Chapitre B2. La reproduction

version rédigée spécial blocus

2e partie : les mammifères

Introduction

I. La reproduction sexuée des embryophytes

II. La reproduction asexuée des angiospermes

III. La reproduction sexuée des mammifères

Les mammifères sont des animaux vivant en milieu aérien, et dont la fécondation est interne (dépôt des spermatozoïdes par le mâle et fécondation dans les voies génitales de la femelle).

1. Cycle diplophasique

Le **cycle de reproduction** a déjà été défini chez les plantes. Chez les mammifères, il y a aussi (bien sûr) une phase haploïde et une phase diploïde, mais la **phase diploïde** est réduite à son strict minimum : une seule cellule* (le gamète). Pour cette raison, le cycle est dit **diplophasique**. En d'autres termes :

- la méiose donne directement les gamètes (contrairement aux plantes)
- il n'y a donc pas de spores distincts des gamètes (contrairement aux plantes)
- et n'y a pas de phase pluricellulaire haploïde (contrairement aux plantes, avec le gamétophyte)

*une cellule pour le mâle, une cellule pour la femelle

Du point de vue des cycles de reproduction, la reproduction sexuée des mammifères est dont particulièrement simple.

2. Gamétogenèse sous contrôle hormonal

La **gamétogenèse** est le processus par lequel sont formés les gamètes. Elle a lieu dans les **ovaires** (femelle) et les **testicules** (mâle), qui sont des **organes reproducteurs** (nom générique : **gonade**). La gamétogenèse consiste à la fois en une **méiose**, et une **différenciation cellulaire** (qui permet l'acquisition des caractères fonctionnels de la cellule, à savoir sa capacité à participer à la fécondation).

a) Femelle

Dans l'ovaire, chaque ovocyte se développe et se différencie au sein d'un **follicule**. Il s'agit d'un tissu constitué :

- d'une **cellule germinale**, au centre (dont le nom change au fur et à mesure du processus : ovogonie (2n) → ovocyte I (méiose I) → ovocyte II (méiose II)).
- de **cellules folliculaires** qui entourent cette cellule (dont le nombre augmente au cours de la différenciation)

La méiose et le développement des follicules se fait en plusieurs étapes :

- développement embryonnaire (vie foetale) : début de méiose I. La cellule germinale est alors appelée **ovocyte I**. Jusqu'à la puberté, les follicules n'évoluent pas, et sont appelés **follicules primordiaux**.
- à partir de la puberté se met en place un **cycle hormonal** (qui peut être saisonnier, comme chez le cerf, ou indépendant des saisons, comme chez la vache ou la femme). On utilisera l'exemple de la femme pour les données chiffrées :
  - 1ère phase (~14 j) : forte concentration en **oestradiol** (phase folliculaire ou phase ovogenèse), une hormone produite par les cellules folliculaires
  - 2e phase (~14 j) : forte concentration en **progetérone** (phase lutéale ou phase corps jaune), une hormone produite par le corps jaune (voir plus bas)
- pendant la phase folliculaire, certains follicules primordiaux se développement, avec multiplication des cellules folliculaires, et reprise de la méiose de l'ovocyte I.
  - la cytodiérèse de la méiose I est très dissymétrique, et se termine par la formation de deux cellules de taille très différente : l'ovocyte II, et le 1er globule polaire (une toute petite cellule, qui dégénèse).

  - l'ovocyte II poursuit sa méiose, qui se bloque en **métaphase II**.
  - d'un point de vue folliculaire, le follicule grossit, et devient follicule primaire, puis secondaire (au moins deux couches de cellules folliculaires, puis cavitaire (apparition d'une cavité), et enfin cavitaire mûr (aussi appelé de De Graaf).
- A la fin de la phase folliculaire, l'ovocyte II est mature, et il y a ovulation, c'est-à-dire libération de l'**ovocyte II** dans les voies génitales femelles (trompes utérines). Quelques cellules folliculaires sont entrainées avec l'ovocyte, qui se trouve entourée d'une couche de cellules appelée ***corona radiata***. L'ovulation est provoquée par une très forte augmentation dans le sang de la concentration en LH (= *lutenizing hormone*, une hormone produite par l'hypophyse, une glande situées dans le cerveau).
- pendant la phase lutéale, les follicules qui ont perdu leur ovocyte se différencient en corps jaune, qui sont des structures productrices de progestérone.
- A la fin de la phase lutéale, les corps jaunes dégénèrent, et des follicules primordiaux reprennent leur développement (retour à la phase folliculaire).

Le gamète femelle fonctionnel est dont l'ovocyte, même s'il n'a pas terminé sa méiose. C'est une grosse cellule (de l'ordre de 100 µm de diamètre), qui ne contient pas de réserves (il est dont dit **alécithe**). Il est entouré d'une matrice extracellulaire épaisse, appelée **zone pellucide**, et de cellules de la *corona radiata*.

b) <u>Mâle</u>

Chez le mâle, la gamétogenèse débute à la puberté. Elle peut être saisonnière (ex. : cerf) ou continue (ex : taureau, homme). Elle a lien dans les **tubes séminifères**, qui sont localisés dans les testicules.

Le tube séminifère est constitué d'une couche de grosses cellules appelées **cellules de Sertoli**, constituant un épithélium monostratifié. Au niveau de la face basale (donc extérieur du tube) se trouvent des cellules germinales diploïdes : les spermatogonies. Comme pour les ovogonies, elle vont subir la méiose et la différenciation : spermatogonie (2n) → spermatocyte I (méiose I) → spermatocyte II (méiose II) → spermatide (non différencié) → spermatozoïde (différencié). Au cours de la méiose, les cellules germinales passent de la face basale à la face apicale, en étant entourées par la cellule de Sertoli, en position d'endocytose.

La différenciation (spermatide → spermatozoïde) consiste en l'acquisition des caractéristiques morphologiques tout à fait singulières :

- une cellule **très** polarisée, avec un avant (la tête, de l'ordre du µm) et un arrière (le flagelle, de plusieurs dizaines de µm de longueur)
- dans la tête, un **noyau très condensé**. La chromatine est originale, puisqu'elle ne contient **pas d'histones**, mais des protéines appelées protamines.
- **l'acrosome** est un organite situé à l'avant du noyau, et qui est important dans la fécondation (voir plus loin).
- le flagelle est structuré par un **axonème**, ensemble de microtubules et dynéine (moteur moléculaire), qui lui confère la capacité à battre, ce qui permet le déplacement autonome du spermatozoïde (motilité).
- la **pièce intermédiaire** du flagelle (juste derrière le noyau) est riche en **mitochondries**, qui permettent la synthèse d'ATP nécessaire au déplacement (dynéine).

La spermatogenèse est sous le contrôle d'une hormone : la **testostérone**. Celle-ci est produite par les **cellules de Leydig** (ou cellules interstitielles), situées entre les tubes séminifères.

3. <u>Rencontre des gamètes et comportement reproducteur</u>

Le milieu aérien est desséchant. Comme chez les angiospermes, les gamètes des mammifères ne sont jamais en contact direct avec ce milieu. Leur rencontre passe par le **déplacement des individus**, donc par un **comportement** associé à cette rencontre. Ce comportement est très variable selon les espèces, mais des généralités peuvent toutefois être mises en évidence. On notera cependant que tout ce qui suit est applicable aux mammifères, à l'exception des primates (dont les humains), chez lesquels le comportement sexuel est très souvent, voire la plupart du temps, **non lié** à la reproduction.

On prendra l'exemple du cerf Cervus élaphe (le cerf européen, *Cervus elpahus*). Les femelles et les mâles matures sexuellement vivent de façon isolée les uns des autres, et les rencontres ont lieu à une période précise de l'année (fin de

l'été et début de l'automne), lorsque les individus sont féconds.

- Pour la femelle, on parle d'**oestrus** : c'est le moment où la femelle ovule, c'est-à-dire qu'elle est en phase folliculaire.
- Pour le mâle, on parle de **rut** : la concentration plasmatique en testostérone est très importante (ainsi que le volume testiculaire et la production de spermatozoïde), ce qui favorise un comportement sexuel actif, et une forte agressivité envers les autres mâles. Le mâle en rut signale sa présence aux autres mâles aussi bien qu'aux femelles par un cri extrêmement sonore (appelé également rut).

Les mâles se livrent entre eux à des **combats** impressionnants, bien que les blessures graves soient rares. Généralement, ce combat a lieu en présence des femelles. Le gagnant à une plus grande probabilité d'être accepté par la femelle.

Le mâle et la femelle réalisent ensuite une **parade nuptiale**, c'est-à-dire une série d'interactions stéréotypées aboutissant pour la femelle à accepter la saillie (pénétration) ; en particulier, le mâle caresse de son museau la partie postérieure du dos de la femelle, ce qui provoque une réaction réflexe de lordose (cambrure), facilitant la pénétration.

D'un point de vue physiologique, **l'érection du pénis** est permise selon les espèces soit par un os (le baculum, cas le plus courant, notamment chez les carnivores et les rongeurs), soit par une turgescence des tissus caverneux et spongieux par le sang sous pression (cas plus rare, chez l'humain ou le cerf notamment).

Les spermatozoïde déposés dans le vagin de la femelle remontent ensuite (grâce à leur motilité) les voies génitales vers les trompes utérines, où a lieu la fécondation. Leur guidage est assuré, comme chez les plantes, par **chimiotactisme**. L'association du comportement (déplacement des individus, pénétration) et de la motilité des spermatozoïdes permet aux gamètes de n'être jamais en contact avec le milieu extérieur.

4. Fécondation

La fécondation consiste en la fusion des gamètes (attention : le gamète mâle ne **rentre pas** dans l'ovocyte, mais il fusionne avec lui).

On rappelle que l'ovocyte est entouré par une zone pellucide. La première étape de la fécondation est la **réaction acrosomiale**. Lorsque le spermatozoïde entre en contact avec la zone pellucide, un récepteur membranaire (ZP3r) se fixe sur un la protéine ZP3 de la zone pellucide, ce qui déclenche l'exocytose de l'acrosome. Cet organite contient des enzymes (protéases, glycosidases), qui sont responsables de l'hydrolyse locale de la zone pellucide. La réaction acrosomiale a aussi pour conséquence que des protéines de la membrane de l'acrosome se retrouvent dans la membrane plasmique (l'exocytose est une **fusion** de membranes). On notera que la spécificité de l'interaction ZP3-ZP3r constitue une explication de la barrière interspécifique (incapacité de deux espèces différentes à se reproduire entre elles).

La fusion des membranes passe aussi par une reconnaissance de protéines : la protéine Juno (dans la membrane de l'ovocyte) interagit avec la protéine Izumo (dans la la membrane du spermatozoïde).

Juste après la fusion des membranes a lieu la **réaction corticale**. Il s'agit d'une exocytose massive de vésicules situées juste sous la membrane plasmique de l'ovocyte (d'où le terme de *cortical*). Les enzymes contenues dans les granules corticaux hydrolysent alors la zone pellucide, et empêchent donc la réaction corticale pour de nouveaux spermatozoïdes : on parle de **blocage précoce* de la polyspermie** (polyspermie = fécondation (anormale) d'un ovocyte par plusieurs spermatozoïdes).
*Il existe un 2e blocage de la polyspermie, dit tardif, et qui est mal compris.

On rappelle que l'ovocyte est bloqué en métaphase méiose II (c'est-à-dire que les chromosomes sont encore bichromatidiens, et reliés aux microtubules). La fécondation est le signal de reprise de la méiose. La cytodiérèse forme deux cellule :

- d'un côté, une toute petite cellule, qui dégénère (le **2e globule polaire**)
- de l'autre, le gamète femelle mature (= l'ovule), mais dont l'existence est fictive, puisqu'il est déjà fécondé. On ne parlera donc pas d'ovule, mais tout simplement de **zygote** (ou **cellule-œuf**).

Les deux matériels génétique (provenant de l'ovule et du spermatozoïde) sont initialement séparés de quelques dizaines de µm. On parlera de **pronucléus femelle** et **pronucleus mâle** pour désigner ces deux noyaux. Grâce au cytosquelette, ils migrent l'un vers l'autre (amphimixie), et fusionnent (caryogamie), pour former un **noyau diploïde**.

Anecdotes :

- les mitochondrie apportées par le spermatozoïde dégénèrent, et les mitochondrie du zygote proviennent donc exclusivement de l'ovocyte, donc de la mère. On rappelle que les mitochondries possèdent de l'ADN ; l'histoire évolutive de l'ADN mitochondrial correspond donc à **l'histoire évolutive des femelles** (et l'ancêtre commun de toutes les mitochondries des humains actuels est appelée **Eve mitochondriale**, en référence à première femme dans les mythologies musulmane et judéo-chrétienne.
- de même, le chromosome Y n'est transmis que de père à fils, et son histoire évolutive est donc **l'histoire évolutive des mâles**. On parlera, de façon symétrique, d'**Adam chromosome Y** pour l'ancêtre commun de tous les chromosomes Y de l'humanité.

5. Séquençage et sélection agronomique

Cette petite partie est au programme… pour d'obscures raisons. Sachant que nous n'avons pas le temps de développer ce qui représente une ligne totalement insignifiante du programme. Donc, on va le traiter, en bon petit soldat, histoire que vous sachiez que ça existe.

Grâce au séquençage haut débit, le génome de la plupart des espèces élevées (vache, chèvre, porc…) est connu. La sélection agronomique correspond à l'amélioration des races de façon à en optimiser la production (lait, viande, etc). Si cette sélection a eu lieu depuis l'aube de l'agriculture, elle est aujourd'hui aidée par la génétique.

Un SNP (*single nucleotide polymosphism*) est une mutation ponctuelle, qui est donc facilement détectable par PCR. Certains trait phénotypiques sont **associés** à des SNP particuliers. Cela ne signifie pas que telle ou telle mutation génétique est ***responsable*** d'un trait phénotypique intéressant, mais qu'elle est **liée** (au sens génétique du terme : sur le même chromosome, et à une faible distance génétique) à un allèle responsable du trait phénotypique considéré.

Une sélection agronomique efficace peut donc consister en l'identification de ces SNP, et à faire des croisements entre individus possédant ces SNP, ce qui maximise la probabilité que les descendants aient aussi ce trait phénotypique intéressant.

Si ce n'est pas clair, je vous fais un schéma…

Conclusion

- Les végétaux comme les animaux se reproduisent de façon sexuée, ce qui permet la diversification des génomes (voir ch. B3).
- Ces trois organismes sont adaptés au milieu aérien, qui peut constituer un atout (déhiscence et dispersion) ou une contrainte (dessèchement des gamètes). Trois stratégies de réponse à cette contrainte existe :
  - création d'un micro-environnement aquatique (filicophytes)
  - angiospermie (gamète femelle protégé) et siphonogamie (gamète mâle transporté par le tube pollinique)
  - comportement reproducteur de fécondation interne chez les mammifères.
- Après la fécondation commence le développement embryonnaire. Il fera l'objet du prochain chapitre de biologie.