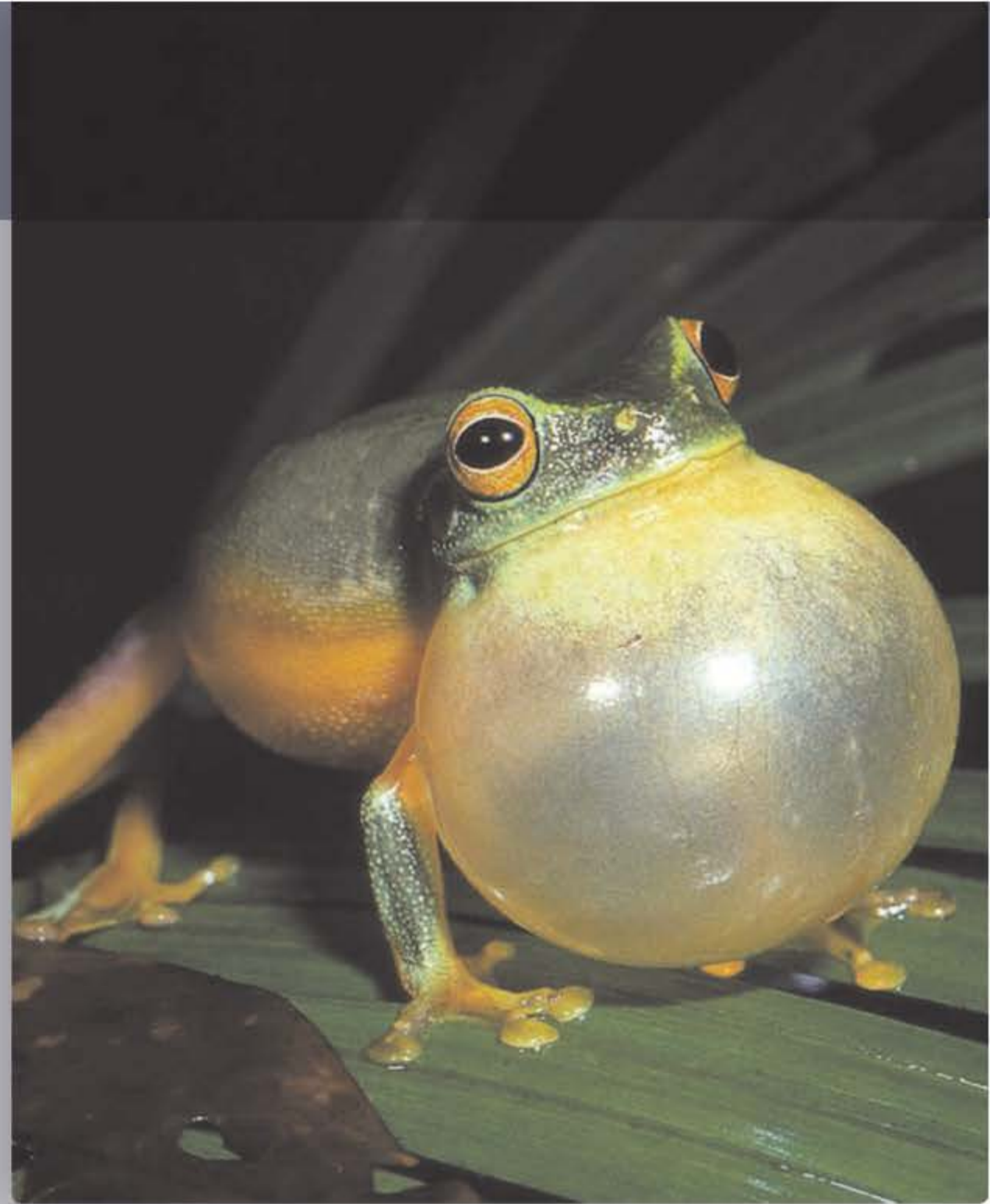


CHAPITRE 52

Systeme reproducteur

Aperçu du chapitre

- 52.1 Stratégies de reproduction chez les animaux
- 52.2 Fécondation et développement chez les vertébrés
- 52.3 Structure et fonction du système reproducteur de l'homme
- 52.4 Structure et fonction du système reproducteur de la femme
- 52.5 Contraception et traitements de la stérilité



Introduction

Le chant d'un oiseau au printemps, les stridulations de certains insectes derrière la vitre, le coassement des grenouilles dans les marais et le hurlement des loups dans les forêts gelées du grand Nord, tous ces sons contribuent à une fonction essentielle dans l'évolution, la reproduction. Ces vocalisations distinctes, ainsi que les couleurs chatoyantes caractéristiques de certains animaux, servent à attirer les partenaires. Peu de sujets infiltrent nos pensées quotidiennes plus que le sexe, et peu de pulsions sont plus insistantes. Ce chapitre traite du sexe et de la reproduction chez les vertébrés, y compris les êtres humains.

52.1 Stratégies de reproduction chez les animaux

Objectifs

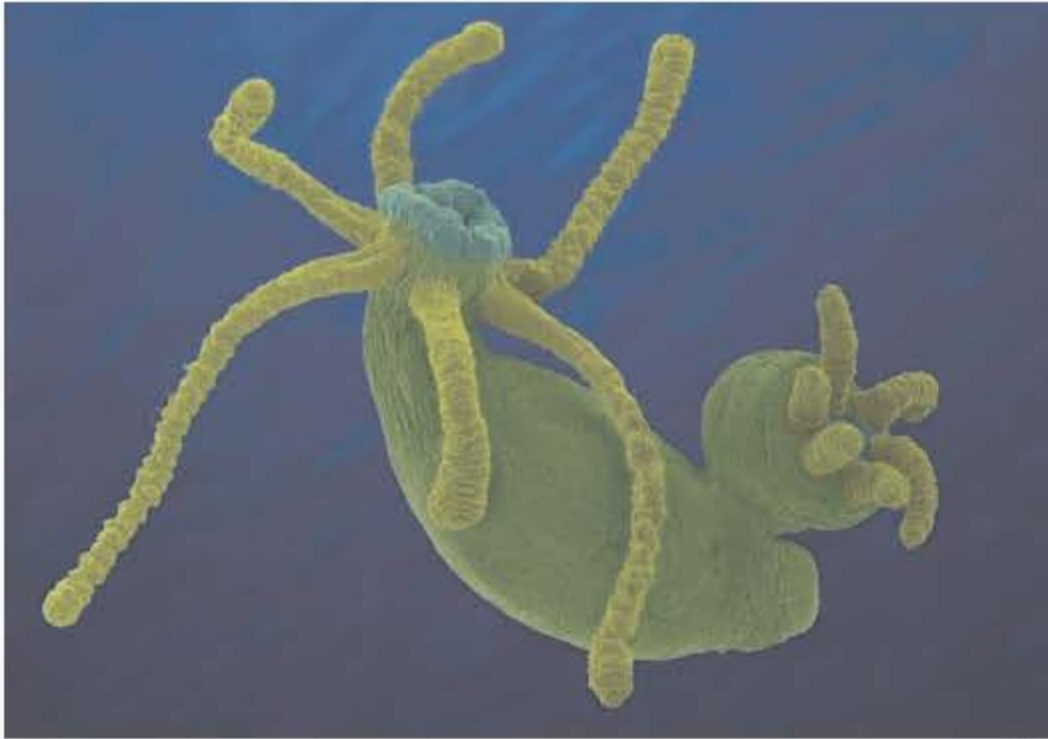
1. Distinguer les méthodes sexuées et asexuées de reproduction.
2. Décrire les différents types d'hermaphrodisme.
3. Expliquer les mécanismes qui influencent la détermination des sexes.

La plupart des animaux, y compris les êtres humains, se reproduisent sexuellement. Comme décrit au chapitre 11, la reproduction requiert une forme spéciale de division cellulaire, la méiose, afin de produire des

gamètes haploïdes, chacun ayant un seul assortiment complet de chromosomes. Ces gamètes, un spermatozoïde et un ovule, s'unissent pour restaurer l'état chromosomique diploïde. L'œuf fécondé diploïde, ou zygote, se développe par mitose en un nouvel organisme multicellulaire.

La reproduction asexuée est possible

Les bactéries, les archéobactéries, les protistes et des animaux multicellulaires comme les cnidaires et les tuniciers, ainsi que de nombreux autres types d'animaux, se reproduisent de manière asexuée. Dans la reproduction asexuée, des cellules génétiquement identiques sont produites par mitose d'une seule cellule parentale. Les organismes unicellulaires se divisent selon un processus appelé scissiparité ; chaque partie devient alors un organisme séparé mais identique. Les cnidaires se reproduisent fréquemment par bourgeonnement ; une partie du corps du parent se sépare du reste et se différencie en un nouvel individu (figure 52.1). Le nouvel individu peut devenir un animal indépendant, ou rester attaché au parent et former ainsi une colonie.



14x

Figure 52.1 Bourgeonnement d'un cnidaire. Ce cnidaire se reproduit de manière asexuée, par bourgeonnement. Le nouvel individu se trouve dans la partie inférieure droite du cliché.

Certaines espèces ont développé de nouvelles méthodes de reproduction

Une autre forme de reproduction asexuée est la **parthénogenèse**, qui est commune dans de nombreuses espèces d'arthropodes. Dans ce cas, les femelles produisent une progéniture à partir d'ovules non fécondés. Certaines espèces sont exclusivement parthénogénétiques (les individus sont tous femelles), alors que d'autres alternent reproduction sexuée et parthénogenèse à différentes générations, produisant une descendance qui peut être respectivement diploïde et haploïde. Chez les abeilles, par exemple, une reine ne s'accouple qu'une seule fois et met en réserve les spermatozoïdes, dont elle peut alors contrôler la libération. S'ils ne sont pas libérés, les ovules se développent par parthénogenèse en faux-bourçons haploïdes, qui sont mâles ; si les spermatozoïdes peuvent féconder les ovules, les œufs se développent en abeilles femelles ouvrières diploïdes. Cependant, lorsque les œufs sont exposés à une hormone appropriée, elles se développent en reines.

Le biologiste russe, Ilya Darevsky, a rapporté en 1958 un des premiers cas de modes inhabituels de reproduction chez les vertébrés. Il observa que certaines populations de petits lézards du genre *Lacerta* étaient exclusivement femelles, et suggéra que ces lézards pouvaient pondre des œufs qui étaient viables même s'ils n'étaient pas fécondés. En d'autres termes, ces animaux étaient capables de reproduction asexuée en absence de spermatozoïdes, un type de parthénogenèse. Des travaux ultérieurs ont montré que la parthénogenèse avait évolué plusieurs fois chez les lézards ainsi que chez les poissons et les salamandres.

Dans certaines espèces, des individus peuvent être à la fois mâles et femelles

Une autre variation dans les stratégies reproductives est l'**hermaphroditisme**, dans lequel un individu est pourvu à la fois de testicules et d'ovaires, et peut ainsi produire des spermatozoïdes et des ovules. Un ténia est hermaphrodite et peut se féconder lui-même, une stratégie

utile puisqu'ils ont peu de chance de rencontrer un congénère. La plupart des animaux hermaphrodites, cependant, requièrent un autre individu pour se reproduire. Les lombrics, par exemple, doivent être deux pour se reproduire, chacun fonctionne à la fois comme mâle et femelle, et chacun quitte le partenaire en étant porteur d'œufs fécondés.

De nombreux genres de poissons comprennent des espèces dont les individus peuvent changer de sexe, un processus appelé *hermaphroditisme séquentiel*. Par exemple, les poissons des récifs coralliens pratiquent tant la protogynie (« d'abord femelle » ; la femelle devient mâle) que la protandrie (« d'abord mâle » ; le mâle devient femelle). Chez les poissons qui pratiquent la protogynie (figure 52.2), le changement de sexe paraît dépendre d'un contrôle social. Ces poissons vivent fréquemment en bancs importants, dans lesquels une reproduction réussie est typiquement limitée à un ou quelques grands mâles dominants. Si on écarte ces mâles, la plus grande femelle change rapidement de sexe et devient un mâle dominant.



Figure 52.2 Hermaphroditisme et protogynie. La girelle à tête bleue, *Thalassoma bifasciatum*, est protogynie ; les femelles deviennent parfois des mâles. Ici, un grand mâle, qui a été une femelle avant de changer de sexe, nage au milieu des femelles nettement plus petites.



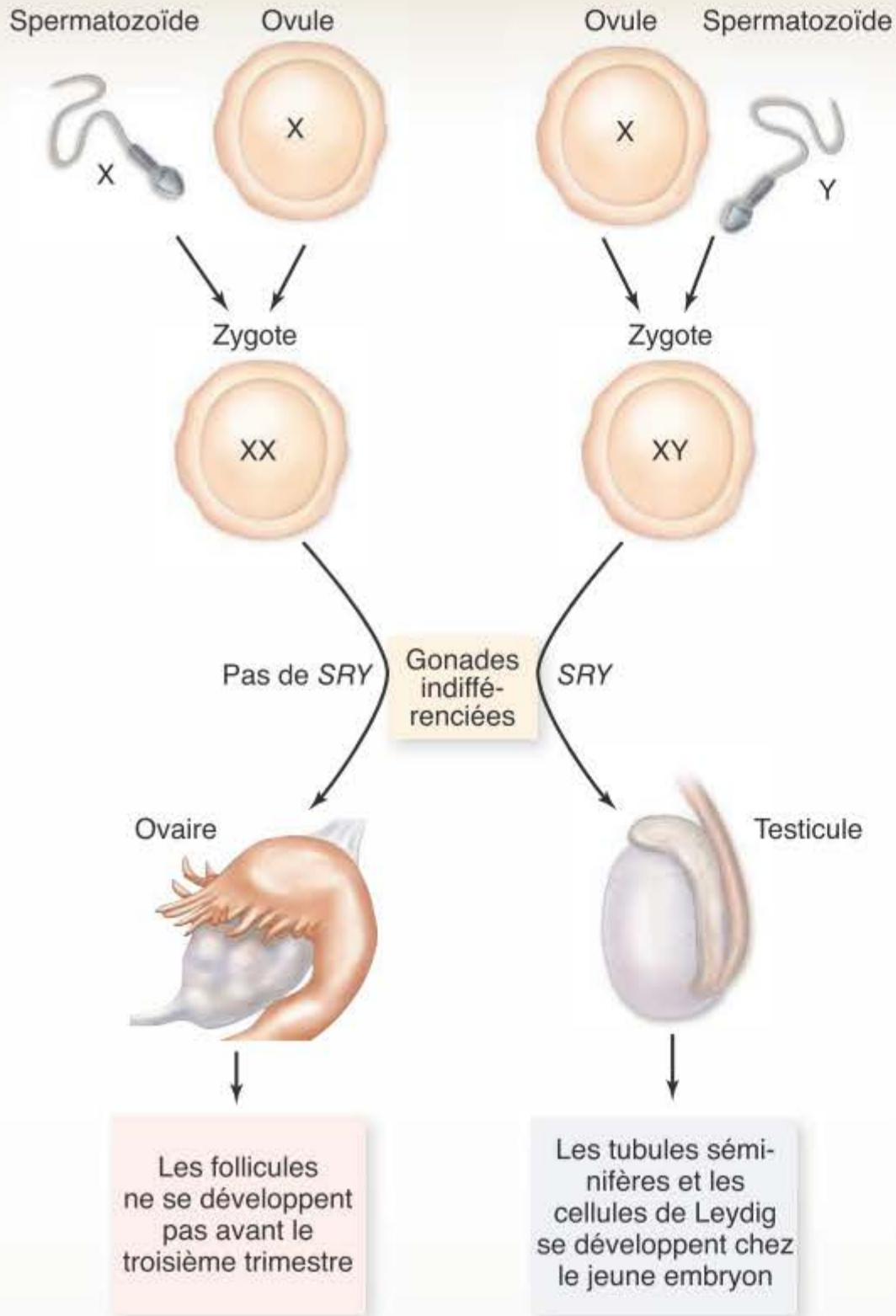
Question Pourquoi serait-il avantageux pour un individu d'être une femelle lorsqu'il est de petite taille et de devenir un mâle lorsque il est très grand ? Dans quelles circonstances, la condition opposée, la protandrie, survient-elle ?

Le sexe peut être déterminé génétiquement ou dépendre de l'environnement

Le sexe d'un individu est déterminé au cours du développement embryonnaire, mais le déroulement du processus varie entre les espèces.

RÉFLEXION SCIENTIFIQUE

Hypothèse : le sexe chez les mammifères est déterminé par un gène sur le chromosome Y.



Prédiction 1 : les individus sans chromosome Y deviendront des femelles.

Test : comparez des individus avec des chromosomes sexuels inhabituels.

Résultats : les individus atteints du syndrome de Turner sont XO (ils n'ont qu'un chromosome X) et se développent comme des femelles; les individus atteints du syndrome de Klinefelter sont XXY et deviennent des hommes.

Prédiction 2 : le gène SRY sur le chromosome Y est responsable du développement des caractères sexuels masculins.

Test : élever des souris transgéniques qui sont XY, mais ont une mutation du gène SRY.

Résultats : ces souris deviennent toutes des femelles.

Figure 52.3 La détermination du sexe chez les mammifères. La région qui, dans le chromosome Y mammalien, détermine le sexe est désignée SRY. Les testicules sont formés lorsque le chromosome Y et SRY sont présents; les ovaires sont formés lorsqu'ils sont absents.

Détermination du sexe sensible à la température

Chez de nombreux poissons et reptiles, le sexe d'un individu est déterminé par la température à laquelle l'embryon est soumis au cours du développement. Dans certaines espèces, une température froide induit des mâles et une température chaude, des femelles, mais dans d'autres, le contraire se produit. Dans d'autres encore, les mâles sont induits à la fois à de hautes et basses températures, et les femelles à des températures intermédiaires.

Les analyses phylogénétiques indiquent que la détermination du sexe sensible à la température a évolué à de nombreuses reprises à partir d'ancêtres chez qui le sexe était génétiquement déterminé. Les mécanismes moléculaires qui déterminent le sexe de ces espèces sont maintenant connus, mais on ignore encore pourquoi ce trait a si souvent évolué. Une possibilité est que, parfois, il peut être avantageux pour une femelle d'être en mesure de déterminer le sexe de sa progéniture en pondant des œufs dans des endroits appropriés. Actuellement, cette hypothèse reste incertaine.

Détermination génétique du sexe

Chez tous les oiseaux et les mammifères et de nombreux autres vertébrés, le sexe est déterminé par des gènes d'un individu. Chez les mammifères et certains autres animaux, les individus avec un X et un chromosome Y sont mâles, alors que les individus avec deux chromosomes X sont des femelles. Cependant, chez d'autres animaux, comme les oiseaux, ce sont les femelles qui sont le sexe hétérozygote.

Différenciation sexuelle chez les humains

Les systèmes reproducteurs des hommes et des femmes paraissent semblables pendant les 40 premiers jours après la conception. Pendant ce temps, les cellules qui seront à l'origine des ovules ou des spermatozoïdes migrent du sac vitellin dans les gonades embryonnaires qui peuvent devenir soit des ovaires chez les femelles ou des testicules chez les mâles (figure 52.3). C'est pourquoi, les gonades embryonnaires sont dites « indifférenciées ».

Si l'embryon est mâle, un gène sur le chromosome Y convertit les gonades indifférenciées en testicules. Chez les femelles, dépourvues de chromosome Y, ce gène et la protéine qu'il code sont absents, et les gonades deviennent alors des ovaires. Ce gène important impliqué dans la détermination du sexe est appelé SRY (*sex determining region of the Y chromosome*).

Une fois que les testicules ont été formés chez l'embryon, ils sécrètent de la testostérone et d'autres hormones qui induisent le développement des organes génitaux externes mâles et des caractères sexuels secondaires.

Si l'embryon n'a pas le gène SRY, il acquiert des organes génitaux externes et des caractères sexuels secondaires féminins. En d'autres termes, tous les embryons mammaliens se développent en femelles à moins qu'un gène fonctionnel SRY ne soit présent.

Synthèse 52.1

La reproduction sexuée implique la fusion de gamètes dérivés d'individus différents d'une même espèce. Certaines espèces se reproduisent de manière asexuée par scissiparité, bourgeonnement ou parthénogenèse. Dans les espèces hermaphrodites, un individu peut avoir à la fois des testicules et des ovaires ; dans l'hermaphroditisme séquentiel, un individu peut changer de sexe. Des gènes ou l'environnement, comme la température, peuvent déterminer le sexe au cours de la vie embryonnaire.

- Pourquoi la sélection naturelle pourrait-elle favoriser la détermination génétique du sexe ?

52.2 Fécondation et développement chez les vertébrés

Objectifs

1. Distinguer la viviparité, l'oviparité et ovoviviparité.
2. Décrire les avantages de la fécondation interne.

Chez les vertébrés, la reproduction sexuée a évolué dans les océans avant la colonisation de la terre ferme. Les femelles de la plupart des espèces de poissons osseux marins produisent un groupe d'ovules qu'elles libèrent dans l'eau, où ils s'unissent avec les spermatozoïdes livrés localement par les mâles. Ce processus est appelé fécondation externe.

Bien que l'eau de mer ne soit pas un environnement hostile pour les gamètes, elle tend à les disperser rapidement, ce qui explique que leur libération par le mâle et la femelle doit être quasi simultanée. Aussi, la plupart des poissons marins restreignent la libération de leurs gamètes à quelques périodes brèves et bien définies. Certains ne se reproduisent qu'une fois par an, alors que d'autres le font plus fréquemment. Dans l'océan, il y a peu de repères saisonniers que les organismes peuvent utiliser comme signaux pour synchroniser leur reproduction, mais un signal accessible à tous est le cycle lunaire. Une fois par mois, la lune se rapproche de la terre et accroît ainsi l'attraction gravitationnelle, ce qui amplifie la hauteur des marées. De nombreux organismes marins perçoivent ces changements, ce qui entraîne la production et la libération des gamètes en fonction du cycle lunaire.

Lorsque les vertébrés ont commencé à vivre sur la terre ferme, ils ont rencontré un nouveau danger, la dessiccation, un risque particulièrement sérieux pour les gamètes petits et vulnérables. Sur la terre ferme, les gamètes ne pourraient tout simplement pas être libérés car ils dessécheraient rapidement et périraient. Sous l'effet d'une pression sélective intense, les vertébrés terrestres (ainsi que certains groupes de poissons) ont acquis un mode de fécondation interne, c'est-à-dire l'introduction des gamètes mâles dans le tractus reproducteur de la femelle. Ainsi, la fécondation a lieu dans un milieu non desséchant, même lorsque les animaux adultes ont une vie exclusivement terrestre.

La fécondation interne a conduit à trois stratégies pour le développement de la progéniture

Pour le développement embryonnaire et fœtal, les vertébrés qui pratiquent la fécondation interne recourent à l'une des trois stratégies suivantes : *oviparité*, *ovoviviparité* et *viviparité*.

1. L'**oviparité** s'observe chez certains poissons osseux, la plupart des reptiles, certains poissons cartilagineux, certains amphibiens, quelques rares mammifères et tous les oiseaux. Les œufs, après avoir été fécondés à l'intérieur, sont déposés en dehors du corps de la mère pour compléter leur développement.
2. L'**ovoviviparité** caractérise certains poissons osseux (entre autres les mollusques, les guppys et les poissons moustiques), certains poissons cartilagineux et



Figure 52.4 Les poissons vivipares portent leurs jeunes vivants et mobiles dans leur corps. Les jeunes complètent leur développement dans le corps de leur mère et sont alors libérés comme adultes, petits mais aptes à survivre. Ici un requin citron vient de donner naissance à un jeune, qui est encore attaché par le cordon ombilical.

de nombreux reptiles. Les œufs fécondés sont retenus à l'intérieur de la mère pour achever leur développement, mais les embryons obtiennent leur nourriture à partir du vitellus (jaune d'œuf). Les jeunes sont complètement développés lorsque les œufs éclosent et que la mère les libère.

3. La **viviparité** est observée chez les poissons cartilagineux, certains amphibiens, quelques reptiles et presque tous les mammifères (figure 52.4). Le jeune se développe dans la mère et obtient sa nourriture directement à partir du sang maternel au lieu du jaune d'œuf. Un placenta, la structure à travers laquelle le sang et les gaz sont échangés, n'a pas évolué seulement chez les mammifères (voir le chapitre 53), mais aussi à plusieurs reprises chez les poissons et les lézards.

Évolution des systèmes reproducteurs

La naissance, par viviparité ou ovoviviparité, a évolué de nombreuses fois chez les vertébrés : une fois chez les mammifères, mais de nombreuses fois indépendamment chez les poissons, les amphibiens et les reptiles (figure 52.5) L'évolution de la naissance paraît être une évolution unidirectionnelle : une fois qu'elle est apparue, elle n'est pratiquement jamais perdue. La naissance requiert une fécondation interne en manière telle que les œufs puissent se développer dans le corps de la femelle ; la fécondation interne n'a évolué qu'une seule fois chez les amniotes (le clade comprenant les reptiles, les oiseaux et les mammifères, mais de nombreuses fois chez les poissons et les amphibiens).

La fécondation interne requiert certaines méthodes de transfert des spermatozoïdes du mâle à la femelle. Les salamandres pratiquent comme suit : après la parade nuptiale, le mâle émet des spermatozoïdes regroupés dans une capsule muqueuse dénommée spermatophore. Celui-ci est déposé sur le sol. La femelle absorbe le spermatophore avec son cloaque et stocke les spermatozoïdes dans ses glandes cloacales puis la fécondation est interne. Tous les autres vertébrés ont recours à d'autres procédés, ayant acquis un pénis que le mâle utilise pour transférer les spermatozoïdes directement dans le corps de la femelle. Diverses structures ont évolué pour réaliser ce type d'organe : notamment une nageoire

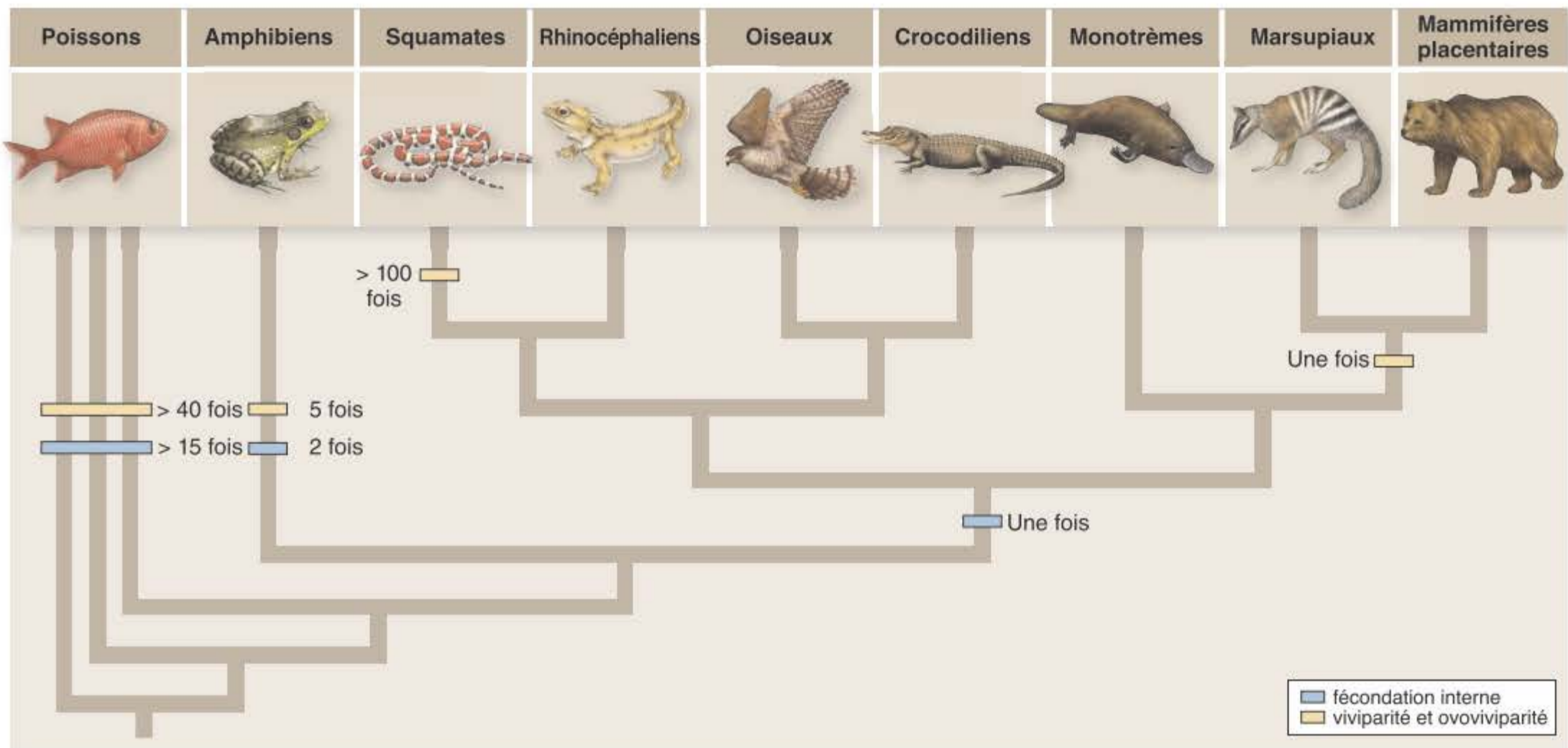


Figure 52.5 Évolution de la fécondation interne et de la viviparité et ovoviviparité chez les vertébrés. Bien que la viviparité et l'ovoviviparité aient évolué à plusieurs reprises chez les poissons et les reptiles squamates, la plupart des espèces dans les deux groupes pondent des œufs. Une inversion évolutive de la naissance vivante vers la ponte des œufs n'est pas survenue du tout, sinon très rarement. Les estimations du nombre d'origines chez les poissons et les squamates sont basées sur des analyses phylogénétiques détaillées dans chaque groupe; une incertitude dans les nombres est un résultat d'information incomplète dans certains groupes.

? Analyse de données Pourquoi pensez-vous que l'oviparité a rarement évolué à partir de la viviparité ou de l'ovoviviparité?

pelvienne modifiée chez les poissons cartilagineux ; une adaptation du cloaque (l'orifice commun par lequel les déchets et les produits de la reproduction sortent du corps) chez des grenouilles, des cécilies et des oiseaux ; des pénis dérivés de différentes structures embryonnaires chez les tortues marines, les crocodiles et les mammifères ; une paire d'hémi-pénis, un de chaque côté, chez les serpents et les lézards. De plus, des organes copulateurs ont été complètement perdus chez les oiseaux et les rhynchocéphaliens ; pour réaliser la fécondation interne, les mâles et femelles de ces espèces alignent simplement leur cloaque et les spermatozoïdes sont ainsi transmis du mâle à la femelle.

Chez la plupart des poissons et des amphibiens, la fécondation est externe

La plupart des poissons et des amphibiens, contrairement aux autres vertébrés, se reproduisent par fécondation externe, bien que la fécondation interne ait évolué à plusieurs reprises.

Poissons

La fécondation chez la plupart des espèces de poissons osseux (téléostéens) est externe. La quantité de vitellus dans les œufs ne permet qu'un soutien de courte durée au développement de l'embryon. Après épuisement de cet apport nutritif, les jeunes doivent chercher leur nourriture dans l'eau qui les entoure. Le développement est rapide, et les jeunes qui survivent atteignent rapidement la maturité. Des milliers, ou même des millions, d'ovules sont fécondés au cours d'une seule fécondation, mais de nom-

breux individus succombent aux infections microbiennes ou à la prédation et peu atteignent la maturité.

Au contraire des poissons osseux, la plupart des poissons cartilagineux utilisent la fécondation interne. Le mâle introduit le sperme dans la femelle au moyen d'une nageoire pelvienne modifiée. Le développement des jeunes chez ces vertébrés est en général vivipare et la femelle donne naissance habituellement à une progéniture bien développée.

Amphibiens

Le cycle de vie des amphibiens est encore lié à l'eau. La fécondation est externe chez la plupart des amphibiens. Les gamètes mâles et femelles sont libérés par le cloaque. Chez les grenouilles et les crapauds, le mâle agrippe la femelle et décharge le fluide contenant les spermatozoïdes sur les ovules au moment de leur libération dans l'eau (figure 52.6).

Bien que les œufs de la plupart des amphibiens se développent dans l'eau, quelques exceptions sont intéressantes (figure 52.7). Chez certaines grenouilles, par exemple, les œufs se développent dans le dos des parents ; chez d'autres, les mâles transportent les têtards dans leur sac vocal et les jeunes grenouilles sortent par la bouche de leur parent.

Chez les reptiles et les oiseaux, la fécondation est interne

Tous les oiseaux et 80 % des espèces de reptiles sont ovipares. Après fécondation interne, les œufs sont déposés à l'extérieur du corps de la mère pour compléter leur développement.

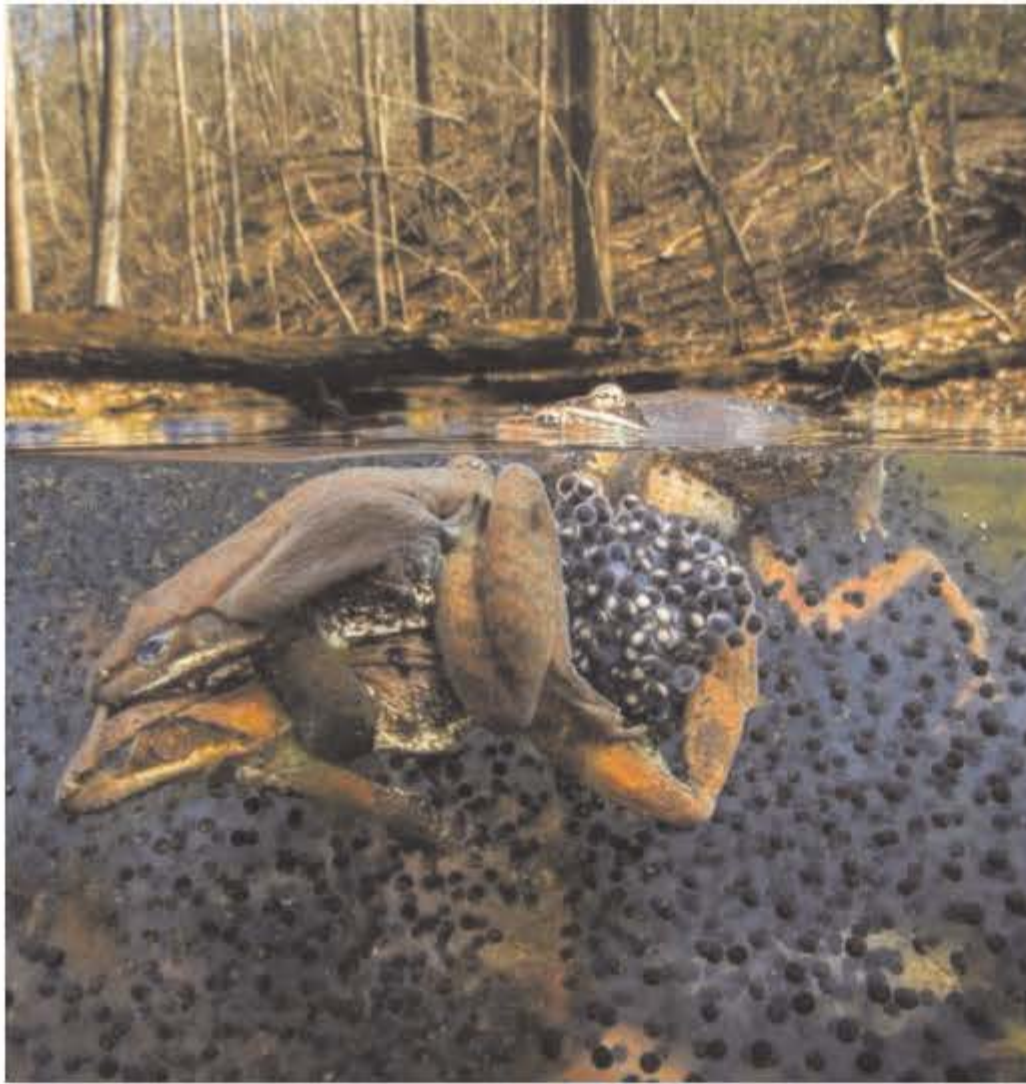


Figure 52.6 La fécondation des ovules de grenouilles est externe. Lorsque les grenouilles s'accouplent, sous l'effet de l'étreinte du mâle, la femelle libère une masse d'ovules matures, sur lesquels le mâle décharge ses spermatozoïdes.

Reptiles

La plupart des reptiles ovipares pondent des œufs et ensuite les abandonnent. Ces œufs sont entourés d'une coquille semblable à du cuir qui se forme lorsque l'œuf parcourt l'oviducte, la partie du tractus reproducteur femelle partant de l'ovaire. D'autres espèces de reptiles sont ovovivipares, produisant des œufs qui se développent en embryons à l'intérieur du corps de la mère, et de rares espèces sont vivipares.

Oiseaux

Tous les oiseaux pratiquent la fécondation interne, bien que la plupart des oiseaux mâles soient dépourvus de pénis. Cependant, chez certains



Figure 52.8 Des gorfous des fjords couvant leurs œufs. Ce couple près de son nid change la garde parentale selon un rituel stylisé.

oiseaux, notamment les cygnes, les oies et les autruches, la paroi du cloaque mâle est modifiée et sert d'organe copulateur.

Lorsque l'œuf passe dans l'oviducte, des glandes sécrètent diverses protéines qui constituent l'albumen ou blanc d'œuf, ainsi que la coquille calcaire dure qui distingue les œufs d'oiseaux des œufs des reptiles. Alors que les reptiles modernes sont ectothermes, les oiseaux sont endothermes (voir chapitre 42). Aussi, la plupart des oiseaux, après avoir pondu leurs œufs, les couvent pour les garder au chaud (figure 52.8). Les jeunes qui éclosent des œufs de la plupart des espèces d'oiseaux sont incapables de survivre sans aide, car leur développement est encore incomplet. Ces jeunes oiseaux sont nourris et soignés par leurs parents et ils progressent lentement vers la maturité.

La coquille des œufs des reptiles et des oiseaux constitue une des adaptations les plus importantes de ces vertébrés à la vie terrestre. Comme décrit au chapitre 35, ces œufs sont qualifiés d'*amniotiques* puisque l'embryon se développe dans une cavité remplie de liquide et entourée d'une membrane appelée *amnios*. D'autres membranes extraembryonnaires dans les œufs amniotiques comprennent le *chorion*, qui borde l'intérieur de la coquille, le *sac vitellin* et l'*allantoïde*. Ensemble ces membranes extraembryonnaires, avec la coquille calcaire externe, permettent à l'œuf des reptiles et des oiseaux de résister à la dessiccation et donc d'être pondu dans des endroits secs. Au



a.



b.



c.



d.

Figure 52.7 Les différents modes de développement des jeunes chez les grenouilles. *a.* Le mâle de l'espèce *Dendrobates auratus* (dendrobate doré) transporte les têtards sur son dos. *b.* Les petites grenouilles de l'espèce *Pipa pipa*, se développent à partir d'œufs qui sont couvés dans des poches situées sur le dos de la femelle. *c.* Dans l'espèce *Gastrotheca riobambae* ou rainette pygmée marsupiale d'Amérique du Sud, la femelle porte les larves en développement dans une poche marsupiale située sur son dos. *d.* Les têtards de la grenouille de Darwin (*Rhinoderma darwini*) se développent en petites grenouilles dans la poche vocale du mâle et émergent par la bouche.

contraire, les œufs des poissons et des amphibiens ne contiennent qu'une membrane extraembryonnaire, l'enveloppe ou membrane vitelline, et doivent être déposés dans un habitat aquatique pour ne pas dessécher.

Les mammifères vivipares, y compris les humains, ont aussi des membranes extraembryonnaires, comme nous le verrons au chapitre 53.

Les mammifères en général ne pondent pas d'œufs, mais donnent naissance à leurs jeunes

Certains mammifères se reproduisent de manière saisonnière, seulement une fois par an, alors que d'autres ont des cycles reproducteurs plus fréquents. Parmi ces derniers, les femelles sont soumises à ces cycles, alors que les mâles sont plus constants dans leur activité reproductrice.

Cycles reproducteurs des femelles

Les cycles chez les femelles comprennent la libération périodique d'un ovule mature par l'ovaire, un processus appelé *ovulation*. La plupart des mammifères femelles ne sont « en chaleur » ou sexuellement réceptives aux mâles qu'au moment de l'ovulation. Cette période de réceptivité sexuelle est appelée *œstrus*, et le cycle reproducteur est dès lors appelé cycle œstral. Chez les femelles, les cycles continuent jusqu'à ce qu'elles deviennent gravides.

Au cours du cycle œstral de la plupart des mammifères, des fluctuations dans la sécrétion de l'hormone folliculostimuline (FSH) et de l'hormone lutéotrophine (LH) par le lobe antérieur de l'hypophyse causent des changements dans le développement de l'ovule et dans la sécrétion hormonale des ovaires. Les humains et les grands singes ont des cycles menstruels qui ressemblent aux cycles œstraux des autres mammifères par l'aspect cyclique de la sécrétion hormonale et de l'ovulation. Cependant, au contraire des mammifères avec des cycles œstraux, les femmes et les femelles des grands singes saignent lorsque la muqueuse utérine se détache, un processus appelé *menstruation*, et elles peuvent s'accoupler à tout moment du cycle.

Les lapins et les chats diffèrent de la plupart des autres mammifères par le fait que leur ovulation est induite. Au lieu d'ovuler de manière cyclique indépendamment de l'activité sexuelle, les femelles n'ovulent qu'après copulation à la suite d'un réflexe qui stimule la sécrétion de LH.

Monotrèmes, marsupiaux et mammifères placentaires

Les mammifères les plus primitifs, les **monotrèmes** (qui ne comprennent que l'ornithorynque au bec de canard et l'échidné) sont ovipares, comme les reptiles à partir desquels ils ont évolué. Ils incubent leurs œufs dans un nid (figure 52.9a) ou dans une poche spéciale, et les jeunes larves obtiennent du lait des glandes mammaires de leur mère en léchant sa peau (les monotrèmes sont dépourvus de mamelons).

Tous les autres mammifères sont vivipares et sont répartis en deux sous-groupes selon le mode de nutrition des jeunes. Les **marsupiaux**, qui comprennent les opossums et les kangourous, donnent naissance à des fœtus incomplètement développés. Les fœtus complètent leur développement dans une poche de la peau maternelle, d'où ils peuvent accéder aux mamelons des glandes mammaires (figure 52.9b).

Les mammifères placentaires (figure 52.9c) gardent leurs jeunes pendant une période beaucoup plus longue de développement dans l'utérus maternel. Les fœtus sont nourris par une structure appelée placenta, qui dérive à la fois d'une membrane extraembryonnaire (le chorion) et de la muqueuse utérine de la mère. Les vaisseaux sanguins fœtaux et maternels étant très proches dans le placenta, le fœtus peut obtenir les nutriments par diffusion à partir du sang maternel. Le fonctionnement du placenta est expliqué en détail dans le chapitre 53.

Synthèse 52.2

Les espèces ovipares pondent des œufs ; les œufs amniotiques des reptiles et des oiseaux protègent l'embryon de la dessiccation. Les femelles des espèces ovovivipares retiennent leurs œufs fécondés à l'intérieur de leur corps et libèrent des jeunes complètement développés lorsque les œufs éclosent. La plupart des mammifères sont vivipares, donnant naissance à des jeunes qui ont été nourris par le corps de la mère. Une fécondation interne permet aux embryons de se développer à l'intérieur du corps de la mère, aboutissant à un plus grand succès reproducteur

- Dans quelles circonstances un cycle œstral serait-il avantageux ?

Figure 52.9 La reproduction chez les mammifères. *a.* Les monotrèmes, comme cet ornithorynque à bec de canard (*Ornithorhynchus anatinus*), pondent des œufs dans un nid. *b.* Les marsupiaux, comme ce kangourou roux (*Macropus rufus*), donnent naissance à de petits fœtus qui complètent leur développement dans une poche. *c.* Chez les mammifères placentaires, comme cette biche chital (*Axis axis*) allaitant son faon, les jeunes restent dans l'utérus maternel plus longtemps et naissent dans un état relativement plus développé.



a.



b.



c.

52.3 Structure et fonction du système reproducteur de l'homme

Objectifs

1. Décrire la séquence des événements dans la spermatogenèse.
2. Décrire le sperme et expliquer comment il est libéré durant l'accouplement.
3. Expliquer comment des hormones régulent la fonction reproductrice chez l'homme.

Les structures du système reproducteur de l'homme, typique des mammifères mâles, sont illustrées dans la figure 52.10. Lors de la formation des testicules chez l'embryon humain, les *tubules séminifères* se développent 43 à 52 jours après la conception. Ces tubules sont les sites de production des spermatozoïdes. À environ 9 à 10 semaines, les cellules de Leydig, situées dans le tissu interstitiel entre les tubules séminifères, commencent à sécréter la testostérone, principale hormone sexuelle mâle (androgène). La sécrétion de testostérone au cours du développement embryonnaire transforme des structures indifférenciées en organes génitaux externes, le *pénis* et le *scrotum*, la bourse qui contient les testicules. En absence de testostérone, ces structures se développent en organes génitaux externes féminins. La testostérone est aussi respon-

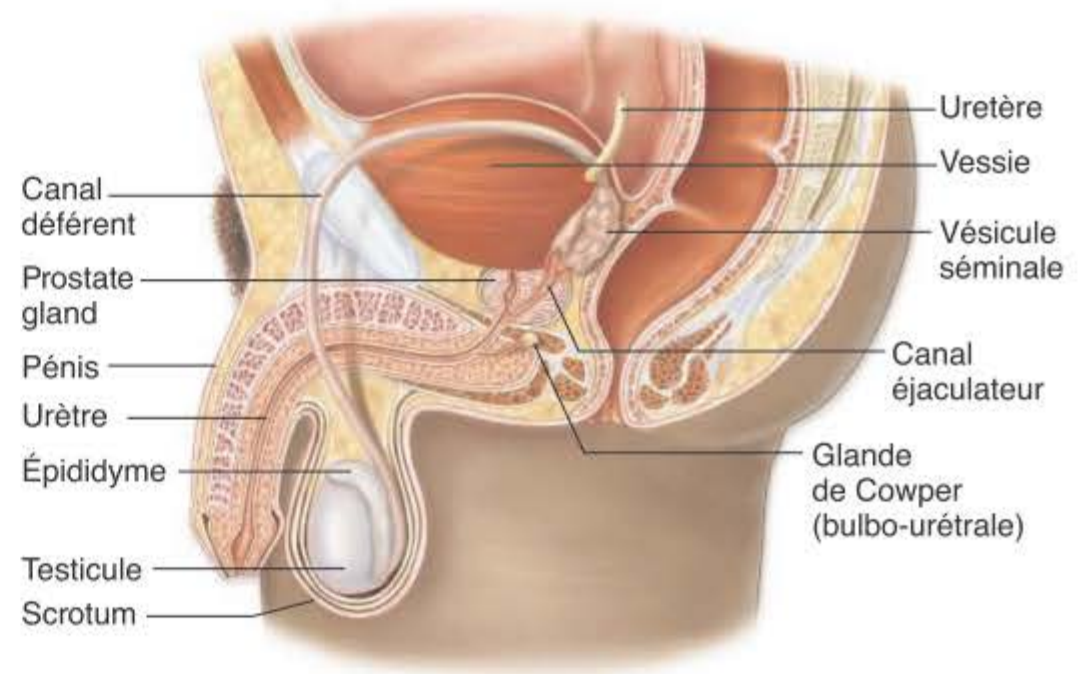


Figure 52.10 Anatomie du système reproducteur mâle humain. Le pénis et le scrotum sont les organes génitaux externes, les testicules sont les gonades, et les autres organes sont les organes sexuels accessoires qui contribuent à la production et à l'éjaculation du sperme.

sable des caractères sexuels secondaires masculins qui apparaissent à la puberté, la barbe, la voix plus grave et la pilosité corporelle.

Chez un adulte, chaque testicule est composé surtout de tubules séminifères très tortueux (figure 52.11, à gauche). Bien que les testicules se forment dans la cavité abdominale, peu avant la naissance, ils descendent, par un orifice appelé canal inguinal, dans le scrotum, qui les suspend en dehors de la cavité abdominale. Le scrotum maintient les testicules à environ 34 °C, un peu en dessous de la température corporelle centrale (37 °C). Cette température plus basse est requise pour le développement normal des spermatozoïdes humains.

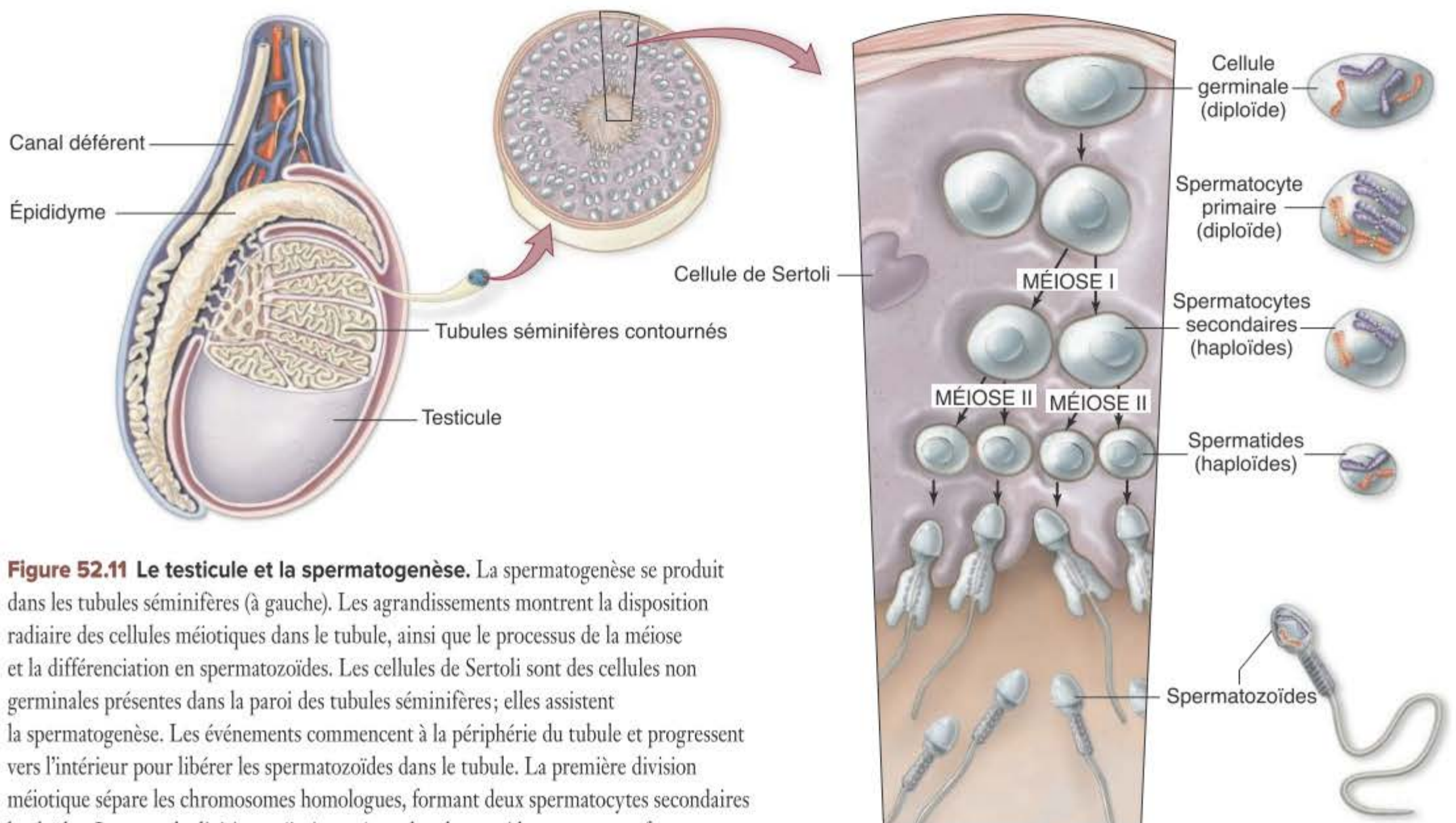


Figure 52.11 Le testicule et la spermatogenèse. La spermatogenèse se produit dans les tubules séminifères (à gauche). Les agrandissements montrent la disposition radiaire des cellules méiotiques dans le tubule, ainsi que le processus de la méiose et la différenciation en spermatozoïdes. Les cellules de Sertoli sont des cellules non germinales présentes dans la paroi des tubules séminifères; elles assistent la spermatogenèse. Les événements commencent à la périphérie du tubule et progressent vers l'intérieur pour libérer les spermatozoïdes dans le tubule. La première division méiotique sépare les chromosomes homologues, formant deux spermatocytes secondaires haploïdes. La seconde division méiotique sépare les chromatides sœurs pour former quatre spermatides haploïdes, qui sont transformés en spermatozoïdes.

Les spermatozoïdes sont produits par millions

La paroi du tubule séminifère consiste en spermatogonies, ou *cellules germinales*, qui deviennent des spermatozoïdes par mitose et méiose, et en cellules de soutien, les *cellules de Sertoli*. Les cellules germinales près de la surface externe du tubule séminifère sont diploïdes et sont les seules cellules qui passeront par une méiose pour produire les gamètes (voir chapitre 11). Les gamètes en développement situés plus près de la lumière du tubule sont haploïdes.

Divisions cellulaires menant aux spermatozoïdes

Une spermatogonie se divise par mitose pour produire deux cellules diploïdes. Une de ces deux cellules passe alors par une division méiotique pour donner quatre cellules haploïdes qui deviendront des spermatozoïdes, alors que l'autre reste une spermatogonie. De cette manière, les spermatogonies sont continuellement renouvelées pour la production des spermatozoïdes. Les hommes adultes produisent une moyenne de 100 à 200 millions de spermatozoïdes chaque jour et peuvent continuer à ce rythme pendant la plus grande partie du reste de leur vie.

La cellule fille diploïde qui commence la méiose est appelée spermatocyte primaire et contient 23 paires de chromosomes homologues (46 chromosomes au total), chaque chromosome comportant deux chromatides. La première division méiotique sépare les paires de chromosomes homologues, produisant deux *spermatocytes secondaires* haploïdes. Cependant, chaque chromosome comporte encore deux chromatides.

Chacune de ces cellules passe alors par une seconde division méiotique pour séparer les chromatides et produire deux cellules haploïdes, les **spermatides**. Chaque spermatocyte primaire génère donc quatre spermatides haploïdes (figure 52.11, à droite). Dans les tubules séminifères, toutes ces cellules constituent l'épithélium dit « germinal » puisque c'est là que les gamètes « germent ».

Tissus de soutien

En plus de l'épithélium germinal, la paroi des tubules séminifères contient des cellules non germinales appelées cellules de Sertoli, mentionnées plus tôt. Leur fonction est de contribuer au développement des spermatozoïdes en sécrétant des produits nécessaires à la spermatog-

nèse (production des spermatozoïdes). Elles contribuent également à la transformation des spermatides en **spermatozoïdes** en ingérant le cytoplasme en excès.

Structure des spermatozoïdes

Les spermatozoïdes sont des cellules relativement simples comportant une tête, une pièce intermédiaire et un flagelle (queue) (figure 52.12). La tête enferme un noyau compact et est coiffée d'une vésicule appelée acrosome, qui dérive du complexe de Golgi. L'acrosome contient des enzymes qui contribuent à la pénétration des couches protectrices de l'ovule. La pièce intermédiaire et la queue servent à la propulsion : dans la queue, se trouve un flagelle, tandis que la pièce intermédiaire contient un centriole, qui agit comme corpuscule basal pour le flagelle, et des mitochondries, qui génèrent l'énergie nécessaire au mouvement flagellaire.

Les organes sexuels accessoires mâles servent au transfert des spermatozoïdes

Après leur production dans les tubules séminifères, les spermatozoïdes parviennent dans un long tube tortueux appelé **épididyme**. Les spermatozoïdes ne sont pas encore mobiles lorsqu'ils atteignent l'épididyme, et ils doivent séjourner là durant au moins 18 heures avant de le devenir. De l'épididyme, les spermatozoïdes entrent dans un autre long tube, le **canal déférent**, qui passe dans la cavité abdominale par le canal inguinal.

Production du sperme

Le sperme est un mélange complexe d'un fluide et de spermatozoïdes. Le canal déférent de chaque testicule rejoint un des canaux provenant d'une paire de glandes appelées *vésicules séminales* (voir figure 52.10) ; elles produisent un liquide riche en fructose représentant environ 60 % du volume du sperme. À partir de là, le canal déférent devient le *canal éjaculateur* et entre dans la prostate à la base de la vessie.

Chez l'homme, la **prostate** a la taille approximative d'une balle de golf et une structure spongieuse. Sa sécrétion contribue pour environ 30 % au volume du sperme, qui contient les produits des testicules, le liquide des vésicules séminales et les produits de la prostate. Dans la prostate, le canal éjaculateur rejoint l'urètre sortant de la vessie. L'urètre transporte le sperme en dehors du corps par le pénis. Une paire de

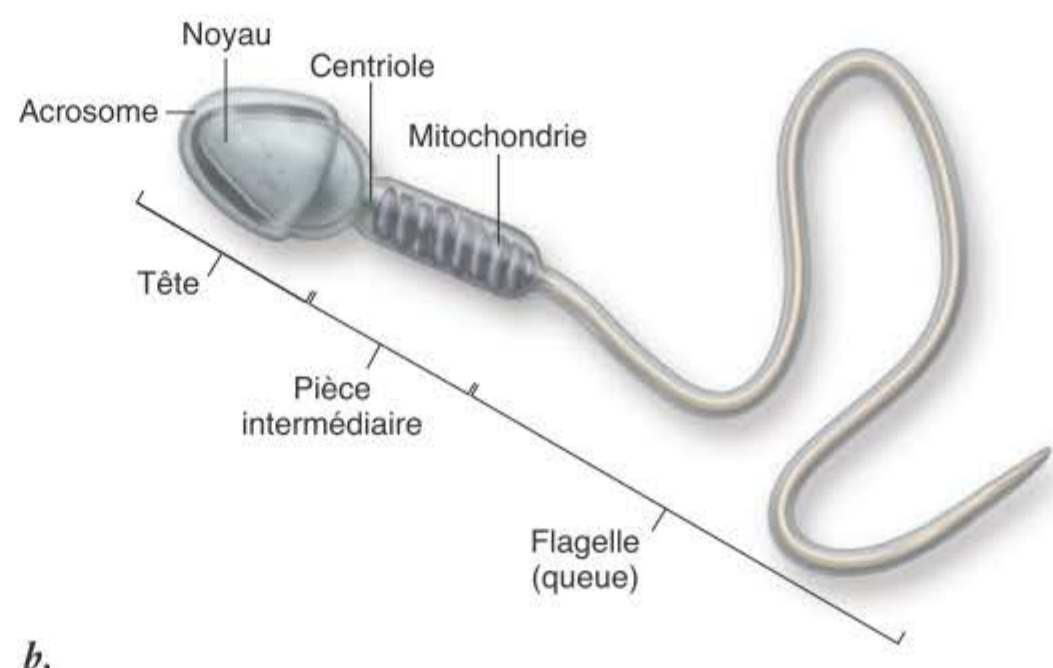


Figure 52.12 Spermatozoïdes humains. *a.* Micrographie prise au microscope électronique à balayage, les spermatozoïdes étant colorés en jaune de manière digitale. *b.* Schéma représentant les principaux composants d'un spermatozoïde.

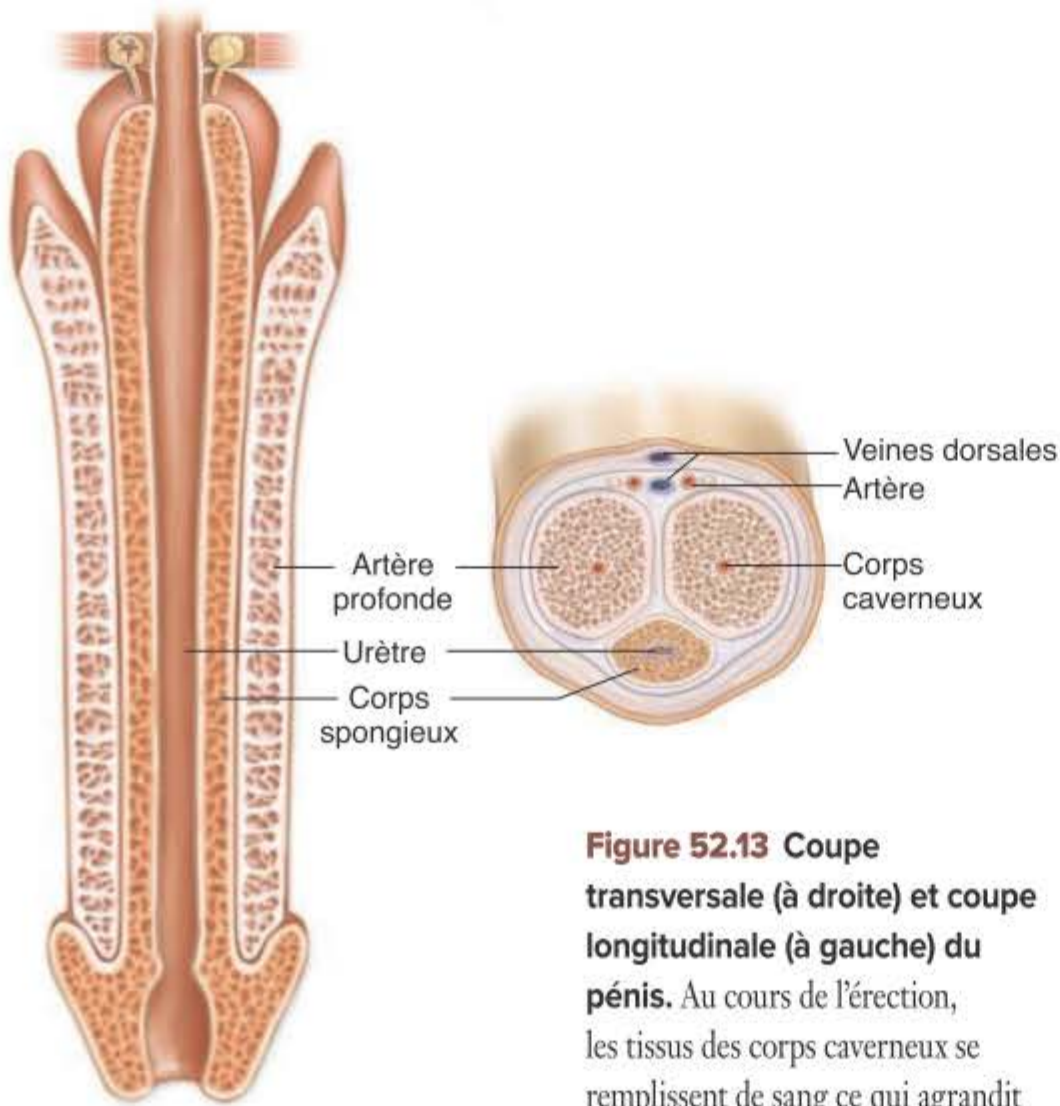


Figure 52.13 Coupe transversale (à droite) et coupe longitudinale (à gauche) du pénis. Au cours de l'érection, les tissus des corps caverneux se remplissent de sang ce qui agrandit le pénis. Le corps spongieux prévient la compression de l'urètre durant

glandes bulbo-urétrales, de la taille de petits pois, sécrète un liquide qui contribue les 10 % restants du sperme ; ce liquide couvre l'urètre et lubrifie la pointe du pénis avant le coït (accouplement sexuel).

Structure du pénis et érection

En plus de l'urètre, le pénis contient deux colonnes de tissus érectiles, les corps caverneux, au long de son côté dorsal, et une colonne, le corps spongieux, au long du côté ventral (figure 52.13 »). L'érection pénienne est déclenchée par des neurones de la partie parasympathique du système nerveux autonome. À la suite de la libération d'oxyde nitrique (NO) par ces neurones, les artéριοles

péniennes se dilatent, et l'afflux sanguin provoque la turgescence du tissu érectile. Cette pression accrue du tissu érectile comprime les veines, et empêche ainsi le sang qui est entré dans le pénis d'en ressortir.

La plupart des mammifères ont un os dans le pénis, qui est appelé un « *baculum* » qui contribue à sa rigidité durant l'érection, mais l'homme en est dépourvu.

Éjaculation

La conséquence de l'érection et d'une stimulation sexuelle continue est l'éjaculation, l'éjection par le pénis d'environ 2-5 ml de sperme contenant une moyenne de 300 millions de spermatozoïdes. Le succès d'une fécondation dépend d'un tel nombre de spermatozoïdes car la probabilité pour un spermatozoïde de rejoindre l'ovule et de le féconder est très faible, et les acrosomes de nombreux spermatozoïdes doivent interagir avec l'ovule avant qu'un seul d'entre eux ne puisse pénétrer dans l'ovule (la fécondation est décrite au chapitre 53). Les mâles avec moins de 20 millions de spermatozoïdes par millilitre sont en général considérés comme infertiles. Malgré ce grand nombre, les spermatozoïdes ne représentent qu'environ 1 % du volume du sperme éjaculé.

Des hormones régulent la fonction reproductrice chez les mâles

Comme nous l'avons vu au chapitre 45, le lobe antérieur de l'hypophyse sécrète deux hormones gonadotropes : la folliculostimuline (FSH) et la lutéotrophine (LH). Bien qu'elles tirent leur nom de leurs activités chez la femme, elles sont également impliquées dans la régulation de la fonction reproductrice chez l'homme (tableau 52.1). Chez les hommes, la FSH stimule l'intervention des cellules de Sertoli dans le développement des spermatozoïdes et la LH stimule la sécrétion de testostérone par les cellules de Leydig.

Le principe de l'inhibition par rétrocontrôle négatif décrit dans les chapitres 47 et 49 s'applique au contrôle de la sécrétion de FSH et de LH (figure 52.14). L'hormone hypothalamique, gonadolibérine (GnRH) stimule la sécrétion de FSH et de LH par le lobe antérieur de l'hypophyse. La FSH fait sécréter par les cellules de Sertoli une hor-

TABLEAU 52.1

Les hormones de la reproduction chez les mammifères

MÂLE	
Folliculostimuline (FSH)	Stimule la spermatogenèse via les cellules de Sertoli
Lutéotrophine (LH)	Stimule la sécrétion de testostérone par les cellules de Leydig
Testostérone	Stimule le développement et le maintien des caractères sexuels mâles secondaires, des organes sexuels accessoires et de la spermatogenèse
FEMELLE	
Folliculostimuline (FSH)	Stimule la croissance des follicules ovariens et la sécrétion d'œstradiol
Lutéotrophine (LH)	Stimule l'ovulation, la conversion des follicules ovariens en corps jaunes, et la sécrétion d'œstradiol et de la progestérone par le corps jaune
Œstradiol (œstrogène)	Stimule le développement et le maintien des caractères sexuels secondaires femelles; prépare chaque mois l'utérus à la gestation
Progestérone	Complète la préparation de l'utérus à la gestation; contribue à maintenir les caractères sexuels secondaires féminins
Ocytocine	Stimule les contractions utérines et le réflexe d'éjection du lait
Prolactine	Stimule la production lactée

Figure 52.14 Les interactions hormonales

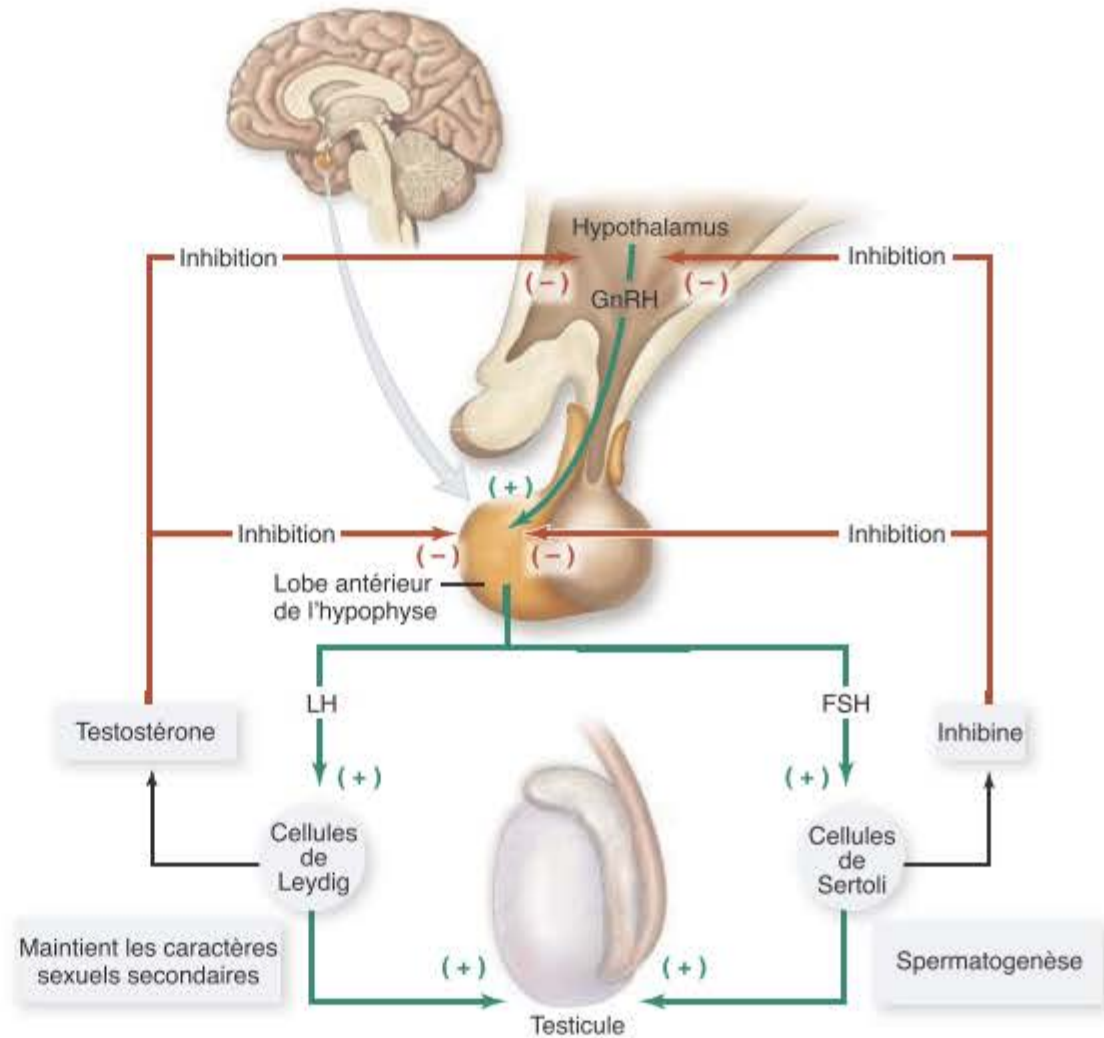
entre les testicules et le lobe antérieur de l'hypophyse.

L'hypothalamus sécrète la GnRH, qui stimule la sécrétion de LH et de FSH par l'hypophyse antérieure. La LH stimule la sécrétion de testostérone par les cellules de Leydig. La testostérone est impliquée dans le développement et le maintien des caractères sexuels secondaires et stimule la spermatogenèse. La FSH stimule les cellules de Sertoli des tubules séminifères, ce qui facilite la spermatogenèse. La FSH stimule aussi la sécrétion d'inhibine par les cellules de Sertoli. La testostérone et l'inhibine, à leur tour, inhibent par un rétrocontrôle négatif les sécrétions respectives de LH et de FSH.

Question Pourquoi pensez-vous que le cerveau est affecté lorsque les testicules sont enlevés chirurgicalement (castration)

Une hormone peptidique appelée inhibine qui freine spécifiquement la sécrétion de FSH. De même, la LH stimule la sécrétion de testostérone, et la testostérone inhibe la libération de LH, toutes deux en agissant directement sur le lobe antérieur de l'hypophyse et indirectement en inhibant la libération de GnRH.

L'importance de l'inhibition par rétrocontrôle négatif peut être démontrée par la résection des testicules ; en absence de testostérone et d'inhibine, la sécrétion de FSH et de LH par le lobe antérieur de l'hypophyse augmente fortement.



Synthèse 52.3

Chacune des spermatogonies bordant les tubules séminifères des testicules passent par une mitose ; une des deux cellules filles passe alors par la méiose pour produire quatre spermatozoïdes haploïdes. Le sperme contient les spermatozoïdes des testicules et le liquide fourni par les vésicules séminales et la prostate. Une stimulation sexuelle cause l'érection du pénis, et une stimulation continue conduit à l'éjaculation du sperme. La production des spermatozoïdes et la sécrétion de testostérone par les testicules sont contrôlées par la FSH et la LH du lobe antérieur de l'hypophyse.

- La sélection naturelle favorise-t-elle les mâles qui produisent plus de spermatozoïdes ? Justifiez votre réponse.

52.4 Structure et fonction du système reproducteur de la femme

Objectifs

1. Décrire la séquence d'événements dans la production d'un ovocyte.
2. Expliquer l'ovulation et le cycle reproducteur de la femme.
3. Expliquer comment les hormones régulent la fonction reproductrice de la femme.

La figure 52.15 montre les structures du système reproducteur de la femme. Les ovaires se développent beaucoup plus lentement que les testicules. En absence de testostérone, l'embryon féminin acquiert un **clitoris** et des grandes lèvres à partir des mêmes structures que celles qui se différencient en un pénis et un scrotum chez l'embryon masculin. C'est pourquoi on dit que le clitoris et le pénis sont des structures homologues, tout comme les grandes lèvres et le scrotum. Le clitoris, comme le pénis, contient des corps caverneux et est donc érectile.

Les ovaires contiennent des structures microscopiques appelées follicules ovariens, qui contiennent chacun un ovule potentiel, appelé un ovocyte primaire, et des cellules plus petites dites **cellules granuleuses**.

À la puberté, les cellules granuleuses commencent à sécréter la principale hormone sexuelle femelle, l'œstradiol (aussi appelé œstrogène), qui déclenche la *ménarche*, le début des cycles menstruels. L'œstradiol stimule également la formation des caractères sexuels secondaires féminins, comprenant le développement des seins et de la

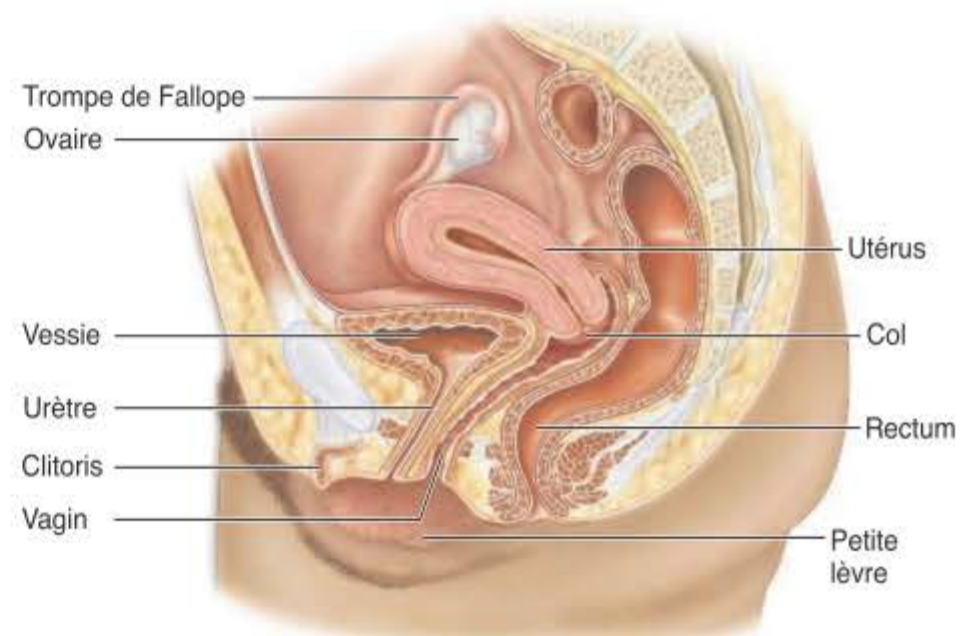


Figure 52.15 Anatomie du système reproducteur de la femme.

Les ovaires sont les gonades, les trompes de Fallope reçoivent l'ovule après l'ovulation et l'utérus est le site de développement de l'embryon si l'ovule est fécondé.

pilosité pubienne. De plus, l'œstradiol et une autre hormone stéroïde, la progestérone, contribuent au bon fonctionnement des organes sexuels accessoires féminins : les trompes de Fallope, l'utérus et le vagin.

Habituellement, un seul ovule est produit par cycle menstruel

À la naissance, les ovaires contiennent environ 1 million de follicules, chacun avec un **ovocyte primaire** qui a commencé sa méiose, mais s'est arrêté en prophase de la première division méiotique. Le développement de certains de ces follicules contenant un ovocyte primaire est stimulé durant chaque cycle. Le cycle menstruel féminin dure environ un mois (28 jours en moyenne) et peut être divisé en termes d'activité ovarienne

en une phase folliculaire et une phase lutéale, les deux phases étant séparées par l'événement de l'ovulation (voir figure 52.16).

Au début de chaque cycle menstruel, un seul follicule dominant émerge du groupe qui a été recruté plusieurs mois plus tôt et continue son développement tandis que les autres follicules de ce groupe s'engagent dans une voie qui les destine à disparaître.

Phase folliculaire

Au cours de la *phase folliculaire*, sous la stimulation par la FSH, le follicule dominant atteint sa pleine maturité comme **follicule tertiaire**, dit de **De Graaf**. Ce follicule forme une bulle à paroi mince à la surface de l'ovaire. L'utérus est couvert d'une membrane épithéliale simple appelée endomètre ; pendant la phase folliculaire, l'œstradiol provoque la croissance de l'endomètre. Cette phase est

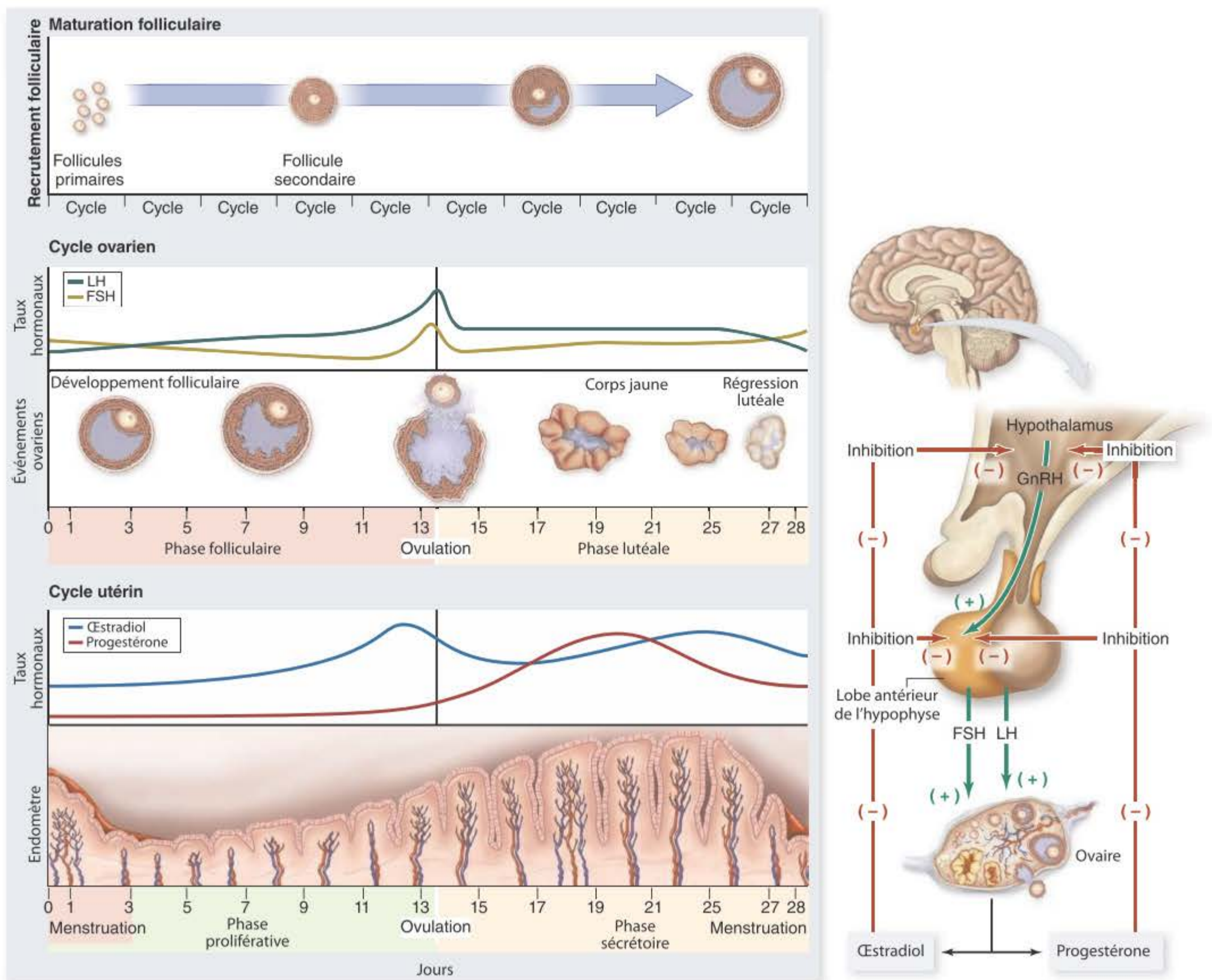


Figure 52.16 Le cycle menstruel humain. À gauche: les taux d'hormones durant le cycle sont corrélés avec l'ovulation (au milieu) et la croissance de la muqueuse endométriale de l'utérus (en bas). La croissance et l'épaississement de l'endomètre sont stimulés par l'œstradiol durant la phase proliférative. L'œstradiol et la progestérone maintiennent et régulent l'endomètre durant la phase sécrétoire. Le déclin des taux de ces deux hormones déclenche la menstruation. Les follicules prennent plusieurs mois pour se développer avant d'être prêts pour l'ovulation (en haut). À droite: la production d'œstradiol et de progestérone est contrôlée par l'hypophyse antérieure par un rétrocontrôle négatif.



Analyse de données À quel moment du cycle menstruel le taux de FSH est-il plus élevé que celui de LH ?

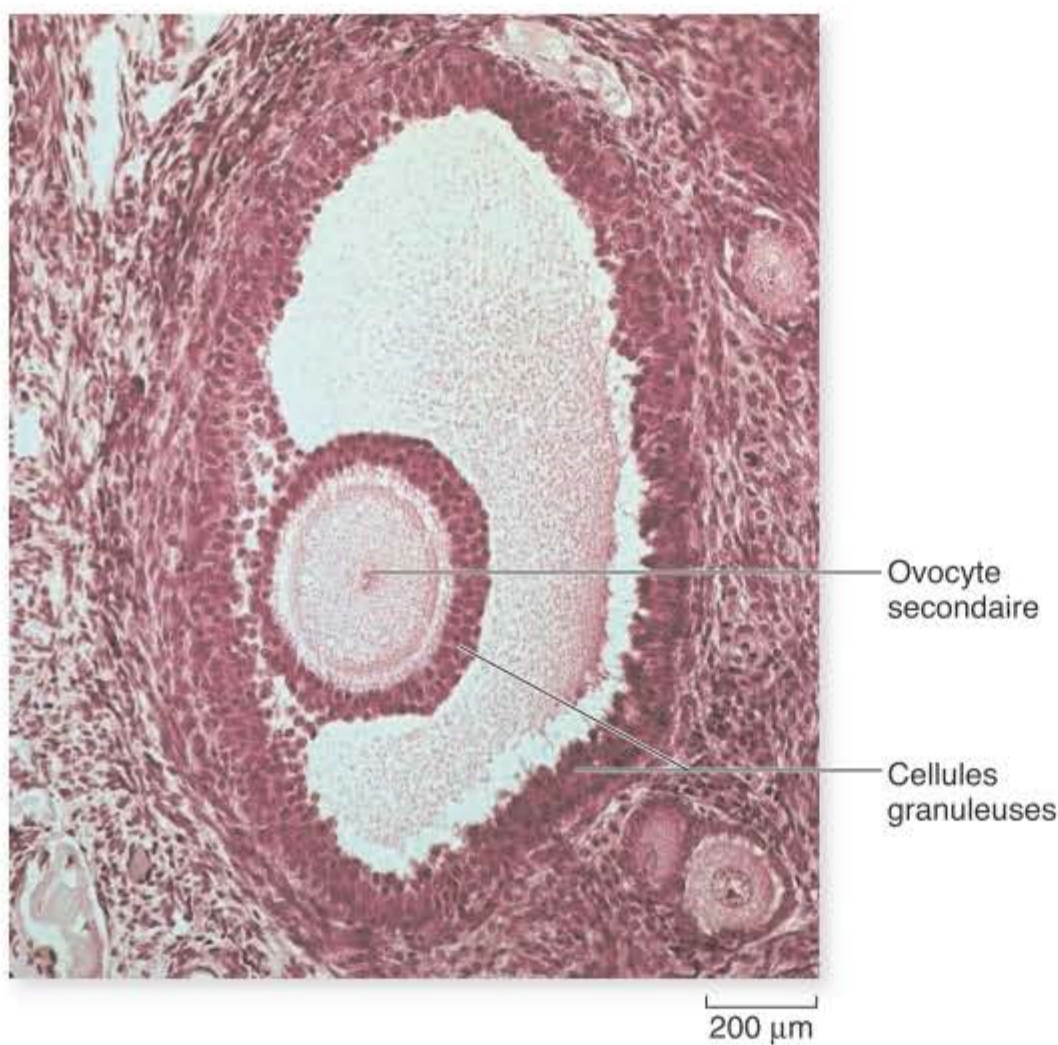


Figure 52.17 Un follicule de de Graaf mature dans l'ovaire d'une chatte. Notez l'anneau de cellules granuleuses qui entourent l'ovocyte secondaire. Cet anneau restera autour de l'ovule après l'ovulation, et les spermatozoïdes doivent se creuser un passage à travers cet anneau pour parvenir à la membrane plasmique de l'ovule.

donc appelée également **phase de prolifération** de l'endomètre (voir figure 52.16).

L'ovocyte primaire dans le follicule de de Graaf termine la première division méiotique durant la phase folliculaire. Au lieu de former deux cellules filles de même taille, il produit une grande cellule fille,

l'ovocyte secondaire (figure 52.17) et une petite cellule appelée **globule polaire**. Ainsi, l'ovocyte secondaire acquiert presque tout le cytoplasme de l'ovocyte primaire (cytocinèse ou cytodierèse inégale), augmentant ses chances de soutenir le jeune embryon si l'ovocyte venait à être fécondé. Le globule polaire, par ailleurs, se désintègre.

L'ovocyte secondaire commence alors la seconde division méiotique, mais sa progression est arrêtée en métaphase II. C'est sous cette forme que l'ovule est libéré par l'ovaire au moment de l'ovulation, et il ne termine la seconde division méiotique que s'il est fécondé dans la trompe de Fallope.

Ovulation

Le taux croissant d'œstradiol dans le sang durant la phase folliculaire stimule la sécrétion de LH par le lobe antérieur de l'hypophyse presque à mi-cycle. Sous cette sécrétion soudaine de LH, l'ovulation survient, c'est-à-dire que le follicule de de Graaf se rompt pour libérer son ovocyte secondaire.

L'ovocyte libéré arrive ainsi dans la cavité abdominale près des *fimbriae*, les franges tissulaires entourant l'ouverture de la trompe de Fallope. Les cellules épithéliales bordant la trompe de Fallope attirent l'ovocyte et le propulsent le long de la trompe jusqu'à l'utérus.

S'il n'est pas fécondé, l'ovocyte se désintègre dans le jour qui suit l'ovulation. S'il est fécondé, le stimulus de la fécondation lui permet de terminer sa seconde division méiotique, et de former un ovule complètement mature et un second globule polaire (figure 52.18). La fusion des noyaux de l'ovule et du spermatozoïde produit un zygote diploïde. La fécondation se déroule normalement dans le tiers supérieur de la trompe de Fallope, et chez la femme, le zygote met approximativement trois jours pour atteindre l'utérus et deux ou trois jours en plus pour s'implanter dans l'endomètre (figure 52.19).

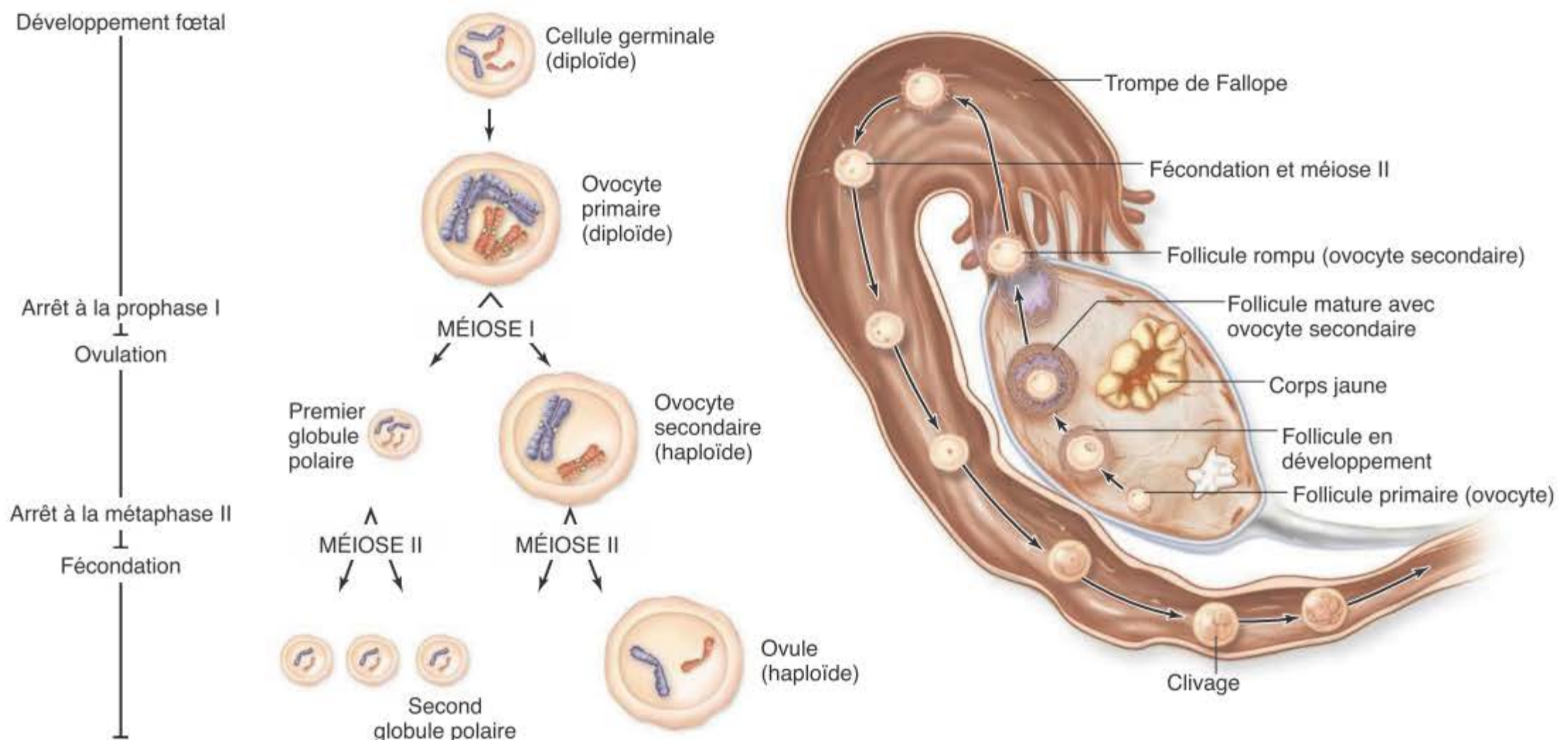


Figure 52.18 Les événements méiotiques au cours de l'ovogenèse humaine. Un ovocyte primaire est diploïde. Après la première division méiotique, un produit de la division, le globule polaire, est éliminé tandis que l'autre, l'ovocyte secondaire est libéré durant l'ovulation. L'ovocyte secondaire n'effectue sa seconde division méiotique qu'après fécondation; cette division fournit un second globule polaire et un seul ovule haploïde. La fusion de l'ovule haploïde avec un spermatozoïde haploïde au cours de la fécondation produit un zygote diploïde.

Phase lutéale

Après l'ovulation, la stimulation par la LH complète le développement du follicule de de Graaf qui se transforme en une structure appelée **corps jaune** (en latin, *corpus luteum*). Pour cette raison, la seconde moitié du cycle menstruel est appelée **phase lutéale**. Le corps jaune sécrète à la fois de l'œstradiol et une autre hormone stéroïde, la progestérone. Durant la phase lutéale, les taux sanguins élevés d'œstradiol et de progestérone exercent un rétrocontrôle négatif sur la sécrétion de FSH et de LH par le lobe antérieur de l'hypophyse (voir figure 52.16). Cette inhibition durant la phase lutéale contraste avec la stimulation exercée par l'œstradiol sur la sécrétion de LH à mi-cycle, qui a déclenché l'ovulation. L'effet inhibiteur de l'œstradiol et de la progestérone sur la sécrétion de FSH et de LH après l'ovulation agit comme un mécanisme contraceptif naturel ; il évite que d'autres follicules ne viennent à maturité et que l'ovulation ne continue.

Durant la phase lutéale du cycle, la combinaison de l'œstradiol et de la progestérone transforme l'endomètre, qui devient plus vascularisé, plus glandulaire et s'enrichit en dépôts de glycogène. En raison de l'aspect et de la fonction glandulaires de l'endomètre, cette partie du cycle est appelée **phase sécrétoire** de l'endomètre. Ces changements préparent la muqueuse utérine à l'implantation de l'embryon.

En absence de fécondation, le corps jaune dégénère à la suite de la diminution des taux de LH et de FSH, vers la fin de la phase lutéale. Il exerce cet effet en sécrétant des hormones (œstradiol et progestérone) qui inhibent la sécrétion de LH, l'hormone nécessaire à sa survie. La disparition du corps jaune est suivie d'une chute abrupte des taux sanguins d'œstradiol et de progestérone à la fin de la phase lutéale, ce qui entraîne la desquamation de la muqueuse endométriale hypertrophiée ainsi que des saignements. Ce processus est appelé *menstruation*, et la partie du cycle durant laquelle elle survient est appelée *phase menstruelle* de l'endomètre.

Si l'ovule est fécondé, la régression du corps jaune et la menstruation subséquente sont évitées par l'intervention du jeune embryon. Ce qu'il réussit à faire en sécrétant la *gonadotrophine chorionique (hCG)*, une hormone semblable à la LH produite par la membrane chorionique de l'embryon. En maintenant le corps jaune, l'hCG maintient des taux élevés d'œstradiol et de progestérone et prévient ainsi la menstruation, qui mettrait fin à la grossesse. Puisque l'hCG provient du chorion embryonnaire et non de la mère, c'est l'hormone qui est détectée dans tous les tests de grossesse.

Mammifères avec des cycles œstraux

Les menstruations ne surviennent pas chez les mammifères avec un cycle œstral. Bien que des cellules se détachent de manière cyclique de l'endomètre de ces mammifères, ils ne saignent pas au cours du processus. Le cycle œstral est divisé en quatre phases : le pro-œstrus, l'œstrus, le metœstrus et le diœstrus, qui correspondent aux phases proliférative, ovulatoire, sécrétoire et menstruelle de l'endomètre au cours du cycle menstruel.

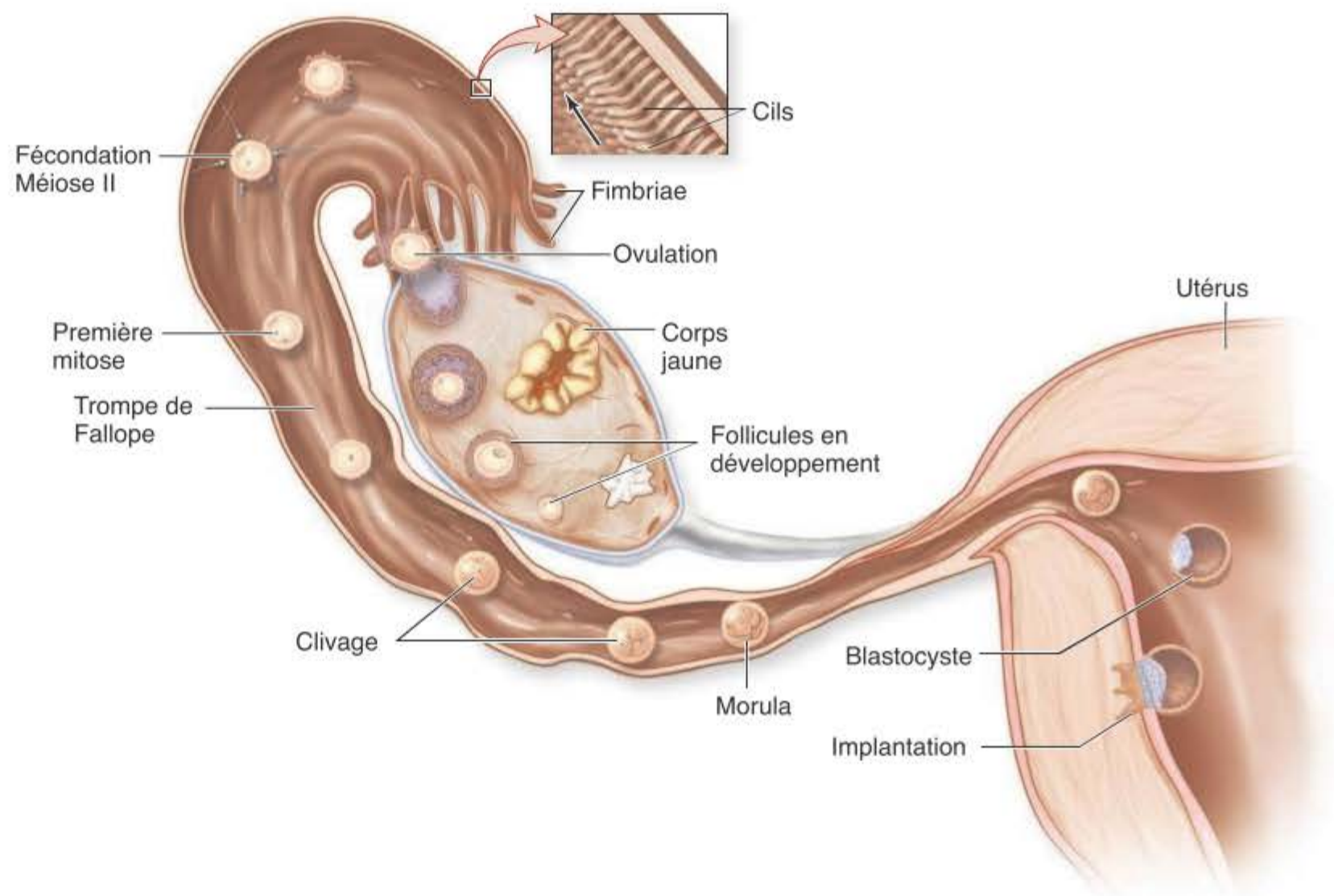
Les organes sexuels accessoires de la femme reçoivent les spermatozoïdes et assurent l'alimentation et la protection de l'embryon

Les trompes de Fallope (appelées aussi oviductes) transportent les ovules des ovaires jusqu'à l'utérus. Chez la femme, l'utérus est un organe musculéux, qui a la forme d'une poire, dont la partie plus étroite constitue le col, qui s'ouvre dans le vagin (figure 52.20a).

L'entrée du vagin est couverte par une membrane appelée *hymen*. Celui-ci peut se rompre à l'occasion d'exercices vigoureux ou lors d'un premier rapport sexuel, qui peut s'avérer douloureux lors de la rupture de l'hymen.

Figure 52.19 Le sort de l'ovule.

Produit dans un follicule et libéré au moment de l'ovulation, l'ovocyte secondaire est attiré dans une trompe de Fallope et transporté par les battements des cils de la paroi de la trompe. Un parmi les spermatozoïdes venant du vagin féconde l'ovocyte secondaire dans la trompe de Fallope, la méiose est complétée et la fécondation de l'ovule résultant se produit dans la trompe de Fallope. Le zygote qui en résulte passe par plusieurs divisions cellulaires mitotiques alors qu'il est encore dans la trompe. Aussi quand il entre dans l'utérus, c'est une sphère cellulaire creuse appelée blastocyste. Celui-ci s'implante dans la paroi de l'utérus, où il poursuit son développement. (Pour plus de clarté, l'ovule et les stades ultérieurs ont été agrandis.)



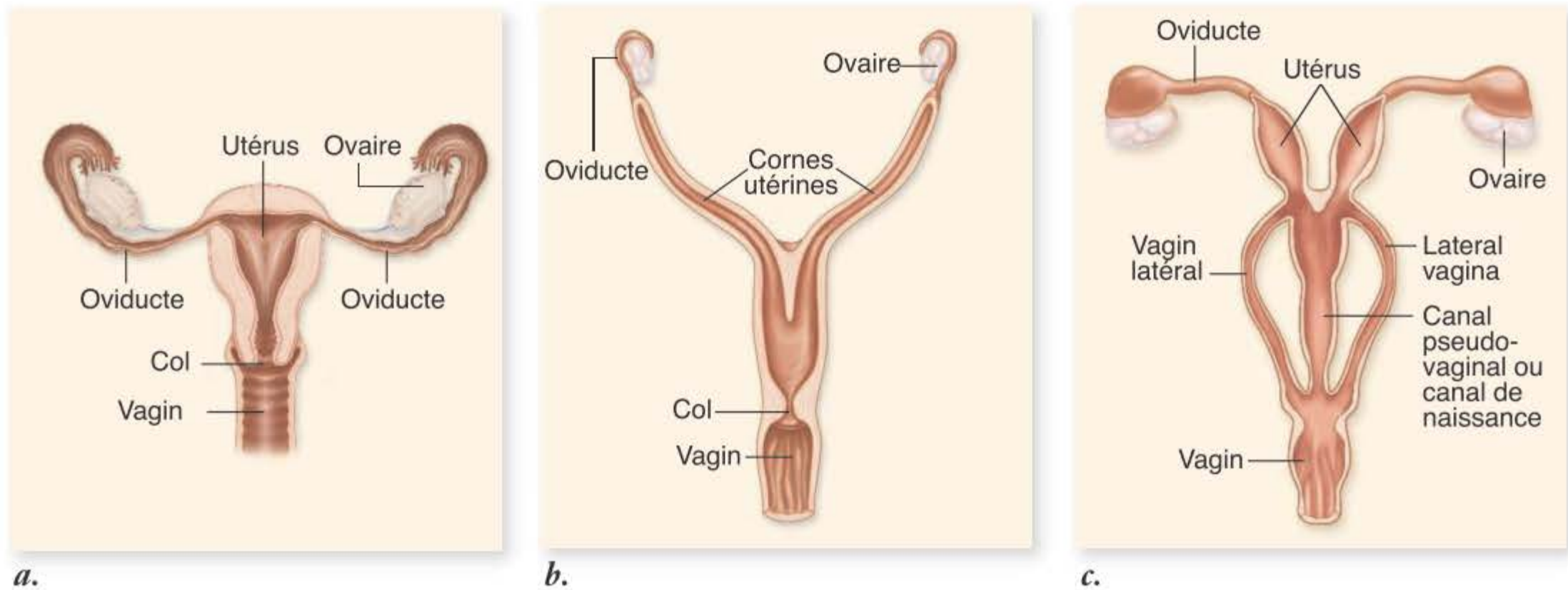


Figure 52.20 Comparaison des utérus mammaliens. *a.* Être humain et autres primates; *(b.)* chats, chiens et bovidés; *(c.)* marsupiaux.

Au cours de l'excitation sexuelle, les petites lèvres, le clitoris et le vagin deviennent gorgés de sang, un peu comme les tissus érectiles de l'homme. Le clitoris a de nombreuses terminaisons nerveuses sensibles ; c'est l'une des zones les plus sensibles et réactives pour l'éveil sexuel chez la femme. À ce moment, les glandes situées près de l'orifice vaginal, appelées glandes de Bartholin, sécrètent un fluide lubrifiant qui facilite l'entrée du pénis. Les spermatozoïdes éjaculés doivent alors parcourir un trajet qui va du vagin jusqu'aux trompes de Fallope pour rencontrer là un ovocyte secondaire et le féconder.

Les mammifères autres que les primates ont un tractus reproducteur femelle plus complexe, dans lequel une partie de l'utérus se divise pour former les « cornes » utérines, chacune menant à un oviducte (figure 52.20*b, c*). Les chattes, les chiennes et les vaches, par exemple, ont un seul col mais deux cornes utérines séparées par un septum, ou paroi. Chez les marsupiaux, comme les opossums, le septum s'étend encore plus loin et le tractus est divisé en deux cornes utérines indépendantes, deux cols et deux vagins. Un marsupial mâle a un pénis fourchu qui peut entrer dans les deux vagins simultanément.

Synthèse 52.4

Les ovocytes primaires se trouvent dans les follicules ovariens. À la puberté, la FSH déclenche le développement de certains ovocytes au cours de chaque cycle menstruel. Une cytokinèse inégale produit un seul œuf et trois globules polaires à partir de chaque ovocyte primaire. Au cours de la phase folliculaire, un follicule dominant mûrit jusqu'à l'ovulation, moment où il libère, sous l'effet de la LH, un ovocyte secondaire. Cet ovocyte ne complète sa division que si la fécondation a lieu. Au cours de la phase lutéale, le développement des autres ovocytes est inhibé. Si la fécondation ne se produit pas, l'endomètre se détache, ce qui entraîne les saignements menstruels.

- *Avoir plus qu'un jeune par portée serait-il favorisé par la sélection naturelle ? Dans quelles conditions ?*

52.5 Contraception et traitements de la stérilité

Objectifs

1. Comparer les différents types de contrôle des naissances.
2. Décrire les causes de fertilité.

Chez la plupart des vertébrés, la copulation est destinée exclusivement à la reproduction. Un comportement réflexif profondément ancré chez les femelles limite la réceptivité sexuelle aux périodes du cycle sexuel où elles sont fertiles. Chez les humains et chez quelques espèces de grands singes, la femelle peut être sexuellement réceptive pendant tout son cycle reproducteur. En conséquence, les rapports sexuels ont acquis une seconde fonction importante : ils consolident le couple en favorisant les relations affectives entre les deux partenaires.

Les rapports sexuels peuvent être une partie nécessaire et importante de la vie émotive des humains. Or, tous les couples humains ne désirent pas que chaque rapport aboutisse à une grossesse. Tout au long de l'histoire, par des moyens variant avec les cultures des peuples, on a tenté de contrôler la reproduction tout en continuant à avoir des rapports sexuels. Éviter une grossesse ou de donner naissance est appelé contrôle des naissances. Physiologiquement, la grossesse commence non à la fécondation mais approximativement une semaine plus tard lorsque l'implantation a réussi. Les méthodes de contrôle des naissances qui agissent avant l'implantation sont habituellement appelées contraception.

Par contre, certains couples désirent avoir des enfants, mais constatent que, pour diverses raisons, la grossesse ne survient pas ; on dit alors que le couple est infertile. Des technologies ont été développées pour aider ces couples à avoir des enfants.



a.



b.



c.



d.

Figure 52.21 Quatre méthodes contraceptives communes. *a.* Condom; *b.* diaphragme et gelée spermicide; *c.* contraceptifs oraux; *d.* acétate de médroxyprogestérone (Depo-Provera).

TABLEAU 52.2 Méthodes de contrôle des naissances				
Méthode	Action	Taux d'échec*	Avantages	Inconvénients
Contraceptifs oraux	Hormones (analogue de la progestérone seul ou combiné à d'autres hormones) qui préviennent surtout l'ovulation	1-5 selon le type	Commode; très efficace; fournit des bénéfices sanitaires significatifs indépendants de l'effet contraceptif, comme la prévention des cancers de l'ovaire et de l'endomètre	Doit être pris régulièrement; possibilité d'effets secondaires mineurs, réduits avec les nouveaux produits; déconseillé aux femmes avec risque cardiovasculaire (surtout les fumeuses de plus de 35 ans)
Condom	Membrane mince qui couvre le pénis et recueille le sperme; les condoms féminins couvrent la paroi vaginale	3-15	Facile à utiliser; efficace; peu coûteux; protège contre certaines maladies sexuellement transmissibles	Requiert une adaptation soigneuse; certaine gêne pour le mettre et l'enlever; peut se détériorer à la conservation
Diaphragme (pessaire)	Capuchon en caoutchouc lisse qui couvre l'entrée de l'utérus et prévient la rencontre des spermatozoïdes avec l'ovule, contient un spermicide	4-25	Pas d'effets secondaires dangereux; fiable si utilisé correctement; assure une certaine protection contre des maladies sexuellement transmissibles et le cancer cervical	Requiert une mise en place soigneuse; certains inconvénients liés à l'insertion et l'élimination; peut être déplacé au cours du rapport
Stérilet (ou dispositif intra-utérin, DIU)	Petit objet en plastique ou métal placé dans l'utérus; prévient l'implantation; certains contiennent du cuivre; d'autres libèrent des hormones	1-5	Commode; très efficace; remplacement non fréquent	Peut causer de la douleur et des saignements excessifs au moment des règles; risque de perforation, d'infection, d'expulsion, de maladie inflammatoire pelvienne et de stérilité; non recommandé pour celles qui auraient l'intention finalement de concevoir ou ne sont pas monogames; dangereux en cas de grossesse
Capuchon cervical	Petit diaphragme qui couvre étroitement le col, empêche les spermatozoïdes d'atteindre l'ovule et contient un spermicide	Probablement semblable à celui du diaphragme	Pas d'effet secondaire dangereux; assez efficace; peut rester en place plus longtemps que le diaphragme	Difficultés dans la mise en place et l'insertion; disponible en nombre limité de tailles
Mousses, crèmes, gels, suppositoires vaginaux	Spermicides chimiques qui sont insérés dans le vagin avant le rapport et qui empêchent les spermatozoïdes d'entrer dans l'utérus	10-25	Peut être utilisé par toute personne non allergique; protège contre certaines maladies sexuellement transmissibles; pas d'effets secondaires connus	Relativement peu fiable; parfois malpropre; doit être utilisé 5-10 minutes avant chaque rapport
Implant (lévonorgestrel; Norplant)	Capsules implantées chirurgicalement sous la peau; elles libèrent lentement une hormone qui bloque l'ovulation	0,03	Très sûr, commode et très efficace; effet prolongé (5 ans); peut avoir, comme les contraceptifs oraux, certains avantages sanitaires autres que contraceptifs	Règles irrégulières ou absentes; intervention chirurgicale mineure nécessaire à l'insertion et à l'élimination; peut laisser une petite cicatrice
Contraceptif injectable (médroxyprogestérone; Depo-Provera)	Injection tous les 3 mois d'une hormone qui est libérée lentement et empêche l'ovulation	1	Commode et très efficace; pas d'effet secondaire sérieux autre que d'abondants saignements menstruels occasionnels	Des études sur animaux suggèrent un risque de cancer, bien que de nouvelles études chez la femme soient des plus encourageantes; abondants saignements menstruels occasionnels

*Le taux d'échec est exprimé par le nombre de grossesses pour 100 usages effectifs par an.

Source: données de l'American College of Obstetricians and Gynecologists: Contraception, Patient Education Pamphlet No. AP005. ACOG, Washington, D.C., 1990.

La contraception a pour but de prévenir la fécondation ou l'implantation

Diverses méthodes, variant par leur efficacité et leur acceptabilité par les différents couples, sont communément utilisées pour prévenir une grossesse (figure 52.21 et tableau 52.2).

L'abstinence

La manière la plus fiable pour éviter une grossesse est de ne pas avoir de rapport sexuel du tout, ce que l'on appelle l'*abstinence*. De toutes les méthodes de contraception, elle est certainement la plus efficace, mais elle est la plus contraignante et la plus difficile à maintenir. Le désir de rapport sexuel est impérieux, et de nombreuses grossesses non désirées surviennent lorsque deux partenaires qui se désirent s'efforcent de rester abstinentes sans y parvenir.

Barrer la voie aux spermatozoïdes

Si les spermatozoïdes ne peuvent atteindre l'utérus, la fécondation ne peut avoir lieu. Une manière de prévenir la libération des spermatozoïdes est d'envelopper le pénis dans la fine membrane d'un condom. Les hommes sont nombreux à regretter cependant la réduction des sensations au cours des rapports. En principe, cette méthode est d'application facile et fiable, mais en pratique elle a un taux d'échec de 3 à 15 % en raison d'un usage incorrect ou erratique. Néanmoins, il s'agit du moyen contraceptif le plus fréquemment utilisé aux États-Unis. Les condoms servent aussi à prévenir la transmission du sida et d'autres maladies sexuellement transmissibles (MST). Plus d'un milliard de condoms sont vendus chaque année aux États-Unis.

Un deuxième moyen d'empêcher l'entrée des spermatozoïdes dans l'utérus est de couvrir le col au moyen soit d'un capuchon qui s'adapte assez étroitement et qui peut être porté pendant plusieurs jours, soit un dôme en caoutchouc appelé diaphragme, qui est mis en place immédiatement avant le rapport. Puisque les cols utérins varient de taille, c'est un médecin qui doit choisir la taille du capuchon ou du diaphragme. Les taux d'échecs sont en moyenne de 4 à 25 % pour les diaphragmes, peut-être à cause d'une certaine maladresse dans leur insertion. Les échecs pour les capuchons cervicaux sont légèrement plus rares.

Détruire les spermatozoïdes

Une troisième méthode générale de contrôle des naissances est l'élimination des spermatozoïdes après éjaculation. On peut réussir en principe en lavant le vagin immédiatement après le rapport avant que les spermatozoïdes n'aient la possibilité d'entrer dans l'utérus. Un tel procédé est appelé une douche ou irrigation vaginale. Il est d'application difficile car il exige une intervention rapide après l'éjaculation et un lavage soigneux. L'irrigation vaginale peut, en fait, favoriser la conception en forçant les spermatozoïdes plus loin dans le vagin et l'utérus, ce qui explique un taux d'échec élevé (40 %).

Par ailleurs, les spermatozoïdes libérés dans le vagin peuvent être détruits localement au moyen de gelées ou de mousses spermicides. Ces traitements requièrent en général une application immédiate avant le rapport. Leurs taux d'échecs varient de 10 à 25 %. L'usage d'un spermicide avec un condom augmente l'efficacité de chaque méthode utilisée indépendamment.

Empêcher l'ovulation

Depuis environ 1960, une méthode répandue de contrôle des naissances aux États-Unis a été la prise quotidienne par les femmes de la pilule contracep-

tive, qui contient des analogues de progestérone, parfois associés à des œstrogènes. Comme dit plus haut, la progestérone et l'œstradiol inhibent par rétrocontrôle négatif la sécrétion de FSH et de LH au cours de la phase lutéale du cycle ovarien, empêchant ainsi le développement folliculaire et l'ovulation. Ils causent aussi un épaissement de l'endomètre. Les hormones dans les pilules contraceptives exercent les mêmes effets. Puisqu'elles bloquent l'ovulation, aucun ovule ne peut être fécondé.

Une femme prend en général les pilules hormonales pendant trois semaines ; durant la quatrième semaine, elle prend des pilules sans hormones, permettant aux taux sanguins de ces hormones de chuter, ce qui cause la menstruation.

Les contraceptifs oraux fournissent un moyen contraceptif très efficace, avec un taux d'échec de 1 à 5 % seulement. Dans une variante de la contraception orale, les capsules contenant l'hormone sont implantées sous la peau. Cette méthode a un taux d'échec inférieur à 1 %.

Un petit nombre de femmes recourant aux pilules contraceptives ou aux implants souffre d'effets secondaires, comme une augmentation de la coagulabilité sanguine et des nausées, mais les nouvelles générations de pilules contraceptives, qui contiennent moins d'œstrogène et différents analogues de progestérone, donnent moins d'effets secondaires. De plus, ces nouveaux contraceptifs oraux offrent divers avantages, entre autres une réduction du risque de cancer endométrial et ovarien, de maladie cardiovasculaire et d'ostéoporose (pour les femmes plus âgées). Cependant, ils peuvent augmenter le risque de cancer du sein ou du col.

Les risques liés à la prise de contraceptifs oraux augmentent quelque peu chez les femmes qui fument et augmentent fortement chez les femmes fumeuses de plus de 35 ans. Le consensus actuel est que, pour de nombreuses femmes, les bénéfices sanitaires des contraceptifs oraux dépassent leurs risques, mais un médecin devrait aider chaque femme à peser les risques relatifs et les bénéfices.

Empêcher l'implantation de l'embryon

L'insertion dans l'utérus d'un dispositif pouvant avoir diverses formes, par ex. d'anneau ou de T, et appelé stérilet, est un moyen contraceptif efficace. En irritant l'endomètre, il empêche l'implantation d'un embryon dans la paroi utérine. De tels dispositifs intra-utérins (DIU) ont un faible taux d'échecs, 1 à 5 %. Leur grande efficacité reflète probablement leur commodité : une fois insérés, ils peuvent être oubliés. Le grand inconvénient de ce procédé est qu'un tiers des femmes qui essaient le port d'un stérilet souffrent de crampes, de douleurs et parfois de saignements et doivent dès lors renoncer à cette méthode. Il y a aussi un risque d'infection utérine lié à l'insertion d'un DIU.

Un autre moyen d'empêcher l'implantation de l'embryon est la « pilule du lendemain ». La pilule, qui contient 50 fois la dose d'œstrogène présente dans les pilules contraceptives, agit en bloquant temporairement le développement de l'ovule, en évitant la fécondation ou en empêchant l'implantation de l'embryon. Le taux d'échec est de 1 à 10 %.

De nombreuses femmes sont mal à l'aise devant la prise d'une telle dose élevée d'hormone, car les effets secondaires peuvent être graves. La « pilule du lendemain » n'est pas recommandée comme méthode régulière de contraception, mais est considérée plutôt comme un procédé d'urgence.

Stérilisation

Un moyen tout à fait efficace de contrôle des naissances est la stérilisation par résection chirurgicale de segments des conduits qui transportent les gamètes à partir des gonades (figure 52.22). C'est un moyen de contraception efficace à près de 100 %. La stérilisation peut être appliquée à l'homme en empêchant les spermatozoïdes de rejoindre les sécrétions séminales ou à la femme en empêchant l'ovule d'atteindre l'utérus.

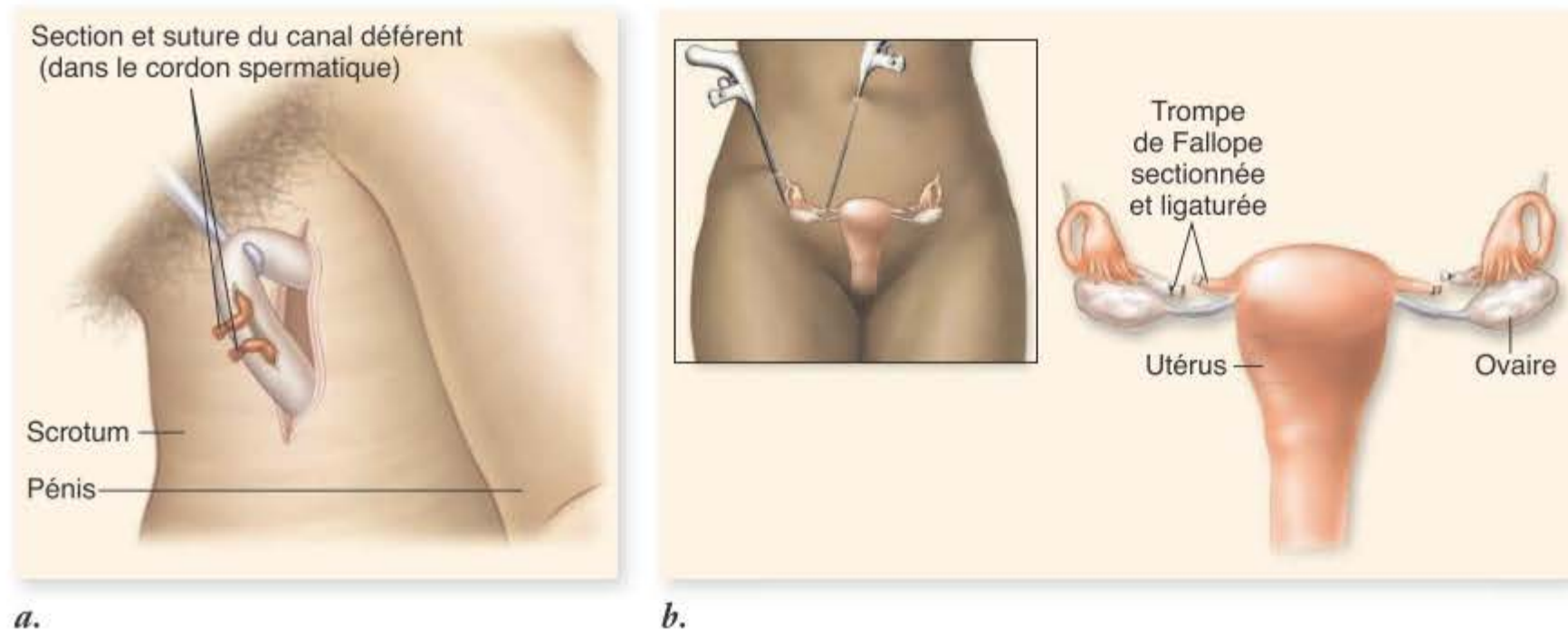


Figure 52.22
Contrôle des naissances
par stérilisation.
a. Vasectomie; *b.* ligature
 des trompes.

Chez l'homme, la stérilisation consiste en une vasectomie, c'est-à-dire la résection d'une portion de canal déférent de chaque testicule. Chez la femme, c'est un segment de chaque trompe de Fallope qui est réséqué. Dans de très rares cas, il est possible que les tubes se reconstituent, restaurant la fécondité ; ce qui survient plus fréquemment après une vasectomie. Néanmoins, dans les deux cas, cela survient très rarement, mais on explique ainsi pourquoi ces méthodes n'atteignent pas tout à fait 100 % d'efficacité. En cas de regret, on peut rétablir chirurgicalement la perméabilité des conduits, mais, après vasectomie, l'intervention est à la fois coûteuse et souvent infructueuse.

L'infertilité peut atteindre les hommes comme les femmes

La stérilité est définie comme l'incapacité de concevoir après 12 mois de rapports sexuels sans contraception. Dans environ 40 % des cas, l'incapacité à concevoir est due à des anomalies du côté masculin avec environ 45 % en raison d'anomalies du côté féminin, 15 % des cas restant inexplicables (infertilité idiopathique). Compte tenu de ces statistiques générales, il est clair qu'en dépit de nombreuses études nous avons encore beaucoup à apprendre sur la fécondité humaine.

Infertilité féminine

La stérilité peut survenir chez une femme à la suite d'une perturbation survenue à partir de n'importe quel stade de la production d'un ovocyte jusqu' à l'implantation du zygote. Les troubles les plus courants sont des échecs de l'ovulation et certains blocages mécaniques empêchant la fécondation ou l'implantation.

La principale cause de l'infertilité dans le monde entier est une maladie inflammatoire pelvienne (MIP). Elle peut faire suite à diverses infections bactériennes qui aboutissent toutes à l'obstruction des trompes de Fallope. Le passage est ainsi empêché pour les spermatozoïdes ou pour les ovules fécondés.

L'endométriose, la présence de tissu endométrial ectopique, peut conduire à la stérilité par un mécanisme semblable à la MIP. Le corps réagit au tissu ectopique en essayant de le cloisonner par du tissu cicatriciel, dont l'accumulation peut alors empêcher le transfert dans l'utérus des ovules fécondés.

Une autre cause fréquente de stérilité chez les femmes est l'âge, ou un échec ovarien prématuré (EOP). La fécondité diminue de façon importante chez les femmes avec l'âge, et l'incidence de certaines ano-

malies génétiques causées par la non disjonction des chromosomes augmente (voir le chapitre 13). Si, chez une femme de moins de 40 ans, la réserve d'ovocytes est réduite, le diagnostic d'EOP peut être posé.

Une perturbation du contrôle hormonal normal de l'ovulation, dont il a été question plus tôt, est également une cause fréquente de stérilité féminine. Une diminution des taux de GnRH va perturber l'ovulation, une affection appelée hypogonadisme hypogonadotrophique. Cela peut se produire à la suite de lésions dans l'hypothalamus ou l'hypophyse, ou par tout autre trouble qui affecte les taux normaux des hormones hypothalamiques. Par exemple, le diabète, une maladie de la thyroïde et une production excessive d'androgènes surrénaliens peuvent perturber le fonctionnement du rétrocontrôle hormonal hypothalamique, entraînant une diminution de la production de GnRH et la stérilité. Un excès d'exercices physiques et l'anorexie peut aussi conduire à des taux réduits de GnRH et causer une stérilité.

Les déséquilibres hormonaux peuvent également survenir durant la phase lutéale. L'insuffisance de progestérone pendant la phase lutéale réduit l'épaississement de la paroi utérine. Si la paroi utérine est mal préparée, l'implantation ne peut pas se produire ou peut conduire à un risque accru d'avortement spontané.

Infertilité masculine

La stérilité chez les hommes peut être due à une diminution du nombre, de la viabilité ou de la motilité des spermatozoïdes dans l'éjaculat. Elle peut être due à diverses causes allant d'une infection à des déséquilibres hormonaux. Les investigations chez l'homme sont plus faciles puisque la collecte du sperme est non invasive. Les spermatozoïdes peuvent être facilement examinés pour leur viabilité, leur morphologie et leur motilité.

La stérilité peut résulter de réactions auto-immunitaires dirigées contre les spermatozoïdes, conduisant à leur perte, ainsi que d'anomalies de l'ensemble des glandes qui contribuent à la production du sperme. Une lésion des canaux déférents ou des tubules séminifères peut également être cause de stérilité. Tout ce qui perturbe le processus de maturation du sperme peut également être en cause.

Toutes les causes possibles ayant été écartées, il reste jusqu'à 5 % d'hommes chez qui la stérilité reste inexplicée (idiopathique). La cause pourrait être génétique car les chiffres semblent être similaires à travers le monde malgré des environnements différents. Il faut savoir que, chez la mouche drosophile, il y aurait jusqu'à 1500 gènes récessifs qui contribueraient à la fécondité des mâles. Des études sont en cours sur le génome humain pour rechercher des gènes similaires.

Le traitement de l'infertilité fait souvent appel à des techniques de procréation assistée

Deux méthodes de base peuvent traiter la stérilité : le traitement hormonal et les technologies de reproduction assistée. On dispose actuellement de technologies dont le nombre et la diversité ne cessent d'augmenter.

Traitement hormonal

Dans le cas d'infertilité féminine due à des troubles ovulatoires, le traitement vise à produire des taux élevés de FSH et de LH à un point unique au cours du cycle menstruel normal. Compte tenu de la complexité de la régulation hormonale du cycle, il n'est pas surprenant que cela puisse être réalisé de diverses manières. Le médicament le plus fréquemment utilisé est le clomiphène, qui est un inhibiteur compétitif du récepteur des œstrogènes. Il interfère avec la boucle de rétroaction négative contrôlant la production d'œstradiol par les ovaires et par conséquent augmente les taux de FSH et de LH. En cas d'échec, les gonadotrophines peuvent être injectées pour stimuler l'ovulation.

Techniques d'assistance médicale à la procréation

La méthode la plus simple pour aider la reproduction est d'utiliser l'insémination artificielle, un processus par lequel les spermatozoïdes sont introduits dans l'appareil reproducteur féminin artificiellement. Ce procédé est largement utilisé pour la reproduction des animaux domestiques, mais l'est également en médecine humaine. Une extension est l'introduction artificielle des spermatozoïdes et de l'ovule par une technique appelée transfert tubaire des gamètes, ou GIFT (*gametic intrafallopian transfer*).

La naissance du premier « bébé éprouvette » en 1978 a été saluée comme le début d'une nouvelle ère de la technologie en matière de reproduction. Même les pionniers n'ont peut-être pas envisagé jusqu'où cette technologie allait conduire. La technique de base de la fécondation externe est appelée *fécondation in vitro* (FIV), et le transfert de l'embryon

est appelé simplement *transfert d'embryon*. Lorsque les spermatozoïdes sont incapables de féconder un ovule in vitro, ils peuvent être injectés directement dans les ovules, c'est l'injection intracytoplasmique d'un spermatozoïde (ICSI, *intracytoplasmic sperm injection*).

Un inconvénient d'une grande partie de cette technologie est la grossesse multigémellaire. L'explication se trouve dans la pratique courante du transfert de plusieurs embryons dans l'espoir qu'au moins un des implants se développera normalement. Avec les progrès dans la compréhension du développement humain, il est possible de surveiller la croissance précoce de l'embryon afin de sélectionner les « meilleurs » et donc d'en transférer moins afin de réduire les naissances multiples.

Il est également possible de congeler le sperme, les ovules et même des embryons humains afin de réduire le nombre de techniques invasives comme le prélèvement des ovocytes. Toutes les combinaisons possibles, que ce soient les ovules, le sperme ou les embryons qui aient été congelés, se sont avérées efficaces, ce qui permet le transfert d'un seul embryon tandis que les autres obtenus par fécondation in vitro sont conservés congelés. Si le premier embryon transféré ne s'implante pas, alors un autre pourra être décongelé et transféré.

Synthèse 52.5

Une grossesse peut être évitée par diverses méthodes contraceptives, comprenant l'abstinence, les barrières aux spermatozoïdes, l'inhibition hormonale et la stérilisation chirurgicale. Certaines méthodes sont plus sensibles à l'erreur humaine que d'autres et ont donc un taux de succès moindre. L'infertilité peut être traitée par des manipulations hormonales qui induisent l'ovulation ou par le recours à des techniques d'assistance à la procréation. Celle-ci comprennent la fécondation in vitro et l'injection intracytoplasmique d'un spermatozoïde.

- Pourquoi n'existe-t-il pas de pilule contraceptive pour les hommes ?



Résumé

52.1 Stratégies de reproduction chez les animaux

La reproduction asexuée est possible.

La reproduction sexuée implique la production par la méiose de gamètes haploïdes (ovules et les spermatozoïdes). Ceux-ci s'unissent à la fécondation pour produire un zygote diploïde.

La reproduction asexuée produit une descendance ayant les mêmes gènes que l'organisme parental.

En cas de bourgeonnement, une partie d'un individu se sépare et se développe en un nouvel individu identique. Dans la parthénogenèse, les femelles produisent une progéniture à partir d'œufs non fécondés.

Dans certaines espèces, des individus peuvent être à la fois mâles et femelles

Dans l'hermaphrodisme, un individu a des testicules et des ovaires (de manière simultanée) ou peut changer de sexe (de manière séquentielle).

Le sexe peut être déterminé génétiquement ou dépendre de l'environnement.

Chez certains animaux, la température à laquelle un embryon est exposé détermine son sexe. Chez les mammifères, le sexe est déterminé génétiquement par la présence ou l'absence du chromosome Y (voir figure 52.3).

52.2 Fécondation et développement chez les vertébrés

La fécondation interne a conduit à trois stratégies pour le développement de la progéniture.

Chez les vertébrés à fécondation interne, il existe trois modes de développement : l'oviparité, l'ovoviviparité et la viviparité. La fécondation interne et la viviparité et ovoviviparité ont évolué à de nombreuses reprises.

Chez la plupart des poissons et des amphibiens, la fécondation est externe.

La plupart des poissons et des amphibiens libèrent des ovules et des spermatozoïdes dans l'eau, où les gamètes s'unissent par hasard. Peu d'œufs fécondés arrivent à maturité.

Chez les reptiles et les oiseaux, la fécondation est interne.

Les embryons de reptiles et d'oiseaux se développent d'abord dans une cavité remplie de liquide entouré par l'amnios, de membranes extraembryonnaires et d'une coquille pour prévenir la dessiccation.

Les mammifères en général ne pondent pas d'œufs, mais donnent naissance à leurs jeunes.

Les mammifères sont aussi amniotiques, mais la plupart des espèces sont vivipares. La plupart des mammifères ont un cycle œstral, mais les primates ont un cycle menstruel.

52.3 Structure et fonction du système reproducteur de l'homme

Les spermatozoïdes sont produits par millions.

Des spermatozoïdes haploïdes sont produits par la méiose des spermatogonies avec la contribution de cellules de Sertoli (voir figure 52.11). Chaque spermatogonie produit quatre spermatozoïdes. Un spermatozoïde comporte trois parties : une tête avec un acrosome, une partie intermédiaire contenant des mitochondries et une queue flagellaire.

Les organes sexuels accessoires mâles servent au transfert des spermatozoïdes.

Le sperme est un mélange complexe de spermatozoïdes et de fluides provenant des vésicules séminales, de la prostate et des glandes bulbo-urétrales.

L'urètre pénien transporte le sperme et l'urine et contient deux colonnes de tissu érectile, des vaisseaux sanguins et des nerfs (voir figure 52.13). L'éjaculation est l'expulsion par le pénis du sperme sous l'effet de contraction des muscles lisses.

Des hormones régulent la fonction reproductrice chez les mâles.

La fonction reproductrice masculine est contrôlée par les hormones FSH et LH et une boucle de rétroaction négative (voir figure 52.14, tableau 52.1).

52.4 Structure et fonction du système reproducteur de la femme.

Habituellement, un seul ovule est produit par cycle menstruel.

Le clitoris et les grandes lèvres ont la même origine embryonnaire que le pénis et le scrotum. Ils se développent en absence de testostérone.

Chez les femmes adultes, la FSH stimule le développement d'un follicule, qui produit à son tour de l'œstrogène. La LH déclenche l'ovulation et stimule le développement du corps jaune, qui produit de la progestérone et plus d'œstrogène. L'œstrogène et la progestérone sont nécessaires pour le développement et le maintien de la muqueuse utérine (voir figure 52.16).

Le cycle ovarien comporte trois phases : la phase folliculaire, l'ovulation et la phase lutéale. Le cycle utérin a trois phases qui reflètent le cycle ovarien : les menstruations, la prolifération et la sécrétion.

À la naissance, tous les ovocytes primaires sont arrêtés à la première division méiotique. Chaque ovocyte est capable de produire un ovule et deux corpuscules polaires. Chaque mois, un ovocyte termine la méiose I. Cet ovocyte secondaire commence la seconde division méiotique mais s'arrête jusqu'à ce qu'il soit fécondé (voir figure 52.18).

Un œuf fécondé, ou zygote, se développe en un blastocyste et s'implante dans la paroi de l'utérus. Là, il produit de l'hCG, qui maintient le corps jaune et prévient les menstruations.

Si la fécondation et l'implantation n'ont pas lieu, la production d'hormones baisse, ce qui cause la desquamation de l'endomètre utérin au cours de la menstruation.

Les organes sexuels accessoires de la femme reçoivent les spermatozoïdes et assurent l'alimentation et la protection de l'embryon.

Les trompes de Fallope transportent les ovules des ovaires dans l'utérus. Le vagin reçoit le sperme, qui entre dans l'utérus par le col (voir figure 52.20). D'autres organes féminins sont impliqués dans la réponse sexuelle.

52.5 Contraception et traitements de l'infertilité.

La contraception a pour but de prévenir la fécondation ou l'implantation.

On peut éviter une grossesse par l'abstinence, en empêchant les spermatozoïdes d'atteindre l'ovule, en les détruisant après l'éjaculation, par prévention de l'ovulation ou de l'implantation embryonnaire ou par stérilisation. Dans la pratique, certaines méthodes sont plus efficaces que d'autres.

L'infertilité peut atteindre les hommes comme les femmes.

Les causes d'infertilité féminine vont d'un échec dans la production d'ovocytes à un échec d'implantation du zygote. L'infertilité masculine est généralement due à une réduction du nombre, de la viabilité ou de la motilité des spermatozoïdes, d'un déséquilibre hormonal ou de lésions du tractus transférant le sperme.

Le traitement de l'infertilité fait souvent appel à des techniques de procréation assistée.

Un traitement hormonal peut être utilisé pour corriger les troubles de l'ovulation ou de la production de sperme. Les techniques d'aide à la procréation comprennent l'insémination artificielle, la fécondation in vitro et le transfert d'embryon ou l'injection intracytoplasmique d'un spermatozoïde.



Questions

COMPRENDRE

1. Vous avez découvert un nouvel organisme vivant dans les flaques laissées par la marée sur votre plage préférée. De temps en temps, un des appendices de la créature se détache et croît progressivement pour former un organisme identique au premier. Ceci est un exemple de
 - a. reproduction sexuée.
 - b. fission
 - c. bourgeonnement.
 - d. parthénogenèse.
2. Si vous décidez que l'organisme que vous avez découvert dans la question précédente utilise la parthénogenèse, que connaissiez-vous aussi à propos de cette espèce ?
 - a. Elle est asexuée.
 - b. Tous les individus sont des femelles.
 - c. Chaque individu se développe à partir d'un ovule non fécondé.
 - d. Toutes ces affirmations sont correctes.

3. Lequel des termes suivants décrit votre premier stade comme organisme diploïde ?
 - a. Spermé
 - b. Œuf
 - c. Gamète
 - d. Zygote
 4. Laquelle des structures suivantes est le site de la spermatogenèse ?
 - a. Prostate
 - b. Glande bulbo-urétrale
 - c. Urètre
 - d. Tubules séminifères
 5. La FSH et la LH sont produites par
 - a. les ovaires.
 - b. les testicules.
 - c. l'hypophyse antérieure.
 - d. les glandes surrénales.
 6. La gamétogenèse exige la conclusion de la méiose II. Quand cela se produit-il chez les femmes ?
 - a. Au cours du développement fœtal
 - b. Au début de la puberté
 - c. Après la fécondation
 - d. Après l'implantation
 7. Des mutations qui affectent des protéines de l'acrosome supprimeraient laquelle de ces fonctions ?
 - a. Fécondation
 - b. Locomotion
 - c. Méiose
 - d. La production de sperme
 8. Chez les humains, la fécondation se déroule dans _____, et l'implantation du zygote a lieu dans _____.
 - a. les tubes séminifères ; l'utérus
 - b. le vagin ; l'oviducte
 - c. l'oviducte ; l'utérus
 - d. l'urètre ; utérus
 9. Les testicules des mammifères mâles sont suspendus dans le scrotum car
 - a. la température optimale pour la production de spermatozoïdes est inférieure à la température normale du reste du corps.
 - b. la température optimale pour la production de spermatozoïdes est plus élevée que la température normale du reste du corps.
 - c. il n'y a pas assez de place dans la région pelvienne pour les testicules.
 - d. il est plus facile pour le corps d'expulser le sperme durant l'éjaculation.
- a. La spermatogenèse implique la méiose, et l'ovogenèse implique la mitose.
 - b. La spermatogenèse est continue, mais l'ovogenèse est variable.
 - c. La spermatogenèse produit moins des gamètes par précurseur cellulaire que l'ovogenèse.
 - d. Toutes les réponses sont des différences significatives entre l'ovogenèse et la spermatogenèse.
3. Dans les espèces dont le sexe est déterminé par l'environnement
 - a. le sexe est déterminé durant le développement embryonnaire.
 - b. les conditions environnementales déterminent le sexe d'un individu.
 - c. elles sont toutes hermaphrodites.
 - d. les réponses a et b sont correctes.
 4. Les fécondations interne et externe diffèrent par le fait que toutes les espèces qui
 - a. produisent un œuf amniotique ont une fécondation interne.
 - b. ne produisent pas un œuf amniotique ont une fécondation externe.
 - c. produisent des jeunes vivants ont un pénis ou un autre organe copulateur.
 - d. pondent des œufs sont des fécondateurs externes.

RÉVISION

1. Supposons que le gène SRY soit muté avec la conséquence que l'embryon mâle ne puisse produire une protéine fonctionnelle. Quels types de changements vous attendez-vous à constater chez l'embryon ?
2. Pourquoi pensez-vous que les amphibiens et de nombreux poissons ont une fécondation externe, alors que les lézards, les oiseaux et les mammifères recourent à la fécondation interne ?
3. En quoi les fonctions de la FSH et de la LH sont-elles similaires chez les mammifères mâles et femelles ? En quoi sont-elles différentes ?
4. Vous êtes intéressé au développement d'un contraceptif qui bloque les récepteurs de hCG. Sera-t-il efficace ? Pourquoi oui ou pourquoi non ?
5. Pourquoi tous les parents parthénogénétiques sont-ils des femelles ?

APPLIQUER

1. La principale différence entre un cycle œstral et un cycle menstruel est que
 - a. la femelle n'est sexuellement réceptive qu'au moment de l'ovulation dans le cycle œstral, mais elle peut l'être à tout moment dans le cycle menstruel.
 - b. les reptiles ont des cycles œstraux, alors que les mammifères ont des cycles menstruels.
 - c. les cycles œstraux sont déterminés par la FSH, mais les cycles menstruels sont déterminés par la LH.
 - d. les cycles œstraux sont mensuels, alors que les cycles menstruels sont sporadiques.
2. Lequel des énoncés suivants est une différence majeure entre spermatogenèse et ovogenèse ?