

## Chapitre I : Gamétogénèse

Dans le règne animal et spécialement chez les mammifères, la présence d'un appareil génital est liée à la reproduction sexuée. Pendant la vie embryonnaire et fœtale, se développent

- a) Les caractères sexuels primitifs : testicule et ovaire.
- b) Les caractères sexuels primaires : conduits génitaux et organes génitaux externes.

Dans la première période de développement embryonnaire, l'appareil génital est indifférencié et présente la même disposition dans les deux sexes. Par la suite, sous l'influence des substances produites par les gènes sexuels, puis par les gonades elles-mêmes, commence une évolution qui conduira l'appareil génital vers sa forme définitive.

La gamétogénèse ou élaboration des gamètes a lieu dans des organes reproducteurs : les glandes génitales ou gonades (mâles ou testicules et femelles ou ovaires).

Les gamètes proviennent de cellules souches, gonocytes ou cellules germinales primordiales, pendant le développement embryonnaire de l'individu. Ces gonocytes se séparent très tôt en trois feuilletts fondamentaux de l'embryon ; ils constituent :

- Le Germen : à l'origine des gamètes
- Le Soma : constitué par le reste des cellules embryonnaires, à l'origine de l'organisme ; elles sont appelées cellules somatiques

Chez les espèces diploïdes, les gamètes sont des cellules haploïdes spécialisées dans la fusion sexuée. Elles sont spécifiques de l'espèce. De plus, nos animaux domestiques sont qualifiés d'hétérogamétiques (par opposition aux espèces isogamétiques) car les deux sexes produisent des gamètes morphologiquement distincts :

- l'un est volumineux, immobile et rare : l'ovocyte provenant de la femelle.
- l'autre est petit, mobile et abondant : le spermatozoïde provenant du mâle.

Leur formation relève des mêmes mécanismes fondamentaux dont le principal est la réduction chromatique ou méiose par laquelle le nombre de chromosomes est réduit de moitié, passant ainsi de l'état diploïde à l'état haploïde.

Chez les deux sexes, la gamétogenèse passe par trois phases :

**- Phase de multiplication**

Les ovogonies et les spermatogonies se multiplient par mitoses successives, conservant donc leur caractère diploïde. Cette phase de multiplication, initiée durant la migration, se poursuit activement pendant une période plus ou moins étendue suivant l'espèce. Elle se termine par l'entrée en méiose des ovogonies chez la femelle et simultanément, par le ralentissement voire l'arrêt complet des mitoses des spermatogonies chez le mâle (phénomène de quiescence observé chez les rongeurs).

**- Phase d'accroissement - prophase méiotique**

Les gonies de dernière génération cessent de se diviser et augmentent de volume, se transformant en "cytes" de premier ordre ou "cytes I". L'augmentation de volume est très faible dans le cas du spermatocyte I mais considérable chez l'ovocyte I car elle correspond à l'accumulation des réserves cytoplasmiques nécessaires aux premières divisions de l'embryon.

A ce stade, les cytes I sont encore des cellules diploïdes. Leur ADN est constitué de deux compléments, un paternel et un maternel, eux-mêmes constitués d'une série identique de  $n$  chromosomes ( $n$  étant un nombre caractéristique de l'espèce (tableau 1). Chaque chromosome est constitué d'un filament d'ADN. Une cellule diploïde possède donc  $2n$  chromosomes répartis en  $(n-1)$  paires de chromosomes homologues ou autosomes et une paire de chromosomes hétérologues ou sexuels.

Tableau n°1 : Nombre de chromosomes chez diverses espèces domestiques (Moens, 2021)

Espèce Nb ( $2n =$ )	Espèce Nb ( $2n =$ )
Humain 46	Rat 42
Chat 38	Porc 38
Bovin 60	Lapin 44
Chien 78	Cheval 64
Mouton 54	Ane 62
Souris 40	Poule 78
Chèvre 60	

## -Phase de maturation

Au cours de cette phase, les cellules germinales subissent successivement deux divisions de maturation. En fin de maturation, chaque cellule contient  $n$  chromosomes et est donc authentiquement haploïde. La réduction chromatique est achevée.

### 1. Spermatogénèse

La spermatogénèse est le processus de la formation, de la croissance et de la maturation du gamète mâle. Ce processus débute à la puberté et se déroule au niveau de l'appareil génital mâle (testicules). Il est formé par l'ensemble des organes chargés de l'élaboration du sperme et du dépôt de celui-ci dans les voies génitales de la femelle.

L'appareil génital mâle est constitué de trois sections (figure 1)

- Section glandulaire : les deux testicules.
- Section tubulaire : formée par les voies de stockage et de transport, elles sont composées par : l'épididyme; le canal déférent et la glande vésiculaire.
- Section uro-génitale : l'urètre, la prostate et les glandes de Cowper.

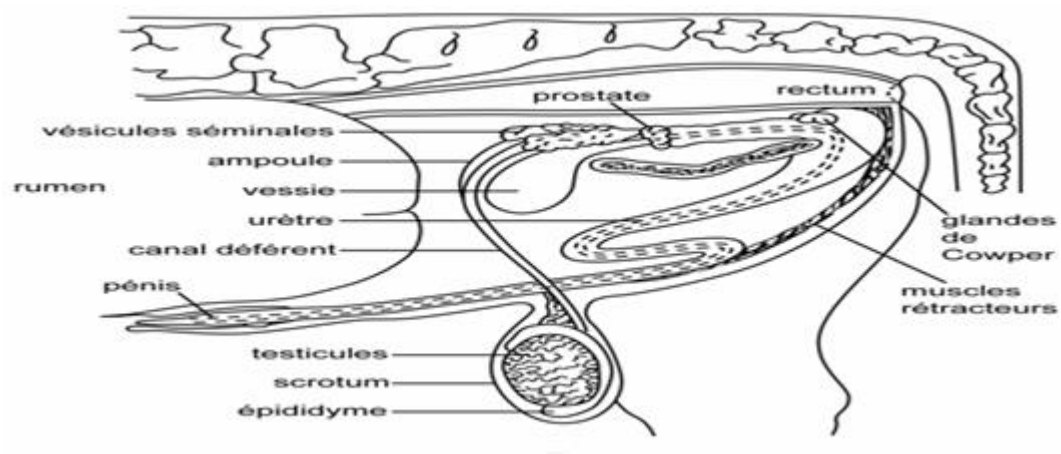


Figure 1 : Appareil reproducteur d'un taureau (Hamilton, 2006)

## 1.1 Lieu de déroulement : testicule

C'est une glande ovoïde, logée dans un sac cutané : le scrotum ; elle est recouverte par une enveloppe conjonctive, l'albuginée, d'où partent des cloisons conjonctives grêles qui divisent l'organe en lobules (200 à 300 par testicule, sauf dans les très petites espèces), chaque lobule contient un à trois tubes séminifères qui sont le siège de la spermatogénèse. Entre les tubes séminifères est localisé le tissu interstitiel.

Les cloisons convergent et fusionnent au pôle supérieur, formant un massif conjonctif épais : le médiastinum testis (anciennement corps d'Highmore). Il est formé d'un tissu conjonctif beaucoup moins dense que celui de l'albuginée et mêlé de fibres élastiques souvent abondantes. Il loge, outre de nombreux vaisseaux, un réseau de conduits excréteurs anastomosés : le rete testis. Celui-ci collecte les tubes droits qui proviennent des tubes séminifères et émet d'autre part les canalicules efférents qui pénètrent dans l'épididyme (figure 2).

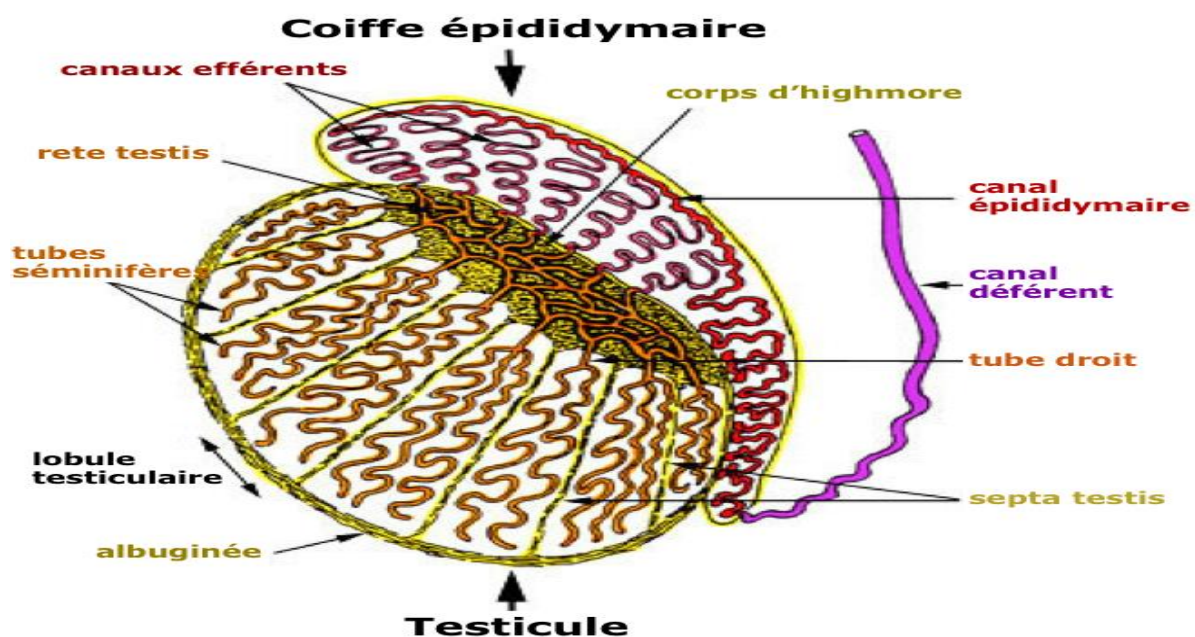


Figure 2 : Histologie des testicules (OPHYS, 2015)

## 1.2 Caractère continu et origine des cellules productrices de gamétocytes

### Parenchyme testiculaire

Le parenchyme interne des lobules testiculaires est constitué par deux éléments :

- Les tubes séminifères occupent 60% à 80% du volume testiculaire selon les espèces, ils sont très contournés et assurent la fonction exocrine. Dans ces tubes, on trouve les différentes couches de cellules germinales représentant les phases de la spermatogenèse qui s'effectuent depuis la spermatogonie située contre la membrane basale jusqu'aux spermatozoïdes libérés dans la lumière.

A l'intérieur des tubes séminifères (figure3), se trouvent des cellules somatiques, cellules de Sertoli qui assurent :

- la cohésion de l'épithélium séminifère
- un rôle nourricier
- le contrôle du déroulement de la spermatogénèse
- un rôle endocrinien (ABP et l'inhibine)
- possèdent des récepteurs membranaires à la FSH et cytoplasmique à la testostérone.

- Tissu interstitiel : sécrète les hormones mâles (testostérone), c'est la fonction endocrine.

Un tissu interstitiel (l'interstitium) est disséminé entre les tubes séminifères, sécrétant les hormones mâles. Il est constitué d'un stroma conjonctif grêle dans lequel on observe de petits amas de cellules interstitielles : cellules de Leydig qui sont de grande taille et polygonales, souvent regroupées en petites colonies dans le tissu conjonctif lâche entourant les tubes séminifères à l'intérieur des lobules. Elles sont en rapport avec de nombreux capillaires sanguins dans lesquels se trouvent leurs produits de sécrétions. Elles secrètent les androgènes, en particulier la testostérone et possèdent des récepteurs membranaires à l'ISH (interstitielle stimulating hormone).

### 1.3 Composantes du gamétocyte mâle (spermatozoïde)

Le gamète mâle ou spermatozoïde est une cellule mono flagellée de 50 à 70  $\mu$  de longueur, de forme très allongée, pauvre en cytoplasme comportant plusieurs segments (figure 3) :

- 1) **La tête** : elle est de forme et de taille variables suivant l'espèce. Elliptique chez l'égalon et les carnivores, en forme de raquette chez les ruminants et le porc. Elle mesure 8 à 9  $\mu$  de longueur et 4 à 5  $\mu$  de large. Son volume est presque entièrement occupé par un **noyau haploïde** contenant le complément paternel et elle est coiffée par l'**acrosome**, qui est limité par une **membrane acrosomiale interne** accolée au noyau et une **membrane acrosomiale externe** accolée à la membrane plasmique. Dans son tiers inférieur, au niveau de l'équateur de la tête, l'acrosome est plus mince et plus dense (col de l'acrosome). Dans sa partie

postérieure, en dessous de l'acrosome, le noyau est séparé de la membrane plasmique par une fine couche de cytoplasme contenant un matériel fibrillaire (cape post-acrosomiale). C'est au niveau de cette cape post-acrosomiale que le spermatozoïde s'attache à l'ovocyte.

2) **Le col ou collet** : c'est la partie rétrécie qui fait suite à la tête. Il est fragile et contient deux centrioles: un proximal dont l'axe est perpendiculaire à l'axe du spermatozoïde et un distal dont l'axe se confond avec celui du spermatozoïde. On y observe également un appareil de connexion formé d'une plaque basale appliquée contre le pôle inférieur du noyau et une colonne striée entourant les deux centrioles.

3) **La queue ou flagelle**: elle est parcourue sur toute sa longueur par les filaments caractéristiques des structures flagellaires (2 microtubules centraux entourés de 9 paires de microtubules périphériques). La queue se divise en trois parties :

- la **pièce intermédiaire** : les filaments axiaux sont entourés par 9 grosses fibres qui prolongent la colonne striée, elles-mêmes entourées d'un manchon de mitochondries disposées de façon hélicoïdale. Elles ne se rencontrent qu'à ce niveau et sont chargées de fournir l'énergie nécessaire à la mobilité de la cellule.

- la **pièce principale**: elle fait suite à la pièce intermédiaire et contient la matérielle microtubulaire renforcée par deux des grosses fibres longitudinales de la pièce intermédiaire.

- la **pièce terminale** : les microtubules perdent leur disposition symétrique et sont entourés par la seule membrane plasmique.

**Particularité spécifique** : la structure générale du spermatozoïde chez le coq est similaire à celle des mammifères. Ces principales caractéristiques sont les suivantes :

- Le noyau est souvent filiforme ( $0,5 \times 12,5 \mu$ ) et légèrement hélicoïdal.

- L'acrosome est plus réduit et situé au sommet du noyau.

- Il possède un perforatorium. C'est une structure située au sommet du noyau, à la base de l'acrosome. De nature inconnue, il est électron-dense et dérive de la membrane nucléaire.

- Une organisation simplifiée de la pièce intermédiaire et du flagelle. Une gaine de matériel amorphe remplace les colonnes striées et les grosses fibres associées aux 9 doublets de microtubules. Le nombre de mitochondries est plus réduit.

- La longueur totale est plus grande ( $90 \mu$ ).

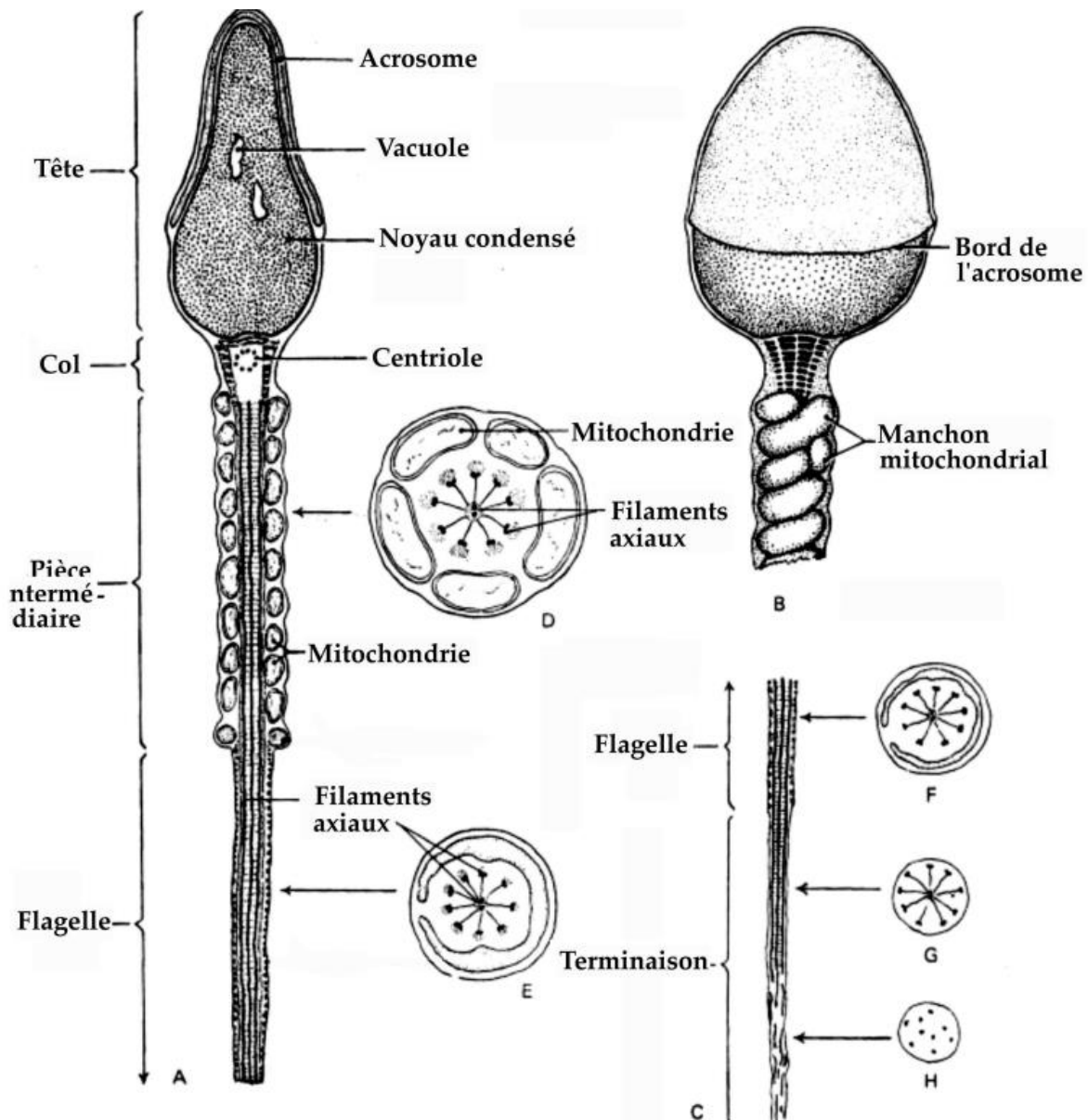


Figure 3: Structure d'un spermatozoïde humain (Moens, 2020)

## 1.4 Chronologie de l'évolution des spermatozoïdes (spermatogénèse)

### 1.4.1. Définition de la spermatogénèse

La spermatogénèse est un processus biologique dont le but est de produire les gamètes mâles : les spermatozoïdes. Ce processus est continu au cours de la vie sexuelle. Aussi, c'est l'ensemble des phénomènes de division et de différenciation aboutissant à la formation du spermatozoïde, cellule germinale mature (figure 4).

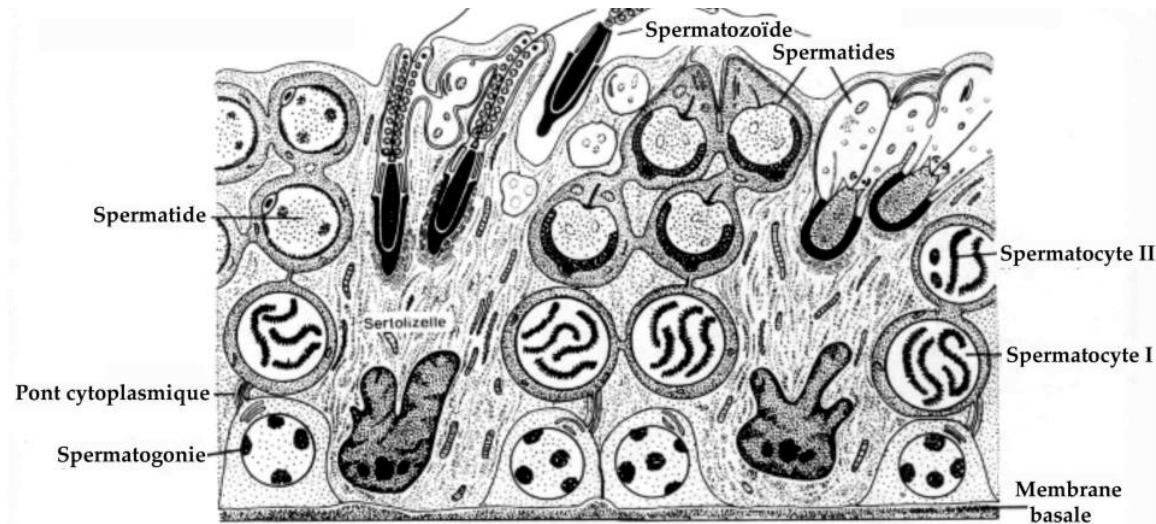


Figure 4 : Différentes cellules de la spermatogénèse

#### I.4.2. Déroulement de la spermatogénèse

La spermatogénèse se déroule dans l'appareil génital mâle et au niveau des tubes séminifères du testicule. Elle comprend quatre étapes : la multiplication, l'accroissement, la maturation et la différenciation. La succession de ces étapes constitue le cycle spermatogénétique (figure 5).

##### a. Phase de multiplication

C'est un processus continu qui débute pendant la vie embryonnaire et ne s'arrête, avant la mort de l'individu, qu'avec le vieillissement ou l'atrophie du testicule. Après avoir colonisé les crêtes génitales et s'être installées au sein des cordons séminifères (futurs tubes séminifères), les spermatogonies continuent de se multiplier activement par mitose au sein du testicule en formation.

Ces **spermatogonies** sont des cellules souches diploïdes localisées à la périphérie du tube, contre la membrane propre. Ces cellules subissent une succession de mitoses (maintien du pool de spermatogonies), dont la dernière aboutit à la formation de spermatocytes primaires, également diploïdes (une spermatogonie donne 4 spermatocytes primaires). Le nombre de spermatocytes produit par spermatogonie (souche initiale), varie d'une espèce à une autre.

##### b. Phase d'accroissement

Les spermatocytes I à  $2N$  chromosomes subissent une phase de croissance cytoplasmique qui les transforme en **grandes cellules** ou auxocytes : les cellules diploïdes.



**c. Phase de maturation**

Elle correspond à la **méiose** et concerne les deux générations de spermatocytes (primaires I ou secondaires II).

Un spermatocyte I à  $2N$  chromosomes subit la première division de méiose et donne ainsi 2 spermatocytes II à  $N$  chromosomes. Chaque spermatocyte II subit la deuxième division de méiose (division équationnelle) et donne 2 spermatides à  $N$  chromosomes. Un spermatocyte I a donc donné 4 spermatides à la fin de la méiose.

**d. Phase de différenciation**

Appelée aussi **spermiogénèse**, cette phase ne comporte pas de division mais une **différenciation des spermatides en spermatozoïdes** (mise en place de l'acrosome et du flagelle), qui seront libérés dans la lumière du tube séminifère.

La spermatide se transforme en spermatozoïdes à la suite d'une modification morphologique. Ces transformations vont intéresser à la fois le noyau et le cytoplasme de la spermatide et consistent en :

➤ **La formation de l'acrosome**

L'appareil de Golgi fournit de nombreuses vésicules qui confluent pour donner une vésicule unique dans laquelle apparaît peu à peu une masse granuleuse, dense : la vésicule proacrosomique. Cette dernière, d'abord proche des centrioles, rejoint le noyau (au niveau du pôle antérieur du futur spermatozoïde) et s'étale en une cape acrosomique. Son contenu devient par la suite homogène, on parle alors d'acrosome.

➤ **La formation du flagelle**

L'appareil centriolaire de la spermatide se met en place aux pôles opposés du noyau formant des microtubules ancrés qui commencent à former le flagelle.

➤ **La formation de la pièce intermédiaire**

Les mitochondries, regroupées derrière le noyau, se disposent les unes derrière les autres et forment une chaîne enroulée autour de la base du flagelle, dans la pièce intermédiaire ; c'est l'hélice mitochondriale.

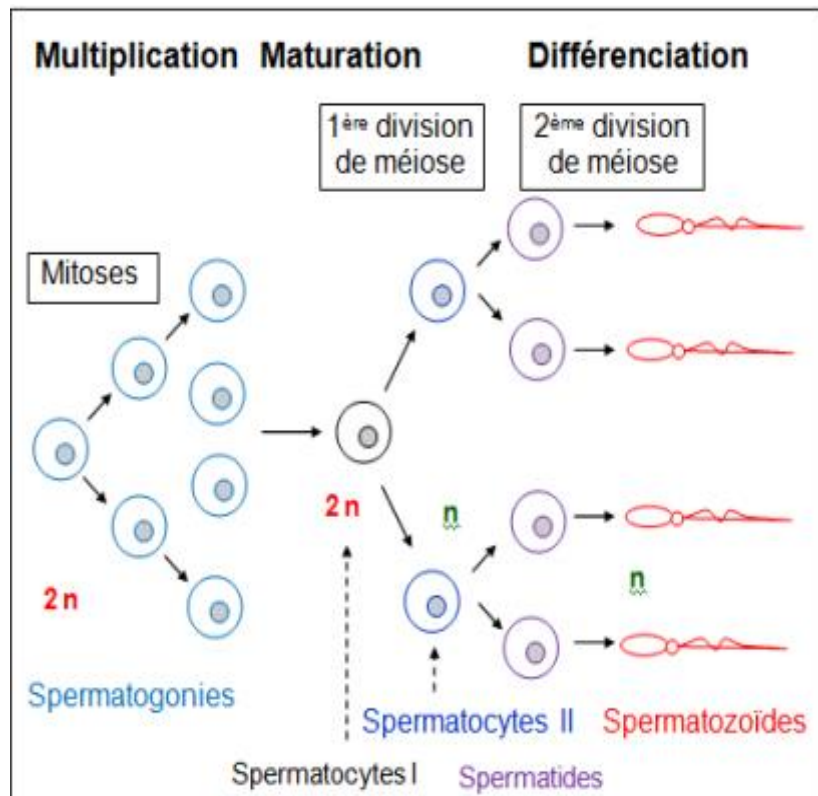


Figure 5 : Etapes de la spermatogénèse

### 1.5 Lieu d'acquisition de la fonctionnalité du spermatozoïde

Les spermatozoïdes sont produits et formés dans les testicules, puis libérés dans l'épididyme. Ils passent d'abord du rete testis vers la tête de l'épididyme, puis dans les cônes efférents qui se poursuivent par le canal de l'épididyme. Les gamètes sont modifiés tout au long de leur trajet dans les voies génitales.

- Dans l'épididyme, sous l'action des androgènes (en particulier de la testostérone) sécrétés par les cellules de Leydig, les spermatozoïdes acquièrent leur mobilité (les spermatozoïdes produits au niveau des testicules sont très peu ou pas du tout mobiles). Aussi, les protéines responsables de la fixation à l'ovocyte deviennent fonctionnelles : les spermatozoïdes acquièrent leur aptitude à se fixer sur la zone pellucide de l'ovocyte, étape nécessaire à la fécondation.

- C'est également dans l'épididyme que les spermatozoïdes sont décapacités (inaptes à la fécondation), grâce au facteur de décapacitation sécrété par les cellules épидидymaires, les spermatozoïdes s'accumulent dans les ampoules différentielles. Lors de l'éjaculation, ils sont en suspension dans le liquide séminal sécrété par les vésicules séminales, la prostate et les glandes de Cowper.

Donc, pendant leur séjour dans les voies génitales mâles, les spermatozoïdes restent immobiles. Leur métabolisme est activé et leur motilité est déclenchée au moment de l'éjaculation, lorsqu'ils sont mis en présence des sécrétions des glandes annexes (vésicule séminale, prostate).

Ces sécrétions, qui constituent l'essentiel du volume de l'éjaculat, leur apportent les substrats énergétiques et l'oxygène indispensables à leur activité motrice. Leur inertie métabolique permet aux spermatozoïdes de survivre assez longtemps dans le tractus génital mâle. En l'absence d'éjaculation, ils perdent progressivement leur pouvoir fécondant et leur motilité pour être finalement éliminés par phagocytose.

L'examen des spermatozoïdes éjaculés permet de repérer plusieurs types d'anomalies :

- Anomalie de concentration (hypospermie, azoospermie)
- Degré de maturité insuffisant (position de la gouttelette cytoplasmique).
- Anomalies morphologiques : spermatozoïdes géants, nains, flagelle trop court, cassé ou double, spermatozoïde à deux têtes ...
- Anomalie de motilité : spermatozoïdes peu ou non mobiles.

De plus, des aberrations chromosomiques peuvent se produire durant la méiose (polyploïdie, aneuploïdie ...). Ces aberrations entraînent de graves troubles du développement embryonnaire et sont la plupart du temps létales.

## **1.6 Origine et composition chimique du liquide séminal**

Les glandes accessoires de l'appareil génital mâle, régies par les hormones testiculaires et lors de l'éjaculation, par le système nerveux, ont pour fonction de sécréter les substances nécessaires (plasma séminal) à la vie des spermatozoïdes dans les voies excrétrices et de jouer un rôle dans la physiologie de l'acte sexuel.

Les glandes accessoires comprennent :

➤ **Les vésicules séminales**

Ce sont deux glandes lobulées, situées au-dessus de la vessie, d'aspect grisâtre en surface, jaune et de consistance ferme à la coupe. Elles sécrètent un liquide gélatineux, visqueux de PH acide, riche en protéines, en potassium, en acide citrique et en fructose, ce liquide constitue 50% du volume d'un éjaculat normal d'un taureau.

Les vésicules séminales, absentes chez les carnivores (chats et chiens), sont grandes, arquées avec une surface lobulée chez le rat et la souris.

➤ **La prostate**

Elle existe chez tous les mammifères. Elle est peu développée chez les ruminants, elle entoure complètement l'urètre chez le taureau, le liquide prostatique est riche en enzymes (dont les phosphatases) et en prostaglandines.

➤ **La Glande de Cowper**

Glandes muqueuses, de la grosseur d'une noisette chez le taureau, elles sont plus apparentes chez le bélier et absentes chez le chien.

Les produits de sécrétion des glandes de Cowper présentent de grandes variations selon les espèces, chez le taureau elles donnent une sécrétion visqueuse, chez le rat les sécrétions comportent du galactose, de l'acide galacturonique et de l'acide sialique, chez le lapin elles sécrètent une grande quantité d'acide citrique. En général, elles sont responsables de la synthèse de diverses enzymes et protéines aux rôles mal connus.

Elles sont aussi impliquées dans diverses fonctions, dont la coagulation du sperme et la défense immunitaire des voies génitales basses.

Les produits de sécrétion de la prostate et des glandes de Cowper sont clairs sans spermatozoïdes. Au cours d'une éjaculation, sa sécrétion précède souvent le sperme proprement dit afin de nettoyer l'urètre et lubrifier le vagin. Ces glandes annexes sont des glandes exocrines, elles fournissent la quasi-totalité du plasma séminal.

## 2. Ovogénèse

L'ovogénèse est le processus de la formation, de la croissance et de la maturation du gamète femelle.

Contrairement à l'appareil génital du mâle, l'appareil génital de la femelle n'est pas simplement limité à l'élaboration des gamètes et des hormones sexuelles, il est également le siège de la fécondation, de la gestation, de la parturition et de la lactation.

Chez les mammifères, l'appareil génital femelle est constitué de trois sections

- Section glandulaire : comportant deux gonades : les ovaires.
- Section tubulaire ou voies génitales, constituée par : les oviductes qui captent l'ovule et s'il y'a fécondation, conduisent l'ovule fécondé ou œuf à l'utérus.
- Section copulatrice : comprenant le vagin et la vulve (sinus uro-génital), organe impair recevant l'organe mâle pendant l'accouplement ou coït et donnant passage au nouveau-né lors de la parturition (figure 6).

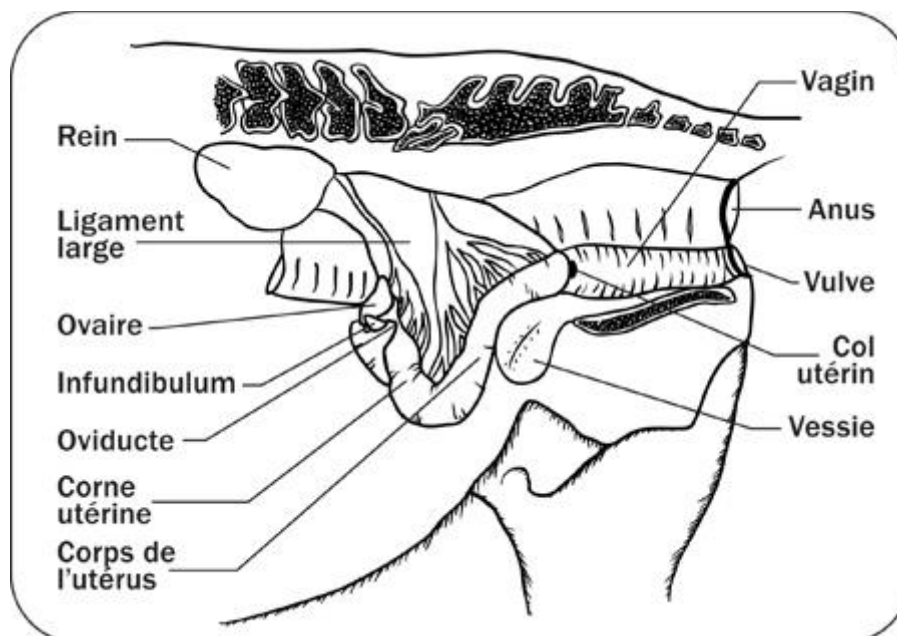


Figure 6 : Vue sagittale situant l'appareil reproducteur de la jument

## 2.1 Lieu de déroulement de l'ovogénèse et son évolution dans le temps

La formation des gamètes femelles se déroule dans les ovaires, c'est l'ovogénèse. Elle correspond à l'ensemble des étapes qui aboutissent à la formation des ovules ou ovotides à partir de cellules germinales souches appelées ovogonies formées par différenciation des gonocytes primordiaux au cours de la vie embryonnaire. La formation des gamètes présente une certaine uniformité dans le règne animal.

Ce processus débute pendant la vie embryonnaire, se continue après la naissance avec une accélération au moment de la puberté et atteint son apogée au moment de l'ovulation. Il ne peut être distingué de l'évolution du follicule ovarien au sein duquel il se déroule en grande partie. L'évolution du follicule, à son tour, est indissociable de l'activité cyclique de l'ovaire (ou cycle ovarien) à laquelle elle contribue par sa participation à un contrôle endocrinien particulièrement perfectionné.

L'ovogénèse comporte 3 phases (figure 7)

- Phase de multiplication
- Phase de croissance
- Phase de maturation

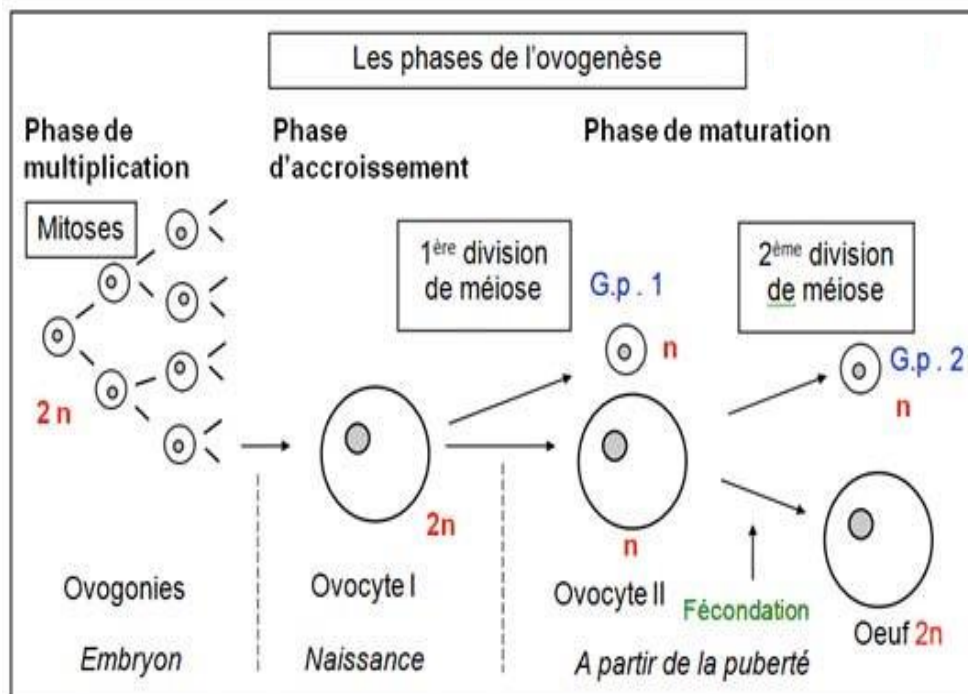


Figure 7 : Phase d'ovogénèse

**a) Phase de multiplication**

Elle concerne les ovogonies, cellules souches diploïdes, et est caractérisée par une succession de mitoses, les ovogonies se multiplient pendant la vie embryonnaire, leur activité est limitée dans le temps chez de nombreuses espèces.

Chez les amphibiens, l'activité mitotique des ovogonies est saisonnière, les mitoses surviennent après chaque ponte et reconstituent un lot d'ovogonies qui, après une croissance, fourniront une ponte ultérieure. Chez les autres vertébrés, les mitoses cessent avant la fin de la vie 4 à 8 jours après la naissance. Chez l'homme, les ovogonies cessent de se diviser à la 15<sup>ème</sup> semaine de la vie utérine ; elles sont au nombre de 4 à 6 millions environ.

**c) Phase d'accroissement**

Au cours de cette phase, les ovogonies cessent de se diviser par mitose, leur volume augmente par accroissement du cytoplasme et deviennent des ovocytes de premier ordre ou **ovocyte I**, cellules diploïdes à 2 N chromosomes. L'ovocyte I des mammifères accroît son diamètre de 30µm à 140 µm, soit d'un facteur d'environ 4,5 ; celui de la grenouille d'un facteur de 27000.

La phase d'accroissement se caractérise par des activités de synthèses intenses, des ARN, de protéines et par l'accumulation de différents matériaux exogènes, en vue du développement de l'embryon. L'accumulation de réserves ou de vitellus (lécithe) se produit pendant cette phase et son importance varie selon les espèces. Chez le gamète femelle, cette phase d'accroissement est considérable et de longue durée. En effet, chez l'humain, la phase d'accroissement s'étend de la vie fœtale à la puberté. Aussi, durant cette phase les granules corticaux sont formés à partir de l'appareil de Golgi et disposés au niveau du cytoplasme cortical de l'œuf.

**C) Phase des maturations nucléaire et cytoplasmique**

Elle concerne les ovocytes, qui subissent deux divisions méiotiques : la 1<sup>ère</sup> division, réductionnelle, devrait en principe fournir à partir des ovocytes primaires diploïdes, des ovocytes secondaires haploïdes (**ovocyte II**) ; la 2<sup>ème</sup>, équationnelle, devrait fournir des **ovotides**, haploïdes également. Mais cette méiose d'ovogenèse présente 3 particularités

**-Blocage en prophase I**

L'ovocyte primaire entame sa 1<sup>ère</sup> division dès qu'il apparaît pendant la vie fœtale, mais il reste bloqué en prophase. Cette phase de blocage dure pendant une très longue période, puisque cette 1<sup>ère</sup> division ne reprendra et ne se terminera qu'à l'ovulation.

**-Arrêt en métaphase II**

La 2ème division, qui ne débute qu'à l'ovulation, reste à son tour bloquée en métaphase, dans l'ovocyte secondaire, qui sera émis tel quel hors de l'ovaire et elle ne reprendra qu'avec la fécondation.

**-Inégalité des divisions**

Lors de la division de l'ovocyte primaire, si la répartition des chromosomes est équitable, celle du cytoplasme ne l'est pas ; l'une des cellules filles, qui sera **l'ovocyte secondaire**, conserve la quasi- totalité du cytoplasme, tandis que l'autre cellule fille, appelée **1er globule polaire**, en est pratiquement dépourvue et sera une cellule abortive. La 2ème division, affectant l'ovocyte secondaire lors de la fécondation, se déroulera de la même façon, en fournissant un **2ème globule polaire**. Au terme de cette phase de maturation nucléaire, un ovocyte primaire a donc fourni une seule gamète, qui est un ovocyte secondaire.

La maturation cytoplasmique comporte un stade de synthèse d'ARN et un stade de traduction de ces ARN en protéines.

La synthèse des 3 types d'ARN dans l'ovocyte primaire s'effectue pendant la prophase de la 1ère division bloquée au stade diplotène.

La maturation ovocytaire est caractérisée par la synthèse d'un certain nombre de protéines qui rendront l'ovocyte compétent pour reprendre la méiose à 2 reprises (lors de l'ovulation et lors de la fécondation) et pour devenir fécondable.

**2.2 Chronologie de l'évolution des follicules ovariens au cours de l'ovogénèse**

La croissance folliculaire est un processus continu. Elle débute durant la vie fœtale, voire peu après la naissance (lapine) mais dépasse rarement le stade de follicule primaire. En effet, tous les follicules qui ont entamé leur croissance au-delà de ce stade avant la puberté sont voués à l'atrésie (dégénérescence par apoptose) avant d'atteindre le stade antral. Il y a donc une perte très importante de cellules germinales qui réduit considérablement le stock non renouvelable de cellules germinales disponibles au début de la puberté pour assurer la reproduction de l'espèce.

Au cours de la phase de maturation, l'ovocyte est étroitement associé à des cellules satellites venant du stroma ovarien, qui s'organisent progressivement en une structure complexe appelée : follicule. Ces cellules exercent des fonctions à la fois trophiques et



endocrines intervenant dans la maturation ovocytaire et dans l'ovulation. On ne peut pas dissocier maturation et folliculogénèse.

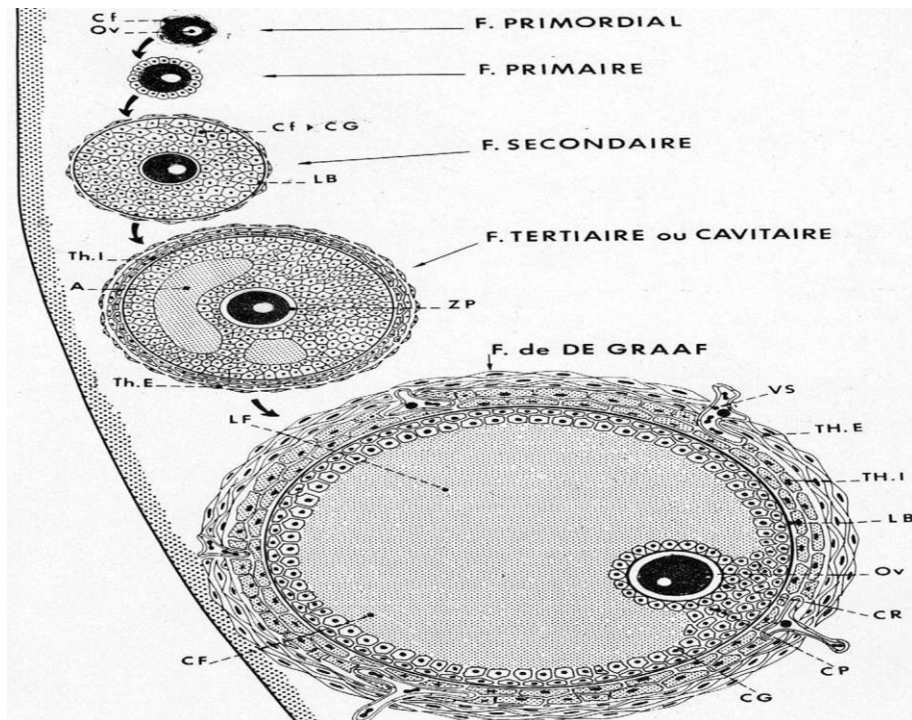
Le follicule passe par 5 stades successifs, qui recouvre en fait 2 périodes de signification distincte : une période pré-antrale d'abord, dite de croissance basale et une période antrale ensuite, où le follicule devient sensible au contrôle neuroendocrinien. Pendant ce temps, l'ovocyte primaire est toujours bloqué en prophase I (figure 8).

Depuis le 7ème mois de la vie fœtale à la puberté, les ovocytes entrent en atresie folliculaire. A la puberté, les ovaires contiennent environ 400.000 follicules primordiaux constitués d'un ovocyte de premier ordre, très petits, ils se trouvent à la périphérie de l'ovaire, entourés d'une couche de cellule folliculeuse fusiforme et discontinue.

L'ovocyte grandit, l'épithélium folliculaire devient cubique et il y'a début de la formation de la zone pellucide ; c'est le follicule primaire ; Puis se forme plusieurs couches cellulaires (granulosa, thèque interne) : c'est le follicule secondaire, les cellules folliculeuses commencent à sécréter le liquide folliculaire pour former la cavité folliculaire et constitution de la thèque externe : c'est le follicule tertiaire.

- Tous les follicules tertiaires sont d'abords stimulés et contribuent ainsi à la formation d'hormones, ils dégénèrent tous entre le 7ème et le 14ème jour du cycle à l'exception du follicule ovarien qui subira une maturation et deviendra follicule de De Graff (follicule pré-ovulatoire), sa cavité est remplie d'un liquide opalescent, à un de ses pôles, les cellules folliculeuses restent plus nombreuses et forment une sorte d'avancée dans la cavité appelé cumulus oophorus, à l'intérieur duquel se trouve l'ovocyte. L'ovocyte est entouré de la zone pellucide, elle-même entourée d'une assise cellulaire : la corona radiata qui se situe au centre du cumulus oophorus. Le follicule se dilate et forme un renflement très visible à la surface de l'ovaire.

La dégénérescence des follicules tertiaires entraîne une production accrue par les cellules de la granulosa d'œstrogènes, ce pic déclenche dans l'hypophyse une sécrétion de LH qui provoque l'ovulation.



A : antrum ; CF : cavité folliculaire ; CG : cellule de granulosa ; CP : cumulus proliger ; CR : corona radiata ; LB : lame basale ; LF : liquide folliculaire ; OV : ovocyte ; THE : thèque externe ; THI : thèque interne ; VS : vaisseau sanguin ; ZP : zone pellucide.

Figure 8 : Schéma de l'évolution d'un follicule primordial en follicule de De Graaf (Secchi, 1975)

### 2.3. Ovulation

- A l'ovulation : sous l'influence du pic LH et sous la pression du liquide folliculaire, le follicule de De Graaf s'ouvre en un point : le stigma.
- L'expulsion de l'ovocyte est suivie d'une reprise de la méiose. Aussitôt que le globule polaire est émis, l'ovulation a lieu. L'ovocyte haploïde est retrouvé dans le tiers supérieur de l'oviducte. La deuxième division a lieu si l'ovocyte est fécondé. En l'absence de fécondation, il dégénère.
- Après l'ovulation
  - En cas de fécondation, la rencontre de l'ovocyte II en métaphase avec un spermatozoïde provoque la reprise de la 2ème division de l'ovocyte.
  - S'il n'y a pas de fécondation l'ovocyte II en métaphase dégénère et il est expulsé à l'extérieur : ce sont les menstruations. Chaque cycle sexuel correspond à la maturation d'un ovocyte. En règle générale, seul l'un des deux ovaires ovule.

### 2.3.1 Emission des gamètes

Les gamètes ne sont pas émis directement par l’ovaire dans le tractus génital, mais il y a rupture de la paroi ovarienne et libération des gamètes à la surface de l’ovaire, où ils seront ensuite récupérés par le pavillon de la trompe.

Le trajet des gamètes est très court et ils ne seront pas expulsés hors de l’organisme, car ils rencontreront les spermatozoïdes dans la trompe, au niveau de l'ampoule.

### 2.3.2 Morphologie du gamète femelle : Ovocyte

Les gamètes femelles ou ovocytes (ou œufs) sont classés suivant leur taille. Celle-ci est en rapport avec la quantité du vitellus et sa distribution lors des premières divisions. Le tableau n°3 résume les différentes catégories.

Tableau 2 : Différents types d’œufs

Types d’œufs	Caractéristiques	Espèces
Alécithes	Totalement dépourvus de vitellus	Mammifères placentaires
Oligolécithes	Peu de vitellus	Echinodermes (oursin), mollusques et mammifères
Mésolécithes, hétérolécithes	Charge moyenne de vitellus disposé d’une manière hétérogène selon un gradient vitellin	Amphibiens, céphalopodes (mollusques: seiche, calamar)
Mégalécithes, Télolécithes	Vitellus très important réparti dans presque tout le cytoplasme	Reptiles, oiseaux et poissons
Mégalécithes, centrolécithes	Vitellus important occupe le centre autour du noyau alors que le cytoplasme formatif est périphérique	Insectes

En général, le gamète femelle est une cellule de grande de taille. Son diamètre varie entre 100 microns à quelques centimètres chez les oiseaux. Sa surface membranaire dite plasmalemm se soulève et forme de fines et nombreuses microvillosités dont la densité augmente au cours de la folliculogenèse.

Le cytoplasme des ovocytes est abondant et se distingue par :

- Un cytoplasme formatif : qui comporte le noyau et les organites cellulaires et qui est presque ou totalement dépourvu de vitellus. Ce dernier est exclusif et important chez les mammifères alors que, chez les oiseaux, il est réduit à une zone corticale périphérique et à une autre discoïdale, formant le disque germinatif.
- Un cytoplasme nutritif : qui correspond au vitellus qui peut être quantitativement plus ou moins important et sa répartition différente selon l'espèce animale.

L'ovocyte est une cellule qui n'a pas terminé sa maturation nucléaire et qui reste entourée de ses enveloppes. Très différente du gamète mâle, elle est entourée d'une couche de glycoprotéines : la zone pellucide et de cellules granuleuses (des cellules folliculaires), qui constituent : la corona radiata (figure 9).

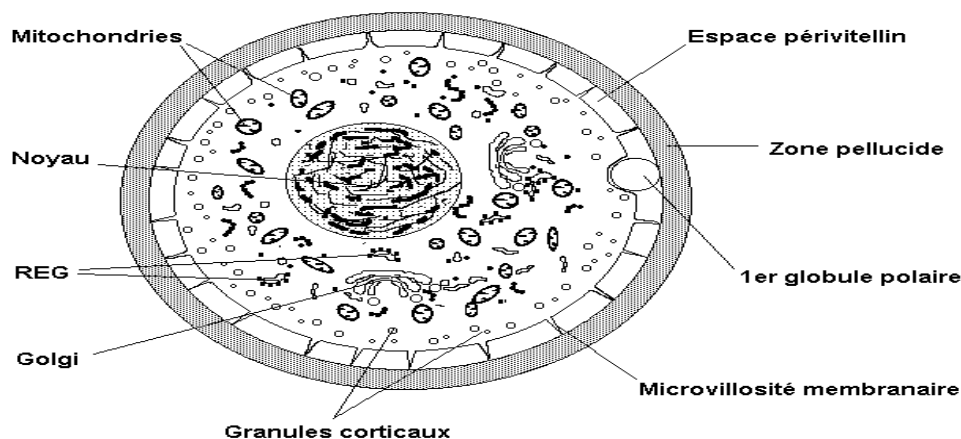


Figure 9 : Ovocyte II

## 2.4 Phases du cycle ovarien : la phase folliculaire, l'ovulation et la phase lutéale

Le cycle est le résultat de variation hormonale qui influence les tissus sensibles aux œstrogènes et à la progestérone.

Chez la femelle, le cycle sexuel est interrompu pendant la gestation et la lactation; il se compose de 2 phases :

-**Phase folliculaire** : au début du cycle, le taux d'hormones circulantes (œstrogènes-progestérone) est faible ; la production de FSH et LH est alors stimulée. La FSH agit sur l'ovogenèse, donc sur la sécrétion d'œstrogènes dont l'augmentation dans le sang provoque une libération massive de LH qui entraîne la rupture du follicule et la ponte.

-**Phase lutéale** : la LH stimule la transformation du follicule déhiscent en corps jaune. La thèque pénètre dans la granulosa dont les cellules se chargent en lipides, l'ensemble présente alors les caractères d'une glande endocrine en produisant beaucoup de progestérone ainsi que d'œstrogènes.

- **Ovulation** : chez la plupart des mammifères, l'ovulation est spontanée : elle a lieu en l'absence de mâle à des intervalles de temps réguliers caractéristiques de l'espèce. Deux types de cycles sont distingués : le cycle œstral et le cycle menstruel.

- **Cycle œstral** est caractérisé par l'apparition périodique d'un comportement d'œstrus ou d'acceptation du mâle pendant la période qui précède l'ovulation (chez tous les mammifères sauf les primates), le cycle exprime l'intervalle qui sépare deux œstrus donc deux ovulations.
- **Cycle menstruel** : chez les primates et l'espèce humaine, les femelles acceptent de s'accoupler en dehors du moment de l'ovulation, il n'y a pas d'œstrus caractérisé. Au cours de ce cycle, l'activité cyclique des ovaires se manifeste par l'apparition périodique d'un saignement utérin ou menstruation. L'œstrus et la menstruation caractérisent respectivement le début du cycle œstral et le début du cycle menstruel. L'ovulation a lieu au début du cycle œstral et au milieu du cycle menstruel.

#### 2.4.1. Différentes phases du cycle

**Au niveau de l'ovaire** : il y a 4 phases successives

- **Pré-œstrus** : période de croissance du follicule (phase folliculinaire) FSH+++ et LH+, se traduisant par sécrétion croissante d'œstrogènes.
- **Œstrus** : œstrogène +++, la femelle accepte le mâle, fin de l'œstrus, rupture du follicule de De Graaf, FSH +, LH +++.
- **Post œstrus**: épanouissement du corps jaune qui secrète la progestérone avec installation d'un état pré gravidique de l'utérus.

- **Diœstrus** : phase la plus longue caractérisée par le repos sexuel et la régression du corps jaune.

### 3. Principes d'organisation fonctionnelle (hormones ovariennes)

Après l'ovulation, les parois du follicule et les thèques s'effondrent et se plient, ils se transforment en corps jaune, structure glandulaire qui sécrète surtout la progestérone et un peu d'œstrogènes.

- Si l'ovocyte est fécondé, le corps jaune ne dégénère pas et sous l'effet des HCG dont l'effet est analogue à celui de la LH, il augmente de taille pour former le corps jaune gravidique ou le corps jaune gestatif et accroît sa production hormonale (surtout la progestérone).
- Si l'ovocyte n'est pas fécondé, le corps jaune dégénère à la fin du cycle (lutéolyse); ce corps jaune de menstruation ou corps jaune cyclique laisse une cicatrice tissulaire dans l'ovaire : c'est le corpus albicans ou corps blanc.

#### - Progestérone

C'est un produit synthétisé en grande partie par le corps jaune (par les cellules de la granulosa) ; la progestérone a la propriété de provoquer la dentelle utérine et le maintien de la gestation, la synthèse des progestagènes peut également avoir lieu par le placenta et les corticosurrénales.

#### - Œstrogènes

Les œstrogènes sont un groupe de substance à constitution chimique variée possédant tous la propriété commune de faire apparaître les signes de l'œstrus (chaleurs chez les animaux). Ceux sont des hormones sécrétées par les cellules de la thèque interne. Les œstrogènes stimulent la prolifération des cellules de la granulosa et la maturation ovocytaire et leur concertation élevée dans le sang provoque l'apparition du pic de LH.

#### - Inhibine

Elle est sécrétée par les cellules folliculaires durant la phase folliculaire et par le corps jaune en phase lutéale. Elle inhibe la sécrétion de FSH.

#### - Androgènes

Elles sont sécrétées en infimes parties par la thèque interne des follicules.

## Références Bibliographiques

- Anonyme1., 2020. Cours embryologie chapitre 2 : la spermatogenèse.

[www.poly-prepas.com/images/files/La%20spermatogenèse%20\(L1%20SANTÉ\).pdf](http://www.poly-prepas.com/images/files/La%20spermatogenèse%20(L1%20SANTÉ).pdf)

- Bio Top., 2017. Chapitre 5 : La gamétogenèse.

[https://www.bio-top.net/Transmission\\_vie/5\\_gametogenese.htm](https://www.bio-top.net/Transmission_vie/5_gametogenese.htm)

-Bodart J. F., 2015. Embryologie expérimentale : comprendre les principes fondamentaux de l'embryogénèse, mémento Sciences 1<sup>er</sup> cycle PACES, de boeck, Belgique. pp5-21.

- Bourghès-Abella N., 1999. Le testicule, Module Sciences morphologiques HISTOLOGIE- Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse. Module Sciences morphologiques HISTOLOGIE-

[https://eddirasa.com/wp-content/uploads/univ/ENSV/veto\\_histologie-testicule.pdf](https://eddirasa.com/wp-content/uploads/univ/ENSV/veto_histologie-testicule.pdf).

-Collectif d'enseignants de biologie L1-SNV de l'USTHB., 2017. Cours illustré biologie animale, tome 1 : embryologie générale. Edition P/n° 5744 Office des Publications Universitaires.

- Craplet G., 1952. Reproduction normale et pathologique des bovins, Vigot frères éditeurs, Paris. pp 7-39.

- Hamamah., 2011. Spermatogenèse, ovogenèse, fécondation. UE2 Embryologie séance1. [www.lafed-um1.fr/statique/archives/2010-2011/UE2.../UE2embryoPPTseance1.pd](http://www.lafed-um1.fr/statique/archives/2010-2011/UE2.../UE2embryoPPTseance1.pd).

- Halter S, Reynaud K, Tahir Z, Thoumire S, Chastant-Maillard S, Saint-Dizier M., 2018. L'oviducte de mammifère un organe revisité. [https://www.researchgate.net/publication/251666238\\_L'oviducte\\_de\\_mammifere\\_un\\_organe\\_revisite](https://www.researchgate.net/publication/251666238_L'oviducte_de_mammifere_un_organe_revisite) [consulter en Oct 06 2018].

- Hennebicq S., 2012. Chapitre 2 : Ovogenèse, folliculogenèse fécondation, cours UE2 : Histologie - Biologie du développement et de la Reproduction. Université Joseph Fourier de Grenoble. [http://unf3s.cerimes.fr/media/paces/Grenoble\\_1112/hennebicq\\_sylviane/hennebicq\\_sylviane\\_p02/hennebicq\\_sylviane\\_p02.pdf](http://unf3s.cerimes.fr/media/paces/Grenoble_1112/hennebicq_sylviane/hennebicq_sylviane_p02/hennebicq_sylviane_p02.pdf).

- Marie-Claire Orgebin-Crist, Liliane Boivineau, Y. De Fontaubert.,1962. Recherches expérimentales sur la durée de passage des spermatozoïdes dans L'ÉPIDIDYME DU TAUREAU. Annales de biologie animale, biochimie, biophysique,2 (1), pp.51-108.  
<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00896164>

-Moens A., 2021. Embryologie des animaux domestiques. Deuxième bloc annuel du programme de Bachelier en Médecine vétérinaire LVETE1250, Première partie : L'EMBRYOGENESE, UCL Louvain Belgique

- Pedron P, Ttraxer O, Haab F, Farres M T, Tligui M, Thibault P, Gattegno B, 1997. Glandes de Cowper : aspects anatomique, physiologique et pathologique. Progrès en Urologie, 7. pp 563-569.

[www.urofrance.org/fileadmin/documents/data/PU/.../TEXF-PU-1997-00070563.PDF](http://www.urofrance.org/fileadmin/documents/data/PU/.../TEXF-PU-1997-00070563.PDF).

- Santé publique éditions, 2020. L'ovogénèse.

[www.santepublique-editions.fr/objects/l-ovogenese.pdf](http://www.santepublique-editions.fr/objects/l-ovogenese.pdf)

- Seddiki-Bougrassa; Messala; Bouabdellah., 2017. Fécondation. Université d'Oran, Faculté de médecine, Service d'Histologie-Embryologie.

[facmed-univ-oran.dz/ressources/fichiers\\_produits/fichier\\_produit\\_822.pdf](http://facmed-univ-oran.dz/ressources/fichiers_produits/fichier_produit_822.pdf).

- Serakta A., 2010. Cours Embryologie première année médecine vétérinaire, Institut des sciences Vétérinaires, Université Mentouri, Constantine1.