

## La reproduction des êtres vivants

### 1) Introduction

Tout être vivant, par acception du terme, doit se diviser et/ou se reproduire (exception faite par exemple de certains hybrides stériles comme le mulet)

Le résultat final de ce processus de division est la production d'une cellule-fille ayant les mêmes propriétés génétiques que la cellule-mère .

La pérennité des êtres vivants est assurée par 2 processus fondamentaux

- a) **La division cellulaire** : elle permet un accroissement « numérique »
- b) **L'union des cellules** qui est le résultat de l'expression de la sexualité

### 2) Les types de reproduction

Dans le monde vivant , il existe deux types de reproduction principales :

- 1) **La reproduction sexuée** : l'être vivant se développe à partir d'une cellule reproductrice femelle (♀) : la fécondation donnant généralement une autre combinaison de gènes (ou combinaison allélique) exemple les mammifères,...
- 2) **La reproduction asexuée** : le nouvel organisme se développe à partir d'un fragment de l'organisme parental resté totipotent (ayant gardé toutes ses possibilités génétiques pour reformer un organisme semblable à partir d'une seule cellule ou de plusieurs cellules) ex : les amibes, certains végétaux se propageant par bulbes , ..

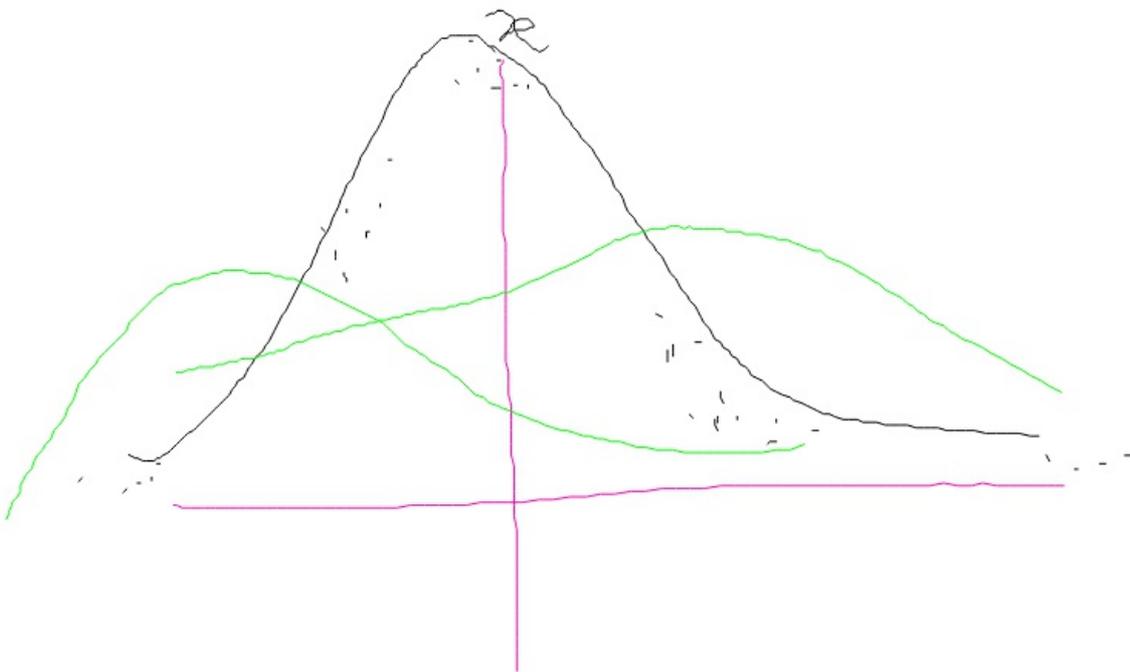
Quoiqu'il en soit , les cellules se divisent suivant deux grandes catégories de divisions :

- La division gardant le même nombre de chromosomes ou Mitose (appelée aussi division équationnelle)
- La division qui « réduit » le nombre de chromosomes ou Méiose (appelée aussi division réductionnelle puisque le nombre de chromosomes diminue)  
( la méiose se passe dans les cellules sexuelles ) et conduit à la production de cellules « sexuelles » appelées « gamètes » (ils sont soit mâles ou femelles : il

$$\underline{L_a = \phi}$$

Permet

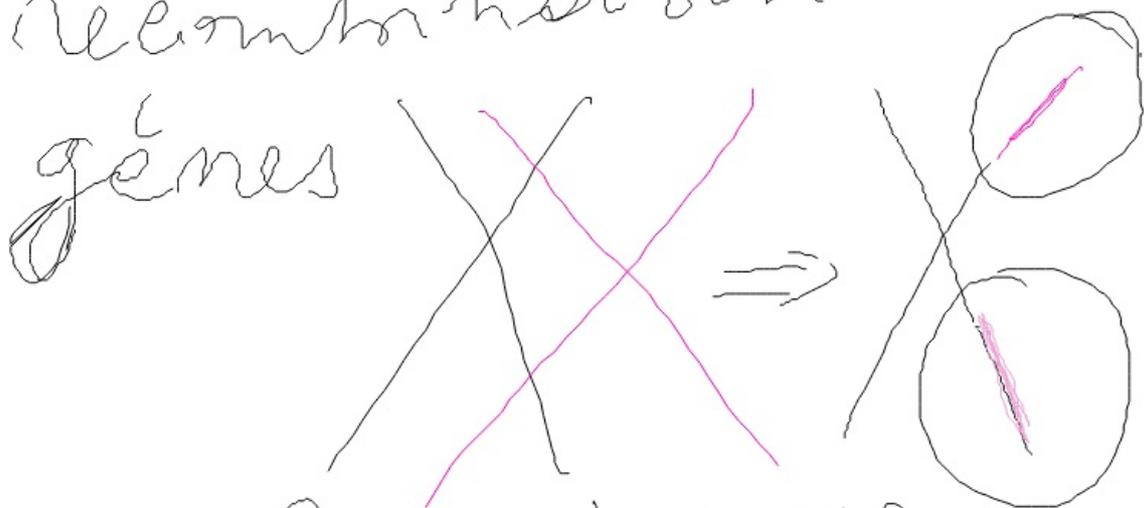
- 1)  $\nearrow$  num. du mode  $\phi$
- 2) Réunion 2  $\phi$   
 $\Rightarrow$  Séparation



# Reproduct

1) Sexuée : permet une recombinaison des

gènes



Crossing over

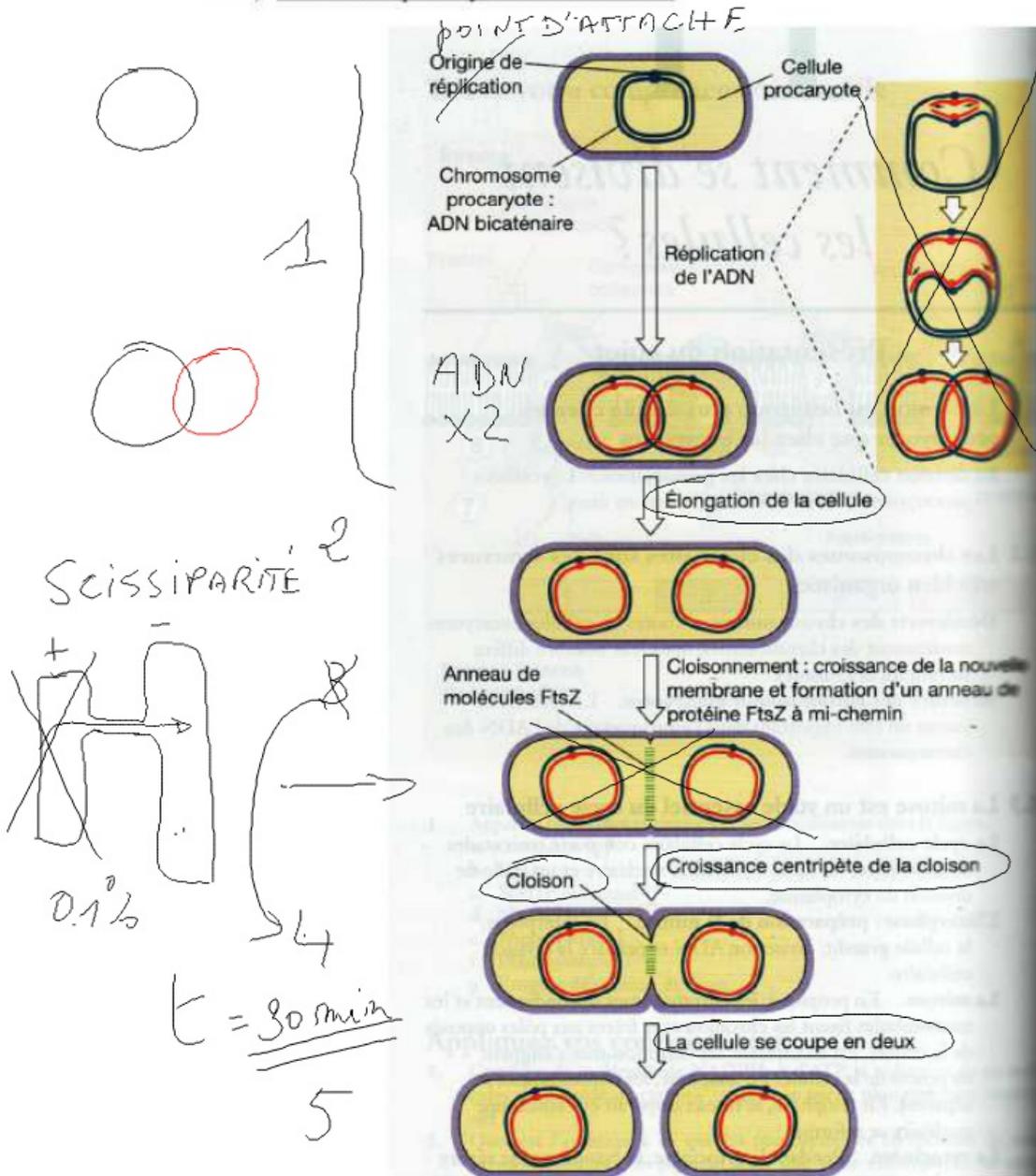
2) ASEXUÉE : sert à former les organismes

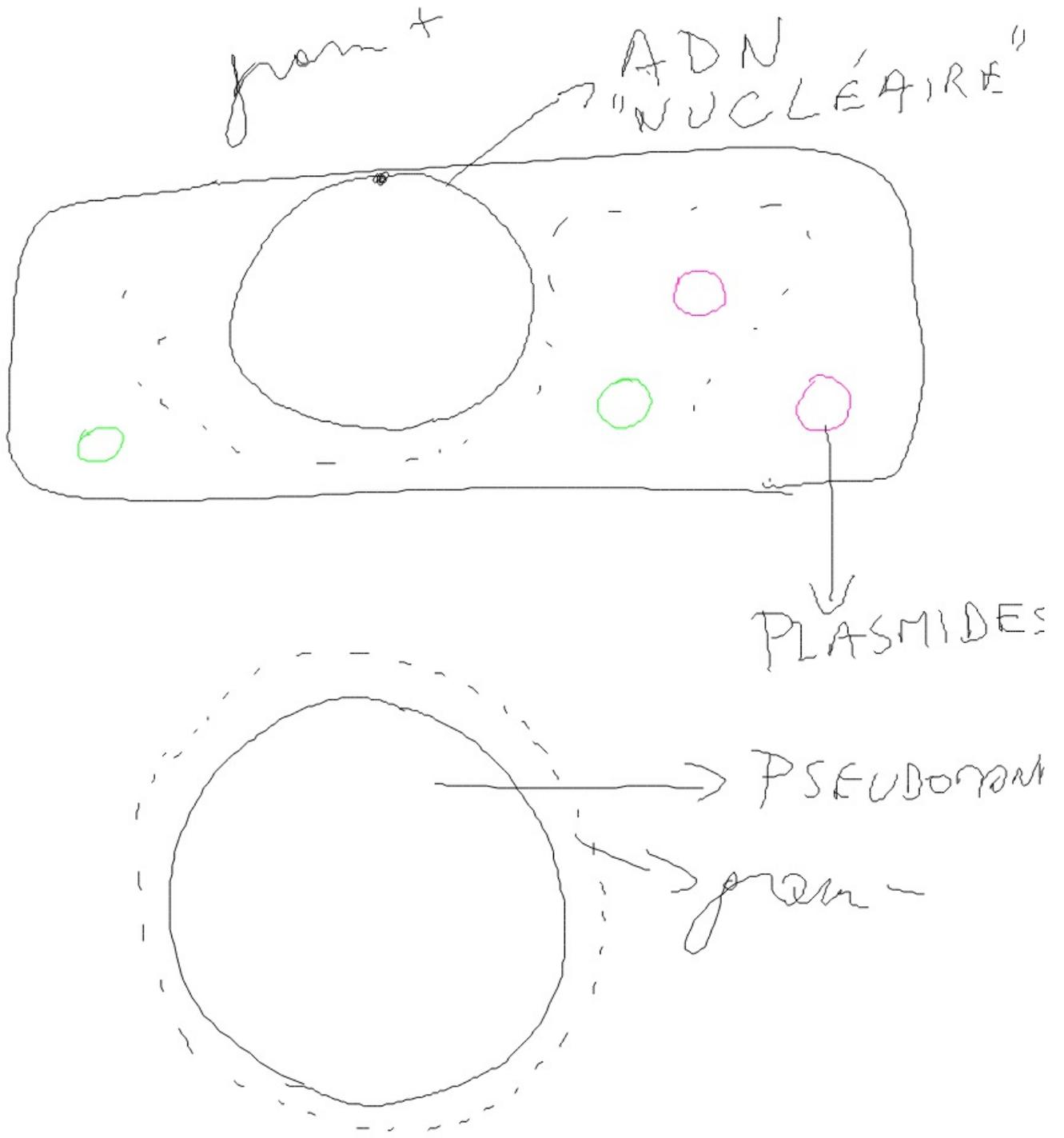
- bactéries, amibes
- cyanobactéries

faut noter que chez certains organismes : les gamètes sont désignés par + ou par le signe - ( Nous étudierons en fin de chapitre , quelques-uns des cycles de reproduction)

### 3) Les principales divisions et les caractéristiques générales de ces dernières

#### 3.1) La division procaryote ou bactérienne





La division des cellules procaryotes s'effectue, en général, par un processus dit de scissiparité : à partir d'une cellule on obtient deux cellules semblables (NB : il existe des processus « parasexuels » chez les bactéries, nous ne les développerons pas ici)

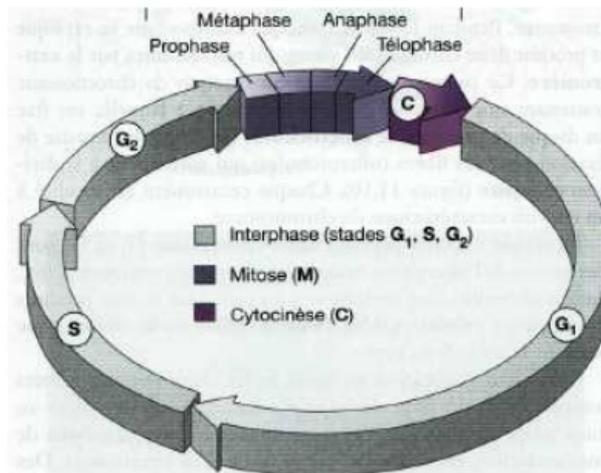
Le processus de division procaryote le plus usuel est la scissiparité :

- 1) Le matériel génétique se divise
- 2) La cellule procaryote s'allonge
- 3) Le matériel génétique se place alors à sa « future » place et il y a formation d'une membrane de séparation
- 4) La cloison se construit alors de façon centripète
- 5) La cellule procaryote se coupe ensuite en 2

### 3.2) La mitose ou division équationnelle

Les cellules eucaryotes étant plus « complexes » que les procaryotes, il a fallu que ces dernières utilisent des mécanismes plus complexes permettant une répartition parfaite du contenu dupliqué dans les cellules filles

Ce processus est schématisé sous forme d'un cycle cellulaire (à 5 stades)



**FIGURE 11.9**

**Le cycle cellulaire.** Ce cercle représente le cycle de 22 heures des cellules humaines cultivées in vitro. G<sub>1</sub> représente le premier stade de croissance du cycle cellulaire, S est le stade durant lequel est synthétisée une copie du génome et G<sub>2</sub> est le second stade de croissance.

**Stade G<sub>1</sub>** : C'est le premier stade de croissance de la cellule (c'est un stade en général relativement long chez la plupart des organismes)

**Stade S** : la cellule réplique son génome

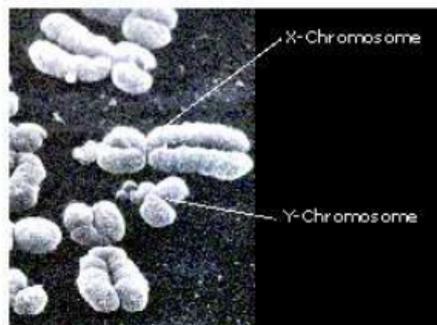
**Stade G<sub>2</sub>** : il prépare la division de la cellule, les organites se divisent (mitochondries par ex.) , les chromosomes commencent à se former , les microtubules se placent près du noyau

**Stade M** : Mitose (description voir plus bas) , le stade C (cytocinèse) est celui où la cellule-mère se divise en deux cellules-filles (le mécanisme de cette séparation est différent chez les cellules animales et végétales)

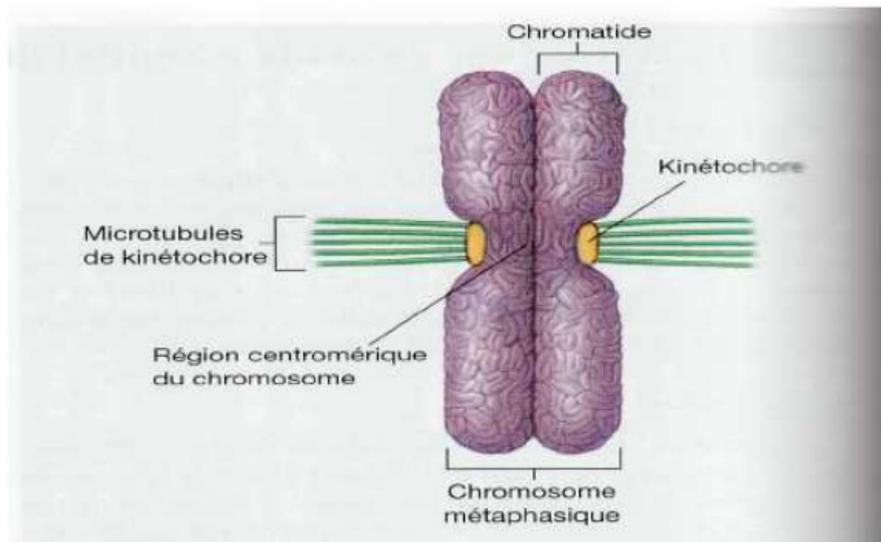
*La durée du cycle cellulaire est variable chez les cellules : ainsi le cycle le plus court se trouve chez la drosophile (8 min) pour atteindre parfois des années (cellules du foie humain)*

### Les acteurs de la mitose sont les Chromosomes

Les chromosomes sont constitués de **chromatine** (complexe d'ADN + protéines (souvent on y trouve de l'ARN car c'est à leur niveau que se passe également la synthèse d'ARN))



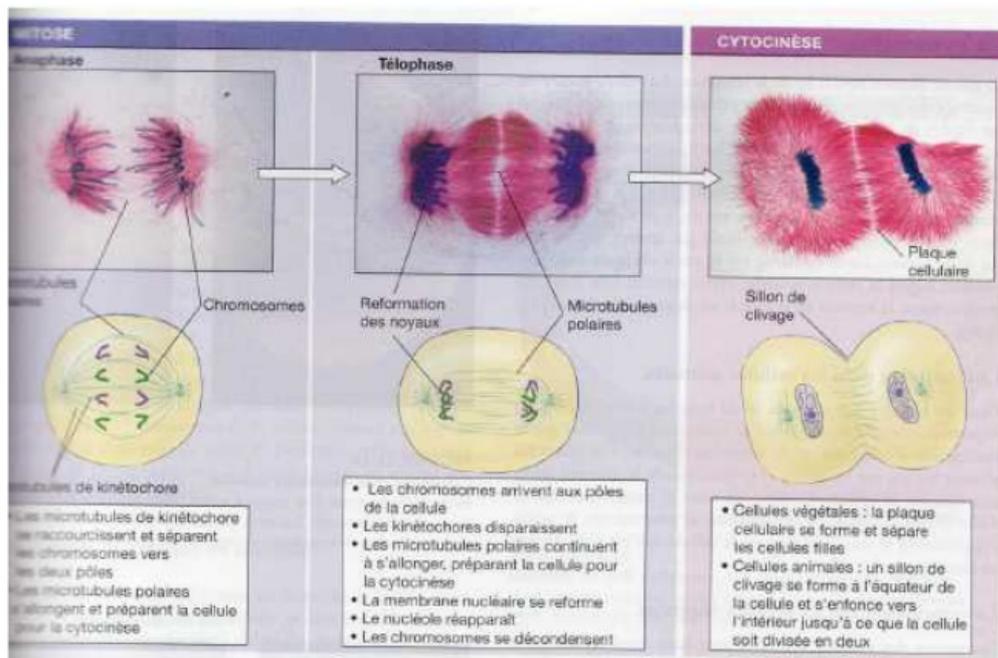
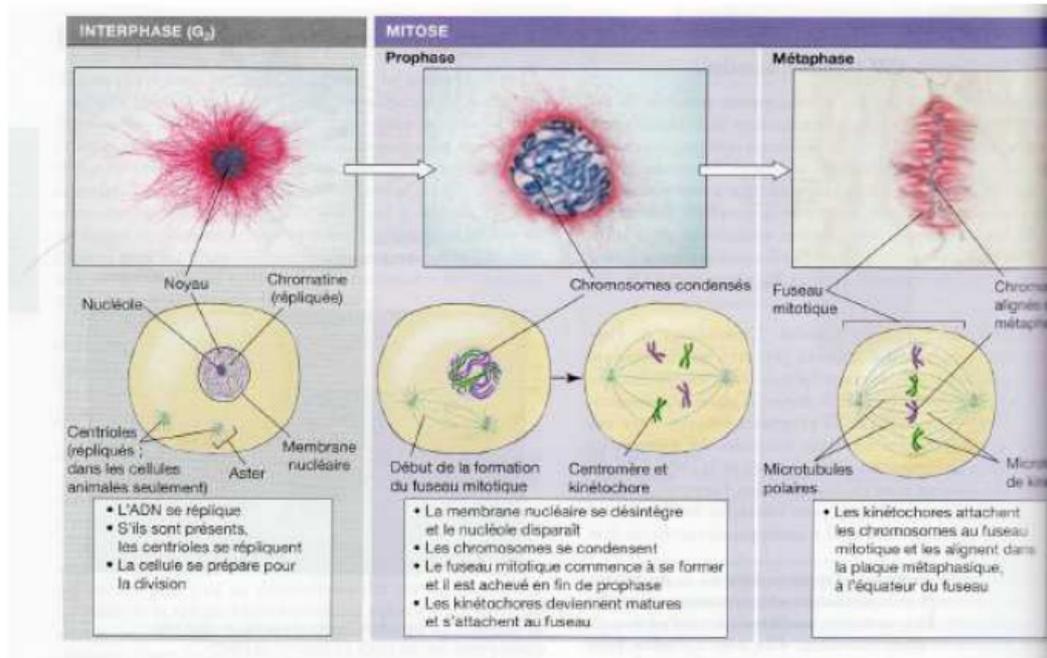
Le chromosome métaphasique a comme schéma général



Comme on le peut le voir , les microtubules du kinétochore ( disque protéinique fixé au centromère et attaché au centromère qui relie les chromatides au fuseau qui va séparer ces chromatides durant la mitose)

### **La mitose proprement dite**

Les schémas ci-après résument les principales étapes de la mitose



## **Description de la mitose**

### **1) Interphase (G2)**

L'ADN se réplique et les centrioles également , la cellule est en phase de pré-division

### **2) La PROPHASE :**

- a) Les microtubules forment un faisceau mitotique,
- b) Les chromosomes composés de 2 chromatides sœurs se forment , ils commencent à migrer et l'enveloppe nucléaire disparaît

### **3) La METAPHASE**

Les chromosomes s'alignent au niveau de la plaque équatoriale (endroit de division des cellules)

### **4) L'ANAPHASE**

Les chromosomes se séparent et les chromosomes nouveaux (chacun dérivé d'une chromatide), se déplacent vers les « pôles » de la cellule .

### **5) La TELOPHASE (et la cytotinèse)**

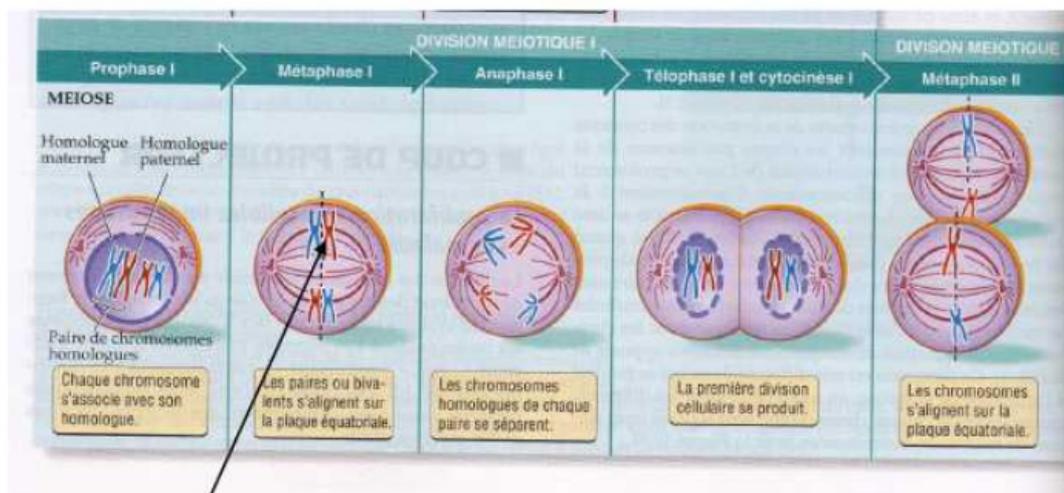
Les chromosomes arrivent aux pôles , la membrane nucléaire se reforme , la chromatine reprend son « aspect normal ». Un sillon de division « des cellules » apparaît ensuite.

## La méiose ou division réductionnelle

C'est la division qui se passe essentiellement dans les cellules sexuelles pour donner les gamètes mâles et/ou femelles

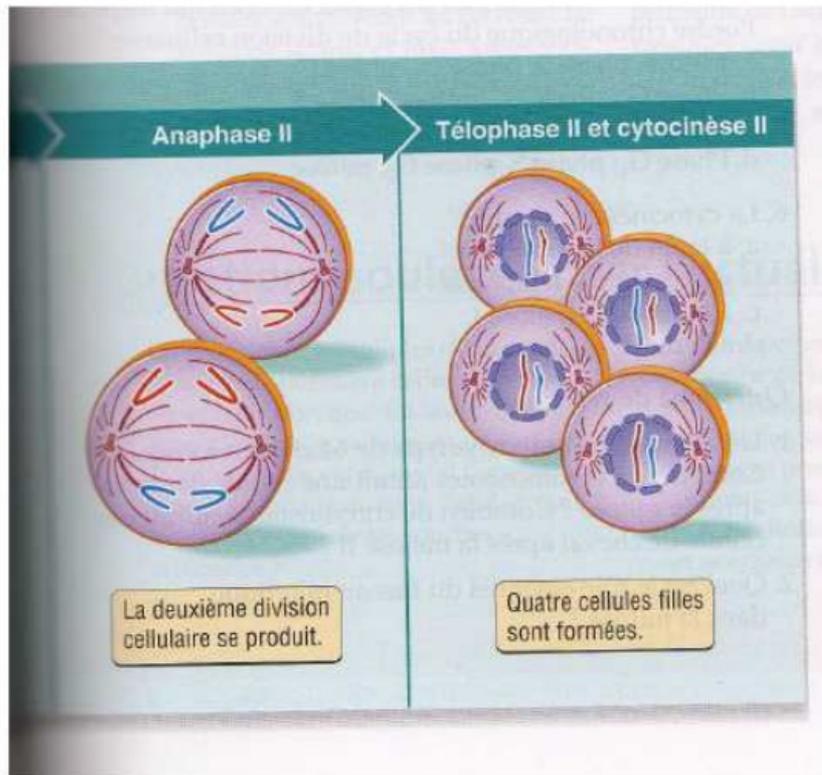
En fait il s'agit de 2 divisions successives « une méiotique » et ensuite une « mitotique »

### Méiose : phase 1



Chromosomes appariés +  
crossing-over

## Méiose : phase 2 (division mitotique)



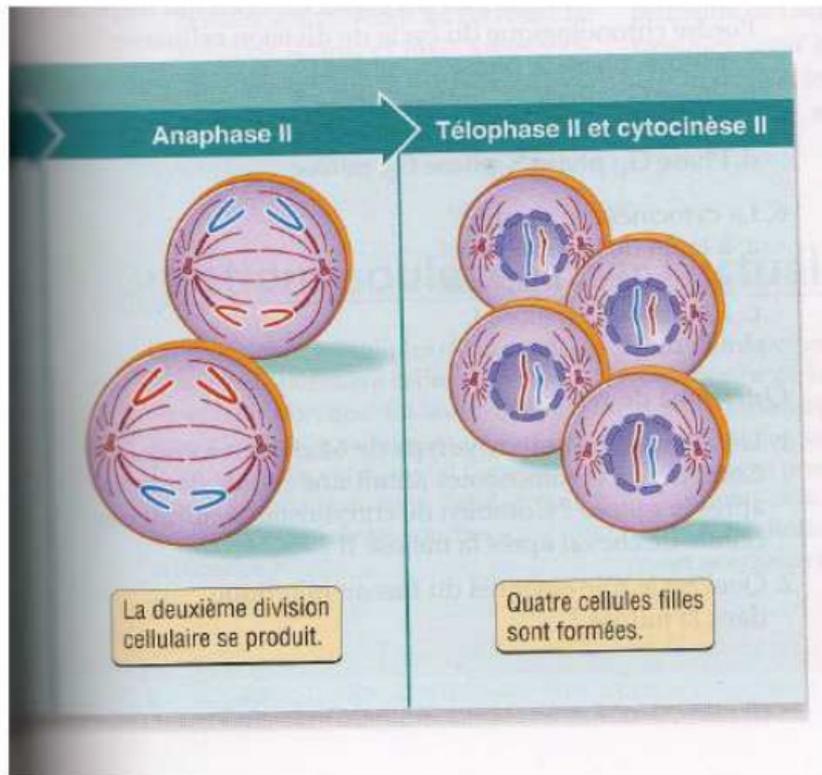
La méiose est un processus « bi-divisionnel » comprenant deux phases bien distinctes :

- 1) Une phase de réduction du nombre de chromosomes
- 2) Une phase mitotique traditionnelle

La phase 1 :

Les chromosomes analogues « maternels et paternels » se rassemblent , ils subissent une mitose classique mais à part le fait que les chromosomes appariés se séparent (donc il y a réduction de  $2n$  à  $n$  (de plus, certains chromosomes « enjambent » certains autres : le crossing-over))

## Méiose : phase 2 (division mitotique)



La méiose est un processus « bi-divisionnel » comprenant deux phases bien distinctes :

- 1) Une phase de réduction du nombre de chromosomes
- 2) Une phase mitotique traditionnelle

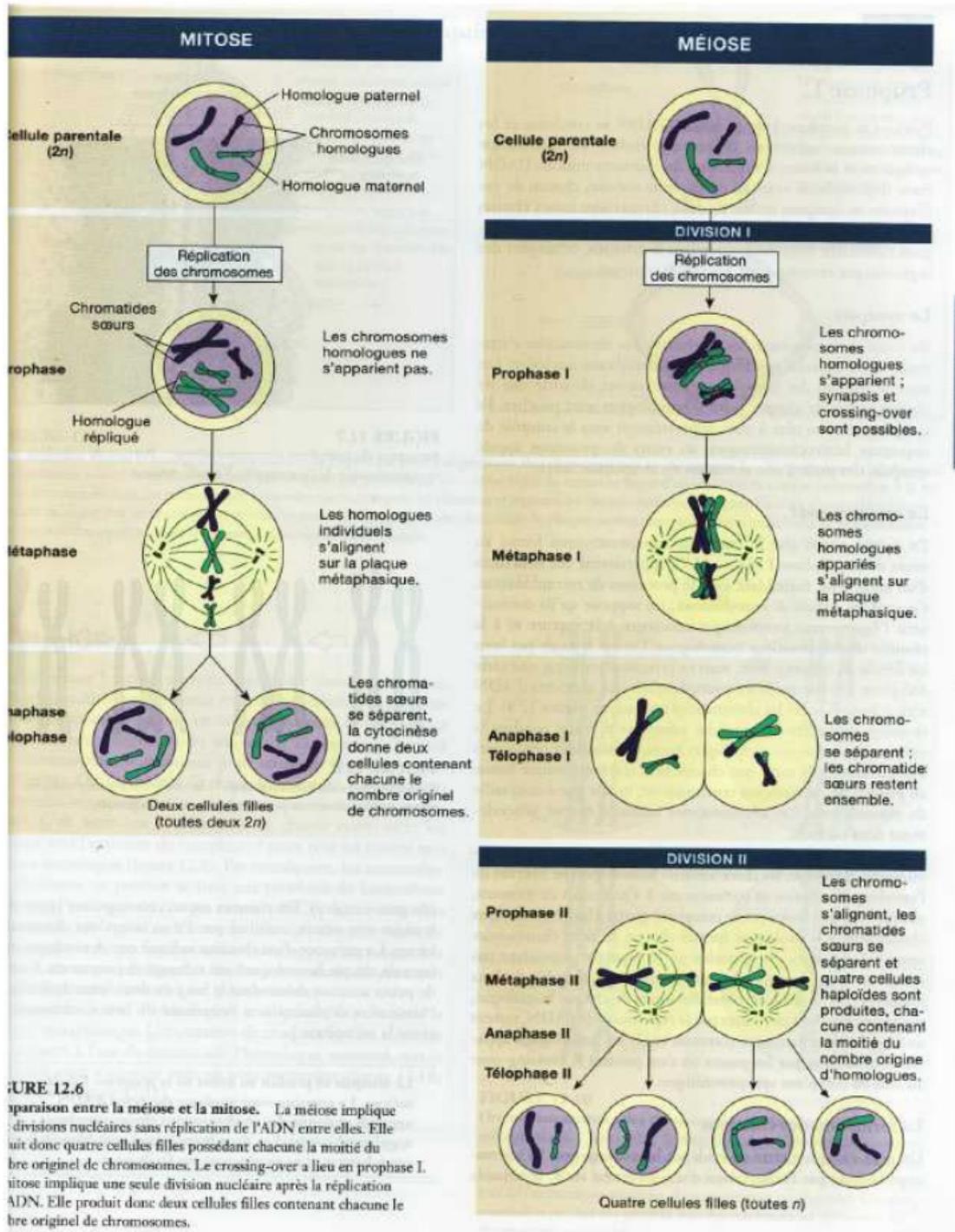
La phase 1 :

Les chromosomes analogues « maternels et paternels » se rassemblent , ils subissent une mitose classique mais à part le fait que les chromosomes appariés se séparent (donc il y a réduction de  $2n$  à  $n$  (de plus, certains chromosomes « enjambent » certains autres : le crossing-over))

Ces chromosomes subissent une première anaphase et télophase , les cellules continuent ensuite, leur division et les chromatides des chromosomes se séparent comme dans une mitose classique

L'origine de cette phase de division réductionnelle est « inconnue » , pourquoi les cellules ont-elles adopté ce type de division est « inconnu »

La figure ci-après résume les deux types de division et les compare



## Anatomie des appareils génitaux mâles et femelles chez l'être humain

### Appareil génital mâle

Le système reproducteur de l'homme comprend deux ensembles d'organes, les organes génitaux internes et les organes génitaux externes. Le **scrotum** et le **pénis** composent les organes génitaux externes. Les organes génitaux internes comprennent les gonades, qui produisent les gamètes (spermatozoïdes) et des hormones, les glandes annexes, qui sécrètent des substances essentielles au mouvement des spermatozoïdes, et un réseau de conduits destinés au transport des spermatozoïdes et des sécrétions glandulaires.

Les gonades mâles, appelées **testicules**, comportent deux conduits enroulés de façon compacte et entourés de plusieurs épaisseurs de tissu conjonctif. Il s'agit des **tubules séminifères** dans lesquels les spermatozoïdes sont formés. Les **cellules interstitielles du testicule** disséminées entre les tubules séminifères élaborent la testostérone et d'autres androgènes (hormones sexuelles masculines).

Chez la plupart des Mammifères, la formation des spermatozoïdes ne peut s'effectuer à la température normale du corps, mais les testicules des humains et de nombreux autres mammifères sont situés à l'extérieur de la cavité pelvienne et abrités dans le scrotum, un repli de peau.

La température du scrotum est d'environ 2°C inférieure à celle de l'organisme. Les testicules se forment un peu plus haut dans la cavité pelvienne et descendent dans le scrotum juste avant la naissance. (Chez 1 à 2 % des garçons, les testicules ne descendent pas mais on peut y remédier par un traitement hormonal ou par voie chirurgicale.) Chez certains Mammifères (autres que les Humains), les testicules se rétractent à l'intérieur du corps entre les saisons de reproduction. Les Baleines et les Chauves-souris font exception parce que leurs testicules restent à l'intérieur de la cavité pelvienne de façon permanente.

À partir des tubules séminifères des testicules, les spermatozoïdes pénètrent dans les canalicules efférents qui forment l'**épididyme**, où ils sont entreposés et terminent leur maturation. Au cours de l'**éjaculation**, les spermatozoïdes sont expulsés de l'épididyme par l'intermédiaire du **conduit déférent**, dont les parois sont tapissées de muscles. Ces conduits quittent le scrotum, contournent la vessie et se rejoignent derrière elle pour former un court **conduit éjaculateur**. Ce dernier aboutit dans l'**urètre**, un conduit qui draine à la fois le système excréteur et le système reproducteur.

Chez l'homme, ces deux systèmes sont donc reliés mais, comme nous allons le voir, tel n'est pas le cas chez la femme. L'urètre pénètre dans le pénis et débouche sur l'extérieur par le méat urétral.

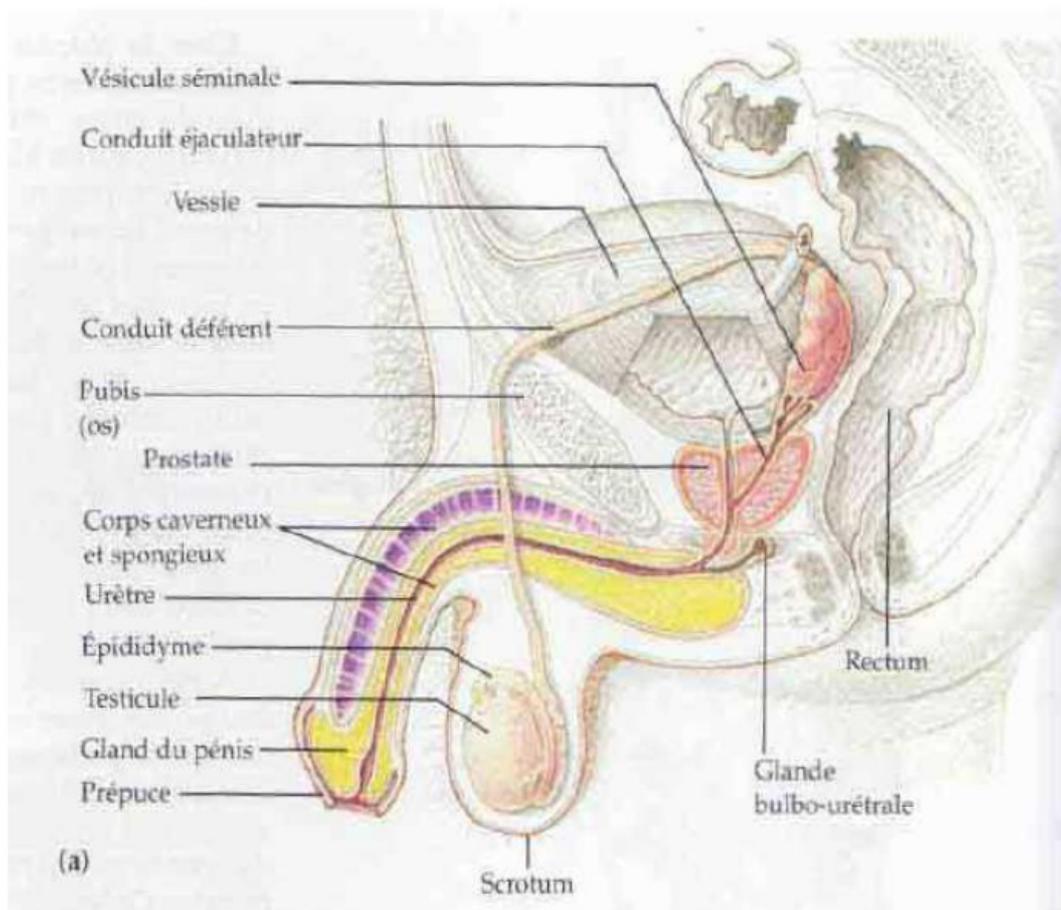
Outre les testicules et les conduits, le système reproducteur de l'homme comprend trois ensembles de glandes qui ajoutent leurs sécrétions au **sperme**, le liquide qui est éjaculé. Les **vésicules séminales produisent** environ 60 % du volume total du sperme. Cette paire de glandes se trouve en arrière et en dessous de la vessie, et leur sécrétion se déverse dans le conduit éjaculateur. Le liquide provenant des vésicules séminales de consistance visqueuse et de couleur blanchâtre, renferme du mucus et des acides aminés ainsi que de grandes quantités de fructose (glucides) qui constituent une source d'énergie pour les spermatozoïdes. Les vésicules séminales sécrètent également des prostaglandines. Lorsque ces messagers chimiques se retrouvent dans le système reproducteur de la femme, ils provoquent des contractions des muscles utérins qui facilitent le mouvement du sperme vers le fond de l'utérus. Des protéines présentes dans le liquide séminal provoquent la coagulation du sperme déposé dans le système reproducteur de la femme, et les contractions des muscles utérins déplacent ainsi plus facilement le sperme.

La **prostate** est la plus grosse des glandes annexes. Elle entoure la partie supérieure de l'urètre et déverse directement ses sécrétions dans ce dernier par l'intermédiaire de plusieurs petits conduits. Le liquide prostatique est fluide, laiteux et relativement alcalin, ce qui a pour effet d'équilibrer l'acidité de l'urine restant dans l'urètre et l'acidité naturelle du vagin. La prostate cause certains problèmes médicaux assez répandus chez l'homme ayant dépassé la quarantaine. Plus de la moitié des hommes de ce groupe d'âge souffrent d'un gonflement bénin (non cancéreux) de la prostate.

Les **glandes bulbo-urétrales**, les dernières structures annexes, sont une paire de petites glandes situées le long de l'urètre, sous la prostate. On ne connaît pas encore leur fonction. Elles sécrètent un liquide visqueux avant l'éjaculation. On a suggéré que ce liquide joue le même rôle que le liquide prostatique ou qu'il sert à lubrifier le pénis et le vagin, mais le volume produit (une ou deux gouttes seulement) ne permet sans doute pas d'assurer cette dernière fonction de manière efficace. Comme le liquide bulbo-urétral entraîne quelques spermatozoïdes libérés avant l'éjaculation, le coït interrompu (une méthode visant à prévenir la fécondation) connaît un taux d'échec élevé.

Le pénis humain comprend trois cylindres de tissu érectile provenant de veines et de capillaires modifiés; il s'agit du corps spongieux qui entoure l'urètre et *forme le gland*, et des deux corps caverneux qui recouvrent en grande partie le corps spongieux à l'exception du gland. Au cours de l'excitation sexuelle, le tissu érectile se remplit de sang artériel. L'augmentation de la pression bloque les veines qui drainent le pénis, lequel se gorge de sang. L'érection qui en résulte permet l'insertion du pénis dans le vagin. Les Rongeurs, les Ratons laveurs, les Morses et plusieurs autres Mammifères possèdent en outre un **baculum**, un os qui raidit le pénis.

Une peau relativement épaisse enveloppe le corps principal du pénis; la peau qui entoure le **gland du pénis** (l'extrémité du pénis) est beaucoup plus fine, ce qui rend le gland beaucoup plus sensible à la stimulation. Chez l'homme, un repli de peau appelé **prépuce** recouvre le gland. On procède parfois à l'ablation du prépuce, ou circoncision, pour des raisons essentiellement religieuses. En effet, cette pratique n'a pas de justification vérifiable du point de vue de la santé ou de l'hygiène.



## Anatomie de la femme

Les organes génitaux internes de la femme comportent une paire de gonades et un système de conduits et de cavités qui permettent le passage des gamètes et abritent l'embryon et le fœtus. Les organes génitaux externes de la femme sont le clitoris ainsi que les deux paires de lèvres localisées de part et d'autre du clitoris et de l'ouverture du vagin. Les gonades femelles, appelées **ovaires**, se situent dans la cavité pelvienne de part et d'autre de l'utérus. Chaque ovaire est enveloppé d'une capsule protectrice résistante (albuginée fibreuse) et renferme un grand nombre de follicules.

Chaque **follicule** se compose d'un œuf immature, appelé ovocyte' entouré d'une ou plusieurs couches de cellules folliculaires qui nourrissent et protègent l'ovocyte en développement. Les 400 000 follicules qu'une femme portera durant sa vie entière sont tous formés dès sa naissance. De ce nombre, quelques centaines seulement seront libérées pendant les années où la femme sera en âge de procréer.

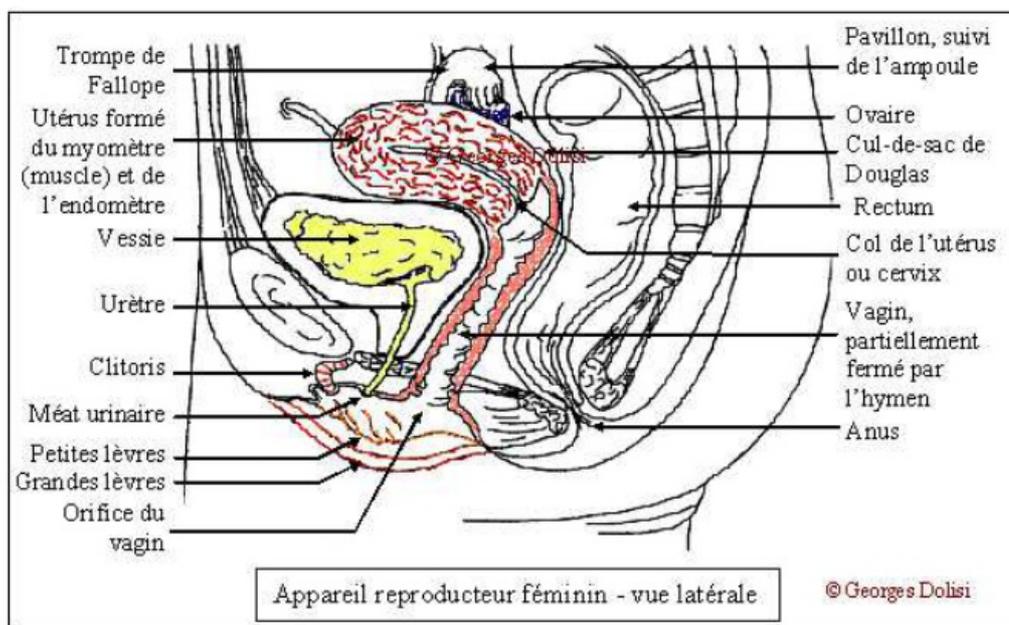
À partir de la puberté et à chaque cycle menstruel, un follicule (plus rarement deux ou plusieurs) arrive à maturité et libère son ovocyte. Les cellules du follicule sécrètent aussi les oestrogènes, c'est-à-dire les hormones sexuelles féminines les plus importantes. Au cours de **l'ovulation**, l'ovocyte est expulsé du follicule (qui ressemble à un petit volcan); le reste du tissu folliculaire croît à l'intérieur de l'ovaire et se transforme en une masse compacte appelée **corps jaune**. Le corps jaune élabore la progestérone (l'hormone de la grossesse) et une quantité considérable d'oestrogènes. En cas de non-fécondation, le corps jaune dégénère et un nouveau follicule arrive à maturité au cycle suivant.

Le système reproducteur de la femme n'est pas entièrement fermé, et l'ovocyte est libéré dans la cavité pelvienne près de l'ouverture de la **trompe utérine**, ou trompe de Fallope. Cette ouverture a une forme d'entonnoir, et les cils de l'épithélium interne de la trompe facilitent le mouvement de l'ovocyte en aspirant le liquide de la cavité corporelle dans la trompe. Les cils font aussi avancer l'ovocyte le long de la trompe utérine et le conduisent dans **l'utérus**. Cet organe épais et musculéux, de taille réduite, a à peu près la forme d'une poire renversée. L'utérus d'une femme qui n'a jamais été enceinte mesure environ 7 cm de longueur et 4 ou 5 cm à l'endroit le plus large. Grâce à la disposition très particulière des muscles qui tapissent la plus grande partie de la paroi utérine, l'utérus peut se détendre assez pour contenir un fœtus de 4 kg. L'**endomètre**, le revêtement interne de l'utérus, est richement vascularisé.

L'orifice étroit de l'utérus, appelé **col utérin**, communique avec le vagin. Le **vagin** est une cavité à la paroi mince, qui permet le passage du bébé lors de l'accouchement; il reçoit aussi les spermatozoïdes au cours des rapports sexuels. La paroi du vagin est bien moins épaisse que celle de l'utérus, mais les muscles qui la composent peuvent se contracter ou se distendre suffisamment pendant le coït et l'accouchement.

Le vagin constitue la partie terminale du système reproducteur de la femme. Sur la face externe, deux paires de replis de peau entourent le vagin et forment le **vestibule**, qui contient l'orifice vaginal et l'ouverture de l'urètre. (Notez que, contrairement à ce que l'on observe chez l'homme, les systèmes reproducteur et excréteur de la femme ont des ouvertures distinctes.)

À partir de la naissance et jusqu'aux premiers rapports sexuels ou la pratique d'un exercice physique vigoureux, l'orifice vaginal est recouvert par une fine membrane appelée **hymen**, dont on ignore la fonction. Le vestibule se trouve délimité par les **petites lèvres**, des replis de peau mince protégés par des replis de peau épaisse et adipeuse, les **grandes lèvres**. À l'instar du vagin, les petites lèvres se composent de tissu érectile et gonflent au cours de l'excitation sexuelle et du coït. À l'extrémité supérieure du vestibule se trouve un petit renflement de tissu érectile appelé **clitoris**, l'homologue féminin du gland du pénis. Comme ce dernier, le clitoris comprend du tissu érectile et représente l'un des points les plus sensibles à la stimulation sexuelle.



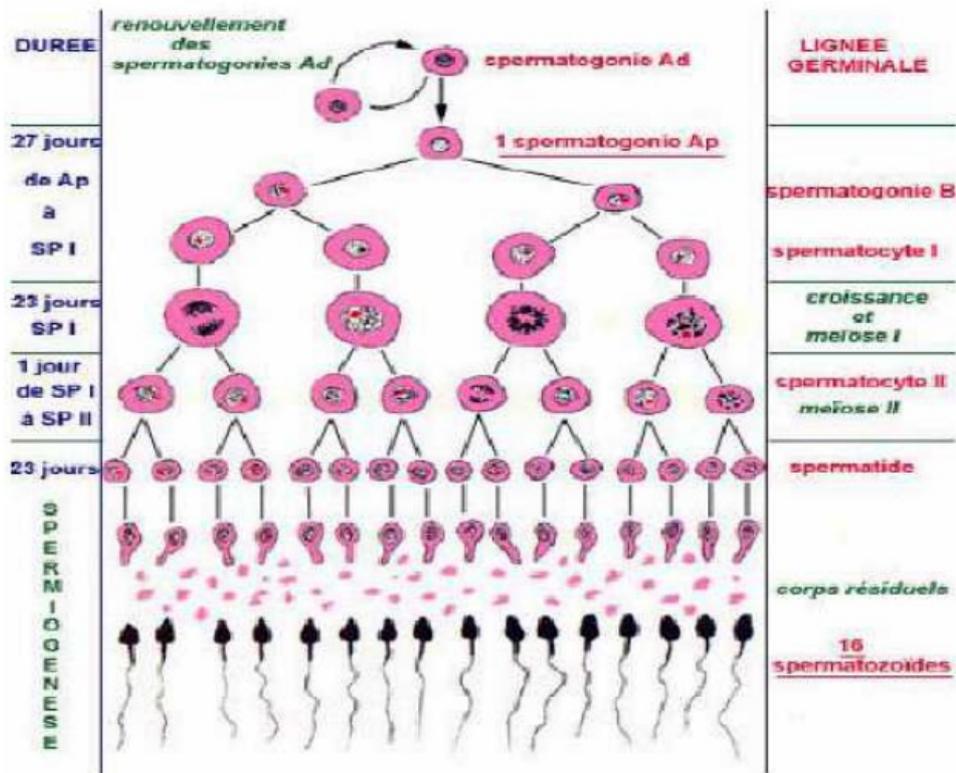
Les **glandes mammaires**, ou seins, jouent un rôle important dans la reproduction chez les Mammifères, bien que ces structures ne fassent pas partie du système reproducteur en tant que tel (figure 42.10). Les glandes mammaires comportent une série **d'alvéoles**, des petits sacs de tissu épithélial glandulaire qui sécrètent le lait. Les alvéoles déversent leur contenu dans un réseau de conduits lactifères qui s'ouvrent à la surface du mamelon. Chez un Mammifère qui n'allait pas, la plus grande partie de la masse de la glande mammaire se compose de tissu adipeux. Chez le mâle, la quantité réduite d'œstrogènes produits par les corticosurrénales empêche à la fois la formation des glandes alvéolaires et le dépôt de graisses, de sorte que les seins ne se développent pas et que le mamelon n'est pas relié aux conduits.

Les organes génitaux externes se développent à partir des crêtes gonadiques, des structures embryonnaires non différenciées issues du mésoderme et communes aux deux sexes. Les chromosomes sexuels déterminent les quantités d'hormones mâles et femelles présentes dans l'embryon, et cette proportion définit à son tour la différenciation des organes génitaux en organes mâles ou femelles. En présence d'androgènes, l'embryon sera de sexe masculin; dans le cas contraire, l'embryon sera de sexe féminin.

## La gamétogenèse

### Spermatogenèse

La formation de spermatozoïdes mûrs par le mâle adulte, appelée **spermatogenèse**, est un processus continu et très productif. Chez l'homme, chaque éjaculation libère environ 400 millions de spermatozoïdes, et le même individu peut éjaculer tous les jours sans réduction notable de sa fécondité. La spermatogenèse se déroule dans les tubules séminifères des testicules.



La structure d'un spermatozoïde est adaptée à sa fonction . La tête épaisse renferme le noyau haploïde recouvert d'une structure spécifique, l'**acrosome**, où se trouvent les enzymes qui permettent au spermatozoïde de pénétrer dans l'ovocyte. Derrière la tête du spermatozoïde se situent de nombreuses mitochondries (ou une seule mitochondrie volumineuse chez certaines espèces) qui fournissent l'ATP nécessaire au mouvement de la queue (appelée aussi flagelle). La morphologie des spermatozoïdes de Mammifères varie fortement; la tête peut présenter la forme d'une virgule étroite ou le contour ovale du spermatozoïde humain ou encore épouser la forme presque parfaite d'une sphère.

## Ovogenèse

La formation d'ovules (cellules haploïdes mûres), appelée **ovogenèse**, diffère de la spermatogenèse par trois aspects importants. En premier lieu, pendant les divisions méiotiques de l'ovogenèse, la cytokinèse est inégale et presque tout le cytoplasme se retrouve dans une seule des cellules filles. Cette grosse cellule peut devenir l'ovule, alors

que les trois cellules plus petites, appelées globules polaires, ne tardent pas à dégénérer.

Au cours de la spermatogenèse, les quatre cellules issues des méioses I et II deviennent des spermatozoïdes mûrs. Deuxièmement, les spermatogonies continuent leur division par mitose tout au long des années de reproduction potentielle d'un homme. Au contraire, dès la naissance, l'ovaire contient déjà à l'état latent tous ses ovocytes de premier ordre, chacun contenu dans un follicule primordial; les ovules sont donc une ressource non renouvelable. Troisièmement, avant d'arriver à son terme, l'ovogenèse traverse de longues périodes d'interruption, contrairement à la spermatogenèse qui consiste en une production ininterrompue de spermatozoïdes mûrs à partir de spermatogonies. Chez la femme, à partir de la puberté et à chaque cycle ovarien, quelques ovocytes primaires subissent la première division méiotique à l'intérieur des follicules en formation. En fait, l'ovocyte secondaire libéré au cours de l'ovulation n'a pas atteint l'état de maturité parce qu'il n'a pas encore subi la seconde division qui marque la fin de la méiose. Chez l'Humain, c'est la pénétration de l'ovocyte secondaire par le spermatozoïde qui déclenche la seconde division méiotique produisant l'ovule, et l'ovogenèse ne se termine qu'à ce moment-là.