

# Méiose & Généralités

## I. La reproduction

**Définition :** Processus qui permet à une espèce de se perpétuer.

2 types : asexuée (= reproduction vraie) & sexuée (= procréation)

### ⇒ Reproduction asexuée :

Elle se fait à partir d'une cellule mère qui se divise en 2 cellules filles identiques à la cellule mère & identiques entre elles (=clones) grâce à une mitose classique.

✓ Concerne les organismes unicellulaires (bactérie, virus)

✓ Absence de fécondation

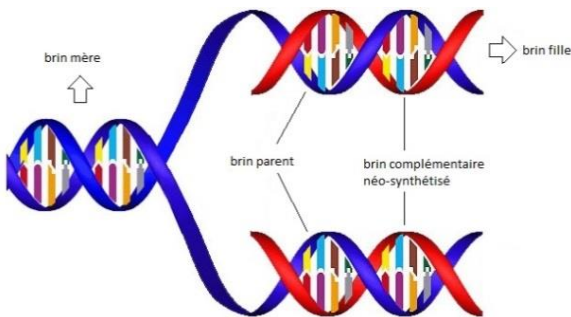
✓ **Permanence des caractéristiques** de l'espèce

- Variation possible uniquement par **mutation accidentelle** dû à un événement extérieur (ex : rayonnement ionisant). Entraîne un **changement définitif** (reste très rare)

- Pas de possibilité d'adaptation aux changements environnementaux (adaptation très faible/très lente donc non efficace)

✓ **Immortalité** des individus qui se multiplient par deux (=clone)

✓ Réplication semi-conservative :



L'ADN est double brin (=bicatenaire). Il se dissocie en 2 hémi brins simples. Ensuite il y a synthèse d'un brin complémentaire identique au brin d'origine. On obtient donc 2 cellules filles dont l'ADN est totalement identique à celui de la cellule mère.

C'est ce qu'il se passe dans les cellules somatiques : la mitose

### ⇒ Reproduction sexuée (=procréation) :

C'est une avancée dans l'évolution (adaptation à l'environnement). Elle est basée sur la différenciation sexuelle des individus (ex : mammifères) (= **Dimorphisme sexuel**) et sur la rencontre de leurs gamètes (mâles & femelles) qui sont différentes dans chaque sexe (= **Anisogamie**)

On parle de procréation car reproduction signifie créé à l'identique (=reproduction asexuée), or dans le cadre de la reproduction sexuée le produit de la conception n'est jamais identique à ses parents.

✓ Permet une bien plus grande diversité : le nouvel individu ne sera jamais identique à ses deux parents (d'où **procréation**)

✓ Adaptation rapide à l'environnement, donc survie & évolution (ex : girafe)

✓ Rôle important dans la survie et l'évolution des espèces

On retrouve 2 types de cellules chez ces individus : Cellules somatique (constituant le soma) et les cellules germinales (le germen)

### Les cellules germinales :

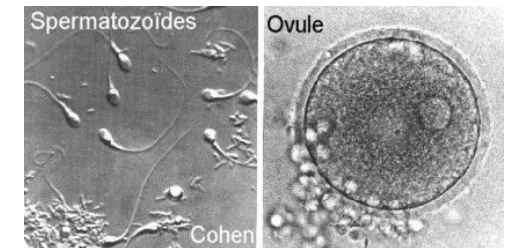
✓ Elles se trouvent dans les gonades des individus

✓ Elles subissent la méiose

✓ Physiologiquement ce sont les seules cellules capables de fusionner entre elles (=fécondation)

✓ Elles vont donner des gamètes

- L'ovocyte (=ovule) chez la femme
- Le spermatozoïde chez l'homme



- ☛ Les gamètes sont les seules cellules haploïdes de l'organisme. C à d qu'elles n'ont qu'un seul exemplaire de chaque paire de chromosomes ( $= n K$ ), celui du papa ou celui de la maman.

A savoir : Chez l'Hô  $n=23$  dont un chromosome sexuel

Il y a une **ségrégation au hasard** au moment de la fabrication de gamète au cours de la gamétogénèse, le gamète reçoit, pour chacune des 23 paires de K, soit le K d'origine maternel ou paternel.

→ nombres infini de combinaisons possibles de gamètes différents, soit  $2^{23}$  **combinaisons différentes**. Cela ouvre les perspectives de **variabilité inter-individuelle**.

Le spermatozoïde	L'ovule
<ul style="list-style-type: none"> <li>- + petite cellules du corps humain : - d'1µm</li> <li>- Très peu de réserve</li> <li>- Pauvre en cytoplasme</li> <li>- Mobile +++ <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Déplacement actif grâce au flagelle qui lui permet d'atteindre le 1/3 ext de la trompe</li> <li>○ Sa fonction spécifique est le déplacement</li> </ul> </li> <li>- Cellules très différenciée</li> <li>- ADN très condensé</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- + grande cellules de l'organisme : 100 µm</li> <li>- Réserves +++ en ARNm pour le développement de l'embryon avant l'implantation, les 7 premiers jours.</li> <li>- Riche en cytoplasme</li> <li>- Peu mobile, déplacement passif (cils/liquide de l'utérus)</li> <li>- Fonction spécifique = stockage</li> <li>- Cellule très peu différenciée</li> </ul>

Les gamètes on des caractéristiques complémentaires permettant la reproduction.

**3 conditions** pour une fécondation optimale :

- ✓ **Taille** suffisante des ovules (apport nutritif pour le développement dans la trompe avant l'implantation)
- ✓ **Mobilité & nombre** important de spz (+ de chance de rencontre, bcp de perte dans le tractus féminin)
- ✓ **Coût de fabrication** (énergie utilisée) raisonnable

### Les cellules somatiques :

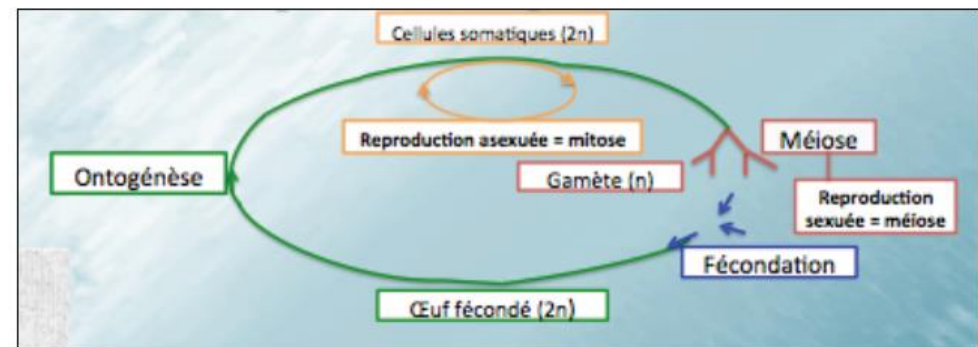
⇒ La majorité des cellules du corps, les cellules non sexuelles

- ✓ Cellules diploïdes :  $2n$  chromosomes

Elles ont donc 46 chromosomes :  $2n K = 2 \times 23 K$

- ✓ Elles subissent la mitose

### Le cycle de la reproduction sexuée :

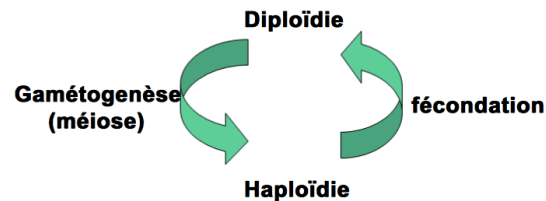


Les cellules somatiques se multiplient par mitose classique. Au sein des gonades (Ovaire/ testicule) les cellules germinales souches subissent la **méiose** à un seul moment précis de la gamétogénèse pour devenir **haploïdes**. Ces gamètes vont dans le cadre de la **fécondation** reproduire la **diploïdie**. Le zygote diploïde suit son développement embryonnaire.

- ✓ Ontogénèse : vieillissement du nouvel individu (voir réponse du prof : il s'en fou)
  - **1°** : développement embryonnaire (**embryogénèse**)
  - **2°** : développement **foetal**
  - **3°** : période **infantile** (petite enfance)
  - **4°** : **maturation pubertaire**
  - **5°** : âge adulte = **période d'activité sexuelle**
  - **6°** : vieillissement (**andropause** ou **ménopause**)

✓

- ✓ Phylogénèse = **développement** de l'espèce. Elle est résumée par l'ontogénèse.



### Aparté sur l'appareil génital :

Les gonades ont une double fonction :

- **Exocrine** = production **gamètes**
- **Endocrine** = Production **hormones sexuelles**

→ Ces hormones vont mettre en place :

- Les **caractères sexuels primaires** = **OIG & OGE** en période fœtal ⇒ **phénotype**
- Les **caractères sexuels secondaires**, au cours de la maturation pubertaire
- Le **comportement sexuel**

Les gonades sont en fonctionnement durant les **6 premiers mois** de la vie d'un bébé (=mini puberté) avant de se mettre **en stand by jusqu'à 7-8 ans** pour le démarrage de la puberté.

La reprise du fonctionnement des gonades démarre au niveau de l'hypothalamus et entraîne la sécrétion d'hormones sexuelles (androgènes, œstrogènes) à l'origine de la **maturation pubertaire** modifiant les OIG et OGE. Cette maturation pubertaire est aussi à l'origine d'une **poussée de croissance** ; à la fin de cette poussée, les cartilages de croissance/de conjugaison se **soudent** sous l'effet des **hormones sexuelles**.

En fin de développement fœtal, le cerveau se différencie et s'oriente dans un sexe sous l'effet des hormones : C'est l'**identité sexuelle**.

## II. Les chromosomes (=K)



Ils portent l'information génétique sous forme d'ADN double brin qui forme une double hélice, dont certaines parties constituent des gènes. Les K ne se limitent pas à l'ADN mais également aux nucléoprotéines qui la protègent des agressions externes.

Chez l'Hô : 23 paires de K (n=23)

- 22 paires d'autosomes
- 1 paires de gonosomes ou K sexuels (XX ou XY)

Le KY ne contient que des gènes codant pour la reproduction à l'inverse du KX qui a conservé des gènes codant pour des propriétés physiologiques.

- ☛ KX indispensable à la survie : individu YO non viable

### Point récap important :

- ✓ Une cellule somatique (= Toutes les cellules sauf les ♀ sexuelles) est une cellule diploïde. Les K qu'elles contiennent sont présents par paires **2nK**
- ✓ Une cellule haploïde est toujours une cellule sexuelle=gamète. Les K qu'elles contiennent sont en un seul exemplaire **nK**

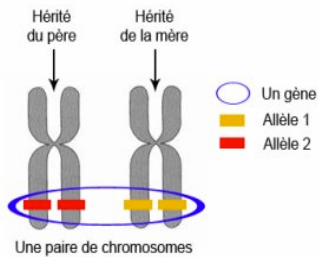
Les chromosomes peuvent avoir une ou deux chromatides (=bichromatidien) selon l'étape du cycle.

**NB :** Chromatide = molécule formée de 2 brins d'ADN complémentaires (double hélice)

- ✓ Avant la phase de répllication (= phase S) : 1 chromatide
- ✓ Après répllication : 2 chromatides

## Les types de chromosomes :

### • Une paire de chromosome = chromosomes homologues

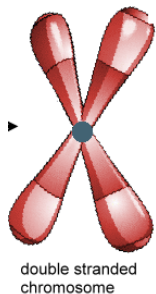


Dans chaque paire, il y a un K venant du spz (donc venant du père) et un K venant de l'ovule (donc de la mère).

Ces K sont quasiment identiques, les seules différences sont dues aux allèles = version d'un gène.

Exemple du gène « couleur des cheveux » : il est présent sur chaque paire (= K homologues) car ils portent le même gène mais pas forcément le même allèle/la même version → allèle cheveux blond, brun, roux ...

### • Un chromosome double

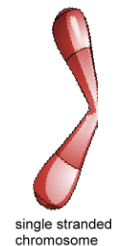


- ✓ 2 chromatides sœurs
- ✓ Totalement identiques, issues de la réplication = elles ont strictement les mêmes allèles
- ✓ 2 chromatides, donc 2 molécules d'ADN = 2n ADN

Par exemple ici cela pourrait être le chromosome maternel.

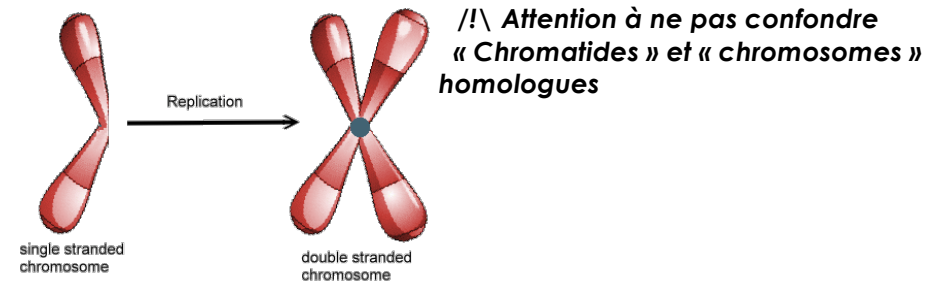
Point gris = centromère, zone unissant les 2 chromatides

### • Un chromosome simple



- ✓ 1 chromatide = 1 seule molécule d'ADN = n ADN

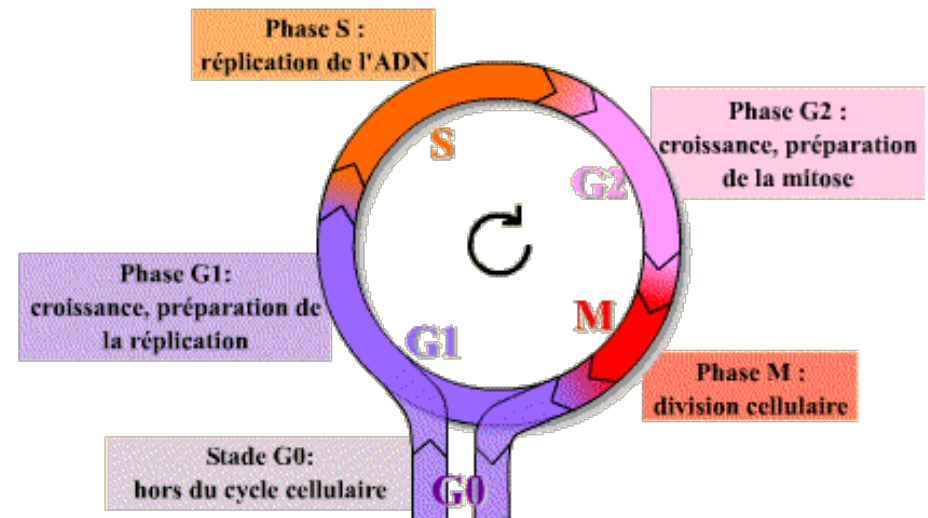
C'est la réplication (phase S) qui permet le passage d'un K simple (1 chromatide) à un K double (2 chromatides)



## III. Cycle cellulaire & mitose

### A. Cycle cellulaire :

Il est constitué de 4 phases : G1 ; S ; G2 ; M (mitose)



- ✓ Phase G0 : phase de **repos** hors du cycle et facultative
- ✓ Phase G1 : **Croissance** précèdent la phase de réplication
- ✓ Phase S : **Réplication** des chromosomes devenant doubles (2 chromatides = **bichromatidien**)
- ✓ Phase G2 : 2<sup>e</sup> phase de **croissance** suivant la réplication
- ✓ Phase M : Mitose

Avant la phase de réplication de l'ADN (phase S), on a 23 paires de K simple :  
 $23 \times 2$  molécules d'ADN  $\rightarrow$  2n ADN

Une fois la réplication faite, on double la quantité d'ADN car les K sont dupliqués :  
**passage de 1 à 2 chromatides**

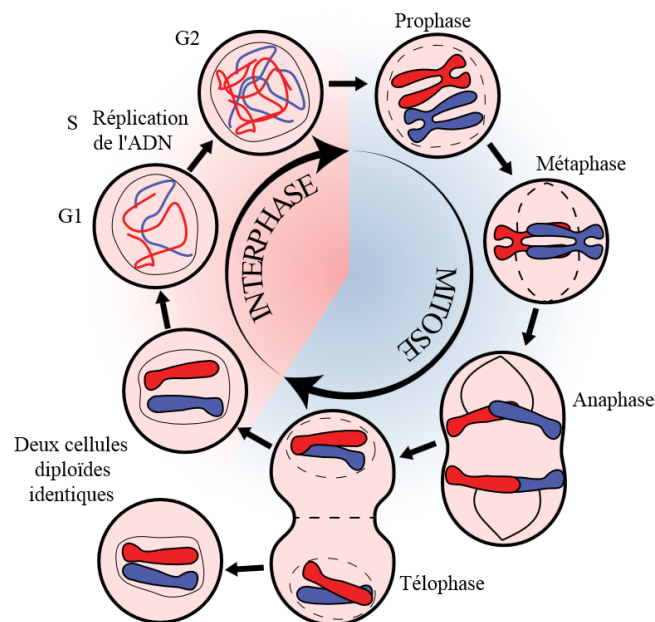
Ainsi en G2 on se retrouve avec 4n ADN

La mitose permet de donner 2 cellules filles à 2n ADN chacune.

## B. Mitose :

Concerne les cellules somatiques uniquement.

On observe 1 division cellulaire après une phase S



4 phases distinctes :

- **Prophase** : épaississement, formation des chromosomes homologues qui deviennent visibles
- **Métaphase** : alignement des centromères **PARALLELEMENT** à la plaque équatoriale
- **Anaphase** : séparation des 2 chromatides de chaque chromosome qui migrent vers les pôles opposés de la cellule
- **Télophase** : constitution des 2 cellules filles identiques à la cellule mère

*Vient ensuite la cytokinèse (= séparation du cytoplasme en 2) et reformation de la membrane plasmique.*

## IV. Gamétogénèse

C'est le mode de division spécifique des cellules germinales. C'est la formation des gamètes= cellules sexuelles à partir des cellules germinales.

4 étapes :

- Multiplication
- Croissance
- Maturation nucléaire = **Méiose**
- Maturation cytoplasmique = Différenciation

### A. La méiose, THE étape :

But : passage de la diploïdie à l'haploïdie + permettre diversité

Concerne les cellules germinales seulement

Contrairement à la mitose, on **observe 2 divisions cellulaires après une seule phase de réplication**. La première division est la plus spécifique, la seconde est identique à une mitose banale (sauf qu'il n'y a pas eu de synthèse d'ADN entre la 1<sup>ère</sup> et la 2<sup>ème</sup> division)

⇒ A partir d'une cellule diploïde, on obtient 4 cellules haploïdes

2 divisions successives sans intercinèse (= phase G1, S, G2)

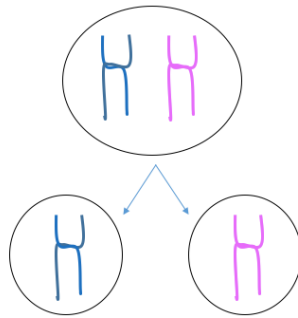
*Pas d'intercinèse  $\rightarrow$  pas de phase S  $\rightarrow$   $\emptyset$  de réplication entre les 2 divisions*



## 1. La première division méiotique :

Elle est :

- ✓ **RÉDUCTIONNELLE** en terme de CHROMOSOMES : passage de 1 paire de K doubles (= à 2 chromatides) à 1 seul K double dans chaque cellule fille (séparation des chromosomes homologues sans séparation des chromatides sœurs)
- ✓ **EQUATIONNELLE** en terme d'ADN : on retrouve 2n ADN dans chaque cellule fille néoformée.



Séparation des chromosomes maternelles et paternelles.

Elle est caractérisée par sa **prophase de première division très longue** comportant 5 étapes spécifiques à la méiose 1. Cette prophase permet des échanges de matériel génétique et donc un brassage de l'info génétique (d'où le terme procréation, car on constitue des cellules filles différentes)

Pour la compréhension de la suite :

- **Crossing over (ou enjambement)** = mécanisme à l'échelle **moléculaire** d'échange de petites portions de matériel génétique entre 2 chromatides **homologues**. Ils ont lieu au stade **pachytène** et sont réalisés grâce aux **complexes synaptonémaux** (=enzymes qui **coupent** les brins et **recréent** des liaisons afin de permettre l'échange de matériel génétique). Il y a, à peu près, **une 20aine de recombinaisons par méiose**.
- **Chiasma : (phénomène anatomique)** Une fois les crossing over réalisés, les chromosomes commencent à s'éloigner mais restent **liés**
- **Télomère** = Extrémité d'une chromatide

## ❖ La Prophase 1 (= de 1<sup>ère</sup> division méiotique)

<p>© <b>Leptotène</b> Apparition des <b>filaments chromatiques</b></p>	
<p>© <b>Zygotène</b> Appariement des Kr homologues : chaque Kr de chaque paire se rapprochent pour former des « <b>bivalents</b> » (chaque gène se place en face de son homologue)</p>	
<p>© <b>Pachytène</b> <b>Epaississement</b> des Kr On parle de tétrades enchevêtrées On <b>individualise</b> bien mieux les chromatides qui se sont <b>espacés</b> (<b>clivage</b>) <b>+++ CROSSING-OVER +++</b></p>	
<p>© <b>Diplotène</b> Les Kr homologues divergent en restants liés par certaines zones : <b>Les <i>chiasm</i>s</b></p>	
<p>© <b>Diacinèse</b> Les chromosomes s'écartent et ne sont reliés plus que par leurs <b>extrémités</b> (les <b>télomères</b>) et s'apprêtent à se séparer</p>	

**Mnémono : Le Zy Pa Di Dia** ou **Le Zizi** du **Pachy**derme à des **Dimension** **Dia**bolique

Les crossing-over vont multiplier le nombre de combinaisons possible. On pense que par méiose il y a une recombinaison génétique par paires de K. Il y a donc au total à peu près une 20aine de recombinaisons par méiose.

Les C-O ont lieu grâce aux complexe synaptonémaux :

Le complexe synaptonémal est un **complexe protéique** qui permet l'**association des chromosomes homologues** entre eux. Il est composé de différentes **enzymes** et **nucléoprotéines** qui vont **couper et recréer les liaisons ADN**.

C'est grâce à ça qu'on peut relier les K entre eux et faire des crossing over.

La **condensation de protéines** appelée **nodule de combinaison** va favoriser ces échanges grâce à la présence d'**enzymes de clivage** et de **lyases**, enzymes permettant de cliver et rattacher ensuite les brins de novo.

☛ Les **K sexuels échappent au Crossing-over** en formant une vésicule. Ils se lient par une toute petite partie homologue appelée **pseudo-autosomique**. Le reste, la partie **hétérochromatide sexuelles** sera **accollée à la membrane nucléaire = vésicule sexuelle**

- ✓ Après la prophase 1, vient la métaphase 1 : les chromosomes se placent **PERPENDICULAIREMENT** à la plaque équatoriale.

Chaque cellule fille hérite d'un K différent de manière totalement aléatoire.

On a **2<sup>23</sup> combinaisons possibles**.

- ✓ Ensuite on assiste à l'anaphase 1 : les K s'écartent aux pôles opposés de la cellule  
→ C'est la que la ségrégation aléatoire à lieu (à cheval entre métaphase & anaphase 1)
- ✓ Vient enfin la télophase 1 : passage de 4n ADN à 2n ADN et de 2nK à nK.

1 <sup>ère</sup> division méiotique	En terme de Kr	En terme d'ADN
Début de cycle cellulaire	UNE cellule diploïde à 46 chromosomes (23 paires) → <b>2nKr</b>	Chromosomes simples (=1 seule chromatide) → <b>2n ADN</b>
Fin du cycle	Deux cellules haploïdes à 23 chromosomes (un de chaque paire) → <b>nK</b>	Chromosome de chaque cellule sont doubles (deux chromatides) → <b>2n ADN</b>
Pour résumer	De <b>2nKr</b> on passe à <b>nKr</b> Méiose 1 <b>réductionnelle en Kr</b> <b>Passage à l'haploïdie (nKr)</b>	De <b>2n ADN</b> → <b>2nADN</b> <b>Equationnelle en ADN</b> Nombre de chromatides totales identique

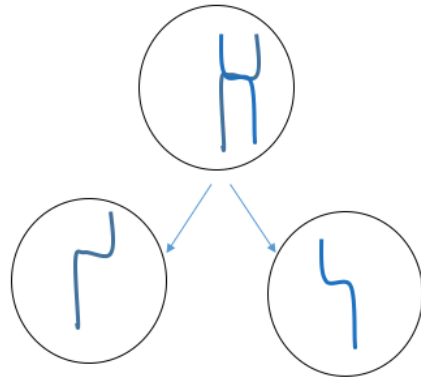
## 2. La deuxième division méiotique :

- ✓ Elle se déroule IMMEDIATEMENT après la fin de la télophase 1
- ✓ Les deux cellules à n K bichromatidien se divisent pour former 4 cellules à nK à une seule chromatide
- ✓ C'est l'équivalent d'une mitose normale

Les K s'alignent **PARALLELEMENT** à la plaque équatoriale en métaphase

Les K se scindent en 2 au niveau de leur centromère et les chromatides sœurs migrent aux pôles opposés de la cellule.

- ✓ Elle est **EQUATIONNELLE** en terme de K (on reste à nK)
- ✓ Elle est **REDUCTIONNELLE** en terme d'ADN (on sépare les chromatides)



Exemple : Ici séparation des chromatides sœurs du chromosomes père

- ✓ On a donc exactement le même matériel génétique de chaque coté
- ✓ On obtient 4 cellules haploïdes ( $nK$ )
- ✓ Chaque cellule a  $n$  molécule d'ADN &  $n$  chromosome ( $n=23$ )

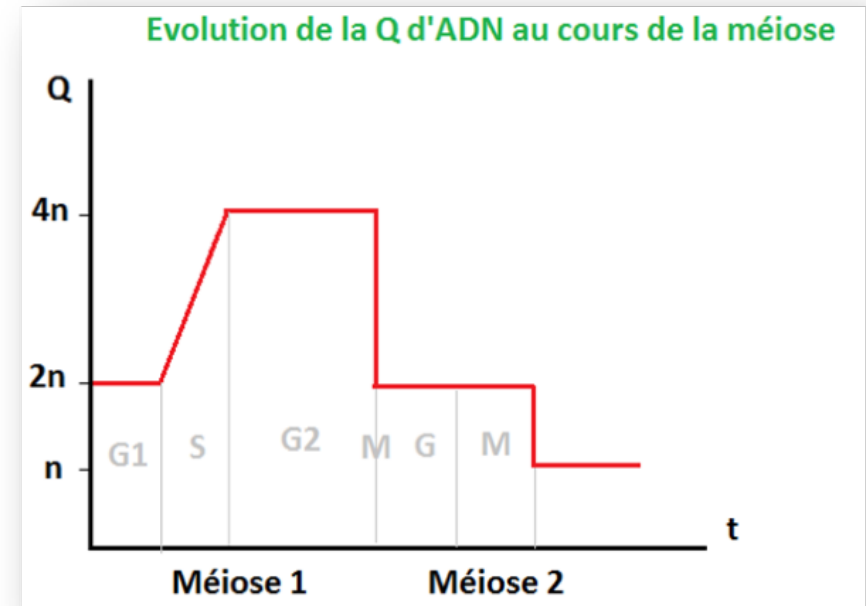
### 3 facteurs de diversité :

- Recombinaisons génétiques en pachytène (crossing-over)
- Ségrégation des paires de chromosomes en métaphase/anaphase 1
- Rencontre aléatoire entre les gamètes produits/nature du K du spz

### Conséquence de la méiose :

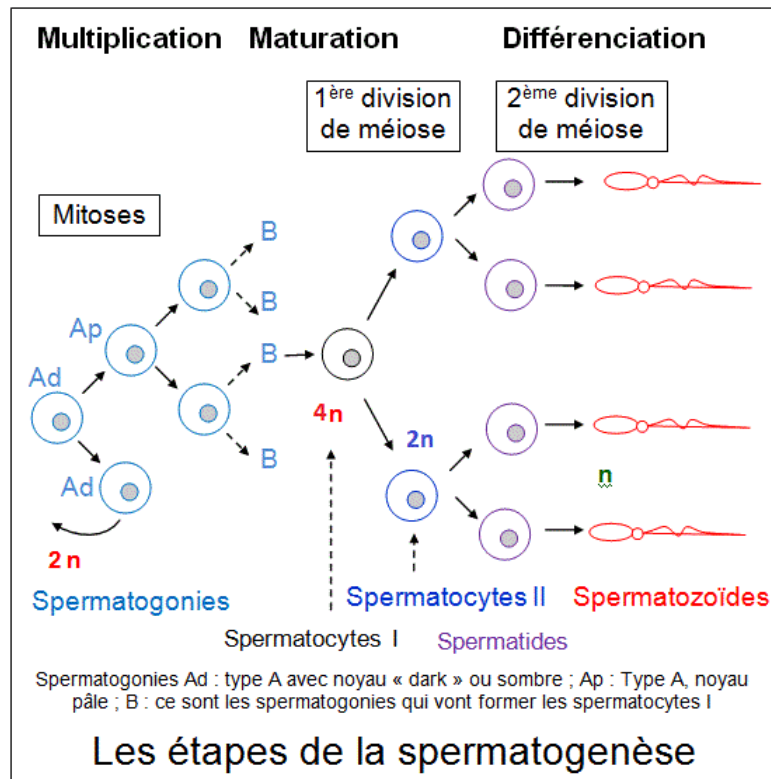
- ✓ Réduction par 2 de la quantité d'ADN :  $2n \rightarrow n$
- ✓ Réduction chromatique : permet de passer d'une cellule diploïde à 4 cellules haploïdes
- ✓ Brassage de l'information génétique : crossing over + métaphase 1 + nature du K sexuel apporté par le spz
- ✓ Transmission de l'information génétique

2 <sup>ème</sup> division méiotique	En terme de Kr	En terme d'ADN
Début de cycle cellulaire	2 cellules haploïdes à 23 chromosomes → <b><math>nKr</math></b>	Chromosomes doubles = 2 chromatides → <b><math>2n</math> ADN</b>
Fin du cycle	4 cellules haploïdes à 23 chromosomes (un de chaque paire) → <b><math>nK</math></b>	Chromosomes de chaque cellule sont simples (une seule chromatide) → <b><math>n</math> ADN</b>
Pour résumer	On reste à <b><math>nKr</math></b> Méiose 2 équationnelle en Kr <b>Même nombre de Kr, mais simples (une chromatide)</b>	De <b><math>2n</math> ADN</b> → <b><math>n</math> ADN</b> <b>Réductionnelle en ADN</b> Division par 2 de la quantité d'ADN car une seule chromatide/Kr





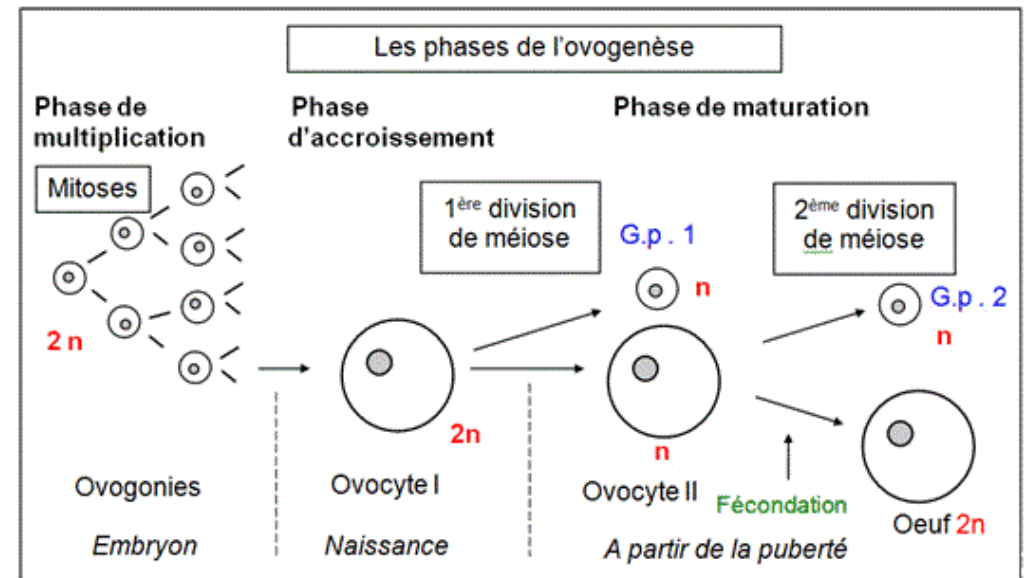
## B. La spermatogénèse :



- **Multiplication importante** des spermatogonies avec une prolifération des cellules souches maintenue presque toute la vie de l'individu
- **Croissance FAIBLE** : ne dépasse jamais 1 micron, le spermatocyte 1 est la plus grosse cellule de la spermatogénèse
- **Maturation méiotique** (=nucléaire) : **COMPLÈTE, RAPIDE, CONTINUE** +++
- **Différenciation ou spermiogénèse** : passage d'une cellule ronde à la cellule la plus spécialisée/différenciée de l'organisme

NB : Le spz obtenu contient soit 1 K X soit 1 K Y (car haploïde) → Il est donc responsable du sexe du nouvel individu

## C. L'ovogénèse:



- **Multiplication FAIBLE** : les ovogonies arrêtent de se multiplier au 7<sup>e</sup> mois de vie intra utérine. A 7 mois le stock est ainsi défini ( 1 à 7 millions d'ovocytes) et réduit tout au long de la vie → phénomène d'atrésie folliculaire. Production d'un ovocyte par mois

Quand il n'y a plus d'ovogonies = ménopause

- **Croissance IMPORTANTE** : elle donne la plus grande cellule de l'organisme (100 microns). Son cytoplasme est très riche en réserves pour la survie de l'œuf pendant les 7 premiers jours
- **Méiose : INCOMPLÈTE, DISCONTINUE, LENTE ++** : Les ovocytes de premier ordre se bloquent en prophase de première division méiotique. Si il y a ovulation, la méiose reprend et se bloque de nouveau en métaphase de deuxième division méiotique. Si et seulement s'il y a fécondation, la méiose s'achèvera.

DOUBLE BLOQUAGE : Prophase 1 & Métaphase 2

- **Différenciation INEXISTANTE** : l'ovocyte est une cellule ronde, non différenciée