

Chapitre 4. Divisions cellulaires

La **reproduction** constitue l'une des caractéristiques des **êtres vivants** qui permet de les différencier des **non vivants**. Elle comprend la **réplication** du **matériel génétique** (l'ADN) (**interphase**) suivie d'une **division cellulaire**. La **division cellulaire** est un processus qui permet à une cellule mère de produire de nouvelles cellules. Il existe deux types de division cellulaire dans le corps humain : la **mitose** et la **méiose**.

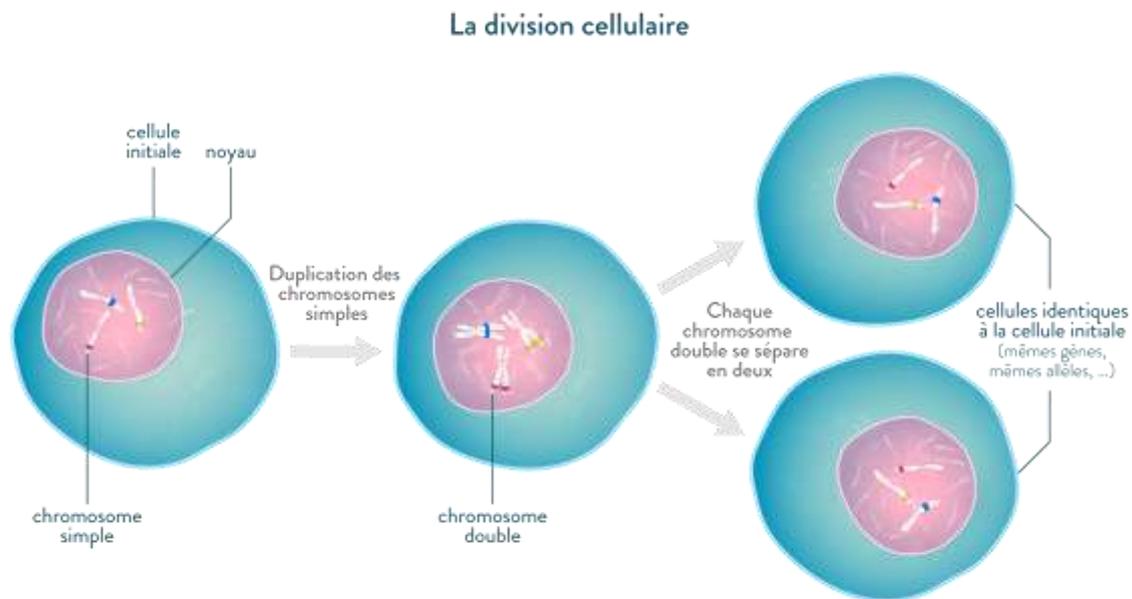


Figure 4.1. La division cellulaire.

4.1. Cycle cellulaire et mitose : chez les eucaryotes

4.1.1. Cycle cellulaire

Le **cycle cellulaire** est l'ensemble des modifications qu'une cellule subit depuis sa formation, après la division d'**une cellule mère** en **deux cellules filles** identique à la cellule mère. Il comprend deux grandes étapes :

- ◆ **Interphase** : en 3 phases : G1, S et G2 ;
- ◆ **Mitose** : en 6 phases : prophase, prométaphase, métaphase, anaphase, télophase et cytokinèse.

But du cycle cellulaire

- ◆ Reproduction cellulaire **asexuée** des organismes unicellulaires et pluricellulaires ;
- ◆ Développement embryonnaire des organismes à reproduction **sexuée** à partir d'un œuf fécondé ou zygote ;
- ◆ **Remplacer** les cellules mortes (mort naturelle **apoptose** ou accidentelle **nécrose**) ;
- ◆ **Réparer** les tissus endommagés.

4.1.1.1. L'interphase

L'interphase se décompose en 3 phases :

1. **Phase G1** : Phase de **croissance** et de **reconstitution** des **réserves** pendant laquelle la cellule synthétise de l'ARN (**transcription**) et des protéines (**traduction**) nécessaires à l'accroissement cellulaire.
2. **Phase S** : Phase essentiellement caractérisée par la **duplication de l'ADN**, la **synthèse des histones** et la **duplication du centriole**. La réplication de l'ADN est semi-conservative : elle aboutit à la formation de deux molécules d'ADN contenant chacune un brin ancien (= brin parent) et un brin nouveau (= brin fils = brin néoformé).
3. **Phase G2** : C'est une phase d'**attente** et de **contrôle** avant de lancer la mitose. Un certain nombre de facteurs y sont synthétisés, en particulier les facteurs de condensation de la chromatine.

Remarque :

- ◆ La cellule peut interrompre sa progression dans le cycle et entrer en **phase G0** de **quiescence** où elle reste des jours, des semaines ou même des années sans se multiplier.
- ◆ A la fin de l'interphase (en phase G2), le génome (ADN) est **dupliqué** mais **décondensé** et se présentent sous forme de **chromatine**. Cette chromatine sera par la suite **compactée** (condensée) en phase mitose pour former des **chromosomes**.

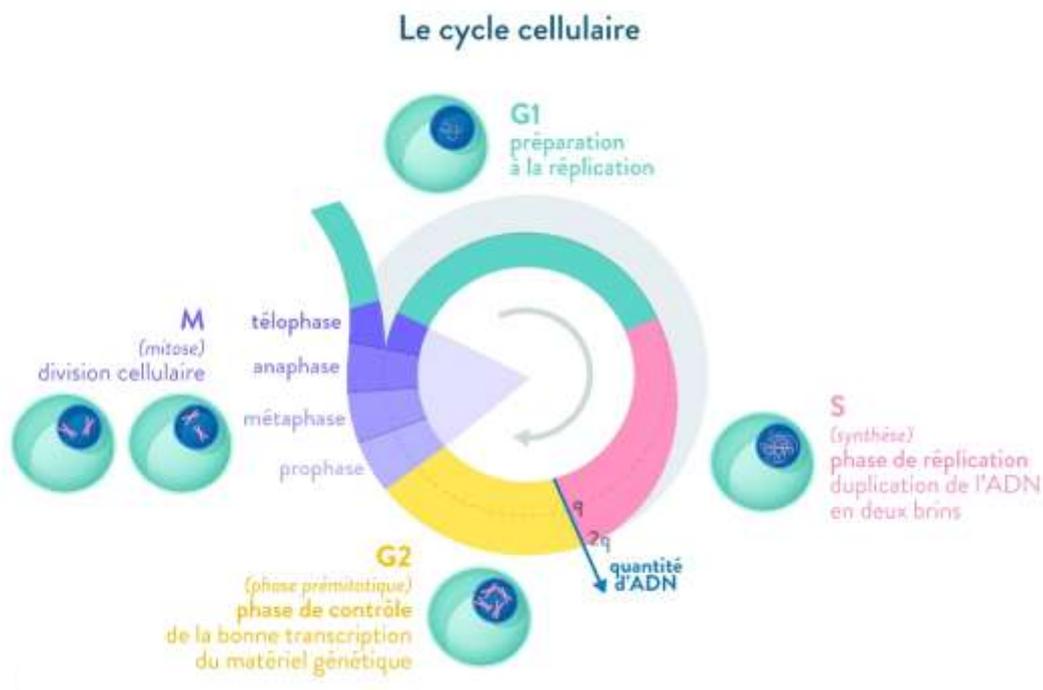


Figure 4.2. Les différentes phases du cycle cellulaire.

4.1.1.2. Mitose

La **mitose** est une étape bien particulière du cycle de vie des cellules eucaryotes, qui désigne la division des **cellules somatiques** (les cellules musculaires, épithéliales, rénales, neurones ...) qui produit **2 cellules filles diploïdes** ($2n$ chromosomes) génétiquement identiques → **2 clones**, *reproduction asexuée*.

Conséquences

- ◆ **La caryocinèse** : division du noyau.
- ◆ **La cytokinèse** : division du cytoplasme.

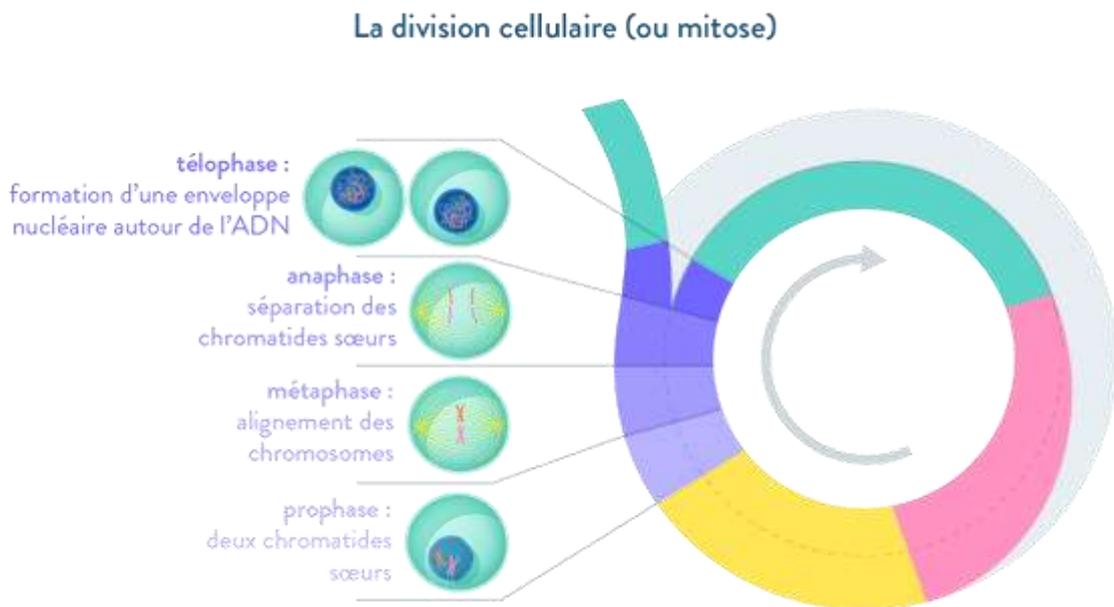


Figure 4.3. Division cellulaire (Mitose).

a. Prophase : Elle est caractérisée par :

- ◆ La condensation de la **chromatine** en **chromosomes**, suite à une **compaction** de la fibre chromatinienne ;
- ◆ Les **4 centrioles** se séparent formant **2 centrosomes** ;
- ◆ La disparition du nucléole ;
- ◆ La formation des **fuseaux de division** (microtubules) ;
- ◆ La formation des **kinétochores** au niveau des centromères.

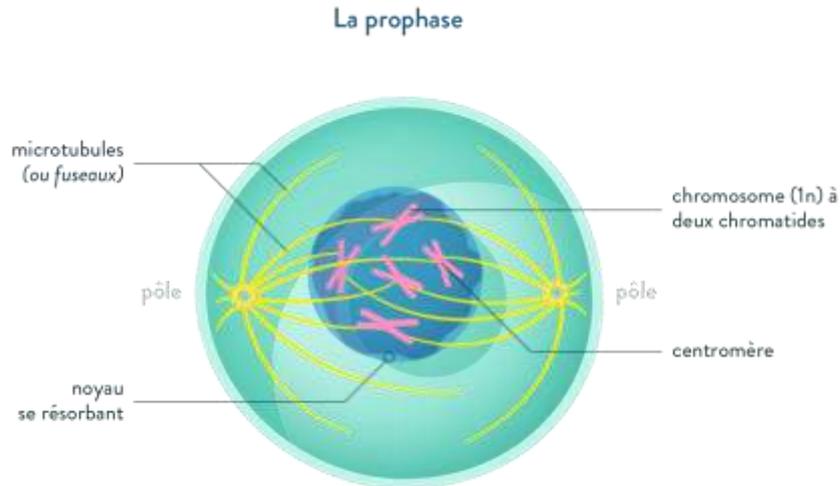


Figure 4.4. Prophase.

b. Prométaphase : Elle est caractérisée par :

- ◆ La rupture de l'enveloppe nucléaire ;
- ◆ Le fuseau mitotique entre en contact avec les chromosomes, qui se fixent sur les microtubules par l'intermédiaire du kinétochore.

c. Métaphase : Elle est caractérisée par :

- ◆ Un rassemblement de tous les chromosomes sur la **plaque équatoriale** (plaque métaphasique) ;
- ◆ Une condensation maximale des chromosomes.

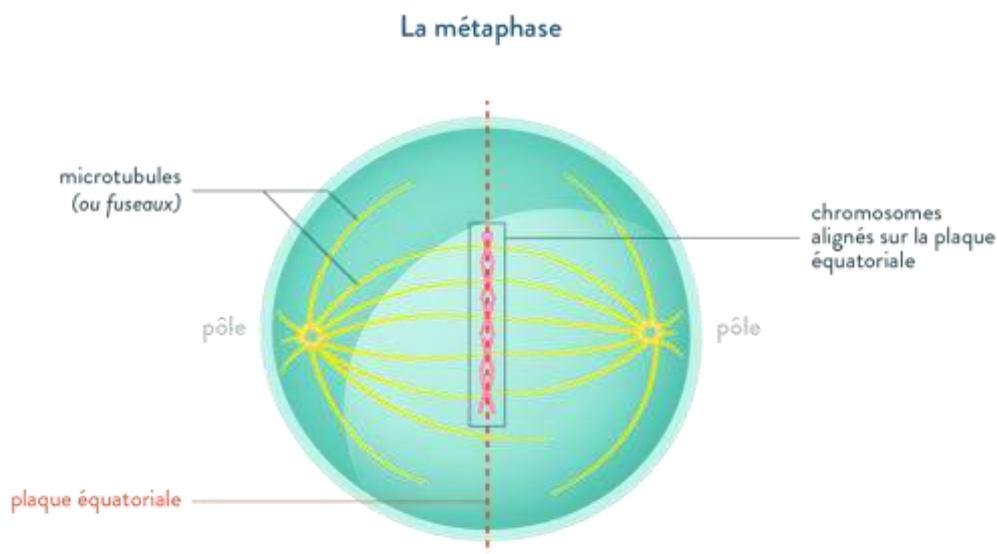


Figure 4.5. Métaphase.

Le **chromosome métaphasique** est au maximum de sa condensation. Il est constitué de **deux chromatides** reliés par un **centromère**.

d. Anaphase : Elle est caractérisée par :

- ◆ La séparation des chromatides sœurs ;
- ◆ Le déplacement des chromosomes fils vers les pôles.

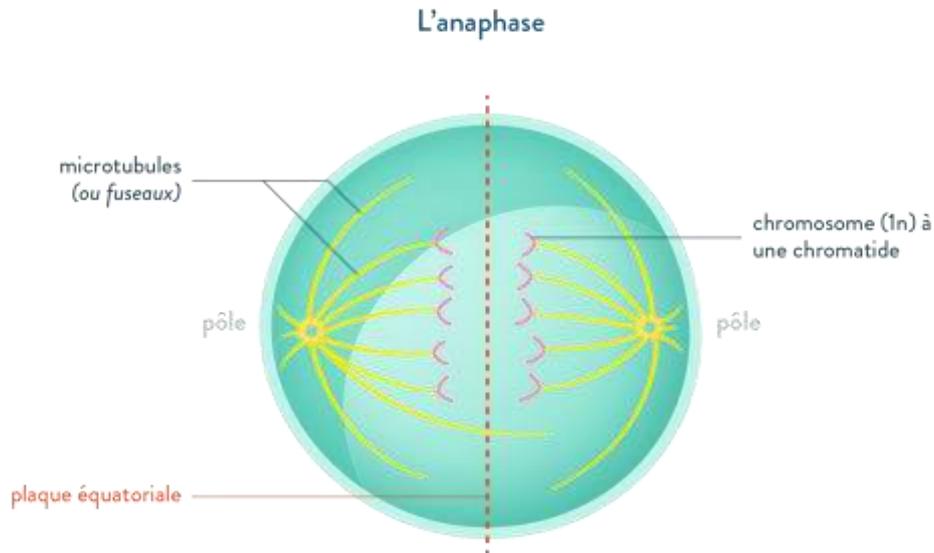


Figure 4.6. Anaphase.

e. Télaphase : Elle est caractérisée par :

- ◆ L'arrivée des chromosomes fils aux pôles ;
- ◆ La reconstitution de l'enveloppe nucléaire ;
- ◆ La décondensation des chromosomes ;
- ◆ La mise en place de l'**anneau contractile**.

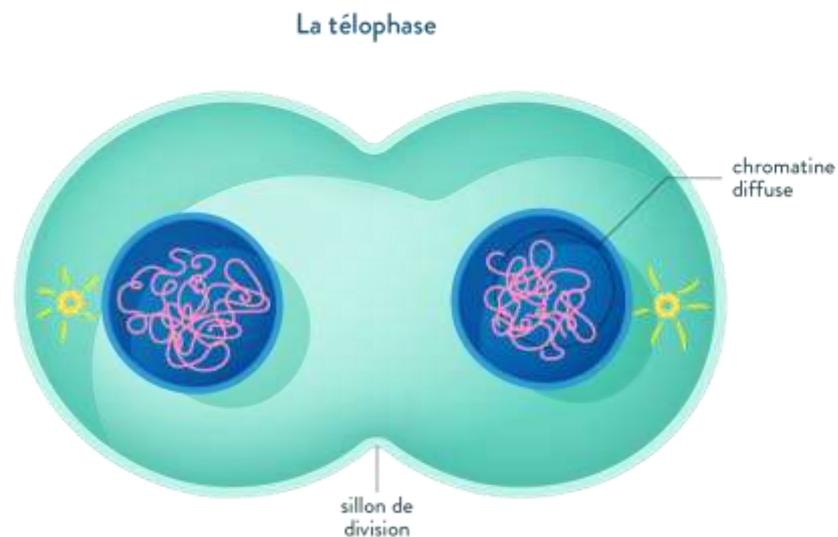


Figure 4.7. Télaphase.

f. Cytocinèse (cytodiérèse ou cytokinèse) : Elle est caractérisée par :

- ◆ La différenciation de l'anneau contractile, constitué de **microfilaments d'actine** et de **myosine** qui resserre la cellule et l'**étrangle** en deux ;
- ◆ La séparation des deux cytoplasmes ;
- ◆ La reconstitution du noyau.

4.1.3. La mitose végétale

Les principales différences entre la **mitose végétale** et la **mitose animale** sont l'absence de **centrioles** chez les plantes et la présence d'une **plaque cellulaire** qui conduit à une cytokinèse particulière. Contrairement aux cellules végétales, les cellules animales n'ont pas de plaque cellulaire, et la division est marquée par un **étranglement** de la membrane cellulaire.

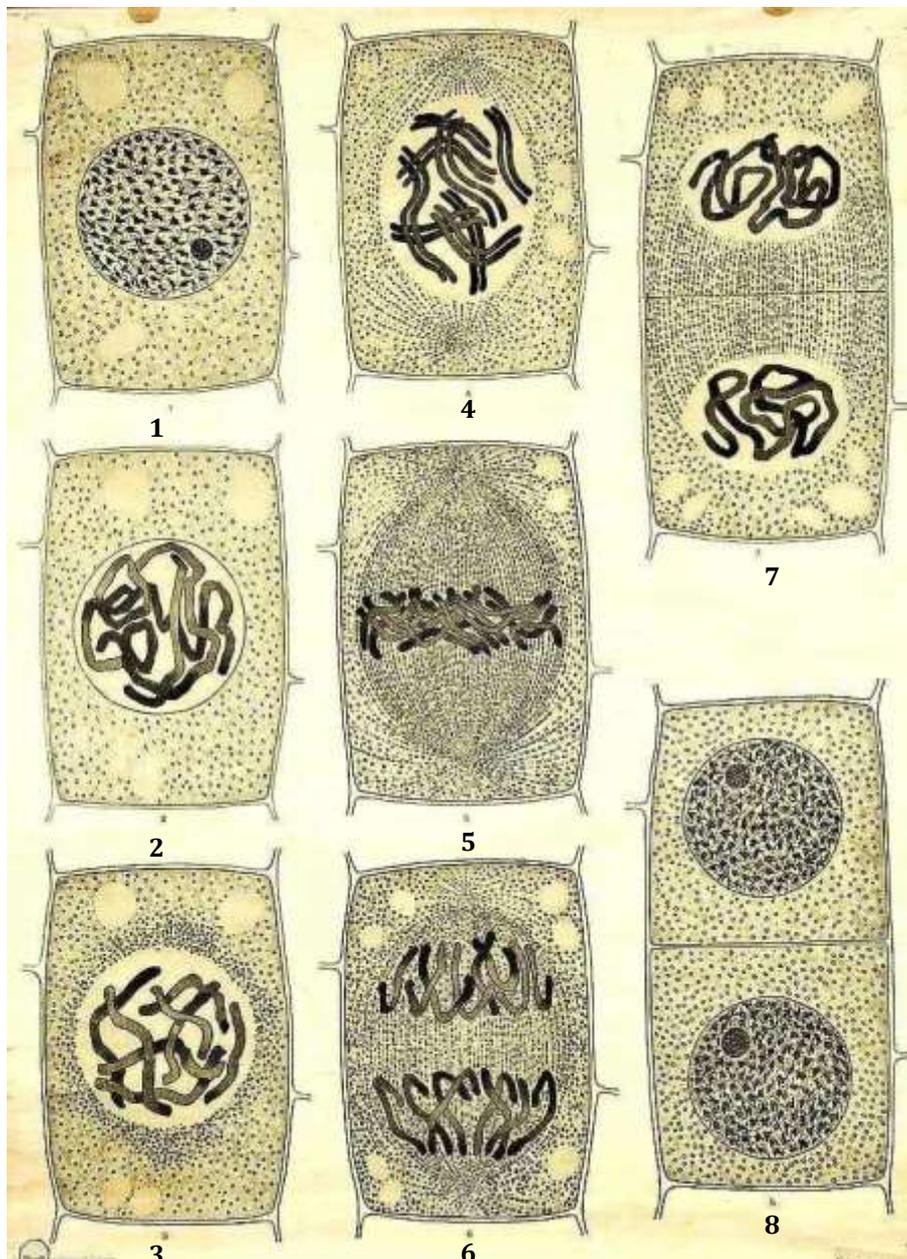


Figure 4.8. Les étapes d'une mitose végétale.

4.1.4. La scissiparité

La scissiparité est un mode de division asexué des procaryotes, consistant à doubler de longueur, puis à se séparer en deux cellules identiques, comme le font de nombreuses bactéries.

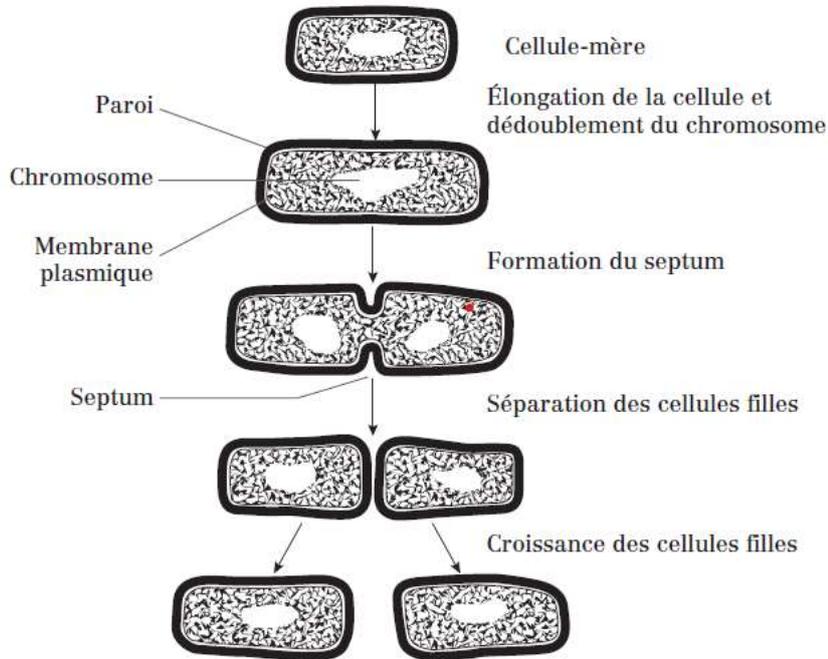


Figure 4.9. Fission binaire chez une bactérie

Les étapes de la scissiparité

- ◆ Réplication de l'ADN ;
- ◆ Allongement de la cellule ;
- ◆ Etranglement de la membrane cellulaire ;
- ◆ Séparation des cellules filles (clones).

4.1.5. Variation de la quantité d'ADN au cours du cycle cellulaire

Au cours d'un cycle cellulaire, la quantité d'ADN d'une cellule **double** lors de la **réplication** (phase S : les chromosomes passent de 1 à 2 chromatides) et est **divisée par deux** lors de la **mitose**.

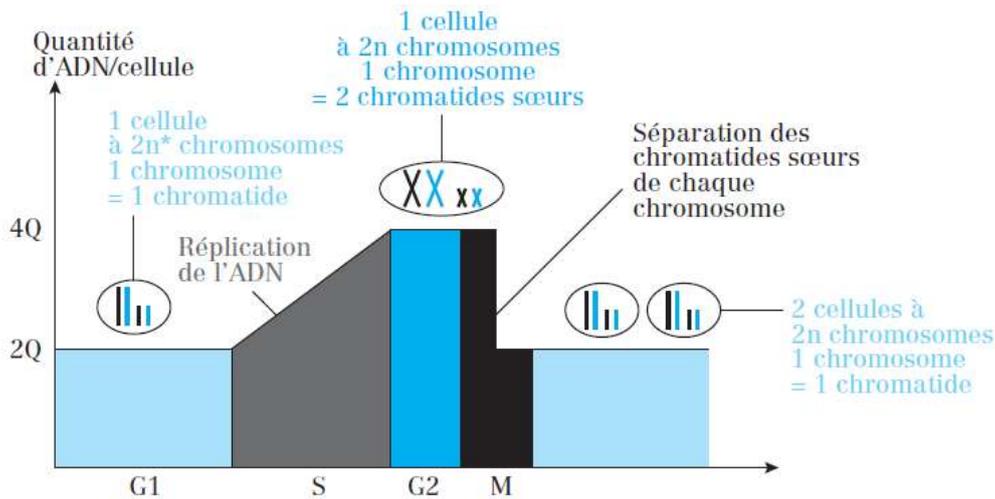


Figure 4.10. Variation de la quantité d'ADN au cours du cycle cellulaire.

***Dans cet exemple :**

- ◆ $n = 2$ paires.
- ◆ Le chromosome noir est d'origine paternelle.
- ◆ Le chromosome bleu est d'origine maternelle.

4.1.6. La durée du cycle cellulaire

C'est la période comprise entre deux divisions cellulaires. Elle comprend les phases **G1**, **S**, **G2** et **M**. La durée du cycle cellulaire dépend de la **nature** de la cellule et aussi de son **âge** :

- ◆ **Cellules épithéliales** : renouvellement de la peau, 10h pour le cycle ;
- ◆ **Cellules hépatiques** : 1 an pour se répliquer ;
- ◆ **Les neurones** : cellules extrêmement différenciées donc pas de renouvellement (max de neurones à 15-18 ans).
- ◆ Les cellules les plus rapides sont **cellules de l'embryon**, 1h (car ici que de la mitose).

Durée relative moyenne : 90% pour l'interphase et 10% pour la mitose et la cytokinèse.

Durée absolue moyenne : Cellule animale : 18 à 24h / Cellule végétale : 10 à 30h.

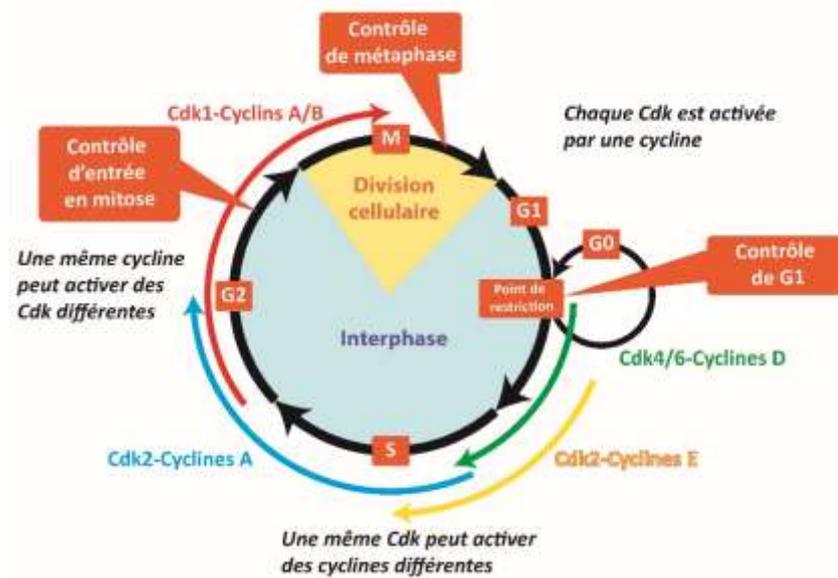
4.1.7. Contrôle du cycle cellulaire

Le bon déroulement du cycle cellulaire dépend des 3 points de contrôle. Aux points de contrôle (G1, G2 et M), le génome est vérifié et réparé au besoin avant l'étape suivante. Si le dommage est trop grand, la cellule se suicide (**apoptose**). Le franchissement des **3 points de contrôle** est sous la dépendance de trois familles de protéines :

1. Les **cyclines**.
2. Les **Cdk** (kinases cycline dépendante).
3. Les **protéines inhibitrices**.

Tableau 4.1. Les trois points de contrôle du cycle cellulaire.

G1	G2	M
Point de départ G1 : Contrôle de la présence de conditions favorables à la croissance.	Point G2 (entrée en mitose) : Contrôle de la qualité de l'ADN obtenu par réplication qui a eu lieu en phase S.	Point M : Contrôle de la séparation correcte des chromatides des chromosomes.

**Figure 4.11.** Les trois points de contrôle du cycle cellulaire.

4.1.8. Les erreurs mitotiques

Lors de la réplication et de la mitose, il y a une reproduction conforme de la cellule. Mais au sein de la molécule d'ADN des erreurs peuvent survenir donnant lieu à des **mutations génétiques** qui affectent l'individu et aussi l'espèce. Les **tumeurs** se composent de cellules qui n'obéissent pas aux mécanismes de régulation (tumeur maligne et tumeur bénigne).

**Figure 4.11.** Exemple de tumeur.

4.2. La méiose

La **méiose** est une division des **cellules reproductrices** (ovocytes et spermatocytes) qui produit **4 cellules filles haploïdes** (n chromosomes) génétiquement réduites de moitié → **4 gamètes** (ovules et spermatozoïdes), *reproduction sexuée*.

La fécondation est l'union de deux gamètes haploïdes issus d'une **méiose**. Elle aboutit à la formation d'un zygote qui se divisera par **mitoses successives** pour aboutir à la formation d'un organisme pluricellulaire diploïde ($2n = 46$ chromosomes).

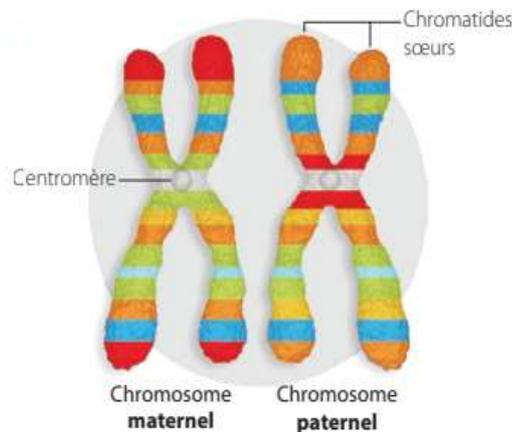


Figure 4.12. Une paire de chromosomes homologues.

4.2.1. Les étapes de la méiose

La méiose et la mitose se ressemblent beaucoup. La principale différence est que, dans la méiose, la cellule subit deux divisions subséquentes :

1. La **méiose I**, ou **division réductionnelle** : sépare les paires de chromosomes homologues, ce qui réduit de moitié le nombre de chromosomes ;
2. La **méiose II**, ou **division équationnelle** : consiste à scinder les chromosomes en deux à partir de leur point d'attache. Il en résulte donc quatre cellules filles haploïdes.

Interphase : La méiose est précédée par une phase de **réplication** :

- ◆ En phase **G1** : il y a $2n$ chromosomes (1 chromosome est formé d'une seule chromatide) ;
- ◆ En phase **S** : les chromosomes et le centrosome se dupliquent ;
- ◆ En phase **G2** : il y a $2n$ chromosomes (1 chromosome est formé de 2 chromatides).

À cette étape, la chromatine se réarrange, et chaque chromosome se **réplique**. Le résultat est deux chromatides sœurs identiques génétiquement, et ce, pour chaque chromosome. Il y aura aussi un **dédoublage** de la **paire de centrioles** pour former deux paires.

4.2.1.1. Méiose I (*division réductionnelle*)

a. Prophase I

- ◆ Disparition de l'**enveloppe nucléaire** et du **nucléole** ;
- ◆ Les paires de chromosomes se séparent pour former des **tétrades (4 chromatides)** qui vont s'associer par paire de **chromosomes homologues (synapsis)** ;
- ◆ Les chromatides homologues se croisent (**chiasmata**) puis échangent des gènes (**enjambements**) ;
- ◆ Les centrosomes se séparent en générant des **fuseaux de fibres**.

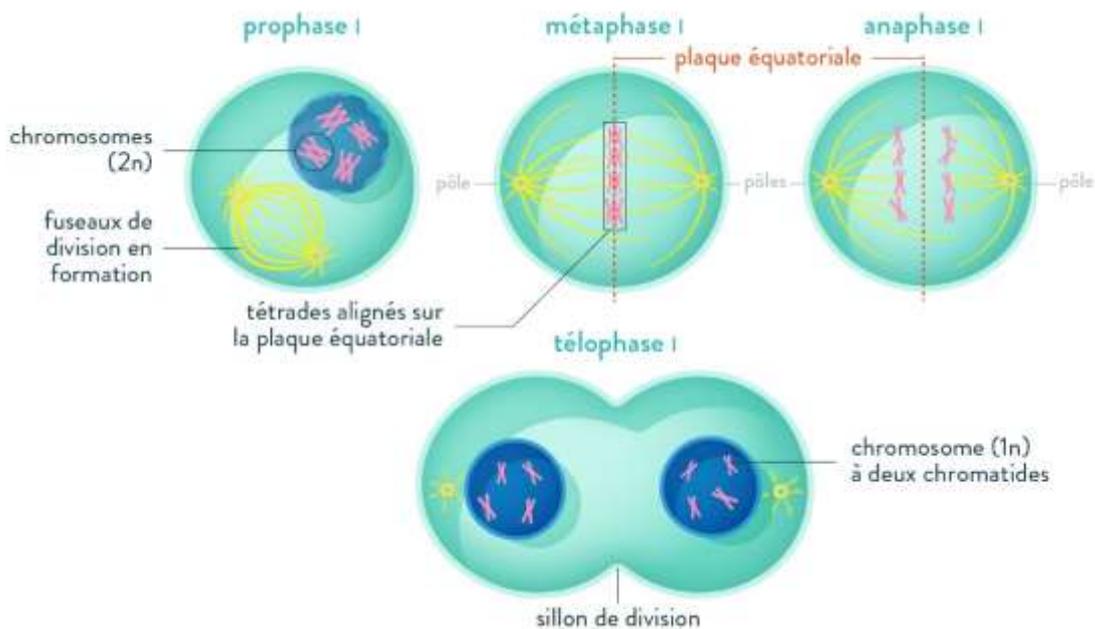


Figure 4.13. Les étapes de la méiose I.

b. Métaphase I

- ◆ La **condensation** des **chromosomes** est **maximale** ;
- ◆ Les paires de chromosomes homologues **s'alignent** sur la **plaque équatoriale**.

c. Anaphase I

- ◆ Les paires de chromosomes homologues se **séparent** et chaque homologue se déplace vers un pôle différent ;
- ◆ À la fin de l'anaphase, chaque extrémité possède un nombre **haploïde** de chromosomes à l'état répliqué.

d. Télophase I et cytokinèse

- ◆ Les chromosomes atteignent les pôles pour former **deux lots haploïdes (n)** de chromosomes ;
- ◆ La **cytokinèse** est la division des cytoplasmes des deux cellules filles ;
- ◆ Elle s'effectue grâce à l'**anneau contractile**, comme dans le cas de la mitose : un **sillon de division** (cellules animales) et une **plaque cellulaire** (cellules végétales).

4.2.2.2. Méiose II (division équationnelle)

a. Prophase II : Les chromosomes débutent leur **migration** vers l'équateur, et ce, suite à la formation des nouveaux faisceaux de microtubules.

b. Métaphase II : Les chromosomes s'alignent sur la **plaque équatoriale**.

c. Anaphase II

- ◆ Les **chromatides sœurs** de chaque chromosome se **séparent** et se dirigent vers les pôles opposés ;
- ◆ En fin d'anaphase II, un chromosome est donc composé d'une **seule chromatide (n)**.

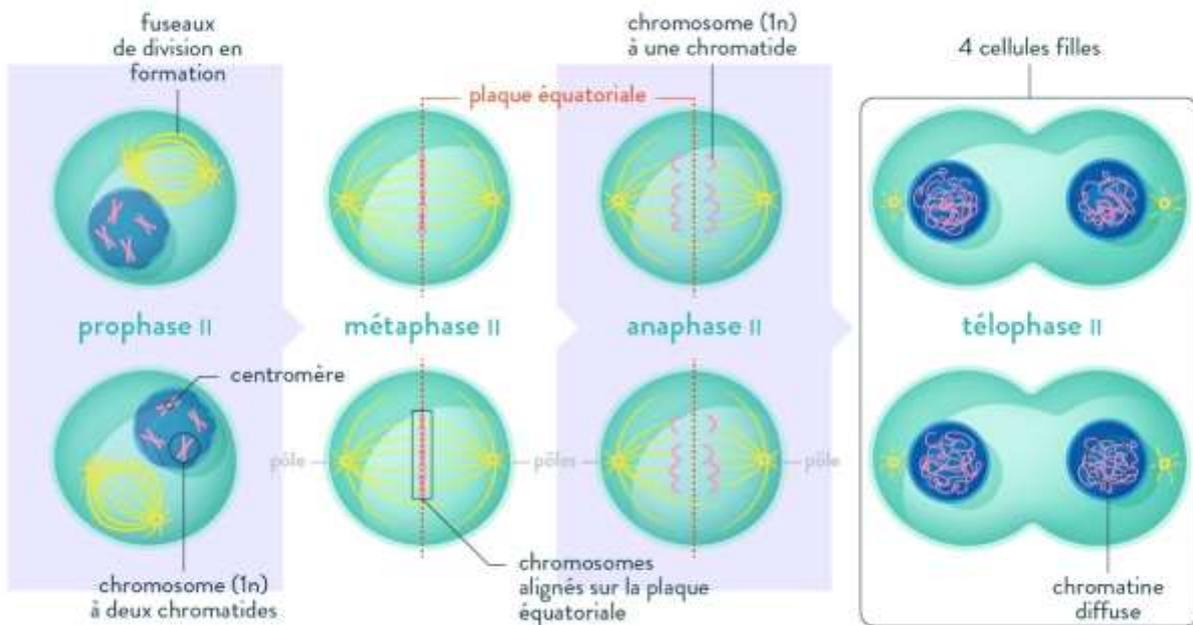


Figure 4.14. Les étapes de la méiose II.

d. Télophase II et cytokinèse

- ◆ Les chromosomes atteignent les pôles pour former deux lots **haploïdes** de chromosomes autour desquels **l'enveloppe nucléaire se reforme**.
- ◆ Les chromosomes commencent à se décondenser.
- ◆ La **cytokinèse** permet l'obtention de **quatre cellules filles haploïdes**.

Bilan de la méiose : une cellule diploïde (2n) a permis l'obtention de 4 cellules filles haploïdes (n).

4.2.3. Variation de la quantité d'ADN au cours de la méiose

Lors de la reproduction sexuée, la **quantité d'ADN** change. Elle double lors de la réplication. Elle est divisée par deux lors de la première méiose et de nouveau par deux lors de la deuxième méiose.

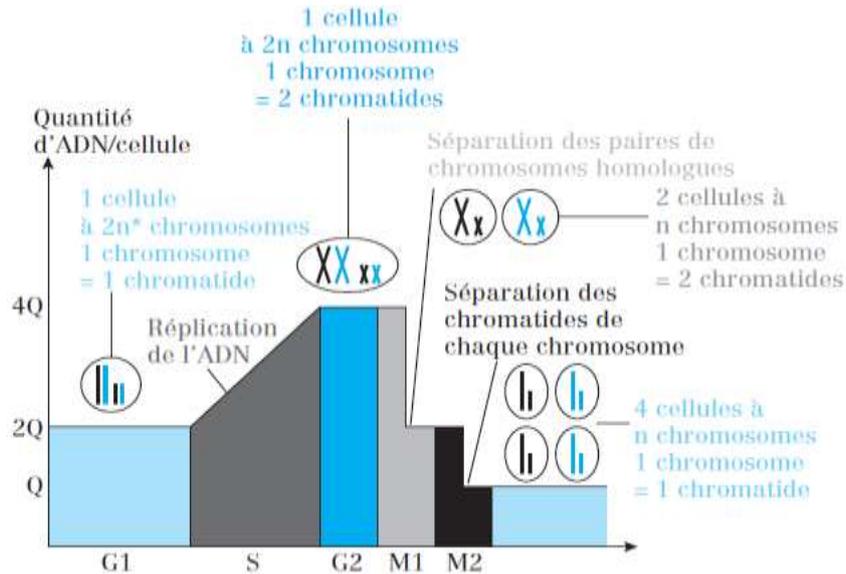


Figure 4.15. Variation de la quantité d'ADN au cours de la méiose.

*Dans cet exemple :

- ◆ $n = 2$ paires : la cellule mère contient 2 paires de chromosomes (1 paire de grands chromosomes et 1 paire de petits chromosomes).
- ◆ Le chromosome noir est d'origine paternelle.
- ◆ Le chromosome bleu est d'origine maternelle.