

Le cytosquelette (pt 2)



Rappel : le cytosquelette comprend 3 types de filaments :

- 1. Les microfilaments d'actine**
- 2. Les microtubules**
- 3. Les filaments intermédiaires**

Les microtubules

The background of the slide is a complex, abstract network of interconnected nodes and lines. The nodes are represented by small circles in various shades of gold, brown, and grey. The lines connecting them are thin and also in these colors, creating a web-like structure that fills the entire frame. The overall aesthetic is modern and scientific, suggesting a network or a molecular structure.

Les microtubules sont des tubes creux et cylindriques formés de monomères de **tubuline**.

→ Il s'agit d'une protéine très abondante (20% des protéines totales du cerveau). Elle existe sous deux formes :

➤ **Tubuline α**

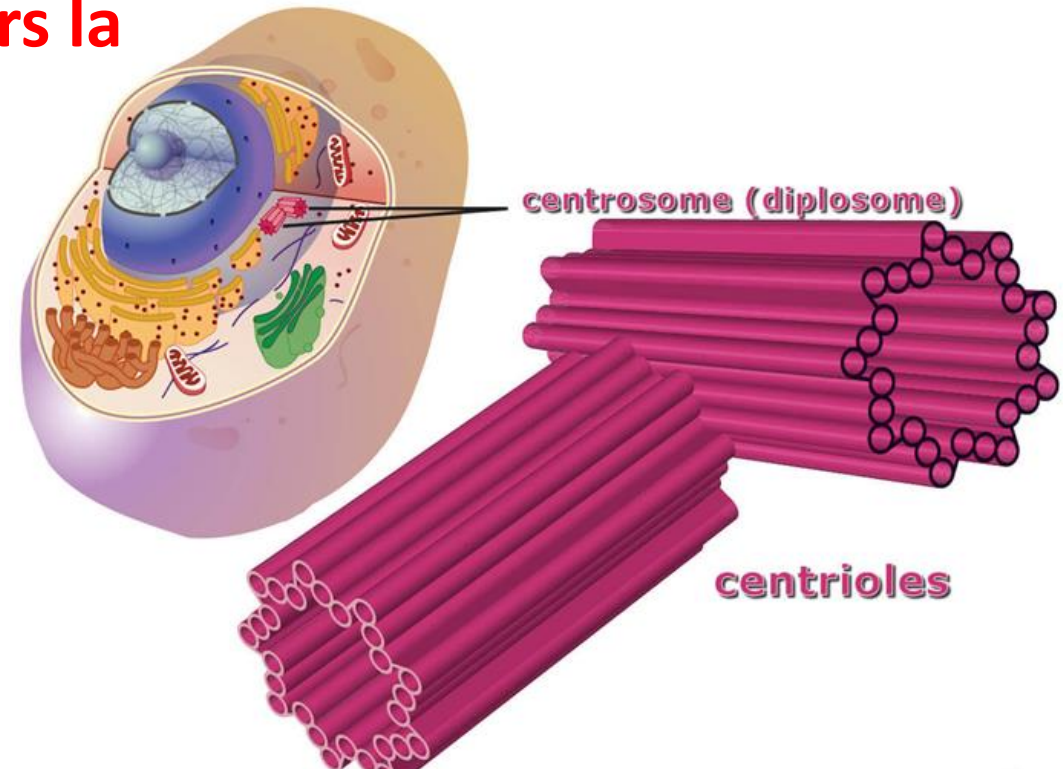
➤ **Tubuline β**

Les microtubules sont :

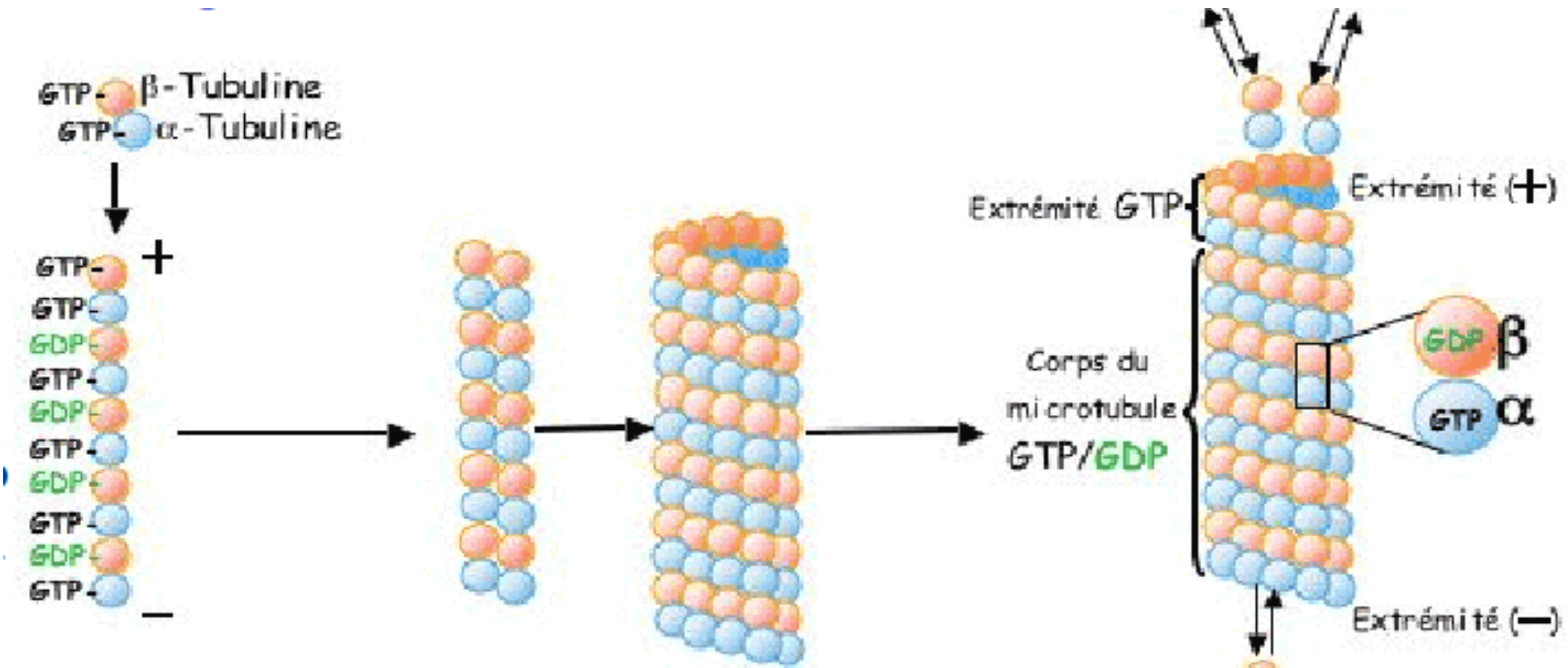
- Polarisés (pôle + et pôle -)
- Composés d'hétérodimères $\alpha\beta$
- Organisés en longues fibres dans le cytosol autour d'un point central de la cellule : le centrosome

Centrosome :

- Localisé près du noyau
- Organisé en 2 centrioles perpendiculaires
- Pôle (-) du microtubule **adjacent au centrosome**
- Pôle (+) du microtubule **tourné vers la périphérie de la cellule**



Assemblage des sous-unités de tubuline



1/ Assemblage
du protofilament

2/ Assemblage de 13
protofilaments en
cylindre

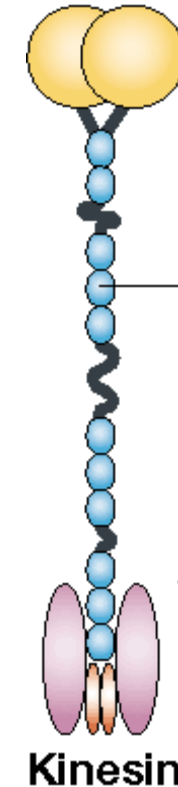
3/ Elongation du cylindre

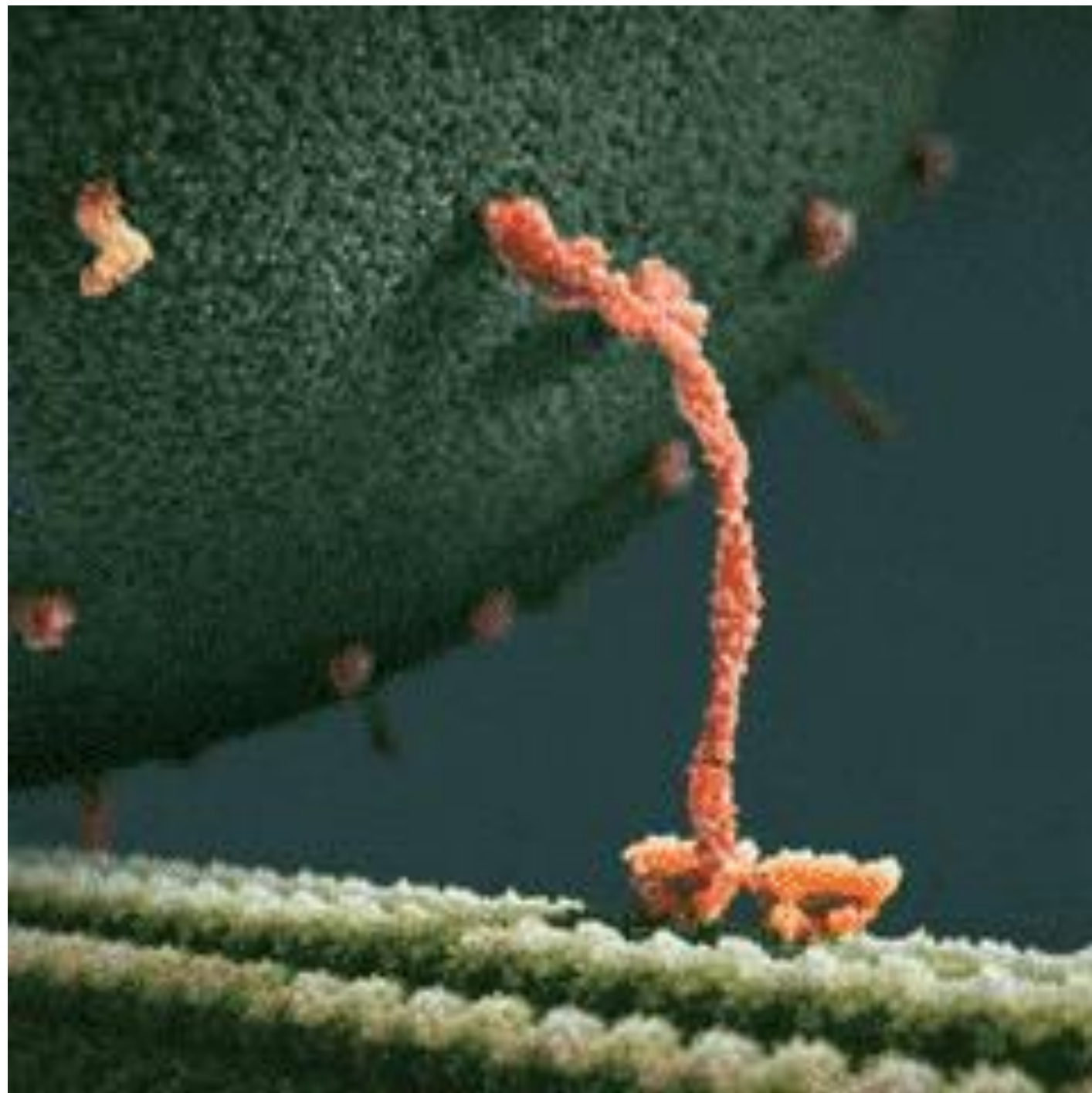
L'assemblage des microtubules est régulé par des drogues :

- **Taxol** : stabilise les microtubules, empêche la dépolymérisation
- **Colchicine** : inhibe la polymérisation
- **Vinblastine** : inhibe la polymérisation

Les moteurs des microtubules : **kinésines** et **dynéines**

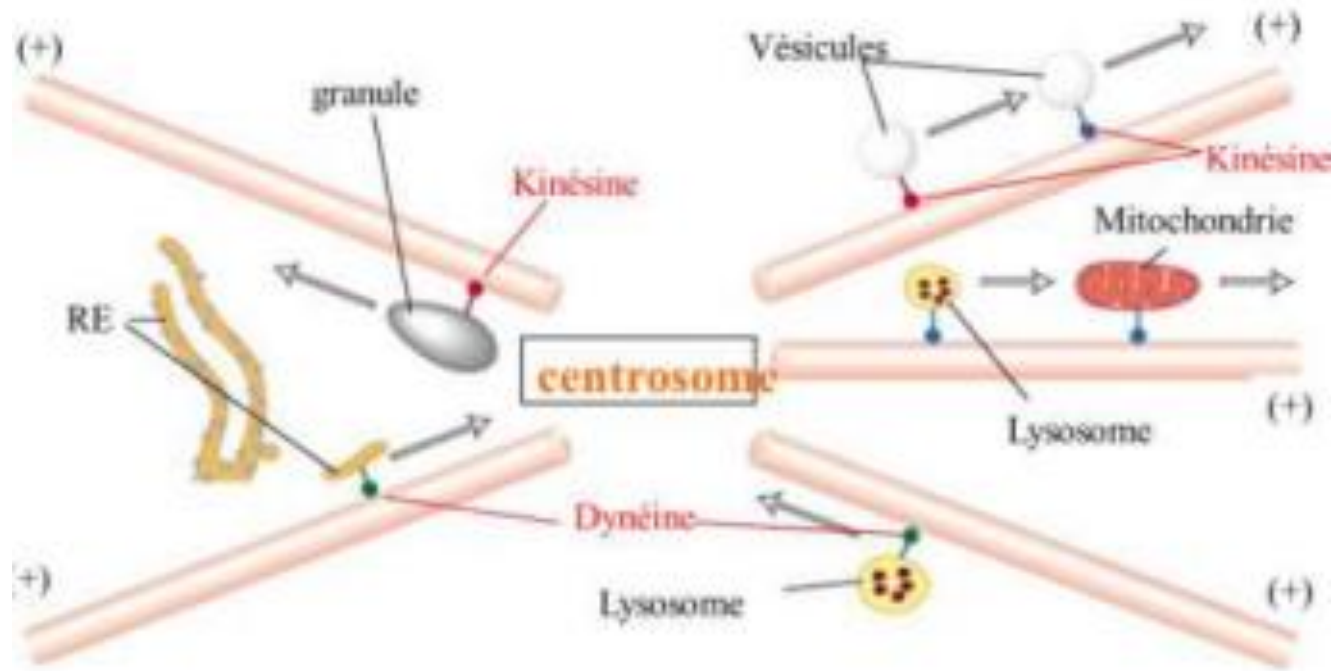
- Formé d'une tige et de deux têtes globulaires
- Ils ont un rôle de transport intracellulaire :
 - **Kinésine** : transport vers le **pôle +**
 - **Dynéine** : transport vers le **pôle -**





Éléments cellulaires transportés par les kinésines et dynéines :

- Organites
- Granules de stockage
- Vésicules



Les microtubules jouent également un rôle durant la **mitose**. Celle-ci se décompose en deux phases :

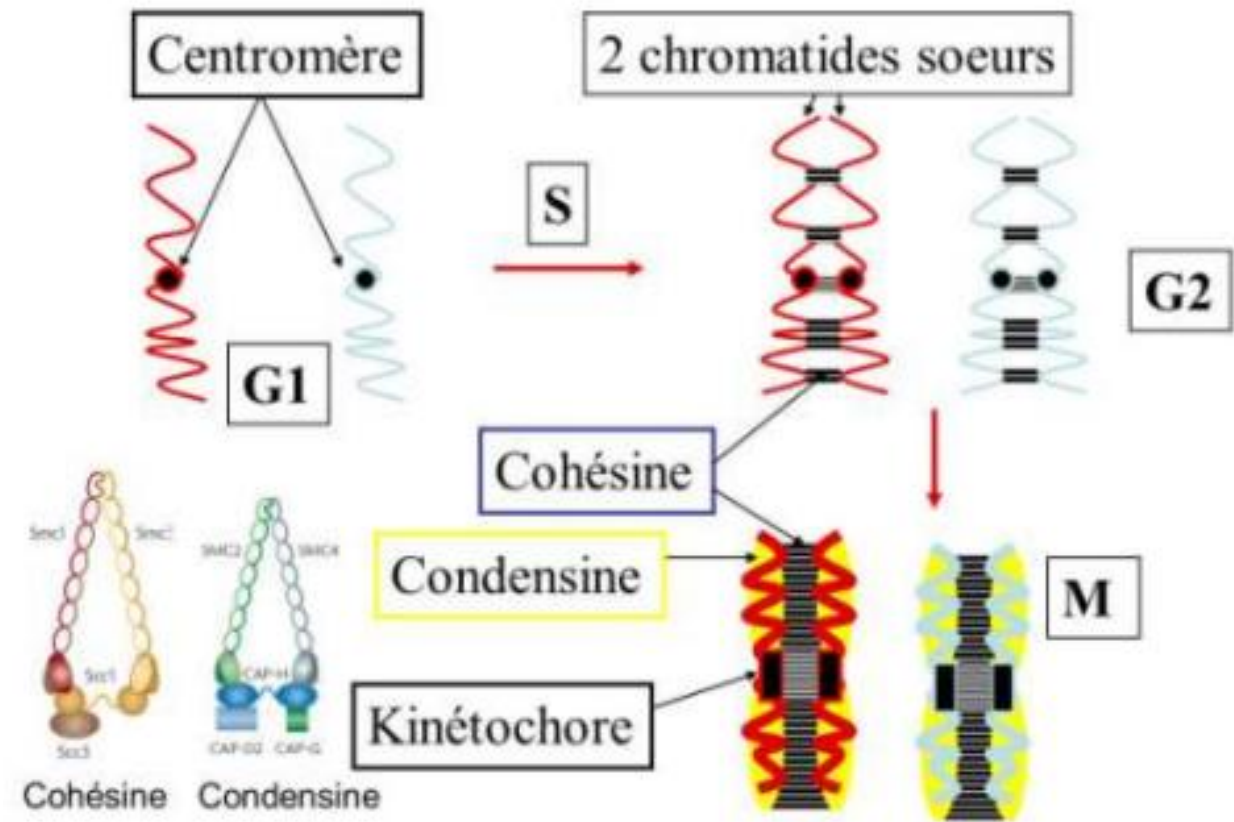
→ La **caryocinèse** (= séparation du noyau), en 4 étapes : prophase, métaphase, anaphase et télophase

→ La **cytocinèse/cytodiérèse** (= division du cytoplasme)

Lors de la mitose, les chromosomes mitotiques sont sous forme extrêmement condensée. Cet état de condensation varie selon la phase du cycle :

- **G1** : 2 chromosomes homologues sous forme relativement décondensée
- **S** : duplication → formation de 2 chromatides sœurs, associées entre elles grâce à des **cohésines**
- **M** : condensation de l'ADN sous forme de chromosomes grâce aux **condensines** + formation de **kinétochores** (= structures protéiques situées au niveau des centrosomes)

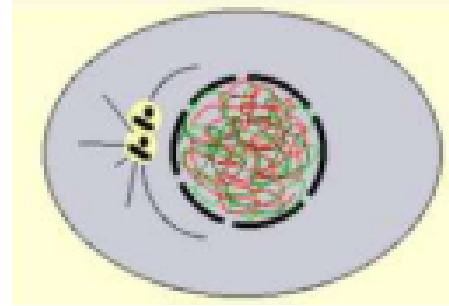
- **Cohésine** : protéine associant 2 chromatides soeurs
- **Condensine** : complexe protéique impliqué dans la condensation du chromosome
- **Kinétochore** : structure protéique reliant 2 chromatides en leur centromère



I. Prophase

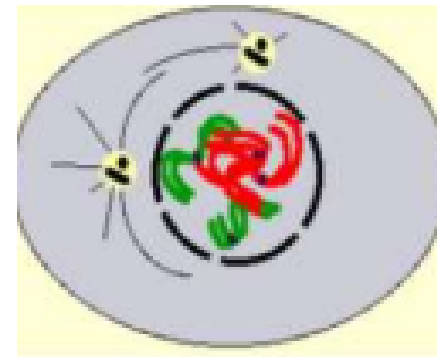
Début

- 2 centrosomes à proximité du noyau
- Individualisation des chromosomes à 2 chromatides



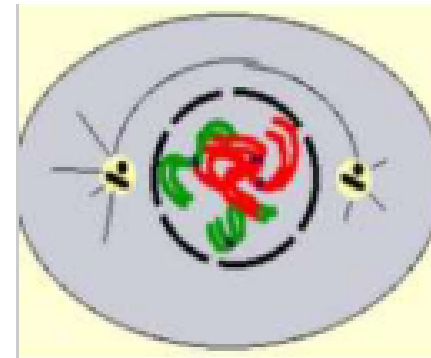
Suite

- Eloignement des centrosomes par répulsion mutuelle (microtubules polaires et moteurs)
- Condensation des chromatides
- Formation des **asters** (= centrosome + microtubule)



Fin

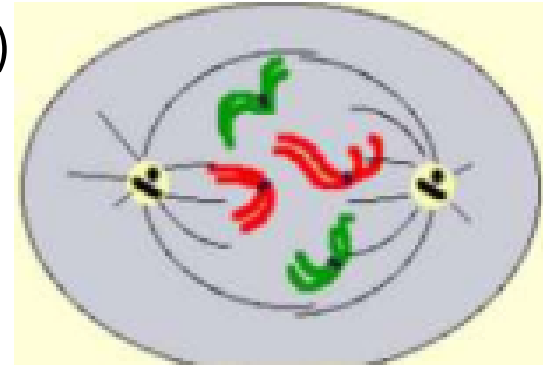
- Constitution du **fuseau mitotique** (formation de 2 pôles cellulaires définis par les asters)
- Enveloppe nucléaire encore présente



II. Prométaphase/Métaphase

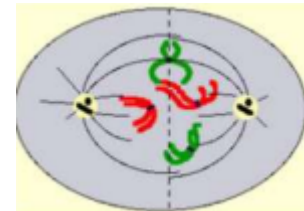
Début

- Disparition de la membrane nucléaire (**mitose ouverte**)
- Polymérisation de microtubules à partir des 2 pôles cellulaires (allongement vers les chromosomes)



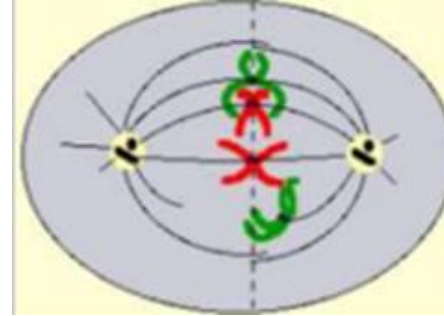
Suite

- Les microtubules s'attachent aux kinétochores
 - Attachement unipolaire : chromosome attaché à **1** microtubule
 - Attachement bipolaire : chromosome attaché à **plusieurs** microtubules (venant des 2 pôles)



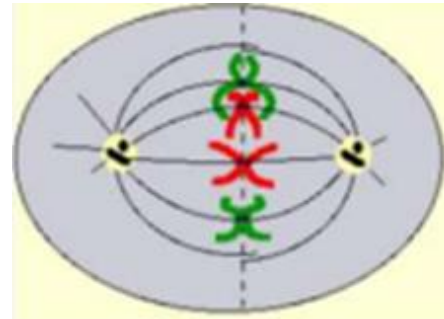
Fin

- Capture **unipolaire** du dernier kinétochore
- **Checkpoint mitotique** : blocage de la séparation des chromatides tant que tous les chromosomes ne sont pas alignés et reliés aux deux pôles cellulaires
→ si chromosome mal attaché : envoi d'un signal empêchant la cellule d'entrer en anaphase



Métaphase

- Alignement sur la plaque équatoriale
- Levée de l'inhibition ; la cellule peut entrer en anaphase



Comment se placent les chromosomes à l'équateur du fuseau lors de la prométaphase ?

- 2 mécanismes différents :
 - Au niveau des microtubules kinétochoriens : dépolymérisation (→ rapprochement vers un pôle cellulaire)
 - Au niveau des bras des chromosomes : polymérisation (→ rapprochement vers le centre cellulaire)

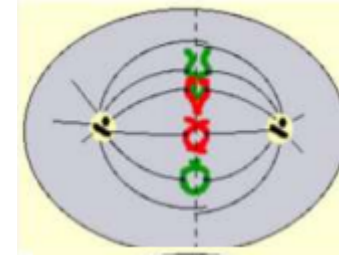
= il en résulte une **tension** au niveau des kinétochores car les deux parties du chromosomes ne sont pas « poussées » dans le même sens

- Pour diminuer la tension, les microtubules kinétochoriens vont **polymériser** et donc se rapprocher du centre cellulaire

III. Anaphase

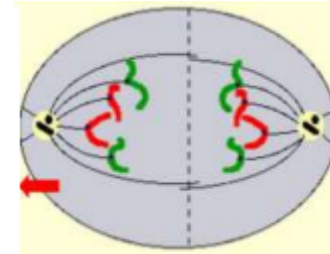
Anaphase A

- Séparation de tous les kinétochores d'un coup
- Migration des chromosomes vers les pôles : par **dépolymérisation** des microtubules ou grâce à leurs **moteurs** (kinésine et dynéine)



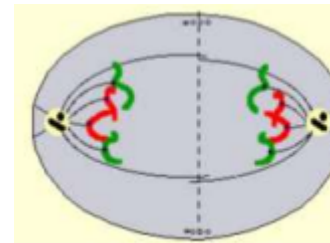
Anaphase B

- Eloignement des 2 pôles, entraînant avec eux les chromosomes



Anaphase – fin

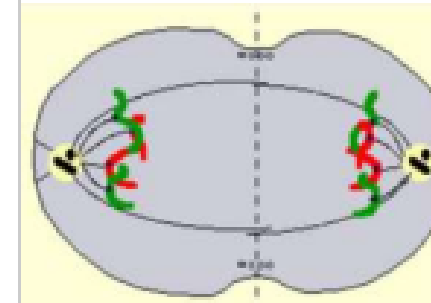
- Apparition au centre de la cellule, dans le plan de l'équateur, de l'anneau contractile (formé d'actine et de myosine II)



IV. Télaphase

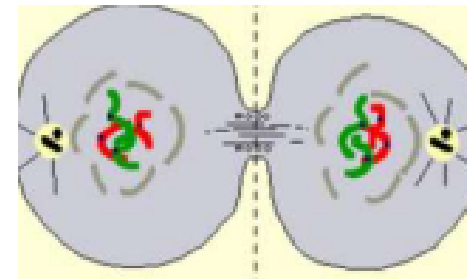
Début

- L'anneau se contracte, formant un sphincter



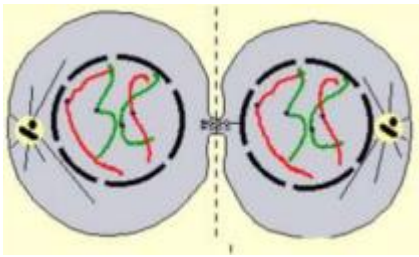
Fin

- Une continuité membranaire persiste entre les deux futures cellules filles
- La membrane nucléaire se reconstitue autour de chaque cellule fille

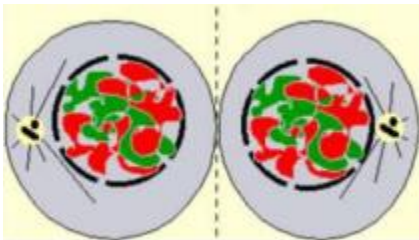


V. Fin de mitose

- **Cytocinèse** : les chromosomes se décondensent et la membrane nucléaire se reforme



- **Deux cellules** : les chromosomes poursuivent leur décondensation (1 chromatide) et il y a **un centrosome** par cellule fille



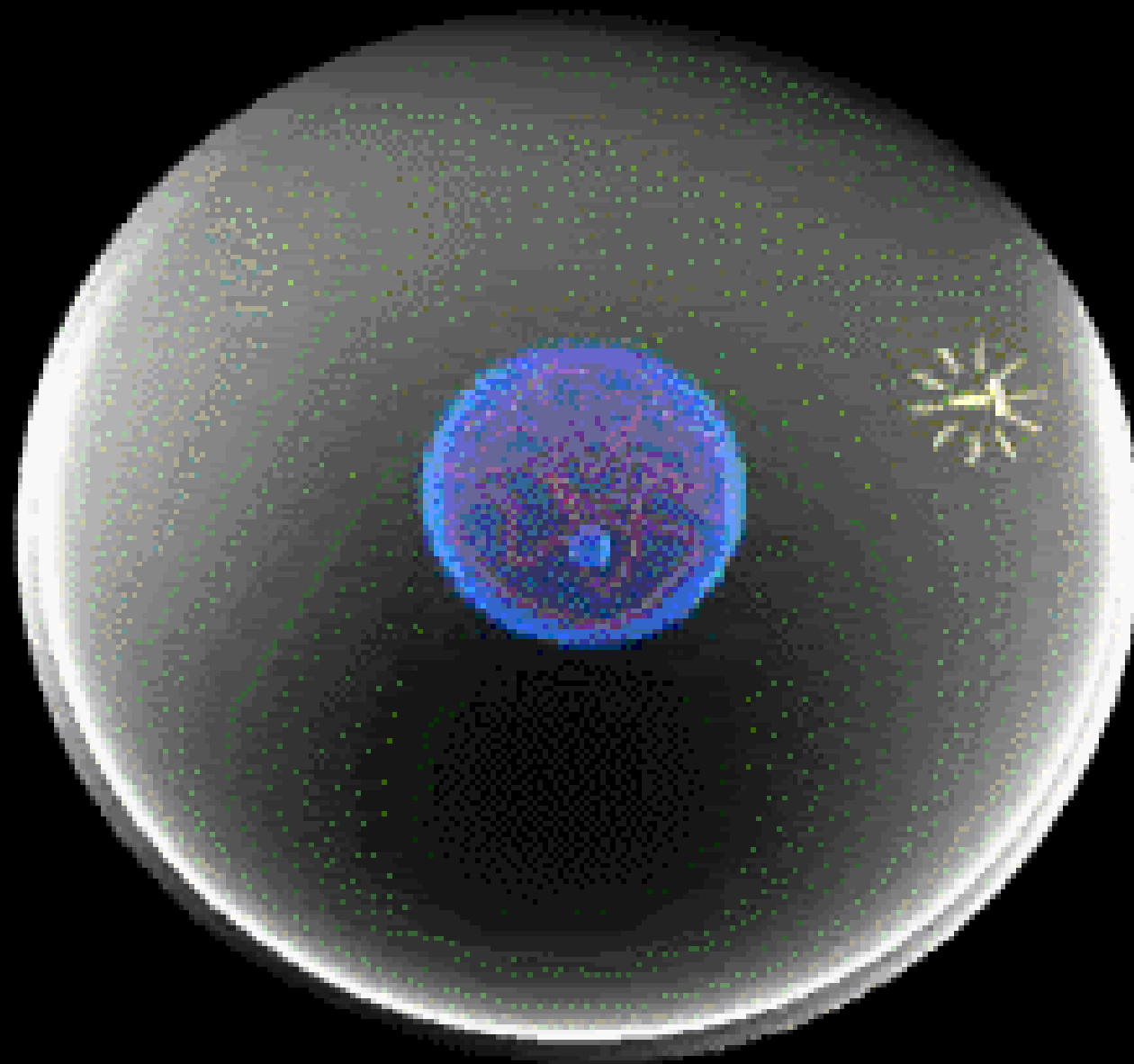
Les étapes de la mitose se font sous contrôle de protéines

→ Entre prophase et métaphase : **MPF et Mad2**

→ Entre métaphase et anaphase : **APC-Cdc20**



Les P1 quand on leur demande
d'apprendre le nom des protéines





FINNNN

