

Les bases physiques de l'hérédité

Au début des années 1900 les botanistes ont reproduit les expériences de Mendel. Les principes de Mendel, combinés aux évidences cytologiques sur les processus de la mitose et de la méiose obtenues à la fin du 19 siècle, ont mené à la théorie chromosomique : les chromosomes sont des organites cellulaires porteurs de gènes et représentent le siège de l'hérédité.

Les chromosomes sont différents chez les procaryotes et eucaryotes. Chez les procaryotes, ils consistent en une unique molécule d'ADN circulaire dont une petite fraction est associée à des protéines. En ce qui concerne les eucaryotes, leurs chromosomes de forme linéaire sont contenus dans le noyau et leur ADN est associé à des quantités importantes de protéines spécifiques (histones).

Dans toutes les cellules, ces organites se répliquent avant que la division cellulaire (mitose) n'ait lieu et donne naissance à des cellules filles ayant chacune un assortiment de chromosomes identiques à celui de la cellule mère. Cependant, les chromosomes subissent une ségrégation et un assortiment indépendant durant la formation des gamètes. Ces derniers proviennent d'une cellule diploïde par une division particulière (méiose) qui réduit le nombre de chromosomes de moitié. Ces cellules qui ne possèdent qu'un seul exemplaire de chaque chromosome sont dites haploïdes, alors que dans les cellules diploïdes, il en existe deux exemplaires (paires de chromosomes homologues).

Il existe deux grandes modalités de divisions cellulaires : la mitose et la méiose.

I- Mitose :

La mitose est la plus fréquente des modalités de la division cellulaire. Elle permet la croissance corporelle et la régénération des tissus. La mitose comporte deux processus distincts:

- La caryocinèse qui consiste à reproduire une copie conforme de chaque chromosome de la cellule mère et de donner un lot de chromosomes à chacune des cellules filles.
- La cytotodiérèse : C'est la division de l'hyaloplasme et de ces organites.

Cette division cellulaire comporte 4 phases : Prophase, métaphase, anaphase et télophase (figure 1).

I.1- Prophase :

- Dans le noyau, il y a :
 - Différenciation de la chromatine en fins bâtonnets qui correspondent aux chromosomes. Ces derniers subissent une condensation par spiralisation qui les rend plus courts et épais. Chaque chromosome se dédouble sur toute sa longueur excepté au niveau du centromère et les deux brins constitués sont appelés chromatides.
 - Disparition du nucléole ainsi que la membrane nucléaire.
- Dans le cytoplasme, on remarque :
 - L'apparition du fuseau achromatique.
 - Dédoublement des deux centrioles qui migrent par paires vers les deux pôles de la cellule.

I.2- Métaphase :

Les chromosomes se disposent en plaque équatoriale.

I.3- Anaphase :

- Division des centromères.
- Les chromatides se séparent longitudinalement. Chaque chromatide se déplace le long du fuseau, le centromère en direction du pôle, les bras traînant vers l'arrière.

I.4- Télophase :

- Formation d'une membrane nucléaire autour de chacun des deux lots de chromosomes.
- Les chromosomes se dés spiralisent et redeviennent longs et enchevêtrés pour reconstituer la chromatine.

- Réapparition du nucléole.
- Formation d'un sillon équatorial qui divise la cellule mère en deux cellules filles identiques.

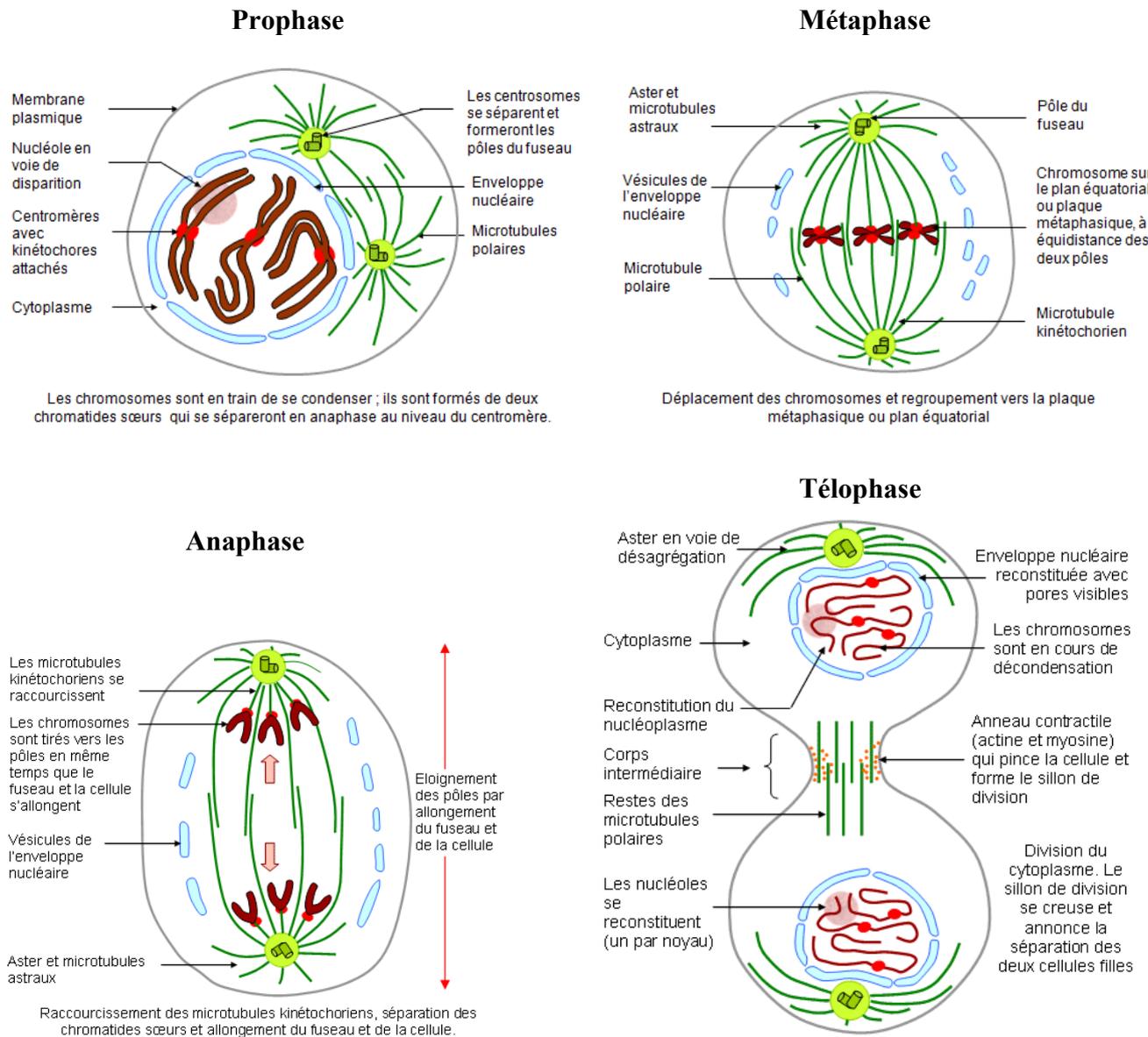


Figure 1 : Les différentes étapes de la mitose

I.5- Notion de cycle cellulaire :

Une cellule qui ne cesse de se diviser suit un cycle cellulaire défini comme étant l'ensemble des 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. Ce cycle comprend l'interphase et la mitose. L'interphase passe par trois phases : G₁, S et G₂ (figure 2).

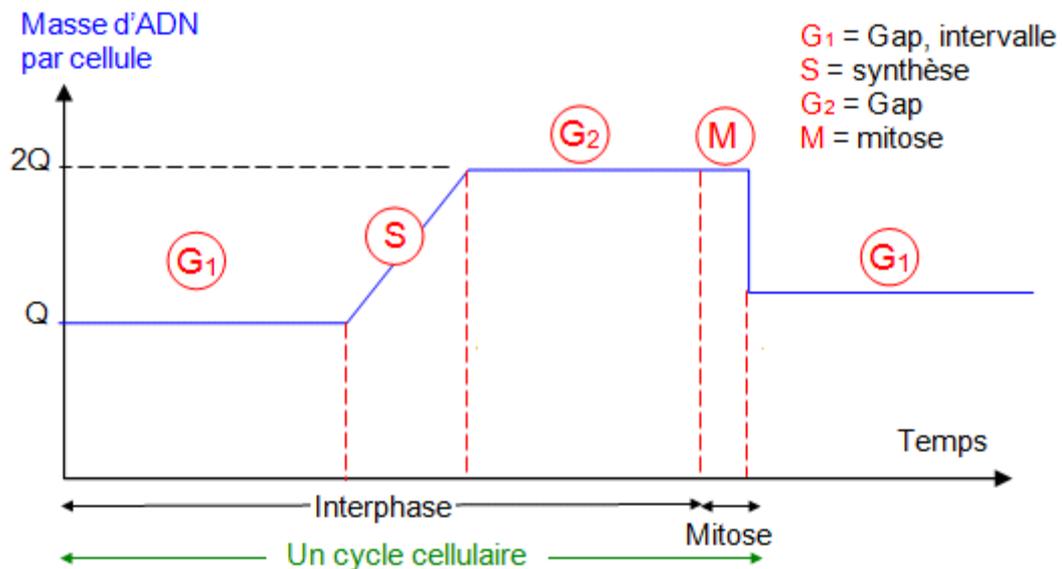


Figure 2 : Evolution de la masse d'ADN dans une cellule pendant le cycle cellulaire

II- Méiose :

Les eucaryotes dérivent de la division d'une cellule originelle, l'œuf ou zygote qui résulte lui même de l'union de deux gamètes (mâle et femelle). Les gamètes proviennent de cellules germinales, par suite d'un processus réductionnel appelé méiose qui permet le passage de l'état diploïde ($2n$) à l'état haploïde (n).

La méiose comprend deux divisions successives (Figure 3) :

- la première division est dite réductionnelle et permet la séparation des chromosomes homologues.
- la seconde est équationnelle permet la séparation des chromatides sœurs.

II.1- Méiose I ou division réductionnelle :

II.1.1- Prophase I :

On divise la prophase en cinq étapes :

- Leptotène : Les chromosomes apparaissent sous forme de structures ténues et filamenteuses. La différenciation en chromatides n'est pas encore visible.
- Zygotène : Les chromosomes homologues s'apparient, on parle alors de synapse. La paire de chromosomes ainsi liée porte le nom de bivalent.
- Pachytène : Les chromosomes apparaissent plus épais et plus fortement spiralés. Chaque chromosome se fissure en deux chromatides liées par un centromère. Les quatre chromatides des chromosomes appariés constituent un tétrade. A ce stade des échanges de matériel génétique peuvent avoir lieu entre les chromatides non- sœur.
- Diplotène : Les chromosomes homologues se séparent l'un de l'autre mais restent liés en certains points appelés chiasma.
- Diacinèse : Les chromosomes homologues s'éloignent l'un de l'autre en provoquant un glissement des chiasmata vers les extrémités. Disparition du nucléole et de la membrane nucléaire. Formation du fuseau achromatique.

II.1.2- Métaphase I :

Chaque bivalent possède deux centromères distincts, non clivés et sont disposés de part et d'autre de la plaque équatoriale, contrairement à la métaphase mitotique où ils se disposent parallèlement à cette dernière.

II.1.3- Anaphase I :

Ce stade commence lorsque les centromères non divisés et les chromatides non-sœurs de chaque bivalent se séparent et migrent aux pôles opposés de la cellule. Il y a ségrégation indépendante des centromères d'origine maternelle ou paternelle.

II.1.4- Télophase I :

Une membrane se reforme autour de chacun des noyaux fils. La fin de la première division méiotique est marquée par la division de la cellule diploïde en deux cellules filles haploïdes.

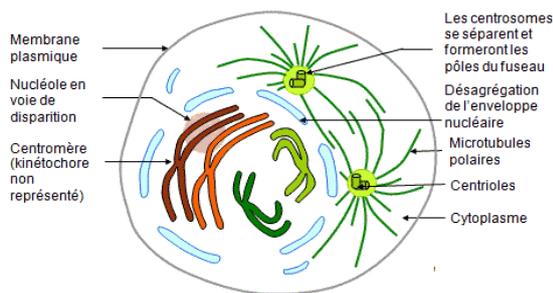
II.2- Méiose II ou division équationnelle :

La deuxième division méiotique survient très rapidement après la première et se déroule comme une mitose classique. Elle comprend les phases suivantes :

- La prophase II : Formation du fuseau achromatique.
- Métaphase II : les centromères s'alignent sur la plaque équatoriale.
- Anaphase II : clivage des centromères permettant la séparation des chromatides sœurs.
- Télophase II : A la fin de la méiose, on obtient quatre cellules filles haploïdes.

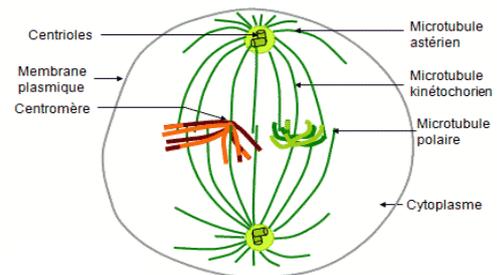
Méiose I

Pronase 1



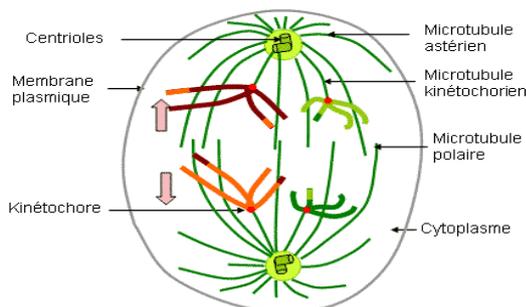
Les chromosomes (schéma théorique avec $2n = 4$) sont en train de se condenser ; ils sont formés de deux chromatides sœurs.

Métaphase 1



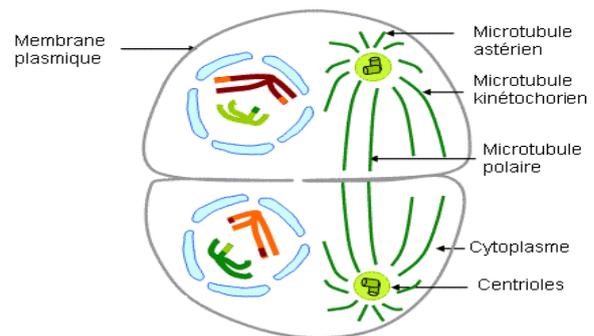
Les chromosomes homologues restent assemblés et se placent de façon que leur centromère soit sur le plan équatorial

Anaphase 1



Les chromosomes homologues sont séparés, un vers chaque pôle, au hasard. C'est l'ascension polaire.

Télophase 1



Reconstitution des membranes nucléaires et début de cytotdièrèse.

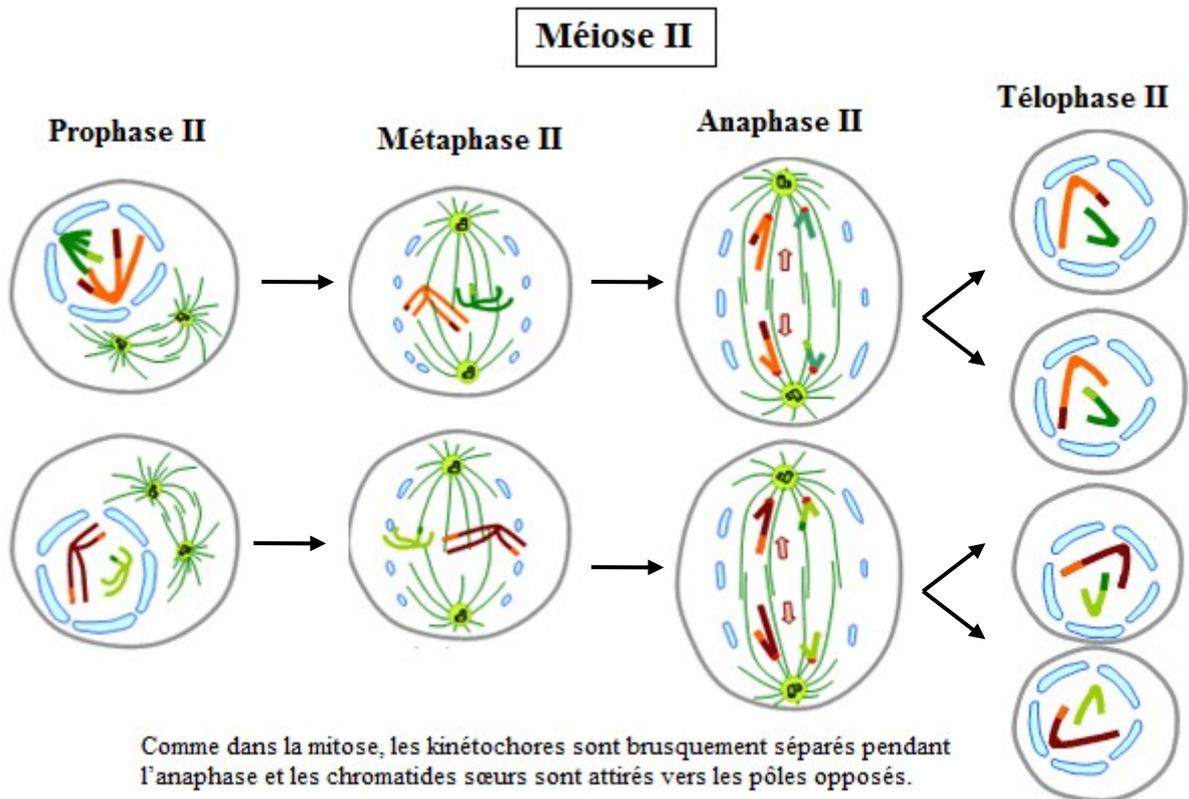


Figure 3 : Schéma des différentes étapes de la méiose

III- Brassage intrachromosomique et interchromosomique

III.1- Brassage intrachromosomique

Il s'agit d'un phénomène se produisant lors de la prophase I de la première division méiotique : les chromosomes homologues à deux chromatides sont étroitement appariés formant ainsi des tétrades, on observe des enjambements de chromatides sous forme de chiasmats. Il se produit des échanges symétriques de portions de chromatides par crossing-over qui aboutissent à une nouvelle combinaison allélique : les chromatides sont dites recombinées : c'est le brassage intrachromosomique (figure 4).

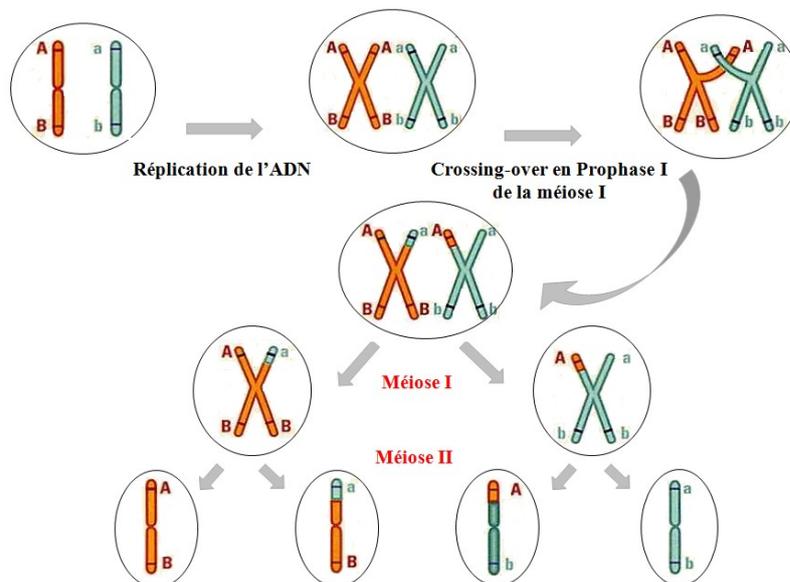


Figure 4 : Schéma illustrant le brassage interchromosomique

III.2- Brassage interchromosomique

Le brassage interchromosomique est dû à la disjonction aléatoire et indépendante des chromosomes homologues à l'anaphase I de la méiose. Il permet de produire $2^2 = 4$ catégories de gamètes différents pour 2 paires de chromosomes homologues et pour deux méioses différentes (figure 5) et donc 2^n gamètes différents pour n paires de chromosomes homologues.

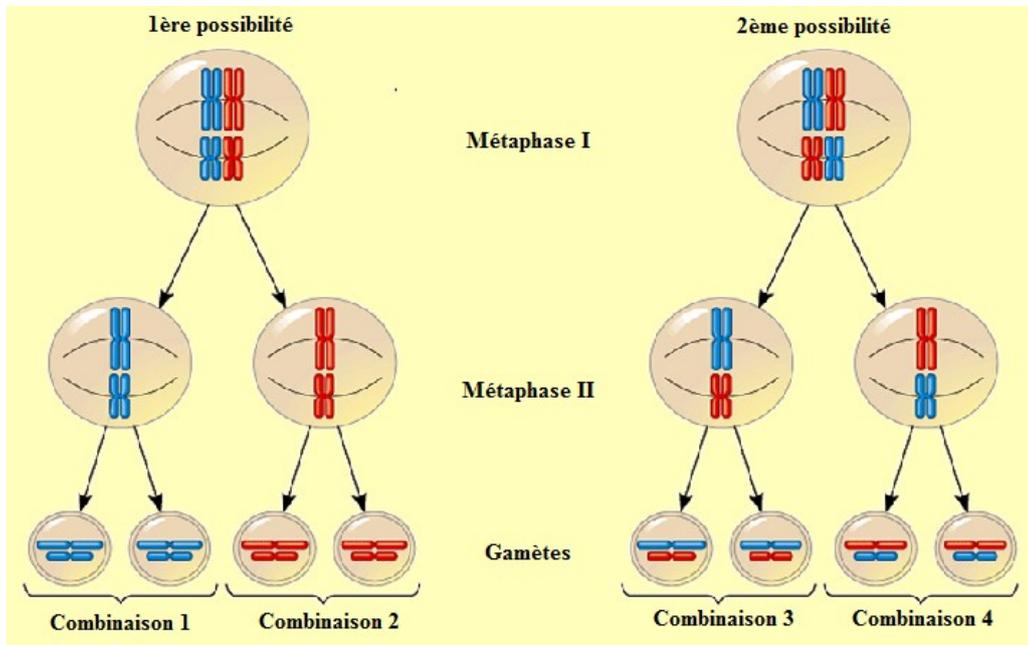


Figure 5 : schéma illustrant le brassage interchromosomique