

Méiose et généralités

I – La reproduction

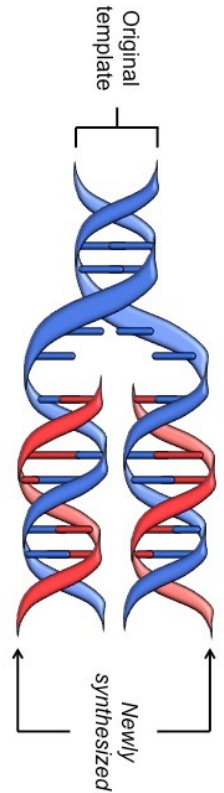
C'est le processus qui permet à une espèce de se perpétuer

1) Reproduction asexuée = reproduction vraie

Elle se fait à partir d'une cellule mère **bi-caténaire** (possède 2 brins d'ADN complémentaires) qui se divise en deux cellules filles **strictement identiques** à la cellule mère. C'est le mécanisme de **mitose** retrouvé dans les cellules somatiques.

Caractéristiques ++ :

- Concerne uniquement les organismes **unicellulaires**
- On a une réplication de l'ADN dite **semi-conservative**
- **Permanence** des caractéristiques de l'espèce (**Clones** identiques à la cellule mère)
- **Immortalité** des individus (**multiplication par 2 en se reproduisant**)
- Seule possibilité d'adaptation à l'environnement = **mutations rares, accidentelles et aléatoires** provoquant un changement **définitif**



2) Reproduction sexuée = procréation

Elle permet la diversité au sein d'une même espèce en créant des individus jamais identiques aux parents, on parle de **procréation**.

Elle est basée sur la différenciation des individus en deux sexes (= **dimorphisme sexuel**) et la fabrication de cellules spécialisées dans la reproduction, les **gamètes**, différentes dans chaque sexe (= **anisogamie**)

Caractéristiques ++ :

- grande **diversité** au sein d'une même espèce (individu jamais identique à ses deux parents)
- **adaptation** rapide à l'environnement
- rôle primordial dans la **survie et l'évolution** des espèces
- plusieurs mutations peuvent apparaître lors de la division cellulaire du fait des mécanismes de la méiose → **effet amplificateur** d'une mutation

Cellules somatiques et cellules germinales

La majorité des cellules du corps sont les cellules **somatiques** (cellules non sexuelles).



Elles sont **diploïdes** (2n chromosomes) et subissent la **mitose**.

⇒ cellules somatiques humaines = 46K (n=23)

Les cellules **germinales** sont celles qui vont donner les **gamètes** (ovocyte chez la femme et spermatozoïde chez l'homme) grâce au mécanisme de la **méiose**. Ce sont les seules cellules **haploïdes** de l'organisme (possèdent qu'un exemplaire de chaque paire de K = nK) et les seules à pouvoir fusionner physiologiquement via la fécondation.

Il y a une **ségrégation au hasard** au moment de la fabrication des gamètes qui reçoivent pour chacune des 23 paires de K ($n=23$ chez l'homme), soit le K maternel soit le K paternel.

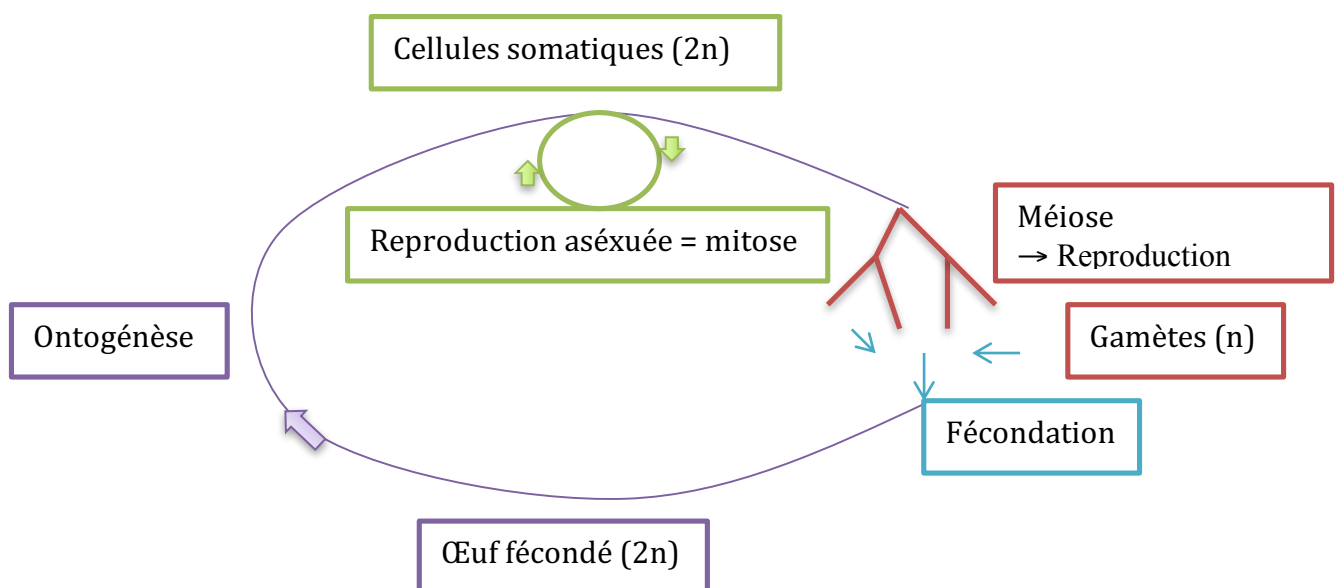
⇒ Entraîne un nombre infini de combinaisons possibles de gamètes différents soit **2^{23} combinaisons** différentes. Cela ouvre les perspectives de **variabilité inter-individuelles**.

| SPERMATOZOÏDE | OVOCYTE |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - + petite cellule du corps ($<1\mu\text{m}$) - ADN le + condensé - Pauvre en cytoplasme - Très peu de réserves - Mobile ++ : déplacement actif grâce au flagelle - Cellule très différenciée - Fonction principale = déplacement  | <ul style="list-style-type: none"> - + grosse cellule du corps ($100\mu\text{m}$) - Riche en cytoplasme - Réserves en ARNm, nutriments ++ : assure la survie de l'embryon lors des divisions cellulaires des 7 premiers jours - Très peu mobile, déplacement passif via les cils et mucus des trompes - Très peu différenciée - Fonction principale = stockage  |

3 conditions permettant une bonne fécondation :

- **Taille suffisante** pour l'ovocyte → apports nutritifs pour les premières phases de développement avant l'implantation ≠ spermatozoïdes pas de réserves
- **Mobiles et nombreux** pour les spermatozoïdes → augmente chances de rencontre avec l'ovule
- **Coût de fabrication raisonnable**

Cycle de reproduction sexuée :



Les cellules embryonnaires vont se développer et se multiplier par mitoses classiques. Ensuite les cellules vont se différencier en deux contingents : les cellules somatiques qui forment l'individu et les cellules germinales qui subissent la méiose à un moment précis de la gamétogénèse pour devenir **haploïdes**. La **fécondation rétablit ensuite la diploïdie** en formant un zygote (œuf fécondé diploïde).

- **Ontogénèse** = évolution d'un **individu** de sa conception jusqu'à sa mort (embryogénèse, développement fœtal, période infantile, maturation pubertaire, âge adulte = période d'activité sexuelle, vieillissement = ménopause ou andropause)
- **Phylogénèse** = évolution d'une **espèce**.
→ L'ontogénèse reflète la phylogénèse +
- **Épigénétique** : l'environnement, au delà des mutations est capable de modifier l'habillage des gènes et leur expression

Appareil génital

Les gonades ont **2 fonctions** :

- **Exocrine** : production des **gamètes**
- **Endocrine** : production d'**hormones sexuelles** indispensables à la reproduction

Ces hormones sexuelles vont permettre de mettre en place **3 types de caractéristiques** :

- **Caractères sexuels primaires** = OGI et OGE pendant le développement fœtal → **Phénotype** (fille ou garçon)
- **Caractères sexuels secondaires** au cours de la maturation pubertaire
- **Comportement sexuel**

Les gonades agissent durant la vie fœtale et les 6 premiers mois de vie (= **mini puberté**) puis s'arrêtent complètement jusqu'à **7-8 ans** (= **démarrage de la puberté**). La reprise du fonctionnement de la gonade démarre au niveau de l'hypothalamus entraînant la sécrétion des hormones sexuelles (androgènes, œstrogènes) à l'origine de la **maturation pubertaire modifiant les OGI et OGE**. La puberté entraîne aussi une **poussée de croissance** à la fin de laquelle les cartilages de croissance **se soudent** sous l'effet des **hormones sexuelles**.

Fin de développement fœtal → le **cerveau se différencie** dans le sens féminin ou masculin sous l'effet des hormones ⇒ C'est l'**identité sexuelle**

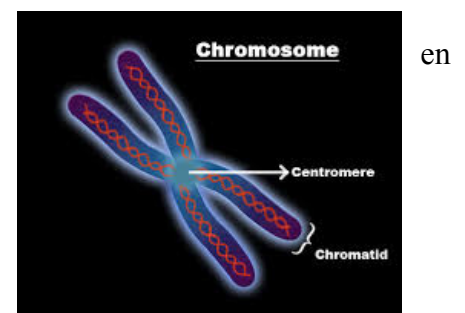
II – Généralités et mitose

1) Les chromosomes = K

Ils portent l'information génétique sous forme d'un **ADN double brin** forme de double hélice. Un morceau de la chaîne d'ADN formant le K donne un **gène** codant pour une protéine. Les K possèdent aussi des nucléoprotéines protégeant l'ADN des agressions extérieures.

Cellule somatique humaine = 23 paires de chromosomes

- **22 paires d'autosomes**
- **1 paire de gonosomes** = K sexuels X ou Y



KY est le plus petit des K et ne contient presque que des gènes codants pour la reproduction ≠ KX qui a des propriétés physiologiques de l'organisme général

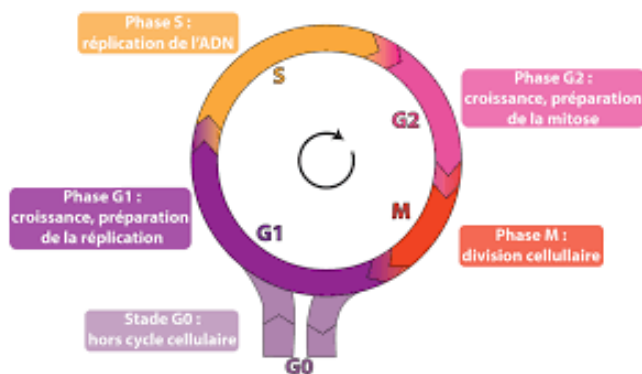
⇒ **KX indispensable** à la survie ≠ KY dont on peut se passer (**YO non viable** alors que XO viable = syndrome de Turner)

A retenir ++:

- cellule **somatique** = **diploïde** = 23 PAIRES de K homologues (K d'une même paire) = **2nK**
- cellule **germinale** = **haploïde** = 23 K, un seul exemplaire de chaque chromosome = **nK**

2) Cycle cellulaire

Il est constitué de 4 phases : G1 – S – G2 – M. C'est le cycle d'une cellule somatique se divisant par mitose



➤ Stade G0 : Phase de **repos** hors cycle cellulaire (quiescent), facultative

➤ Stade G1 : **Entrée dans le cycle**, croissance précédant la phase de réplication

➤ Phase S : **Réplication** des chromosomes devenant doubles = bi-chromatides

➤ Phase G2 : 2^e phase de **croissance** après la réplication

➤ Phase M : **Mitose**

➔ **On a toujours une synthèse qui précède la phase M ++**

Avant la phase de réplication (S) on a 23 paires de **K simples** = **1 chromatide**

→ 23 x 2 molécules d'ADN (bi-caténaire) = **2n ADN**

Après la réplication un K contient **deux chromatides SŒURS (identiques)** réunies par leurs centromères

→ On double la quantité d'ADN car les K sont dupliqués = passage à deux chromatides = **4nADN**

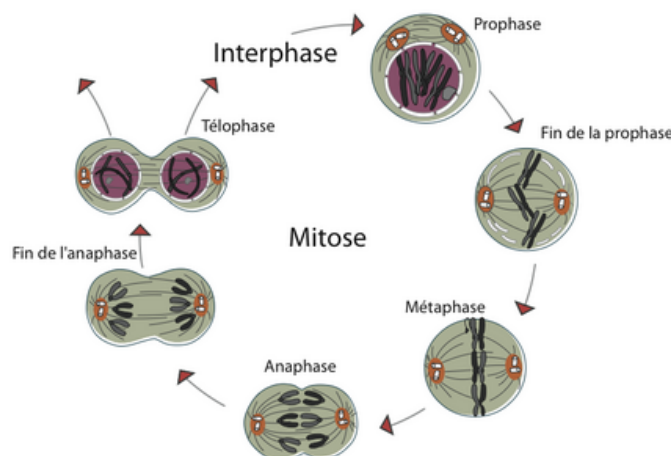
La mitose sépare ensuite les deux chromatides

→ Permet de donner deux cellules filles à **2nADN chacune**.

3) Mitose

Uniquement pour les cellules somatiques.

Elle correspond à **1 division cellulaire après 1 phase S de réplication.**



Elle contient 4 phases distinctes :

- **Prophase** : épaississement, formation des K homologues qui deviennent visibles
- **Métaphase** : Alignement des centromères **PARALLELEMENT** à la plaque équatoriale
- **Anaphase** : séparation des 2 centromères de chaque K homologue qui migrent vers les pôles opposés de la cellule
- **Télophase** : constitution des deux cellules filles **identiques** à la cellule mère, suivie par la séparation du cytoplasme (=cytodiérèse) et reformation de la mb plasmique

➔ *Petit mnémo qui veut rien dire mais qui rentre bien* : PRO-MET-ANA-TELO

Récap important ++:

- Cellule **diploïde** : 23 PAIRES de chromosomes homologues = cellule somatique $2nK$
- Cellule **haploïde** : 23 chromosomes - nK = cellules de la lignée germinale **ayant achevé leur 1^{ère} division méiotique** (dite réductionnelle)
- **Chromatide** = molécule formée de deux brins d'ADN
- **Chromosomes homologues** = chromosomes issus d'une même paire
- 2 chromatides **sœurs** sont strictement **identiques**
- 2 chromatides **homologues différent** (*l'une provient d'un K maternel, l'autre d'un K paternel*) : mais possèdent des gènes homologues codant pour les mêmes protéines/caractéristiques avec des versions différentes ou identiques de gènes, les allèles (*ex : groupes sanguins > allèles A et B*).
- Avant la réplication : un chromosome contient un seul chromatide = $2nK - 2nADN$
- Après la réplication : un chromosome contient 2 chromatides sœurs (identiques) réunies par leur centromère = $2nK - 4nADN$

III – Gamétogénèse

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

4 étapes → Multiplication – Croissance – **MEIOSE** = **Maturation nucléaire** – Différenciation = maturation cytoplasmique

2) Méiose

But double : passage à l'**haploïdie** + **diversité**

Uniquement pour les cellules germinales

Ici on a **2 divisions cellulaires** après **1 seule phase de réplication**, on observe une première division strictement spécifique à la méiose (=1^{ère} **division réductionnelle**) suivie d'une seconde division identique à une mitose sans réplication (=2^{ème} **division équationnelle**)

Il n'y a pas eu réplication entre les deux divisions = **Pas d'intercinèse (Phases G1, S, G2)** on obtient ainsi **4 cellules haploïdes à partir d'une cellule diploïde**

Conséquences :

- Réduction de moitié du contenu génétique **$2nK \rightarrow nK$**
- **Brassage** de l'information génétique : crossing-over + métaphase 1 + nature K sexuel
- **Transmission** de l'information génétique

1^{ère} division : Réductionnelle


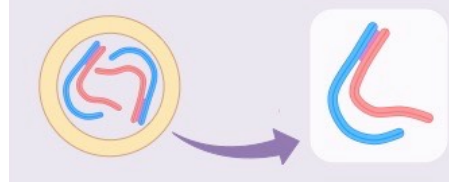
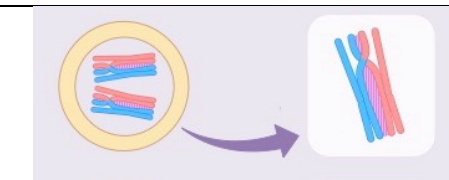
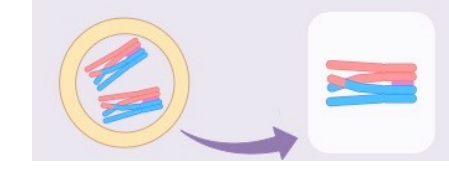
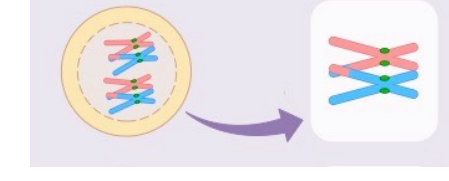
- ✓ **REDUCTIONNELLE** en terme de **chromosome** : on passe de 1 paire de K à 2 chromatides à 1 seul K à 2 chromatides → **séparation des chromosomes homologues** sans séparation des chromatides sœurs.
- ✓ **EQUATIONNELLE** en terme d'**ADN** : on a toujours $2n$ ADN dans chaque cellule fille formée

Cette première division se caractérise par sa **prophase très longue** comportant **5 étapes** bien spécifiques à la méiose 1. Elle permet des **échanges de matériel génétique** et donc un **brassage de l'information génétique** (d'où procréation car cellules filles différentes)

Quelques définitions :

- **Crossing-over = enjambements** : mécanisme à l'échelle moléculaire d'échange de matériel génétique entre 2 portions homologues de 2 chromatides homologues. Ils ont lieu au stade **PACHYTENE ET DIPLOTENE** grâce aux **complexes synaptonémaux**. Il y a environ une vingtaine de recombinaisons par méiose.
- **Complexe synaptonémal** : **complexe protéique** qui permet l'association de K homologues entre eux. Il est composé de ≠ **enzymes et nucléoprotéines** qui vont couper (nucléases) et recréer des liaisons (ligases) ADN. La condensation de protéines (= **nodule de combinaison**) favorise les échanges par la présence d'enzymes de clivage et de lyases.
- **Chiasma** : (phénomène **anatomique**) Une fois les crossing-over réalisés les K s'éloignent mais restent encore liés.
- **Télomères** : Extrémité d'une chromatide

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

| | |
|---|---|
| <p>Leptotène Apparition des filaments chromatiques</p> |  <p>Prophase begins Chromosomes start to condense</p> |
| <p>Zygotène Appariement fin des K par paires d'homologues. Formation des bivalents</p> |  <p>Synapsis begins Synaptonemal complex forms</p> |
| <p>Pachytène Épaississement et clivage des K (individualisation des chromatides) Formation de tétrades enchevêtrées CROSSING OVERS au niveau des K/chromatides homologues</p> |  <p>Crossing over DNA exchanged by non-sister chromatids</p> |
| <p>Diplotène Les K divergent mais restent liés par certaines zones = apparition des chiasmata Les recombinaisons génétiques continuent ++ surtout au niveau des chiasmata</p> |  <p>Synapsis ends Chiasma visible within bivalent</p> |
| <p>Diacinèse K reliés uniquement par leurs télomères et s'apprêtent à se séparer</p> |  <p>Prophase ends Nuclear membrane disintegrates</p> |

➔ *Petit mnémo*: Le Zizi du Pachyderme a une Dimension Diabolique

♥ Les **K sexuels échappent au Crossing-over** en formant une vésicule. Ils se lient par une toute petite partie homologe appelée **pseudo-autosomique**. Le reste, partie hétérochromatide sexuelle sera accolée à la membrane plasmique = **vésicule sexuelle** → pas d'échange de matériel génétique niveau des gonosomes

⇒ Après la prophase 1 vient la métaphase 1 ou les K se placent **PERPENDICULAIREMENT** à la plaque équatoriale.

Chaque cellule fille hérite d'un K différent de manière totalement aléatoire → **2^{23} combinaisons possibles**

⇒ Anaphase 1 : les K s'écartent aux pôles opposés de la cellule. C'est à cheval entre la métaphase 1 et l'anaphase 1 qu'a lieu la ségrégation aléatoire

⇒ Télophase 1 : passage de $4n$ ADN à $2n$ ADN et de $2n$ K à n K

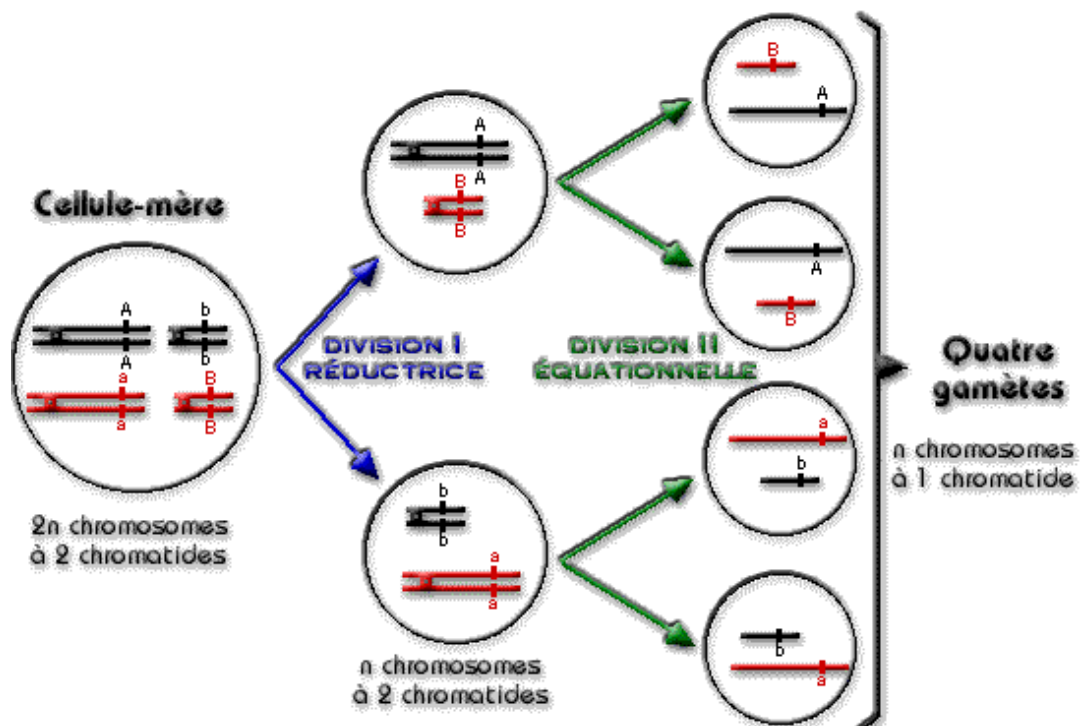
2^{ème} division : Equationnelle

- Elle se déroule immédiatement après la fin de la télophase 1 → **Pas d'intercinèse**
- Les deux cellules à n K à 2 chromatides se divisent pour former **4 cellules à 1 chromatide**
⇒ Equivalent d'une mitose normale

Les K s'alignent **PARALLELEMENT** à la plaque équatoriale en **métaphase 2**. Ils se scindent en deux au niveau de leurs centromères et les chromatides sœurs migrent aux pôles opposés de la cellule.

✓ **EQUATIONNELLE** en terme de **K** (on reste à n K comme dans une mitose)

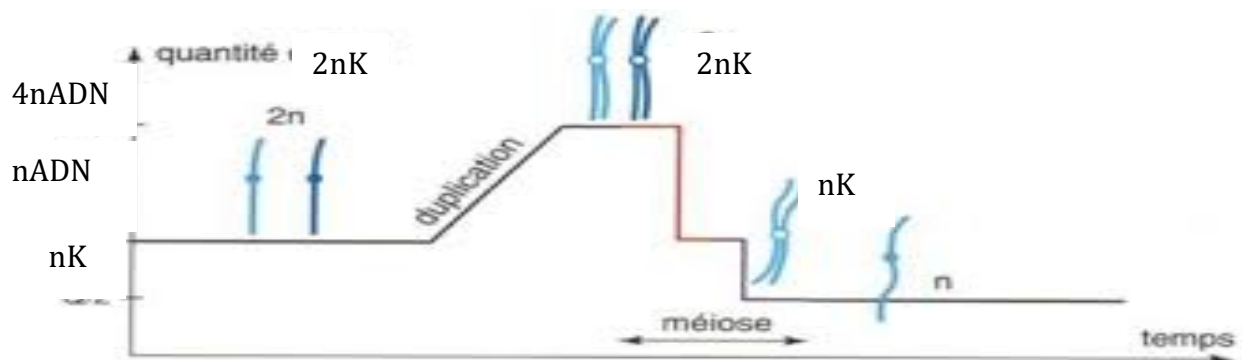
✓ **REDUCTIONNELLE** en terme d'**ADN** (on sépare les chromatides donc on divise la quantité d'ADN)



| | 1^{ère} division méiotique | 2^{ème} division méiotique |
|--------------------------------|--|--|
| En terme de Chromosomes | On passe de $2nK$ à nK Passage à l' haploïdie REDUCTIONNELLE | On reste à nK Même nombre de K mais simples (1 chromatide) EQUATIONNELLE |
| En terme d'ADN | De $2nADN$ à $2nADN$ Nbr de chromatides totales identiques EQUATIONNELLE | De $2nADN$ à $nADN$ Division par 2 de la quantité d'ADN car séparation des chromatides REDUCTIONNELLE |

3 facteurs de diversité :

- **Recombinaisons génétiques** (crossing-over) en **Pachytène**
- **Ségrégation aléatoire** des paires de K en **métaphase/ anaphase 1**
- **Rencontre aléatoire des gamètes** pendant la **fécondation** / **nature du K sexuel** du spz fécondant



Après la phase S, on est à **4nADN** car réplication qui double notre ADN ($2nK - 4nADN$)

- A la fin de la 1^{ère} division méiotique on a $nK - 2nADN$ car K doubles (2 chromatides sœurs suite à la réplication)).
- La 2^{ème} division méiotique n'est pas précédé de réplication, on a un clivage des chromatides de chaque K. On garde donc le même nombre de K ($=nK-nADN$)

2) Spermatogénèse VS ovogénèse

| SPERMATOGENESE | OVOGENESE |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> Multiplication importante des spermatogonies avec prolifération des cellules souches continue presque toute la vie | <ul style="list-style-type: none"> Multiplication faible, stock d'ovogonies déterminé au 7^e mois de vie intra utérine et réduit tout au long de la vie = atrésie folliculaire Production d'un ovocyte par mois. Plus d'ovogonies = ménopause |
| <ul style="list-style-type: none"> Croissance faible : ne dépasse jamais 1µm. Le spermatocyte est la plus grosse cellule de la spermatogénèse | <ul style="list-style-type: none"> Croissance importante : cellule la plus grosse de l'organisme avec cytoplasme riche en réserves pour la survie de l'œuf les 7 premiers jours |
| <ul style="list-style-type: none"> Maturation nucléaire = méiose COMPLETE, RAPIDE, CONTINUE +++ | <ul style="list-style-type: none"> Méiose INCOMPLETE, LENTE, DISCONTINUE Ovocytes se bloquent en prophase 1 jusqu'à ovulation puis deuxième blocage en métaphase 2. La méiose ne s'achève que s'il y a fécondation |
| <ul style="list-style-type: none"> Différenciation = spermiogénèse très importante, cellule la plus spécialisée de l'organisme → motricité et transport | <ul style="list-style-type: none"> Différenciation inexistante : ovocyte est une grosse cellule ronde indifférenciée L'ovotide n'existe pas +++ |
| <p>Les étapes de la spermatogénèse</p> | <p>Les phases de l'ovogénèse</p> |

Les spermatogonies (2nK) sont les cellules souches. Elles donnent deux spermatocytes I (2nK). Le spermatocyte I rentre en méiose et va donner deux spermatocytes II qui seront haploïdes (nK). Ensuite un spermatocyte II formera deux spermatides et après la différenciation une spermatide formera un spermatozoïde.

Les ovogonies sont aussi des cellules souches mais comparé à l'homme le stock ovogonies **est acquis au 8eme mois de la vie intra utérine**. (La multiplication se fait seulement en prénatal) Puis elles subissent une apoptose accélérée jusqu'à arriver à la ménopause. *NB : C'est la fécondation qui permettra à l'ovocyte de terminer sa méiose.*

Le spz obtenu contient soit un KX soit un KY (car haploïde), il est donc responsable du sexe du nouvel individu.

