##### Biologie et physiologie de la reproduction

C’est le cheptel de reproductrices que l’éleveur va devoir gérer.

###### Reproduction : fonction qui permet d’assurer le maintien/la pérennité de toutes les espèces, quel que soit leur milieu de vie (aérien, terrestre, aquatique) et quelles que soient les conditions de l’environnement. Il existe des spécificités propres aux espèces

Il existe des **mécanismes communs** à tous les vertébrés. Il va y avoir des adaptations spécifiques à chaque espèce ou à chaque milieu environnant.

Pour qu’il y ait reproduction, il faut **toujours un mâle et une femelle** (= **déterminisme sexuel**). Cela pose la question de la différentiation entre mâle et femelle.

**Quel est le déterminisme génétique sexuel ? Qu’est ce qui fait qu’un mâle est un mâle ?**

Chez les mammifères, ce sont les chromosomes qui font le déterminisme sexuel.   
Chez les autres vertébrés, il y a une grande plasticité pour la détermination des mâles et des femelles (température, influence du milieu environnant…).

#### Les gonades sont les glandes sexuelles.

**Mâles =** testicules : grande homogénéité fonctionnelle **au sein des vertébrés**. **Structures** **différentes** mais spermatogénèse identique (même cycle spermato-génétique). Il y a une grande homogénéité sur la fonction du mâle.

**Femelles =** ovaires : structure et fonctionnement très différents **selon les classes de vertébrés**. Vitellogénèse **+ ou moins importante** ou folliculogénèse (production jaune d’œuf) **active** **chez les poissons et les oiseaux**, mais **très peu développée** **chez les mammifères**, car elle est liée à la relation foeto-maternelle.   
Quand elle est **importante** 🡺 œufs télolécithes. Elle est reliée au degré de relation qu’il y a entre la mère et l’embryon.   
Quand il est **faible** 🡺 œufs alécithes. Le seul point commun est la parturition = mise bas. Ce sont les mêmes mécanismes qui sont impliqués lors de la parturition et de l’oviposition.

#### Rappels d’endocrinologie

Le système nerveux central est en contact avec l’environnement.

Au niveau de l’hypophyse, l’hypothalamus est en contact direct avec l’hémisphère cérébral. La reproduction est contrôlée par l’émotivité et les conditions extérieures. Le contact hypothalamus- hypophyse permet la sécrétion d’hormones.

La GnRH stimule **l’hypophyse** 🡪 FSH et LH qui agissent sur les **gonades** pour sécréter des hormones de reproduction. En parallèle d’autres hormones sont sécrétées par **l’hypophyse** : la prolactine (lait), la GH (croissance, viande et métabolisme sur la glande mammaire pour la synthèse du lait), la TSH (thermorégulation, homéostasie), les corticoïdes (limitation des stress et augmentation de la production laitière).

Extérieur 🡪 hypothalamus 🡪 hypophyse 🡪 hormone gonadotrope Gonades 🡪 hormones sexuelles

GnRH FSH+ LH

L’hypophyse est la plaque tournante entre toutes les fonctions. C’est **l’**interface avec le milieu extérieur.

Une mère qui allaite ne peut pas se reproduire. Parfois, on contourne cette interaction par le fait de sevrer plus tôt.

La fonction reproduction est irrégulière et difficile à contrôler. Elle dépend des facteurs externes et de l’émotivité et donc du stress.

L’ensemble de ces hormones est en équilibre hormonal : **+ on a** de boucles de régulation, **+ on a** une **capacité d’adaptation** de l’espèce (facteurs de saison, de climat, facteurs de comportement sexuel des populations).

**Les hormones en élevage** : des hormones **synthétiques** ont été produites, d'abord pour les femmes, puis pour les animaux 🡺 pour la **reproduction** des troupeaux, puis pour **facteur de croissance** et de **lactation** (chez femme pour éviter les bébés)   
🡺 **risques** : résidus d'hormones dans le lait par accumulation de métabolites dans le lait (si non dégradés => dangereux)

# Déterminisme génétique du sexe

La différentiation des gonades et le phénotype dépendent du déterminisme génétique.

* Evident : si les chromosomes sexuels sont identifiés et mis en évidence ou si l’activité d’un gène est identifiée (**œstrogènes** = femelle / **androgène** = mâle)
* Pas toujours évident :
* Quand le facteur responsable de l’orientation sexuel est lié à la température (l’élément le plus connu). En fonction de la température d’incubation des œufs, il s’oriente vers un mâle ou une femelle (surtout chez les reptiles, quelques poissons, quelques amphibiens).
* Quand l’espèce est hermaphrodite (individu capable de produire les deux types de gamètes = **synchrone**), on dit que l’hermaphrodisme est asynchrone (à des moments différents) de type protandre (gamètes femelles puis gamètes mâles) ou de type protogyne (gamètes mâles puis gamètes femelles).   
  Cette production de gamètes est faite à partir de cellules souches indifférenciées

## **Chromosomes sexuels**

### Deux types de chromosomes

XX ; XY propres aux mammifères, c’est le mâle qui **détermine le sexe** (détermination hétérogamétique)

ZZ (mâle) ; ZW (femelle) propres aux oiseaux. C’est la femelle qui **détermine le sexe**

Chez les reptiles, les amphibiens et les poissons, les 2 types de systèmes existent. Les chromosomes sont X, Y ou Z.

### Anomalies numériques

Chez les mammifères, on a une différence de 2 à 4% entre X et Y. Une **faible différence** peut donc entrainer une anomalie. Le **chromosome Y** est toujours + petit que le **chromosome X**

Si on a des individus XXY 🡺 mâle

XYY 🡺 super-mâle (problèmes de comportement psychologiques, comportements violents, troubles de comportement reproductif)

Si on a XXX => trisomie, super-femelle (problèmes de comportement + reproduction)

XØ => femelle (dans ce cas, le seul X est traduit : reproduction normale mais la fertilité peut être perturbée), le gène Xint inactive l’activité d’un des deux X chez les femelles « normales », les femelles XØ fonctionnent donc normalement

Chez les oiseaux, on a une différence de 50% entre Z et W, W est 2 fois + petit, mais pas d’anomalie signalée. On a un vrai dimorphisme au niveau chromosomique

ZØ => mâle  
ZWW => femelle (anomalies mais animaux paraissant « normaux »)

Chez les poissons, les chromosomes sexuels sont peu identifiés morphologiquement

### Différenciation des chromosomes au cours du temps

###### Mammifères monotrèmes = très peu de différences au niveau des chromosomes sexuels mâle et femelle

**Marsupiaux** = pas de placenta mais une poche pour le développement du petit

Mammifères euthériens = le + de relations foeto-maternelles (4% de différences entre X et Y)

###### Les déterminants sexuels sont essentiellement portés par le gène Y

#### SRY

Le gène SRY est porté par le chromosome Y. Il se traduit en protéine SRY et agit directement au niveau du noyau. La structure d’ADN devient courbe pour favoriser la transcription. Le gène transcrit agit sur la différentiation du sexe mâle.

Cela permet l’activation des tubes séminifères, l’orientation et la formation des **ébauches gonadiques** mâles (cellule et synthèse des hormones). Au début les gonades sont indifférenciées, elles vont évoluer vers des testicules. Le gène SRY a un rôle capital au niveau de la masculinisation de l’individu. Mais ce n’est pas le seul (c’est le principal).

S’il n’y a pas de gène SRY alors il n’y a pas de traduction du gène et **pas de différentiation** des cellules de Sertoli. Génétiquement, l’individu est XY mais il n’y a pas de masculinisation. Par défaut, l’individu est « femelle »

+ **intersexualité !**

Si translocation du gène SRY :

XX avec SRY : masculinisation des femelles = femelle ayant l’apparence d’un mâle (1/4 de la masculinisation des femmes)

XY sans SRY : féminisation (20% des problèmes de féminisation des hommes)

#### Le gène WT1

Le gène WT1 est porté sur le chromosome 11 chez l’homme, une mutation WT1 chez un **mâle** **XY** = problèmes rénaux 🡺 hermaphrodisme (mâle et femelle) **ou** inversion du sexe (totale, ils sont XY mais avec un équipement femelle)

#### Le gène DAX1

Le gène DAX1 est situé sur le chromosome X

S’il y a une mutation, on observe une inversion du sexe. Le sexe femelle **devient** **un sexe mâle**. C’est la masculinisation des femmes

S’il y a une **duplication**, c’est-à-dire qu’il y a deux DAX1 sur le même X, on observe l’inactivation du gène SRY du Y 🡺féminisation des hommes (homme avec des ovaires)

## **Les ébauches gonadiques indifférenciées**

L’évolution des gonades se fait sur **une période + ou moins longue**, où le sexe est **indifférencié**. Il y a d’abord une différenciation sexuelle mâle. Si celle-ci n’existe pas, il y a développement du sexe femelle par défaut. Le **développement embryonnaire est indifférencié** pendant **une première période**, à un moment, il y a **divergence** des **deux voies**. La **différenciation** **n’apparait que tardivement** au cours du développement.

### Les cellules germinales primordiales (PGC)

Une **50aine** chez **l'homme**, **dizaines** chez les **souris**  
Les cellules germinales primordiales entrainent la fabrication de toutes les structures sexuelles. Au moment de la **gastrulation**, des cellules grosses indifférenciées (plus que les autres cellules de méso ou ectoblaste) s’isolent au niveau des crêtes neurales et vont migrer vers les crêtes génitales (origine splanctopleure, c’est l’épithélium du cœlome interne). Pendant cette migration, il y a multiplication intense. Les PGC vont coloniser les crêtes génitales, de façon symétrique (**sauf chez les oiseaux**, plus important à gauche qu’à droite).

**Chez l’homme**, **dès 6 semaines** de **grossesse** il y a l’apparition des **crêtes génitales**, c’est le début de **l’ébauche gonadique**. Les **PGC** donnent les ovocytes ou les spermatozoïdes.

**Chez le coq** il y a **2 fois +** de **migration** du **côté gauche**, alors que **chez la poule** il y a **5 fois +** de **migration** du **côté gauche**

**Chez le poulet** : **6 jours** (1/3)  
**Chez le lapin** : **14-15jours**  
**Chez l’homme** : mi-gestation, **à partir de la sixième semaine**  
**Chez les anamniotes** (**poissons**) : différenciation **après** **l’éclosion de la larve**. **20-25j** **chez la truite** et **plus de 2 mois après** l’éclosion car lié aux facteurs environnementaux.

La **fin de la période** de différenciation est variable selon les espèces et selon les conditions climatiques.

### Le mésonéphros

Le mésonéphros est le rein rudimentaire. Il y a un diverticule qui va se former. Il y a la mise en place d’un diverticule qui va rentrer en contact avec les crêtes génitales qui contiennent les PGC. Cela créera une gonade que l’on appelle l’ébauche gonadique indifférenciée

## **La différenciation du sexe**

### Le stade indifférencié

Le stade indifférencié correspond au mésonéphros qui est le rein rudimentaire. Il débouche dans le canal de Wolff (pour excréter l’urine), qui lui-même débouche dans le sinus uro-génital qui va être commun aux voies urinaires et génitales. Il y a donc une gonade indifférenciée **Page 1**

Le canal de Muller se **met en place progressivement** en parallèle du canal de Wolff. Il débouche aussi dans le sinus uro-génital

Le sinus uro-génital donnera :

* La prostate chez le mâle
* Le vagin et l’urètre chez la femelle

A l’extrémité, on a un tubercule génital, à l’origine semblable chez le mâle et la femelle, et qui donne ensuite le sillon médian chez la femelle et le pénis chez le mâle.

### La différenciation de l’appareil génital

**L’étape suivante** : la **masculinisation de l’appareil génital**

#### Différenciation masculine

Il y a une multiplication très rapide des PGC à l’intérieur des tubes séminifères. Il y a donc une ébauche des tubes séminifères. Il y a ensuite une différenciation des cellules du tissu interstitiel où se trouvent les cellules de Leydig qui vont sécréter les hormones mâles. Ces hormones aboutissent à la masculinisation des voies génitales mâles. Il y a la disparition des canaux de Müller

Dans un **1er temps**, au niveau de la gonade, des androgènes sont sécrétés. C'est un **processus** **rapide** et conduit à la formation de tubes séminifères. Ces tubes renferment les PGC. Les cellules mésenchymateuses se différencient à leur tour autour du tube pour donner les cellules de Leydig qui sécrètent des androgènes. L’évolution des cordons séminifères en tubes séminifères et en cellules de Leydig stimulent l’activité endocrine

* Ceci provoque la masculinisation des voies génitales et la disparition des canaux de Muller

#### Différenciation de l’appareil génital femelle

Les femelles gardent leur stade indifférencié **beaucoup + longtemps** que les mâles. Il n’y a **pas** **d’hormones mâles**. Il y a donc la féminisation des organes génitaux femelles.

S’il n’y a pas d’évolution mâle, il y a différenciation en femelle (par défaut), c’est-à-dire une différenciation ovarienne. C’est un processus long. D’abord, les ébauches ovariennes indifférenciées sécrètent progressivement de l’œstradiol. C’est le début de l’activité endocrine. Au niveau des ovaires, il y a multiplication des ovogonies qui se retrouvent libres dans l’espace et qui vont entrer en prophase de méiose. Il y a une multiplication très intense au cours de la vie fœtale. Il y a un stock d’ovogonies souches fixé.

Les canaux de Muller continuent de se développer (par défaut, sans hormone) pour se différencier lentement et constituer l’oviducte, l’utérus et le sinus uro-génital. Les canaux Wolff disparaissent en même temps.

Le sinus urogénital contribue à la mise en place du vagin. En parallèle du vagin, il y a la mise en place de l’urètre. La différenciation est plus ou moins poussée selon les espèces.

* La féminisation est un processus beaucoup plus long.

### Rôle des hormones

###### Tout repose sur la présence ou non de testicules

Le testicule joue un rôle essentiel dans la différenciation de l’appareil génital.  
Il a deux types d’actions :

- Une action directe = disparition des canaux de Müller, due à l’AMH (anti mullerian hormon)sécrétée par les testicules embryonnaires

- Une action indirecte = développement des voies mâles et des organes génitaux pour aboutir à la **masculinisation** de l’appareil génital mâle grâce à la testostéroneet aux androgènes

La gonade mâle commence à se mettre en place. Il y a **différenciation** des cellules de Leydig. Elles sécrètent la testostérone et l’androstènedione. Ces hormones ont une action directe sur les cellules qui ont un récepteur à la testostérone ou à l’androstènedione

Mais, s’il n’y **pas de récepteur** à la testostérone, il n’y aura **pas d’action** sur les canaux de Wolf. Il n’y aura donc **pas de** **masculinisation** de l’appareil génital 🡺 **Problème de féminisation**. Cet homme n’aura donc **pas** **d’attributs sexuels**. Les **canaux de Wolff** **vont régresser** et il y aura le **développement d’un utérus et d’oviductes**.

On sait que **l’AMH** doit entrainer la régression des canaux de Müller mais il y a parfois une persistance et ces hommes ont un **vagin** et une **corne utérine**. Soit il y a une **mutation** au niveau de l’hormone qui ne va donc pas agir sur les canaux de Müller = masculinisation des voies génitales mais vagin et utérus en parallèle du pénis, soit chez certains hommes ce sont les **récepteurs AMH** **qui sont mutés**, ce qui entraine les mêmes conséquences.

Les cordons séminifères se mettent en place. C’est à ce niveau qu’est sécrétée l’AMH par cellules de Sertoli.

***Le phénomène de Free Martinisme***  
Quand il y a un jumeau mâle et un jumeau femelle dans la même corne utérine, s’il y a fusion entre les placentas alors il y a anastomose et il y a donc des échanges sanguins. Donc **l’AMH** du mâle provoque la masculinisation de l’homme mais aussi de la femme par transfert par le sang. La femelle a un **vagin** et un **sinus uro-génital** **normaux** mais elle n’a **pas** **d’utérus**.

Lorsqu’il y a des ébauches ovariennes et la présence **d’AMH**, il y a **masculinisation** de ces ébauches ovariennes. Puis, il y a la formation de cordons séminifères. On a donc une femelle **sans** **oviducte** **ni** **utérus**, mais avec un **ovaire apparenté à un testicule**.

Les **testicules sont indispensables à la différenciation mâle** de l’appareil génital mais les **ovaires** ne **sont pas indispensables** à la féminisation de l’appareil génital.   
Le développement de l’appareil génital femelle est fait par défaut.

# L’appareil génital du mâle et ses fonctions

Il y a trois groupes d’organes :

* Organes de formation et de stockage des spermatozoïdes (testicule, épididyme)

###### Glandes annexes

* Organes d’évacuation (canaux déférents, ampoule déférente, organes copulateurs)

## **Les testicules**

### La structure

Ils ont **toujours la même structure** **chez tous les vertébrés**. Ils sont entourés d’une tunique externe musculo-fibreuse appelée l’albuginée (car couleur blanche). Elle a un rôle de soutien.

Dans la tunique, il y a deux compartiments :

* Un compartiment germinal entouré par les cellules de Sertoli (= cellules nourricières lors de la spermatogénèse) 🡪 Sécrétion AMH
* Un compartiment interstitiel constitué par les cellules de Leydig (mésenchymateuses) 🡪 Echanges à travers les vaisseaux, la lymphe (irrigation et système nutritif) + système nerveux + sécrétion testostérone et androgènes = organes fortement innervés et irrigués

#### Le compartiment germinal

Structure

Il existe deux types d’organisation possibles :

* Sous forme de cystes (petites cavités formées à partir des cellules de Sertoli et des spermatogonies). Les cystes sont propres aux anamniotes.

C’est une cavité formée par les cellules de Sertoli. La spermatogénèse se fait par clones morphologiquement isolés dans chaque cyste. Tous les spermatozoïdes seront au même stade et en même quantité quand il y a rupture de cyste. Il y aura donc une libération de beaucoup de spermatozoïdes au même stade de développement. Cela traduit une capacité à produire une grande quantité de spermatozoïdes pendant la période reproduction en dehors de laquelle il n’y a plus d’activité et de cavités de cystes. C’est le cas des poissons et des amphibiens.

* Sous forme de tubes séminifèresqui sont spécifiques des amniotes.

Il y a une lame basale sur laquelle vont reposer les cellules de Sertoli organisées sous forme d’épithélium. Entre deux cellules de Sertoli, il va y avoir la spermatogénèse. Il va y avoir des spermatozoïdes matures produits régulièrement. Ils vont alors être évacués. Il y a une production constante et continue de spermatozoïdes. C’est une spermatogénèse par clones non isolés morphologiquement.

Les tubes séminifères sont très pelotonnés. Le diamètre est de l’ordre de 0,1 à 0,2mm. L’allongement des tubes se poursuit de la puberté jusqu’à l’âge adulte (3 à 4 km de long chez taureau, plusieurs centaines de mètres chez l’homme). L’ensemble de ces tubes séminifères va être collectés dans le corps de Heymor.   
C’est le cas des mammifères et des oiseaux. Les tubes séminifères débouchent dans un canal collecteur **jusqu’à l’**épididyme.

**Les cellules de Sertoli**

Quelle que soit la structure, on a toujours la même fonction des cellules de Sertoli chez tous les vertébrés : c’est la spermatogénèse, c’est-à-dire la production de spermatozoïdes à partir de spermatogonies. Au niveau des cellules de Sertoli, les spermatogonies évoluent jusqu’à produire des spermatozoïdes. Elles ont un rôle dans la nutrition et le soutien des tissus pour un bon déroulement de la spermatogénèse. A partir de la puberté, il n’y a plus de production de cellules de Sertoli.

**Spermatogénèse** = **PGC** 🡪 spermatozoïdes matures

Chez les amniotes, la spermatogénèse devient alors fonctionnelle et les liaisons entre les cellules de Sertoli deviennent rigides. La communication est donc limitée mais certains virus peuvent franchir la lame étanche (oreillons). Il y a une barrière étanche constituée des cellules de Sertoli liées rigidement, c’est une barrière hémato-testiculaire à travers laquelle rien ne peut passer.

Chez les anamniotes, les cellules de Sertoli continuent de se diviser au début de la saison sexuelle, il n’y a pas de stock. Dès qu’il y a rupture des cystes, des cellules de Sertoli vont se diviser pour en reformer de nouveau à la prochaine saison de reproduction. Les cellules de Sertoli se multiplient pendant toute la vie de l’animal.

Autour de la lame basale, des cellules myoïdes (un peu + autour des tubes séminifères) assurent la contraction des cystes ou des tubes séminifères. Elles ont pour rôle la progression et la motricité des spermatozoïdes dans les canaux. Autour des cellules myoïdes, on trouve l’enveloppe externe dans laquelle il y a du collagène et de la laminine pour un rôle de protection.

#### Compartiment interstitiel

Les cellules de Leydig sont présentes de façon permanente chez les amniotes et les téléostéens mais vont présenter des variations au niveau de l’activité hormonale (production de stéroïdes). Ces variations sont fonction du stade de développement, de la saison… Elles **apparaissent très rapidement** (avant les cellules de Sertoli), au niveau des cordons testiculaires. Elles ont la même origine que les cellules de Sertoli. Les cellules de Leydig se multiplient pendant la vie embryonnaire et participent à la différenciation, notamment des mâles, puis elles régressent une fois que la différenciation mâle a été effectuée (à la puberté). Un système vasculaire permet d’irriguer l’artère testiculaire et donc l’ensemble des gonades. Le système vasculaire ne pénètre jamais à l’intérieur du compartiment germinal. Il n’entre jamais en contact avec les cellules de Sertoli et les cellules germinales.

Il y a aussi un système de vascularisation complexe chez les mammifères euthériens. Il y a un plexus veineux qui est un cône vasculaire qui permet d’assurer la thermorégulation.

Il y a aussi un système lymphatique parallèle au système vasculaire. Il va irriguer l’ensemble des territoires. Tout le compartiment interstitiel baigne dans une lymphe 🡪 échanges hormonaux plus indirects.

Le système nerveux est parasympatique. Il est autonome.

#### Albuginée

C’est l’enveloppe testiculaire. C’est une tunique fibreuse constituée de fibroblastes et de fibres de collagène. Elle assure l’irrigation du testicule et la motricité des spermatozoïdes à l’intérieur des testicules par contractions. On aboutit à **l’**expulsion des spermatozoïdes contenus dans les testicules.

#### Migration testiculaire

Chez la plupart des vertébrés (poissons, oiseaux, amphibiens principalement), pratiquement tous les anamniotes et quelques mammifères (baleines, mammifères marins, éléphants), les testicules sont à l’intérieur de la cavité abdominale et à proximité du rein, on dit qu’ils sont en position intra-abdominale. Cela se traduit par une migration au cours du développement dans les bourses et par un simple renflement de peau. La migration est définitive, elle est liée à l’AMH.

Chez les autres mammifères, on a une migration caudale des testicules et vont quitter la région abdominale. Cette descente se fait peu de temps avant la puberté, dans les sacs scrotaux (suspendus par un muscle appelé crémaster = bourses) ou dans le scrotum penduleux. Cette migration est définitive, sauf chez certains animaux où le canal reste ouvert pour que les testicules puissent rentrer.

Il y a différents types de bourses :

* Renflement de peau (porcs, lapins…)
* Isolées morphologiquement par un cordon testiculaire = scrotum penduleux (ruminants, primates…)

Ce qui contrôle la motricité et la migration des testicules dans les bourses est l’AMH. La température des spermatozoïdes doit être inférieure à la température abdominale (descente des gonades dans les bourses). Il y a donc un système de régulation thermique :

* Cône vasculaire = système **d’**échanges thermiques
* Crémaster = contraction 🡪 testicules plaqués contre la cavité abdominale donc réchauffement et inversement si froid
* Scrotum plus ou moins contracté 🡪 diminution des surfaces d’échanges et inversement

###### Adaptation aux conditions d’environnement

La structure des testicules est pratiquement la même chez tous les vertébrés.

### Fonction testiculaire

Chez tous les vertébrés, il y a toujours les mêmes fonctions : la spermatogénèse et une fonction endocrine (sécrétion d’hormones).

* Spermatogénèse : fabrication des cellules reproductrices = transmission du patrimoine héréditaire du mâle
* Fonction endocrine : Les hormones testiculaires contrôlent le comportement sexuel, la spermatogenèse et la mise en place des caractères sexuels secondaires. Toutes les fonctions du testicule sont sous contrôle des hormones gonadotropes (LH, FSH)

#### La spermatogénèse

Elle désigne l’ensemble des étapes qui conduisent à la formation de spermatozoïdes matures. Elle n’a lieu qu’à partir de la puberté.

Cycle spermato-génétique (3 étapes)

* ***1) Divisions goniales***

Cela correspond à la division des gonies souches. Les spermatogonies souches sont divisées en **spermatogonies filles** (A1 puis A2= intermédiaires) **avec** **des intermédiaires** (donneront B1 qui donneront B2…). Le nombre de division est spécifique à chaque espèce.

Il y a au minimum trois divisions. Une dégénérescence importante peut avoir lieu au cours du cycle au stade des divisions goniales. Cette dégénérescence est variable.

Exemple : ruminants = les 2/3 de la capacité de production sont dégénérés.

Ces divisions sont fonction des facteurs externes : si la période est défavorable alors il y a une dégénérescence importante, si la période est propice à la reproduction alors il y a une régénérescence

* ***2) Méioses des spermatocytes***

Les spermatocytes primaires sont à 2n chromosomes. Après la première division, les spermatocytes secondaires sont à n chromosomes. Puis, il y a une division secondaire, qui aboutit à 4 spermatides à n chromosomes. Après la 3ème transformation, il y a la spermiogenèse.

Dans la 2ème division de la méiose, plusieurs stades se succèdent :

* Leptotène : individualisation des chromosomes
* Zygotène : appariement des chromosomes
* Pachytène : épaississement des chromosomes
* Diplotène : séparation des deux chromosomes vers chaque cellule fille
* ***3) La spermiogénèse***

C’est la transformation de la spermatide en spermatozoïde **en 4 étapes** :

###### a) Formation de l’acrosome

C’est une vésicule formée à partir de l’appareil de Golgi, qui va se mettre en place tout autour du noyau. L’acrosome est une vésicule **riche en** enzymes dont deux sont importantes : l’acrosine et la hyaluronidase. Elles ont un rôle important au moment de la fécondation. Après la fixation du spermatozoïde sur la zone pellucide, il y a la réaction d’acrosomie : elle libère les enzymes, le spermatozoïde peut traverser la zone pellucide chez les mammifères ou la membrane vitelline chez les poissons.

###### b) Au niveau du noyau

On va avoir une condensation de l'ADN, les protéines histones autour du noyau se transforment en protamines, très grande stabilité, permet la création de nombreux pont disulfures. On a aussi une **élongation du noyau** de la **spermatide**. C’est le support de la double hélice d’ADN.

###### c) Le flagelle = système de mobilité

Il assure la mobilité, ce qui nécessite de l’énergie, donc **beaucoup de** mitochondries. Le centre du flagelle est l’axonème.

Ces mouvements nécessitent de l’ATP, fourni par les mitochondries qui entourent le flagelle. Il y a un manchon de mitochondries  serré qui entoure le flagelle qui est propre aux espèces à fécondation interne.

Pour les espèces à fécondation externe, les spermatozoïdes ont une **durée de vie beaucoup + courte** : de **quelques secondes à une minute**. S’il n’y a pas fécondation dans ces quelques secondes, le spermatozoïde **dégénère**. Il y a donc besoin de très peu d’énergie. Dans les milieux aquatiques d’eau douce, les déplacements sont effectués par hypotonie et par plasmolyse et dans les milieux aquatiques d’eau de mer ils sont effectués par hypertonie et par turgescence.

**Planche 3.10**

###### d) Système de reconnaissance au niveau extérieur

Ces protéines ont un rôle au moment de la fécondation. Elles sont capables de reconnaitre les zones pellucides, de fusionner les membranes plasmiques.   
La **durée du cycle** de la spermatogénèse dépend des **divisions goniales**, de **la durée de** la **méiose** et de **la durée de** la **spermiogénèse**.  
**Chez le poisson** : **36 jours** (guppy)   
**Chez le verrat** : **1mois ½  
Chez les oiseaux** : **cycle** **court** : **15 jours**  
**Bélier, lapin** : **50 jours**, **homme** : **2 mois ½**

**Planche 3.11 (à retenir, résumé)**

**Durée du cycle de la spermatogénèse**

La durée de la **spermatogénèse** est **variable** selon les espèces et au sein d’une espèce. Elle est sous contrôle de facteurs externes :

* 1) Saison et contre saison(non activité sexuelle)

Il y a diminution du nombre de divisions goniales, donc une diminution des gonadotropines en contre-saison 🡺 diminution du comportement sexuel. En parallèle, il y a une augmentation de la dégénérescence des cellules goniales. Donc une baisse de production des cellules germinales.

###### 2) Température

C’est souvent le cas pour les anamniotes : les **poissons** et les **amphibiens**. Si la température est trop froide, le cycle spermatogénétique s’allonge, et inversement  
**Oiseaux** : **15j  
Poissons, cochons** : **1 mois**  
**Mammifères** : **2 -3 mois**

**Cycle de l’épithélium des tubes séminifères**

La durée du cycle de l’épithélium des tubes séminifères est **propre aux** amniotes qui ont des **tubes séminifères**. Au cours de la spermatogénèse, il y a un passage régulier de la lame basale à la lumière des tubes séminifères.

Si on fait une coupe transversale des tubes séminifères, on n’a pas toujours la même association **:** 6 à 10 stades différents = des spermatogonies souches, des stades leptotènes, d’autres en début de spermatogénèse. Ces associations évoluent tout le long des tubes séminifères. Elles reviennent périodiquement.

**Cycle spermatogénétique** 🡺 **Planche 3.15**Tous les **7,8 mm**, on a le même type d'association 🡺 permet d'assurer une **production continue** **de spermatozoïdes**

### Régulation endocrine et paracrine de la fonction testiculaire

#### Endocrine

Les hormones sont sécrétées par des cellules endocrines et entre dans la circulation sanguine. L’hypothalamus et l’hypophyse régulent la synthèse des stéroïdes sexuels ainsi que la synthèse des hormones peptidiques.

La GnRH contrôle la FSH et la LH qui elles contrôlent les hormones sexuelles.

La partie antérieure de l’hypophyse sécrète la **FSH** et la **LH** (mêmes hormones que chez les femelles mais pas la même action).

* La FSH stimule la spermatogénèse (action sur cellules de Sertoli) et la synthèse des hormones peptidiques
* La LH stimule les cellules de Leydig qui stimuleront la synthèse des hormones stéroïdiennes

Il y a des rétrocontrôles négatifs

#### Au niveau des cellules somatiques

**Cellules de Sertoli**

Ce sont des récepteurs aux hormones FSH et LH. Elles ont un rôle essentiellement nourricier. Elles produisent de l’énergie pour assurer la spermatogénèse. De plus, les cellules de Sertoli sont régulées par la testostérone

Elles fournissent :

* Des hormones 🡪 AMH
* Des protéines de transport 🡪 activine (**réplication** de l’ADN) et inhibine (**inhibition** de la synthèse d’ADN)
* Des facteurs de croissance qui sont destinés à une régulation paracrine ou autocrine

Fournissent aussi de **l'énergie** aux spermatozoïdes par **lactate** et **pyruvate**Produiront aussi des protéines

**Cellules myoïdes**

Elles assurent la contraction des tubes séminifères, les spermatozoïdes pourront donc être expulsés. Deux facteurs hormonaux sont responsables de cette contraction :

* **L’**ocytocine = contractions et sécrétion par les cellules de Leydig (amniotes)
* La vasopressine = sécrétion par les cellules de Sertoli

**Cellules de Leydig**

L’action principale des cellules de Leydig est la sécrétion de stéroïdes essentiellement des androgènes (testostérone), qu'ils soient de taureaux, poissons (…) ils sont relativement proches.  
Quel que soit le vertébré, c’est le même mécanisme de régulation mais la **sécrétion d’androgène** **est saisonnée.**

Les rôles de la testostérone sont :

* Une action sur la spermatogénèse (action sur les cellules de Sertoli)
* Une action sur les caractères sexuels secondaires
* Un rôle transitoire lors de la différenciation sexuelle des fœtus

Chez les amniotes, il y a aussi une fonction de synthèse de l’ocytocine, une action sur cellules myoïdes et de Leydig et un rôle un peu paracrine

Les cellules de Leydig sont sous le contrôle direct de l’hypophyse

Planche 3.15

## **Voies génitales et glandes annexes**

C’est l’achèvement de la maturation des spermatozoïdes

### Différentiation des voies génitales et organes génitaux externes

Il y a la mise en place d’un gonoducte : le canal de Wolff évolue en canal urospermiducte chez les anamniotes (poissons + amphibiens). C’est le même canal pour l’urine et le sperme.

Chez les amniotes, le canal de Wolff donnera le spermiducte propre aux spermatozoïdes. La partie antérieure se plisse et donnera l’épididyme, en connexion avec le canal collecteur. La partie postérieure donnera les canaux déférents, des gonades aux glandes annexes. Les canaux de Muller régressent sous l’action de l’AMH

Le sinus uro-génital donne l’urètre et les glandes annexes chez les amniotes. De +, il y a formation d’un tubercule génital. **Chez la plupart** **des vertébrés**, la fécondation est interne.

**Remarque :**

* Chez **certains poissons**, la fécondation **peut être interne** 🡪 il y a une différentiation au niveau de la nageoire pelvienne et formation d’un pseudo-pénis.
* Chez **les sauriens** : un organe se différencie **à partir du cloaque**.
* Chez **les mammifères**, il y a une évolution en 4 temps :

- un cloaque qui est présent chez tous les **embryons de mammifères** (Réceptacle commun aux voies urinaires digestives et sexuelles)

- le cloisonnement du cloaque. D’un côté l’intestin primitif, de l’autre le sinus uro-génital (urètres et vessie)

- le tubercule qui va se différencier et qui **va croitre**. Différenciation de la vessie.

- mise en place définitive de l’organe copulateur

Le pénis contient toujours 2 types de tissus. Le tissu caverneux érectile et le corps spongieux toujours associé à l’urètre, à la base du pénis à l’extrémité du gland.

Dans le corps caverneux et le corps spongieux, il y a **beaucoup** de vaisseaux. Une artère arrive directement au pénis et l’irrigue. Quand le sphincter est fermé, le **pénis** est flasque. Lorsque ce **sphincter** est relâché, il y a un **afflux sanguin** qui provoque l’érection.  
🡺C’est un système sympathique impliqué.

### L’épididyme

#### Description

C’est toujours un organe relativement allongé et contourné car il est très long. Il adhère directement aux testicules. On distingue 3 parties :

* La tête : contient tous les canaux efférents. Ce sont les canaux qui transportent les spermatozoïdes des tubes séminifères à l’épididyme.
* Le corps
* La queue (petit réservoir au bout de l’épididyme). En fonction de la taille de la queue de l’épididyme, on peut estimer l’intensité de production de spermatozoïdes.

#### Fonctions

Transport des spermatozoïdes

Ce mécanisme est effectué au niveau testiculaire. La pression intra-testiculaire au niveau des canaux déférents chasse les spermatozoïdes, mobiles grâces à des battements ciliaires et aux contractions péristaltiques. Les contractions sont assurées par les cellules musculaires.

Les spermatozoïdes restent une dizaine de jours (entre la production et l’évacuation) **dans l’épididyme pour l’homme, le bélier et le taureau**.

Maturation des spermatozoïdes

Il a lieu pendant le transit. Au niveau de l’épididyme, les spermatozoïdes acquièrent leur pouvoir fécondant par modifications morphologiques et fonctionnelles.

* *Morphologiques*: déplacement des gouttelettes cytoplasmiques puis coulissement de ces gouttelettes le long du flagelle. Elle permet d’affiner **le spermatozoïde** **et le flagelle**. Au fur et à mesure que la gouttelette descend, les spermatozoïdes acquièrent leur mobilité.

L’acrosome va continuer de se mettre en place au niveau de l’épididyme. Au niveau de l’ADN, la condensation est poussée à l’extrême avec la mise en place des ponts disulfures.

* *Fonctionnelles* : découlent de la morphologie. Acquisition de la mobilité. Le **déplacement ne se fait plus au hasard** à la fin de l’épididyme. Il est rectiligne.

Des protéines de reconnaissance continuent de se mettre en place. Elles permettent aux spermatozoïdes de se fixer spécifiquement sur l’ovocyte de leur espèce.

Assurer la survie et le stockage des spermatozoïdes

Le stockage est effectué au niveau de la queue. Il y a la possibilité d’avoir des spermatozoïdes vivant **40 jours après la ligature**.   
La **survie des spermatozoïdes** est assurée principalement par les sécrétions de l’épididyme.   
Le **stockage** est fait sous forme immobile.

Résorption des spermatozoïdes dans l’épididyme

La **production de spermatozoïdes est toujours supérieure à l’évacuation**.   
Il y a réabsorption de la lyse des spermatozoïdes au niveau de la queue. Le mécanisme est encore mal connu.

*Hypothèse : Des cellules phagocytent les spermatozoïdes (les spermophages), ils sont ensuite éliminés par l’urine*.

### Les glandes annexes, structure et rôle

Elles sont présentes au niveau de l’urètre. Ces glandes sont très développées chez les mammifères. Elles apparaissent chez le fœtus mais ne **se développent que chez le mâle**, où il y a sécrétion de testostérone, qui favorise le développement des glandes annexes.   
Elles sont **importantes** car elles **représentent les** ¾ de l’éjaculat.

#### Glandes des canaux déférents

Ce sont des vésicules séminales. Elles sont issues des canaux de Wolff et sécrètent un liquide visqueux à ph acide. Etant donné qu’elles sont **riches** en fructose et en hormones, elles fournissent de l’énergie aux spermatozoïdes.

#### Glandes ampullaires

Elles se situent au niveau de la partie terminale des canaux déférents. Elles sont observées chez les rongeurs, les ruminants et les carnivores. Leur rôle est proche des vésicules séminales. Elles sécrètent des sécrétions complémentaires aux vésicules séminales. Ces glandes sont situées sur le sinus-urogénital, au niveau du sinus et du spermiducte.

#### Glandes prostatiques

Elles sont situées sur le sinus uro-génital. Elles sont communes à l’urine et au sperme. Elles représentent 30 à 50 glandes différentes et ont une structure variable selon l’espèce :

* Chez l’homme, la prostate est une glande très individualisée.
* Chez d’autres espèces ce sont des glandes beaucoup + diffuses. (**Bouc, bélier**)

La prostate a un pH basique (7-8) et une **concentration importante** de Zinc (pour maintenir l’état condensé des noyaux), et qui a aussi un effet bactéricide. Il y a la présence d’une protéine enzymatique : la transglutaminase. Cette protéine enzymatique permet la gélification de l’éjaculat.

#### Glandes de Couper

Elles sont de taille relativement faible mais elles sont développées chez les verrats. Elles sont responsables de la sécrétion de la mucoprotéine qui entraine la gélification de l’éjaculat.

#### Glandes de Littré

Elles sont disséminées tout le long de l’urètre pénien. Elles sont sécrétées au moment de l’éjaculation. Elles sont présentes **chez la majorité des espèces.**

#### Glandes cutanées

Ce sont des glandes sébacées prépusiales situées au niveau du prépuce. Elles ont des rôles multiples, entre autre, un rôle au niveau de la communication. Les glandes sébacées secrètent un sébum qui va véhiculer les phéromones.

# L’appareil génital femelle et ses fonctions

Il existe une **très grande diversité** en fonction de l’espèce. L’organisation et la structure de l’ovaire ainsi que le mode de gestation sont différents. Le seul point commun est la **production de gamètes**.

## **L’ovaire**

### Formation et structure

#### Structure

L’ovaire contient 2 compartiments :

* Compartiment germinal : non vascularisé, composé d’un cortex, de follicules et d’ovocytes.
* Compartiment interstitiel : vascularisé, dans lequel on trouve des cellules contractiles de soutien et des stéroïdiennes

#### Formation

La mise en place des structures ovariennes se fait à partir du blastème embryonnaire.   
L’ovaire va avoir 2 structures selon les espèces :

- creux (**amphibiens, poissons osseux, reptiles, oiseaux**). Il y a la libération à l’extérieur de l’ovaire.

* plein (**mammifères**). Il y a la libération à l’intérieur de la cavité ovarienne.

Dans les deux cas, la vascularisation est **importante**. Il y a toujours une artère qui pénètre dans l’ovaire avec des ramifications importantes. L’ovaire est une glande endocrine qui sécrète de l’œstradiol et de la progestérone. Elle a une action au niveau de l’ovaire, de l’utérus, du corps jaune et dans le reste du corps. De +, l’ovaire est constamment en reconstitution (renouvellement constant des tissus du système circulatoire).

### Fonction ovarienne

#### 3.1.2.1) Production de cellules reproductrices = patrimoine héréditaire

**L’ovogénèse**

Il y a 3 grandes étapes **pour former un ovocyte**. Après la division ovarienne, les PGC migrent au niveau des blastomères. Il y a 2 évolutions possibles 🡪 **amniotes** ou **anamniotes**.

* **Prolifération** (multiplication) **des ovogonies**

Juste après la différenciation ovarienne, les PGC se multiplient.

Chez les amniotes (oiseaux et mammifères), la multiplication des ovogonies est sous contrôle hormonal jusqu’au moment où elles s’arrêtent pour rentrer en méiose. Elles sont bloquées en première division de méiose. On a donc un stock définitif d’ovocytes bloqués en méiose.

Chez les anamniotes, on a des ovogonies souches présentes pendant toute la vie de la femelle, elles se multiplient donc régulièrement, à la condition d’un environnement favorable. On trouve tous les stades de développement de l’ovocyte. Les femelles sont **capables de pondre** **une grande quantité** **d’œufs** dans leur vie : il y a donc beaucoup d’ovulations (plusieurs millions contre quelques centaines pour les amniotes).

* **Prophase de méiose et formation des ovocytes**

Chez les amniotes, l’entrée en méiose se fait **de façon** désynchronisée. A partir du stock d’ovocytes, quelques ovocytes se développent : **le stock s’épuise** au fur et à mesure. Le moment de la méiose est variable selon les espèces : **chez la femme et la vache**, tous les ovocytes sont formés avant la naissance. La méiose se poursuit après la mise-bas (**porc**), après l’éclosion (**poule**).   
**+** **la femelle** **vieillit**, **+** **son stock** **s’épuise**.

**Chez les femmes**, le **développement maximal** du nombre d’ovocytes est **à 5-6 mois** de grossesse (7millions). **A la puberté** il n’y en a **que 300 000 seulement**.

Une fois que le stock est épuisé, on a la ménopause.

Chez les anamniotes, il n’y a donc pas de ménopause. La **méiose** débute forcément après l’éclosion (plusieurs semaines à plusieurs années selon les espèces). Elle est dite synchrone : tout le stock d’ovogonies se transforme en ovocytes. Les individus sont capables de pondre une grande quantité d’œufs.

* **Croissance de l’ovocyte**

Autour de l’ovocyte, une enveloppe protectrice se met en place (zone pellucide chez les **mammifères**, membrane vitelline **chez les oiseaux** et les reptiles, chorion **chez les poissons**). Cette enveloppe est constituée uniquement de glycoprotéines. Elle est perméable, et assure les échanges.

La transcription des transcrits maternels = ARNm, est **importante**.   
Ils jouent un rôle fondamental au moment de la fécondation :

* Ils assurent les 1ers stades de développement.
* Ils permettent **l’accumulation** des réserves.
* L’ADN mitochondrial est le seul vecteur de transmission exclusivement fait par la voie femelle, il n’y a **pas** **d’ADN mitochondrial** **provenant du père**.

**La folliculogénèse**

Elle correspond à l’accumulation des lipides. On parle de grappe ovarienne. Il y a libération de l’ovocyte à l’intérieur de l’ovaire. Elle dure **plusieurs semaines** (environ un mois chez le rat, 3 mois chez la femme).

* **Follicules primordiaux**

Au stade diplotène, les ovocytes s’isolent et s’entourent de 3 ou 4 cellules folliculaires. Ces cellules ont un rôle trophique. Elles assurent le développement et la croissance de l’ovocyte.

*Remarque : les ovocytes qui ne sont pas fécondés (non entourés) dégénèrent. Chez les amniotes, les follicules primordiaux évoluent peu.*

* **Croissance folliculaire**

Les follicules primordiaux évoluent en follicules primaires puis en follicules secondaires, puis tertiaires ou à antrum.

Chez les œufs alécithes(pas de réserve vitelline), la croissance du follicule est liée à une multiplication des cellules folliculaires. Le **follicule primaire** possède une couronne de cellules.   
Le **follicule secondaire** en possède deux. A la phase du **follicule tertiaire**, en même temps que le follicule grossit, l’ovocyte grossit aussi. Les cellules folliculaires se différencient en cellules de la granulosa. On distingue 2 couches de cellules :

* La thèque interne ayant un rôle stéroïdogène
* La thèque externe ayant un rôle contractile

Chez les œufs télolécithes**,** les cellules de la granulosa qui entourent l’ovocyte se multiplient peu. La croissance du follicule est donc seulement liée à l’augmentation de la taille de l’ovocyte. De + les cellules folliculaires continuent d’accumuler du vitellus. Les cellules de la thèque interne ont un rôle stéroïdogène : elles sécrètent des hormones.

Rappel : 1 ovocyte = 1 cellule unique

**La vitellogénèse**

Elle provoque l’accumulation du vitellus dans l’œuf. C’est la phase de maturation. La vitellogénèse se met en place : toute une série de jaune d’œuf se met en croissance à la surface du pédoncule ovarien. Elle dure environ 15 jours.

**L’atrésie**

Atrésie folliculaire 🡺 disparition sans ovulation de l’ensemble ovocyte-follicule = sans libération d’un ovocyte mûr et fécondable. Toutes les espèces sont concernées mais l’importance de l’atrésie n’est pas la même. L’atrésie sert à contrôler le nombre de follicules capables d’ovuler. L’atrésie correspond à la **capacité de** régulation de l’ovulation.

* Chez les amniotes, 80 à 99% des follicules primordiaux dégénèrent. La capacité d’ovulation après la puberté est faible, seulement 300 à 400 follicules sont possibles.
* Chez les poissons et les amphibiens, l’atrésie n’est pas un phénomène aussi important que chez les amniotes dans les conditions environnementales optimales. Seulement 30% des follicules dégénèrent. Il faut qu’il y ait une grande quantité d’œufs ovulés en même temps. Il faut une vitellogénèse synchrone pour tous les follicules.
* Chez les mammifères, tant qu’il y a de la progestérone, il n’y a pas d’ovulation. Le taux d’ovulation est fonction du recrutement d’ovocytes, du taux de sélection et du taux d’atrésie.
* Chez les oiseaux, il existe deux systèmes :
  + L’atrésie régulière de tous les follicules ayant un diamètre compris entre 2 et 8mm
  + La phase finale de la croissance : on ne parle plus d’atrésie mais de hiérarchisation. Elle définit un ordre d’ovulation. On a à chaque fois une cohorte de follicules recrutés, sur laquelle il y a une phase d’atrésie et une hiérarchisation.

🡺 3 phases : recrutement, atrésie, hiérarchie

#### 3.1.2.3) Régulation endocrine de la croissance folliculaire

Ce sont toujours des hormones gonadotropes qui jouent un rôle important chez tous les vertébrés. Elles ont un contrôle absolu : elles permettent la formation de l’antrum (**mammifères**) et le début de la vitellogénèse (**poissons**).

###### Amniotes : FSH, LH Poissons : GTH1, GTH2

Elles permettent la croissance folliculaire, la stéroïdogénèse et l’ovulation finale. Ces hormones ont besoin de récepteurs pour agir, ils sont situés sur la thèque interne (LH) et la granulosa (FSH). Elles permettent la maturation des follicules et l’ovulation.

Chez les oiseaux, les récepteurs à FSH et à LH apparaissent sur les cellules de la granulosa et de la thèque interne, ce qui assure la fin de la maturation de l’ovocyte. Chez les oiseaux, l’œstradiol est sécrété par les cellules de la granulosa et va stimuler la synthèse la vitellogénine qui va venir remplir l’ovocyte.

Chez les mammifères, l’œstradiol (hormone stéroïdienne) est sécrété par les cellules de la granulosa (récepteurs FSH). Il joue un rôle fondamental au niveau de la croissance folliculaire. Dès qu’il y a la formation de l’antrum, il y a l’apparition de récepteurs à LH sur la thèque interne. Il va y avoir un niveau de progestérone très faible.

Chez les poissons, il y a des récepteurs à GTH1 dans les cellules de la granulosa et des récepteurs à GTH2 dans la thèque interne.

Des hormones peptidiques et stéroïdiennes sont sécrétées par les ovaires. Les hormones peptidiques sont des facteurs de croissance qui ont un rôle au niveau de la régulation paracrine ou autocrine. Ils sont sécrétés par la thèque interne (IGH, TGH). Ils vont avoir pour rôle la multiplication des cellules folliculaires et la régulation des cellules de la granulosa et de la thèque interne. La régulation est autocrine et paracrine.

**Voir poly**

#### 3.1.2.4) Maturation finale et ovulation

**Reprise de la méiose**

Avant l’ovulation, il faut que l’ovocyte devienne compétent : c’est-à-dire lorsqu’il ait atteint 80% de ses réserves finales. Il y a donc reprise de la méiose (qui a été bloquée au stade prophase de méiose) puis expulsion du 1er globule polaire lorsque l’ovocyte sera fécondé. Il y a ensuite expulsion du 2ème globule polaire en fin d’ovogénèse. L’ovocyte va continuer d’accumuler des réserves et il est dit compétent quand il atteint 80% de sa taille final, il est donc apte à reprendre sa méiose. Ce sont les cellules de la granulosa qui assurent le transfert des réserves. Ce sont les cellules de la granulosa qui sont responsables de la compétence de l’ovocyte. Après fécondation, on obtient un zygote.

**Ovulation**

Ceci correspond à une rupture brutale du follicule mûr qui libère l’ovocyte dans la cavité abdominale ou ovarienne. Elle est provoquée par une augmentation brutale des hormones gonadotropes.

Chez les mammifères, le pic de LH (entrainé par des pulses de GNRH) est provoqué par une augmentation de la concentration d’œstradiol dans le sérum ce qui engendre l’ovulation. On parle de décharge ovulante

Le **délai décharge/ovulation** (**délai pic/ovulation**) **varie** **selon les espèces** (**36h** pour la femme). Il est important à connaitre pour **l'IA**

**Femme** : **36h/40h**

**Vache, brebis** : **24h/36h**

**Lapine** : **12h** (ovulation induite 🡪 **l’accouplement** déclenche la décharge ovulante et l’ovulation)

**Poule, poissons** : **4h** attention : ovulation ≠ ponte

Chez les autres vertébrés, c’est l’augmentation de la concentration de progestérone qui provoque le pic de LH ou de certains métabolites qui vont stimuler l’hypothalamus qui va répondre de la même façon et une stimulation de l’hypophyse par une décharge ovulante

2 types de changements chez les mammifères :

* **Histologique :**

La rupture du follicule dominant engendre un amincissement du collagène au niveau de la thèque externe, au niveau de son apex. A l’intérieur du follicule, les cellules de la granulosa qui entourent l’ovocyte deviennent + compactes. Il y a une perte de jonctions. L’ovocyte devient libre dans l’antrum. Il y a donc une dissociation des cellules de la granulosa

* **Physiologique**

Il y a l’apparition de facteurs hyperémients sécrétés pendant l’ovulation🡪 ils provoquent l’afflux sanguin dans le follicule ovulatoire, il y a donc un gonflement de la cavité folliculaire. Il y a **l’augmentation** de la perméabilité des vaisseaux 🡪 dilatation des capillaires ce qui augmente la vascularisation et donc risques d’hémorragies. Il y a sécrétion de collagénase 🡪 agit sur apex du follicule pour amincir les parois (dissociation des fibres de collagène)🡺 permet l’ovulation. La **décharge de** prostaglandines est **quelques heures** **avant** l’ovulation 🡪 contraction des muscles lisses 🡺 éclatement = expulsion de l’ovocyte

**Voir poly 1p.5 et 4.24 page 6**

Chez les mammifères, il y a **quelques** grains de granulosa qui entourent l’ovocyte

Chez certains vertébrés (volailles poissons crapauds), les **ovocytes** sont ovulés nus. Il n’y a pas de cellules qui les entourent. Il semblerait qu’il s’agisse des mêmes mécanismes.

#### 3.1.2.5) Le corps jaune

Le corps jaune est une formation temporaire, à l'intérieur de l'ovaire, qui résulte de la transformation du follicule de Graaf. Il sécrète de la progestérone qui est contrôlé par la LH  
La durée de vie du corps jaune va être liée au mode de reproduction

L’activité stéroïdogène des cellules folliculaires ne cesse pas avec l’ovulation. Après l’ovulation, ce sont les cellules de la granulosa qui constituent une glande endocrine + ou – éphémère= corps jaune

Rôle : sécrétion progestérone pour maintenir la muqueuse utérine destinée à accueillir l'embryon lors de la nidation

Sécrétion ocytocine qui est une hormone peptidique

Chez les vivipares 🡺 **favoriser l'instauration d'une gestation**   
Le corps jaune est la glande endocrine indispensable à l’établissement et au déroulement de la gestation. Le corps jaune est **actif quelques semaines** chez les rongeurs, **quelques mois** chez les ruminant et l’homme (plus de 2ans chez les éléphants). Les cellules vont s’hypertrophier et créer un corps jaune qui va sécréter une grande quantité de progestérone durant tout le cycle, jusqu’à l’instauration d’une gestation. Il y a un rétrocontrôle négatif au niveau du complexe hypothalamus-hypophysaire. Le corps jaune synthétise aussi de l’ocytocine.

Chez les ovipares, il n’y a pas de corps jaune mais un pseudo corps jaune. Des cellules folliculaires vont sécréter un peu de progestérone, mais cela va disparaitre au bout d’une journée environ. C’est l’oviposition et l’instauration d’un comportement maternel (= couvaison).

Chez les mammifères, le corps jaune **régresse après 2 semaines**. La lutéolyse est provoquée par la prostaglandine. S’il y a fécondation d’un embryon, cela permet de maintenir le corps jaune. Il est actif pendant toute la gestation et disparaît au moment de la mise bas

* **Femelle non gestante** : sécrétion de prostaglandine. Le corps jaune sécrète de la progestérone. Tant qu’il y a de la progestérone il n’y a pas d’ovulation (rétrocontrôle négatif). En parallèle, il sécrète de l’ocytocine et la maturation des follicules qui sécrètent de l’œstradiol va stimuler les récepteurs à ocytocine. La progestérone va inhiber les récepteurs à ocytocine. La régulation est faite par le rapport œstradiol/progestérone. Le niveau d’œstradiol est plus élevé. Les récepteurs à ocytocine vont être stimulés. Il va donc y avoir synthèse de prostaglandine qui a une activité lutéolytique = suppression du corps jaune 🡪 diminution de progestérone et fin du rétrocontrôle négatif et un nouveau cycle recommence.
* **Femelle gestante** : Les trophoblastines ont une action directe sur le corps jaune. Il y a une augmentation de la progestérone. Il y a aussi une activité antilutéolytique. Pas de prostaglandine, pas de lyse du corps jaune. Les cellules trophoblastiques du blastomère sécrètent l'hormone hCG. Elle signale au corps jaune de continuer la sécrétion de progestérone, ce qui maintient la paroi épaisse de l'utérus fournissant de ce fait une zone riche en vaisseaux sanguins dans lequel le zygote peut se développer. La progestérone inhibe l’ocytocine. Tant que le corps jaune est maintenu, il n’y a pas de nouvelle ovulation.

Une fois que la gestation est instaurée, c’est le placenta qui va sécréter la progestérone. Le corps jaune **n’est pas toujours indispensable** **chez les mammifères** mais il va **durer pendant toute la durée** **de la gestation** **chez certaines espèces** (**vaches**, **brebis**, **femmes**). **Chez les poissons**, les **quantités** de **progestérone** **vont diminuer très rapidement**. **Parfois le corps jaune ovarien** **persiste après la mise-bas** (**marsupiaux, certains primates**)

## **Les voies génitales femelles**

### L’évolution des gonoductes

Chez les amniotes, les canaux de Wolf disparaissent complètement

Chez les anamniotes, les canaux de Wolf vont être intégrés au système rénal  
**L’oviducte** est issu des **canaux de Muller** **chez tous les vertébrées**, le terme oviducte désigne l’ensemble du tractus génital féminin.

Chez les mammifères, le terme oviducte désigne seulement la partie supérieure des voies génitales femelles = trompes de Fallope

###### Oviducte = ensemble des voies génitales femelles (sauf chez les mammifères où c’est le lieu de la fécondation)

#### Caractéristiques communes

* Le développement et la différenciation des canaux de Müller sont stimulés par l’œstradiol et la présence des récepteurs à œstradiol.
* Vascularisation très riche, très variable au niveau du cycle de reproduction des femelles xcvbn,;:!:et non gestante. Cela est surtout variable pour les espèces vivipares. La gestation oriente préférentiellement la vascularisation vers l’utérus.
* Innervation importante (ortho ou parasympathique)
* Ovulation : l’ovaire n’est jamais en contact direct avec les canaux de Müller. Les œufs sont toujours pondus, ovulés et récupérés dans une cavité : le pavillon ou infundibulum. La gonade est toujours physiquement séparée des gonoductes.

#### Spécificités

Les gonoductes vont être propres à chaque espèce.

- Poissons cartilagineux (chondrichtyens): Les 2 canaux de Müller fusionnent au niveau du pavillon sous forme d’ostium : récupération des ovocytes. L’ostium va déboucher sur une paire de trompes qui auront pour rôle de sécréter de l’albumen et la coque de l’œuf. Cette paire de trompes va déboucher dans un utérus sécréteur qui va sécréter le lait utérin.

**Voir poly 4.27 page 6**

- Amphibiens : Les 2 canaux de Müller sont très longs (10 fois la longueur de la grenouille adulte). Ils sont divisés en 2 parties : oviducte long = sécrétion de gangue muqueuse qui se dépose au niveau de l’oviducte et un ovisac (utérus) = stock œufs. La substance muqueuse de la partie caudale permet d’agréger les œufs entre eux au moment de l’expulsion.

- Oiseaux : Un seul canal de Muller se développe : le gauche. L’oviducte droit est une structure vestigiale. Il y a la mise en place de trois parties : le pavillon ou infundibulum qui aura pour rôle de récupérer le jaune d’œuf au moment de l’ovulation, le magnum qui est un tissu glandulaire qui sécrète les grains d’albumine (blanc d’œuf). En dessous du magnum, on trouve l’isthme : paroi mince. Un petit utérus permet le dépôt de la coquille : calcification. Un court vagin débouche dans le cloaque

**Voir poly**

- Mammifères**:** Les œufs sont alécithes. Les canaux de Müller se féminisent et se partitionnent en 3 parties :

* La trompe ou l’oviducte, à la partie apicale. Avec à l’intérieur un pavillon (récupère les ovocytes) avec épithélium cillé, en dessous on trouve l’ampoule (lieu de fécondation), puis l’isthme qui est le lieu de la capacitation des spermatozoïdes. C’est le lieu de la fécondation.

Puis il y a la jonction utéro-tubère

* Utérus + ou - fusionné, lieu de gestation. L’endomètre est le lieu de l’implantation. Puis à l’intérieur il y a une zone plus musculeuse, le myomètre. Puis la muqueuse utérine. L’utérus est fermé par le cervix. Il est fermé et étanche tout le temps sauf à 2 moments, pendant les chaleurs pour le passage des spermatozoïdes et l’accouchement.
* Le vagin. Lieu de passage qui permet la remonté des spermatozoïdes, l’introduction du pénis.

**Chez les marsupiaux**, on a **2** **vagins, 2** **utérus** et **2** **cervixs**.   
**Chez les euthériens**, on a **un seul** **vagin** et des **cornes utérines + ou - fusionnées**, **+** **l’évolution sera avancée**, **+** les **cornes utérines seront** **fusionnées**

###### Utérus de type duplex 🡺 1 vagin, 2 utérus, 2 cervixs et 2 oviductes (équins)

###### Utérus biparti 🡺 1 vagin, 2 cornes utérines, 1 cervix, il n’y a aucun échange d’implantation (porc)

###### Utérus bicorne 🡺 1 vagin, 1 cervix, 1 utérus commun et 2 cornes (ovins, bovins, caprins)

###### Utérus simplex 🡺 1 seul vagin, pas de cornes utérines, 1 seul cervix, 2 oviductes. Les 2 canaux de Müller ont fusionné entre eux (femmes)

Dans les quatre cas, **les mammifères** sont dits euthériens. On s’aperçoit qu’il y a une fusion progressive des gonoductes.

### Rôle et fonction des voies génitales

C’est essentiellement un rôle de transport des gamètes mâles et femelles.

#### Transport des gamètes femelle

La fonction va être différente selon les espèces.

**Chez les** mammifères, juste après l’ovulation l’œuf est capté par le pavillon.

Le transport va être fait dans la trompe après la récupération de l’ovocyte dans le pavillon. Des battements ciliaires vont faire progresser l’ovocyte. Il y aussi des contractions péristaltiques (vers l’utérus) et antipéristaltiques (vers l’ovaire) au niveau de l’utérus. Cela permet un contrôle très fin **de la progression** **de l’ovocyte**. Il y **a 2 types de progressions**

**2 types de progressions**

* Continue ou linéaire : espèces prolifiques (pluritoques)🡪 **Progression très** rapide jusqu’à l’ampoule puis bonds successifs de l’ovocyte jusqu’à l’utérus
* Discontinue ou par bonds*:* espèces qui ont peu d’ovocytes (monotoques) 🡪 Progression jusqu’à la jonction entre l’ampoule et l’isthme, puis **l’œuf** **s’**arrête entre les  2, au lieu de la fécondation. Il est fécondé, et commence à se développer jusqu’au stade morula. Puis il migre jusqu’à l’utérus

Le transport est adapté et est fonction de la fécondité de l’espèce. Au cours du transit, les œufs alécithes vont trouver des réserves trophiques. Ils vont pouvoir **absorber des** nutriments issus des sécrétions tubaires qui sont issues d’une transsudation du plasma. Il y aussi le dépôt d’un manteau muqueux acellulaire qui joue un rôle de protection (**lapin, cheval**) et qui va disparaître au moment de l’implantation. C’est un phénomène qui se dépose tout au long du transit au niveau de la trompe

Deux systèmes au niveau de l’utérus

- Chez les espèces mono-ovulantes, un seul embryon passe et s’implante au niveau de la corne utérine. Il va toujours être situé dans le tiers supérieur.

- Chez les espèces poly-ovulantes*,* il y a des contractions. Les différents embryons vont se répartir de façon régulière le long de la paroi grâce aux ondes anti et péristaltiques. Les morulas vont se répartir de façon équidistante dans la corne. L’œstradiol stimule les ondes péristaltiques. La progestérone stimule les ondes antipéristaltiques. L’équilibre de ces hormones permet la régulation de l’implantation.

Chez les oiseaux, dans l’infundibulum, il y ades cils dont les battements ciliaires permettent la progression du jaune d’œuf. La régulation n’est pas faite pas les hormones. C’est plutôt un système d’ondes péristaltiques. A la base de l’infundibulum il y a les glandes infundibulaires et les spermatozoïdes. En-dessous de l’infundibulum il y a le magnum où la membrane vitelline va s’entourer d’albumen. Au niveau de la paroi du magnum il va y avoir la sécrétion de grains d’albumine (blanc d’œuf). Au fur et à mesure de la progression de l’œuf, les grains contenant des protéines vont enrichir le blanc d’œuf. A la sortie du magnum il n’y a que 50% du blanc d’œuf qui est déposé. Après le magnum, l’ovocyte passe dans l’isthme où le blanc d’œuf va être entouré d’une membrane coquillière. L’œuf va tourner sur lui-même, il y aura un dépôt par circonvolution des fibres pour constituer la membrane finale. Ensuite dans l’utérus, l’œuf va séjourner pendant 20h. Il y a une hydratation finale de l’albumen puis il y a la calcification de la coquille qui correspond à un dépôt de CaCO3, synthétisé dans un lait utérin, autour des membranes coquillières. Le dépôt de CaCO3 est contrôlé par les parathormones entre autres. La réserve essentielle de CaCO3 est dans les os. La formation de l’œuf se fait en 26h.

Chez les amphibiens, il y a un dépôt d’une gangue muqueuse autour de l’ovocyte. Cette gangue muqueuse a un rôle de protection physique (surtout dans le milieu extérieur) et la création d’un microenvironnement favorable à la fécondation par les spermatozoïdes du mâle. On est dans le cas d’une fécondation externe. Les ovocytes expulsés doivent être fécondés dans les secondes qui suivent (jusqu’à 15min chez certaines espèces).

#### Transport des gamètes males

Quand le mâle dépose le sperme au fond du cloaque ou du vagin, les spermatozoïdes doivent remonter toutes les voies génitales femelles (70 cm chez la brebis, 5 - 6 mètres chez la tortue). Les spermatozoïdes ne peuvent pas effectuer ce trajet par leurs propres moyens.

Chez les mammifères, le temps de transport des spermatozoïdes du vagin jusqu’à l’ampoule prend entre 3 et 8h. Au cours de cette remontée, il y a sélection des spermatozoïdes.

- Au fond du vagin, il y a **plusieurs millions** **de spermatozoïdes**. La plupart d’entre eux **meurent** au fond du vagin.

- **Plusieurs centaines de milliers** **remontent dans l’utérus** mais seulement **quelques milliers** vont **atteindre l’oviducte**.

Quand les spermatozoïdes arrivent au niveau de l’isthme, ils s’immobilisent et sont capacités = disparition système protection. Il va y avoir des relargages réguliers des spermatozoïdes dans l’ampoule où ils vont retrouver une certaine mobilité. La monté des spermatozoïdes est assurée par les contractions.

Chez les oiseaux et les reptiles**, i**l y a 2 réservoirs où vont s‘accumuler les spermatozoïdes fécondants.

- Laglande utéro-vaginale, située entre l’utérus et le vagin. C’est le lieu de stockage principal des spermatozoïdes après l’accouplement. Ils sont stockés à un stade immobile et **conservés** de **plusieurs jours à quelques semaines** selon les espèces. Les spermatozoïdes remontent dans les glandes infundibulaires quand les voies sont libres.

-Lesglandes infundibulaires sont situées au niveau de l’infundibulum. Après le passage de l’œuf, il y a la distension des parois de l’oviducte, les spermatozoïdes ne peuvent pas passer.

Chez les poules pondeuses, il y aura toujours un œuf dans l’oviducte. Par rapport à l’oviposition, avant 5h il n’y a pas de fécondation donc pas d’insémination artificielle car pas de remontée des spermatozoïdes. Après 5h, il y a un relâchement trop important après le passage de l’œuf. L’oviducte de la poule n’a pas assez de tonicité pour la remontée des spermatozoïdes. Il peut cependant y avoir accouplement car il y aura stockage des spermatozoïdes dans les glandes utéro-vaginales.

Le rôle de l’ovaire est la production des gamètes femelles. Il a aussi une fonction très variable des voies génitales. Il y a une très grande spécificité propre à chaque espèce mais il y a toujours le transport des gamètes.

# Fécondation et développement embryonnaire

## **Fécondation**

**Chez tous les vertébrés**, la fécondation est une étape indispensable pour assurer la pérennité de l’espèce. La fécondation permet l’expression des génomes maternel et paternel. Chaque individu est unique et on peut donc faire une sélection. Il existe d’autres modes de reproduction. Les animaux peuvent se reproduire par :

* Gynogenèse : fécondation entre un œuf et un spermatozoïde mais le patrimoine génétique du mâle n’est pas intégré dans le noyau du nouvel œuf. Le spermatozoïde va provoquer l’expulsion du premier globule polaire.
* Parthénogénèse : un spermatozoïde n’est pas indispensable au développement de l’ovocyte. Il n’y a pas de fécondation.

###### Clonage

La fécondation est la principale méthode de reproduction. Elle a toujours lieu dans un milieu liquide. Chez les espèces à fécondation externe, elle est toujours faite dans l’eau. Chez les espèces à fécondation interne, elle se fait toujours **dans** l’oviducte.

**Chez tous les vertébrés**, les évènements de fécondation sont toujours les mêmes :

###### Reconnaissance spécifique des spermatozoïdes

###### Activation de l’œuf

###### Fusion

###### Décondensation des noyaux pour former deux pronucléi

###### Réplication de l’ADN et première division de segmentation

Le spermatozoïde va participer à la **constitution du génome** du zygote.

### Reconnaissance spécifique des gamètes et fusion

Il faut une reconnaissance spécifique. Cela permet essentiellement la protection de l’espèce. Il y a plusieurs niveaux de protection :

* 1er niveau : reconnaissance visuelle (critère anatomique) et olfactive entre les deux partenaires sexuels. Chez les mammifères, cette reconnaissance est évidente. Chez les poissons, dans un milieu aqueux, certaines espèces différentes essaient de s’accoupler.
* 2ème niveau : barrière moléculaire. Sur chaque zone pellucide, il y a des protéines spécifiques reconnues par les spermatozoïdes.
* Parfois il y aussi un 3ème niveau. C’est une barrière active. L’ovocyte va émettre des substances attractives pour les spermatozoïdes de la même espèce (poissons à fécondation externe).

Chez les mammifères, dans la zone pellucide il y a 3 glycoprotéines spécifiques de l’embryon. Sur l’une d’elle il y a une chaine oligosaccharidique spécifique et en face, sur la membrane plasmique du spermatozoïde il y a des récepteurs spécifiques à cette protéine. Au moment de la reconnaissance, les spermatozoïdes vont venir se coller spécifiquement sur la chaine oligosaccharidique.

Chez les oiseaux, à la surface de la membrane vitelline il y a le cytoplasme. Les spermatozoïdes vont venir se fixer directement sur l’apex de l’œuf car c’est là que se trouvent les acides nucléiques.

Chez les poissons, il n’y a pas d’acrosome sur le spermatozoïde. L’ovocyte va être percé avec des micropyles. Le spermatozoïde va rentrer à l’intérieur des « entonnoirs » du chorion de l’ovocyte. Des protéines vont attirer les spermatozoïdes jusqu’à la membrane plasmique.

**Voir poly**

Quand on parle de reconnaissance spécifique, chez les mammifères et les oiseaux il y a une fixation spécifique du spermatozoïde. Chez les poissons il n’y a pas de mécanisme spécifique mais il y a des substances attractives, les spermatozoïdes vont être guidés jusqu’au point d’impact.

#### Capacitation des spermatozoïdes

Ce phénomène est propre aux mammifères. Lorsque les spermatozoïdes sont émis, ils ne sont pas immédiatement fécondants. Ils doivent être capacités. Il faut qu’ils subissent des changements au niveau des membranes plasmiques autour de l’acrosome :

###### Protéines de protection éliminées

* Nature lipidique des membranes plasmiques (rapport cholestérol/phospholipides modifié). La membrane plasmique est plus souple.
* Transformation de certaines protéines de membrane qui vont devenir aptes à se fixer sur la zone pellucide. Les anticorps sont activés.

**Remarque***: Plus le transfert des spermatozoïdes dans l’épididyme est long, plus la capacitation va être longue (chez les hommes capacitation = 2h, ruminants capacitation = 6h ou +).*

La capacitation correspond à l’enlèvement d’un système de protection qui était nécessaire pour permettre la survie des spermatozoïdes dans les voies génitales mâles et femelles. La capacitation finale se finie dans l’isthme.

#### Réaction acrosomique

Chez les mammifères, quand on parle de réaction acrosomique, cela correspond à la rupture de l’acrosome.

Chez tous les vertébrés sauf les poissons, c’est la reconnaissance spécifique et la membrane de l’ovocyte qui vont provoquer la réaction d’exocytose. Il va y avoir une dissociation des membranes protectrices. Le spermatozoïde va utiliser la membrane acrosomique interne pour se fixer sur la ZP3 **chez les** mammifères. Dès qu’il y a fixation, il y a rupture de la membrane plasmique et de la membrane acrosomique externe. A la suite de cette rupture, il y a libération du contenu acrosomique qui attaque la zone pellucide et notamment la ZP1. Les ZP1 vont avoir des liaisons entre elles qui vont se ramollir car dès qu’il y a rupture de l’acrosome, les anticorps de la membrane acrosomique interne ont des liens très forts avec la ZP2. Il y a libération des enzymes de l’acrosome. Elles vont permettre au spermatozoïde de rentrer dans l’ovocyte et d’aller au contact de la membrane plasmique.

**Voir poly**

Chez les oiseaux, il y a la membrane vitelline et des œufs télolécithes. C’est la reconnaissance des spermatozoïdes avec cette membrane vitelline qui va entrainer la pénétration directe du spermatozoïde. Il n’y a pas de système à deux étages.

#### Fusion

Après le passage de la membrane de protection de l’ovocyte, le spermatozoïde arrive au contact de la membrane plasmique de l’ovocyte. Il va y avoir fixation de l’acrosome sur la membrane plasmique, ce qui va entrainer la fusion de gamètes.

* Le spermatozoïde va se coucher sur la membrane plasmique qui va phagocyter le spermatozoïde à partir de la région post-acrosomique. Le noyau du spermatozoïde va se retrouver à l’intérieur de l’ovocyte = chez les mammifères.
* Chez tous les autres vertébrés, il va y avoir une pénétration virale avec la tête du spermatozoïde qui perce la membrane plasmique.

### Reconnaissance de l’œuf suite à la fusion avec le spermatozoïde

#### Réponse corticale et activation de l’ovocyte

La fusion des gamètes va induire plusieurs changements au niveau de l’ovocyte, ce sera des changements cytomorphologiques = activation de l’œuf qui va avoir une réaction corticale et qui va émettre son deuxième globule polaire. L’ovogénèse se termine au moment de la fécondation.

Chez les espèces à fécondation monospermique (un seul spermatozoïde rentre dans l’ovocyte) (🡪 poissons, anoures, mammifères), la réaction corticale consiste à l’émission de granules corticales qui vont être expulsées au niveau de la pénétration du spermatozoïde.

**Chez les** mammifères, leur rôle sera de modifier l’enveloppe de l’œuf pour éviter la pénétration d’autres spermatozoïdes.   
**Chez les** poissons, il n’y a pas de zone pellucide. Les granules corticales vont être expulsées au niveau du micropyle et vont le boucher. Aucun spermatozoïde supplémentaire ne peut pénétrer l’ovocyte.

Chez les espèces à fécondation polyspermique (🡪 urodèles, certains poissons, oiseaux), il n’y a pas de grains corticaux expulsés. Il y a un autre système au niveau de la réponse corticale qui va limiter le nombre de spermatozoïdes qui vont pénétrer l’ovocyte. On parle de spermatozoïde surnuméraire. Plusieurs spermatozoïdes vont rentrer mais un seul formera le zygote.

Quand il y a fécondation, le calcium intra-cytoplasmique **va augmenter**. Le pH **va augmenter**. Il y a **une augmentation** des ARNm. Il y aura des changements métaboliques internes à l’ovocyte ou à l’œuf.

#### Formation des pronucléi

Dès la première minute après la fusion, l’enveloppe qui entoure le noyau du spermatozoïde disparait. Il va y avoir une disparition de l’enveloppe nucléaire du spermatozoïde. Il y aura donc une décondensation du noyau et il va s’entourer d’une nouvelle enveloppe que l’on appelle le pronucléus mâle. Les protamines (protéines très stables) vont se retransformer en histones. Il va y avoir une rupture des ponts disulfures qui vont permettre de décondenser la chromatine mâle. En même temps, il y a l’expulsion du deuxième globule polaire femelle. Les chromosomes se décondensent aussi chez la femelle et il y a la formation du pronucléus femelle. On obtient deux pronucléi.

Il y a le centrosome qui a pénétrer en même temps que le spermatozoïde. Son rôle va être d’organiser un système de ramification. Il y avoir des microtubules qui vont se ramifier et qui vont favoriser le rapprochement des deux pronucléi**des**. Cet ensemble constitue le spermastère. Le faisceau de microtubules est transitoire.

Les deux pronucléides se rapprochent puis il y a la reprise du cycle cellulaire (G1, S G2, M).

* Phase G1 : rapprochement des deux pronucléides (quelques minutes à quelques heures selon les espèces)
* Phase S : synthèse d’ADN, les chromosomes se dupliquent de part et d’autre
* Phase G2 : apparition de nouveaux noyaux et cellules filles (quelques minutes à quelques heures)
* Phase M

La fécondation est le mode de reproduction **le + partagé** **chez les vertébrés**, mais il existe aussi la **parthénogénèse**, le **clonage**.

(Récupérer fin du cours sur clonage, parthénogénèse)

## **Conditions du développement embryonnaire**

Il existe 2 grandes stratégies **chez les vertébrés** :

* Limitation du nombre de fécondations

Le nombre de descendants possibles pour un couple est **limité à** quelques dizaines ou quelques centaines au cours de leur vie. (Une 20aine pour une brebis, 300aine poussins)

On a une diminution du nombre d’ovocytes à maturité (atrésie) et une diminution du nombre de spermatozoïdes qui vont atteindre le lieu de fécondation (déjà vu avant). Mortalité périnatale ou embryonnaire relativement faible. Il y a un échantillonnage très faible de gamètes qui vont participer à la fécondation. On a à faire avec des animaux qui vont s’occuper de leur descendance

* Destruction massive des produits de la fécondation aux stades embryonnaire, larvaire ou juvénile

Les poissons à fécondation externe sont capables de produire plusieurs milliers voire plusieurs millions d’œufs, mais il y a une grosse destruction au stade des œufs. Il n’y aura pas de régulation au niveau de la rencontre des gamètes. Les conditions d’environnement favorables ou non peuvent **empêcher le développement embryonnaire**. Les prédateurs affectent aussi la quantité d’œufs pondus. Il y aura une destruction massive des œufs, à tous les stades de développement.   
En élevage 🡺 on supprime les prédateurs et on maitrise les conditions d’environnement, donc on obtient un nombre beaucoup plus élevé de poissons

### Ovipares

Les conditions de développement embryonnaire sont surtout la température, l’oxygénation et l’hygrométrie

#### Les poissons

Le facteur principal est la température. La plupart des poissons vont abandonner leurs œufs dans l’eau. Certaines espèces sont sédentaires et font des pseudo-nids ou déposent leurs œufs dans une cavité naturelle. Ce sont les mâles qui ont le rôle protecteur des œufs. Chaque espèce va se voir attribuer un coefficient de journée = nombre de jours x température moyenne. Lorsqu’il est atteint, la larve se développe.

#### Les reptiles

La température et le degré d’hygrométrie sont les facteurs les + importants. La plupart déposent leurs œufs **dans des** pseudo-nids. Les **femelles** abandonnent la ponte. Les parents **ne s’occupent pas des œufs.** Pour une espèce, il peut y avoir une **variation de** +20 à +50% de l’incubation

#### Les oiseaux

Il y a 3 paramètres importants : la température, le degré d’hygrométrie constant et l’oxygénation. Tous les oiseaux s’occupent de leurs œufs au cours de la couvaison (par mâles et femelles) pour assurer les meilleures conditions. Toutes les durées d’incubation sont fixes/constantes. Les oiseaux vont fabriquer des nids  
Le contact des œufs du nid sur l’abdomen et la vision des œufs 🡺 un **comportement de couvaison** car il y a le développement d’une plaque d’incubation dans l’abdomen, sous le jabot. Cette plaque d’incubation est un œdème (accumulation de liquide) 🡪 + de circulation sanguine, donc + forte température, donc **échanges thermiques**

La prolactine caractérise la couvaison. Elle est corrélée négativement avec la FSH et la LH. Au cours de la couvaison, on diminue la quantité de LH, il n’y a donc pas d’ovulation et pas d’œufs pondus. Le mâle a aussi de la prolactine, au même niveau que les femelles. La prolactine va avoir une durée variable selon les espèces :

* Poussins nidifuges qui quittent le nid dès l’éclosion. La prolactine va arrêter d’être sécrétée dès l’éclosion.
* Poussins nidicoles qui restent dans le nid pour leur croissance après l’éclosion. La prolactine va être sécrétée tant que les oisillons sont dans le nid pour assurer le comportement d’alimentation des petits. La sécrétion s’arrêtera quand les oisillons partiront du nid.

En élevage, on va jouer sur deux facteurs pour augmenter le nombre d’œufs produits. Il y a deux voies pour la production d’œufs, une voie génétique (on va donc sélectionner des poules pondeuses sans instinct de couvaison) et une voie environnementale (contrôler la température par la ventilation). Quand il y a une élévation de température dans un bâtiment, il y a une augmentation de la prolactine et donc le comportement de couvaison. On va essayer d’éviter le comportement de couvaison.

### Vivipares

La durée de gestation est une donnée physiologique fixe pour chaque espèce.

#### Chez les poissons vivipares, les reptiles et les amphibiens

Au cours de l’évolution, la viviparité chez ces espèces **apparait en même temps** **que la diminution** **des réserves vitellines** dans leurs œufs qui permettent d’assurer les premiers stades de développement de l’œuf mais ces réserves sont insuffisantes donc il va y avoir éclosion du pseudo-embryon qui va continuer son développement dans la cavité abdominale et il va se nourrir d’un lait utérin

#### Chez les mammifères

**Chez kangourous** on a une **poche**, une **larve** va être expulsée de la poche et va migrer, **fusion entre mamelle et larve** et donc le développement du bébé se fera **dans la poche à travers le lait maternel**

Les conditions du développement des fœtus sont liées à la possibilité de s’implanter dans les voies génitales femelles. Ceci est caractéristique des mammifères euthériens

* Implantation de l'embryon (pas mal d'échecs)  
  Chez femme saine (conditions optimales) 🡺 1 chance sur 4 d'avoir implantation du bastocyste épanoui, échange, hCG, interférons
* Placenta (épithéliochorial…), **grande surface d'échange**, avec **système de filtre**, **sécrète de grandes quantités** de **progestagène**, c’est aussi une glande endocrine
* Lactation : quel que soit l’état de développement, ils sont **toujours dépendants** **de leur mère**, par l’intermédiaire du lait. Tout est sous contrôle de la prolactine (donc hormone de couvaison ET lactation) **mature** ≈ capable de se nourrir tout seul

(Récupérer cours sur les mammifères)

### Diapause embryonnaire

La **diapause embryonnaire** est un arrêt + ou - complet au cours de l’embryogénèse, qui n’empêche pas la naissance d’un jeune normal. Il en existe deux types :

* Obligatoire: elle est **toujours observée**

**Mammifères** : Blaireau, bison, loutre. Le **blastocyste** a une **vie libre** **pendant plusieurs semaines à plusieurs mois** dans l’utérus. Dès que le facteur saisonnier est favorable, il y a implantation

* Facultative : **variable** **selon les espèces**. Quand les conditions d’environnement sont défavorables

(Récupérer cours sur diapause)

# Parturition (mise bas) et oviposition (ponte)

On a toujours **2 types d’expulsions** caractérisées par des contractions coordonnées musculaires de l'utérus

Les facteurs responsables :  
la prostaglandine   
**l’**ocytocine (et une hormone hypophysaire) pour les mammifères   
la vasotocine pour les autres vertébrés

## **Parturition**

### Contrôle des contractions

On parle aussi de motricité de l’utérus. Elle est liée aux hormones stéroïdiennes, la prostaglandine et l’ocytocine.

*-* Progestérone : **inhibition** de la **synthèse de prostaglandines** et **baisse** des **récepteurs à ocytocine** 🡪 pas de contraction donc pas d’expulsion

*-* L’œstradiol (**fin gestation, l'inverse**) : **stimule** les **récepteurs à l’ocytocine** et la **synthèse de prostaglandines** 🡪 contraction et donc expulsion

### Hormones responsables

(Récupérer cours hormones responsables)

#### Chez les mammifères

#### Reptile vivipare

**Baisse** **progestérone** **+ augmentation** **prostaglandine** **+** **augmentation** **vasotocyne** 🡪 **parturition**

#### Amphibien poisson vivipare

**Augmentation** **prostaglandine** 🡪 **parturition**

## **Oviposition**

(Récupérer cours oviposition)

**L’oviposition** ne concerne que les oiseaux, les poissons vivipares, les reptiles vivipares et les amphibiens

### Les reptiles

Il n’y a qu’une seule ponte par an, de deux à plusieurs milliers d’œufs.

**Oviposition** 🡪 **diminution** progestérone sécrétée par le corps jaune et **augmentation** des prostaglandines et de la vasotocine

### Les oiseaux

L’oviposition est étroitement liée à l’ovulation. L’ovulation a lieu **30min à 1h après l’oviposition**. Les contractions musculaires sont contrôlées par le système nerveux (ET NON hormonal). **L’**arc réflexe permet la contraction des fibres.

Au moment de l’oviposition, il faut une grosse contraction. Elle est liée aux hormones :

* Augmentation des prostaglandines 🡪 contraction des muscles qui provoque l’ovulation
* Augmentation vasotocine 🡪 contraction des muscles
* Augmentation galanine = neuro médiateur

## **L’éclosion**

Elle concerne tous les ovipares. C’est le jeune ou la larve qui joue un rôle actif pour sortir de sa coquille. Il y a deux méthodes :

### Basée sur la digestion enzymatique

C’est le cas des poissons et des amphibiens. Il y a la sécrétion d’une glycoprotéine qui dégrade le chorion. Le mécanisme est hormonal : c’est la larve qui sécrète des hormones pour relarguer les enzymes. Pour qu’il y est contrôle hormonal, il faut deux hormones :

* La prolactine qui stimule l’action des enzymes et donc l’éclosion
* T3 et T4 qui inhibent la sécrétion …..

### Basée sur une action mécanique

C’est le cas des oiseaux et des reptiles. C’est le jeune lui-même qui cause la rupture de la coquille. Sur le bec, il y a un diamant qui aide à percer la coquille. Le mouvement du poussin s’explique par le fait que les apports en O2 de l’allantoïde ne suffisent plus pour le développement **du poussin**.