

## **Chapitre 05**

### **Maintien de l'identité cellulaire : le cycle cellulaire**

# Introduction

La cellule est l'unité élémentaire du vivant. La **reproduction** de la cellule **à l'identique** est donc une nécessité. En effet, seule sa descendance, si elle est identique à elle-même, peut maintenir son identité au cours de l'histoire une fois que la cellule meurt. D'autre part, la multiplication cellulaire est la seule possibilité pour qu'un être pluricellulaire se développe à partir d'une seule cellule, ce qui est le cas lors du développement de l'œuf après la fécondation.

On appelle **cycle cellulaire**, l'ensemble des étapes qui conduisent à l'obtention de deux cellules filles à partir d'une cellule mère.

La production d'une nouvelle cellule implique ainsi plusieurs contraintes :

- la **protection** de l'information génétique
  - une **copie** de cette information pour donner deux cellules fonctionnelles à partir d'une seule cellule
  - une séparation équitable de cette information entre les deux nouvelles cellules
- 
- **Comment se réalise la protection du matériel génétique lors de la division cellulaire ?**
  - **Comment les deux cellules filles sont-elles amenées à posséder le même matériel génétique que la cellule mère ?**

# **I - Protection du matériel génétique lors de la division cellulaire**

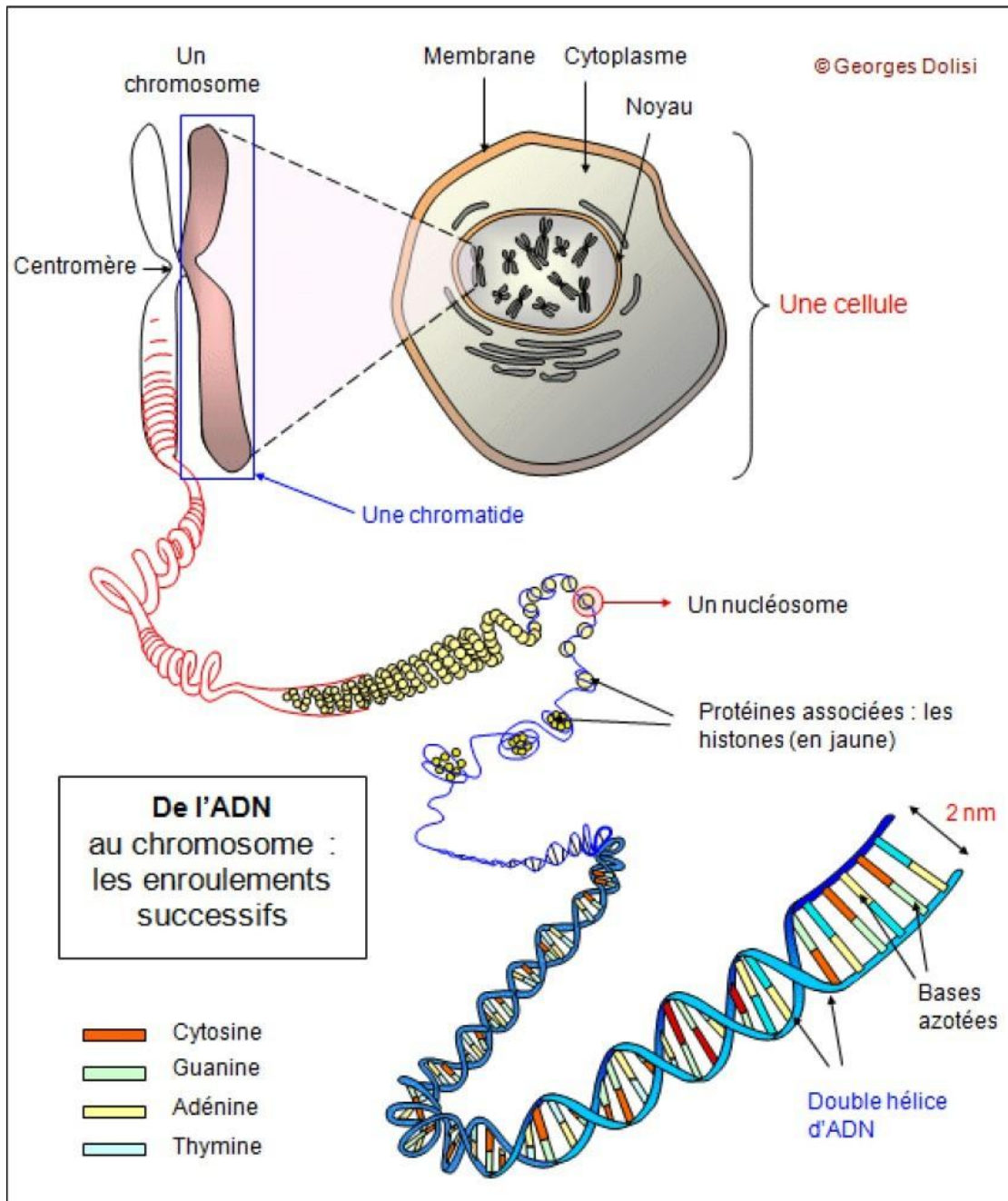
L'ADN est le siège de l'information génétique. Cette molécule, en raison de sa stabilité chimique, peut atteindre des longueurs considérables, ce qui présente l'avantage de **concentrer** l'information en un seul endroit qui est le noyau. Une conséquence de sa longueur est cependant sa fragilité mécanique, contrainte qui pose le problème lorsque l'ADN doit être déplacé, par exemple lors de la division cellulaire.

- **Comment se réalise la protection du matériel génétique lors de la division cellulaire ?**

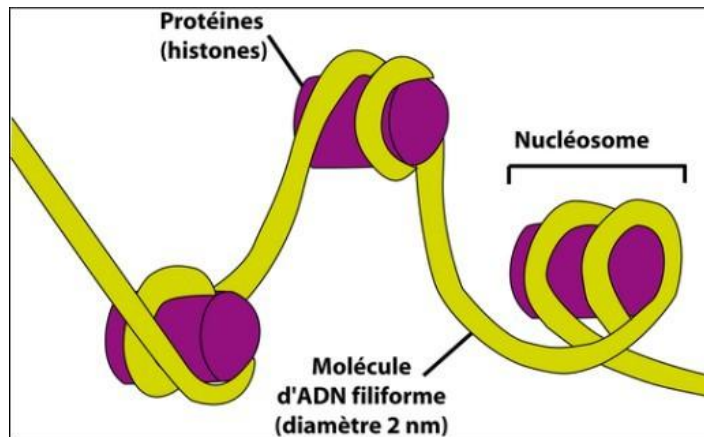
## **A. Compaction de l'ADN sous forme de chromosomes**

Le matériel génétique des cellules est représenté sous forme d'ADN. Les **chromosomes** sont des structures (en forme de croix) qui permettent de ranger l'ADN à l'intérieur du noyau sous la forme d'un complexe appelé **chromatine**. Cette chromatine est constituée d'ADN associé et enroulé à des protéines, les **histones**, pour former des **nucléosomes**. Cette association permet la réalisation de différents niveaux de condensation de l'ADN. Ces fibres de chromatine s'organisent à leur tour en réseau de boucles interconnectées (sous forme pelotonnée) constituant l'architecture des chromosomes. La chromatine est ainsi organisée de manière hiérarchique dans les chromosomes.

I - Protection du matériel génétique lors de la division cellulaire



*De l'ADN au chromosome*



*Formation des nucléosomes*

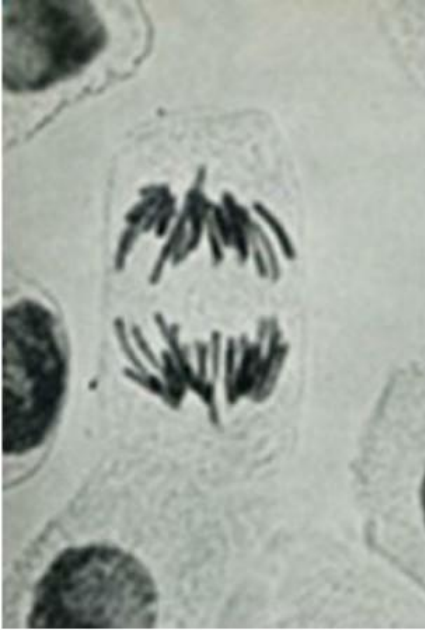
## **A. B. Ultrastructure et visibilité des chromosomes**

Dans une cellule qui n'est pas en train de se diviser, l'**ADN** remplit le noyau, **sous une forme décondensée**. Les molécules d'ADN sont déroulées, ce qui permet à la cellule de lire l'information qu'elle contient et de l'appliquer.

Dans la cellule en division, l'ADN est visible (au microscope) sous une forme de **chromosomes**. Sous cette forme, il n'est plus possible de lire l'information que la cellule contient. En revanche, l'ADN est concentré, enroulé et donc protégé, pouvant être transporté sans être abîmé.

Les chromosomes, visibles au microscope électronique, sont constitués de deux « bâtonnets » identiques et parallèles, ce sont les **chromatides**. Celles-ci sont étroitement réunies au niveau du **centromère** qui sépare chaque chromatide en deux bras de longueur égale ou inégale selon le chromosome considéré.

## I - Protection du matériel génétique lors de la division cellulaire



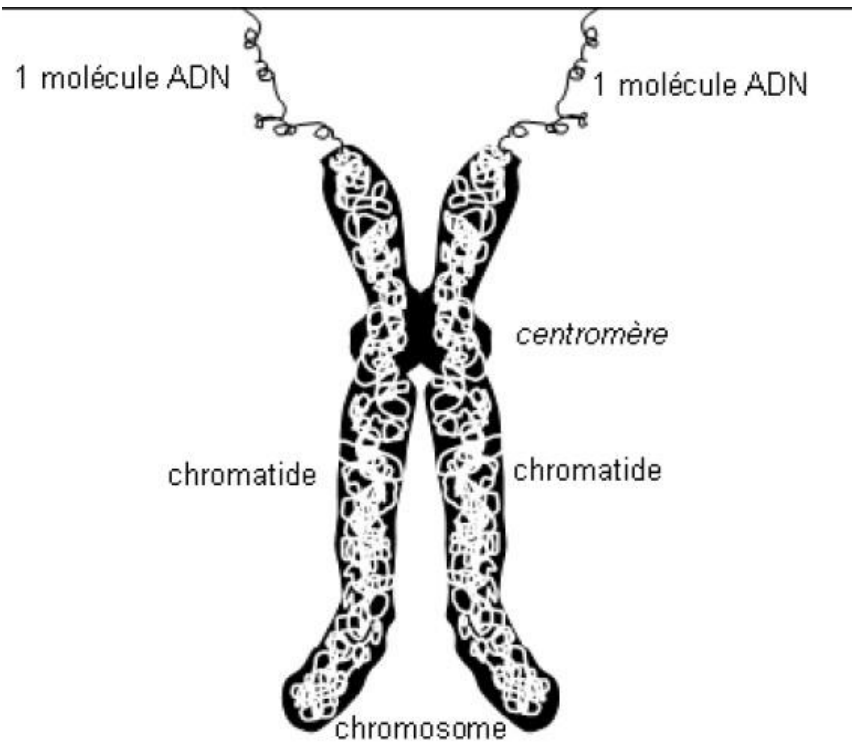
Observation microscopique de cellules d'oignon dont une est en cours de division



Observation microscopique des chromosomes d'une cellule myeloïde d'Homme en cours de division

### *The Handling of Chromosomes*

Chaque chromatide d'un chromosome contient ainsi **une seule molécule d'ADN très pelotonnée**. Chaque chromosome est original mais ils se ressemblent deux à deux, ces chromosomes sont dits **homologues**. Le nombre de paire de chromosomes est caractéristique de chaque espèce biologique (ex : homme = 23 ; chien = 39).



*ADN et chromosome*

## Exercice : Exploitation

Question

---

Désigner successivement sur le cliché, l'ADN sous forme diluée et sous forme de chromosome.



## **II - Transmission de l'information génétique au cours d'une division cellulaire**

Dans un organe en plein développement, la multiplication des cellules est indispensable à la croissance des tissus (ex : au niveau des méristèmes des racines des végétaux ; voir chapitre I.4). Ainsi, les cellules issues les unes des autres par divisions successives possèdent toutes la même quantité d'ADN. Ces cellules, qui se divisent dans des conditions optimales (température, nutrition...), effectuent un cycle dont la longueur est constante pour un type de cellule donné.

- **Comment les deux cellules filles sont-elles amenées à posséder le même matériel génétique que la cellule mère ?**

### **A. A. Les étapes du cycle cellulaire**

Un cycle cellulaire, commun à toutes les cellules eucaryotes (animales et végétales), est subdivisé en deux phases successives, distinctes et essentielles:

L'**interphase** contenant trois phases dont une phase durant laquelle l'information génétique est copiée (= doublée) :

- la **phase G1** est la phase de croissance initiale et en général la phase la plus longue du cycle. L'information génétique est exprimée. La cellule peut ainsi réaliser la fonction qui la caractérise (ex : la photosynthèse pour une cellule chlorophyllienne, la contraction pour une cellule musculaire...).
- la **phase S** (= synthèse) est caractérisée par un doublement progressif de la quantité d'ADN dans la cellule. L'ADN subit ainsi son auto- reproduction lors de cette phase. Cette phase est dite de **réplication** ou de **duplication**.
- la **phase G2**, phase assez courte, est la nouvelle phase de croissance cellulaire pendant laquelle la cellule prépare sa division. L'ADN n'est alors que très peu exprimé et la cellule ne réalise pas sa fonction habituelle.

- La **mitose** (du grec mitosis = filament) assurant la transmission et la séparation équitable de l'information génétique entre les deux cellules-filles issues des divisions. C'est un phénomène continu (durant de 30 à 180

II - Transmission de l'information génétique au cours d'une division cellulaire

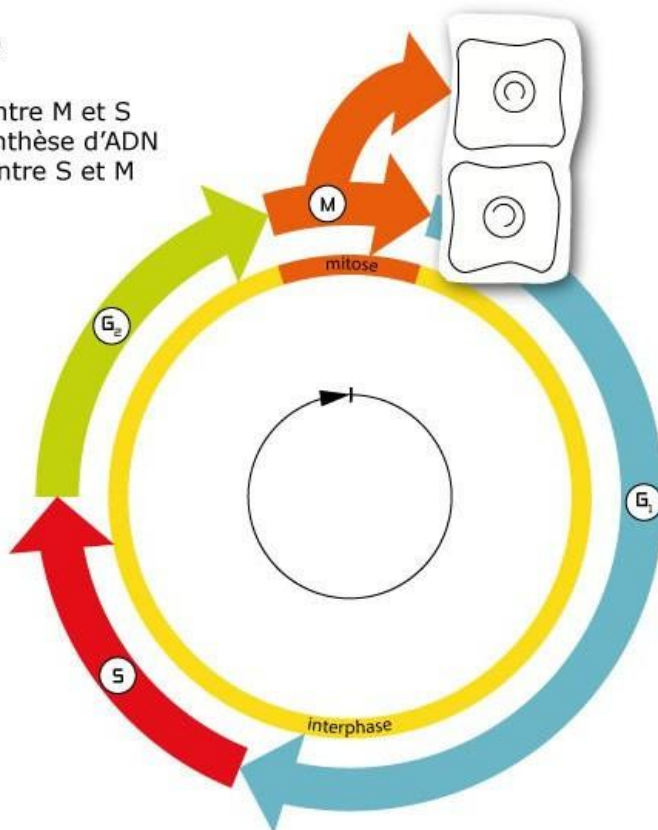
minutes selon les cellules).

**interphase**

$G_1$  : Intervalle entre M et S  
 S : Phase de synthèse d'ADN  
 $G_2$  : Intervalle entre S et M

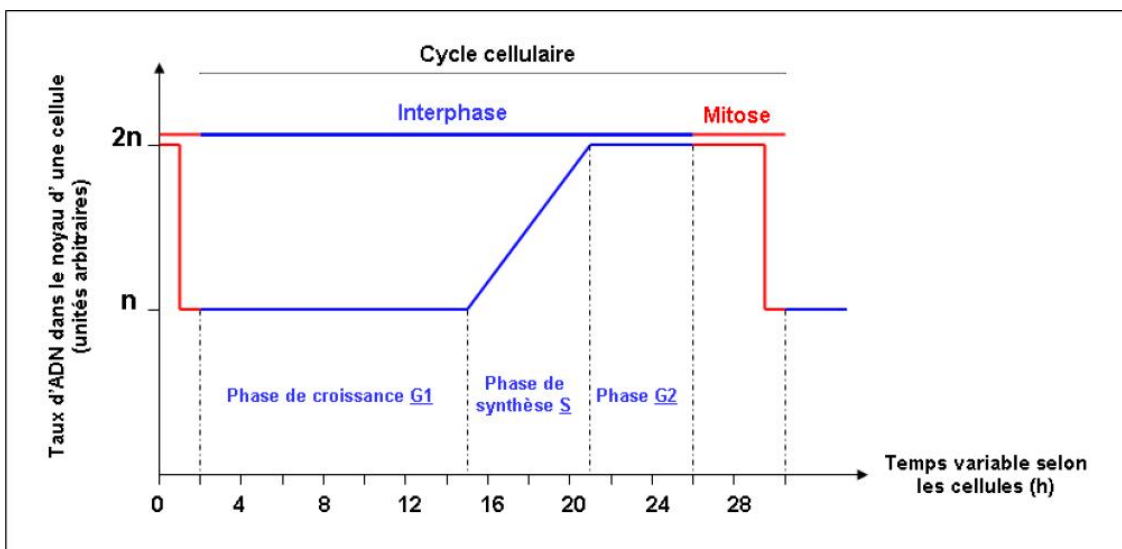
**Mitose**

en moyenne :  
 $G_1$  : 12 h  
 S : 6 à 8 h  
 $G_2$  : 3 à 5 h



Cycle cellulaire

Il s'en découle que la quantité d'ADN au cours du cycle cellulaire doit évoluer pendant les différentes phases de la vie cellulaire. La chute instantanée de la quantité d'ADN correspond à la séparation de l'original et de sa copie.



Évolution de la quantité d'ADN par cellule au cours d'un cycle cellulaire

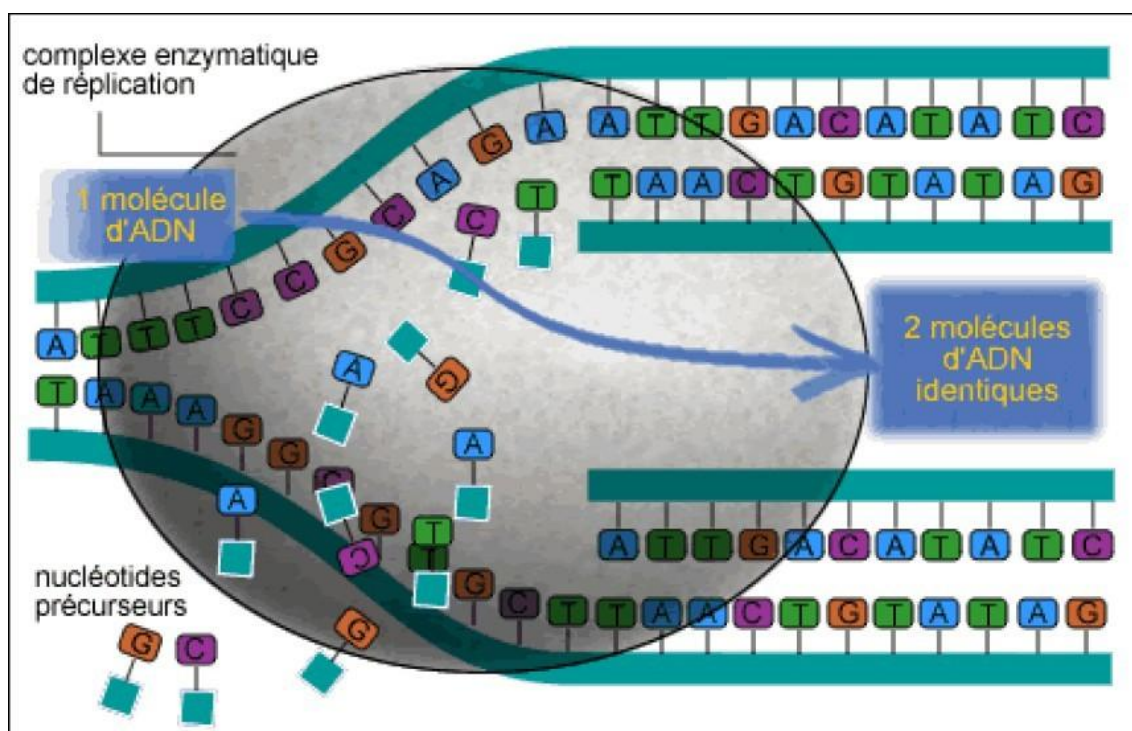
## B. B. Le mécanisme de la réplication de l'ADN



La mitose permet de transmettre la totalité de son information génétique, contenue dans son ADN, à chacune des deux cellules-filles. Par conséquent, avant de se diviser, une cellule doit doubler son ADN afin de posséder deux exemplaires identiques de son information génétique. Ce doublement précédant la division cellulaire s'effectue lors de la phase S de l'interphase selon un modèle dit « **semi-conservatif** » qui a été démontré par Meselson et Stahl (en 1958).

Le **mécanisme de la réplication** débute à plusieurs endroits par l'écartement de la chaîne d'ADN (par rupture des liaisons faibles reliant les bases), formant des « **yeux de réplication** » au sein desquels de nouveaux nucléotides libres présents dans le noyau (A, T, C ou G) se disposent de manière complémentaire sur les brins écartés. L'écartement des deux brins d'ADN et l'accrochage des nucléotides est sous la dépendance d'un complexe enzymatique comprenant essentiellement une **ADN polymérase**. Lorsque la totalité de la molécule a été copiée, les deux molécules issues de cette réplication possèdent chacune un brin provenant de la molécule mère et un brin néoformé avec des nucléotides nouveaux, d'où réplication de l'ADN sous un mode **semi-conservatif**.

Chaque molécule fille d'ADN est donc une réplique parfaite de la molécule mère.



*Mécanisme de la réplication d'une molécule d'ADN s'effectuant selon un mode semi-conservatif*

## C. C. La mitose, division cellulaire conservant l'information génétique

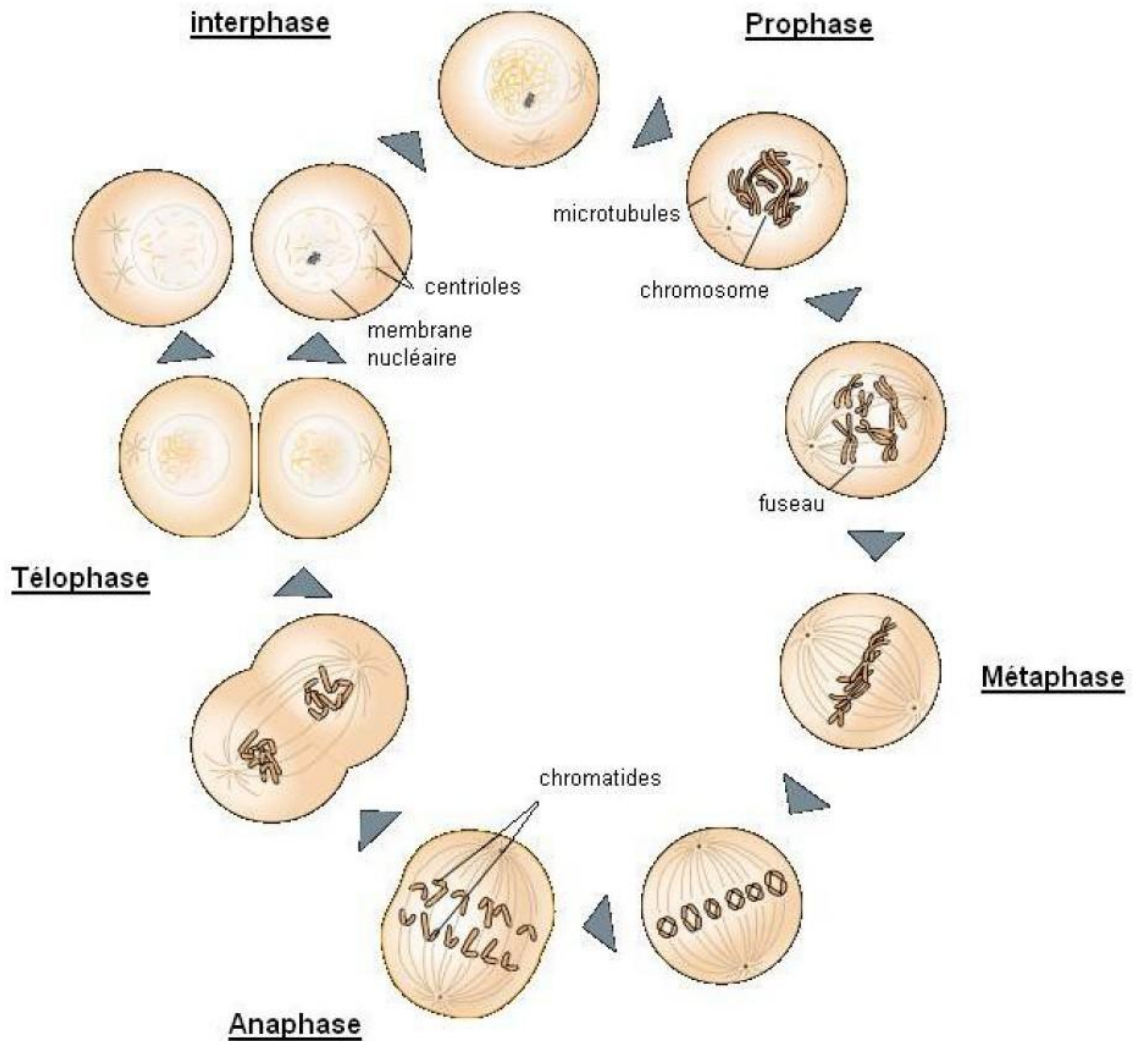


La division de la cellule mère en deux cellules filles et la séparation de tous ses constituants en quantités égales se fait en plusieurs phases successives dont

l'ensemble s'appelle la **mitose**, reproduction conforme des cellules eucaryotes. Au cours de cette étape, l'organisation de la cellule se modifie notamment au niveau du noyau et du cytosquelette (= squelette cytoplasmique).

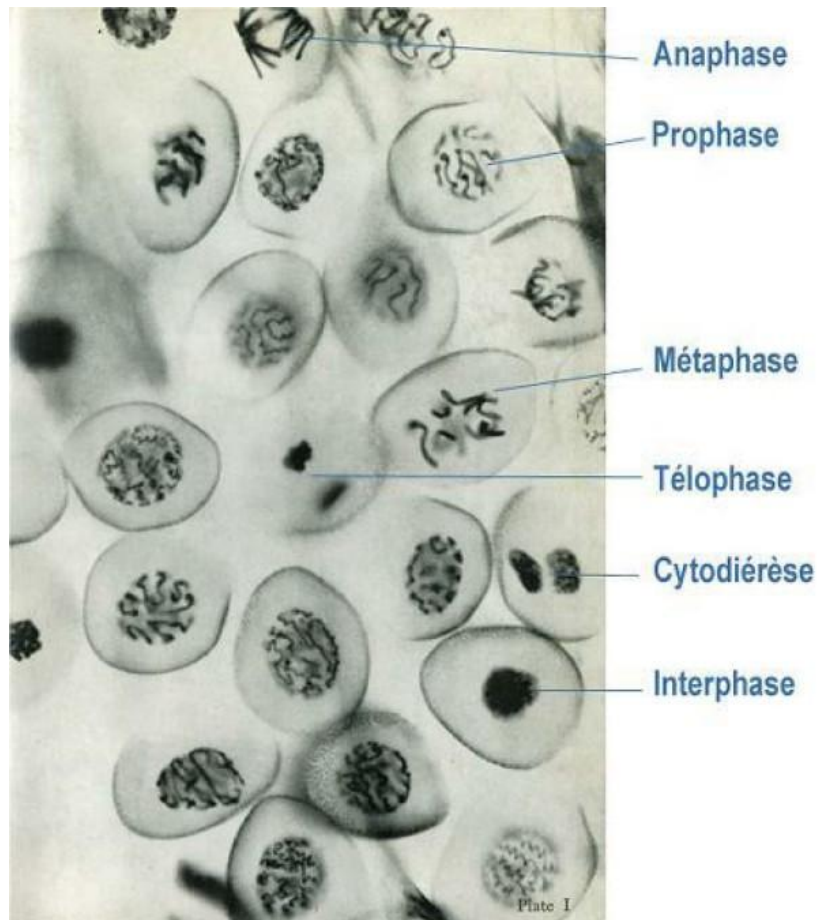
Chaque phase est essentiellement caractérisée par l'état des chromosomes et leur localisation dans la cellule. Dans un ordre chronologique, les étapes de la mitose sont :

- La **prophase** : (*du grec pro = avant*) compaction de l'ADN en chromosomes visibles (formés de deux chromatides unies au niveau du centromère), disparition de l'enveloppe nucléaire, apparition d'un fuseau de microtubules (= fibres) constituant le fuseau de division (à partir des deux pôles de la cellule).
- La **métaphase** : (*du grec méta = transformation*) regroupement de tous les chromosomes (étant dans un état de condensation maximale) sur un axe au centre de la cellule (**plaque équatoriale**). Les chromosomes peuvent alors s'attacher par leurs centromères aux **microtubules du fuseau**.
- L'**anaphase** : (*du grec ana = en haut*) séparation brusque et synchrone des deux chromatides au niveau du centromère et migration en sens opposé de chacune des chromatides aux pôles de la cellule (déplacement facilité par le raccourcissement des microtubules du fuseau).
- La **télophase** : (*du grec telos = fin*) regroupement des chromosomes à chaque pôle, début de décondensation des chromosomes pour revenir à l'état de chromatine diffuse, re-formation de l'enveloppe nucléaire et disparition du fuseau de division.



*Les différentes étapes de la mitose pendant le cycle cellulaire*

La division du noyau est alors terminée. Quelque soit la durée de la mitose, l'obtention de deux cellules filles, génétiquement semblables entre elles et semblables à la cellule mère, nécessite une division du cytoplasme (par simple étranglement pour des cellules animales) par formation d'une nouvelle membrane : c'est la **cytodiérèse**. Les deux cellules filles nouvellement obtenues entrent alors en interphase. Ainsi, le cycle de vie d'une cellule est donc une succession d'interphase et de mitose.



*Observation microscopique de cellules végétales à différents stades du cycle cellulaire*

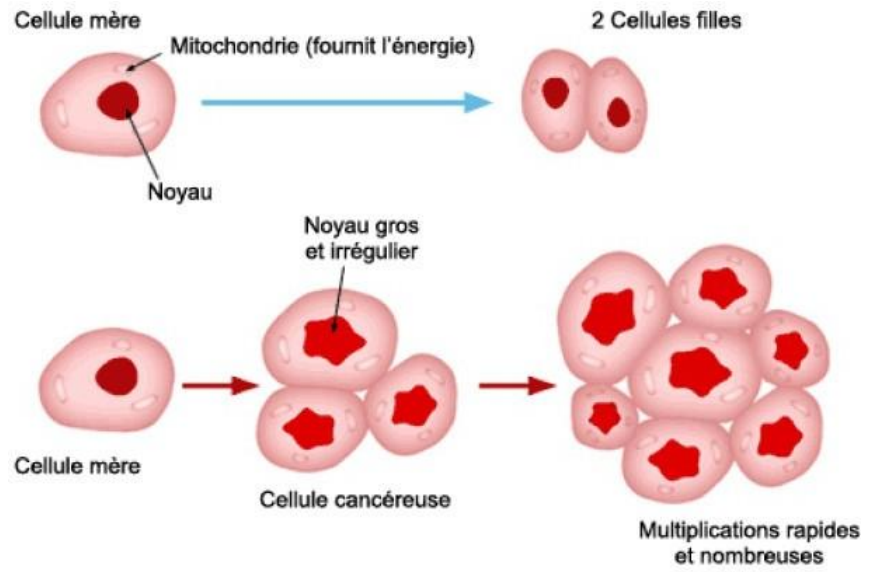
## D. D. Contrôle du cycle cellulaire



Afin d'assurer le bon développement et le bon fonctionnement de l'organisme, les cycles cellulaires sont contrôlés. Des **signaux** déterminent les moments où une cellule va entrer en division et le passage d'une étape à une autre.

Si une cellule échappe à ce contrôle, elle peut-être à l'origine du développement incontrôlé d'un lot de cellules ; c'est le processus de **cancérisation**.

II - Transmission de l'information génétique au cours d'une division cellulaire



*Cancérisation des cellules*



# Exercice : Exploitation



IV

## Question

---

**Au cours du cycle cellulaire, les variations de la quantité d'ADN empêchent certaines phases d'être raccourcies. Nommez lesquelles et donnez en la raison pour chacune.**





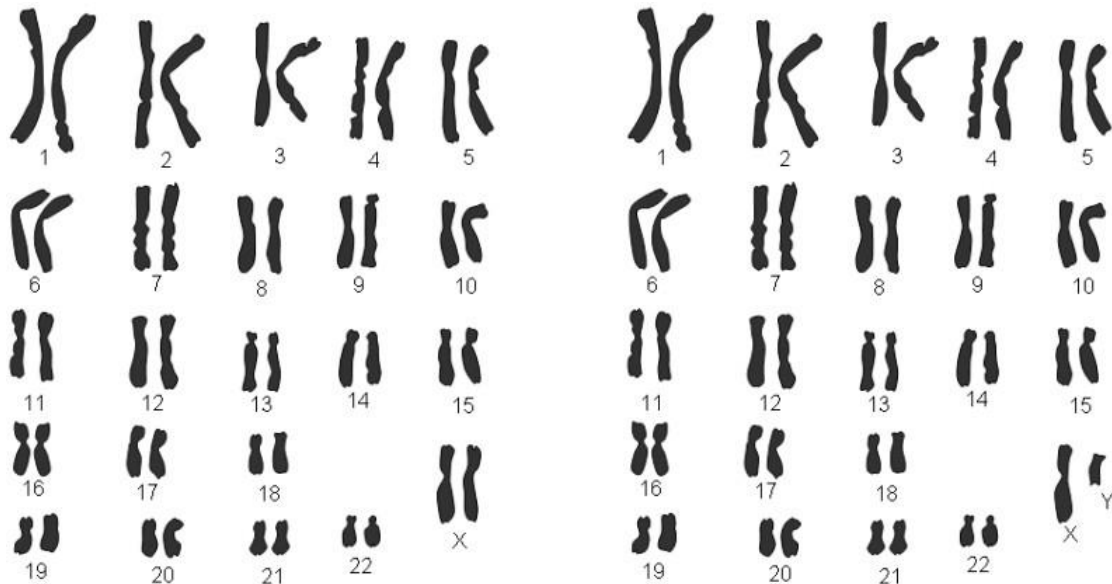
La réalisation d'un **caryotype** consiste à analyser et à classer l'ensemble des chromosomes d'une cellule. Ce caryotype s'obtient en bloquant la division cellulaire à un stade où les chromosomes sont particulièrement visibles (principalement en métaphase). Les chromosomes peuvent être ainsi se regrouper par paires de chromosomes de même type. Les chromosomes, qui sont **homologues deux à deux**, sont définis en fonction des critères suivants :

- taille des chromosomes
- position du centromère
- disposition de bandes de colorations

Ainsi, au sein de chaque espèce, il existe un nombre déterminé de chromosomes homologues, ce nombre est noté  $n$ .

Dans l'espèce humaine, chaque cellule (exception faite des cellules reproductrices) compte **23 paires** de chromosomes dont 22 paires d'**autosomes** (chromosomes non sexuels) et une paire de **gonosomes** (chromosomes sexuels).

Le sexe d'un individu est déterminé par le **système XY** : les femmes possèdent deux chromosomes X (XX) tandis que les hommes possèdent un chromosome X et un chromosome Y (XY).



*Caryotypes d'un individu de l'espèce humaine de sexe féminin (à gauche) et de sexe masculin (à droite)*

# Schéma bilan de la division cellulaire

VI

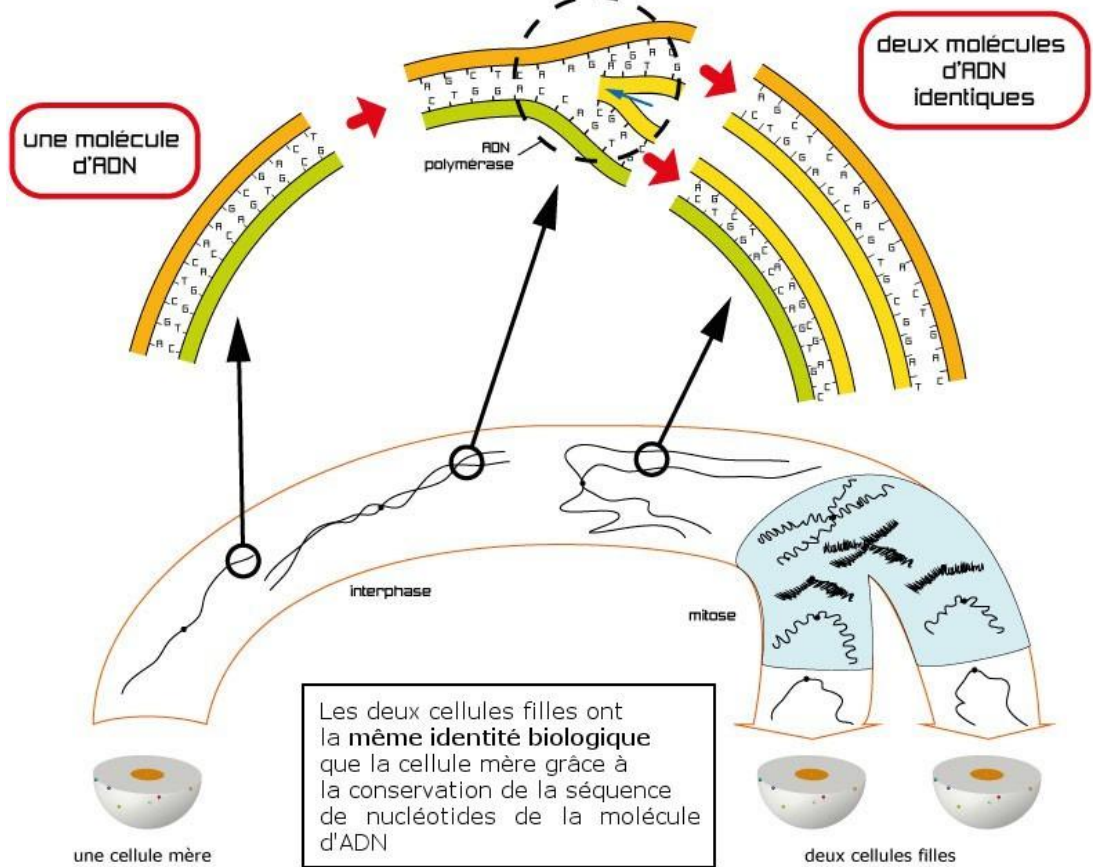


Schéma bilan de la division cellulaire