

Cours 1 : Méiose et généralités

I - La reproduction

1) La reproduction asexuée = reproduction vraie

C'est le premier mode de reproduction des organismes vivants.

Elle met en jeu des organismes UNICELLULAIRES et toutes les cellules SOMATIQUES : c'est le mécanisme de la **MITOSE**.

A partir d'une cellule mère bicaténaire (possède 2 brins d'ADN complémentaires) on aura deux cellules filles strictement identiques : des CLONES.

Caractéristiques : ❤️❤️❤️

- **Permanence des caractéristiques de l'espèce**
- **Immortalité des individus**
- **Les cellules issues de la mère sont des CLONES**
- **Seule variation possible : mutation aléatoire, accidentelle et rare qui provoque un changement définitif**

Pour augmenter le phénomène d'adaptation, le monde vivant a inventé la reproduction sexuée permettant davantage de diversité et une sélection naturelle des individus les plus adaptés pour la survie.

2) La reproduction sexuée = procréation

Elle permet une diversité au sein d'une même espèce créant des individus jamais identiques aux deux parents. Elle se base sur le **dimorphisme sexuel** (= différenciation des individus en 2 sexes) et sur la fabrication des **gamètes** (= cellules spécialisées dans la reproduction, différentes dans chaque sexe). La fusion des gamètes ♂ et ♀ mélange les chromosomes d'origine paternels et maternels : on obtient un nouvel individu.

Caractéristiques : ❤️❤️❤️

- **Diversité au sein d'une même espèce**
- **Un individu n'est jamais identique à ses deux parents**
- **Permet l'adaptation rapide à l'environnement**
- **Rôle dans la survie et l'évolution des espèces**
- **Plusieurs mutations peuvent paraître lors des divisions durant la méiose : effet amplificateur**

❖ Cellules somatiques et germinales

Dès la fécondation et les premiers stades embryonnaires, il y a une division entre 2 catégories cellulaires :

- La grande majorité des cellules de l'organisme : les cellules **somatiques** (se diviseront par **MITOSES**) → diploïdes
- Les cellules **germinales primordiales = cellules sexuelles primitives** (se diviseront via la **MEIOSE**) → haploïdes

Les cellules germinales sont celles qui vont donner les gamètes grâce à la méiose :

- **L'OVOCYTE** chez la femme
- **Le SPERMATOZOÏDE** chez l'homme

Les cellules germinales sont les seules cellules **HAPLOÏDES** de l'organisme et les seules à pouvoir fusionner physiologiquement via la **fécondation**.

Lors de la fabrication des gamètes, il y a une **ségrégation aléatoire** des chromosomes de la cellule mère : la cellule fille peut recevoir pour chaque paire, le chromosome d'origine paternel de l'individu, ou celui d'origine maternel. Ceci entraîne un nombre infini de combinaisons possibles de gamètes différentes, soit **2²³**. Cela ouvre les perspectives de **variabilité interindividuelles**.

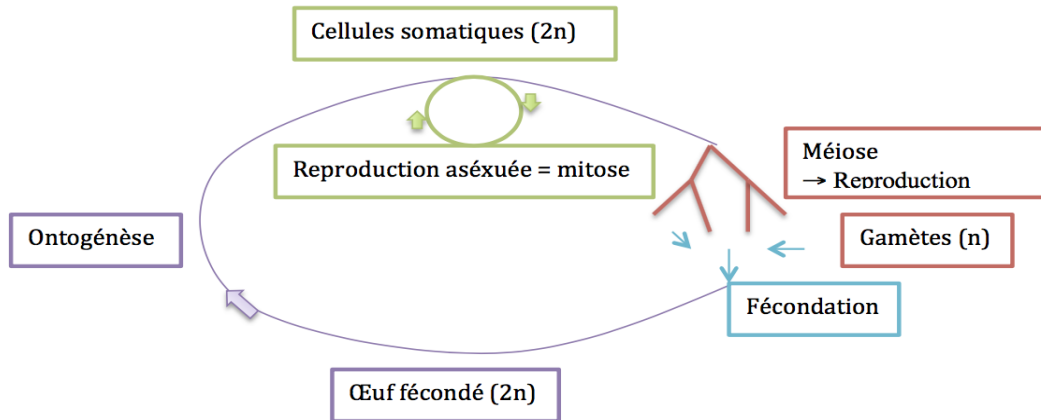
❖ Différences entre les gamètes

Ovocyte	Spermatozoïde
<ul style="list-style-type: none"> → Plus grosse cellule de l'organisme (100 microns), ronde → Riche en cytoplasme → Très peu différenciée → Réserves en ARNm, nutriments (pour la survie de l'embryon lors des 7 premiers jours) → Très peu mobile, déplacement passif via le mucus et les cils des trompes → Fonction principale = STOCKAGE 	<ul style="list-style-type: none"> → Plus petite cellule de l'organismes (<1 micron) → ADN le plus condensé → Pauvre en cytoplasme → Très peu de réserve → Très différenciée → Mobile ++ : déplacement actif grâce au flagelle → Fonction principale = DEPLACEMENT

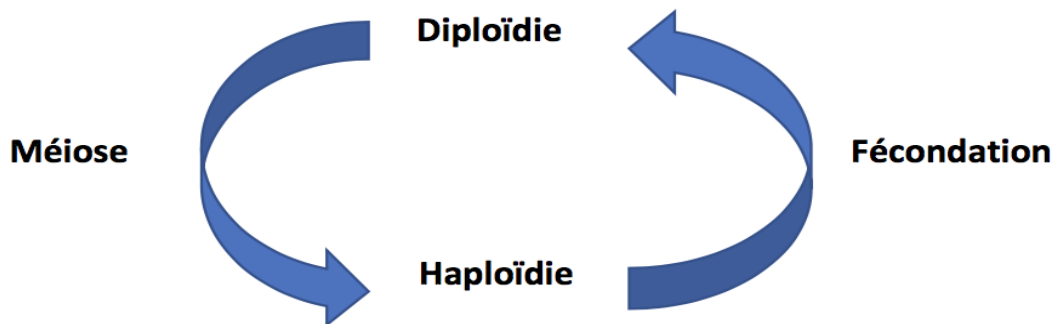
Pour qu'il y ait fécondation, il y a 3 conditions à remplir : ❤️❤️❤️

- Taille suffisante pour l'ovocyte
- Mobiles et nombreux spermatozoïdes
- Coût de fabrication raisonnable

❖ **Cycle de la reproduction sexuée**



Une cellule adulte diploïde ($2n$ K) fait sa **méiose** qui va permettre de **créer des cellules haploïdes (n K)**. Ces deux cellules haploïdes (in fin un ovule et un spermatozoïde) vont faire la **fécondation** pour **restituer la diploïdie ($2n$ K)**. Un nouvel individu est créé puis de nouveau il y a une séparation entre cellules somatiques et germinales puis fécondation etc...



❖ **Définitions**

- ★ **Ontogénèse** = évolution d'un **individu** de sa conception jusqu'à sa mort (embryogenèse, 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
(Ex : le génome au départ identique de deux vrais jumeaux se modifie par épigénétique dès la naissance, ce qui les rend différents).

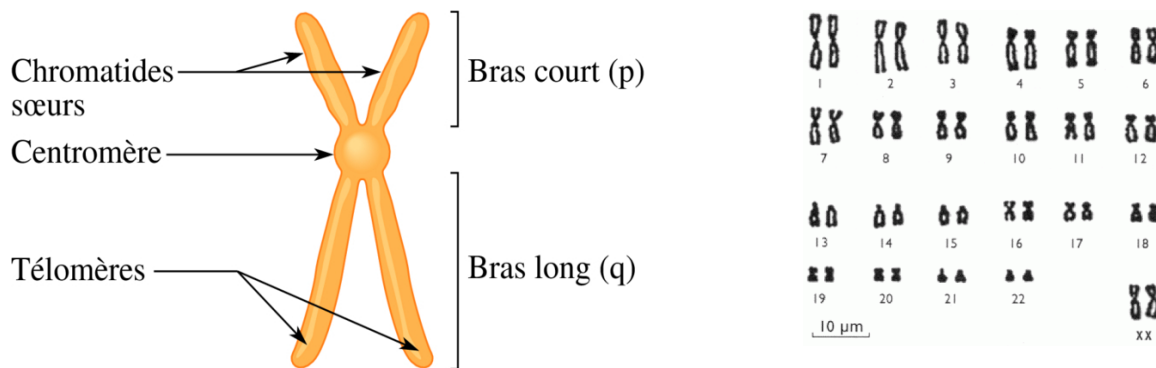
III - Cycle cellulaire et mitose

1) Rappels sur les chromosomes (K)

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

Chez l'homme, il y a **23 paires** de chromosomes ($2n$ K avec $n = 23$).

→ 22 paires d'autosomes et 1 paires de gonosomes (XX ou XY)



★ **Chromatide** = molécule formé de 2 brin d'ADN complémentaires

Avant la réplication : un chromatide par chromosome

Après la réplication : 2 chromatides par chromosome

★ **Les cellules somatiques = non sexuelles : DIPLOÏDE**

Diploïde : les chromosomes sont présents par paires, on parle d'HOMOLOGUES pour les chromosomes d'une même paire, il y a $2n$ K → comme sur le caryotype

★ **Les cellules sexuelles = les gamètes : HAPLOÏDE**

Un seul exemplaire de chromosomes, il y a n K

Les chromosomes proviennent soit du père soit de la mère, ils sont pratiquement identiques.

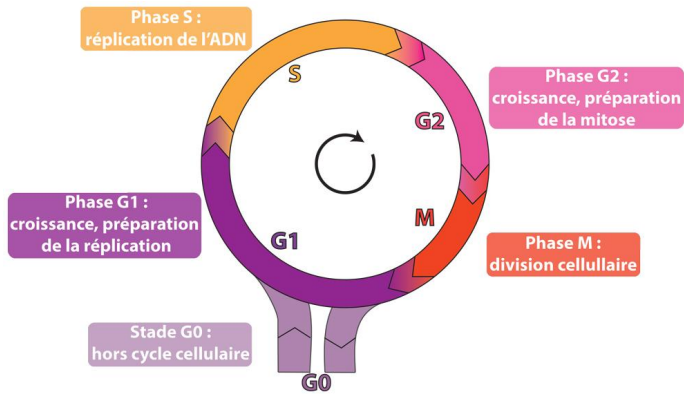
La seule différence : les **allèles** = version de gènes

Ex : gène des yeux, allèle verte, allèle bleue

Le chromosome Y, étant le plus petit, ne contient presque que des gènes codant pour la reproduction. C'est différent pour le **chromosome X qui est indispensable à la vie** et possède des propriétés physiologiques de l'organisme en général.

2) Le cycle cellulaire

Le cycle cellulaire des cellules somatiques est composé de 4 phases :



→ **Phase S** : La cellule commence par une synthèse d'ADN = la réplication. La cellule passe d'une quantité de $2n$ ADN (une seule chromatide) à $4n$ ADN (2 chromatides)

→ **Phase G2** : préparation à la division cellulaire

→ **Phase M** : mitose

→ **Phase G1** : préparation à la synthèse

→ La cellule peut également se mettre au repos : **Phase G0** = stade quiescent, repos hors cycle

La phase de synthèse précède toujours la phase M.

❖ Mécanisme :

Avant la phase de réplication, on a 23 paires de **K simples** = à **1 chromatide**

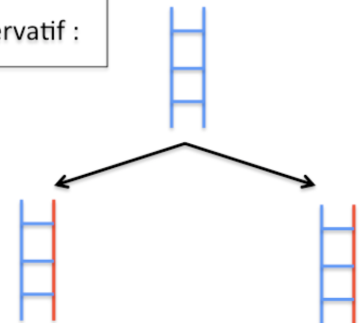
$$23 \times 2 \text{ molécules d'ADN (bi-caténaire)} = 2n \text{ ADN}$$

L'ADN double brin (bicaténaire) subit une réplication **SEMI-conservative** sur chaque brin durant la phase S. Après la réplication, on a 23 paires de K doubles = à deux chromatides sœurs (identiques) réunies par le centromère. La quantité d'ADN est doublé en approche de la division.

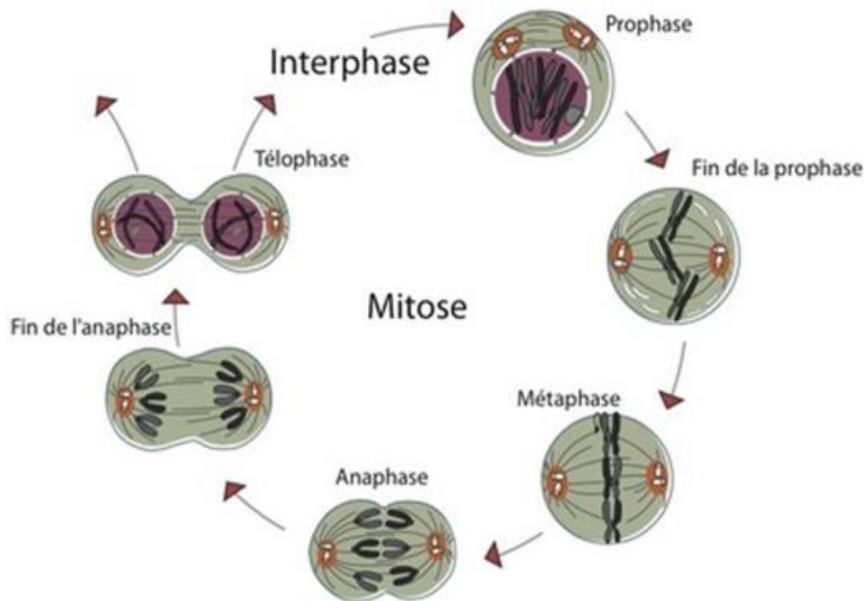
$$2 \times 2n \text{ ADN} = 4n$$

La mitose sépare ensuite les 2 chromatides.

Modèle semi- conservatif :



3) La mitose



Concerne uniquement les cellules somatiques.

Correspond à une division cellulaire après une phase de réplication.

4 étapes importantes ♥♥♥♥

1. Prophase	Epaississement, formation des chromosomes homologues qui deviennent visibles
2. Métaphase	Alignements des centromères PARALLÈLEMENT à la plaque équatoriale
3. Anaphase	Séparation des 2 chromatides qui migrent vers les pôles opposés de la cellule
4. Télophase	Constitution des deux cellules filles identiques à la cellule mère

Mnémo : PRO - META - ANA - TELO (petite phrase qui ne veut rien dire)

Récap important ++:

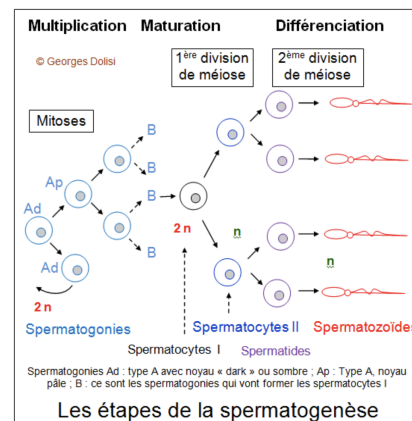
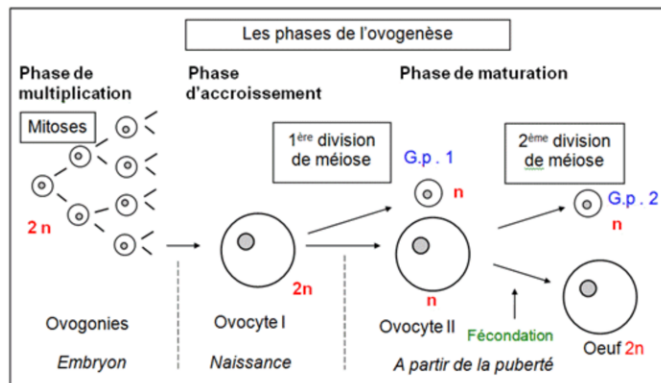
- Chromatide = molécule formée de 2 brins d'ADN
- Chromatides **sœurs** = **strictement identiques** grâce à la réplication
- Chromatides **homologues** = appartiennent à une même paire mais sur un K différent, elles **diffèrent** : possèdent des gènes homologues codant pour les mêmes protéines avec des versions pouvant être différentes ou identiques ⇒ les **allèles**

III - Gamétogenèse

Indifférenciée chez l'homme et la femme, elle se compose de 4 processus cellulaires : ♥

- **Multiplication** = prolifération
- **Croissance**
- **Maturation nucléaire = méiose**
- **Maturation cytoplasmique = différenciation**

Ovogenèse	Spermatogenèse
Multiplication faible (1 par mois, stock déterminé au 7ème mois de vie intra-utérine + atresie folliculaire = diminution du stock)	Multiplication très importante, continue (plusieurs millions par jour, prolifération des ϕ souches presque toute la vie)
Croissance forte (réserve)	Faible croissance (le spermatocyte 1 est la plus grosse cellule de la spermatogenèse)
Méiose incomplète, lente, discontinue <i>La méiose ne s'achève que s'il y a fécondation</i>	Méiose complète, rapide, continue
Différenciation nulle (l'ovotide n'existe pas) <i>ovocyte = grosse ϕ ronde indifférenciée</i>	Différenciation très importante = spermiogenèse



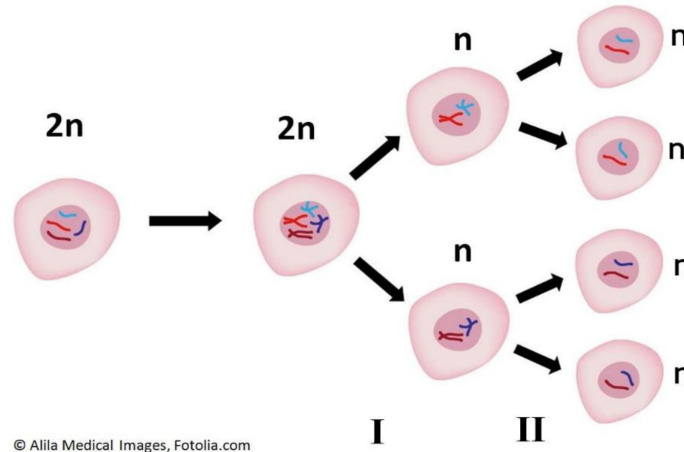
Les **spermatogonies (2n K)** sont les cellules souches. Elles donnent deux **spermatocytes I (2n K)**. Le spermatocyte I rentre en méiose et va donner deux **spermatocytes II** qui seront haploïdes (**n K**). Ensuite un spermatocyte II formera deux **spermatides** et après la différenciation une spermatide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

Les **ovogonies** sont aussi des cellules souches mais contrairement à l'homme le stock ovogonies est **acquis** au 7-8ème 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.

1) Généralités sur la méiose

La méiose concerne **uniquement les cellules de la lignée germinale**. Elle consiste en **2 divisions successives** consécutives à **UNE SEULE phase de réplication**. A partir d'une cellule diploïde ($2n$) on aboutira à 4 cellules haploïdes (n)

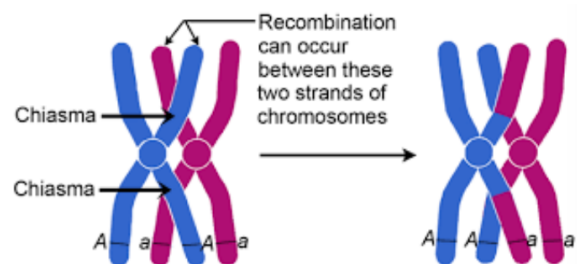
La première division est très longue et spécifique tandis que la seconde ressemble à une mitose sans réplication au préalable.



- ★ **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.

/! Les 2 chromosomes sexuels (X ou Y) restent accrochés entre eux et à la membrane nucléaire en formant une **vésicule sexuelle**. **Théoriquement, il n'y a PAS d'échanges de matériel génétique (crossing-over) entre les chromosomes sexuels +++ (ATTENTION cette version est différente de celle donnée en biologie moléculaire)**

- ★ **Complexe synaptonémal** : **complexe protéique** qui permet l'association de K homologues entre eux. Il est composé d'enzymes et nucléoprotéines qui vont couper (nucléases) et recréer des liaisons (ligases) d'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** : Extrémités d'un chromatide.



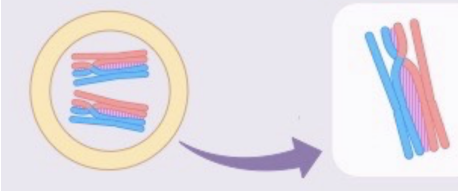

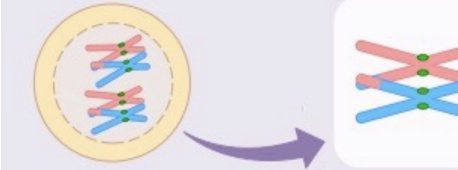


2) Première division méiotique

- **REDUCTIONNELLE** en termes de **chromosomes** : 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 termes d'**ADN** : on a toujours 2n ADN dans chaque cellule fille formée.

❖ **Prophase 1 +++** : très **spécifique** et particulièrement **longue** permettant la **recombinaison génétique**.

On définit **5 stades spécifiques** à la méiose :

<p style="text-align: center;"><u>Leptotène</u></p> <p>Apparition des filaments chromosomiques</p>	 <p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Prophase begins Chromosomes start to condense</p>
<p style="text-align: center;"><u>Zygotène</u></p> <p>Appariement des K par paires d'homologues Formation des bivalents</p>	 <p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Synapsis begins Synaptonemal complex forms</p>
<p style="text-align: center;"><u>Pachytène</u></p> <p>Epaississement et clivage des K (individualisation des chromatides) Formation des tétrades enchevêtrées CROSSING OVERS = recombinaisons génétiques au niveau des chromatides homologues</p>	 <p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Crossing over DNA exchanged by non-sister chromatids</p>
<p style="text-align: center;"><u>Diplotène</u></p> <p>Les K divergent mais restent liés par certaines zones = apparition des CHIASMES Les recombinaisons génétiques sont surtout au niveau des chiasmas</p>	 <p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Synapsis ends Chiasma visible within bivalent</p>
<p style="text-align: center;"><u>Diacinèse</u></p> <p>Eloignement des chiasmas : les K homologues ne sont reliés plus que par leurs extrémités = télomères</p>	 <p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Prophase ends Nuclear membrane disintegrates</p>

Mnémo : Le Zizi du Pachyderme a des Dimension Diabolique = Leptotène Zygotène Pachytène Diplotène Diacynèse / Fille et Homme s'Enchevêtrent et Chantent à Tue-tête = Filaments Homologues Enchevêtrement Chiasmas Télomères

- ❖ **Métaphase 1** : les K les chromosomes vont rejoindre la plaque équatoriale et se disposer **PERPENDICULAIREMENT** à celle-ci.
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 $2nK$ à nK

3) Deuxième division méiotique

Démarre **dès la fin de la première division** méiotique sans intercinèse. Elle possède les mêmes caractéristiques qu'une mitose classique. Les chromosomes se placent **PARALLÈLEMENT** à la plaque équatoriale. Les chromatides soeurs se séparent.

Il n'y a **pas de recombinaison génétique** durant la deuxième division !


- **ÉQUATIONNELLE** en termes de **chromosomes** (on reste à nK)
- **REDUCTIONNELLE** en termes d'**ADN** (on sépare les chromatides donc on divise la quantité d'ADN)

/!\ ATT : la prophase n'est plus divisée en 5 stades !

4) Bilan de la méiose

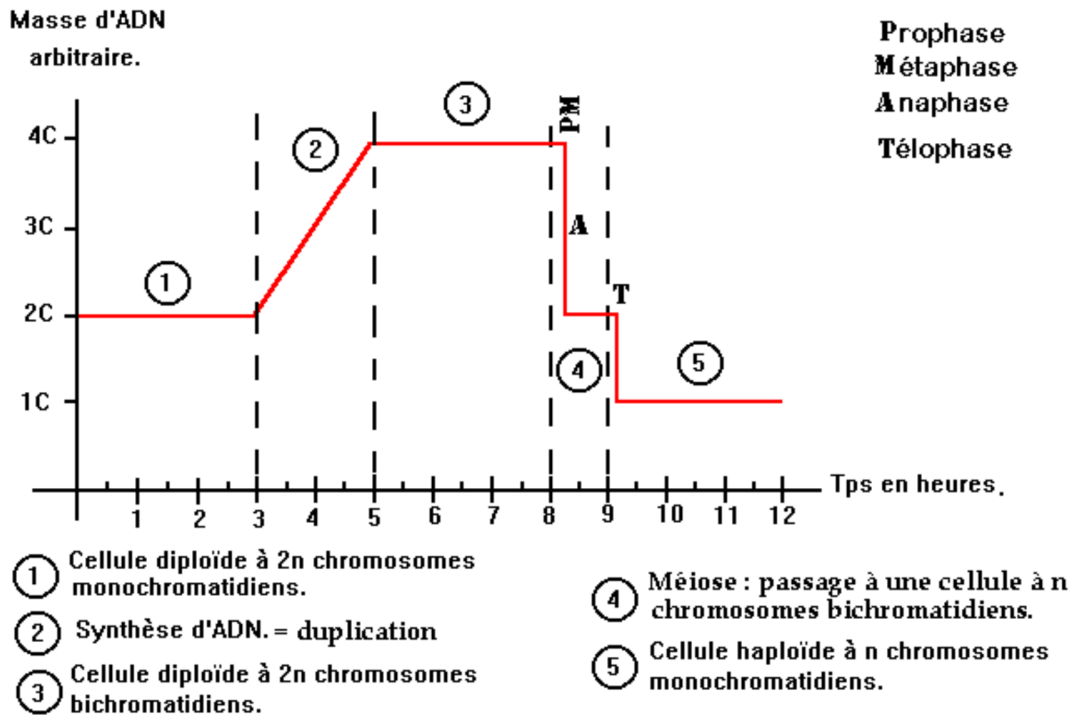
Les cellules obtenues après la méiose sont différentes génétiquement de leur cellule mère. Plusieurs facteurs favorisent cette diversité :

- ❑ **Recombinaison génétiques = crossing over**
- ❑ **Ségrégation aléatoire des chromosomes** en métaphase 1 / anaphase 1
- ❑ **Nature du chromosome sexuel** du spermatozoïde fécondant (X ou Y)
- ❑ **Rencontre aléatoire des gamètes** pendant la fécondation

Conséquences de la méiose : 

- **Réduction du matériel génétique de moitié** $2nK \Rightarrow nK$
- **Brassage de l'information génétique** (diversité) : crossing over + métaphase 1 + nature K sexuel
- **Transmission de l'information génétique** (maintien des caractéristiques de l'espèce)

Variation de la quantité d'ADN durant la méiose ++



- La synthèse se fait avant le début de la première division méiotique : passage de 2n ADN à 4n ADN
- Première division : passage de 2nK à n K et de 4n AND à 2n ADN
- Deuxième division : passage de 2n ADN à n ADN. Le nombre de K reste n K.

	1ère division méiotique	2ème division méiotique
En terme de chromosomes	REDUCTIONNELLE <i>On passe de 2n K à n K La cellule devient haploïde</i>	EQUATIONNELLE <i>Même nombre de chromosomes</i>
En terme d'ADN	EQUATIONNELLE <i>On reste à 2n ADN car les chromatides ne se séparent pas</i>	REDUCTIONNELLE <i>On passe de 2n ADN à n ADN car les chromatides se séparent</i>



Fiiiiiiiit ! C'est tout pour ce cours tout gentil qui reprends ce que vous avez appris au lycée !! Bossez le bien, il est fondamental et c'est des points assez faciles.

Dédicace à Blaise ! j'espère que tu bosses hein