

I. Les chromosomes (cours TD)

1- Théorie chromosomique de l'hérédité

La théorie chromosomique considère que les caractères héréditaires sont conditionnés par des gènes, portés par les chromosomes transmis de manière fidèle des parents à la descendance, assurant ainsi la continuité génétique entre les générations.

2- Chromatine et chromosomes

Lors de la mitose ou de la méiose, les fibres de chromatine s'enroulent et se condensent formant les entités visibles au microscope, appelées **chromosomes**. Quand la cellule ne se divise pas, les chromosomes se déroulent et se décondensent en **chromatine** formant un réseau diffus dans le noyau.

3- Les chromosomes chez les organismes diploïdes (2n)

Chaque espèce eucaryote est munie d'un nombre spécifique de chromosomes désigné par le nombre diploïde (2n). Dans les cellules diploïdes, chaque cellule contient un chromosome venant du parent mâle et un chromosome venant du parent femelle. Dans ces cellules, les chromosomes vont par paires appelées **chromosomes homologues**. Ces derniers sont identiques par la taille et par l'emplacement du centromère. Les chromosomes non-homologues n'appartiennent pas à la même paire.

Les deux chromatides obtenues après répllication sont appelées chromatides sœurs et les chromatides d'origine maternelle et paternelle sont appelées chromatides non-sœurs. Cette structure quadruple est appelée **tétrade** (une paire de chromosomes homologues). Les chromatides de la même tétrade portent la même information génétique.

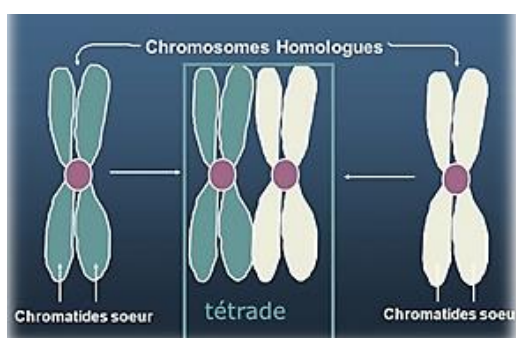


Figure 1 : Tétrade et chromatides sœurs

4- Le nombre

Les cellules germinales sont les cellules précurseurs qui donnent les cellules sexuelles (gamètes). Les cellules somatiques sont toutes les cellules de l'organisme autres que les cellules germinales.

- La cellule somatique est à $2n$ chromosomes
- La cellule germinale est à $2n$ chromosomes
- La cellule sexuelle est à n chromosomes.

5- Autosomes et chromosomes sexuels

Les autosomes sont tous les chromosomes qui ne sont pas sexuels. Les chromosomes sexuels ou gonosomes peuvent être soit identiques, soit différents chez les 2 sexes.

Exemple : L'être humain est à $2n=46 = 23$ paires de chromosomes = 22 paires d'autosomes + une paire de gonosomes (XX chez la femme, XY chez l'homme).

6- Morphologie des chromosomes

Les chromosomes sont formés de chromatides accolées par une zone condensée appelée le **centromère**. Les bras du chromosome s'étendent de part et d'autre du centromère. Par convention, le bras le plus court est appelé le **bras p** et le bras le plus long appelé le **bras q**. Les extrémités naturelles du chromosome sont appelées les **téломères**.

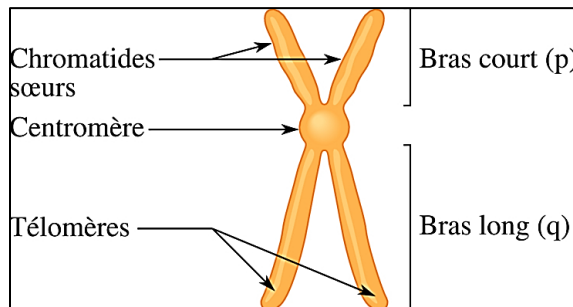


Figure 2 : Localisation du centromère, des télomères et des bras du chromosome

Certains chromosomes présentent un étranglement qui correspond au point d'attachement du nucléole, c'est la constriction secondaire appelée également organisateur nucléolaire (NOR). Le **satellite chromosomique** apparaît lorsque la constriction secondaire est si prononcée que la région distale du chromosome apparaît déconnectée du corps du chromosome.

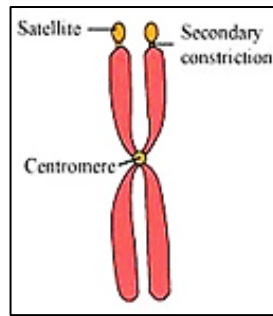


Figure 3 : Constriction secondaire et satellite chromosomique

Le **kinétochore** est une structure qui se forme de part et d'autre de chaque centromère. La migration des chromosomes, lors de la division cellulaire, est rendue possible par la liaison de microtubules du fuseau au kinétochore.

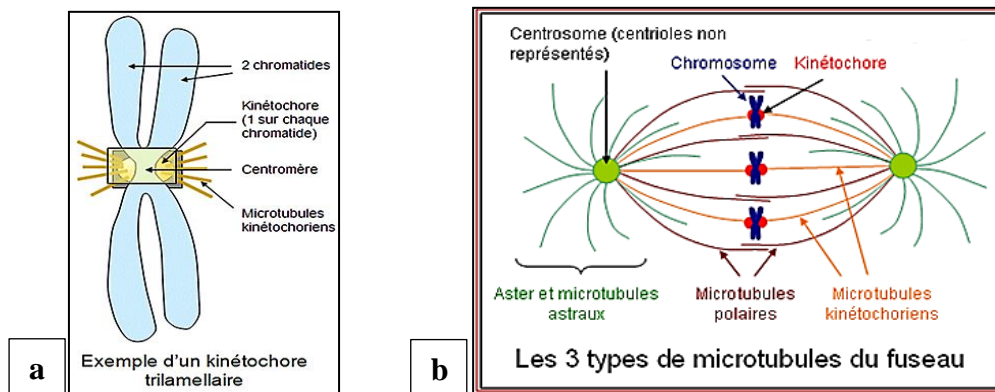


Figure 4
a- Emplacement du kinétochore
b- Configuration des trois types de microtubules du fuseau

C'est au cours de la division cellulaire, où l'on visualise le plus facilement les chromosomes qui apparaissent avec des tailles et des formes différentes. Selon la localisation du centromère, les chromosomes sont classés en 4 catégories.

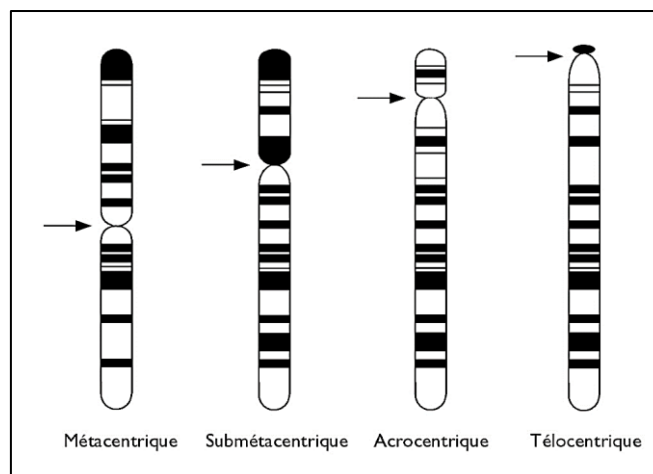


Figure 5 : Types de chromosomes selon la localisation du centromère

II. Les divisions cellulaires chez les eucaryotes (cours TD)

Le cycle cellulaire comprend l'interphase, suivie d'une division cellulaire (mitose ou méiose).

1- Interphase

L'interphase est l'intervalle entre deux divisions. C'est pendant l'interphase qu'a lieu la réplication de l'ADN de chaque chromosome. L'interphase est subdivisée en 3 stades (G1 + S + G2). Durant les stades G1 et G2, l'ADN n'est pas synthétisé. Vers la fin du G2, le volume de la cellule double grossièrement. Durant la phase S, l'ADN est répliqué. Sur le plan cytotologique, l'interphase est caractérisée par l'absence de chromosomes visibles. Le noyau est rempli de fibres de chromatine qui ont formé les chromosomes et qui se sont déroulés et dispersés après la précédente mitose.

2- La mitose

La mitose concerne les cellules somatiques. Durant la mitose, les chromosomes dupliqués sont précisément et également répartis dans **deux cellules filles génétiquement identiques à la cellule mère** qui héritent d'un nombre égal de chromosomes.

La mitose se subdivise en quatre phases.

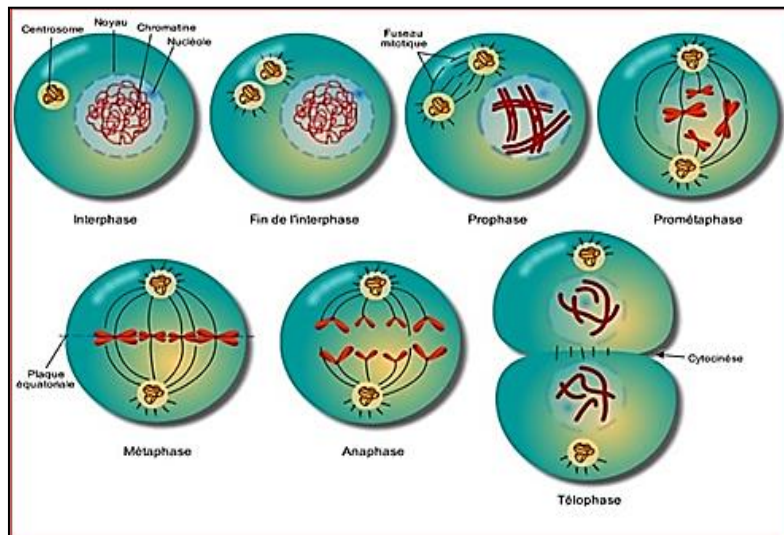


Figure 6 : Etapes de la mitose

2-1- Prophase

Dans toutes les cellules animales et certaines cellules végétales, il y a migration de deux paires de centrioles vers deux pôles opposés de la cellule. Ces corps cytoplasmiques sont localisés dans le centrosome et sont associés à l'organisation du fuseau mitotique. Le fuseau est composé de microtubules qui sont des polymères d'une sous unité protéique de tubuline. Lorsque les

centrioles migrent, l'enveloppe nucléaire commence à disparaître graduellement. Le nucléole se désintègre à l'intérieur du noyau. Les fibres de chromatine se condensent jusqu'à ce que les chromosomes deviennent visibles. Vers la fin de la prophase, chaque chromosome correspond à deux chromatides sœurs.

2-2- Prométaphase et métaphase

La prométaphase correspond à la période pendant laquelle les chromosomes se mettent en position, alors que le terme de métaphase est strictement appliqué à la configuration des chromosomes après leur positionnement et durant laquelle chaque centromère est aligné sur le plan équatorial (plaque métaphasique).

2-3- Anaphase

Les chromatides sœurs de chaque chromosome se séparent et migrent aux pôles opposés de la cellule. Chaque centromère se dédouble et chaque chromatide est appelée chromosome fils.

2-4- Télophase

Au début de la télophase, deux jeux complets de chromosomes sont localisés chacun à un pôle de la cellule. La division du cytoplasme (cytocinèse, cytokinèse ou cytodierèse) est essentielle pour que deux cellules puissent être produites à partir d'une seule. Les cellules animales subissent une constriction du cytoplasme. Dans les cellules végétales, une plaque cellulaire qui va conduire à la séparation des cellules filles, se forme et s'étend à travers la plaque métaphasique. Le résultat est le même : deux cellules filles sont formées. Dans chaque nouvelle cellule, les chromosomes se décondensent et deviennent à nouveau de la chromatine. L'enveloppe nucléaire et le nucléole se reforment, le fuseau mitotique disparaît. A la fin de la télophase, la cellule entre en interphase.

3- La méiose

La méiose concerne les cellules germinales (situées dans les gonades). Elle aboutit, à partir d'une cellule mère diploïde, à **quatre cellules haploïdes génétiquement différentes** entre elles, appelées gamètes ou cellules sexuelles. Le Crossing Over (C.O) ou enjambement chromosomique produit un échange génétique entre les chromosomes homologues. Il en résulte des chromosomes mosaïques des chromosomes paternels et maternels. La méiose est subdivisée en deux divisions successives : **la première division de la méiose** (méiose I) est dite réductionnelle car elle résulte en une réduction de moitié du nombre de chromosomes. **La deuxième division de la méiose** (méiose II) est décrite comme une division équationnelle. Elle est essentielle pour que chaque gamète ne reçoive qu'une seule chromatide de chaque tétrade.

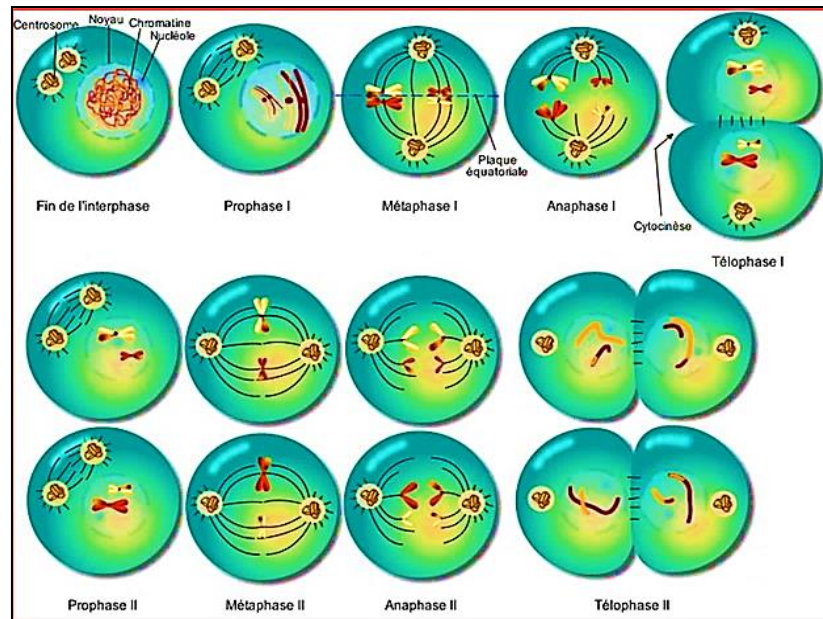


Figure 7 : Etapes de la méiose

3-1-Première division de la méiose (Méiose I)

- Prophase I

L'ADN des chromosomes a été répliqué durant l'interphase précédente. La chromatine présente pendant l'interphase s'enroule et se condense.

Lors de la prophase I, les chromosomes homologues s'apparient formant des bivalents, correspondant à des structures à 4 chromatides. Le C.O survient entre les homologues appariés.

L'appariement comporte 5 stades.

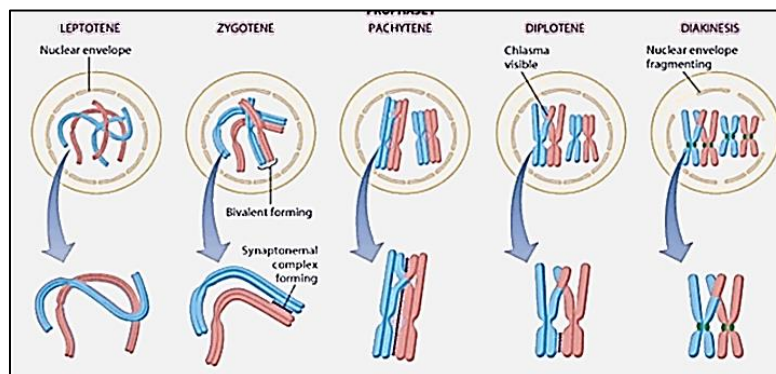


Figure 8 : Stades de la prophase de méiose I

- Leptotène

La chromatine interphasique commence à se condenser. Un processus de recherche d'homologie est essentiel à l'appariement initial des chromosomes homologues.

- Zygotène

Les chromosomes continuent de se raccourcir et de s'épaissir. Un complexe protéique appelé complexe synaptonémal est formé entre les chromosomes homologues leur permettant de

s'associer. A la fin du zygotène, les paires de chromosomes homologues sont présentes sous forme de bivalents. Leur structure double n'est pas encore apparente

- **Pachytène**

L'enroulement et le raccourcissement des chromosomes se poursuit ainsi que le développement du complexe synaptonémal. La double structure de chaque chromosome apparaît ; chaque bivalent contient 4 chromatides.

- **Diplotène**

Dans chaque tétrade, chaque paire de chromatides sœurs commencent à se séparer. Cependant, une ou plusieurs zones restent en contact au niveau de chiasmas (points où les chromatides non-sœurs ont subi un échange de matériel génétique par C.O). Cet échange se produit au cours du pachytène, mais son résultat ne devient visible que lorsque les chromosomes dupliqués commencent à se séparer.

- **Diacinèse**

Les chromosomes se séparent davantage mais les chromatides non-sœurs restent encore attachées au niveau des chiasmas. La séparation se poursuivant, les chiasmas se déplacent vers l'extrémité de chaque tétrade. Ce processus appelé « résolution des chiasmas » commence à la fin du diplotène et est achevé au cours de la diacinèse. Le nucléole et l'enveloppe nucléaire disparaissent et les deux centromères de chaque tétrade s'attachent au fuseau mitotique.

- **Métaphase, anaphase et télophase I**

Lors de la métaphase I, les chromosomes ont fini de se raccourcir et de s'épaissir. Chaque tétrade est entraînée jusqu'à la plaque métaphasique. L'alignement de chaque tétrade se produit au hasard. Lors de l'anaphase I, les homologues sont séparés, **la moitié de chaque tétrade migre** vers chaque pôle de la cellule de façon aléatoire. Dans de nombreux organismes, il se forme une membrane nucléaire autour des **diades**. Ensuite, le noyau entre dans une courte période interphasique. Dans certains cas, les cellules passent directement de l'anaphase I à la deuxième division de la méiose.

3-2-Deuxième division de la méiose (Méiose II)

Au cours de la prophase II, chaque diade est composée d'une paire de chromatides sœurs liées par un même centromère. Durant la métaphase II, les centromères se positionnent au niveau du plan équatorial. Lorsqu'ils se divisent, l'anaphase II est initiée et les chromatides sœurs de chaque diade sont tirées aux pôles opposés de la cellule. La télophase II révèle un membre de chaque paire de chromosomes homologues à chaque pôle. Chaque chromosome est appelé **monade**. Après la cytokinèse en télophase II, quatre gamètes sont formés.