

CHAPITRE I : NOTION DE GENE ET TRANSMISSION DE L'INFORMATION GENETIQUE

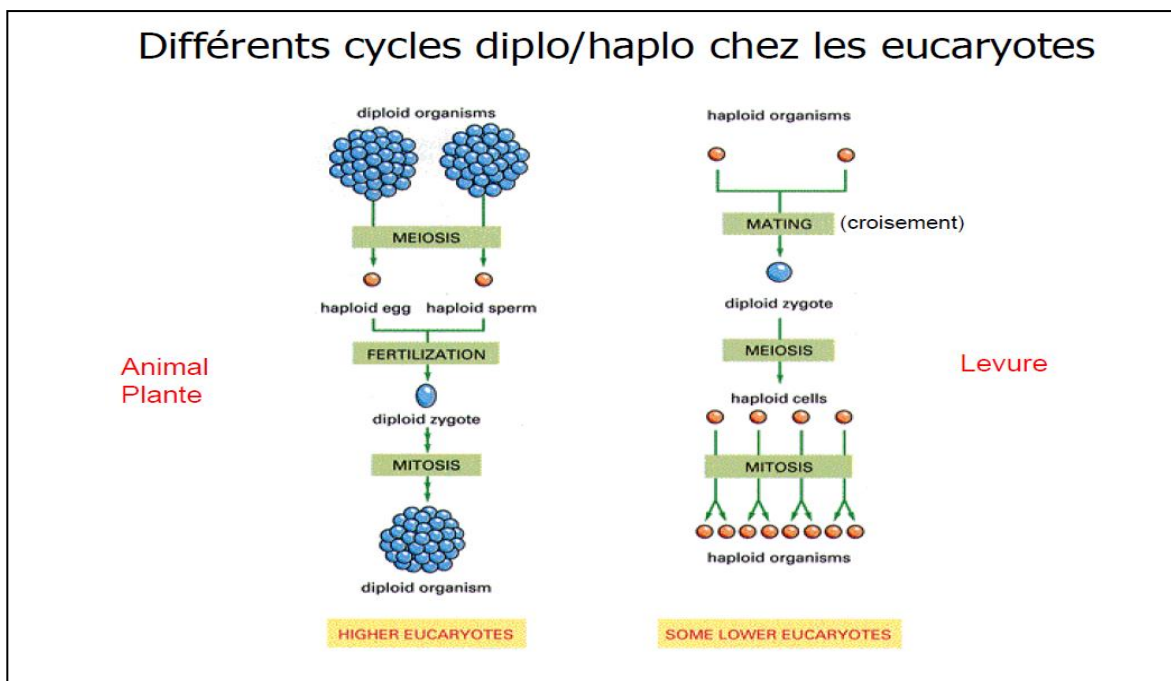
II. TRANSMISSION DE L'INFORMATION GENETIQUE

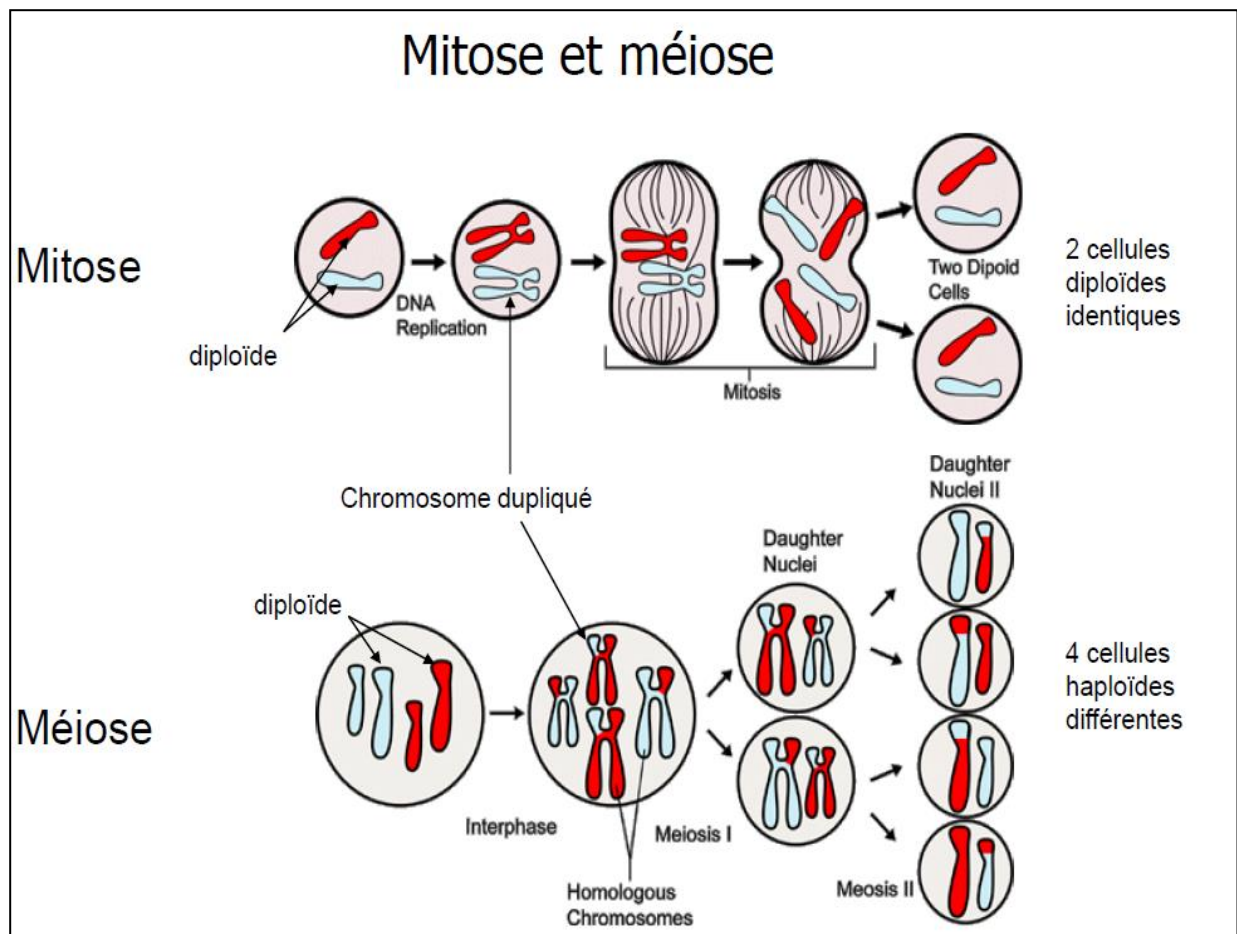
II.1. Le cycle cellulaire

Une cellule se reproduit selon une séquence ordonnée d'événements pendant lesquels elle duplique son contenu puis se divise en deux cellules filles identiques entre elles et identiques à la cellule mère. Chez les organismes unicellulaires, chaque division produit un nouvel individu. Chez les espèces pluricellulaires, la division cellulaire est nécessaire à la formation de l'organisme, à sa croissance et au renouvellement de ses cellules perdues par mort naturelle ou programmée. Ce cycle de duplication et de division est appelé **cycle cellulaire**.

Autrement dit, le cycle cellulaire correspond aux modifications qu'une cellule subit entre sa formation, par division de la cellule mère, et le moment où cette cellule a fini de se diviser en deux cellules filles (durée de vie de la cellule).

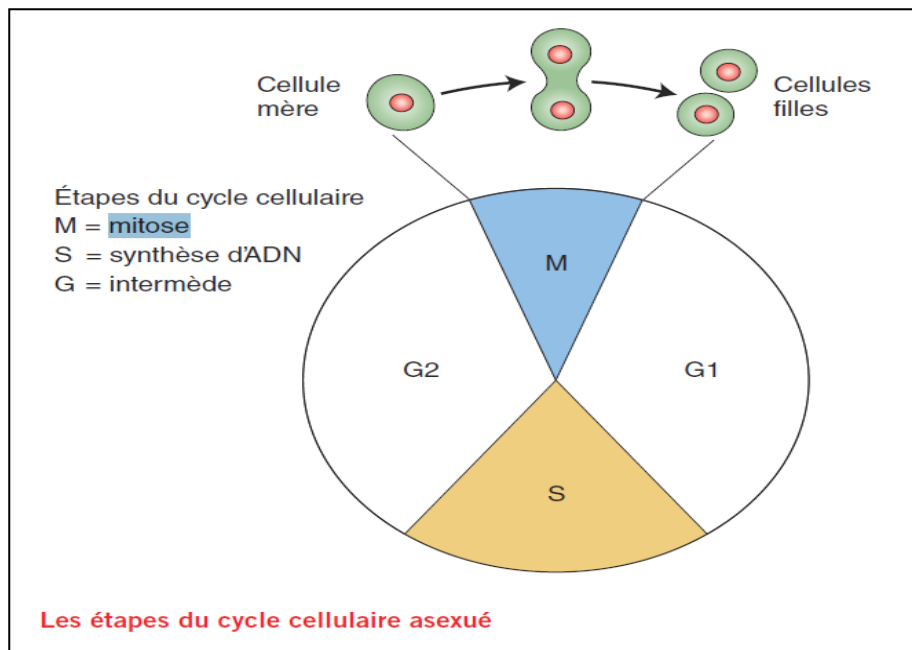
La mitose peut se dérouler dans des cellules diploïdes. À l'issue de la mitose, une cellule mère donne naissance à deux cellules filles identiques entre elles et identiques à la cellule mère. Par conséquent, $2n \rightarrow 2n + 2n$.





Le cycle cellulaire comprend deux phases principales :

- **L'interphase** : pendant laquelle la cellule croît et poursuit la majeure partie de ses activités (synthèse protéique, synthèses des ARN...). L'étude de la synthèse de protéines au cours du cycle cellulaire montre que **cette synthèse a lieu tout le long du cycle**.
- **La phase de division (mitose)** : pendant laquelle la cellule se divise en deux cellules filles. La durée du cycle cellulaire est très variable. De moins d'une heure chez l'embryon à plusieurs mois chez l'adulte. C'est surtout au dépend de la phase G1 que cette durée varie.



II.1.2. L'interphase

Elle constitue la plus grande partie du cycle (en durée), c'est la période comprise entre la fin d'une division et le début de la suivante.

II.1.2.1. La phase G1 (Gap 1)

La quantité d'ADN reste stable ($2n$ chromosomes sous forme d'une seule chromatide). La taille de la cellule augmente jusqu'à une taille critique (entrée possible en phase S). Sa durée est variable.

Certaines cellules peuvent entrer dans un état quiescent : G0 (lorsque G1 est très longue) mais pouvant s'engager dans le cycle si elles reçoivent des signaux de division.

II.1.2.2. La phase S (Synthèse)

C'est la phase de synthèse d'ADN : la quantité d'ADN passe de $2q$ à $4q$. Mais le nombre de chromosomes reste toujours le même ($2n$), donc c'est l'architecture des chromosomes qui change, ils passent de chromosomes à une seule chromatide aux chromosomes à deux chromatides sœurs. En début de phase S, les cellules possèdent un chromosome de chaque paire pour arriver, en fin de phase S à un chromosome de chaque paire à 2 chromatides (reliées par le centromère).

II.1.2.3. La phase G2 (Gap 2)

La quantité d'ADN après la réplication est toujours double, $4q$ (le nombre est toujours $2n$). Durant cette phase, on a une production d'enzymes et de facteurs de régulation.

II.1.3. La division cellulaire

II.1.3.1. La Mitose

Elle comprend la division du noyau et la séparation de la cellule mère en deux cellules filles (cytotélerèse).

Au moment où commence la mitose chaque chromosome a été dupliqué et il est sous forme de deux chromatides soeurs accolées étroitement. Elle caractérisée par 5 phases successives : P-M-A-T (Prophase, Métaphase, Anaphase, Télaphase).

II.1.3.1.1. La prophase

La cellule duplique ses deux paires de centrioles situées dans une zone à côté du noyau appelée centrosome. Les deux paires de centrioles se séparent et se déplacent aux deux pôles opposées de la cellule.

Chaque paire organise son propre réseau de microtubules et les deux jeux de microtubules vont interagir pour former le fuseau mitotique (ils sont appelés microtubules polaires). Les centrioles ne sont pas universellement responsables de l'organisation du fuseau mitotique, puisque la plupart des plantes en sont dépourvues.

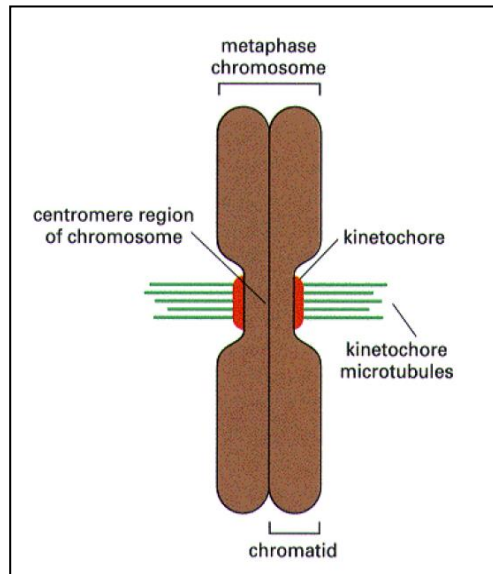
Les microtubules qui irradiant le centrosome se polymérisent et se dépolymérisent continuellement (instabilité dynamique).

On note aussi le désassemblage de l'enveloppe nucléaire qui se morcelle en petites vésicules.

II.1.3.1.2. La Métaphase

Les chromosomes qui sont au maximum de leur condensation, se lient aux microtubules polaires par leurs microtubules kinétochoriens.

L'élément distinctif de cette étape est la migration des chromosomes sur le fuseau mitotique, menée par la région centromérique jusqu'au plan équatorial de la cellule, et sont soumis à des forces de traction continues de part et d'autre.



II.1.3.1.13. L'anaphase

Au début les connections entre les chromatides sœurs sont dégradées sous l'effet des microtubules kinétochoriens, les centromères se déchirent (division longitudinale des centromères) et les chromatides sœurs se séparent et migrent en sens opposés vers les centrioles. Chaque chromosome est tracté par ses microtubules sur le fuseau qui se dépolymérise (se raccourcir) vers chaque pôle de la cellule (deux jeux identiques de chromosomes aux deux extrémités du fuseau).

II.1.3.1.4. La télophase

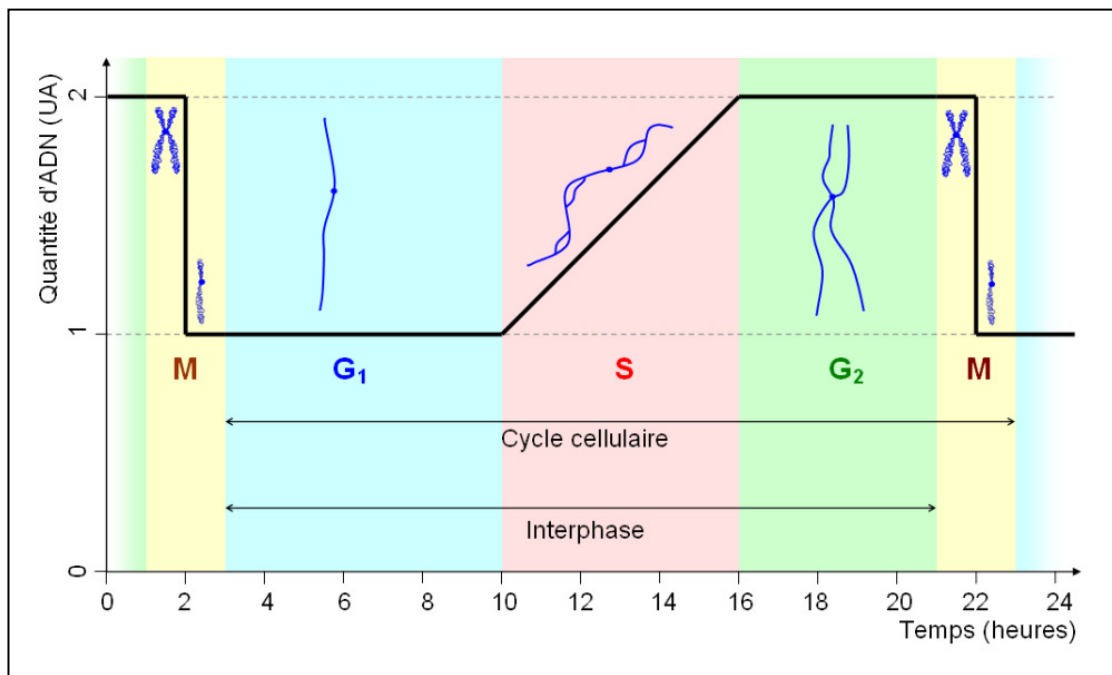
L'enveloppe nucléaire se reforme grâce à l'assemblage des vésicules (venant du RE)

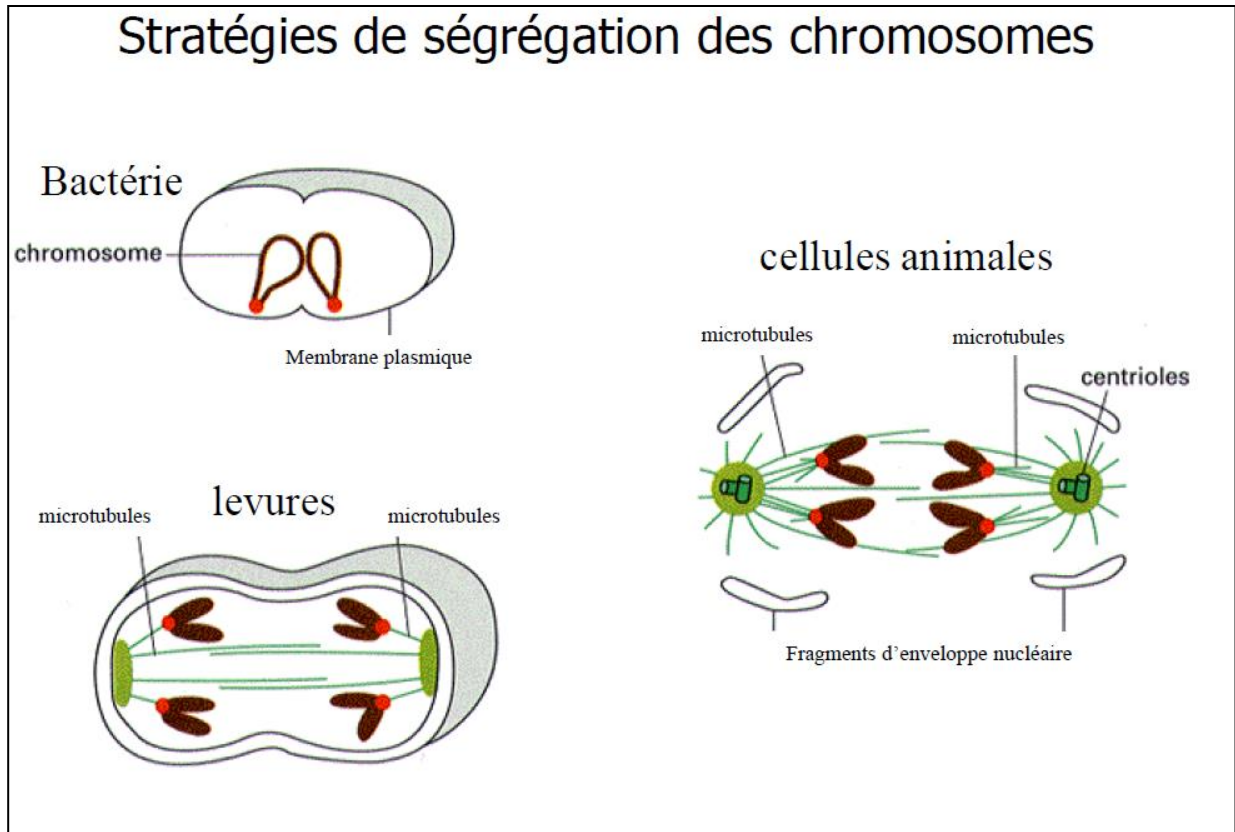
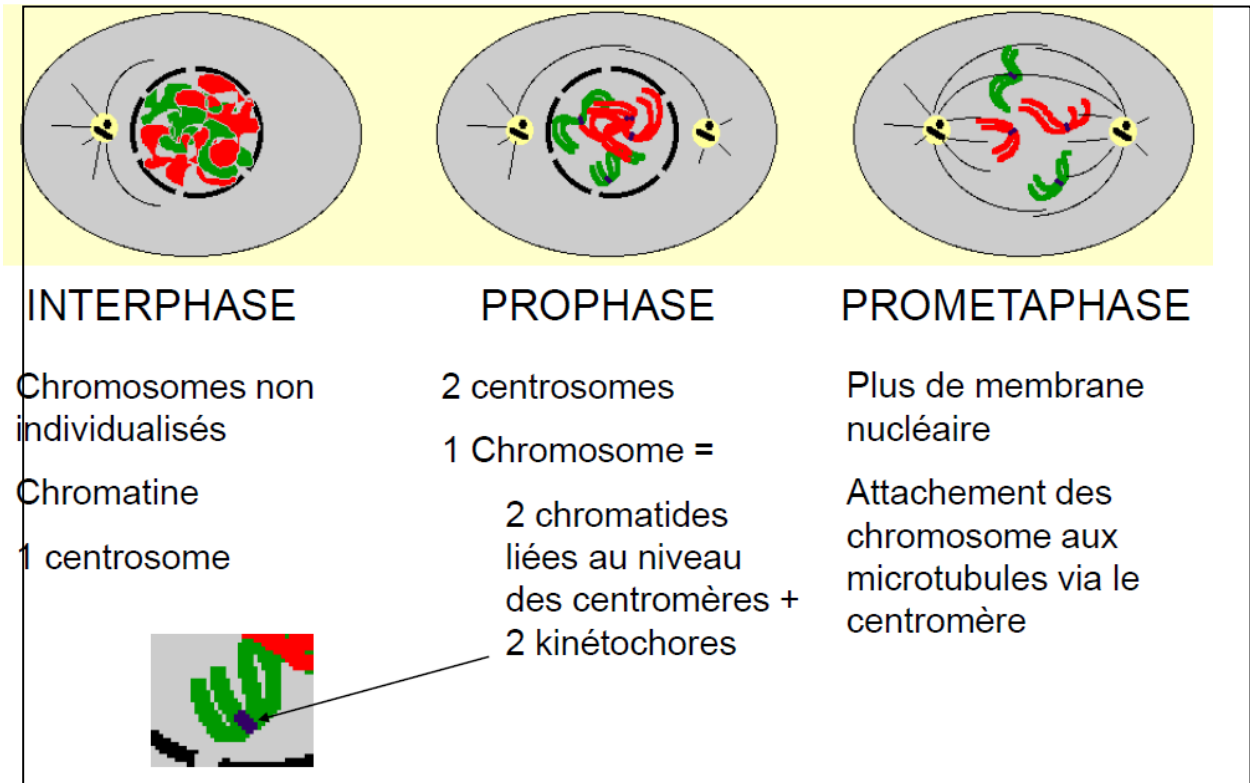
Les chromosomes se décondensent, la transcription peut reprendre.

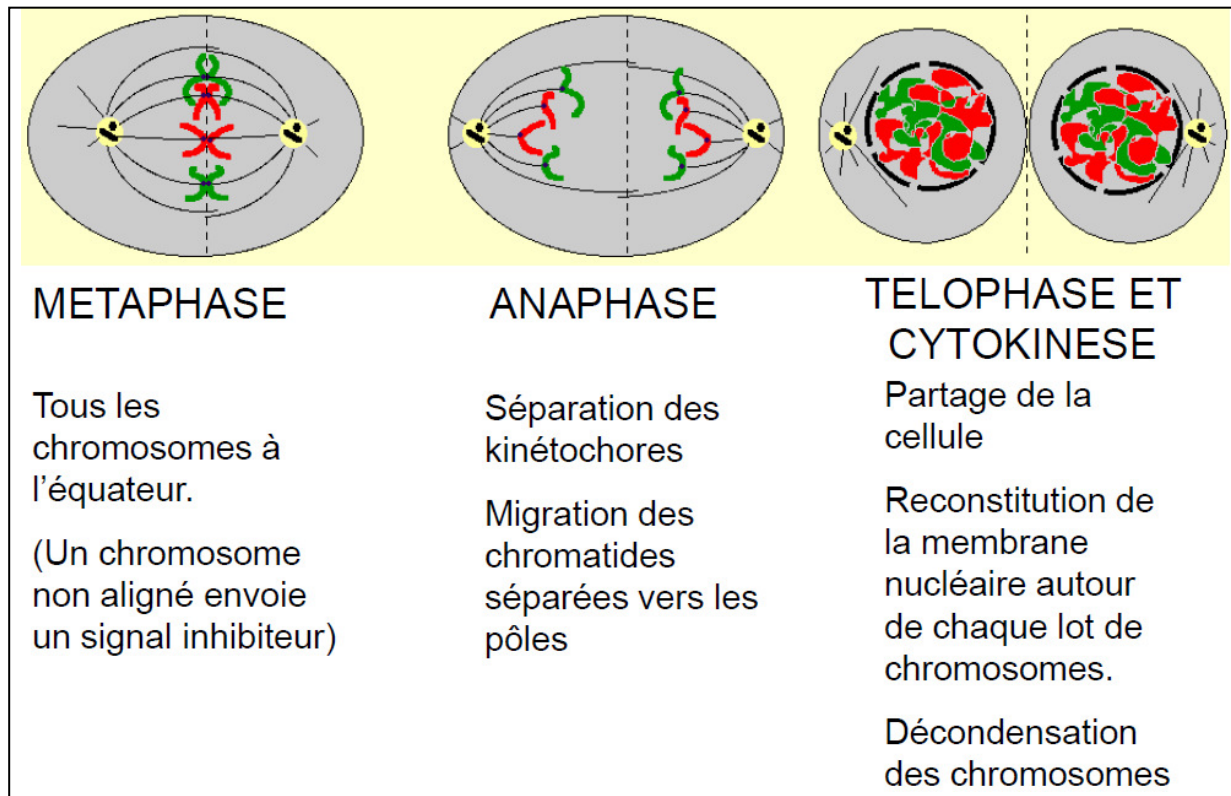
La cytotélerèse

Début à l'anaphase par le creusement d'un sillon de clivage perpendiculaire au grand axe du fuseau au niveau de l'équateur de la cellule parentale. Conduit par l'anneau contractile (qui comprend l'actine et myosine attachées à des protéines situées à la face cytoplasmique de la membrane). En fin il ya formation de deux cellules de taille égale (dans la plupart des cas).

La réplication produit des paires de **chromatides** soeurs identiques qui deviennent visibles au début de la mitose. Lorsqu'une cellule se divise, chaque membre d'une paire de chromatides soeurs est tiré dans chaque cellule fille où il remplit le rôle de chromosome à part entière. Par conséquent, chaque cellule fille possède le même contenu chromosomique que la cellule originelle.







II.2. Contrôle du cycle

Au terme de chaque étape du cycle, la cellule peut poursuivre sa progression, ou s'arrêter. Les transitions entre les différentes phases sont contrôlées par des variations d'activité de complexe kinase (activité sérine et thréonine). Ce complexe est constitué par deux protéines clés, deux sous-unités : une sous-unité catalytique = cdk (cyclin dépendant kinase) et une sous-unité régulatrice = cycline. Les cdk ne sont actives (c'est à dire, capable de phosphoryler les protéines cibles) que lorsqu'elles sont associées à des cyclines.

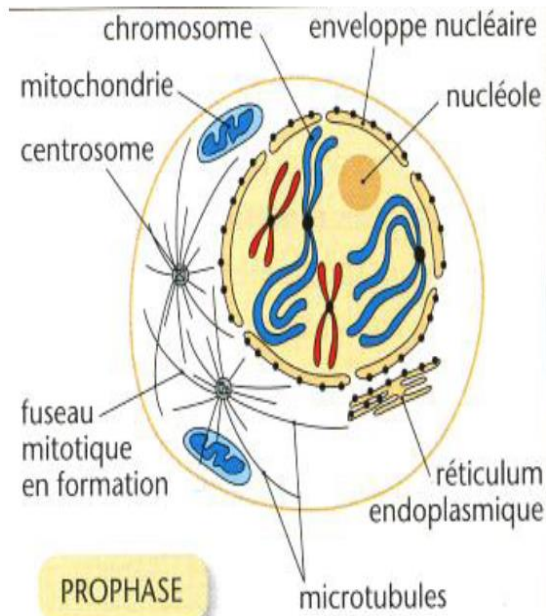
Les points de contrôle

Entre des différentes étapes se situent des points de contrôle qui ont pour but de vérifier :

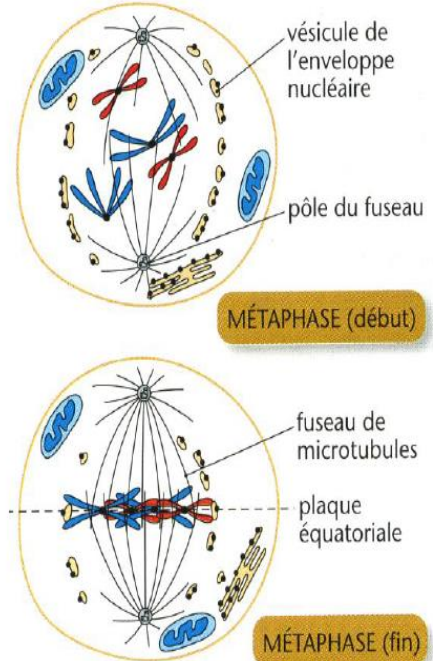
Point G1/S : que la taille de la cellule est optimale avant la division, que l'ADN n'est pas endommagé et autoriser ou non la poursuite de la duplication de l'ADN.

Point G2/M : L'intégrité de la transmission de l'ADN de la cellule mère vers les filles (pas de modifications).

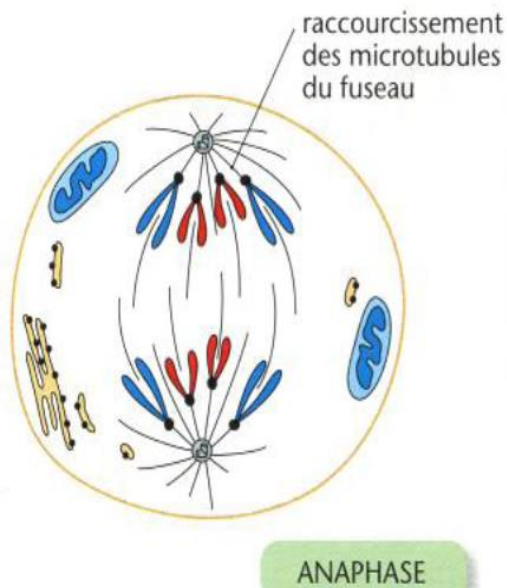
1^{ère} phase = la prophase



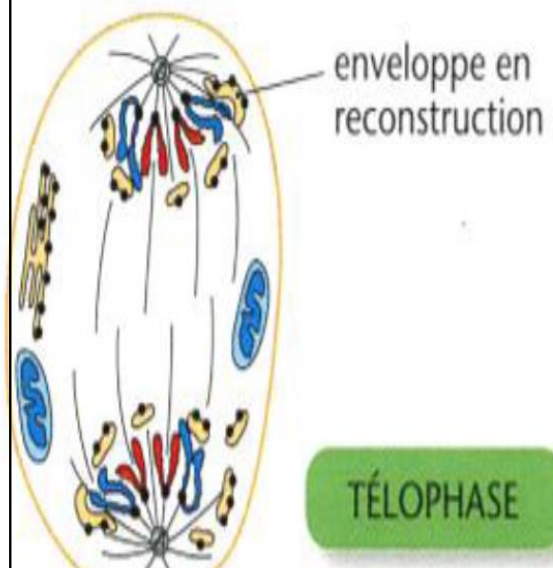
2^{ème} phase : la métaphase



3^{ème} phase : l'anaphase



4^{ème} phase : la télophase



Les points de contrôle

Tout l'ADN répliqué?

Environnement favorable?

Cellule suffisamment grosse?

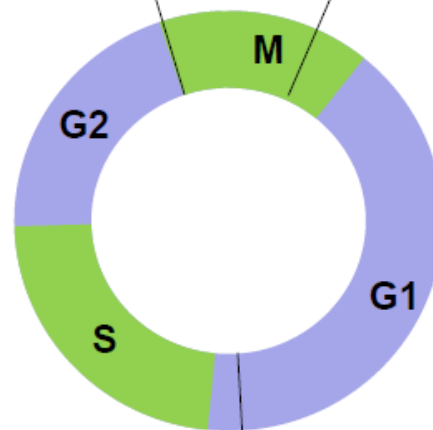
Chromosomes alignés sur fuseau mitotique?

CHECKPOINT G2

Entrée M

Sortie M

CHECKPOINT METAPHASE



CHECKPOINT G1

Départ

Cellule suffisamment grosse?

Environnement favorable?

II.1.3.2. La Méiose

La plupart des Eucaryotes présentent un cycle de reproduction dit « sexué » et chez ces organismes, des cellules diploïdes spécialisées appelées **méiocytes** sont mises en réserve pour se diviser et produire les cellules sexuelles telles que le spermatozoïde et l'ovule chez les plantes et les animaux ou les spores sexuées chez les champignons et les algues.

Deux divisions cellulaires successives ont lieu et on appelle **méiose** les deux divisions nucléaires conjointes qui sont la division réductionnelle et la division équationnelle. Suite à ces deux divisions d'une cellule diploïde, quatre cellules haploïdes sont produites (les spermatozoïdes et les ovules chez les animaux et les végétaux). Le résultat net de la méiose est donc : $2n \rightarrow n + n + n + n$.

Comme dans la mitose, la réplication des chromosomes a lieu avant la méiose (à l'interphase) pour former les chromatides soeurs qui deviennent visibles lors de celle-ci.

Au contraire de la mitose, les paires homologues de chromatides soeurs s'unissent (s'apparient) pour former une structure de quatre chromatides homologues. Cette réunion des paires d'homologues s'appelle la **synapse** ou complexe synaptonémal. L'ensemble des chromosomes frères répliqués s'appelle un **bivalent**. Les quatre chromatides qui constituent un bivalent s'appellent une **tétrade** (du grec quatre) pour indiquer qu'il y a quatre unités homologues dans cette structure.

La première division dite réductionnelle, elle comporte les étapes suivantes :

- **Prophase I** : Comme pour la prophase de la mitose on a au départ une paire de chromatides soeurs paternelles et une paire de chromatides soeurs maternelles, mais dans la méiose ils s'unissent dans un processus appelé « synapse », les chromatides homologues sont alignées côte à côte et forment des chiasmas (croisements) au niveau desquels des segments de chromatide sont échangés et recombinaison par coupures et sutures successives (recombinaison). La prophase I est subdivisée en cinq stades :

- **Léptotène** : leptos = fin. Les chromosomes **séparés** commencent à s'individualiser et apparaissent sous forme de filament fin.
- **Zygotène** : zygos = couple. Les chromosomes homologues continuent leur condensation et apparaissent sous forme de **bivalent** ou complexe synaptonémal (2

chromosomes homologues appariés, en vrai ils sont formé de deux chromatides chacun, mais ceci n'est pas visible à ce stade), c'est b pour cela qu'on ne parle pas de la tétrade à ce stade.

- **Pachytène** : filament épais. Les chromosomes sont épais et courts ils apparaissent formés de deux chromatides sœurs chacun. Les deux chromosomes homologues appariés forment alors une **tétrade**. Les crossing over (échange du matériel génétique) se déroulent pendant ce stade entre les chromatides non sœurs appariées.
- **Diplotène** : filament double. Les chromosomes homologues s'éloignent légèrement l'un de l'autre, mais ils restent unis au niveau des certains points appelés **chiasma** qui représentent les points d'échange génétique entre chromatides non sœurs par crossing over.
- **Diacinèse** : les chromosomes homologues de la tétrade se séparent d'avantage, donc il ya une résolution des chiasmas qui se déplacent vers les extrémités de chaque tétrade. L'enveloppe nucléaire se fragmente et le fuseau mitotique se forme.
NB : pour chaque tétrade, on aura deux chromatides recombinées et deux non recombinées.

- **Métaphase I** : Les paires de chromatides sont alignées sur le plan équatorial ou la plaque métaphasique. Les deux chromosomes homologues restent sous forme de bivalent attachés par les chiasmas terminaux. Comme pour la mitose, un fuseau de microtubules se forme à partir des pôles du noyau. Les chromosomes s'attachent au fuseau mitotique par leurs microtubules kinétochoriens .

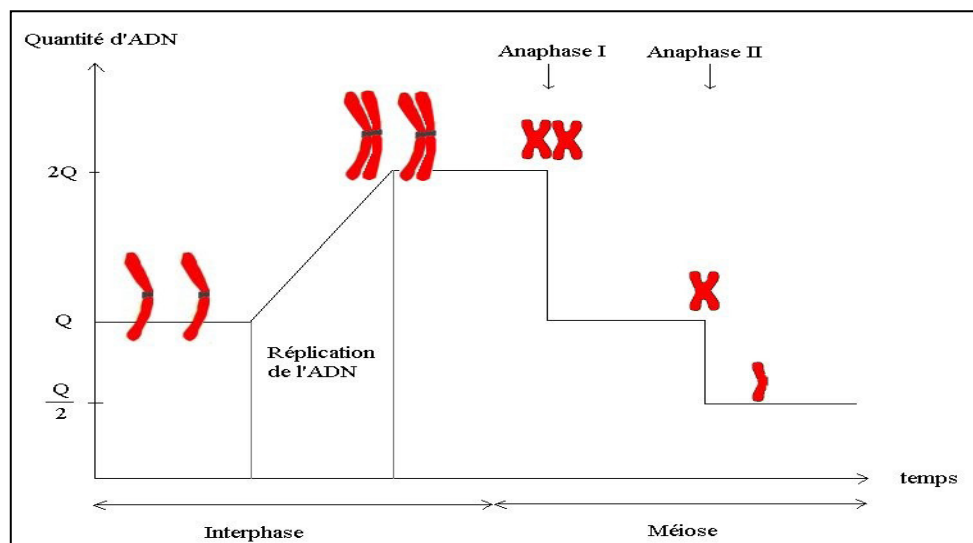
- **Anaphase I** : Les deux paires de chromatides sont attirées chacune vers un pôle de la cellule. À ce stade seules les paires de chromatides sont séparées mais non pas les chromatides sœurs elles-mêmes. Donc chaque pôle reçoit un chromosome formé de deux chromatides sœurs (une d'elle est recombinée), d'où la réduction du nombre de chromosomes de « $2n$ » de la cellule mère à « n » dans chaque pôle.

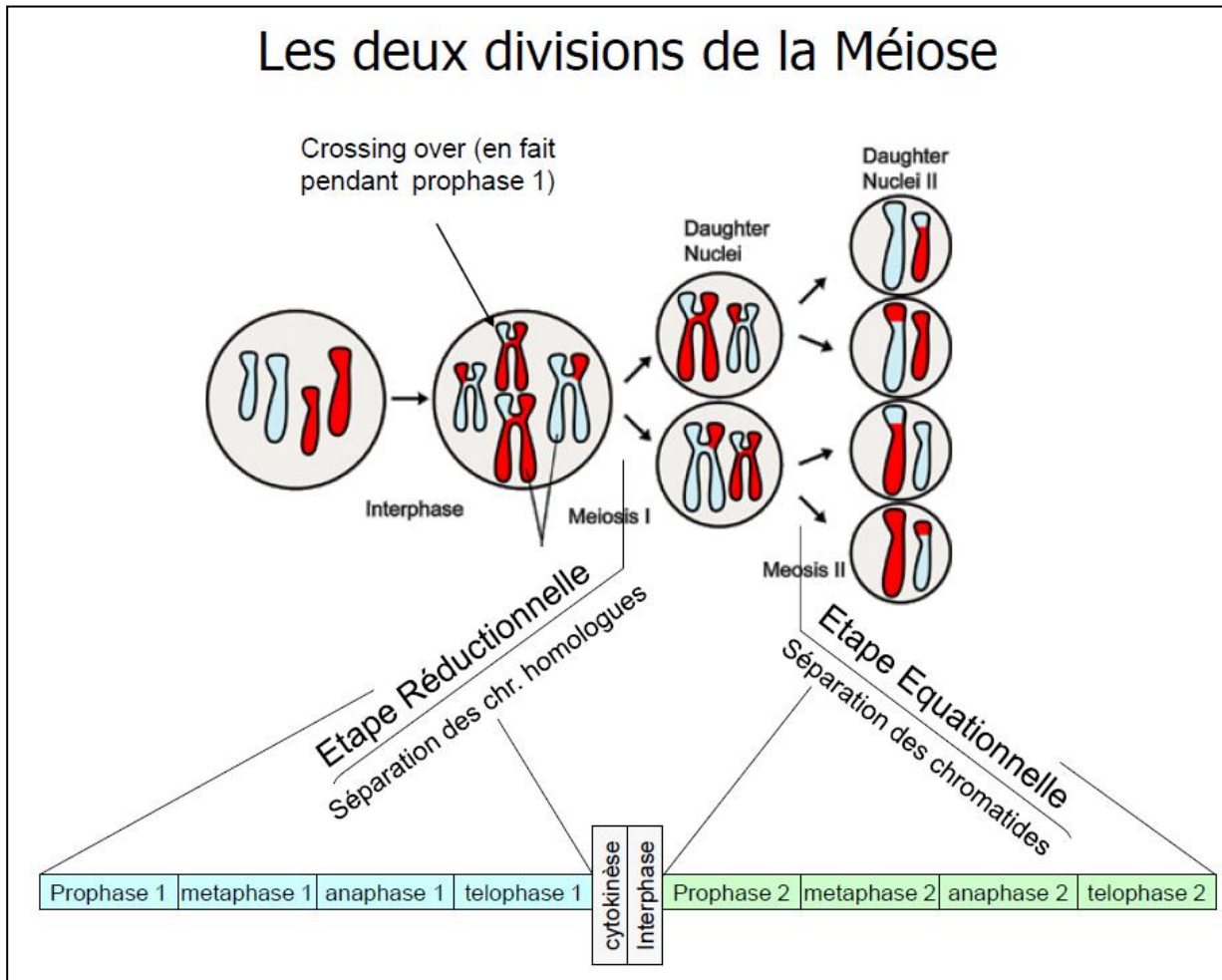
- **Télophase I** : Une nouvelle enveloppe nucléaire se forme autour des paires de chromatides dans chaque pôle, formant deux noyaux haploïdes (n chromosomes), contenant chacun un seul chromosome (formé de deux chromatides) de la tétrade. Cette division est appelée « réductionnelle » parce qu'elle implique un passage de diploïde à haploïde. La cellule (le

cytoplasme et le reste des organites) se divise à son tour par cytokinèse, formant ainsi deux cellules filles ayant recut la moitié de l'ADN de la cellule mère.

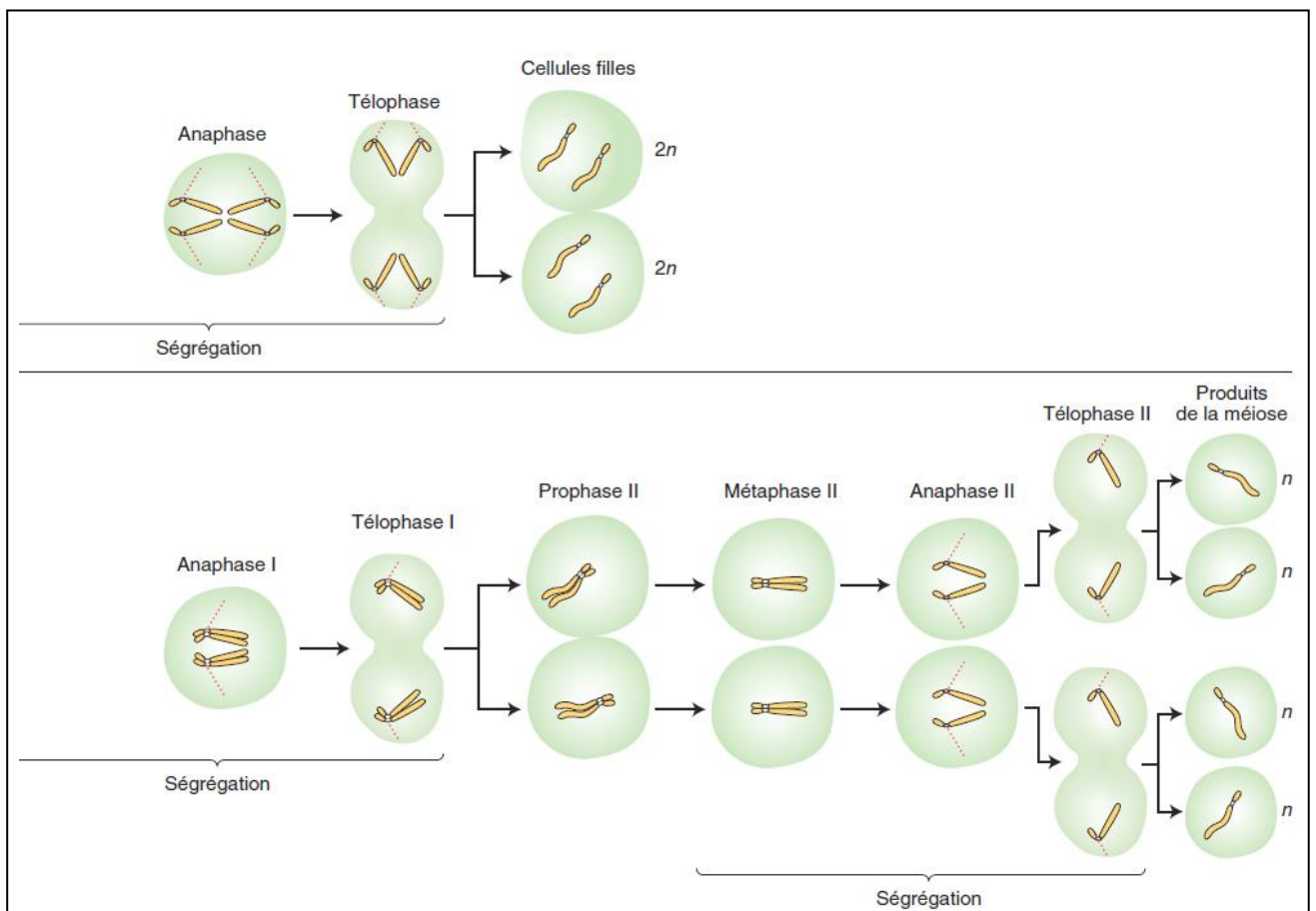
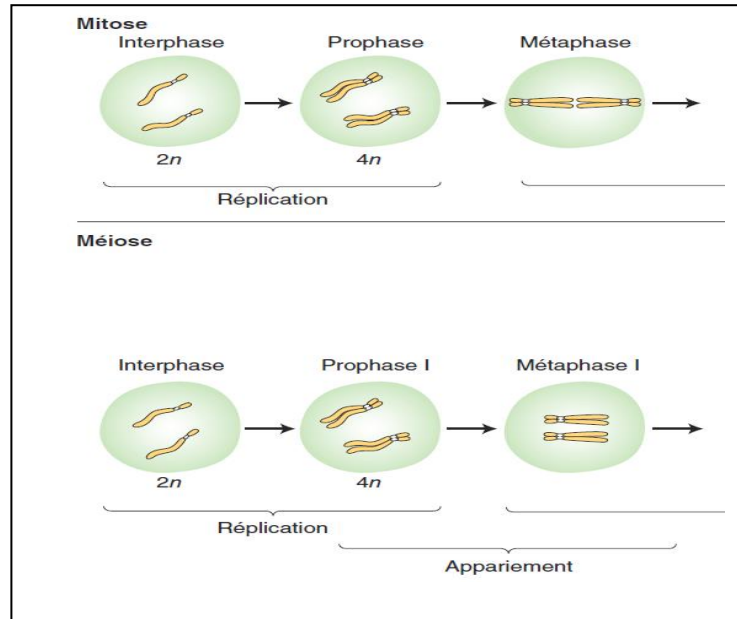
La deuxième division dite équationnelle, elle comporte les mêmes étapes qu'une mitose, qui sont les suivantes :

- **Prophase II** : Chaque cellule haploïde (n) formée lors de la télophase I contient un seul exemplaire de chaque chromosome (d'origine maternelle ou paternelle), composé de deux chromatides, mais dont les gènes sont constitués d'éléments mixtes à la suite du phénomène de crossing over.
- **Métaphase II** : Comme lors de la métaphase mitotique, les fuseaux de microtubules se forment et maintiennent les centromères des chromatides au niveau du plan équatorial.
- **Anaphase II** : Contrairement à la division « réductionnelle » de l'anaphase I qui sépare deux paires de chromatides, la division « équatoriale » de l'anaphase II sépare les chromatides sœurs, comme dans l'anaphase de la mitose.
- **Télophase II** : Une enveloppe nucléaire se reforme autour de chacune des deux chromatides (appelées maintenant chromosome) situées dans les deux pôles. La cellule se divise donnant naissance à deux cellules, toujours haploïdes, mais les chromosomes ne contiennent qu'une seule chromatide contrairement à la télophase I.





Shéma zygotène.....



Génération de la diversité héréditaire

