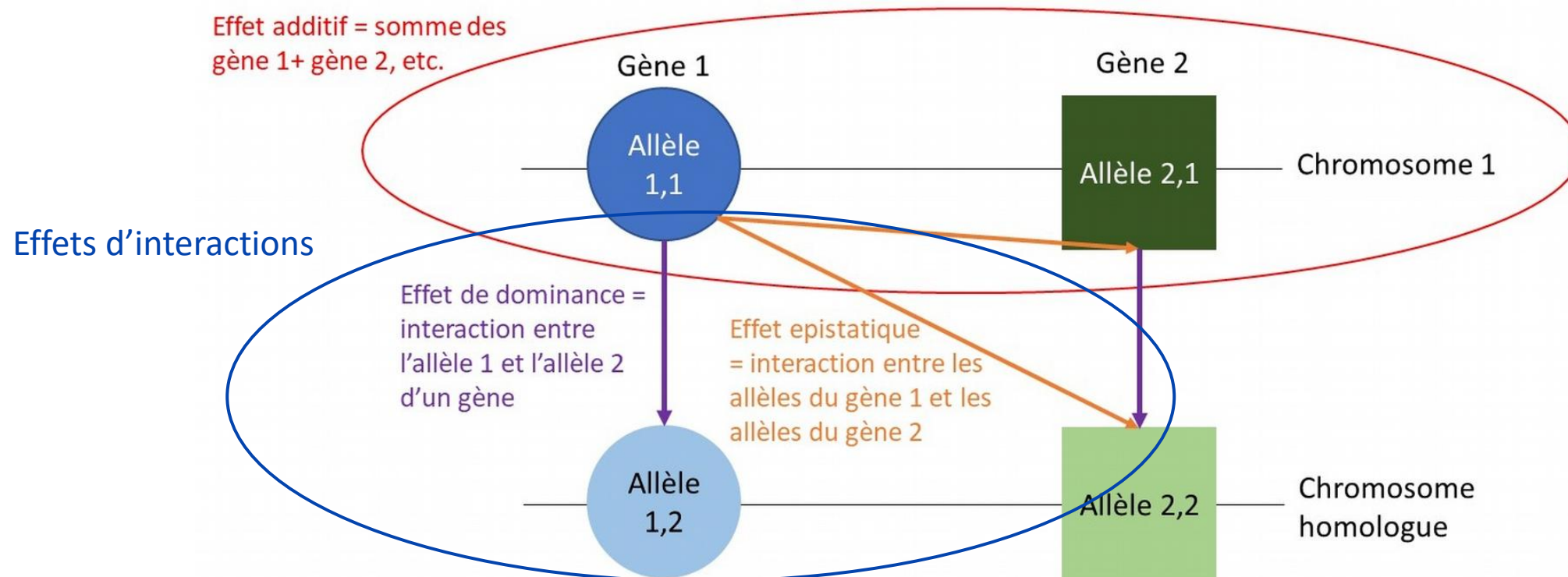
Croisement entre deux races laitières : Montbeliarde (ou Normande) et Prim'Holstein

Meilleure production de lait par la race pure mais meilleure fertilité pour les F1



# Complexité de l'amélioration génétique

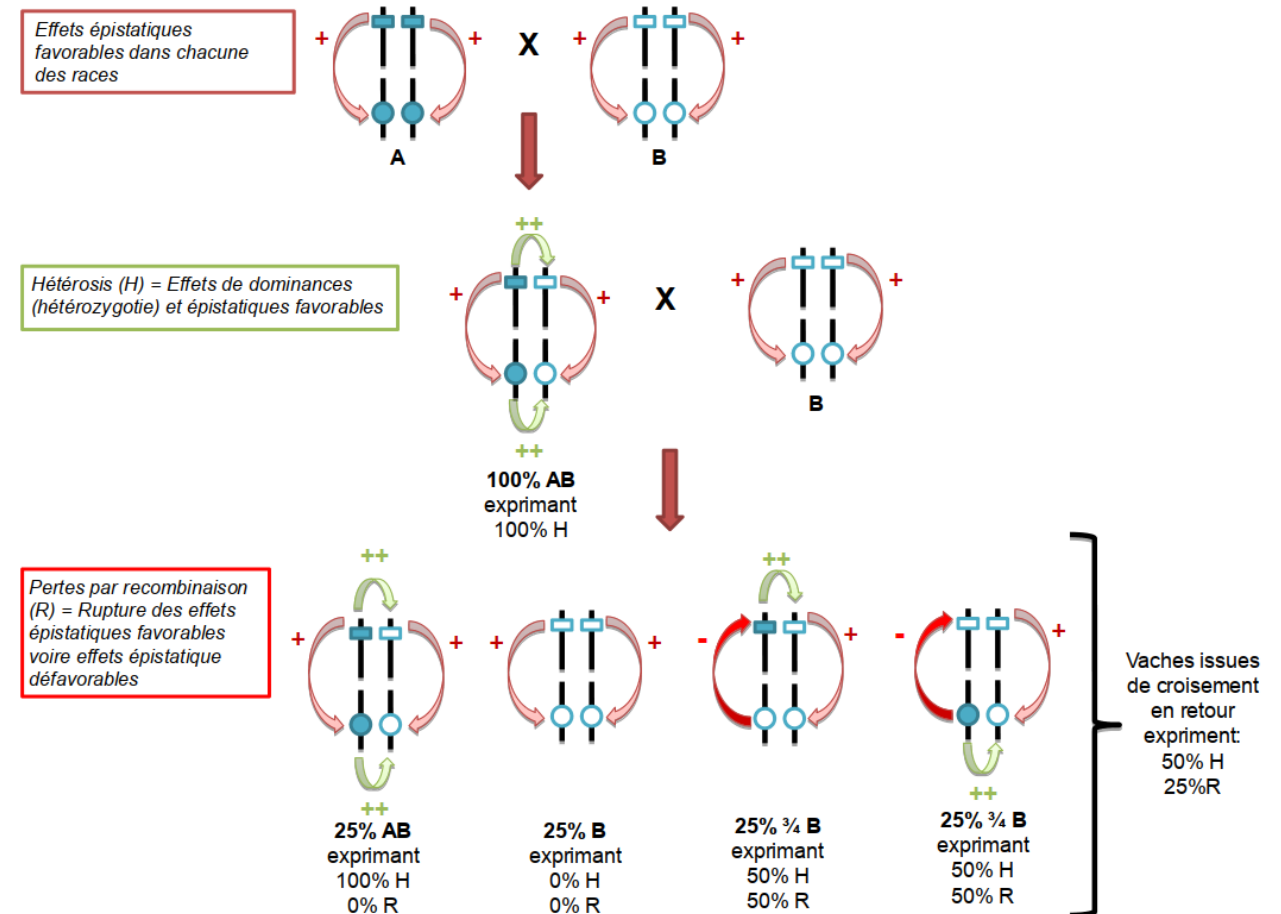
Interactions entre gènes, mais transmission que d'un chromosome homologue sur deux.



Hétérosis ou vigueur hybride : différence entre la performance moyenne de la population issu du croisement de la première génération et de la performance moyenne des deux populations parentales.

## Effet d'hétérosis

**En race pure, la sélection génétique, en augmentant la fréquence de certains allèles, réduit donc les effets de dominance.** Le croisement entre races augmente l'hétérozygotie et donc l'importance des effets de dominance. En règle générale cet effet est favorable et s'ajoute aux effets additifs, c'est ce qu'on appelle **l'effet d'hétérosis**.



# Conclusion Partie SV-G Reproduction

Diversité

- des modalités

- des conséquences génétiques

- Importance de la sélection sexuelle

- Importance de la coévolution

Un sujet de recherche d'actualité pour le développement de techniques de PMA et de techniques de contraception.