

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



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**

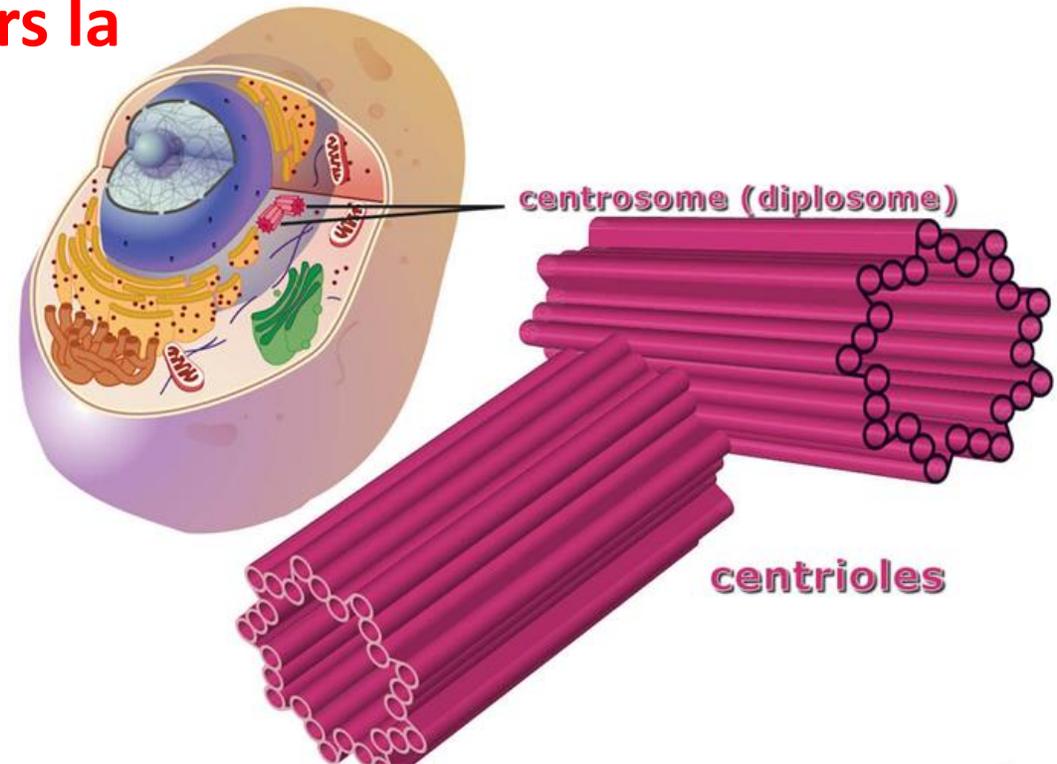
➤ **Tubuline β**

Les microtubules sont :

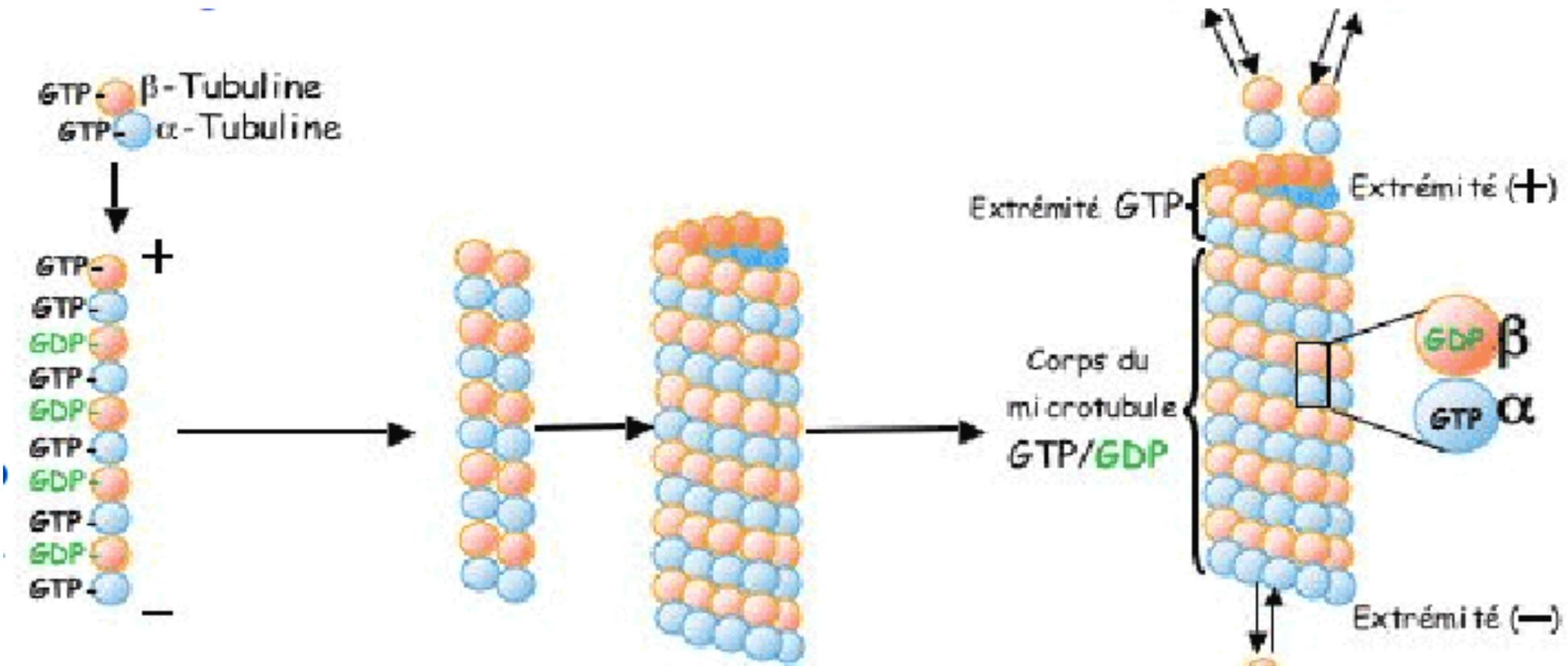
- Polarisés (pôle + et pôle -)
- Composés d'hétérodimères $\alpha\beta$
- Organisés en longues fibres dans le cytosol autour d'un point central de la cellule : le centrosome

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

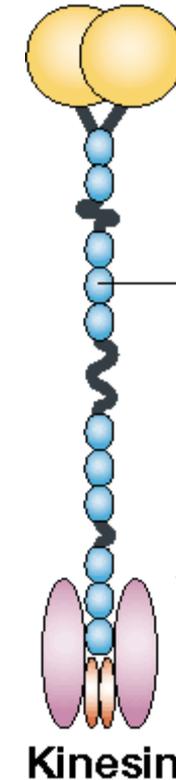
3/ Elongation du cylindre

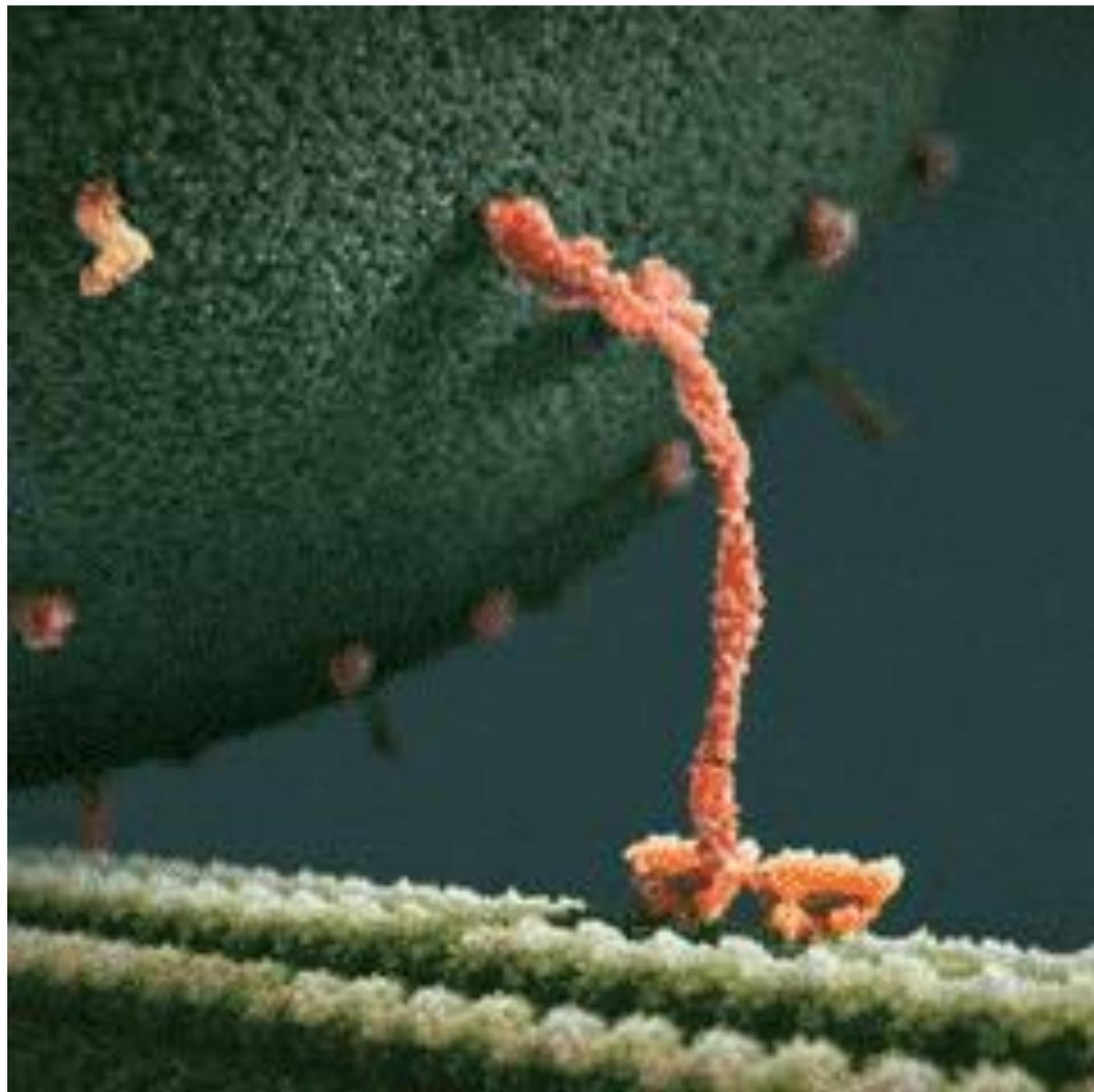
L'assemblage des microtubules est régulé par des drogues :

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

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

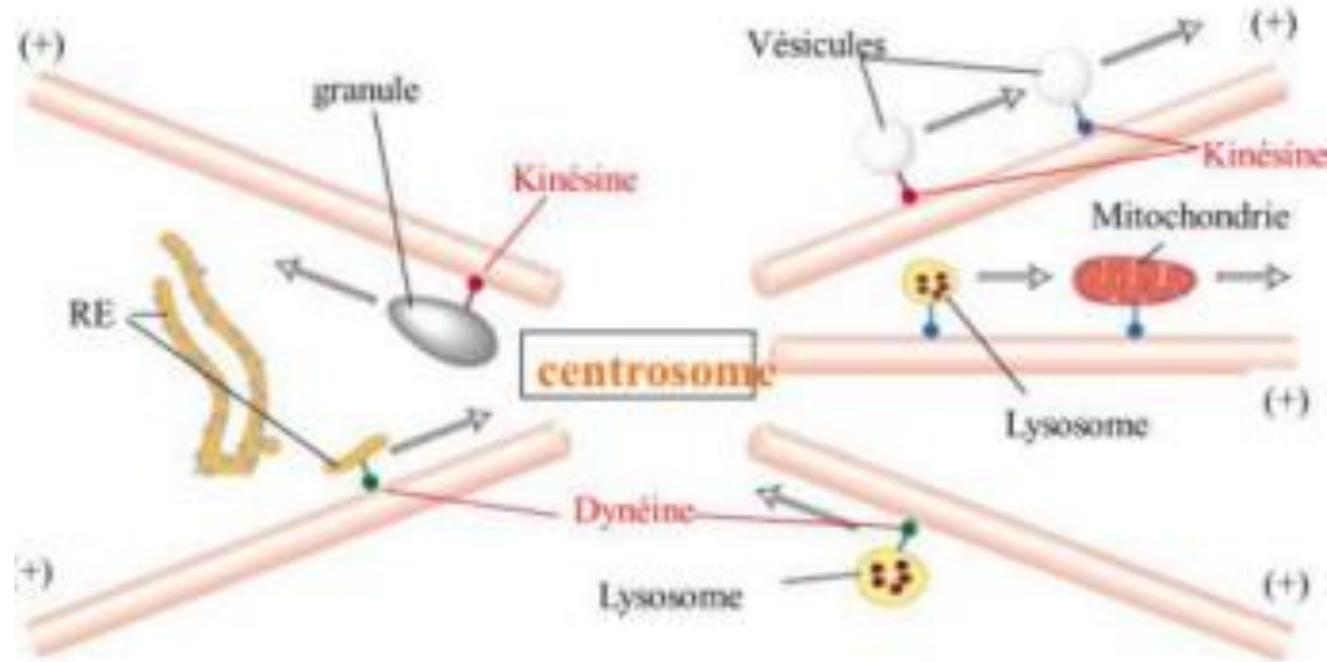
- Formé d'une tige et de deux têtes globulaires
- Ils ont un rôle de transport intracellulaire :
 - **Kinésine** : transport vers le **pôle +**
 - **Dynéine** : transport vers le **pôle -**





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 :

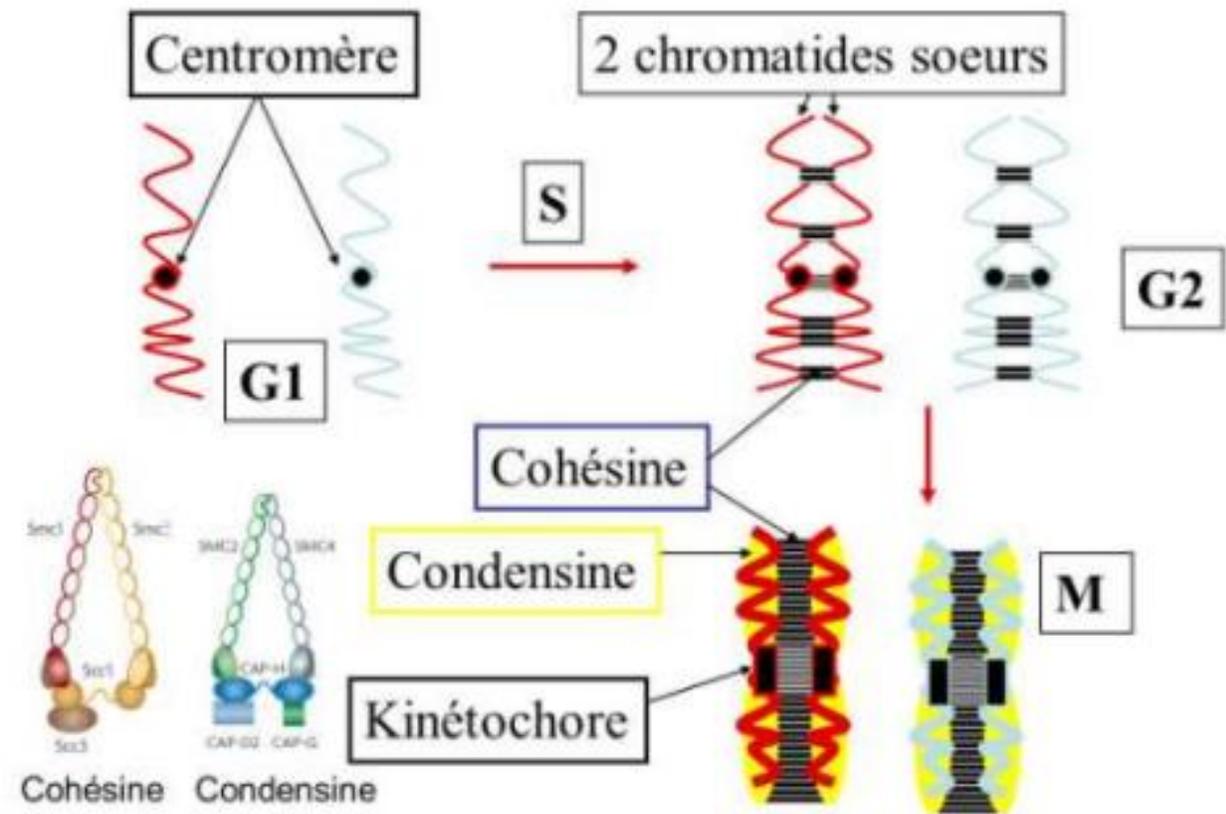
→ La **caryocinèse** (= séparation du noyau), en 4 étapes : prophase, métaphase, anaphase et télophase

→ 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

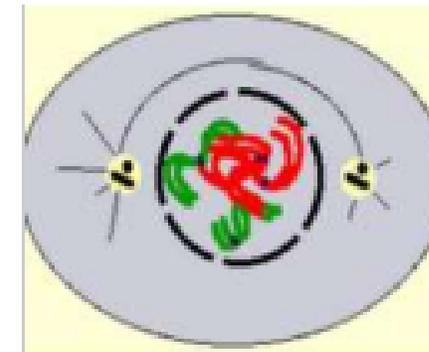
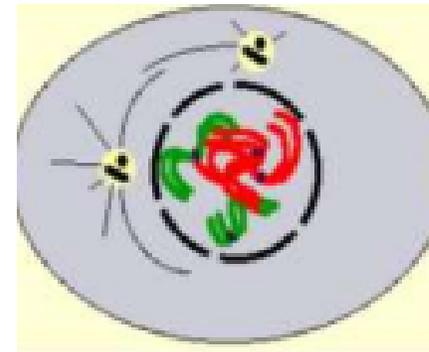
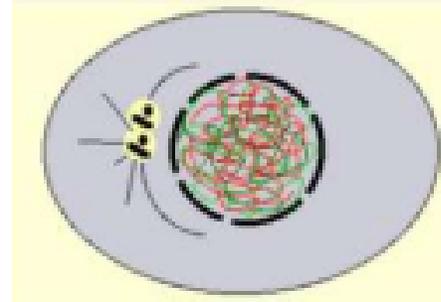
- 2 centrosomes à proximité du noyau
- Individualisation des chromosomes à 2 chromatides

Suite

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

Fin

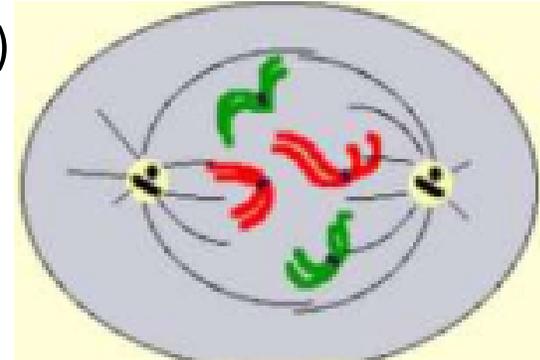
- Constitution du **fuseau mitotique** (formation de 2 pôles cellulaires définis par les asters)
- Enveloppe nucléaire encore présente



II. Prométaphase/Métaphase

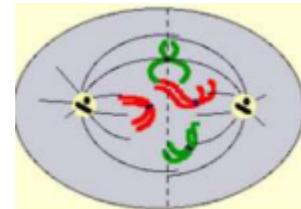
Début

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



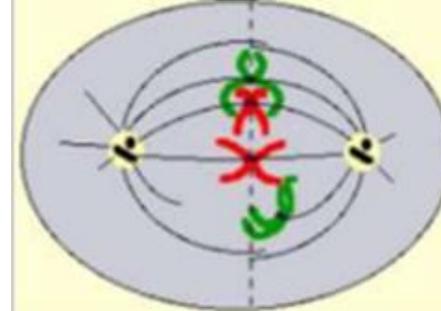
Suite

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



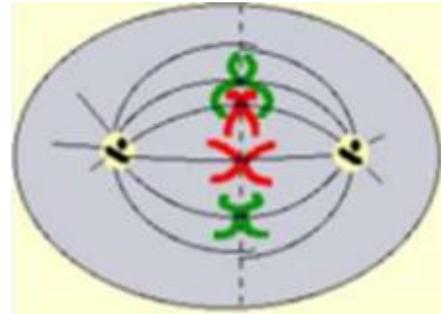
Fin

- 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)

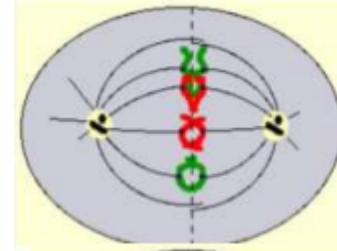
= il en résulte une **tension** au niveau des kinétochores car les deux parties du chromosomes ne sont pas « poussées » dans le même sens

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

III. Anaphase

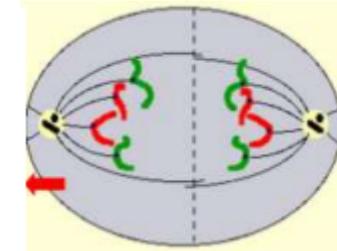
Anaphase A

- 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)



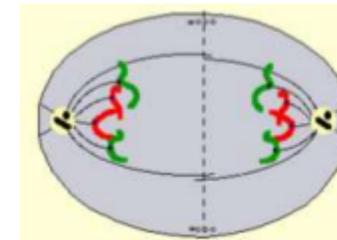
Anaphase B

- Eloignement des 2 pôles, entraînant avec eux les chromosomes



Anaphase – fin

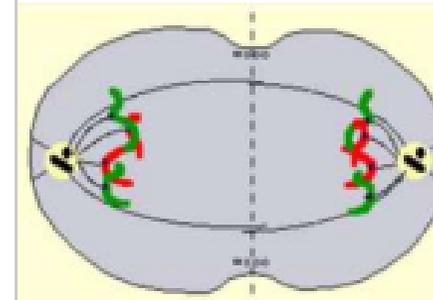
- Apparition au centre de la cellule, dans le plan de l'équateur, de l'anneau contractile (formé d'actine et de myosine II)



IV. Téléphase

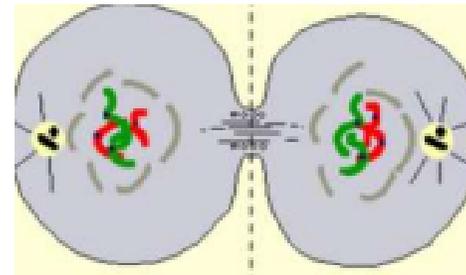
Début

- L'anneau se contracte, formant un sphincter



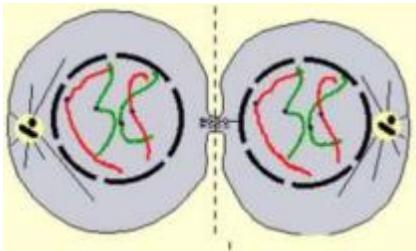
Fin

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

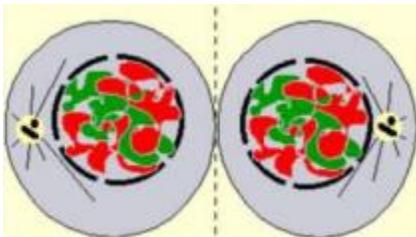


V. Fin de mitose

- **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



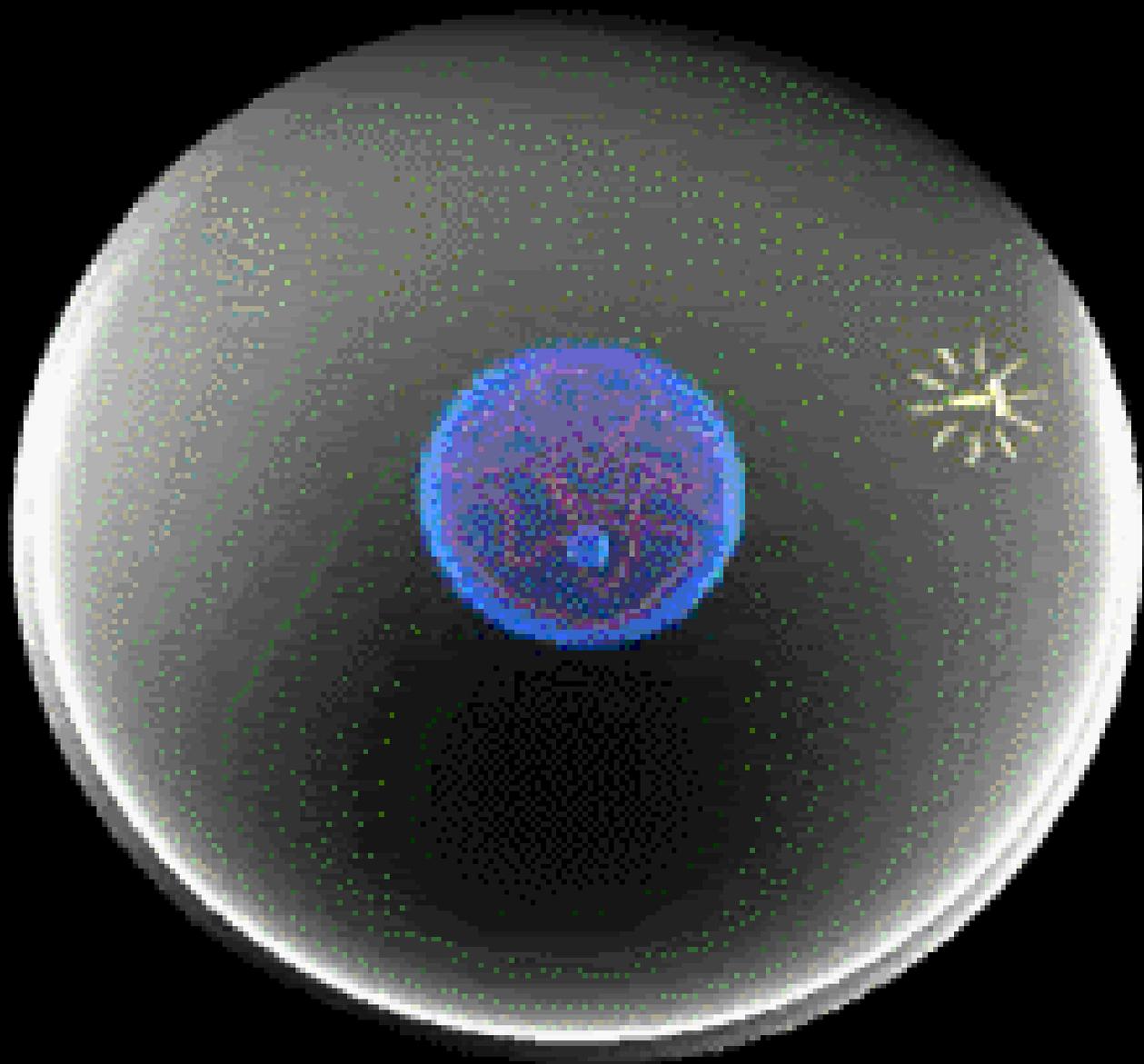
Les étapes de la mitose se font sous contrôle de protéines

→ 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

