

## Le cycle cellulaire

### Introduction :

Les deux grands types d'organismes cellulaires, procaryotes et eucaryotes

- 1- **procaryotes:** organismes monocellulaire, ont leurs ADN dans le cytoplasme, dans ce cas on arrive à deux individus identiques on a n division qui donnent  $2^n$  individus.
- 2- **eucaryotes:** "noyau vrai "ou organisme pluricellulaire possèdent un noyau séparé du reste du contenu cellulaire qui contient l'ADN, au sein de cet individus les divisions cellulaires vont être réglées avec pour but.

La division cellulaire consiste en la formation de deux cellules ou plus à partir d'une seule, ce qui assure leur accroissement numérique. Lors de la mitose d'une cellule, chaque cellule fille est identique à la cellule mère. Lors de la méiose, la cellule mère donne deux cellules filles haploïdes à n chromosomes puis chacune de ces cellules filles donnent deux cellules à n chromatides

La division cellulaire donne le double de cellules qu'à l'origine. La division cellulaire est un processus très important pour la vie, car elle permet à une cellule mère de se diviser en deux ou plusieurs cellules filles

La division cellulaire est une partie très importante du cycle cellulaire dans laquelle une cellule initiale se divise pour former des cellules filles. Pour cette raison, la division cellulaire se produit lors de la croissance des êtres vivants, par exemple lors de l'embryogenèse. Dans les organismes multicellulaires, cette croissance se produit grâce au développement des tissus et des êtres unicellulaires par la reproduction asexuée.

### I. Définition :

Le cycle cellulaire est l'ensemble des modifications qu'une cellule subit depuis sa formation après la division d'une cellule mère jusqu'au moment où elle a fini de se diviser en deux cellules filles, ayant les mêmes caractères morphologiques et physiologiques de la cellule mère.

#### types des cellules (cellules animales) :

- **cellule somatique ou "soma"** sont toutes les cellules formant le corps d'un organisme multicellulaire .
- **gamète** :toutes le cellules de la lignée germinale qui sont à l'origine de la formation des cellules reproductrice (spermatozoïde, ovocyte)
- Toutes les cellules se divisent, à l'exception des hématies, des neurones et des cellules musculaires squelettiques.
- Il faut bien différencier:
- -la prolifération cellulaire qui est l'augmentation du nombre de cellules

- la croissance cellulaire qui est l'augmentation de la masse cellulaire individuelle

### **Caractéristiques de la division cellulaire:**

- obtenir une cellule fille identique, c'est-à-dire un ADN parfaitement répliqué et des chromosomes parfaitement partagés entre les deux cellules;
- la masse cellulaire et des organites doit être doublée;
- tout le processus doit être régulé et surveillé pour éviter toute erreur

### **.La durée du cycle cellulaire**

La période qui sépare deux divisions varie de manière importante selon les organismes, la nature des tissus, l'âge des cellules. Les observations faites sur des cellules vivantes montrent que, dans les cas les plus favorables, ces divisions se produisent au rythme de une toutes les 16 à 24 heures et que la durée de la mitose proprement dite se situe entre une et deux heures. Les caractères biochimiques et la durée des différentes phases peuvent être identifiés par plusieurs méthodes. La microcytophotométrie est l'une d'entre elles.

## **II. Les phases du cycle cellulaire :**

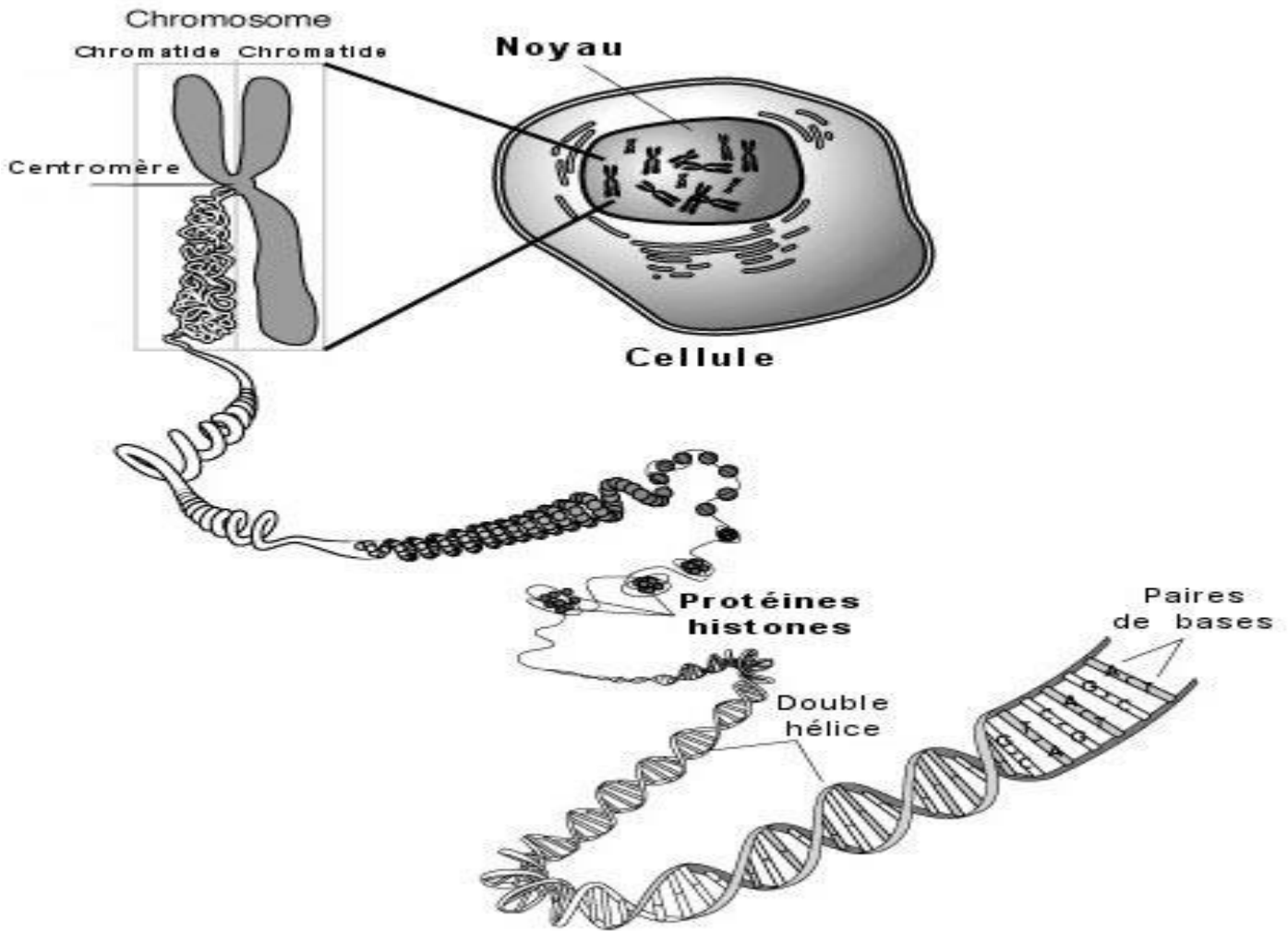
### **Rappel: Structure de l'AND**

L'ADN est une macromolécule très longue, constituée d'un grand nombre de désoxyribonucléotides.

Les bases puriques et pyrimidiques recèlent l'information génétique tandis que les groupes phosphates jouent un rôle structural. L'ADN est un polymère linéaire composé de monomères appelés nucléotides.

Un nucléotide est constitué d'une base purique (Adénine (A) , Guanine (G)) ou pyrimidique (Thymine (T),Cytosine (C), et d'un pentose (désoxyribose) estérifié par un phosphate.

Le squelette de l'ADN, tout au long de la molécule, est constitué de désoxyriboses unis par des ponts phosphodiester. L'hydroxyle en 3' de la partie osidique d'un désoxyribonucléotide est lié par une liaison phosphodiester à l'hydroxyle en 5' de l'ose adjacent.



### Mécanisme de la réplication

La réplication se fait dans le sens 5' => 3', de façon complémentaire, selon les règles d'appariement : A-T / G-C, selon un mode antiparallèle.

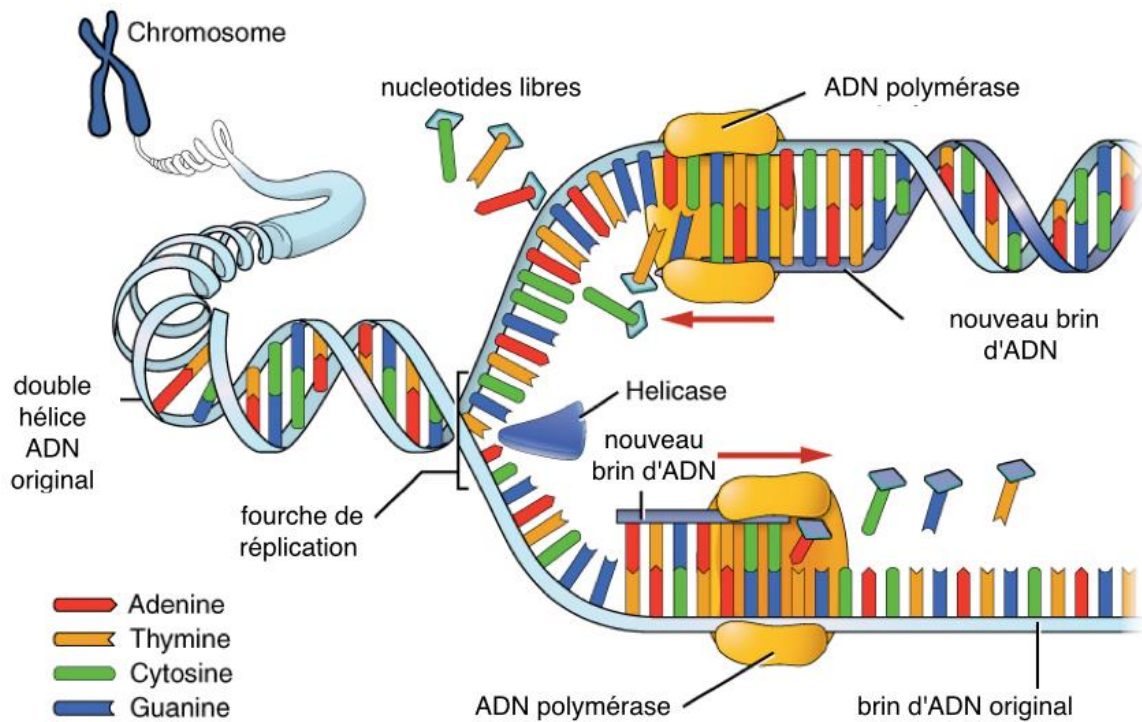
Ce processus fait intervenir une enzyme de polymérisation nucléotidique qui est la polymérase d'ADN (ou ADN polymérase).

La polymérase d'ADN (ou ADN polymérase) a besoin des composés suivant pour synthétiser une chaîne d'ADN :

Les quatre désoxyribonucléosides 5'-triphosphate (dATP, dGTP, dTTP, dCTP) et du Mg<sup>2+</sup>. Les substrats de cette enzyme sont des desoxyribonucléosides triphosphates .

La polymérase d'ADN (ou ADN polymérase) ajoute des désoxyribonucléotides à l'extrémité 3'OH d'une amorce.

Il faut une matrice d'ADN



## Réplication de l'ADN : action de quelques protéines enzymatiques

Le cycle cellulaire comprend deux grandes étapes l'interphase et la mitose :

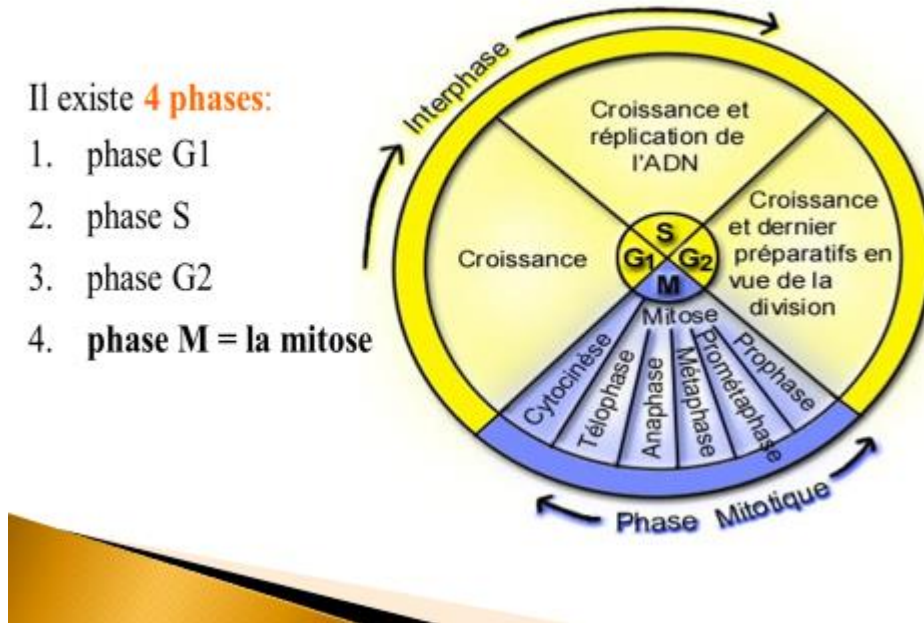
**A. L'interphase :** est la plus longue période du cycle, elle correspond à la période comprise entre la fin d'une division et le début de la suivante.

L'interphase se décompose en trois phases successives : la phase G1, la phase S et la phase G2.  
(G : initiale de Gap, intervalle).

## II. Les phases du cycle cellulaire :

Il existe **4 phases**:

1. phase G1
2. phase S
3. phase G2
4. **phase M = la mitose**



### 1. La phase G1

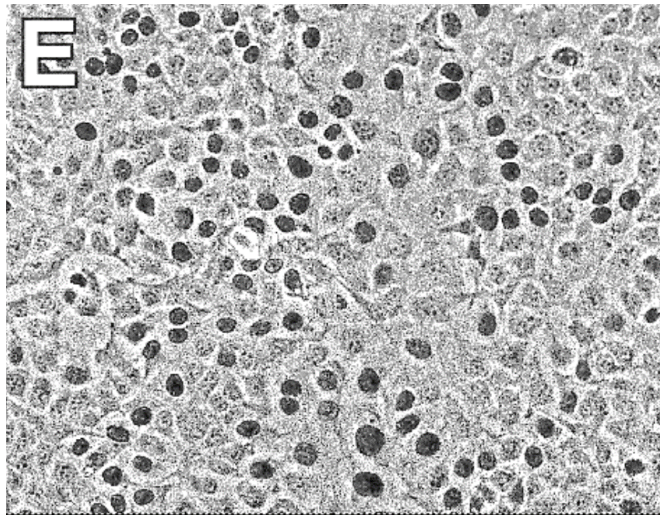
La phase G1, souvent qualifiée de présynthèse en raison de la position qu'elle occupe par rapport à la synthèse de l'ADN, est une période de croissance active. Elle commence à la fin de la mitose et s'achève lorsque débute la réplication. Pendant cette période, des ribosomes, les précurseurs de l'ADN, de nombreuses protéines sont élaborés et la taille de la cellule s'accroît jusqu'à atteindre la taille critique à partir de laquelle l'entrée en phase S devient possible. Au cours de cette phase de couplage entre la différenciation et la prolifération, les signaux cellulaires sont intégrés et la cellule active éventuellement les mécanismes moléculaires d'entrée en S. G1 est absente des premières divisions de l'œuf dont le temps de cycle est de l'ordre de 30 min, et elle apparaît lorsque la prolifération des cellules embryonnaires ralentit et que débute leur différenciation.

La durée de G1 varie de quelques dizaines à plusieurs centaines d'heures, voire plusieurs dizaines années dans les cellules dites postmitotiques comme les neurones qui ne se divisent pas après la naissance. En fait ces cellules sont hors cycle dans un état métabolique particulier appelé G0. Les expériences consistant à ajouter des facteurs de croissances dans des cultures cellulaires, puis à les supprimer à différentes périodes de la phase G1 ont montré que l'entrée en cycle dépendait de facteurs inducteurs externes jusqu'au milieu de G1. Au-delà de cette période appelée point de restriction (point R) l'entrée en S et la progression du cycle surviennent même en l'absence de

facteurs de croissances, indiquant le déclenchement d'un mécanisme irréversible. La transition G1/S est soumise à une stricte régulation par le premier point de contrôle (checkpoint) du cycle.

## 2. La phase S

La phase S correspond à la réplication de l'ADN; elle ne se déclenche que lorsque la cellule a atteint la taille critique et débute dès la mise en activité des premières unités de réplication. Elle se manifeste d'abord par la synthèse des enzymes et des précurseurs impliqués dans la duplication. Elle progresse par mise en activité successive de nouvelles unités de réplication. C'est également la période pendant laquelle les gènes histones sont transcrits et ces protéines élaborées en grandes quantités dans le cytoplasme. Au début de la phase S le chromosome est constitué par un seul nucléofilament, une chromatide ; lorsqu'elle se termine le chromosome est constitué par deux nucléofilaments, deux chromatides réunies au niveau d'une région particulière.

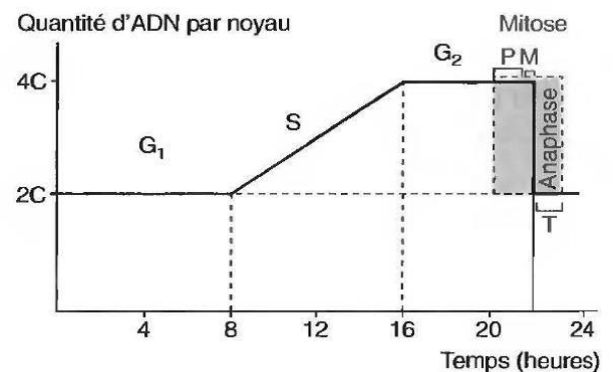
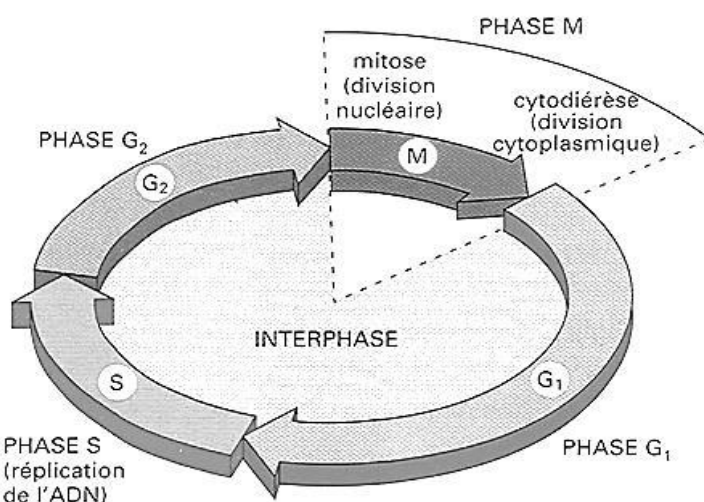


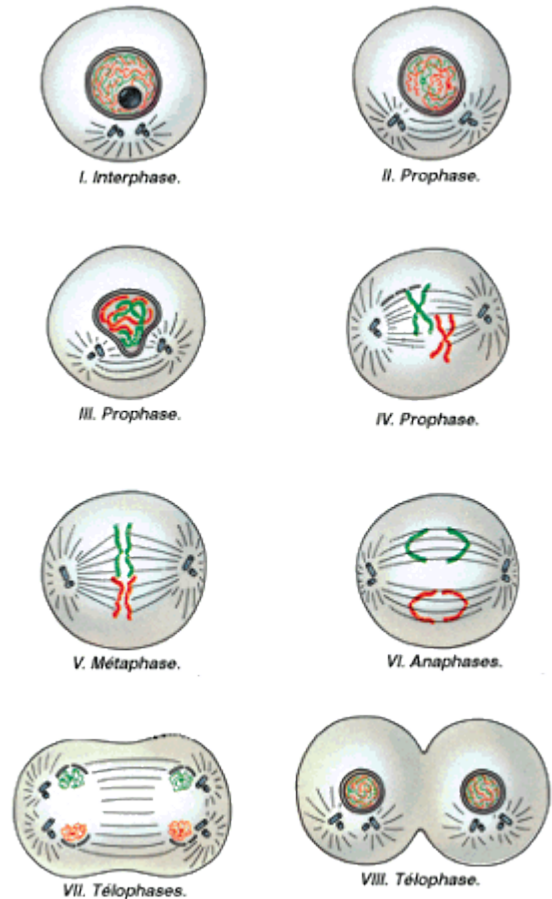
## 3. La phase G2

La phase G2 est une phase de préparation à la mitose, période pendant laquelle sont produits les enzymes et les facteurs de régulation indispensables au déroulement de la division. Sa durée est généralement constante

## 4. La phase M

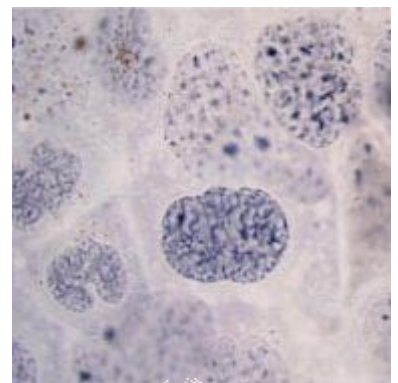
La phase M est la période de division proprement dite, celle où les chromosomes se condensent puis se répartissent entre les cellules filles.





## 1 - La prophase

.C'est une phase d'organisation. La membrane cytoplasmique de la cellule modifie sa perméabilité. Le noyau et le cytoplasme subissent tous deux des changements pendant la prophase. Dans le noyau, les nucléoles se déplacent à la périphérie du noyau et disparaissent. Les fibres de chromatine se condensent en spirale - il existe 3 niveaux de condensation - pour former des chromosomes visibles au microscope photonique. Chaque chromosome dupliqué prend la forme de deux chromatides soeurs identiques réunies par le centromère.



Dans le cytoplasme, le fuseau de division se forme ; il se compose de microtubules et de protéines s'étirant entre les deux centrosomes. Pendant la prophase les deux centrosomes s'éloignent l'un de l'autre et les microtubules forment un fuseau qui entoure le noyau à partir d'une position polaire

L'enveloppe nucléaire se fragmente. Les microtubules du fuseau peuvent alors se fixer aux chromosomes par le centromère.

## **Les chromosomes**

### a. La forme et le nombre des chromosomes

Les chromosomes métaphasiques représentent la forme la plus condensée du nucléofilament. Ils se réorganisent en prophase de chaque division cellulaire en nombre constant pour une espèce donnée.

Un chromosome métaphasique est formé par deux chromatides réunies au niveau d'un centromère encore appelé constriction primaire, car à ce niveau le diamètre est généralement plus réduit ; les bras sont situés de part et d'autre de ce centromère.

Une seconde constriction peut exister, c'est alors la constriction secondaire qui, généralement localisée plus près d'une extrémité, délimite un satellite. C'est au niveau de ces strictions secondaires que se rencontrent les organisateurs nucléolaires.

On reconnaît les chromosomes par leur forme (en V, en bâtonnet, punctiforme), la présence éventuelle d'un satellite, la position du centromère ; lorsque celui-ci sépare des bras d'importance égale, le chromosome est métacentrique, lorsque les bras sont inégaux, il est acrocentrique, lorsque la constriction primaire est proche d'une extrémité, il est télocentrique .

Toutes les cellules provenant d'un même individu ont le même nombre de chromosomes et toutes les cellules provenant d'individus différents appartenant à la même espèce possèdent ce même nombre de chromosomes; c'est le nombre chromosomique, caractéristique de l'espèce.

Chez les organismes supérieurs, lorsque ces chromosomes sont identifiés par leur forme, leur taille, la présence éventuelle de satellite, il est possible de les grouper par paires ; chez l'homme par exemple il y a dans chaque cellule somatique 23 paires de chromosomes : le nombre chromosomique de l'espèce humaine est  $n = 23$  .

Des modifications du nombre des chromosomes peuvent se produire naturellement ou être provoquées par l'utilisation de drogues.

La cellule peut alors contenir un triple jeu de chromosomes (elle est alors triploïde) voire un quadruple (elle est tétraploïde). D'une façon plus générale on parle de polyploïdie pour qualifier les cellules qui possèdent un jeu multiple de chromosomes.

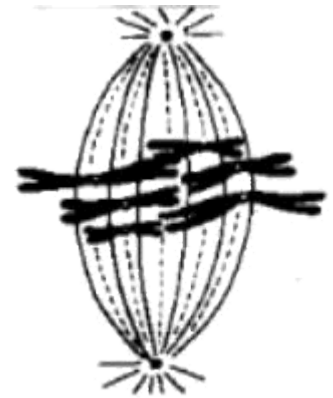
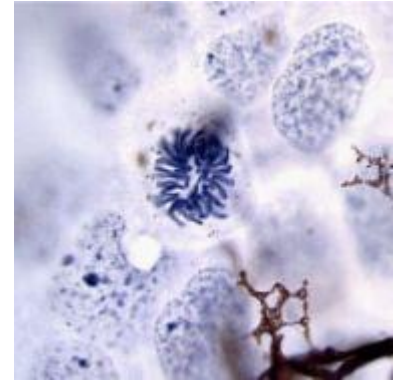
L'identification des chromosomes et leur groupement par paires obtenus à partir de documents photographiques permettent d'établir le caryotype de l'espèce. La connaissance de ce caryotype



présente un intérêt pratique; il permet de détecter très précocement, par prélèvement de cellules embryonnaires, des anomalies du nombre chromosomique susceptibles d'entraîner de graves troubles fonctionnels ou des malformations; la plus célèbre de ces anomalies est la trisomie 21 ou mongolisme (le chromosome numéro 21 du caryotype humain figurant en trois exemplaires dans chaque cellule diploïde de l'individu).

## 2- La métaphase

L'enveloppe nucléaire est entièrement détruite, l'ergastoplasme est désorganisé et les centrosomes se trouvent aux pôles de la cellule. Les chromosomes s'alignent sur la plaque équatoriale - imaginaire - qui, comme son nom l'indique, est à égale distance des deux pôles du fuseau. Tous les centrosomes y sont alignés. Étant donné sa forme, l'ensemble formé par les microtubules polaires et par les microtubules reliés aux chromosomes s'appelle fuseau achromatique - car dépourvu de couleur -. Photo : les chromosomes dupliqués ont formé des chromatides qui se retrouvent au niveau de la plaque équatoriale (la photographie est prise du "dessus" (d'un pôle cellulaire).



## 3- L'anaphase

L'anaphase commence quand le centromère dédoublé de chaque chromosome se sépare en deux, libérant ainsi les chromatides soeurs. Chaque chromatide devient dès cet instant un chromosome à part entière, conduit sont alors attirés, via leur centromère, par contraction des microtubules vers les pôles. Les mitochondries se concentrent au niveau de la plaque équatoriale. En même temps, les pôles s'éloignent l'un de l'autre. À la fin de l'anaphase, les deux pôles possèdent des jeux équivalents et complets

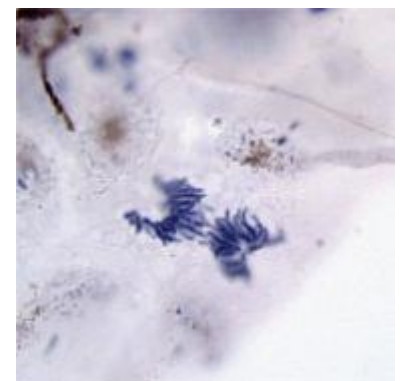


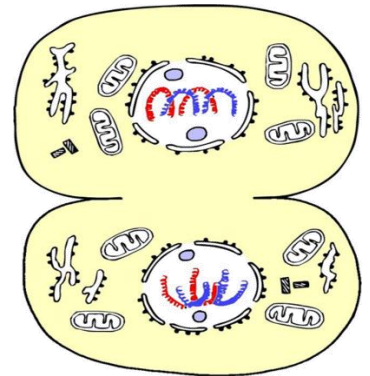
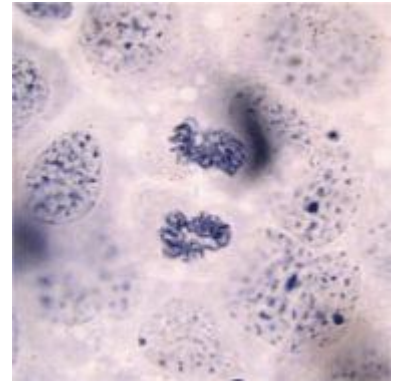
Photo : les chromatides se séparent et se dirigent vers les pôles.

#### 4- La télophase

Pendant la télophase, les microtubules polaires allongent encore la cellule, et les noyaux fils commencent à se former des fragments de l'enveloppe nucléaire de la cellule mère et de portions de membrane fournies par le réticulum endoplasmique. Les nucléoles réapparaissent, chaque chromosome perd son organisation spatiale compacte et redevient la chromatine initiale et les mitochondries – ainsi que les nombreux autres organites - sont réparties.

La mitose, c'est-à-dire la division d'un noyau en deux  
La cytokinèse, ou division du cytoplasme, est déjà bien amorcée en général, de sorte que les deux cellules filles distinctes apparaissent peu de temps après la mitose.

Photo : les chromatides atteignent les pôles, remarquez la séparation naissante des 2 cellules par disparition du "pont" de cytoplasme



#### 5- La cytokinèse

La division du reste de la cellule, c'est-à-dire le cytoplasme et les organites, commence généralement avant la fin de la télophase.

Afin de terminer la division cellulaire, des protéines spécialisées contribuent à la cytokinèse en divisant la cellule mère en deux parties. Ainsi, chaque cellule fille possède son propre bagage génétique et ses organites.

Cette phase, appelée aussi cytokinèse, correspond au partage du cytoplasme consécutif à la mitose, de sorte que chaque cellule-fille hérite d'un stock complet des molécules et d'organites.

- **Rôle des filaments d'actine et de myosine**

Les cellules animales se divisent en mettant en œuvre un sillon de division qui partage habituellement la cellule initiale en deux moitiés égales, puisqu'il se localise au niveau du plan équatorial déterminé par le fuseau mitotique

- **Le mécanisme**

mis en jeu implique l'intervention d'un anneau contractile étroit situé sous la surface de la membrane plasmique, constitué de l'association de molécules d'actine et de myosine, et fonctionnant à la manière d'un sphincter

la force de contraction est engendrée par le glissement des filaments de myosine le long de ceux de l'actine ; le détail des mécanismes est mal connu

l'injection d'anticorps anti-myosine dans les œufs d'oursins en division entraîne la disparition du sillon de division sans affecter les événements nucléaires.

La dernière phase de la cytodiérèse sépare les deux cellules-filles, qui restent un moment réunies par un fin pont cytoplasmique contenant un faisceau de microtubules résiduels provenant du fuseau mitotique cette structure est appelée corps intermédiaire