

INTRODUCTION GENERALE

I. DEFINITIONS

L'**embryologie** est la science qui se consacre à l'étude du développement de l'embryon, c'est-à-dire à la période de la vie comprise entre la fécondation de l'œuf et la naissance. Aussi, c'est l'étude du développement de l'être vivant (Ontogenèse).

L'**ontogenèse** est divisée par la naissance (ou l'éclosion) en une période prénatale caractérisée par des changements rapides et très marqués et une période postnatale où les changements sont plus lents.

Au sens strict, l'embryologie est l'étude du développement prénatal. Il est possible de l'envisager d'un point de vue morphologique, expérimental ou fonctionnel et la diviser en trois périodes :

1) La période pré embryonnaire : elle comprend l'étude de la formation et de la morphologie des gamètes mâle et femelle.

2) La période embryonnaire : elle s'étend de la fécondation jusqu'à l'origine des ébauches des principaux organes et l'individualisation de l'embryon de ses annexes extra embryonnaires. Elle se déroule durant le premier tiers de la gestation avec quelques variantes suivant l'espèce et peut être subdivisée comme suit :

2.1) La fécondation : c'est la fusion du spermatozoïde et de l'ovule qui aboutit à la formation d'un zygote, lui-même à l'origine d'un nouvel individu.

2.2) La segmentation : cycles rapides de division cellulaire, formation d'une blastula

2.3) La gastrulation : c'est la mise en place, par **différenciation cellulaire** de la masse cellulaire interne, des **trois feuillets primordiaux** (ou germinatifs) : l'**ectoderme**, l'**endoderme** et le **mésoderme**.

La gastrulation est immédiatement suivie de la neurulation ou formation de l'ébauche du système nerveux central. La formation des organes extra-embryonnaires a lieu au même moment.

2.4) L'individualisation de l'embryon et la formation du corps

L'embryon s'individualise de ses organes extra-embryonnaires par la mise en place du cordon ombilical et son corps acquiert progressivement sa forme générale (tête, tronc, ébauche des membres). Il devient possible de reconnaître l'espèce.

3) La période fœtale

Les ébauches des principaux organes se mettent en place et évoluent vers leur forme définitive. C'est l'**organogenèse**. Le développement complet des **organes extra-embryonnaires** (membranes et **placenta**) a également lieu durant cette période. Lorsque la forme adulte de

l'espèce est reconnaissable dans l'embryon, on parle de **fœtus**. Son développement jusqu'à terme est la **fœtogenèse**.

Les **mammifères** sont **vivipares** car les jeunes naissent au terme d'un développement embryonnaire intra-utérin complet (euthérien) ou partiel (métathériens ou marsupiaux) durant lequel l'organisme maternel assure la nutrition de l'embryon. Quelques espèces de mammifères (prothériens) sont **ovipares**. Ils pondent des œufs dans lesquels les jeunes se développent en dehors de l'organisme maternel et, de ce fait, ne mettent en place aucune structure placentaire. Le terme d'**ovovivipare** est réservé aux animaux qui produisent des œufs dont l'incubation se déroule au sein du tractus génital de la mère (de nombreuses espèces de serpents).

La femelle des grandes espèces domestiques (jument, vache, chamelle) et la femme sont **unipares** ou monotoques (un conceptus par gestation) tandis que celle des petites (carnivores, truie, rongeurs) sont polytoques (plusieurs concepti par gestation). Le terme de primipare s'applique à la femelle (ou à la femme) au cours et à l'issue de sa première gestation et le terme de **multipare** à partir de la seconde gestation.

II. SOUS-DIVISIONS DE L'EMBRYOLOGIE

EMBRYOLOGIE DESCRIPTIVE : a pour but l'étude de la genèse des formes, ou morphogénèse. Elle est basée sur l'anatomie et l'histologie.

II.1. EMBRYOLOGIE EXPERIMENTALE OU CAUSALE : étudie les mécanismes du développement, au niveau des structures et ultrastructure cellulaires au niveau moléculaire.

II.2. EMBRYOLOGIE PATHOLOGIQUE OU TERATOLOGIE (TERATOS=MONSTRE, LOGOS= ETUDE) : étudie les anomalies congénitales (malformations et monstruosités) dues à des perturbations du développement normal.

II.3. EMBRYOLOGIE COMPAREE : s'occupe des analogies et des différences du développement entre groupes proches.

II.4. EMBRYOLOGIE MOLECULAIRE : étudie l'expression des gènes en relation avec le développement

III. TERMINOLOGIE

- **Zygote** : œuf fécondé.
- **Germe** : correspond aux premiers stades du développement tant que la forme externe est plus ou moins sphérique.
- **Embryon** : correspond au stade à partir duquel apparaît une forme d'ensemble reconnaissable. Ce terme s'utilise pendant les 8 premières semaines de développement.

- **Fœtus** : correspond au stade à partir duquel l'embryon commence à ressembler à être vivant (à partir du 60^{ème} jour). Ce terme s'utilise après la 8^{ème} semaine à la fin de gestation.

IV. VUES ET COUPES EN EMBRYOLOGIE

Les différents stades de développement embryonnaires sont présentés par des figures et des coupes que nous avons jugées importantes à démontrer. Les vues et les coupes en embryologie sont indispensables pour bien comprendre les schémas.

Lorsque l'embryon est observé extérieurement, on parle de vues (figure1).

Il y a trois types de vues : **vue dorsale ou postérieure (dos)**, **vue ventrale ou antérieure (ventre)**, **vue latérale ou de profil**.

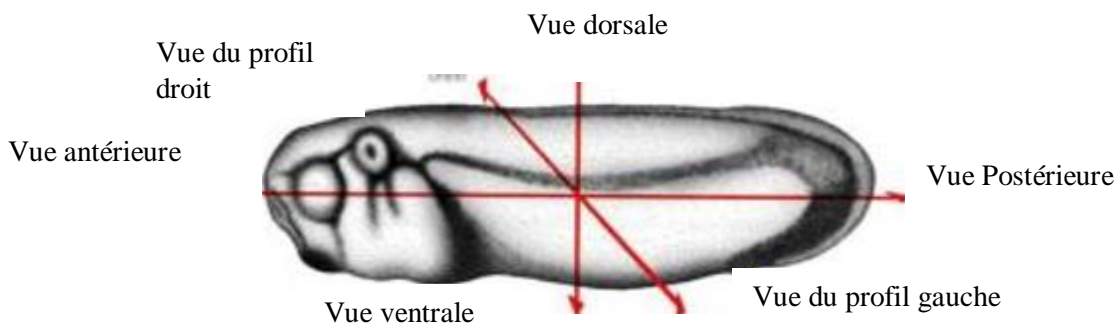


Figure1 : Différentes vues externes d'un embryon

Afin d'étudier l'embryon de l'intérieur, on doit considérer les plans de coupes (figure 2), on décrit aussi 03 types de coupes : **coupe sagittale**, **coupe transversale**, **coupe frontale** (voir schéma).

- **Coupe sagittale** : coupe antéropostérieure qui passe par le plan symétrique bilatéral.
- **Coupes transversales** : elles sont perpendiculaires au plan de symétrie bilatérale et sont dorso-ventrales.
- **Coupes frontales** : sont perpendiculaires au plan symétrie bilatérale et parallèle au front chez les primates



Figure 2 : Différentes coupes de l'embryon

CHAPITRE I : GAMETOGENESE

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 feuillets 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 gamétogénèse 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 1, 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.

I. GAMETOGENESE

I.1.SPERMATOGENESE

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 (figure3)

- 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.

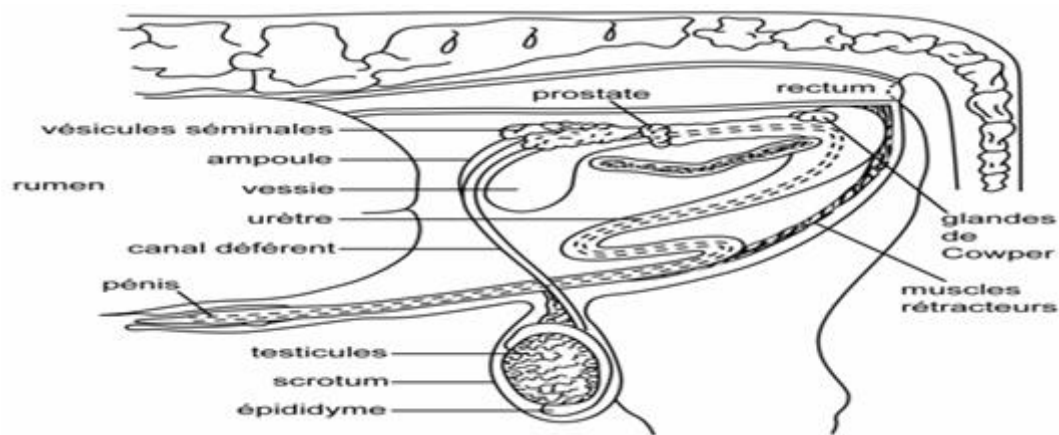


Figure 3 : Appareil reproducteur d'un taureau (Hamilton, 2006)

I.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 4).

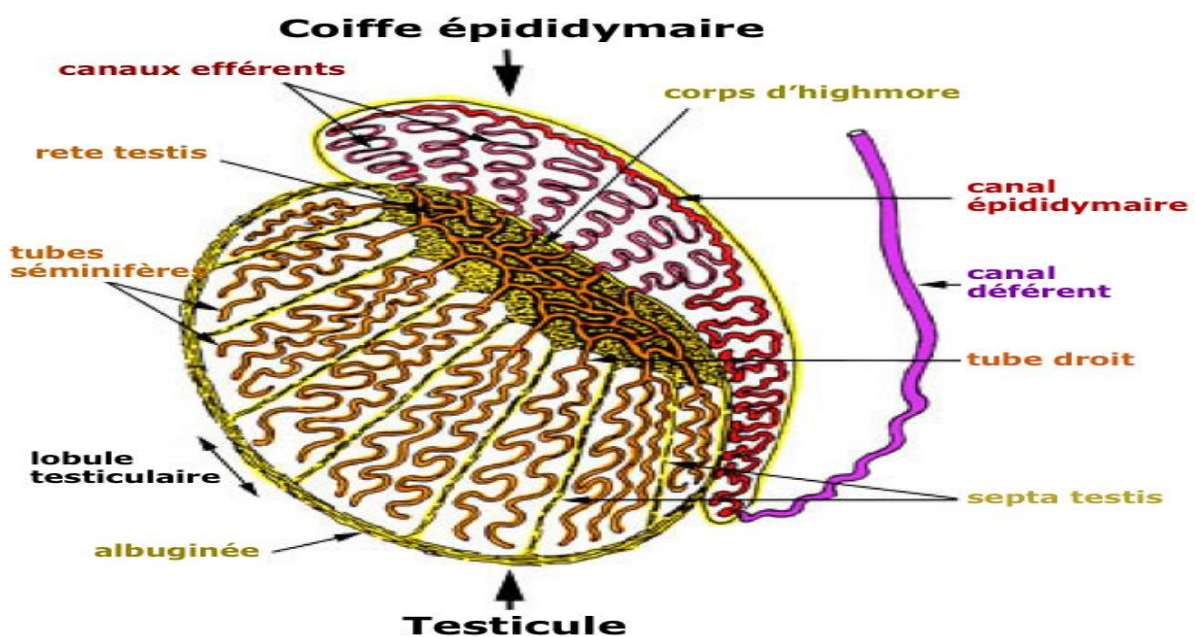


Figure 4 : Histologie des testicules (VLC Research OPHYS, 2015)

I.1.2. Caractère continu et origine des cellules productrices de gamétoctes

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 spermatogénèse qui s'effectuent depuis la spermatogonie située contre la membrane basale jusqu'aux spermatozoïdes libérés dans la lumière.

A l'intérieur des tubes séminifères (figure 5), 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 sécrètent les androgènes, en particulier la testostérone et possèdent des récepteurs membranaires à l'ISH (interstitielle stimulating hormone).

I.1.3. Composantes du gamétoocyte mâle (spermatozoïde)

Le gamète mâle ou spermatozoïde est une cellule monoflagellée de 50 à 70 μ de longueur, de forme très allongée, pauvre en cytoplasme comportant plusieurs segments (figure 5) :

A) Tête : elle est de forme et de taille variables suivant l'espèce. Elliptique chez l'étalon et les carnivores, en forme de raquette chez les ruminants et le porc. Elle mesure 8 à 9 μ de longueur et 4 à 5 μ 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.

B) 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.

C) 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 :

- **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.

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

- **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 (90μ).

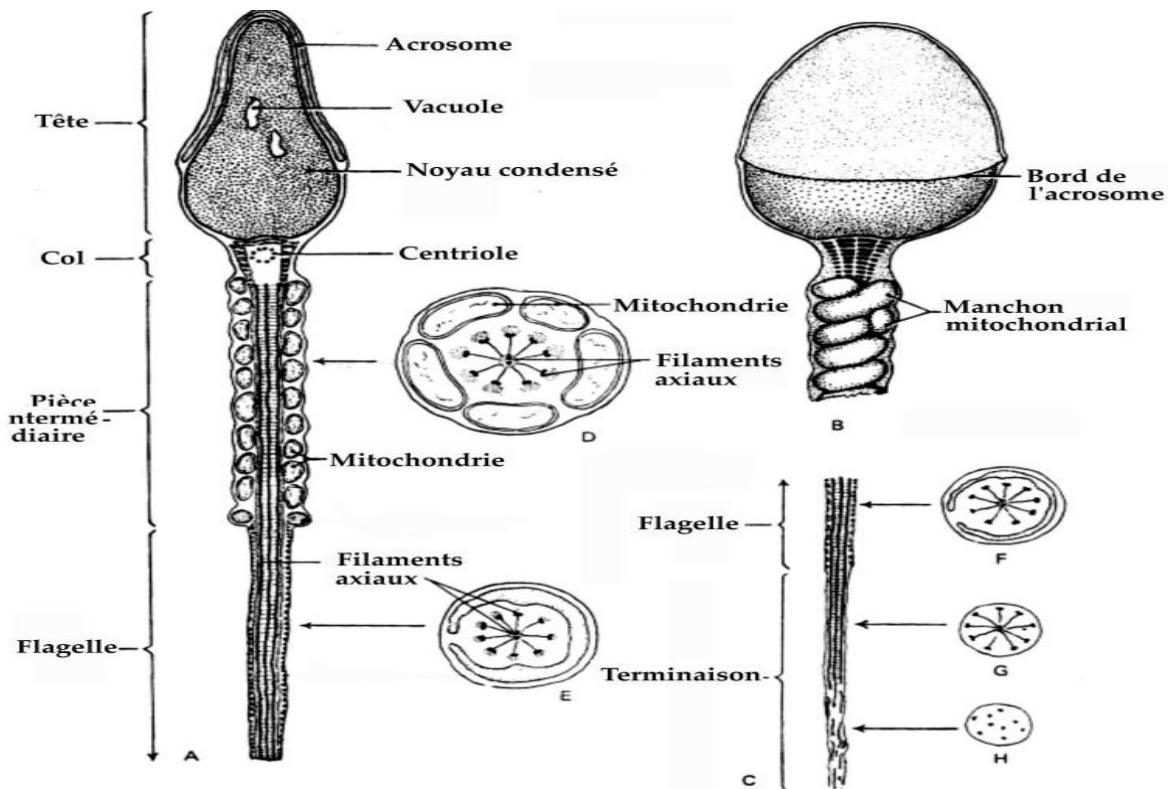


Figure 5 : Structure d'un spermatozoïde humain (Moens, 2020)

I.1.4. Chronologie de l'évolution des spermatozoïdes (spermatogénèse)

A. 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 6).

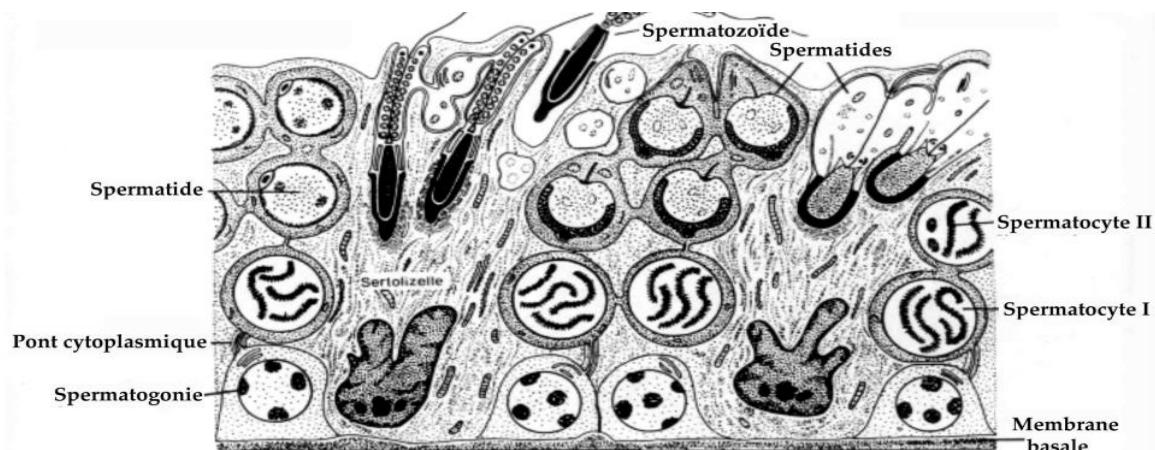


Figure 6 : Différentes cellules de la spermatogénèse (Anonyme9, 2020)

B. 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 7).

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 :

➤ 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.

➤ 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.

➤ 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.

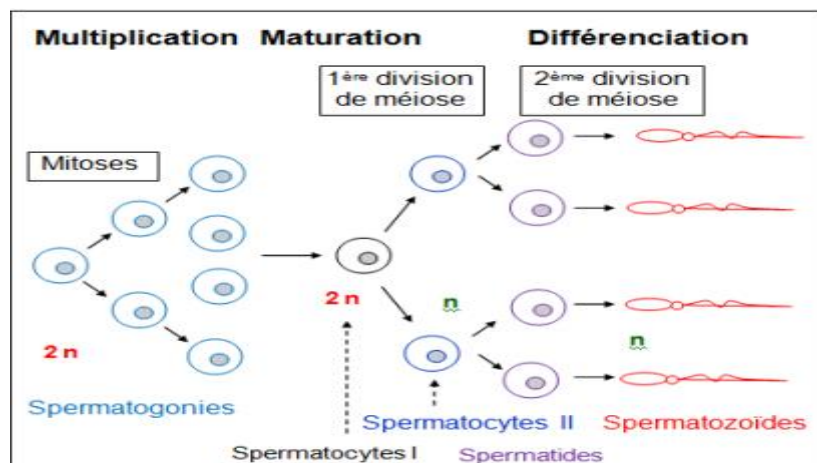


Figure 7 : Etapes de la spermatogénèse (Anonyme 9, 2020)

I.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, azospermie)
- 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.

I.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 :

➤ ***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.

➤ ***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.

➤ ***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.

I.2.OVOGENESE

L'ovogenèse 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 8).

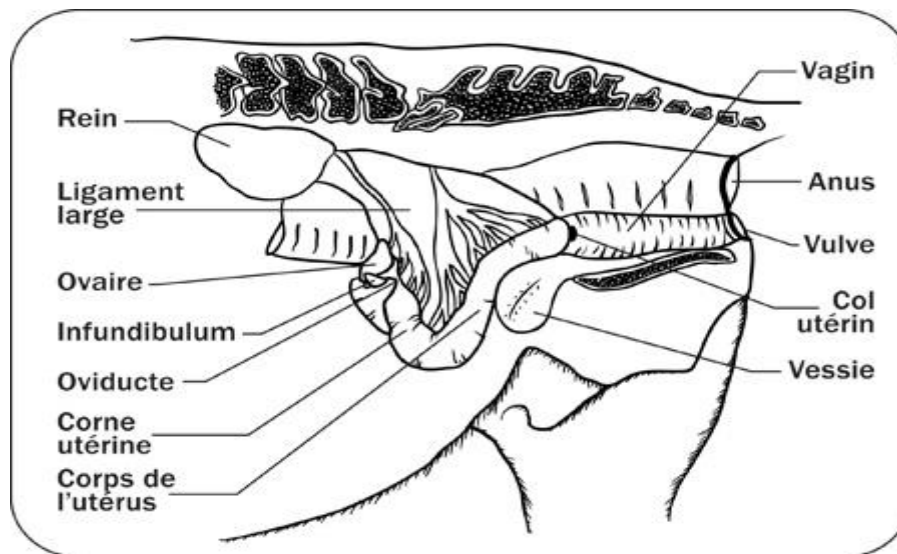


Figure 8 : Vue sagittale situant l'appareil reproducteur de la jument (Anonyme 2, 2022)

I.2.1. Lieu de déroulement de l'ovogenèse et son évolution dans le temps

La formation des gamètes femelles se déroule dans les ovaires, c'est l'ovogenèse. 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'ovogenèse comporte 3 phases (figure 9)

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

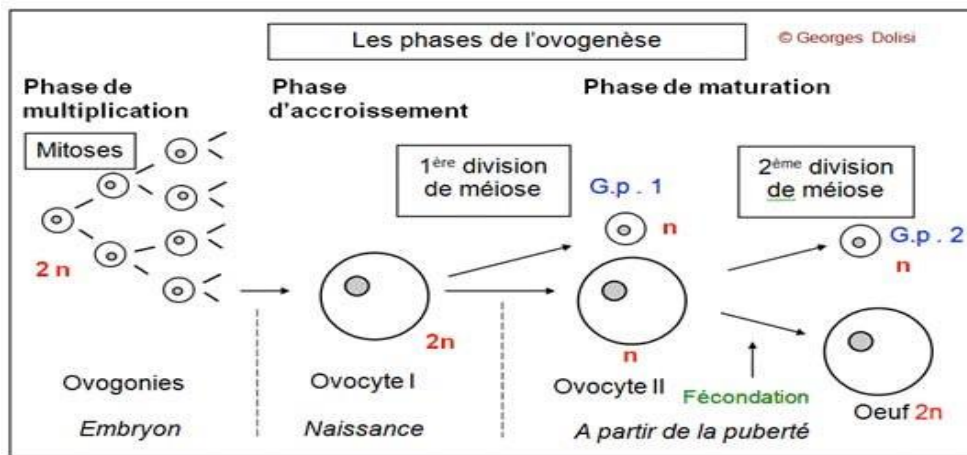


Figure 9 : Phase d'ovogénèse (Anonyme 3, 2022)

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^{ème} semaine de la vie utérine ; elles sont au nombre de 4 à 6 millions environ.

b) 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 accroit 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 (lécithes) 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 1ère division, réductionnelle, devrait en principe fournir à partir des ovocytes primaires diploïdes, des ovocytes secondaires haploïdes (**ovocyte II**) ; la 2ème, équationnelle, devrait fournir des **ovotides**, haploïdes également. Mais cette méiose d'ovogenèse présente 3 particularités :

-Blocage en prophase I

L'ovocyte primaire entame sa 1ère 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 1ère 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 un seul 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.

II.2. CHRONOLOGIE DE L'EVOLUTION DES FOLLICULES OVARIENS AU COURS DE L'OVOGENESE

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 10).

Depuis le 7ème mois de la vie fœtale à la puberté, les ovocytes entrent en atrésie 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 forment 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'abord stimulés et contribuent ainsi à la formation d'hormones, ils dégèrent tous entre le 7ème et le 14ème jours du cycle à l'exception du

follicule ovarien qui subira une maturation et deviendra follicule de De Graaf (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 appelée : 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.

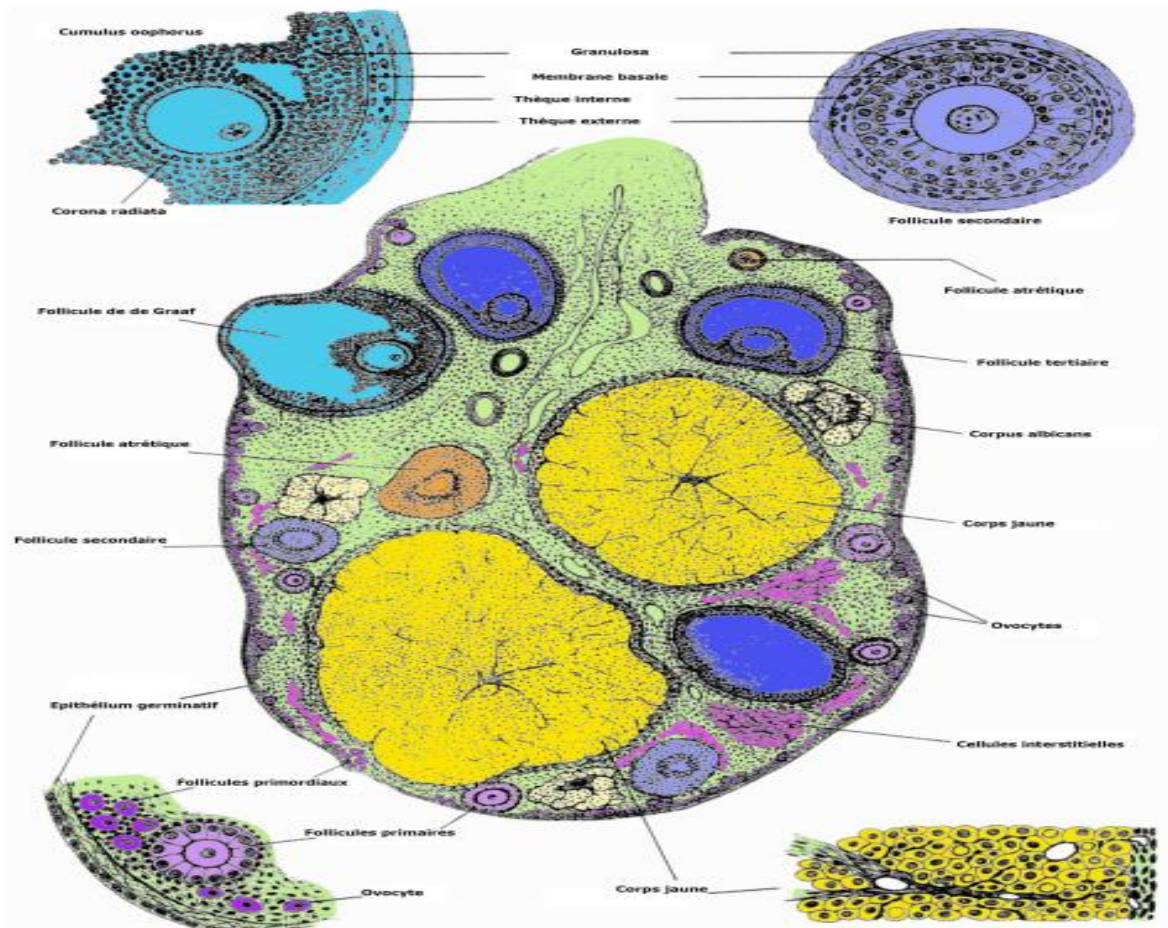


Figure10 : Schéma de l'évolution d'un follicule primordial en follicule de De Graaf (Moens1, 2021)

I.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.

A. 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.

B. 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°2 résume les différentes catégories.

Tableau 2 : Différents types d'œufs (Collectif des enseignants de biologie L1-SNV de l'USTHB, 2017 ; Moens 1, 2021)

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 plasmalemme se soulève et forme de fines et nombreuses microvillosités dont la densité augmente au cours de la folliculogénèse.

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 11).

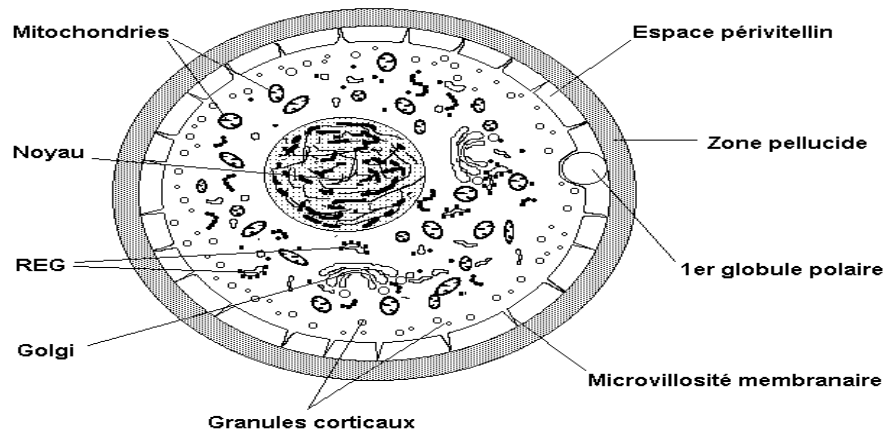


Figure 11 : Ovocyte II (Anonyme 4,2022)

II.4. PHASES DU CYCLE OVARIEN : PHASE FOLLICULAIRE, OVULATION ET PHASE LUTEALE

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.

II.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 folliculinique) FHS+++ 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.
- **Diaœstrus** : phase la plus longue caractérisée par le repos sexuel et la régression du corps jaune.

I.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 secrète 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). Ce 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 concentration 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.

CHAPITRE II : ETAPES DU DEVELOPPEMENT EMBRYONNAIRE

Le développement d'un organisme en société de cellules durant la vie embryonnaire implique plusieurs mécanismes de croissance de l'embryon tels que les phénomènes :

- Auxétique : augmentation de la taille des cellules
- Multiplicative : augmentation du nombre des cellules
- Accrétionnaire : augmentation de la quantité du matériel acellulaire.

Rapidement, les cellules embryonnaires s'organisent et se polarisent ; Ces cellules embryonnaires bougent, changent de forme, s'agrègent, se différencient ou meurent. Dans le cas du développement direct, la fin de la période embryonnaire signe la fin de l'organogénèse.

II.1. PREMIERE SEMAINE DU DEVELOPPEMENT EMBRYONNAIRE

II.1.1.Fécondation : c'est le processus par lequel les cellules sexuées haploïdes, le spermatozoïde (gamète mâle) et l'ovule (gamète femelle) fusionnent pour donner une cellule "souche" ou **zygote**, diploïde et totipotente, en fonction de leur stade.

Ce processus a lieu dans le 1/3 externe de la trompe utérine (c'est-à-dire dans l'ampoule tubaire) et comporte 2 étapes essentielles :

- La pénétration du spermatozoïde dans l'ovule.
- L'amphimixie ou fusion des 2 noyaux mâle et femelle.

A. Modalités de la fécondation

Il y'a deux types de fécondation : fécondation externe et fécondation interne

- Fécondation externe : les gamètes sont libérés à l'extérieur des voies génitales, ils se rencontrent dans l'eau (oursins, poissons et amphibiens).
- Fécondation interne : le dépôt des gamètes mâles s'effectue dans le tractus génital femelle précédé d'un accouplement entre les partenaires sexuels (mammifères, oiseaux).

B. Transit des spermatozoïdes dans les voies génitales femelles

Sa durée diffère d'un mammifère à un autre en fonction de la taille du tractus génital et du lieu de dépôt des spermatozoïdes qui peut être au niveau de l'utérus ou du vagin (figure 12). L'avancée des spermatozoïdes est facilitée par :

- La contraction des parties du tractus génital femelle
- La présence du liquide utérin

- La mobilité propre des spermatozoïdes.

-Espèces où le sperme est déposé dans le vagin (femme, vache, brebis, lapine et chatte)

Les spermatozoïdes remontent la quasi-totalité des voies génitales féminines. Déposés dans la cavité vaginale, ils n'y restent que peu de temps, le pH acide du milieu vaginal leur étant néfaste et ils pénètrent aussitôt dans la glaire cervicale, qui occupe le col utérin.

-Traversée du col de l'utérus

Ne traversent la glaire cervicale que les spermatozoïdes les plus féconds, c'est-à-dire ceux dont la mobilité est la meilleure, progressive, linéaire et de vitesse suffisante, ainsi que ceux dont la morphologie est la plus typique. La glaire ne laisse passer que 1 à 2% des spermatozoïdes inséminés. Cette glaire est composée de glycoprotéine, de sucre et d'eau.

Les spermatozoïdes ne peuvent traverser la glaire que pendant la courte période péri-ovulatoire, c'est-à-dire le jour de l'ovulation, les deux jours qui la précèdent et le lendemain. Ce n'est qu'à ce moment-là que le col est ouvert, que la glaire est en quantité suffisante et que ses caractéristiques physico-chimiques et morphologiques sont optimales.

La glaire cervicale a plusieurs rôles, à savoir

- Protéger les spermatozoïdes par son pH basique
- Constituer un apport énergétique (glucose)
- Avoir un rôle antibactérien et anti viral
- Éliminer le plasma séminal, donc les facteurs de décapacitation du spermatozoïde.

-Espèces où le sperme est déposé dans l'utérus (truie, jument, rate et chienne)

Chez les espèces où l'insémination a lieu in utero, c'est la relaxation spasmodique du col qui permet le franchissement rapide de celui-ci, cette relaxation a lieu au moment de l'œstrus et sous l'effet des œstrogènes. Le mucus cervical se liquéfie, ce qui facilite la pénétration du pénis dans le vagin. Les contractions utérines seraient les principales responsables de la remontée des spermatozoïdes, mêmes morts. Les contractions importantes pendant l'œstrus et faibles pendant la phase progestéronique, sont stimulées par la décharge d'ocytocine consécutive à une excitation du col.

-Traversée des trompes

Les spermatozoïdes sont encore en grand nombre à la jonction utéro-tubaire qui est difficile à franchir. C'est grâce à leur mobilité que les spermatozoïdes passeraient ce nouvel obstacle. L'isthme contient une substance visqueuse où les spermatozoïdes viennent s'agglutiner par la tête et achèvent la

capacitation. Les spermatozoïdes poursuivraient leur progression dans les trompes grâce à des contractions des trompes ainsi que par ses mouvements ciliaires.

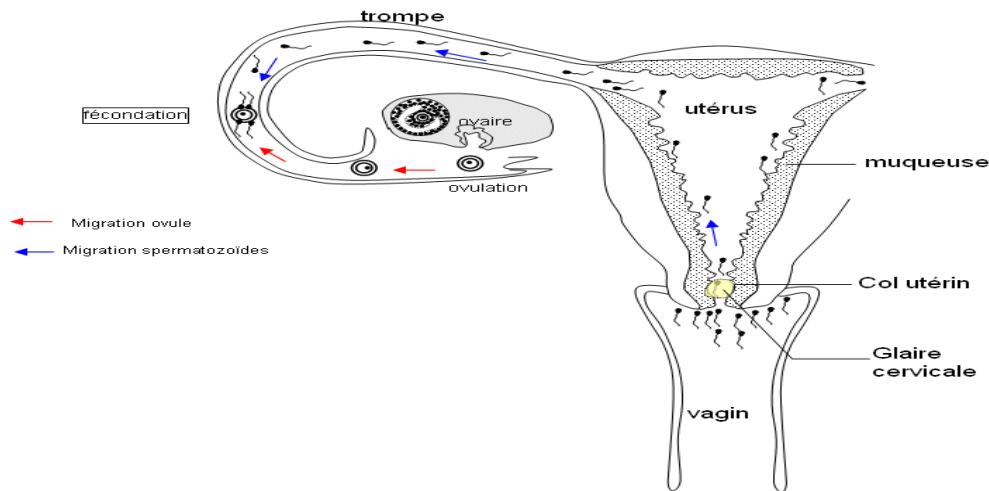


Figure 12 : Transport des spermatozoïdes lors de la fécondation (Gallien, 2005)

C. Contact entre les gamètes

Cette étape est complémentaire de la précédente à laquelle elle est dépendante.

Elle comporte la traversée de la corona radiata, la fixation à la zone pellucide, sa traversée et la fusion intergamétique. La durée de cette phase n'est pas connue avec précision, mais elle est brève, de l'ordre d'une heure in vitro.

-Traversée de la corona radiata

Alors que plusieurs centaines de millions de spermatozoïdes sont déposés dans les voies génitales femelles, un seul spermatozoïde est nécessaire à la fécondation, les autres spermatozoïdes ont un rôle adjuvant en sécrétant l'hyaluronidase qui aiderait à la dispersion des cellules de la corona-radiata : c'est la **réaction acrosomiale**, qui consiste en la libération des enzymes contenues dans l'acrosome. Cette réaction se produit lorsque le spermatozoïde capacité, pénètre dans les assises cellulaires péri-ovulaires (corona radiata). Elle se caractérise par la fusion de la membrane plasmique et de la membrane acrosomiale externe suivie de l'élimination complète des 2 membranes, ce qui entraîne :

- La libération des enzymes contenues dans l'acrosome et plus particulièrement l'hyaluronidase
- La mise à nu de la membrane acrosomiale interne sur laquelle est localisée l'acrosine qui digère la zone pellucide.

- Fixation à la zone pellucide

Dès que les spermatozoïdes sont en contact avec l'enveloppe externe de l'ovocyte ou pellucide, ils y adhèrent par un récepteur à une glycoprotéine de la pellucide : ZP3.

Cette liaison est spécifique car un spermatozoïde ne peut, en général, se fixer qu'à un ovocyte de son espèce.

D. Stades de la fécondation

-Pénétration du spermatozoïde

La traversée de la zone pellucide se fait obliquement et par la digestion de la zone pellucide par l'acrosine et par la poussée du mouvement flagellaire exacerbée par la réaction acrosomiale, suivie par la pénétration du spermatozoïde, ce qui entraîne une modification potentielle de la membrane de l'ovocyte qui devient imperméable à la pénétration d'autres spermatozoïdes (modification physicochimique de la zone pellucide). Cette modification entraîne une exocytose des granules corticaux (fusion de ces granules à la membrane plasmique ovocytaire): c'est la réaction corticale.

Dès la pénétration, le spermatozoïde laisse sa membrane protoplasmique à la surface de l'ovocyte qui achève sa deuxième division de maturation et ses chromosomes se rassemblent dans un noyau d'aspect vésiculaire : le pronucléus femelle. En se rapprochant du pronucléus femelle, le spermatozoïde perd sa queue et grossit son noyau et devient pronucléus mâle, morphologiquement identique au pronucléus femelle.

- Amphimixie

Le pronucléus mâle effectue une rotation qui amène le centriole proximal orienté vers le centre de l'œuf. Avant de fusionner, les deux pronucléus gagnent le centre de l'ovule, leurs membranes disparaissent et leurs chromosomes se condensent : c'est l'Amphimixie.

Les N chromosomes maternels et les N chromosomes paternels se mettent en place sur le fuseau puis se clivent au niveau du centromère.

Comme une mitose, les demi-chromosomes migrent vers les pôles opposés de la cellule. Un profond sillon apparaît à la surface de la cellule et divise le cytoplasme en deux : chaque cellule aura donc un nombre diploïde de chromosome et un capital normal d'ADN (figure N°13).

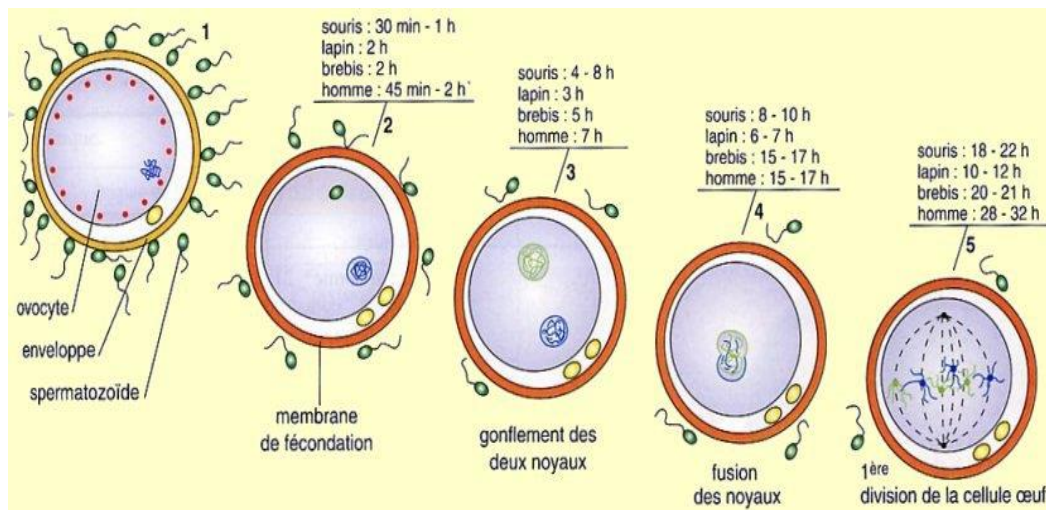


Figure 13 : Etapes de la fécondation (Anonyme 6, 2022)

II.1.2. Segmentation

La segmentation est la première étape du développement embryonnaire constituant la pré morphogénèse ; elle suit immédiatement la fécondation. Elle permet le passage de l'état unicellulaire à l'état pluricellulaire. La segmentation correspond aux premières mitoses du zygote en cellules filles appelées **blastomères**.

Le germe passe par les stades 2, 4, 8, 16, 32 blastomères, ... jusqu'à un certain nombre variable de cellules selon l'espèce animale (stade 8 cellules chez la souris, 16 cellules chez la brebis et 32 cellules chez la vache). Ces cellules restent groupées et le germe prend l'aspect d'une petite mure appelée **morula**. Cette dernière se creuse d'une cavité interne, la cavité de segmentation ou le blastocèle ; le germe devient une blastula qui marque la fin de la segmentation.

A. Différents types de segmentation

La segmentation est conditionnée par la quantité et la distribution du vitellus dans le zygote. La charge vitelline constitue une entrave aux plans de division.

Selon la richesse des œufs en vitellus, on distingue 2 types de segmentation : la **segmentation totale** ou holoblastique et la **segmentation partielle** ou méroblastique.

-Segmentation totale

Quand les plans de division affectent la totalité du volume de l'œuf fécondé, la segmentation est dite totale ou holoblastique. Ce type de segmentation comprend les œufs **alécithes**, **oligolécithes** et **mésolécithes-hétérolécithes**.

- Segmentation partielle

Seule une portion limitée du cytoplasme de l'œuf se segmente car l'axe de division pénètre de façon incomplète dans le vitellus. La segmentation est dite partielle. Ce type de segmentation comprend les œufs **mégalécithes-télolécithes** et **mégalécithes-centrolécithes**.

- *Exemple de segmentation chez certaines espèces*

Les divisions cellulaires de la segmentation sont appelées : clivage car ces divisions concernent le cytoplasme du zygote. Les cellules filles sont deux fois plus petites que la cellule mère dont elles sont issues. Par conséquent, il n'y a pas d'accroissement de volume de la blastula par rapport à celui de l'œuf fécondé.

- *Mammifères*

Les œufs des mammifères sont alécithes. La segmentation a lieu pendant la première semaine du développement embryonnaire en même temps que la migration tubaire.

L'activité cinétique provoquée dans l'œuf par la fécondation se poursuit par une suite de mitoses accompagnées de cloisonnement du cytoplasme (cytodiérèses), de sorte que le germe se compartimente en éléments cellulaires appelés blastomères (Figure 14).

Au début, les blastomères sont presque ovoïdes et ne s'accolent à leurs voisins que sur une surface restreinte mais après le 3^{ème} cycle mitotique, la morula ne tarde pas à régulariser sa sphéricité.

La **segmentation** au niveau de l'œuf est **totale** et elle est à peu près synchrone, car les différentes parties de l'œuf se segmentent au même rythme. Toutes ces divisions sont caractérisées par l'absence d'accroissement. Si bien que, pendant toute la segmentation, l'œuf toujours entouré de la zone pellucide, reste de la taille de l'œuf fécondé. Bien que les blastomères formés au début de la segmentation soient morphologiquement semblables, il existe probablement très tôt, une dissemblance biochimique entre les blastomères car, une différence morphologique devient apparente. L'ensemble des blastomères forme alors une masse pleine, à peine plus grosse que le zygote initial et entourée comme lui par la zone pellucide, qui a persisté. Ainsi se trouve réalisée une morula, généralement vers la fin de la période tubaire de la gestation. L'œuf ne commence à croître que vers la fin du stade morula.

Au stade de 8 cellules, au cours duquel les cellules établissent entre elles des contacts étroits et acquièrent une polarité : les microvillosités, distribuées auparavant de façon uniforme sur l'ensemble de la surface, se localisent dans les zones de la surface tournées vers l'extérieur. Les cellules non polarisées et qui sont volumineuses (macromères) formeront le bouton embryonnaire qui est à l'origine de l'embryon proprement dit, tandis que les cellules externes polarisées et plus petites (micromères) formeront le trophoblaste à l'origine des structures extra embryonnaires. Tandis que les mitoses se succèdent, il y a un afflux liquidien à travers la zone pellucide vers les espaces intercellulaires de la morula ; ces espaces liquidiens confluent et la morula devient un blastocyste dont la paroi est formée d'une couche de cellules : le trophoblaste (Figure 14).

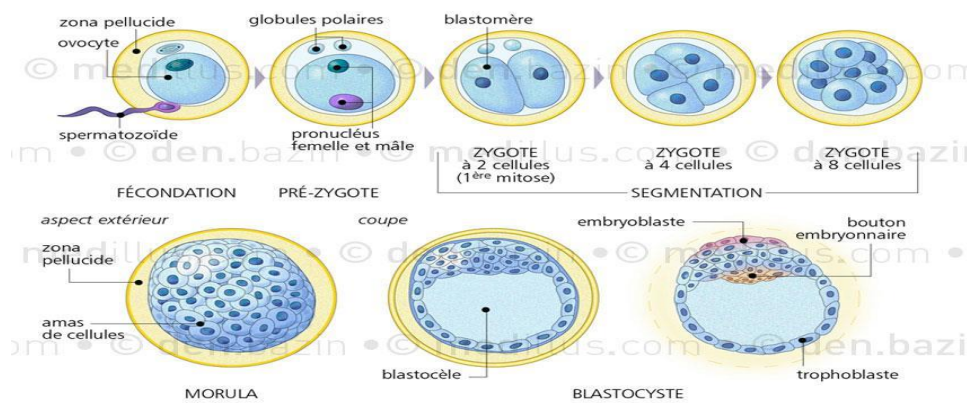


Figure 14 : Segmentation (Medillus, 2013)

- Oiseaux

La segmentation commence 5 heures après la fécondation, elle se produit dans l'oviducte et dure près de 24 heures, elle est achevée avant la ponte.

L'œuf d'oiseau est mégalécithe-téloécithe dont seul le cytoplasme actif contenant le noyau est affecté par la segmentation (segmentation discoïdale).

La segmentation se termine au moment de la ponte. Elle est assez semblable à celle des mammifères. Les premières segmentations cellulaires se produisent chez la poule à l'intérieur même de l'oviducte pendant la formation de l'œuf. La fusion des pronucleï mâle et femelle intervient 3 heures environ après l'ovulation ; elle est suivie de la première division une heure plus tard, lorsque l'œuf est dans l'isthme, un premier sillon de clivage apparaît à la surface de cicatrice, suivie 20 minutes plus tard par un deuxième sillon, avant que l'œuf ne pénètre dans l'utérus au stade 8 cellules. Les divisions sont verticales jusqu'au stade 32 cellules puis deviennent parallèles à la surface et donnera un blastodisque constitué d'une zone centrale de blastomères de petites de taille, entourée de blastomères plus grands et incomplètement individualisés. Les mitoses des blastomères centraux aboutissant à la mise en place d'assises cellulaires (figure 15)

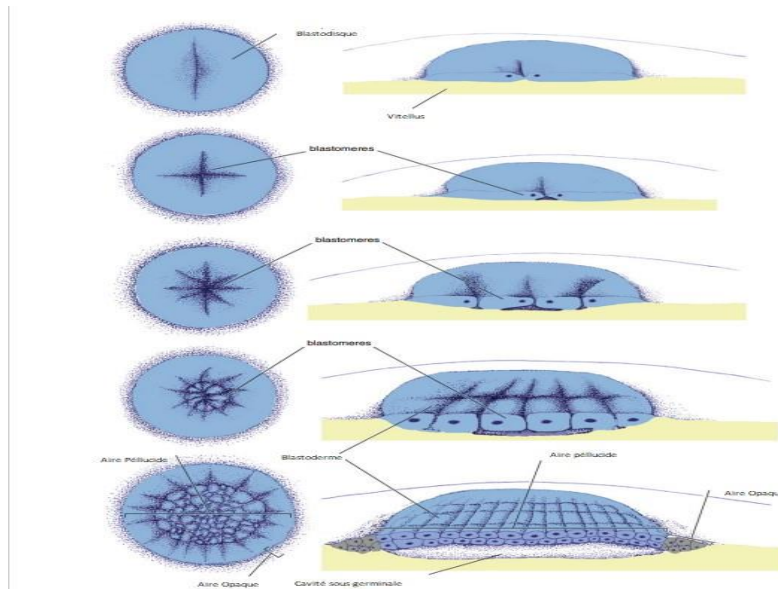


Figure 15 : Stades de clivage chez l'embryon aviaire depuis la première division de clivage jusqu'à la formation d'un blastoderme. Blastodisque vu du dessus (à gauche) et en coupe transversale (à droite) (Mcgeady *et al.*, 2017)

II.1.3. Migration de l'embryon le long des trompes et sa descente utérine

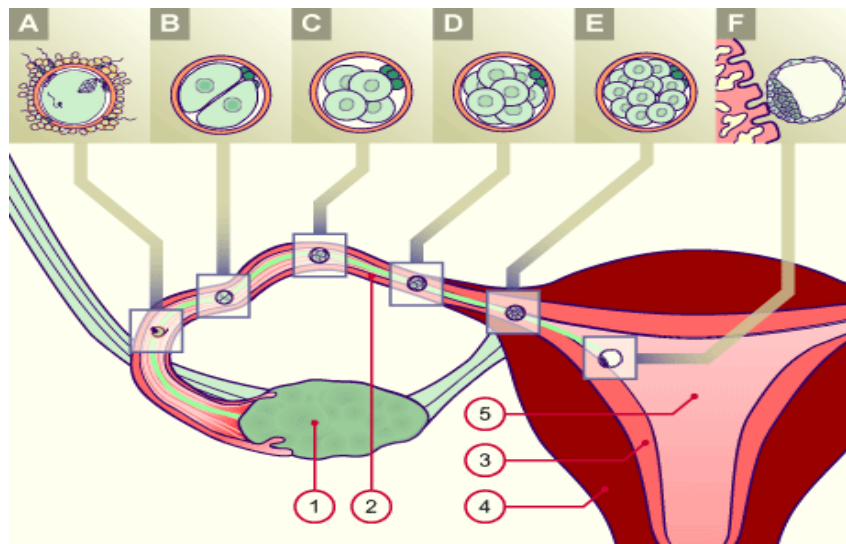
En même temps qu'il se segmente, l'œuf migre dans la trompe vers la cavité utérine du fait des contractions des cellules musculaires lisses de la paroi tubaire. Ce phénomène est facilité par la sécrétion des cellules de la muqueuse (le flux du liquide péritonéal), par les mouvements des cils en surface et les mouvements péristaltiques de la musculature de la trompe.

La migration se déroule selon une chronologie précise (figure 16)

- La fécondation et le stade 2 blastomères (J2 : 2ème jour du développement embryonnaire) s'observent au niveau de l'ampoule tubaire
- Stade morula (J4) au niveau de la jonction utéro- tubaire
- Blastocyste libéré dans la cavité utérine (J 5 et J6)

La survie du blastocyste dépend des sécrétions utérines ou lait utérin qui contient du glutathion, du vit B12 et de l'acide folique.

La progestérone joue un rôle dans l'équilibre du milieu ainsi que la zone pellucide qui permet la rétention d'eau dans blastocyste malgré la présence de sécrétion plus concentrée



1 : Ovaire 2 : Trompe 3 : Endomètre 4 : Myomètre 5 : Cavité utérine.

A : Fécondation(J0) B : Stade 2 blastomères (J1) C : Stade 4 blastomères (J2) D : Stade 8 blastomères (J3), E : Stade morula (J4), F : Stade blastocyste libre (J6)

Figure 16 : Migration tubaire (Anonyme 7, 2022)

II.1.4. Pré-implantation (état libre de l'œuf fécondé)

L'œuf, pour pouvoir s'implanter dans la muqueuse utérine, doit avoir atteint un stade de développement précis. L'implantation nécessite en effet une coopération étroite entre l'œuf et l'utérus et exige de ces deux partenaires un certain degré de maturité.

Ainsi, l'implantation est toujours précédée d'une période plus au moins longue dite pré-implantation dans laquelle le blastocyste reste libre dans la lumière utérine et se nourrit de la sécrétion des glandes utérines (lait utérin) qui sont en pleines activités.

Cette période de pré- implantation est de

- 2 j chez la femme
- 15 à 20 j chez la chienne
- 30 à .35 j chez la vache
- 40 à 45j chez la jument.

II.2. DEUXIEME SEMAINE DU DEVELOPPEMENT EMBRYONNAIRE

II.2.1Lieu, étapes et mécanisme de l'implantation

Le lieu de l'implantation au niveau de l'utérus varie selon les espèces, elle est dite :

- *De type central* : l'endomètre n'est pas attaqué par le trophoblaste ou l'est tardivement.

Le blastocyste, assez longtemps libre dans la lumière utérine, s'accroît jusqu'à entrer en contact avec tout le pourtour de la cavité avant de s'y fixer, c'est le cas des carnivores, des ongulés, du lapin.

- *De type excentrique* : le blastocyste s'insinue entre les plis très développés de la muqueuse utérine et grandit à l'abri de deux d'entre -eux. Les bords de la cavité qui l'abrite se soudent ultérieurement et forment une chambre close isolée de la lumière utérine, c'est le cas de certains rongeurs comme la souris et la ratte.

- *De type interstitiel* : le blastocyste se fixe précocement à l'endomètre et s'y introduit-en érodant sa surface, la muqueuse se referme sur lui et le trophoblaste se modifie considérablement durant la croissance, c'est le cas des primates, des cobayes.

Les espèces dont les blastocystes sont multiples (carnivores, lapin), les contractions utérines produisent dès le début de pré-implantation une répartition de ceux-ci sur toute la longueur de l'organe avec un espacement régulier.

II.2.2 Rôle de l'œuf dans l'implantation

- *Rupture de la membrane pellucide*

La perte de la membrane pellucide semble nécessaire pour que l'implantation puisse s'effectuer normalement, l'embryon fait éclater cette enveloppe par une suite de contractions d'expansions. Il est aidé par des enzymes qui dégradent la zone pellucide au pôle anti-embryonnaire et tout ceci sous l'effet des sécrétions utérines et de la progestérone qui les contrôle.

- *Agressivité du blastocyste*

Environ 12 heures avant l'implantation, le blastocyste s'allonge et se hérissé. De micro - villosités diffuses et transitoires qui disparaîtront lors de la fixation (on dit que l'œuf prépare ses armes), l'épithélium utérin subit une transformation assez semblable et il se forme des complexes jonctionnels responsables d'une adhésion plus solide après disparition bilatérale des micro – villosités ; Les membranes cellulaires de l'œuf et de l'épithélium utérin se trouvent en contact très étroits, elles sont séparées seulement par une membrane riche en mucco polysaccharides et qui pourrait expliquer " le collage du blastocyste" .

II.2.3. Rôle de l'utérus

- Compétence temporelle de l'utérus

Pour qu'il y ait implantation dans l'utérus, il faut une concordance entre l'âge de l'œuf et le stade de développement de l'utérus dans le cycle. Cette réceptivité de l'endomètre appelée : « fenêtre d'implantation » est la conséquence de la sécrétion par l'endomètre de protéines d'adhésion, leur synthèse étant stimulée par la progestérone. Toute modification du milieu empêchera l'implantation, l'utérus pourra donc jouer un rôle inhibiteur sur l'implantation.

- Rôle inhibiteur de l'utérus

Cette inhibition rendrait le blastocyste non agressif à l'égard de la muqueuse, la levée de cette inhibition se ferait grâce à la blastokynine qui est une glycoprotéine sécrétée par l'utérus quelques jours après l'ovulation.

II.2.4. Contrôle endocrinien dans l'implantation

- *Évolution du corps jaune*

Le trophoblaste rudimentaire (précurseur du placenta) secrète l'hormone chorionique gonadotrophine HCG (c'est une hormone polypeptidique) qui provoque :

- le maintien du corps jaune, on peut voir cela grâce à la taille des cellules du corps jaune qui sont multipliées par deux
- elle assure l'interruption des cycles
- elle modifie la réaction immunitaire de l'utérus vis-à-vis de l'embryon, ainsi l'utérus maternel se comporte comme si l'embryon n'était pas un corps étranger.

- *Rôle des œstrogènes et de la progestérone*

- La teneur en progestérone du tissu lutéal augmente, elle passe de 19,5 µg / g à 54,1 µg / g.

La progestérone est l'hormone principale de l'implantation et de toute la gestation.

- Les œstrogènes agissent en synergie avec la progestérone, qu'ils permettent ainsi d'économiser.

II .2.5. Anomalies de l'implantation

➤ **Implantation ectopique**

L'œuf au stade de blastocyste peut s'arrêter en un point quelconque de son trajet. Il peut alors dégénérer ou s'implanter, déterminant ainsi une grossesse extra-utérine (le plus souvent dans l'ampoule, rarement dans le segment interstitiel).

L'anomalie de la migration peut avoir pour conséquence plus rarement, d'autres types de gestation ectopique : ovarienne ou abdominale (zone normale d'implantation)

➤ **Implantation cervicale ou implantation basse**

C'est à dire dans le segment inférieur de l'utérus, formation d'un placenta prævia, source d'hémorragies graves à la fin de la grossesse ou au moment de la naissance.

➤ **Implantation en dehors de l'utérus**

Donne lieu à une grossesse extra-utérine, rupture de la trompe : hémorragies internes.

II.2.6. pré gastrulation

Une étape intermédiaire entre la segmentation et la gastrulation caractérise les espèces qui développent des annexes embryonnaires, les Amniotes (oiseaux et mammifères), elle permet la mise en place de deux feuillets embryonnaires : l'ectoblaste et l'endoblaste : le germe est didermique. Il se déroule dans l'espèce humaine du 7ème au 14ème jours. En même temps qu'intervient la nidation du fait de l'évolution du trophoblaste, le reste du blastocyste, en dedans du cytotrophoblaste, va progressivement se modifier au cours de la 2ème semaine :

- transformation du bouton embryonnaire en disque embryonnaire
- formation de la cavité amniotique
- formation du mésenchyme extra-embryonnaire et du lécithocèle primaire
- évolution du mésenchyme extra-embryonnaire (apparition du cœlome externe) et constitution du lécithocèle secondaire.

II.3. TROISIEME SEMAINE DU DEVELOPPEMENT EMBRYONNAIRE

III.3.1. Formation et évolution du disque embryonnaire

La **gastrulation** [**gastrula Gr. = petit estomac**]) débute au cours de l'implantation chez les rongeurs et les primates (espèces à implantation précoce) et durant la période préimplantatoire chez les mammifères domestiques (espèces à implantation tardive).

Elle **met en place les trois feuillets fondamentaux de l'embryon** : l'**ectoblaste** (feuille externe qui recouvre l'embryon et dont dérive le tissu nerveux), le **mésoblaste** (feuille intermédiaire) et l'**endoblaste** (feuille interne dont dérivent l'appareil digestif et ses glandes annexes). Leur agencement préfigure l'organisation de l'embryon.

Ces feuillets se prolongent et se combinent pour former plusieurs annexes embryonnaires. Effectivement, les cellules trophoblastiques recouvrant la masse cellulaire interne dégénèrent chez

les mammifères domestiques, chez la souris et l'homme, les cellules trophoblastiques recouvrant la masse cellulaire interne se séparent et, au lieu de dégénérer, deviennent une paroi amnionique).

Les mouvements morphogénétiques sont semblables à ceux observés chez le poulet. Les différences les plus marquantes sont liées à la nécessité, pour les mammifères, de former des annexes extra embryonnaires très tôt de manière à assurer la nutrition de l'embryon dépourvu de réserves vitellines.

III.3.2.Principales étapes de la gastrulation : mise en place des trois feuilletts (ectoblaste, endoblaste et mésoblaste), mise en place du mésoblaste et son évolution

A- Première étape : apparition de la ligne primitive et du nœud de Hensen

Elle se caractérise par l'apparition de la ligne primitive et du nœud de Hensen (figure 17). D'abord circulaire, le disque embryonnaire devient bientôt ovalaire et s'allonge selon l'axe du futur embryon. Puis apparaît à sa partie caudale une petite tâche qui résulte d'une prolifération des cellules de l'ectoblaste et qui s'invagine entre l'entoblaste et les cellules restantes de l'ectoblaste.

Cette tâche s'allonge jusque vers le milieu de l'ébauche embryonnaire, elle constitue ainsi la ligne primitive.

Vers le 17ème jour, son extrémité crâniale s'épaissit alors et forme un centre très actif de multiplication cellulaire qui produit une sorte de nodosité : **le nœud de Hensen**

L'apparition de la ligne primitive et du nœud de Hensen détermine :

- L'orientation de l'axe embryonnaire
- Sa direction crânio-caudale
- Sa symétrie bilatérale.

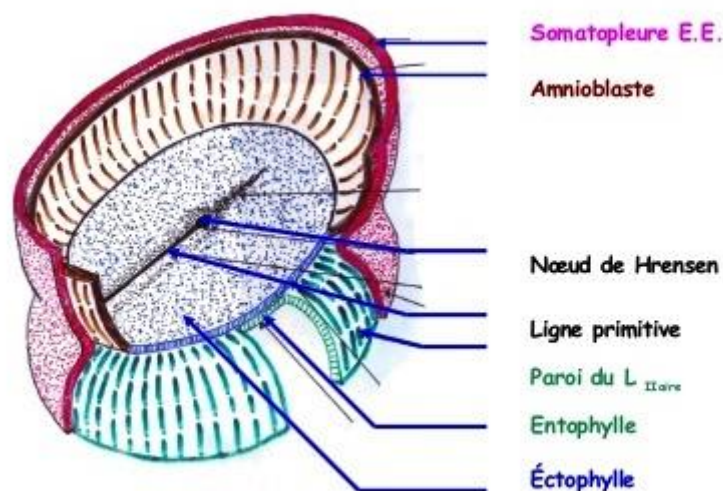


Figure 17 : Formation de la ligne primitive et le nœud de Hensen (Sissoko, 2022)

B- Deuxième étape : formation du mésoblaste, du processus chordal et mise en place du diverticule allantoïde

Elle a lieu vers la 3^{ème} semaine et se caractérise par : une migration mésoblastique, par la formation du processus chordal et par la mise en place du diverticule allantoïde.

• **Formation du mésoblaste**

Sur le plan histologique, les cellules ectoblastiques développent des pseudopodes migrants au travers de la ligne primitive tout en perdant les connexions entre-elles ; ce phénomène d'invagination en profondeur caractérise la gastrulation et donne le 3ème feuillet ou **mésoblaste**.

Le mésoblaste sépare l'ectoblaste et l'endoblaste sauf en deux endroits :

- En avant de l'extrémité antérieure de la chorde, c'est la membrane bucco pharyngée ou **membrane pharyngienne**.

- En arrière de la ligne primitive, c'est **la membrane cloacale**. C'est deux membranes marquent l'emplacement des deux extrémités du futur tube digestif : la membrane buccale ou pharyngienne à l'origine du stomodéum, et la membrane anale ou cloacale à l'origine du proctodéum. Des cellules mésoblastiques vont également migrer au-delà de chacune de ces 2 membranes :

- en arrière de la ligne primitive où elles se rendent dans le pédicule de fixation et constitueront l'ébauche de la circulation sanguine du futur cordon ombilical.

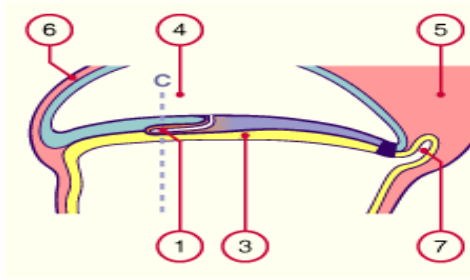
-en avant de la membrane pharyngienne et constituent l'ébauche cardiaque primitive

• **Formation du diverticule allantoïde**

Le diverticule allantoïde n'est autre qu'une invagination en doigt de gant, en arrière de la membrane cloacale et qui s'engage dans le pédicule de fixation. Chez l'être humain, il est impliqué dans la formation précoce du sang et participe au développement de la vessie.

• **Formation du processus chordal**

En avant de la ligne primitive, au niveau du nœud de Hensen, le mésoblaste élabore un canal dont l'extrémité aveugle progresse crânialement le long de l'axe longitudinal : **c'est le processus chordal** (figure 18), celui-ci est un cordon cellulaire plein qui se creuse ensuite en **canal chordal** (figure 19) dont le bord inférieur ou plancher se soude au toit du lécithocèle. Au niveau de cette soudure, le plancher du canal chordal disparaît alors et un petit passage : le **canal neurentérique** (figure 20) met temporairement en communication le lécithocèle et la cavité amniotique.



1:processus notochordal ; 2 :nœud primitif ; 3:entoblaste ; 4: cavité amniotique ; 5: pédicule embryonnaire ; 6 : MEE(mésoblaste extra emmryonnaire) ; 7: allantoïde

Figure 17 : Processus chordal

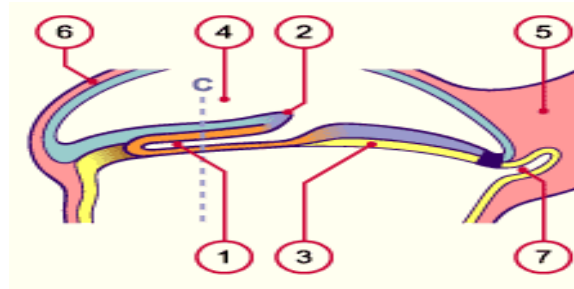
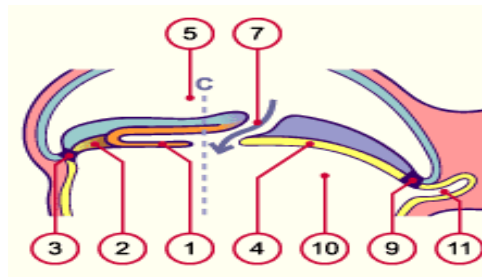


Figure 18 : Canal chordal

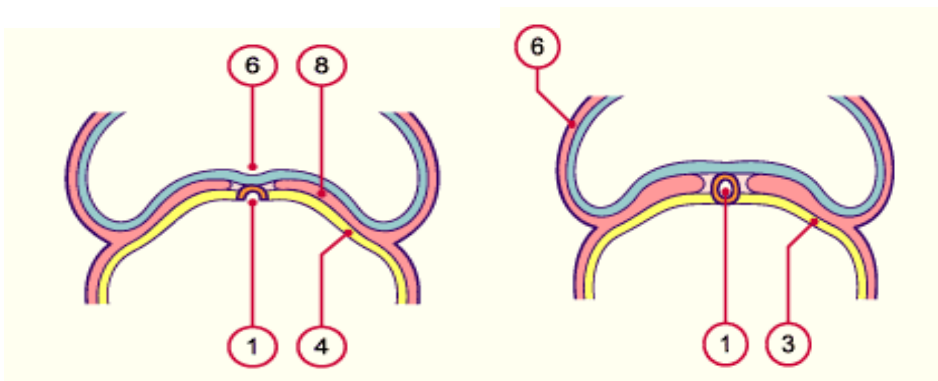


1 :processus notochordal ; 2 :plaque préchordale ; 3 :membrane bucco-pharyngienne ; 4 :entoblaste ; 5 :cavité amniotique ; 7 : canal neurentérique ; 9 :membrane cloacale ; 10 :vésicule vitelline ; 11:allantoïde.

Figure 19 : Canal neurentérique (Anonyme 8, 2022)

C- Troisième étape : effondrement du canal primitif et formation de la plaque chordale.

La fissuration est totale, c'est à dire qu'elle s'est étendue sur toute la longueur du canal qui prend la forme d'une **gouttière renversée** (figure 20), puis cette dernière s'étale sous forme de **plaque chordale** (figure 21).

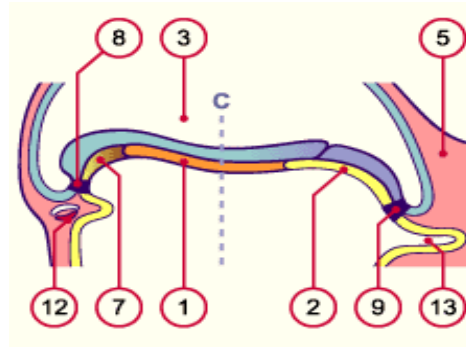


1: notochorde;4 :entoblaste ;6 : gouttière neurale ;

8 :mésoblaste intra-embryonnaire

1 : nœud primitive ; 3: entoblaste embryonnaire ; 6 : mésenchyme extra-embryonnaire MEE.

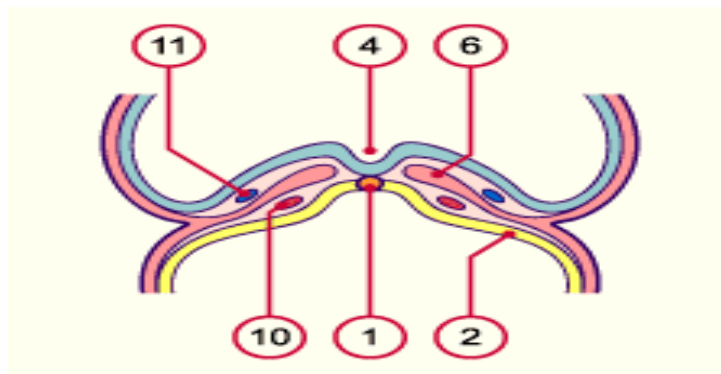
Figure 20 : Gouttière renversée (Anonyme 8, 2022)



1 : processus notochordal ; 2 : entoblaste embryonnaire ; 3 : cavité amniotique ; 5 : pédicule embryonnaire ; 7 : plaque préchordale ; 8 : mésoblaste intra-embryonnaire ; 9 : membrane cloacale ; 12 : ébauche cardiaque ; 13 : allantoïde.

Figure 21 : Plaque chordale (Anonyme 8, 2022)

Par la suite cette plaque se détache de l'entoblaste qui retrouve sa continuité et formera un cordon cellulaire plein, médian et axial appelé : **notocorde** (figure 22) et c'est le squelette primitif de l'embryon tri dermique (ou le squelette de base).



1 : notocorde ; 2 : entoblaste embryonnaire ; 4 : tube neurale ; 6 : mésoblaste intra embryonnaire ; 10 : aortes ; 11 : veines ombilicales

Figure 22 : **Notocorde** (Anonyme 8, 2022)

REMARQUE : La notocorde définit l'axe longitudinal primordial de l'embryon en indiquant l'emplacement des futurs corps vertébraux et joue le rôle d'inducteur de l'ectoblaste dans la différenciation de la plaque neurale.

L'embryon qui s'est allongé, a commencé à s'incurver de telle sorte que sa face dorsale est devenue convexe ; Le noeud de Hensen et la ligne primitive régressent et finissent par disparaître.

Pendant cette période, il y a apparition des îlots vasculaires sanguins primitifs, qui vont donner naissance aux premiers capillaires et à la première cellule sanguine, ceci apparaît dans le chorion, dans la splanchnopleure et dans le pédicule de fixation.

III.3.3. Gastrulation chez les oiseaux

Dès le moment où la cavité de segmentation est apparente, à la surface du blastoderme, après environ 4 heures d'incubation, les cellules du blastoderme subissent des mouvements coordonnés qui marquent le début de la gastrulation. Deux zones se distinguent par leur texture : l'aire opaque (transparente), l'aire périphérique (assise de blastomère périphérique) qui entoure l'aire pellucide, centrale.

Sur la surface interne de l'amas de cellules, se détachent des cellules du disque embryonnaire de l'œuf de poule composé de deux couches : épiblaste ou ectoderme, hypoblaste ou endoderme.

A l'un des pôles de l'aire pellucide, un épaississement, appelé croissant de Koller, annonce la formation de la ligne primitive. Le blastoderme montre alors une polarité antéropostérieure, sachant que le croissant de Koller marque la région postérieure de l'embryon. La ligne primitive s'allonge le long de l'axe antéropostérieur et se termine antérieurement par un renflement appelé : le nœud de Hensen, bien visible à 16 heures d'incubation (figure 23).

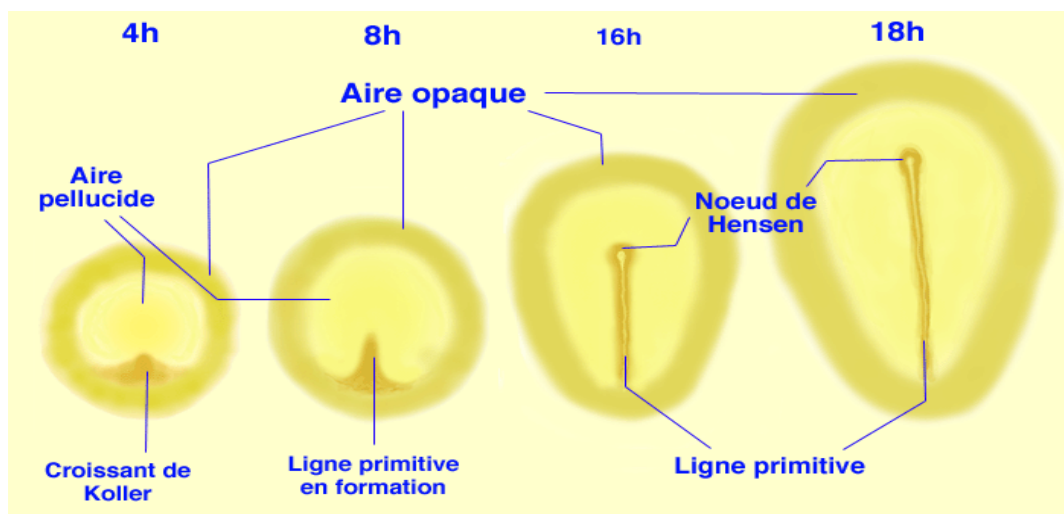


Figure 23 : Début des mouvements de la gastrulation et formation de la ligne primitive (B media, 2004)

II.4. QUATRIEME SEMAINE DU DEVELOPPEMENT EMBRYONNAIRE

II. 4.1. Neurulation

La neurulation est un processus morphogénétique durant lequel la plaque neurale forme le tube neural, donnant ainsi au système nerveux sa forme et sa position finale dans l'axe dorsal de l'embryon.

La neurulation est la transformation de l'ectoderme médian en un tube neural (à l'origine du Système Nerveux Central SNC), flanqué de crêtes neurales (à l'origine de l'essentiel du Système Nerveux Périphérique SNP).

La neurulation se déroule vers la 4^{ème} semaine et comporte 3 stades :

- Formation de la plaque neurale
- Formation de la gouttière neurale
- Formation du tube neural

A- Mécanisme de la neurulation

Le disque embryonnaire vu par sa face supérieure ou dorsale est ovoïde, l'extrémité large représente la région céphalique et l'étroite, la région caudale.

L'ectoblaste secondaire s'épaissit et forme une plaque neurale sous l'action de la notocorde et du mésoblaste para axial, puis ses bords se soulèvent et constituent : la gouttière neurale.

Au 25 j, les bords de la gouttière se rapprochent l'un de l'autre et se soudent (formant plus tard la nuque). Au moment de la fermeture de la gouttière neurale, deux bandelettes longitudinales se détachent de ses bords et forment les crêtes neurales, ces crêtes neurales se segmentent en petits morceaux que l'on appelle : ganglions.

Vers la fin, il y a la formation d'un tube neural qui est ouvert aux extrémités par deux pores :

-Neuropore antérieur ou céphalique qui se fermera en premier

-Neuropore postérieur ou caudal qui se fermera par la suite (figure 24).

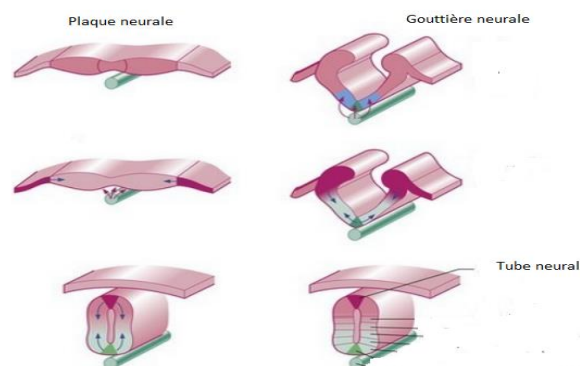


Figure 24 : Neurulation (Hyttel *et al.*, 2010)

Après la neurulation, les territoires se fragmentent en ébauche d'organes durant un processus appelé : **morphochorèse**. Ce processus implique des phénomènes de différenciation cellulaire et la spécialisation de tissus en organes bien définis. La **morphochorèse constitue l'ensemble des mouvements et réarrangements coordonnés des groupes cellulaires, qui mettent en place un ensemble de champs morphogénétiques**. Un **champ morphogénétique** est un territoire cellulaire qui détermine le développement d'un organe précis. La croissance embryonnaire qui s'en suit est différentielle : certaines parties de l'embryon s'accroissent plus vite que d'autres.

B- Différenciation des feuilletts

Le début de l'organogenèse est marqué par l'apparition, à partir de chacun des trois feuilletts embryonnaires, des ébauches des organes (Voir tableau ci-dessous). Par la suite, la période embryonnaire s'étalera jusqu'à la 8ème semaine. Ainsi, à la fin du deuxième mois, les principales formes extérieures sont reconnaissables.

Tableau3 : Principaux dérivés des feuilletts embryonnaires (Messala *et al.*, 2020)

Feuilletts	Organes
Ectoblaste	Système nerveux central - Système nerveux périphérique - Epithélium sensoriel - Hypophyse- Epiderme, phanères - Glandes sous-cutanées - Glande mammaire - Email des dents - Médullo-surrénale
Mésoblaste	Squelette (os, cartilage) - Tissu conjonctif - Muscles (striés, lisses) - Systèmes cardio-vasculaire et lymphatique, cellules sanguines- Reins, voies urinaires hautes - Appareil génital (gonades, voies génitales) - Péricarde, plèvre, péritoine - Rate - Cortico-surrénale
Endoblaste	Tube digestif (épithélium) - Foie, pancréas - Appareil respiratoire (épithélium) - Oreille moyenne, trompe d'Eustache - Thyroïde, parathyroïdes (parenchyme) - Thymus, amygdales (parenchyme) - Vessie, urètre (épithélium)

II.4.2. Délimitation de l'embryon

Jusqu'au stade trilaminaire, l'ébauche embryonnaire reste plate, étalée à la surface du blastocyste. Sa face ventrale forme le plafond de la cavité vitelline et sa face dorsale répond à la cavité amniotique chez les espèces à implantation précoce (primates, rongeurs ...) ou baigne dans le milieu intra-utérin, chez les espèces à implantation différée (ruminants, équins, carnivores ...).

La délimitation correspond à des phénomènes d'enroulement de l'embryon sur lui-même autour d'un axe transversal et céphalo-caudal.

Les bords des différents feuilletts se rejoignent à la base du disque, fusionnent et ferment le corps de l'embryon qui devient tridimensionnel. Ce phénomène permet l'individualisation de l'embryon par rapport à ses annexes extra embryonnaires. L'embryon devient donc un cylindre clos.

La délimitation est la résultante de deux phénomènes opposés :

- Le développement très rapide de la cavité amniotique couplé à la stagnation du lécithocèle secondaire.
- Le développement lent de la sphère chorale obligeant l'ensemble de l'embryon et de ses annexes qui se développent activement (cavité amniotique +++), à se replier sur eux-mêmes.

L'embryon s'individualise en refermant sa face ventrale pour ne plus communiquer avec ses annexes que par son cordon ombilical.

Cette fermeture ventrale est la conséquence de la mise en place de 4 sillons marginaux au niveau desquels l'ectoderme se rabat vers la face ventrale de l'embryon en refoulant devant lui les feuilletts sous-jacents. Ces sillons marginaux deviennent de véritables replis qui se rejoignent en région ombilicale. L'embryon «se replie » autour de son cordon et se "recouvre de son amnios".

A-Pli céphalique

Il procède d'une croissance plus rapide du feuillet ectodermique en région céphalique. Ce pli adopte la forme générale d'un fer à cheval au centre duquel s'individualise le futur SNC. En vue longitudinale, le pli céphalique délimite la future cavité buccale au niveau de la poche pharyngienne et se prolonge vers le pôle caudal en repoussant le massif mésodermique où se forme le cœur.

Il forme de fait la partie antérieure du tube digestif ou proentéron.

Chez les espèces dont l'amnios se forme par plissement, le bord supérieur du pli recouvre progressivement l'embryon pour rejoindre le bord correspondant des deux plis latéraux et du pli caudal. Il porte le nom de : pli amniotique crânial. Ce type d'amniogenèse ou pleuramnios est

caractéristique des ruminants, des porcins, des équins et des carnivores. Les primates et les rongeurs présentent une amniogenèse différente ou schizamnios.

B-Pli caudal

Il est moins accusé que le pli céphalique. Il correspond également à une croissance différentielle de l'ectoderme par rapport aux tissus sous-jacents. Il repousse vers le pôle crânial la membrane cloacale et forme la partie postérieure du tube digestif ou métentéron. Le bord supérieur de ce pli, ou pli amniotique caudal, rejoint ses correspondants crânial et latéraux (figure n°25).

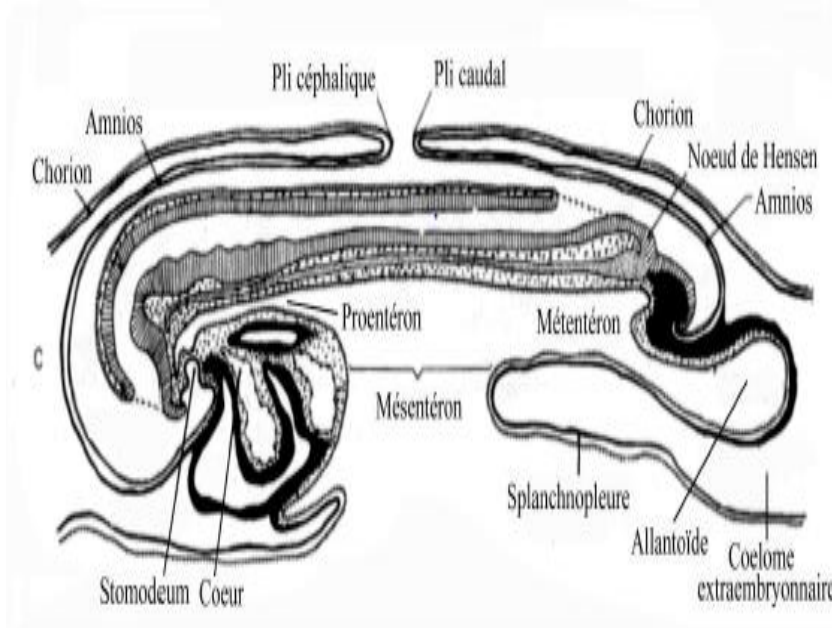


Figure N°25 : Coupe sagittale d'embryon de porc (Moens1, 2021)

C-Pli latéraux

- Ils délimitent latéralement l'embryon de ses annexes en reliant les plis céphalique et caudal
- Leur bord supérieur, ou plis amniotiques latéraux, rejoignent les plis céphalique et caudal pour refermer la cavité amniotique "au-dessus" de l'embryon (figure n°26).

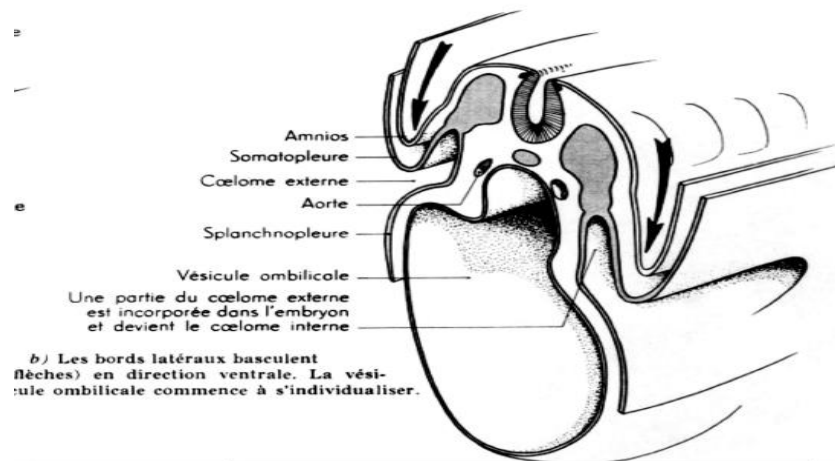


Figure N°26 : Plis latéraux (bords latéraux basculent en direction ventrale) (Moens1, 2021)

II.5.FORMATION DES ANNEXES EMBRYONNAIRES

Lors de sa délimitation, l'embryon s'individualise de l'ensemble des structures destinées à jouer le rôle d'annexes embryonnaires.

- Ces annexes sont des structures extra-embryonnaires sauf pour la partie intra embryonnaire de l'allantoïde à l'origine de la vessie.

II.5.1. Définition et identification des annexes embryonnaires

Ce sont des formations d'origines ectodermique, mésodermique et endodermique extra-embryonnaires mais qui sont en continuité avec les feuilletts de l'embryon proprement dit.

Ces annexes ont un rôle dans la protection (mécanique pour l'amnios, contre les agents infectieux pour le placenta), dans la nutrition et croissance, respiration et élimination des déchets métaboliques de l'embryon et du fœtus.

Ce sont des structures ou organes complexes annexés à l'embryon durant sa vie intra-utérine. Elles disparaissent à la naissance sauf pour la partie intra embryonnaire de l'allantoïde. Elles dérivent toutes en partie de l'ovocyte fécondé, la seule structure d'origine maternelle qui intervient dans les annexes sont les caduques basales (participant à l'élaboration du placenta).

Elles ont le même caryotype, même phénotype que l'embryon/ fœtus, ce qui permet de les utiliser à des fins diagnostiques pour déterminer le génotypes et caryotype de l'embryon.

Elles sont au nombre de 6 : cavité amniotique, vésicule vitelline, diverticule allantoïde, cordon ombilical, chorion et placenta (figure N°27) à savoir :

- ***L'amnios***

Se développe considérablement à partir de la 3ème semaine. La présence de l'amnios distingue les amniotes et les anamniotes. Cette paroi délimite une cavité, la cavité amniotique, qui se forme principalement par progression de repli ou par phénomène de cavitation. Elle est remplie de liquide et joue un rôle protecteur (protection contre les chocs mécaniques et la dessiccation).

- ***Léithocèle ou sac vitellin (quatrième semaine)***

-Sa partie antérieure est incorporée dans l'embryon et forme l'intestin primitif et elle donnera naissance à l'épithélium de la trachée, des bronches, des poumons et du tube digestif.

-Sa partie postérieure se réduit de plus en plus et disparaît au 4ème mois, c'est une annexe embryonnaire transitoire, dérivée de l'endoblaste extra embryonnaire ; Il est chargé d'assurer par son réseau sanguin, les premiers échanges entre l'embryon et le milieu utérin.

- ***Diverticule allantoïde (troisième semaine)***

C'est un diverticule se formant par évagination de l'endoderme en arrière de la membrane cloacale. La délimitation de l'embryon entraîne l'allantoïde dans la position ventrale, où il s'ouvre dans l'intestin primitif. Il apparaît chez tous les amniotes, mais se développe plus ou moins en fonction de l'espèce ; Son feuillet mésodermique est le lieu d'apparition du système vasculaire allantoïdien : son importance vient des vaisseaux sanguins qui le composent et qui deviennent les artères et la veine ombilicale, ainsi il constitue en quelque sorte le guide des vaisseaux ombilicaux lors de leur développement.

Il sert de réservoir d'eau et déchets urinaires, surtout chez les oiseaux et les reptiles où les petits éclosent presque secs.

- ***Cordon ombilical***

Il ne s'observe que chez les animaux placentaires. C'est une structure qui relie l'embryon puis le fœtus au placenta, Il résulte de la fusion du pédicule de fixation de l'embryon (pédicule allantoïdien) avec le canal vitellin.

Le cordon ombilical mesure 50 cm de long et 2 cm de diamètre et il est parcouru par 2 artères et une veine.

La veine assure le transport de l'O₂ du placenta vers l'embryon, les artères amenant les déchets vers le placenta.

- **Chorion**

Le chorion est la membrane la plus externe, c'est une enveloppe entourant l'ensemble des formations précédentes et elle est formée par le syncytiotrophoblaste, le cytotrophoblaste, et le mésenchyme extra embryonnaire. Chez les mammifères, le chorion participe à la formation du placenta.

- **Placenta**

C'est un organe qui ne se développe que chez les mammifères dits placentaires. C'est la formation fœtale accessoire la plus importante, c'est par son intermédiaire que le fœtus emprunte à l'organisme les matériaux dont il a besoin.

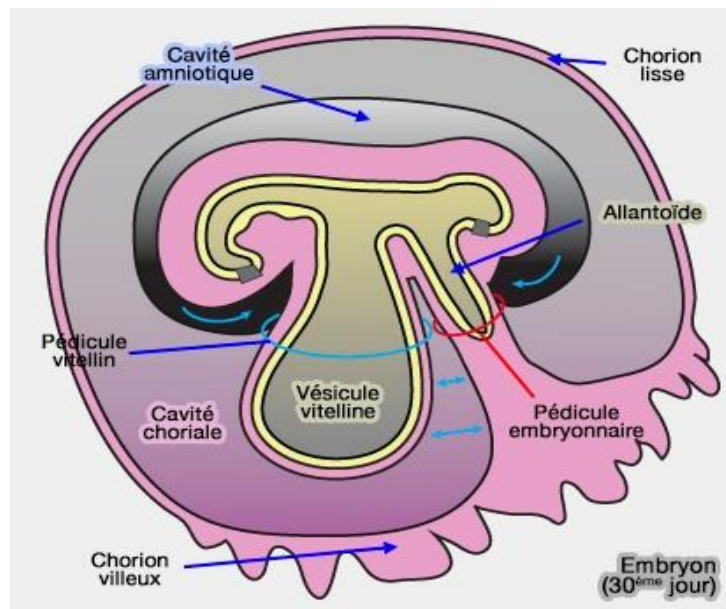
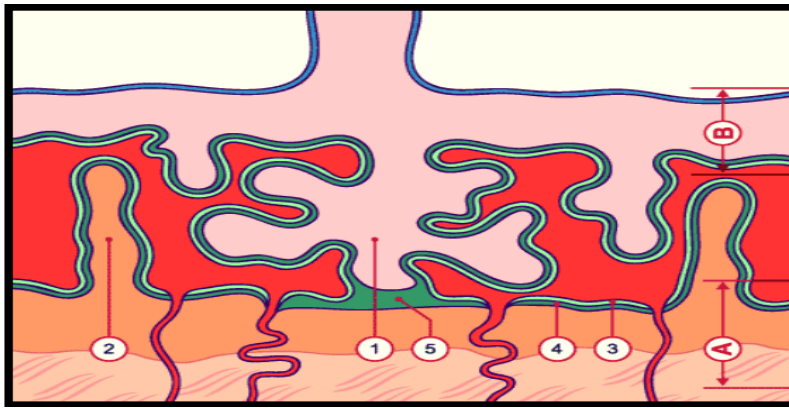


Figure N°27 : Annexes embryonnaires (Anonyme 10, 2018)

II.5.2. Différentes phases de développement du placenta

Le placenta, morphologiquement est en partie d'origine fœtale (trophoblaste) et en partie d'origine maternelle (par transformation de la muqueuse utérine) (figure N°28). Le placenta est également une glande endocrine capable d'élaborer des hormones diverses. L'embryon possède des villosités fortement vascularisées qui s'imbriquent dans des cryptes utérines également très vascularisées d'où une grande surface d'échange.



- 1: Chorion
- 2:Septa
- 3: Syncytiotrophoblaste
- 4: Cytotrophoblaste
- 5: Mésochorion
- A: Muqueuse utérine
- B:Tissu choriofœtal

Figure N°28 : Structure du placenta (Anonyme 11, 2022)

II.5.3. Différents types de placenta

A. Appellation selon la disposition des villosités

- **Placentation diffuse**

Les villosités sont réparties sur toute la surface du placenta sans localisation particulière à l'exception du col de l'utérus, d'où le terme de diffus, ce placenta s'observe chez la jument.

- **Placentation discoïdale**

Les villosités se localisent dans une région en disque, le placenta sera discoïdal, cas des rongeurs et des primates.

- **Placentation cotylédonaire**

Le chorion forme des villosités qui pénètrent dans les caroncules ou cryptes de l'utérus et qui sont groupées en amas ou cotylédons, séparés par des cloisons incomplètes, cas des ruminants.

- **Placentation zonaire**

Les villosités chorioniques forment une large ceinture entourant le milieu du sac chorionique, les extrémités du sac restent lisses et sans villosités, cas des carnivores (figure 29).

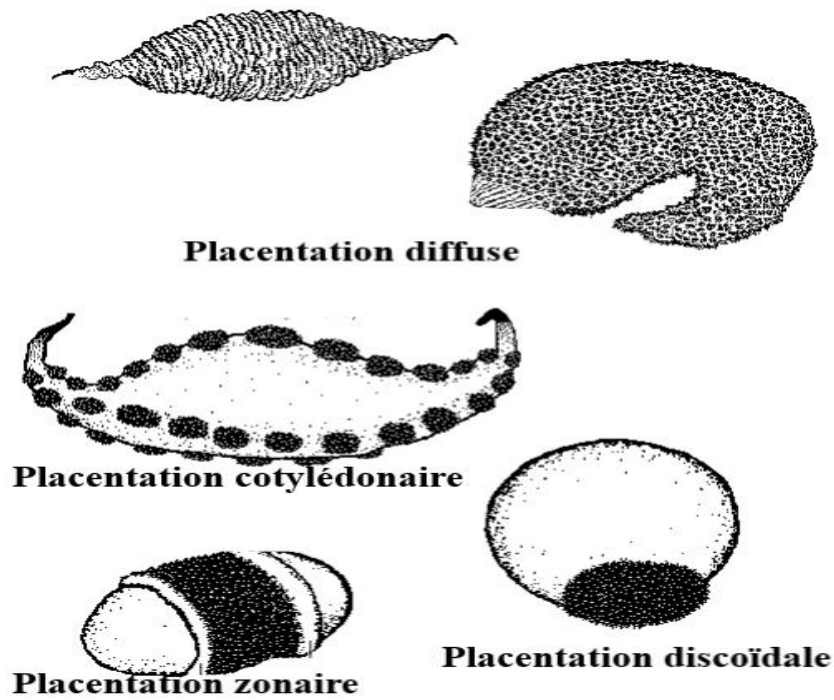


Figure 29 : Types de placentations selon la disposition des villosités (Fletcher T.F., Weber AF, 2013)

B. Appellation selon la pénétration dans le tissu maternel

Le chorion conserve son intégrité, présente avec l'endomètre des rapports qui vont du simple accollement à l'érosion plus ou moins profonde des tissus utérins. On distingue quatre types de placentas, selon la pénétration du trophoblaste dans la muqueuse utérine :

• Placentation épithélio-choriale (équidés)

Le chorion est appliqué contre l'épithélium de la muqueuse utérine.

Les échanges qui se font entre la mère et l'embryon traversent successivement :

- L'endomètre vasculaire maternel
- Le conjonctif utérin
- L'épithélium utérin
- Le chorion

Ce sont généralement les espèces à implantation tardive chez lesquels le chorion se révèle généralement peu invasif.

- ***Placentation conjunctivo-choriale (ruminants)***

Le trophoblaste provoque localement l'érosion de l'épithélium utérin et se met donc en contact avec le conjonctif de la muqueuse utérine.

Le type conjunctivo-chorial est abandonné par les auteurs récents qui considèrent que le placenta de tous les ruminants est de type épithélio-chorial.

- ***Placentation hémo-choriale (rongeurs et primates)***

Le trophoblaste est en contact direct avec le sang maternel, il pénètre dans la muqueuse utérine jusqu'à l'érosion de l'endothélium des vaisseaux maternels et entre en contact avec le sang maternel.

II.5.4. Parturition

Il existe trois types d'animaux :

- ***Mammifères adéridés***

La mise-bas se réalise par une simple séparation des tissus maternels et fœtaux qui étaient simplement collés, sans évacuation de tissu utérin et sans perte importante de sang, c'est la placentation épithélio-choriale et c'est le cas des suidés et des équidés et du placenta conjunctivo-chorial des ruminants.

- ***Mammifères déridés***

Une partie de la muqueuse utérine est expulsée en même temps que le placenta car la pénétration du trophoblaste est profonde, c'est le cas du placenta endothélio-chorial et de l'hémo-chorial.

- ***Mammifères contracidés***

Après la parturition, le placenta reste en place et il est résorbé par l'utérus, c'est le cas des marsupiaux.

II.5.5 Rôles du placenta

Par ses activités polyvalentes, il est à la fois poumon, intestin, foie, rein mais aussi glande endocrine productrice des hormones nécessaires au développement normal de la grossesse. La structure du placenta est telle que les circulations sanguines maternelles et fœtales sont en contact sur la plus grande surface possible.

- ***Fixation du fœtus***

La fixation est en général assez solide pour éviter les avortements. A la mise-bas, l'adhérence diminue du fait de la réduction du volume des villosités, les vaisseaux se décongestionnent.

- ***Perméabilité placentaire***

Le sang fœtal puise dans le sang maternel à travers la paroi de la villosité, les éléments dont il a besoin et y rejette ses déchets.

-Dans le sens fœtus-mère, il y'a passage de CO₂ et de déchet.

-Dans le sens mère-fœtus, il y'a passage d'O₂ et de nutriment.

A son niveau, s'effectuent en permanence des échanges très nombreux et très complexes qui lui permettent de cumuler au bénéfice du fœtus, les fonctions d'un poumon, d'un intestin et d'un rein.

- ***Fonction de protection***

Le placenta constitue dans une certaine mesure, une protection contre la pénétration des bactéries, virus et toxines. Le placenta demeure un obstacle protégeant l'embryon puis le fœtus contre de multiples infections et intoxications maternelles.

Suivant le type de placenta, les agents nuisibles traverseront plus ou moins facilement la barrière placentaire exp: acquisition de l'immunité chez les hémochoriales par le passage des Ac, très peu chez les endothéliochoriales et pas du tout chez les conjonctivo et les épithéliochoriales.

- ***Placenta, glande endocrine***

Véritable glande endocrine polyvalente, le placenta élabore et secrète des hormones nécessaires au maintien de la gestation et au développement fœtal dont :

Les hormones stéroïdes : grâce au cholestérol présent dans la circulation maternelle, le placenta synthétise de la progestérone qui a pour effet de relâcher les muscles viscéraux maternels. Ensuite, elle est transformée au niveau hépatique et surrénalien pour donner les précurseurs des œstrogènes qui seront transformés en œstrogènes au niveau du placenta.

Les œstrogènes servent au :

-Développement de l'endomètre autour de l'œuf

-Développement de la glande mammaire.

Les hormones protéiques :

- l'HCG, elle maintient le corps jaune le 1er trimestre de gestation, permet à l'œuf de s'implanter en bloquant le cycle de l'ovaire, stimule la sécrétion placentaire d'hormones stéroïdes et permet le diagnostic de la gestation.

- l'HPL, hormone lactogène placentaire, prépare la lactation et favorise le développement du fœtus.

Les hormones protéiques placentaires non spécifiques tels que les GnRH., l'ACTH.

II.6.CIRCULATION FŒTO-MATERNELLE

La circulation fœtale est transitoirement adaptée à la vie in utéro. Les échanges gazeux et des nutriments s'effectuent via le système placentaire, ce qui nécessite un certain nombre de modifications de son système circulatoire dans l'attente de la mise en route d'une ventilation pulmonaire.

II.6.1. Structure et développement des villosités placentaires

On distingue la muqueuse utérine et le placenta proprement dit, avec la plaque basale, la plaque chorale et entre les deux, la chambre intervillieuse et les villosités chorales.

Les villosités chorales partent de la plaque chorale. A partir du 13^{ème} jour, le cytotrophoblaste s'enfonce dans le syncytiotrophoblaste constituant ainsi la villosité primaire. Les lacunes syncytiales confluent en une cavité unique limitée par le syncytiotrophoblaste et se remplissent de sang : la chambre inter-villieuse.

Vers le 18 jour, du tissu mésenchymateux provenant du mésenchyme extra-embryonnaire s'enfonce dans le cytotrophoblaste, formant ainsi les villosités secondaires.

Les îlots sanguins apparaissent au centre du mésenchyme, ils sont à l'origine de la mise en place de villosités tertiaires (figure30).

Vers le 2^{ème} mois de développement, les villosités deviennent arboriformes et sont diffusées autour de l'embryon, elles sont formées :

- De villosités libres car leurs extrémités flottent librement dans la chambre intervillieuse, elles sont appelées : branches.
- Des villosités crampons qui prennent contact avec le tissu maternel : elles sont appelées : troncs.
- Chaque tronc et son branchage occupent un espace cloisonné par des septa déciduaux apparaissant au 4^{ème} mois et provenant de la muqueuse utérine mais n'atteignant pas la plaque chorale.
- Chaque cotylédon est fait de 2 ou plusieurs villosités crampons et de leurs branches.

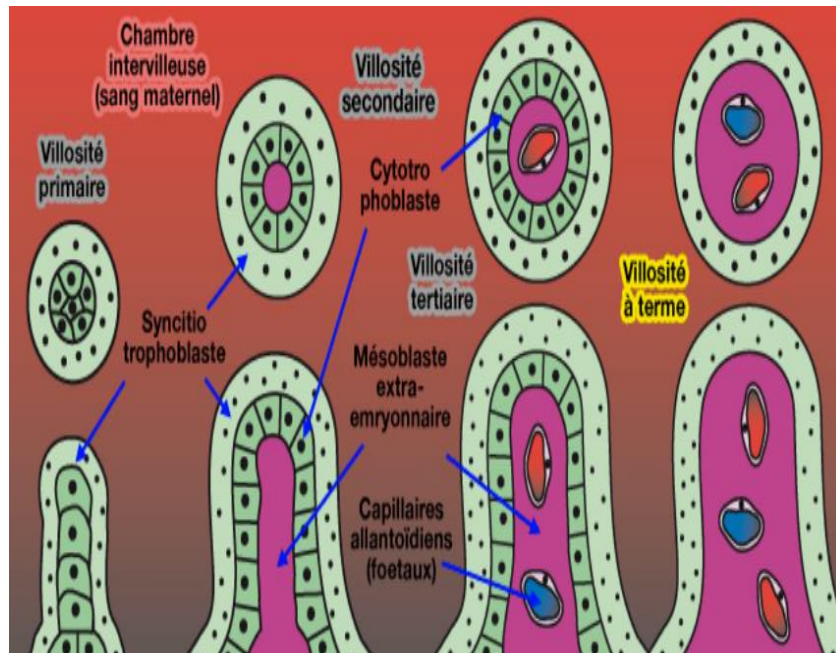


Figure 30 : Villosités chorales (Anonyme 10, 2018)

II.6.2.Échanges fœto-maternels

Le sang contenu dans l'artère utérine est projeté dans la chambre intervillieuse où il est en contact avec les villosités qui baignent dans ces chambres, puis ce sang retourne vers la circulation maternelle grâce aux veines utérines. Ce contact villosités- sang maternel permet les échanges respiratoires et le passage des nutriments.

Ces passages sont équivalents à des transferts transmembranaires, de 3 types :

Simple diffusion : c'est le passage sans consommation d'énergie, il se fait selon le gradient de concentration, affecte les petites molécules : eau, sels minéraux, urée et gaz du sang (échanges respiratoires par diffusion simple)

Transfert facilité : ce passage se fait toujours grâce au gradient de concentration, mais une molécule porteuse intervient pour faciliter le transport, c'est le cas du glucose, dans les deux sens avec équilibre de la glycémie fœtale et de la glycémie maternelle (la glycémie fœtale est égale aux 2/3 de la glycémie maternelle). Le placenta est capable de synthétiser et de stocker du glycogène au niveau du trophoblaste afin d'assurer les besoins locaux en glucose par glycogénolyse.

Transport actif : il se fait contre un gradient de concentration avec consommation d'énergie, c'est le cas du complexe Na^+/K^+ ou Ca^{++} .

- Les protéines ne passent pas par la barrière placentaire, elles sont trop grosses. Les peptides et les acides aminés, en revanche, passent par transport actif et permettent ainsi au fœtus d'assurer sa propre synthèse protéique.
- Les acides aminés, précurseurs de la synthèse protéique fœtale, proviennent de la dégradation des protéines maternelles.
- Les lipides, dégradés en acides gras
- Les vitamines hydrosolubles, mais la vitamine K passe mal

Les transferts placentaires concernent également l'élimination des déchets du métabolisme fœtal qui sont rejetés dans le sang maternel puis éliminés (urée, acide urique, créatinine).

II.6.3. Circulation fœtale

La circulation embryo-maternelle s'établit dès le 21^{ème} j de développement embryonnaire, date à partir de laquelle le placenta, le cordon ombilical et la circulation intra embryonnaire sont opérationnelles. En raison du développement très tardif des poumons, de la faible capacité des vaisseaux pulmonaires et de la résistance vasculaire consécutive très élevée, la circulation pulmonaire ne peut pas absorber la totalité du débit sanguin, alors le placenta constitue le poumon du fœtus.

Pour permettre à la circulation d'être tout de même équilibrée, deux shunts sont mis en place, déviant la plus grande partie du sang de la circulation pulmonaire.

- Communication des oreillettes droite et gauche à travers le foramen ovale
- Communication du tronc pulmonaire et l'aorte à travers le canal artériel

Le sang oxygéné provenant du placenta est amené au foie par la veine ombilicale, puis se rend à la veine cave inférieure par le canal veineux d'Arantius, pour pénétrer dans l'oreillette droite, la plus grande partie traverse le foramen ovale vers l'oreillette et le ventricule gauche, il est alors éjecté dans l'arc aortique. L'autre petite partie du sang reste dans l'oreillette droite où il est mélangé avec le sang désaturé en oxygène (riche en CO₂) en provenance des membres supérieurs et de la tête par l'intermédiaire de la veine cave supérieure. Depuis l'oreillette gauche, le sang va au ventricule gauche puis à l'aorte ascendante.

Le sang riche en CO₂, en provenance du corps du fœtus, est rassemblé dans la veine cave supérieure et passe par l'oreillette droite dans le ventricule droit, puis dans le tronc de l'artère pulmonaire. Du fait de la résistance périphérique élevée dans la petite circulation (pulmonaire) au cours de la vie fœtale, la majeure partie du sang passe directement dans l'aorte descendante par l'intermédiaire du canal artériel, puis il est renvoyé au placenta par les artères ombilicales (figure 32).

Après la naissance, le canal artériel et le trou de Botal (foramen ovale) se referment totalement.

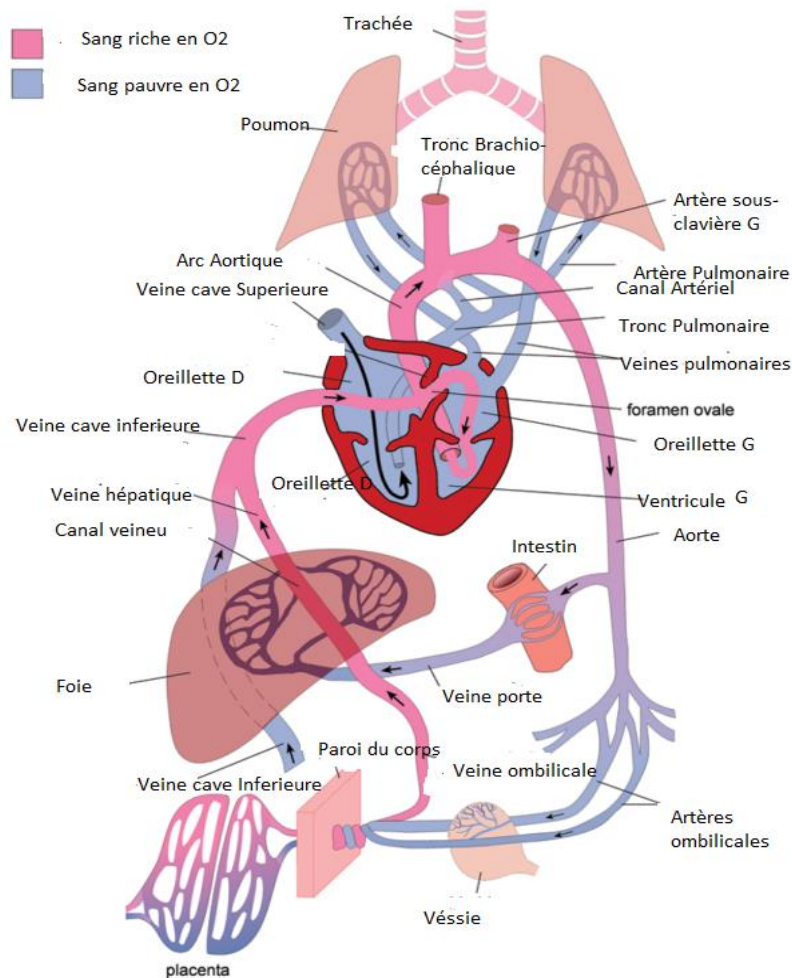


Figure 31 : Circulation fœto-maternelle (Mcgeady *et al.*, 2017)

II.7.GESTATION GEMELLAIRE

Chez de nombreuses espèces de mammifères, plusieurs œufs se développent simultanément dans l'utérus. La gestation gémellaire est la plus fréquente des gestations multiples, elle est définie comme le développement simultané de 2 fœtus dans la cavité utérine. Les fœtus issus de cette gestation peuvent avoir le même patrimoine héréditaire (œuf homozygote) ou des patrimoines héréditaires différents (œuf dizygote) selon l'origine embryologique.

L'intérêt de l'étude des jumeaux se porte sur leurs ressemblances et l'opportunité que cela offre de mettre en évidence l'influence de l'environnement sur l'être vivant. Plus encore que les clones, les greffes d'organes, aussi dans le domaine de la biologie, du développement et de la génétique appliquée aux comportements.

Il y a 2 types de jumeaux

- Les vrais jumeaux
- Les faux jumeaux

II.7.1 Facteurs étiologiques des gémellités

Les deux facteurs étiologiques les plus évidents sont :

- *Facteurs héréditaires*

La fréquence des jumeaux varie selon : la race, la région, l'âge.

- *Facteurs hormonaux*

L'hyperactivité gonadotrope (FSH et LH) entraîne une stimulation ovarienne excessive qui se traduit par la ponte simultanée de 2 ou plusieurs ovocytes.

- *Facteurs nutritionnels*

Les produits laitiers augmentent la concentration d'une hormone de croissance appelée IGF (Insuline Like Growth Factor), laquelle joue un rôle dans l'ovulation.

- *Luminosité*

En théorie, il se pourrait que la lumière ait une influence sur une glande hormonale située dans le cerveau, laquelle entraînerait des ovulations multiples.

II.7.2 Mécanisme des gémellités

- *Faux jumeaux*

Les faux jumeaux ou jumeaux dizygotes ou bi-ovulaires représentent environ 2/3 des jumeaux. Ils sont issus de deux ovules fécondés par deux spermatozoïdes. Cela suppose une double ovulation : deux follicules différents au niveau d'un ovaire ou de deux ovaires pouvant entrer en croissance en même temps. Ces faux jumeaux :

- Peuvent être ou non de sexe différent
- Ils ne se ressemblent pas nécessairement
- Leurs groupes sanguins peuvent être différents ou identiques
- Il n'existe pas de tolérance aux greffes croisées

Anatomiquement, il s'agit de 2 œufs indépendants qui s'implantent séparément et développent

des membranes indépendantes ; Ils ne contractent que des rapports de juxtaposition, mais avec une séparation entre eux, chaque œuf a son propre chorion et son propre amnios, on parlera de jumeaux di choriaux di amniotiques.

➤ ***Vrais Jumeaux***

Les vrais jumeaux ou jumeaux monozygotes ou uniovulaires représentent environ les 1/3 des jumeaux. Ils proviennent de la division d'un œuf unique et selon le stade de développement auquel se fait cette division, nous aurons soit :

- Une séparation au stade 2 blastomères
- Une séparation au stade de bouton embryonnaire
- Une séparation au stade de disque embryonnaire

Les vrais jumeaux résultent d'un phénomène de régulation. Ils peuvent être soit bi choriaux, soit mono choriaux, ils

- Ont toujours le même sexe
- Ont le même groupe sanguin
- Se ressemblent parfaitement
- Présentent une tolérance aux greffes d'organe
- Ont des génomes identiques.

➤ **Séparation au stade 2 blastomères**

Elle aboutit à des jumeaux di choriaux di amniotiques, les deux premiers blastomères se séparent l'un de l'autre et chacun d'eux évolue pour son propre compte, chacun se segmente, forme une morula, puis un blastocyste, chaque jumeau aura donc un placenta, un chorion et un amnios séparés.

➤ **Séparation au stade de bouton embryonnaire**

Elle aboutit à des jumeaux monochoriaux di amniotiques, il y'a un seul blastocyste avec une coque trophoblastique commune aux boutons embryonnaires donc un seul placenta, un seul chorion, mais deux amnios séparés jumeaux monochoriaux di amniotiques.

➤ **Séparation au stade de disque embryonnaire**

La duplicité de la ligne primitive, après que la cavité amniotique se soit formée, aboutit à des jumeaux monochoriaux mono-amniotiques.

Cette variété est à la limite de la tératologie car il s'en faut de peu, pour que les 2 embryons, au lieu d'être complètement séparés, fusionnent plus ou moins.

II.7.3 Conséquences de la gémellarité

- La connexion des systèmes vasculaires extra-embryonnaires peut être à l'origine de mélange des sangs et de troubles de la vascularisation entre les jumeaux
- Le déficit vasculaire peut se traduire par un retard de développement
- La prématurité est plus fréquente dans les gestations gémellaires