



Méiose & Généralités

I. La reproduction

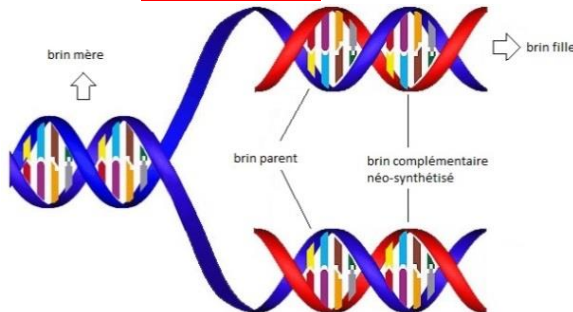
Définition : Processus qui permet à une espèce de se **perpétuer**.

⇒ 2 types : **asexuée** (=reproduction vraie) et **sexuée** (=la procréation)

A. La reproduction asexuée

Forme la plus basique, elle se fait à partir d'une **cellule mère**, qui, par une **mitose classique**, donne **deux cellules filles identiques = des clones**.

- Concerne les organismes unicellulaires (≠ de l'H comme bactéries et virus)
- Il y a **absence** de fécondation
- **Permanence** des caractéristiques de l'espèce
 - Seuls changements possibles par **mutation accidentelle** par un événement extérieur (ex : un rayonnement irradiant)
 - Ø possibilité d'adaptation aux changements environnementaux (pas un moyen efficace d'adaptation car **très faible/très lente**)
- **Immortalité des individus** se multipliant par deux (on retrouve toutes les caractéristiques de la cellule mère dans les cellules filles = **clonage**)
- La réplication est de type **semi-conservative** :



L'ADN est double brin. Il se dissocie en **deux héli brins simples**, il y a ensuite **synthèse d'un brin complémentaire** identique au brin d'origine. Ainsi, l'ADN des deux cellules filles est totalement identique à l'ADN de la cellule mère : c'est le **clonage**.

B. La reproduction sexuée (= procréation)

C'est une **avancée** dans l'évolution (**adaptation à l'environnement = sophistication** du système). Elle est permise par une **différenciation sexuelle** des individus (ex : mammifères). La **gonade** est l'organe (apparition de **2 genres**) qui va se **spécialiser** afin de produire les gamètes. Ces derniers sont différents dans chaque sexe : on parle d'**anisogamie**

- Permet une bien **plus grande diversité**
 - ☀ L'adaptation **rapide** aux modifications environnementales est donc **possible !!!**
 - ☀ Important pour la survie et l'évolution de l'espèce
- Elle crée de la diversité : un nouvel individu n'est **jamais identique** à ses deux parents (d'où le terme de **procréation**)

On retrouve donc 2 types de cellules chez les individus : les cellules **somatiques** (constituants le **soma**) et les cellules **germinales** (le **germen**)

Le clonage : c'est une technique qui permet d'avoir en théorie des individus **parfaitement identique**. En pratique ce n'est pas le cas à cause des modifications **épigénétiques**.

Les cellules germinales (lignée sexuelle)

- Elles se trouvent dans la **gonade** de chaque individu
- Elles subissent la **méiose**
- Elles donneront les **gamètes**
- Physiologiquement, ce sont les **seules** cellules capables de **fusionner entre-elles** (=fécondation)

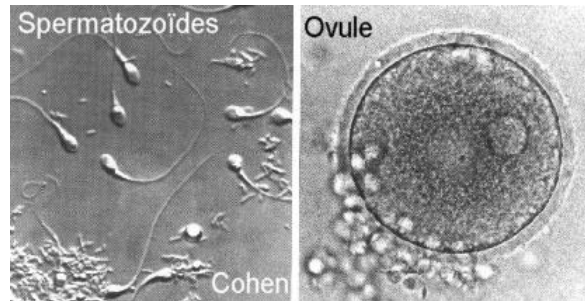
✓ Le **spermatozoïde** chez l'Homme grâce à la spermatogénèse

✓ L'**ovocyte** (= ovule) chez la Femme grâce à l'ovogénèse

☛ Les gamètes sont les **seules** cellules **haploïdes** de l'organisme (un seul exemplaire de chaque paire de chromosomes)

⇒ Cela signifie qu'elles contiennent n chromosomes, c'est à dire un chromosome de chaque paire (soit celui de la mère, soit celui du père)

A savoir : $n = 23$ chez l'H dont un chromosome sexuel



Pour une fécondation optimale, il existe **3 conditions primordiales** :

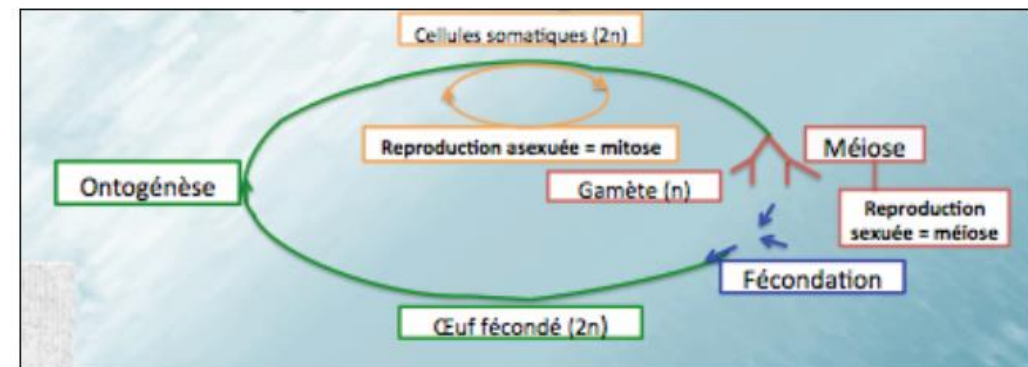
- ✓ **Une taille suffisante** des ovules (réserves)
- ✓ **Mobilité** et **nombre** important de spermatozoïdes (+ de chance de rencontre et beaucoup de pertes dans le tractus féminin)
- ✓ **Un coût de fabrication** (énergie utilisée) **raisonnable**

Les cellules somatiques (la majorité)

- ✓ Ce sont des cellules **diploïdes** : elles contiennent $2n$ chromosomes
⇒ Elles ont donc 46 chromosomes : $2n_{Kr} = 2 \times 23_{Kr}$
- ✓ Elles subissent la **mitose**
- ✓ Toutes les cellules **non-sexuelles**

C. Le cycle de la reproduction sexuée

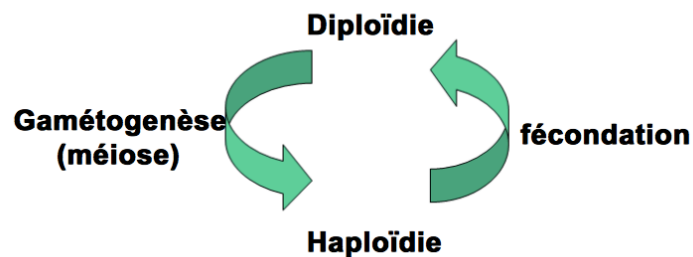
Le spermatozoïde	L'ovocyte
<ul style="list-style-type: none"> - + petite cellule du corps humain (sa tête fait moins d'1 micron) - Très peu de réserve (strict minimum) - Très peu de cytoplasme - Mobilité +++ ⇒ Déplacement actif grâce au flagelle lui permettant d'atteindre le 1/3 externe de la trompe ⇒ Sa fonction spécifique est le déplacement ➤ Cellule très différenciée = beaucoup de modification pour augmenter la mobilité ➤ ADN très condensé 	<ul style="list-style-type: none"> - + grande cellule de l'organisme : 100 microns - Réserves +++ (ARNm principalement pour les 7 premiers jours de développement) → permet la survie de l'embryon avant son implantation - Cytoplasme très abondant - Mobilité --- et déplacement passif (cils et liquide de l'utérus) ⇒ Fonction spécifique = stockage ➤ Cellule très peu différenciée



- ✓ Les cellules **somatiques** se multiplient par mitose classique
- ✓ Les cellules germinales souches subissent la **méiose** à un seul **moment précis** de la gamétogénèse pour devenir haploïdes
- ✓ La fécondation a lieu, les deux gamètes de sexe opposé se rencontrent pour former un zygote (œuf) diploïde
- ✓ Ce zygote diploïde suit son développement embryonnaire

- ✓ Ontogénèse : vieillissement du nouvel individu
 - 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.

D. Le passage de la diploïdie à l'haploïdie et vice-versa



II. Les chromosomes

Les chromosomes constituent le support de l'information génétique.

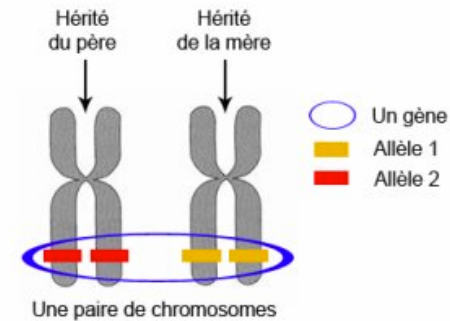
Il **ne se limite pas** à l'ADN mais également aux nucléoprotéines qui la protègent

Chez l'Homme, on retrouve 23 paires de chromosomes :

- ⇒ 22 paires d'**autosomes**
- ⇒ 1 paire de **gonosomes** ou **chromosomes sexuels** (XX ou XY)

A. Les différents types de chromosomes

❖ Une paire de chromosomes = chromosomes homologues



Dans chacune des paires on retrouve un chromosome venant du spermatozoïde, donc du père, et un chromosome venant de l'ovocyte, donc de la mère

Les chromosomes peuvent avoir une ou deux **chromatides** selon

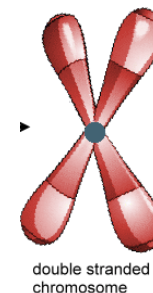
l'avancement du cycle cellulaire :

- ✓ Avant la phase de réplication (= phase S) : 1 chromatide
- ✓ Après réplication : 2 chromatides (comme ci-dessus)

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

Exemple : Une certaine partie d'un chromosome d'une paire (= le gène) est responsable de la couleur des cheveux. Or il existe plusieurs types de couleur de cheveux (blond, brun, roux...) . Ainsi une couleur de cheveux constitue un allèle du gène « couleur de cheveux ».

❖ Un chromosome double



On retrouve ici 2 chromatides sœurs

Elles sont totalement identiques, issues de la réplication → elles strictement les **mêmes** allèles

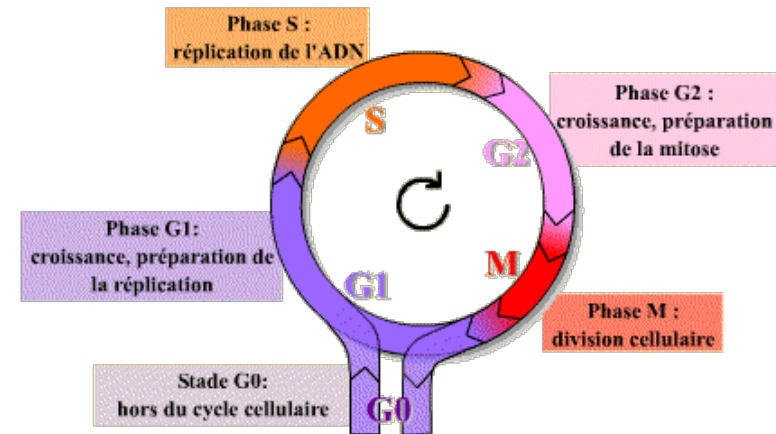
On a DEUX chromatides, donc **2 molécules d'ADN**

→ on dit dans ce cas qu'il y a « **2n ADN** »

III. Cycle cellulaire & Mitose

A. Le 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 = **bichromatidiens**)
- ✓ Phase G2 : 2^e phase de **croissance** suivant la réplication
- ✓ Phase M : **Mitose**

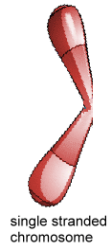
Avant la phase de réplication de l'ADN (phase S), on a 23 paires de chromosomes simples : 23 x 2 molécules d'ADN → **2n ADN**

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

Ainsi en phase G2 on se retrouve avec une quantité égale à **4n ADN**

La mitose permettra de donner **deux cellules filles à 2n ADN chacune**

❖ Chromosome simple

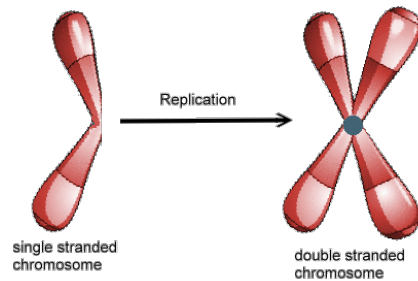


On retrouve ici UNE chromatide

→ **Une seule molécule d'ADN**

→ On dit qu'il y a « **n ADN** »

C'est la **réplication** (= phase S) qui permet le passage d'un chromosome simple (UNE chromatide) à un chromosome double (DEUX chromatides)



Centromère : Zone unissant les 2 chromatides (point gris)

Télomère : Extrémité d'une chromatide

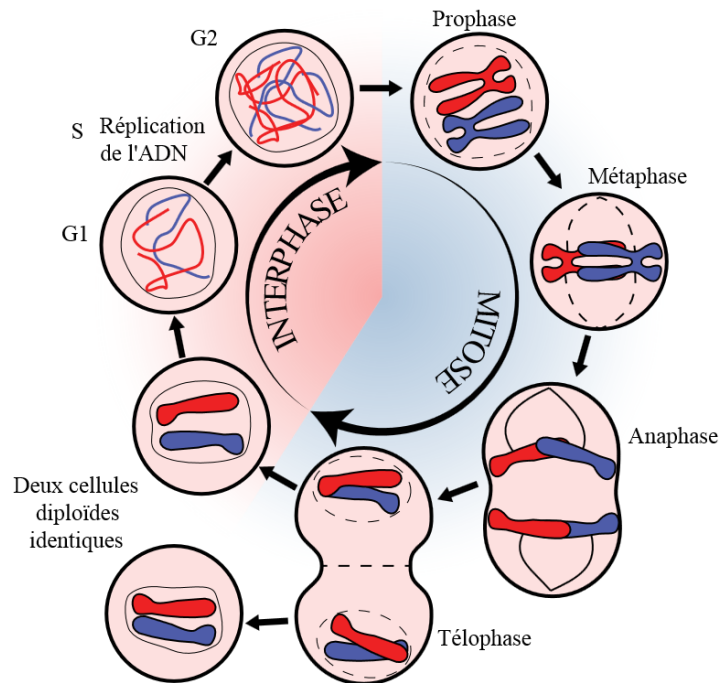
!! Ne pas confondre « chromatides » et « chromosomes » homologues

Allèle non exprimé « éteint » = ADN **méthylé** (en particulier cytosine) + chromatine **compactée** → **pas** de transcription

Allèle parental exprimé = ADN **non méthylé** + ADN **cétylé** + chromatine **relâchée** → transcription **possible**

B. La mitose

- Ce mode de **division cellulaire** concerne les cellules somatiques uniquement
- On observe une division cellulaire après une phase S



4 phases distinctes :

- **Prophase** : épaississement, formation des chromosomes homologues qui deviennent visibles
- **Métaphase** : alignement des centromères **PARRALLEMENT** 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 cytotéièrese (= séparation du cytoplasme en 2) et reformation de la membrane plasmique.

IV. Gamétogénèse

C'est le mode de division cellulaire spécifique à la cellule germinale. Elle correspond à la formation des **gamètes** = cellules **sexuelles** à partir des cellules **germinales**

4 étapes clés :

- ✓ **Multiplication**
- ✓ **Croissance**
- ✓ **Maturation nucléaire** → **La méiose**
- ✓ **Maturation cytoplasmique** = **Différenciation**

A. La méiose : étape essentielle

But : passage de la **diploïdie** à l'**haploïdie** ainsi que permettre la **diversité**

Cette méthode de division cellulaire ne concerne que les cellules **germinales**
Contrairement à la mitose classique, on observe **deux divisions cellulaires** après **une seule phase de réplication**

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

On parle de deux divisions successives sans intercinèse (phases G1, **S**, G2)

Pas d'intercinèse → pas de phase S → \emptyset de réplication entre les 2 divisions

1. La première division méiotique :

Elle est :

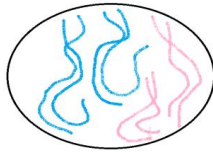
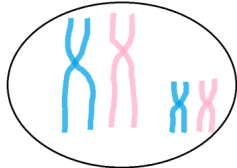

- **Réductionnelle** en terme de **chromosomes** : on observe le passage de 2 paires de chromosomes doubles (= à 2 chromatides) à un seul chromosome double dans chaque cellule fille (séparation des chromosomes homologues sans séparation des chromatides sœurs)
- **Equationnelle** en ce qui concerne l'**ADN** : on retrouve bien **2n ADN** dans chaque cellule fille néoformée

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

Pour la compréhension de la suite :

- **Crossing over** = échange de petites portions de matériel génétique entre 2 chromatides **homologues**. Ils ont lieu au stade **pachytène** et **diplotène** 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** : Une fois les crossing over réalisés, les chromosomes restent **liés** par une zone et forme une figure qu'on appelle chiasma

★ La Prophase 1 (= de 1^{ère} division méiotique) ★

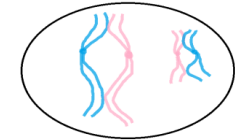
◎ Leptotène Apparition des filaments chromatiques	
◎ Zygotène Appariement des Kr homologues : chaque Kr de chaque paire se rapprochent pour former des « bivalents » (chaque gène se place en face de son homologue)	
◎ Pachytène Epaississement des Kr On parle de tétrades enchevêtrées (car 4 chromatide / Kr) On individualise bien mieux les chromatides qui se sont un espacées (clivage) +++ CROSSING-OVER +++	

◎ **Diplotène**

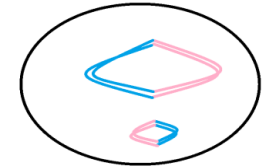
Les Kr homologues divergent en restants liés par certaines zones :

↪ Formation de **chiasmata**

+++ CROSSING-OVER +++

◎ **Diacinèse**

Les chromosomes s'écartent et ne sont reliés plus que par leurs **extrémités** (les **télomères**) et s'apprêtent à se séparer



Mnémono : Le Zy Pa Di Dia

La formation de ces différents stades est réalisée par les modifications des nucléoprotéines.

Important : Les Kr sexuels échappent aux crossing over en formant une vésicule accolée à la membrane nucléaire = la **vésicule sexuelle**

/ ! \ Bien différencier / ! \ :

- **mutation génétique** = mutation au niveau des **bases**.
- **Épigénétique** = mutation jouant sur l'**état** des nucléoprotéines

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

- ✓ Vient après la prophase 1, la **métaphase 1 (de 1^{ère} division)** : les chromosomes se placent **PERPENDICULAIREMENT** à la plaque équatoriale (et non pas parallèlement comme dans la mitose)

→ Chaque cellule fille hérite d'un Kr différent de façon totalement **aléatoire**

→ On a ainsi **2²³** combinaisons de cellules filles différentes

- ✓ Puis on assiste à l'**anaphase 1** : les Kr s'écartent aux pôles opposés de la cellule → c'est là que la **ségrégation aléatoire** a lieu
- ✓ Vient enfin la **télophase 1** : passage de **4n ADN à 2n ADN** et de **2nKr à nKr**.

2. La deuxième division méiotique

- ✓ Elle se déroule immédiatement après la fin de la télophase 1
- ✓ Les deux cellules à nKr bichromatidiens se divisent pour former 4 cellules à nKr à **une seule chromatide**

Elle est l'équivalent d'une mitose normale

→ Les Kr s'alignent **PARRALLELEMENT** à la plaque équatoriale en **métaphase**

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

Pour ce qui est des Kr et de l'ADN, cette fois ci tout est inversé :

- ☛ Elle est **équationnelle** en terme de **Kr** (on reste à nKr)
- ☛ Elle est **réductionnelle** en terme d'**ADN** (on sépare les chromatides)

→ On a donc **exactement le même matériel génétique de chaque côté**

→ On obtient **4 cellules haploïdes (n Kr)**

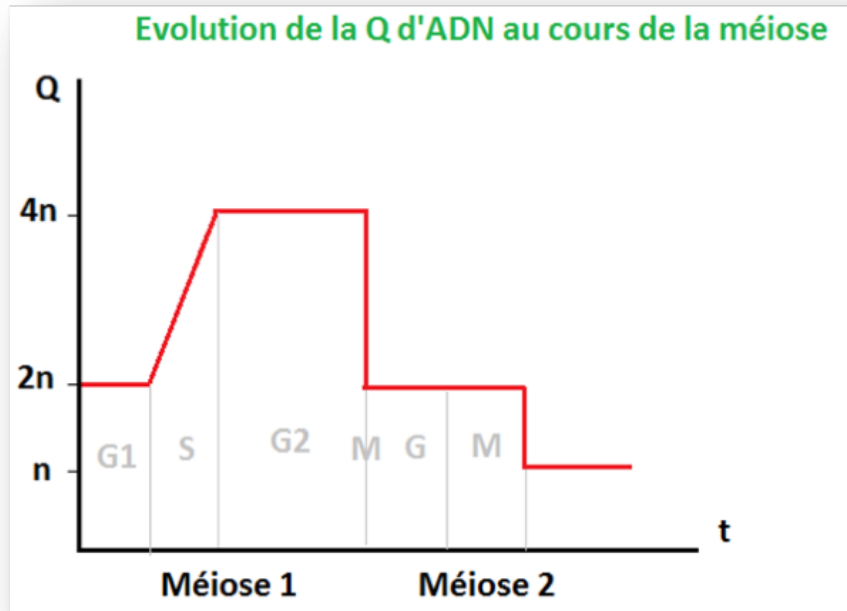
→ Chaque cellule a **n molécules d'ADN** et **n chromosomes** (rappel : n=23)

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

Au final nous avons donc 3 facteurs de diversité :

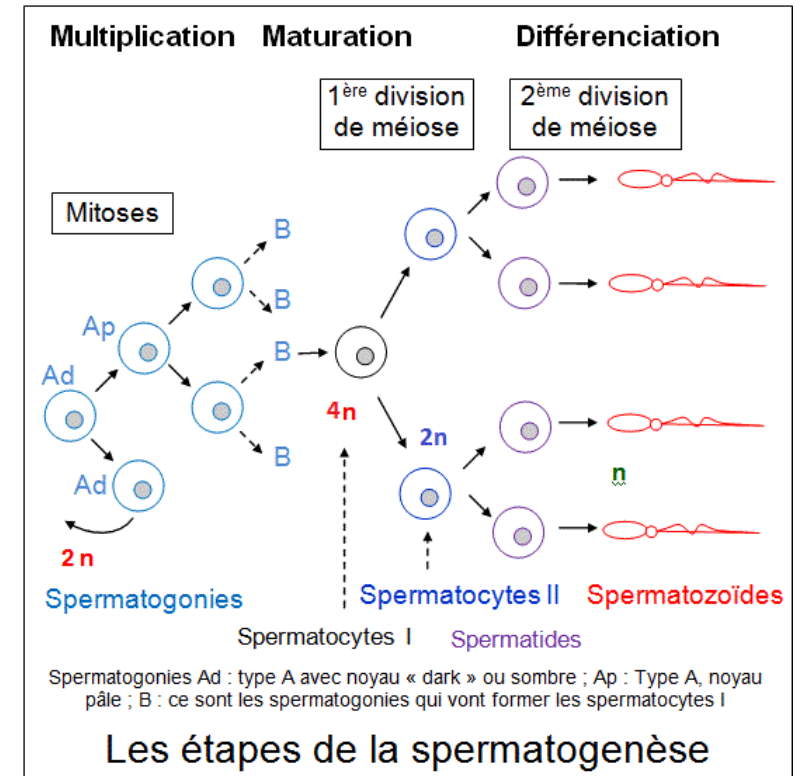
- ✓ Les recombinaisons génétiques en pachytène et diplotène
- ✓ La répartition aléatoire des chromosomes en métaphase 1
- ✓ La rencontre aléatoire entre les gamètes produits

Conséquences de la méiose et évolution de l'ADN



- ✓ 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 I** + nature du **Kr sexuel** apporté par le spermatozoïde
- ✓ Transmission de l'information génétique

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 I 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 spermatozoïde obtenu contient **soit 1 Kr X soit 1 Kr 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^e mois de vie intra-utérine. A 7 mois le stock est ainsi **défini** et réduit tout au long de la vie → phénomène d'**atrésie folliculaire**

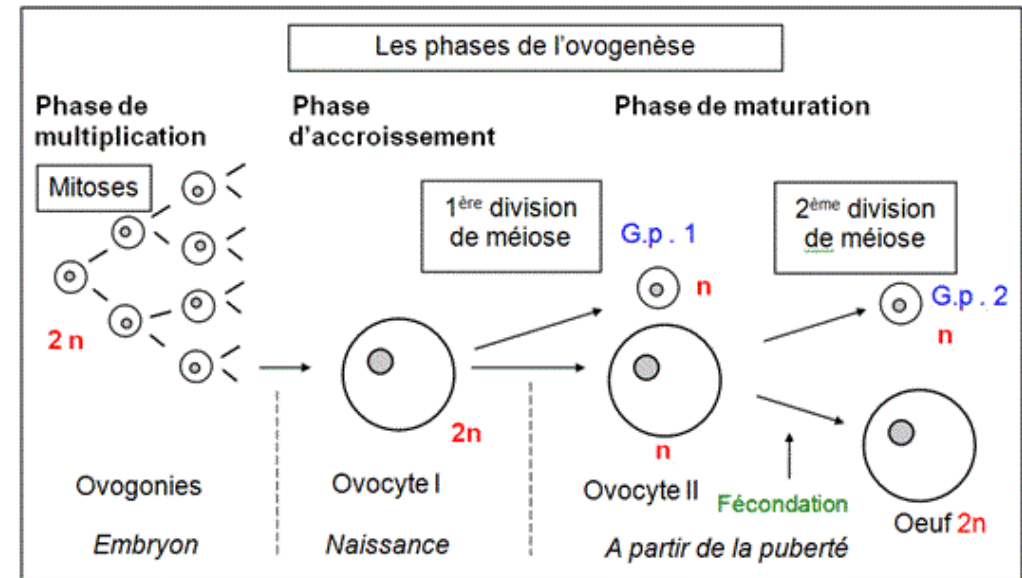
⇒ Quand il n'y a plus d'ovogonies, on parle de **ménopause**

- ☛ **Croissance : IMPORTANTE**, elle donne la cellule la plus grande 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 son cours et se bloque à nouveau en **métaphase de deuxième division méiotique**. Si et uniquement si il y a **fécondation**, la méiose s'achèvera

On assiste donc à un **DOUBLE BLOQUAGE** : Prophase I et Métaphase II

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



Aparté sur le globule polaire : Afin de garder un maximum de réserves dans son cytoplasme, lors de chacune des divisions méiotiques, l'ovocyte se divise en une cellule qui gardera quasiment la totalité du cytoplasme et une cellule n'en contenant presque pas = le globule polaire.

- ☛ **Le globule polaire contient le même patrimoine génétique**

- **GP 1 : nKr et 2n ADN**
- **GP 2 : nKr et n ADN**

⇒ Ce globule polaire n'a aucun rôle, il se « sacrifie » pour laisser tout le cytoplasme à l'ovocyte

FIN DE CE PREMIER COURS ☺
PLEIN DE COURAGE À TOUS !!!