

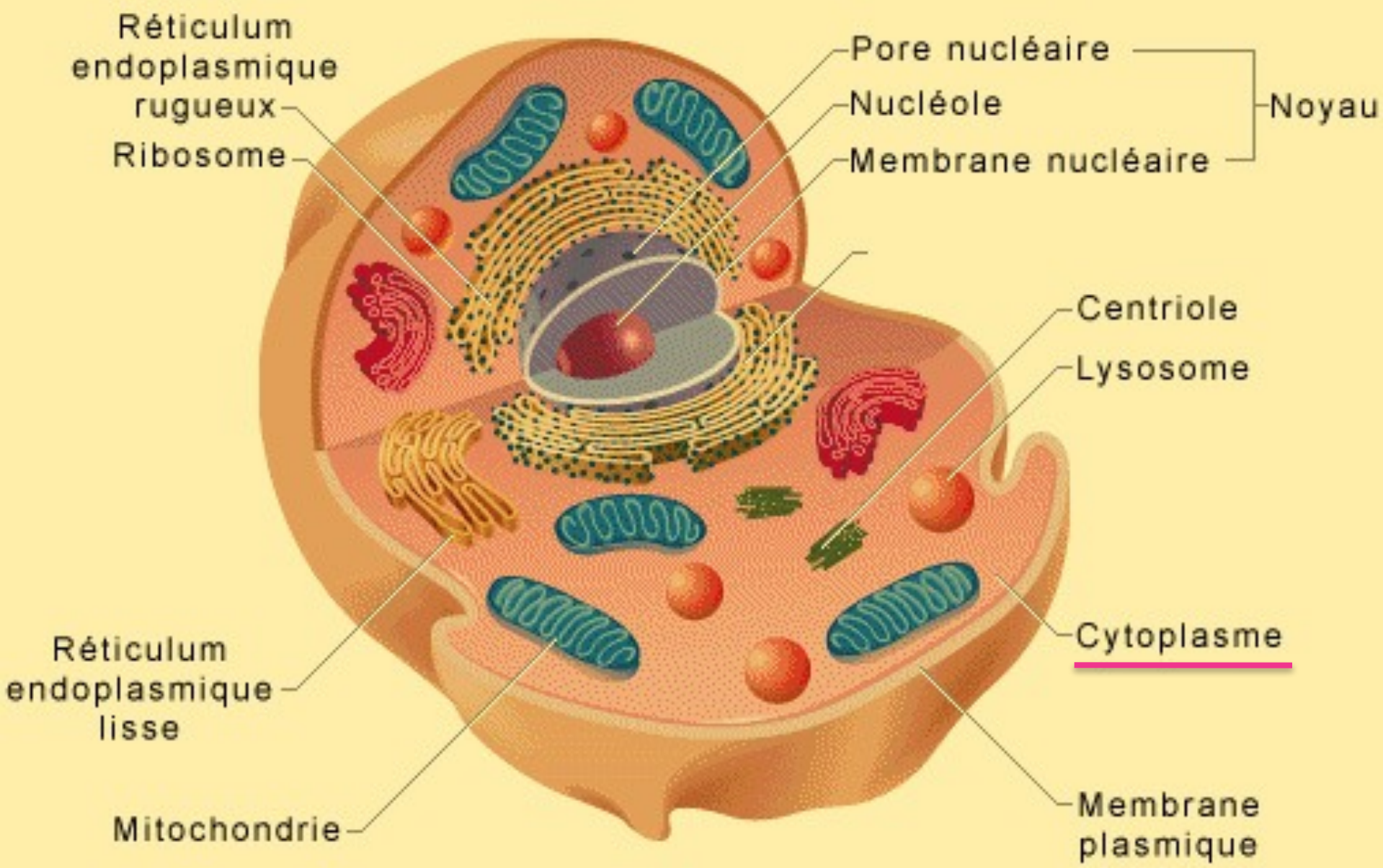


# Chapitre III

# LE CYTOSOL et LE CYTOSQUELETTE

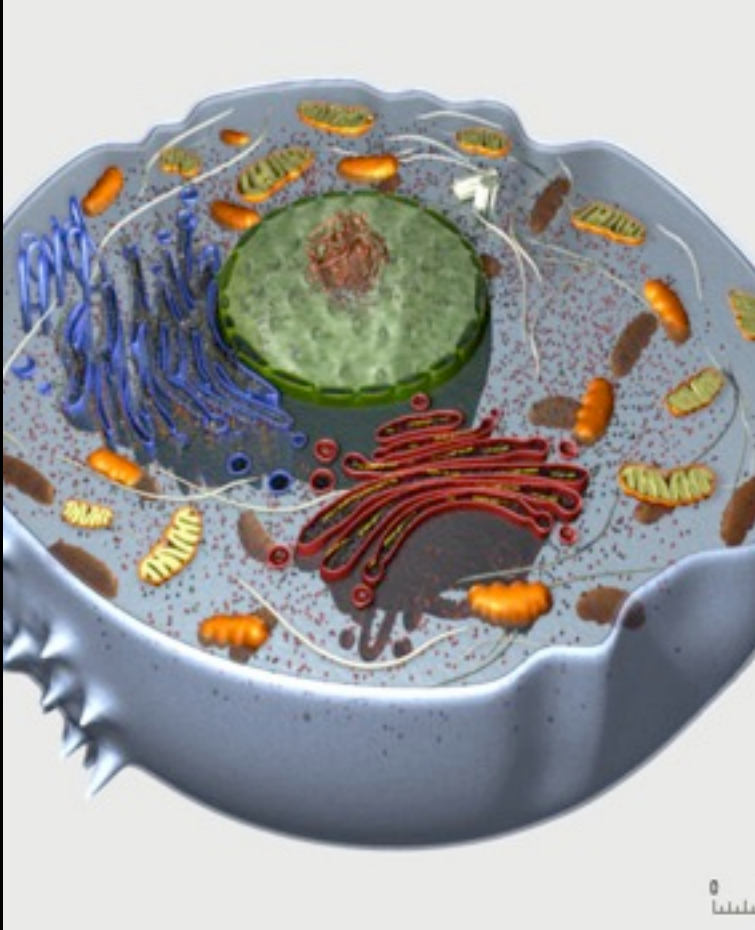
*Pr. Boutaina BELQAT*

# Structure d'une cellule eucaryote animale

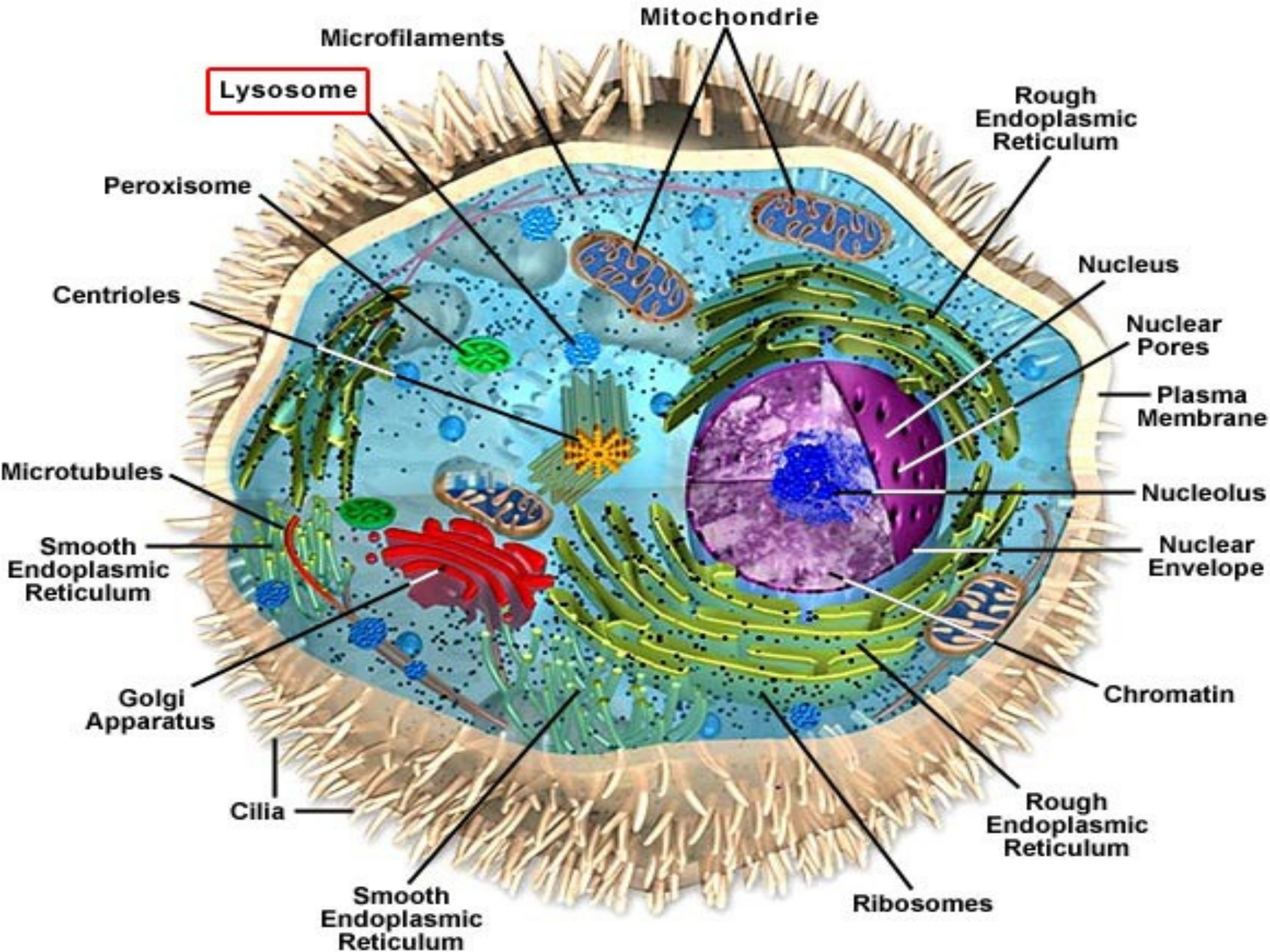


# I- Définition 1: LE CYTOPLASME

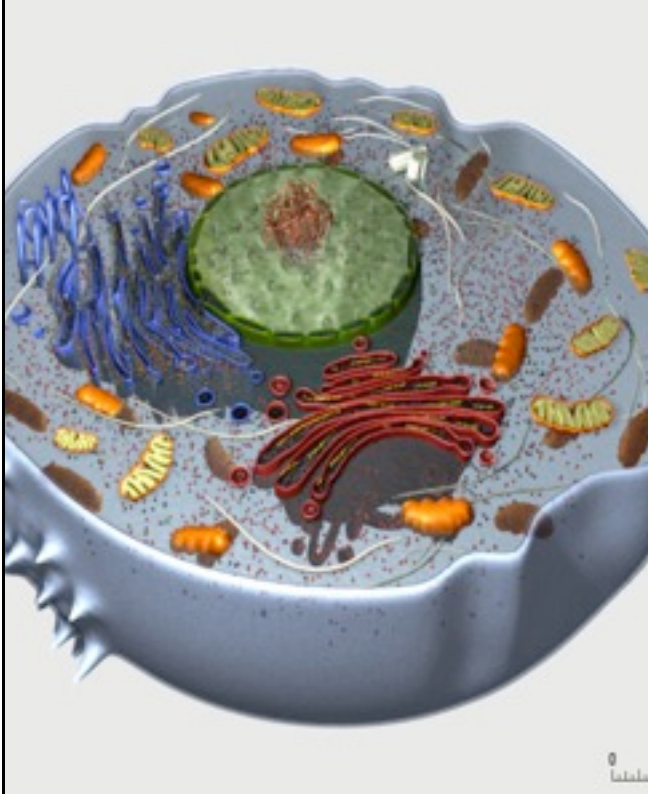
- = **matériel biologique** contenu entre la membrane plasmique et la membrane nucléaire.
- = phase liquide qui contient de nombreux organites et des structures en suspension.
- = cytosol + cytosquelette + organites



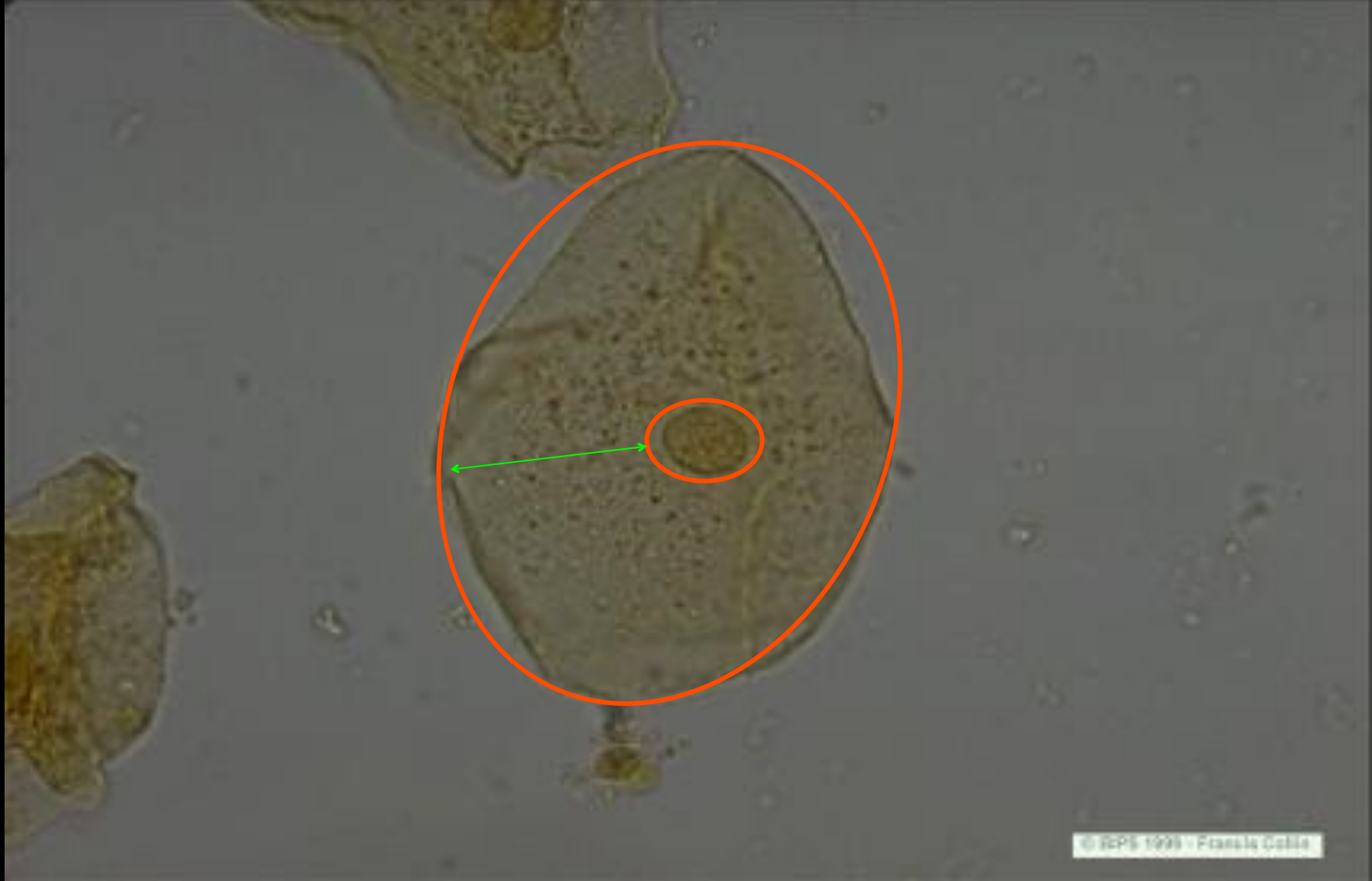




# I- Définition 2: LE CYTOSOL



- = **phase liquide** où baignent les organites cytoplasmiques, tels que :
- Le noyau
- Le réticulum endoplasmique rugueux
- Le réticulum endoplasmique lisse
- L'appareil de Golgi
- Les ribosomes
- Les différentes vacuoles
- Les mitochondries et,
- Les chloroplastes (chez les plantes).



Le cytosol est limité par la membrane plasmique et l'enveloppe nucléaire et contient des substances solubles comme des **protéines**, des **enzymes** et de l'**ARN**.



# I- Structure du cytosol

- En microscopie électronique, il apparaît granuleux alors qu'en microscopie optique il paraît optiquement vide. On peut des fois y différencier des globules lipidiques et des particules de glycogène qui disparaissent après avoir fourni de l'énergie utilisée par la cellule.
- Le **pH** de la phase soluble est proche de la neutralité. Avec ses macromolécules en suspension dans un milieu aqueux salé, le cytosol présente une viscosité 4 fois supérieure à celle de l'eau et correspond à un gel colloïde.

# Composition biochimique

- Phase liquide ou semi-liquide
- Gel colloïde 4 fois plus visqueux que l'eau
- pH 7,0
- 85% d'eau
- Ions :  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$
- Gaz :  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$
- Molécules simples : lipides, glucides, acides aminés ...
- Macromolécules : Protéines, polysaccharides, acides nucléiques ...

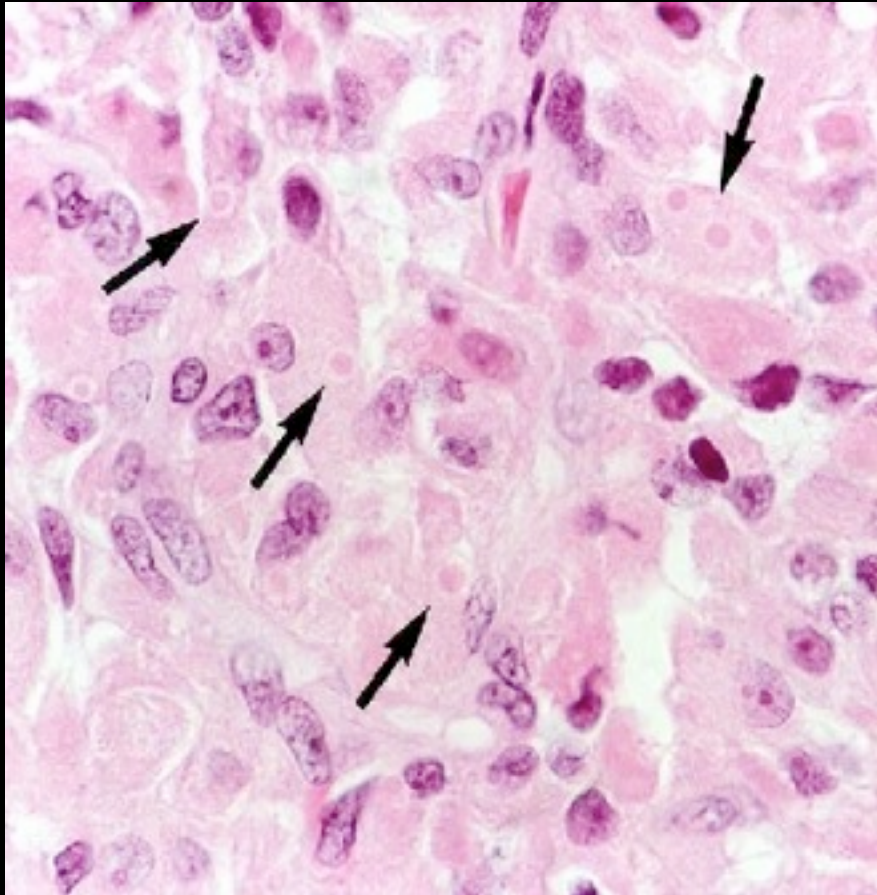


Les **graisses** et le **glycogène** sont stockés dans des vésicules sécrétoires

Les **nutriments** qui ne sont pas utilisés immédiatement pour la production d'ATP sont **stockés** sous une forme qui les rend **visibles au microscope optique**.

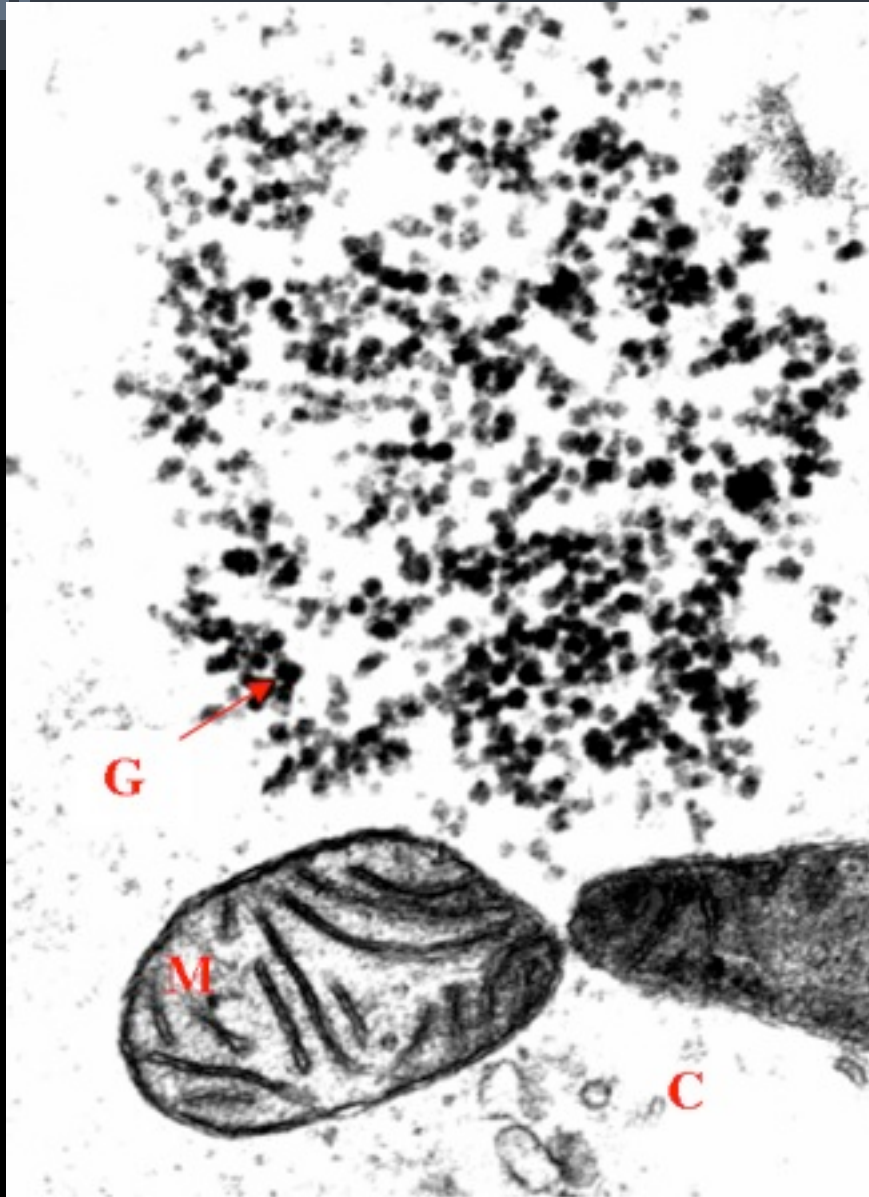
Les **inclusions** sont des **réserves** qui ne se trouvent pas dans toutes les cellules.

# Inclusions de lipides dans les cellules adipeuses



- Figure 1. Micrographie en microscopie électronique montrant des inclusions de lipides

# Particules de glycogène:



Stockées, visibles sous forme de **granules** ou de **grappes** dans le cytosol.

Figure 2. Micrographie en microscopie électronique montrant des grains de glycogène dans une cellule humaine. G : grains de glycogène ; M : mitochondrie ; C : cytosol.

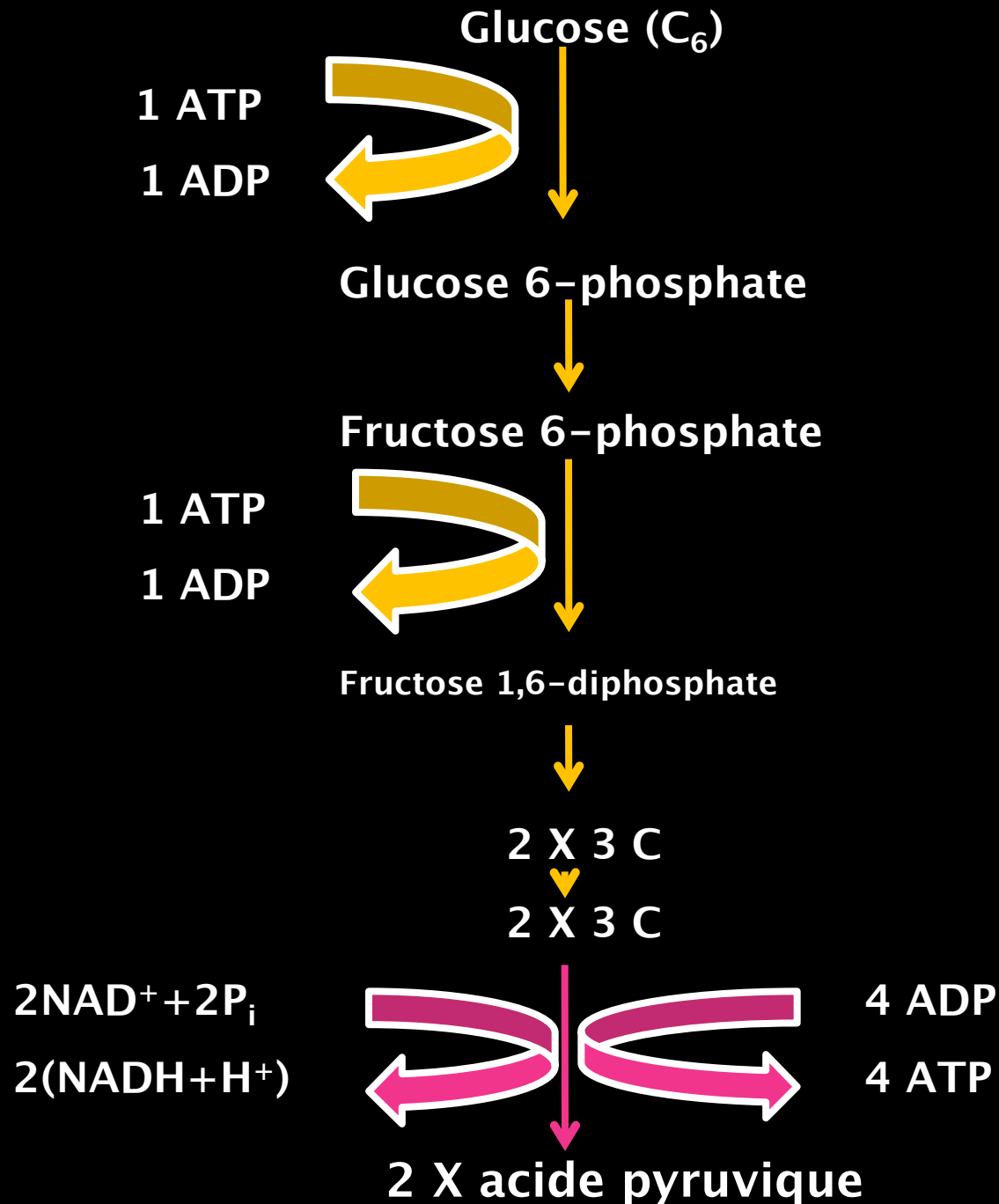
## II–Rôles et activités physiologiques

- Le cytosol est considéré comme étant le **carrefour des voies métaboliques** ; il intervient dans l'**anabolisme** et le **catabolisme** des **glucides**, des **acides aminés**, des **acides gras** et des **nucléotides**.
- **Trois grands types d'activités** sont associés aux **composants** du cytosol :
  - La prise en charge du **métabolisme intermédiaire** par les **enzymes** ;
  - La **synthèse des protéines** par les **ribosomes** ; et
  - Le **stockage de graisses**, de **glycogène** et de **vésicules sécrétoires**



# II-1- Prise en charge du métabolisme intermédiaire

- Le **métabolisme intermédiaire** = l'ensemble des **réactions chimiques intracellulaires** qui interviennent dans la dégradation, la transformation et la synthèse de **petites molécules organiques**, comme les sucres simples, les acides aminés et les acides gras.
- La **totalité du métabolisme intermédiaire** a lieu dans le **cytosol**. Des milliers d'enzymes qui interviennent dans la **glycolyse** et dans d'autres **voies du métabolisme intermédiaire** sont localisées dans le **cytosol**.
- Les voies métaboliques qui concernent la molécule de **glucose** sont particulièrement importantes car elles concernent la **production d'énergie cellulaire (ATP)**.



# II-2– Synthèse des protéines par les ribosomes

Les **ribosomes libres**, dispersées dans le cytosol **synthétisent** les **protéines** utilisées dans le cytosol même.

Par contre les **ribosomes** du **RER** synthétisent les **protéines** qui sont destinées à la **sécrétion** et à la formation de **nouveaux** **constituants** **cellulaires**.



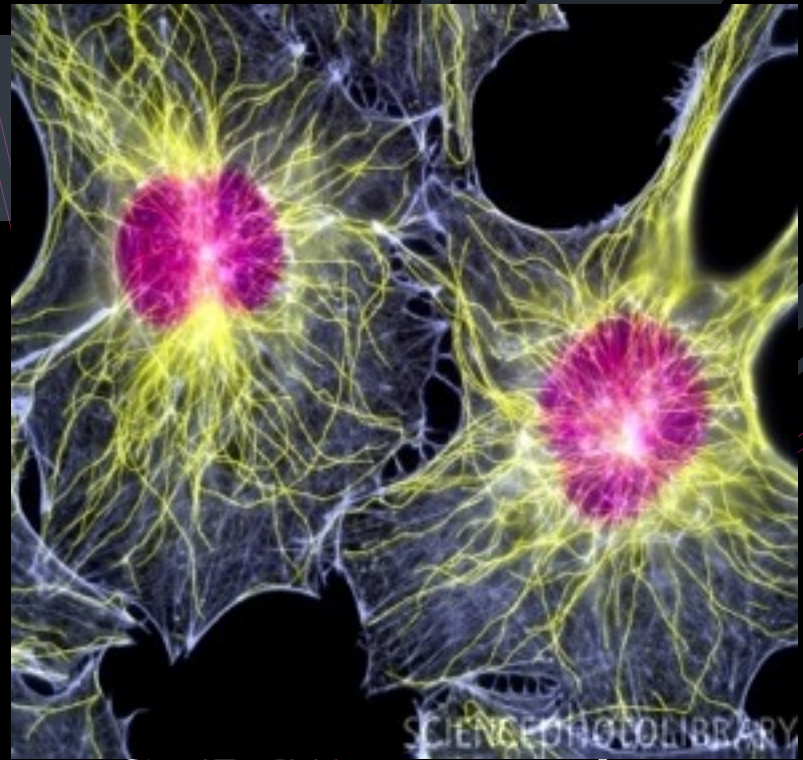
# LE CYTOSQUELETTE

## I- Définition

Le **cytosquelette** est un réseau de **filaments protéiques** variés, attachés à la membrane plasmique et à différents organites.

Il existe dans le cytoplasme de toutes les **cellules eucaryotes**.

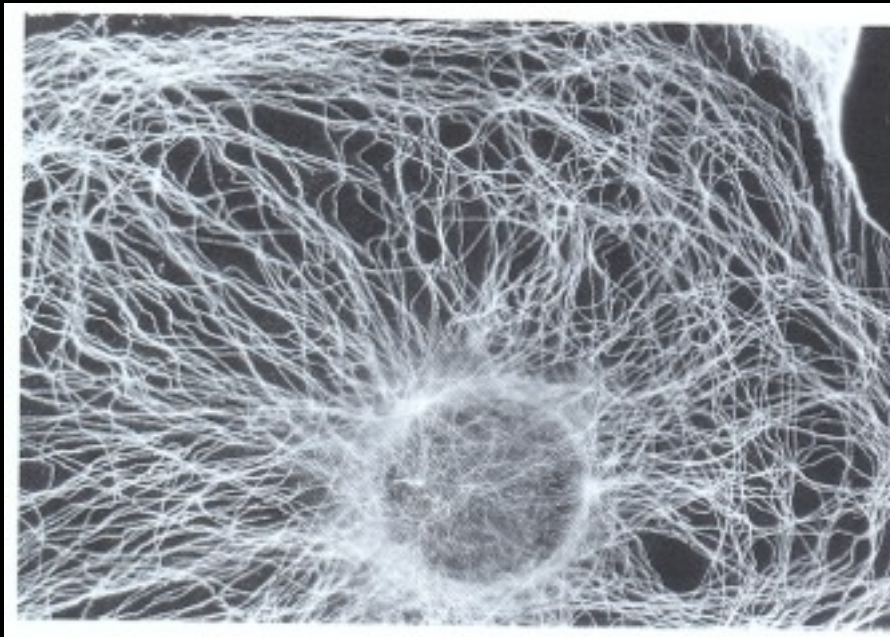
Il fournit à la cellule une ossature lui permettant le **maintien de sa forme** et l'**exécution de ses mouvements**.



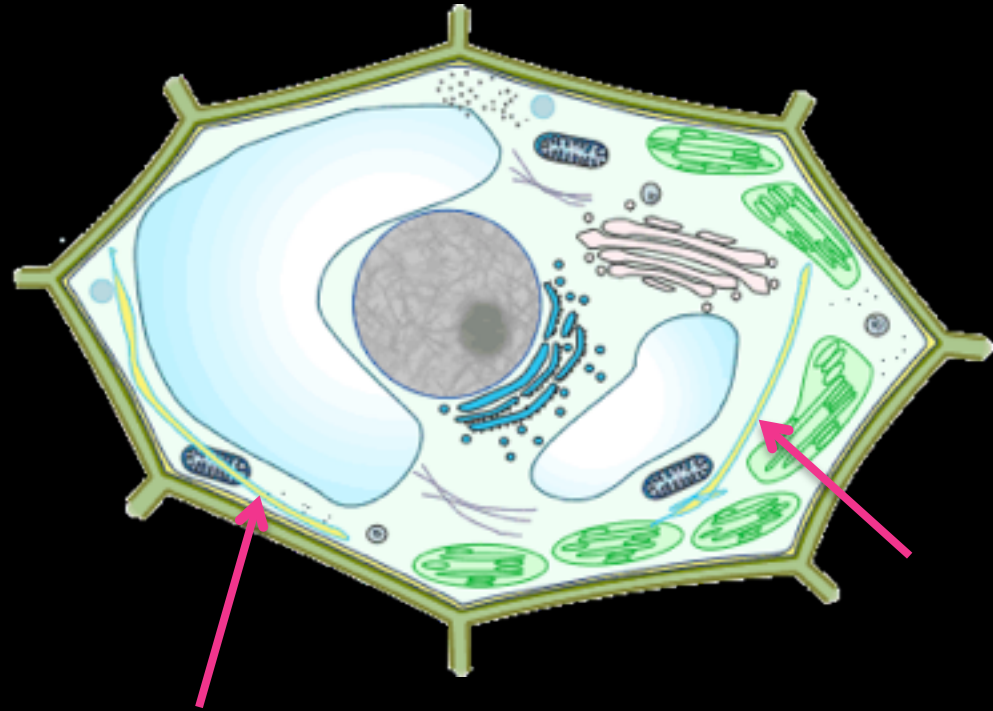


Les cytosquelettes de tous les eucaryotes sont assez similaires (bien que des différences importantes existent entre les cellules animales et végétales)

### Cytosquelette des cellules animales



### Cytosquelette des cellules végétales



# Le cytosquelette des procaryotes

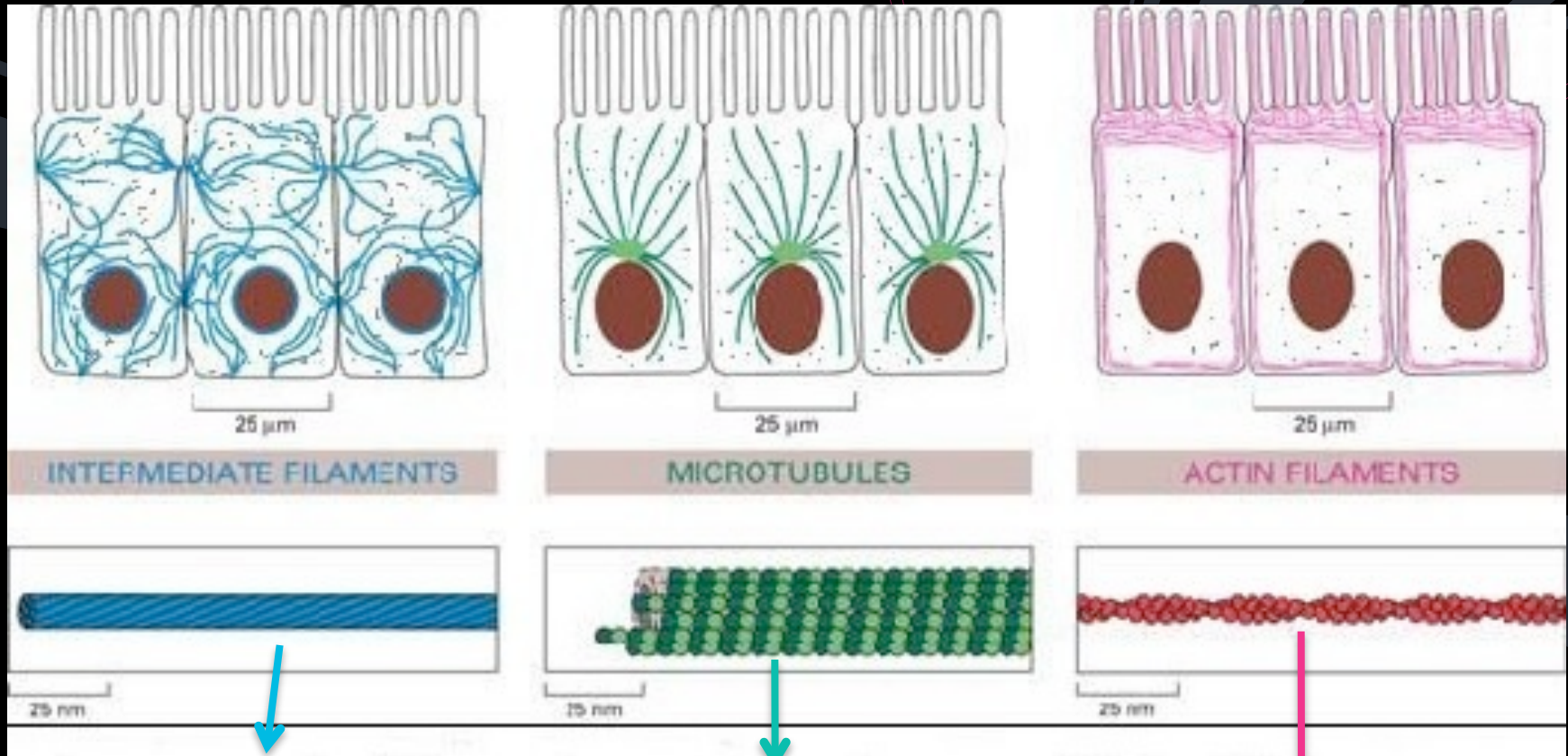
Récemment découverts chez les procaryotes, les cytosquelettes semblent organisés de façon tout à fait différente de ceux des eucaryotes.

Les travaux de certains chercheurs, notamment ceux de Rut Carballido-López et de son équipe, ont récemment mis en évidence la présence d'un **cytosquelette** chez les **procaryotes**.

Ces chercheurs ont découvert la **protéine Mreb**, homologue à la protéine d'actine, et de structure similaire, localisée sous la membrane et semblant jouer un rôle important dans la structure et la forme cellulaire.

# II- Composition et Structure globale du cytosquelette

Le cytosquelette des eucaryotes est formé de **trois structures** filamenteuses bien définies qui forment ensemble un **réseau interactif** élaboré :



**Fibres résistantes**  
(diverses **protéines** de  
structure semblable)

composés d'une  
protéine, la  
**tubuline**

sont formés  
d'**actine**

# Structure globale du cytosquelette

- Microtubules : Tubuline
- Filaments intermédiaires: fibres protéiques de structure semblable
- Microfilaments: filaments d'actine

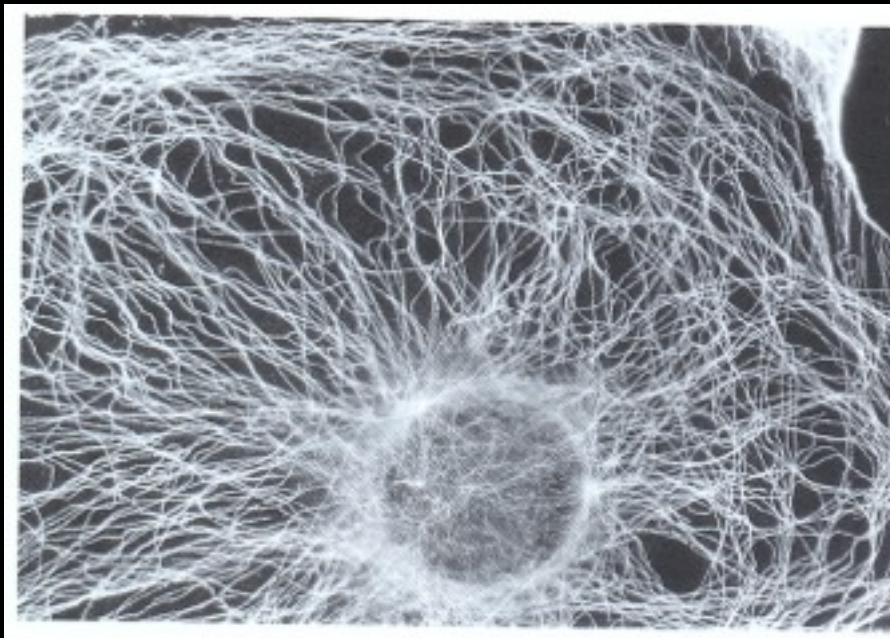
Ces filaments protéiques sont **unis** à :

- des protéines motrices qui organisent les fibres du cytosquelette et à,
- des protéines associées qui interviennent dans la réalisation de l'organisation structurale des fibres du cytosquelette.

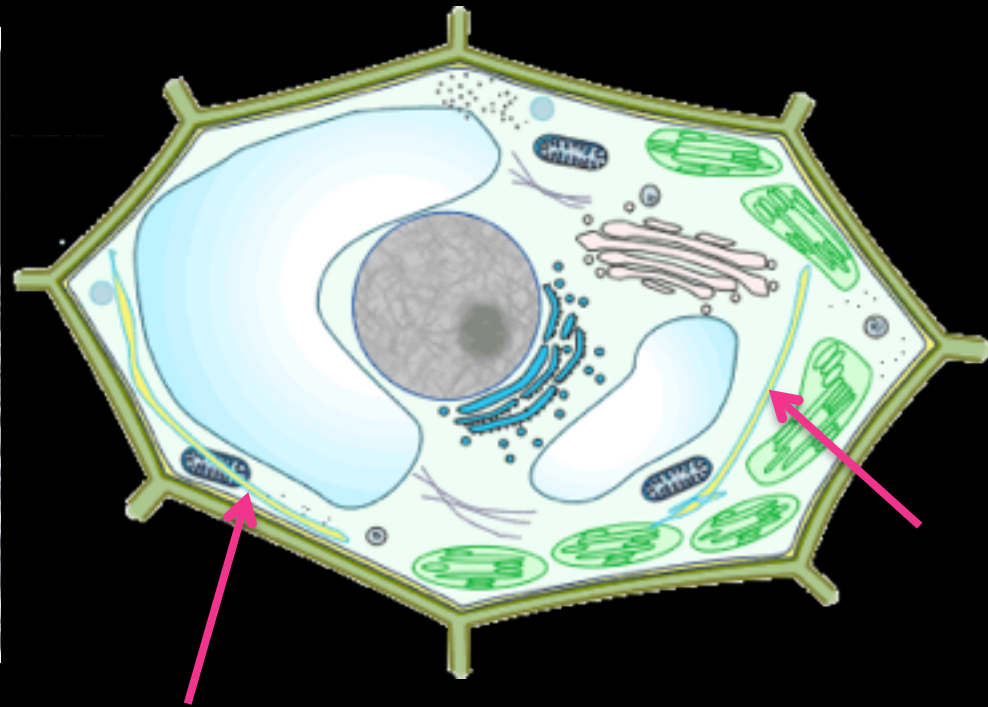


Chez les **végétaux**, la forme de la cellule étant principalement définie par l'interaction pression osmotique/résistance de la paroi, on constate une moindre importance du cytosquelette : absence de microfilaments d'actine et de filaments intermédiaires (sauf au niveau du noyau).

Seul le réseau de **microtubules** est **développé**. Il est plaqué contre la membrane (Fig. 7) et on pense qu'il intervient dans le sens de synthèse des fibres de cellulose de la paroi squelettique

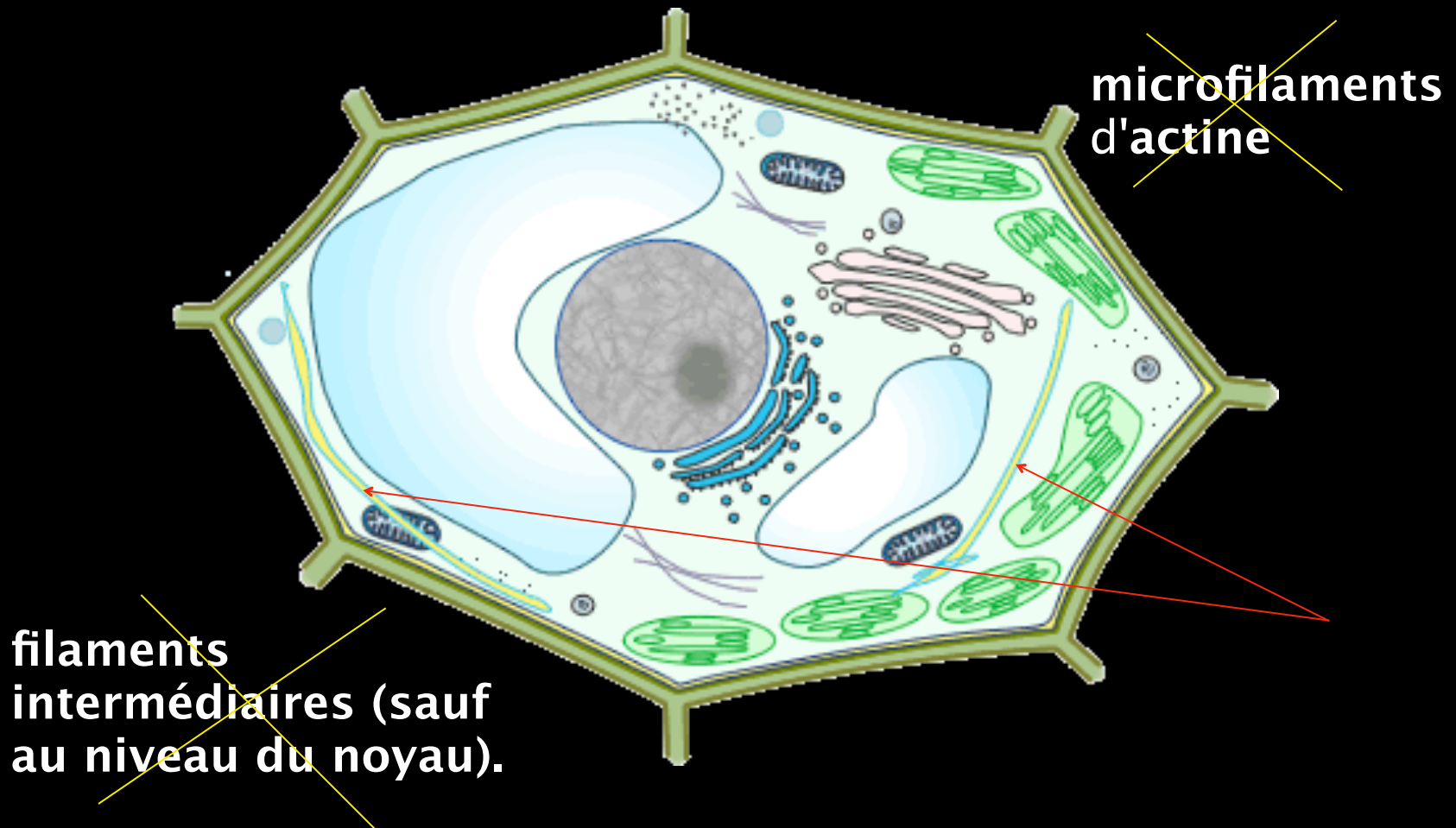


Cytosquelette des cellules animales



Cytosquelette des cellules végétales

Chez les végétaux, la forme de la cellule étant principalement définie par l'interaction pression osmotique/résistance de la paroi, on constate une moindre importance du cytosquelette : → →





## Filaments intermédiaires

## Fonctions du cytosquelette

(1) Structure et support

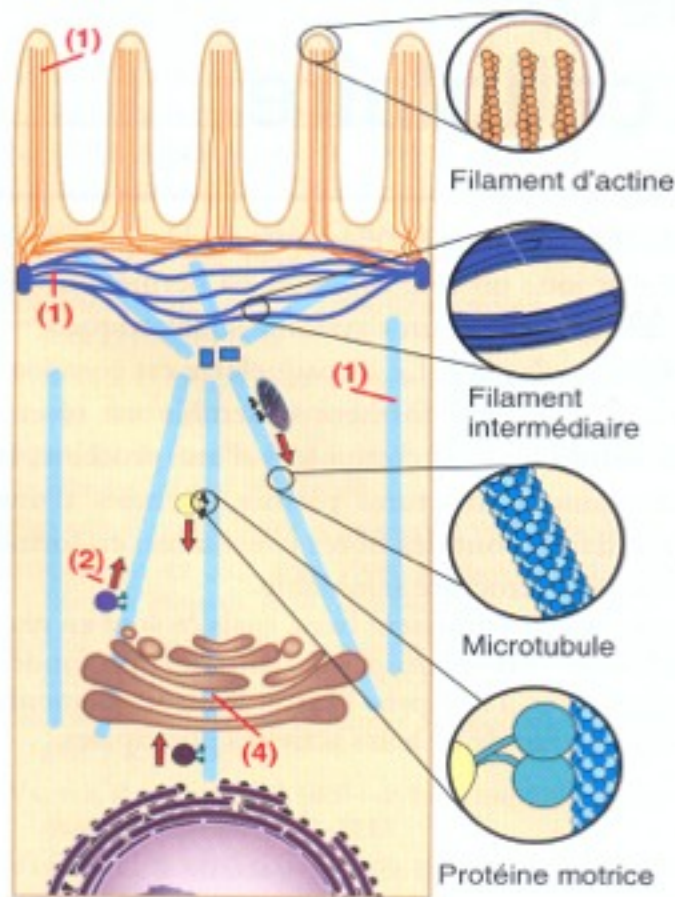
(2) Transport intracellulaire

(3) Contractilité et motilité

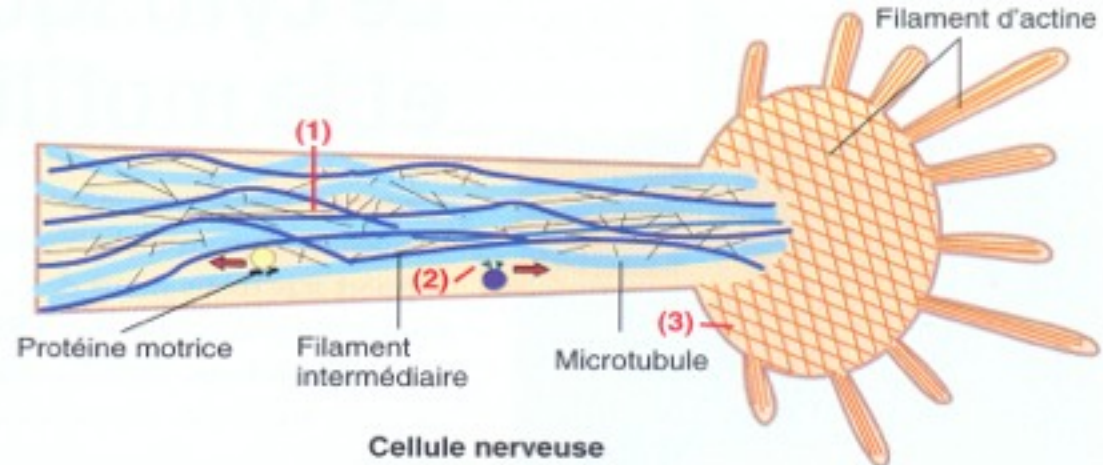
(4) Organisation spatiale

(1) **Filament d'actine**

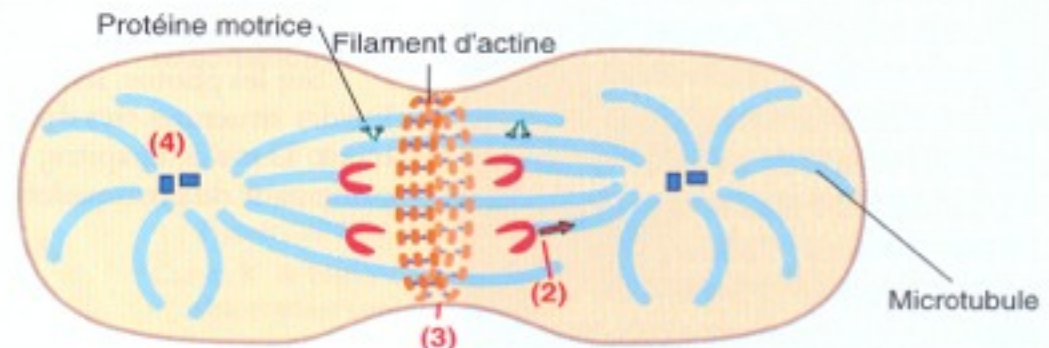
(2) **Microtubules**



(a) Cellule épithéliale



(b)



(c)

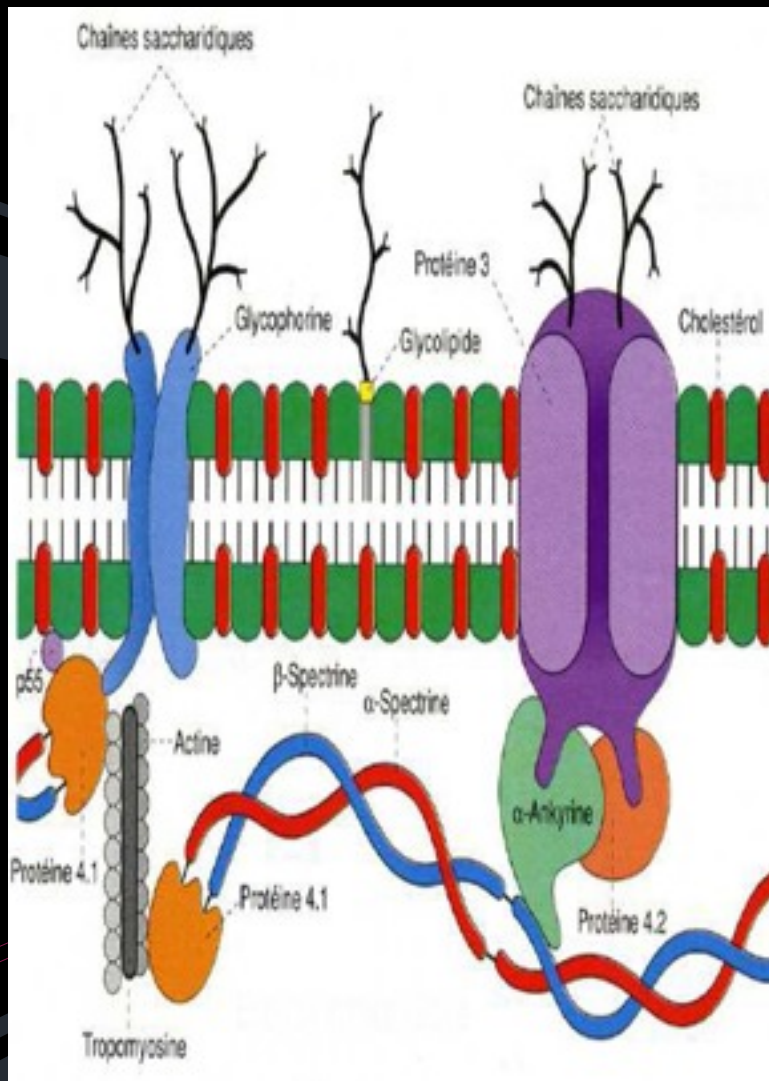
Cellule nerveuse

Cellule en division

**Figure 9.1** Aperçu général de la structure et des fonctions du cytosquelette. Représentation schématique (a) d'une cellule épithéliale, (b) d'une cellule nerveuse et (c) d'une cellule en division. Les microtubules des cellules épithéliale et nerveuse servent surtout de soutien et de moyen de transport pour les organites, tandis que la cellule en division produit le fuseau mitotique indispensable à la

ségrégation des chromosomes. Les filaments intermédiaires apportent un soutien structural aux cellules épithéliale et nerveuse. Les microfilaments supportent les microvillosités de la cellule épithéliale et font partie intégrante du mécanisme impliqué dans l'élongation de la cellule nerveuse et dans la division cellulaire.

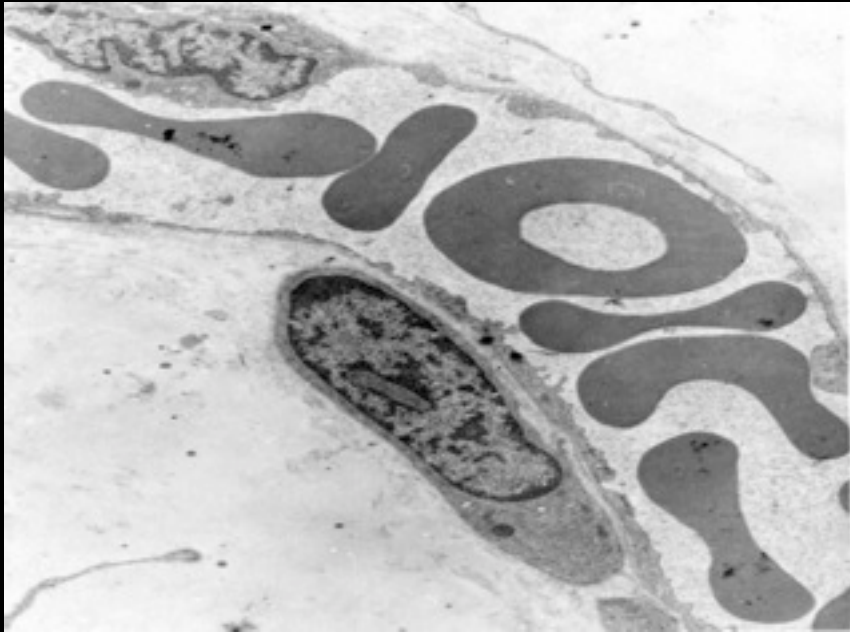
# Cytosquelette sous-membranaire de l'hématie



**Cytosquelette ancré à la membrane plasmique par plusieurs protéines**



# Rôle du cytosquelette de l'hématie



- Maintien de la forme discoïdale biconcave
- Plasticité des hématies
- Déformation des hématies dans la lumière des capillaires de 4  $\mu\text{m}$  de  $\varnothing$

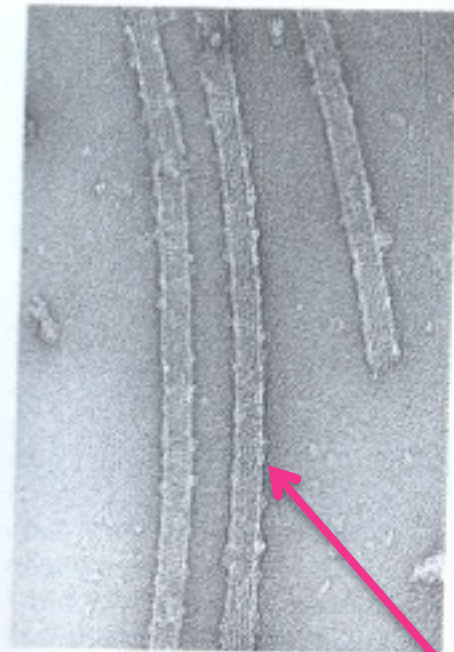
# II-4- Les microtubules

## II-4-1- Structure et composition

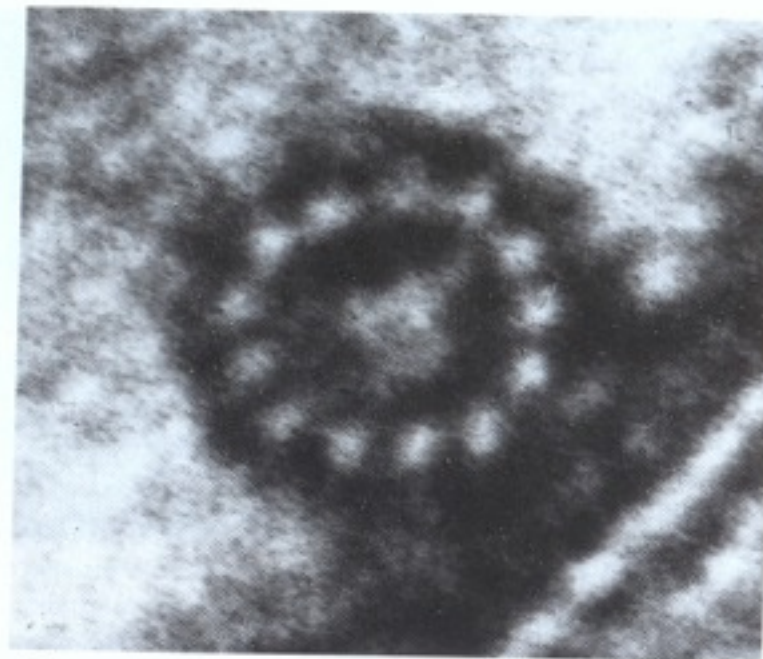
= **Structures cylindriques creuses** présentes dans presque toutes les cellules eucaryotes.

- ➡ Diamètre d'environ 24 nm,
- ➡ Paroi épaisse d'environ 5nm
- ➡ Longueur peut atteindre la longueur ou la largeur d'une cellule.

La **paroi** du microtubule est composée de **protéines tubulaires** disposées en rangées longitudinales = **protofilaments**, alignés parallèlement au grand axe du tubule (Fig. 8.9a).



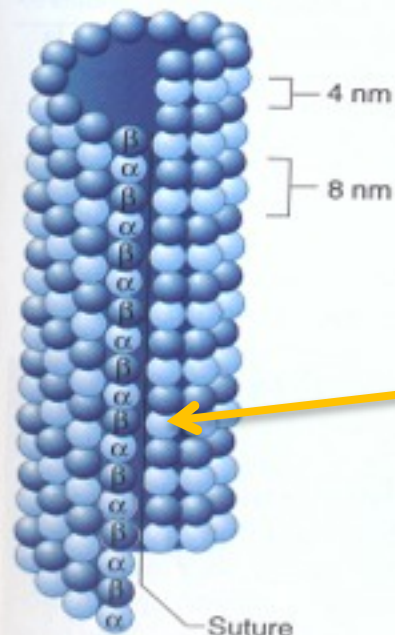
(a)



(b)



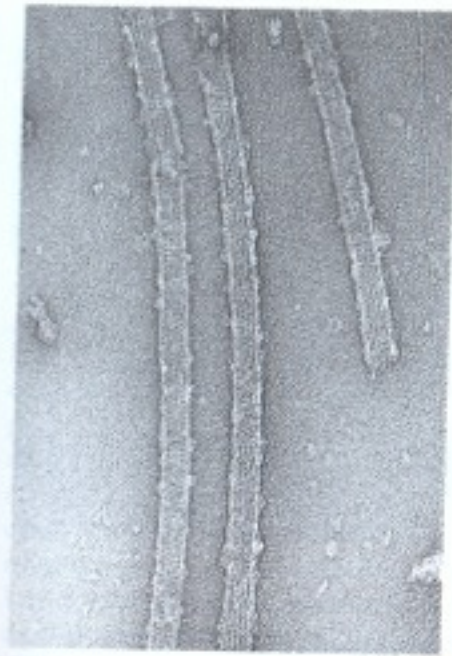
(c)



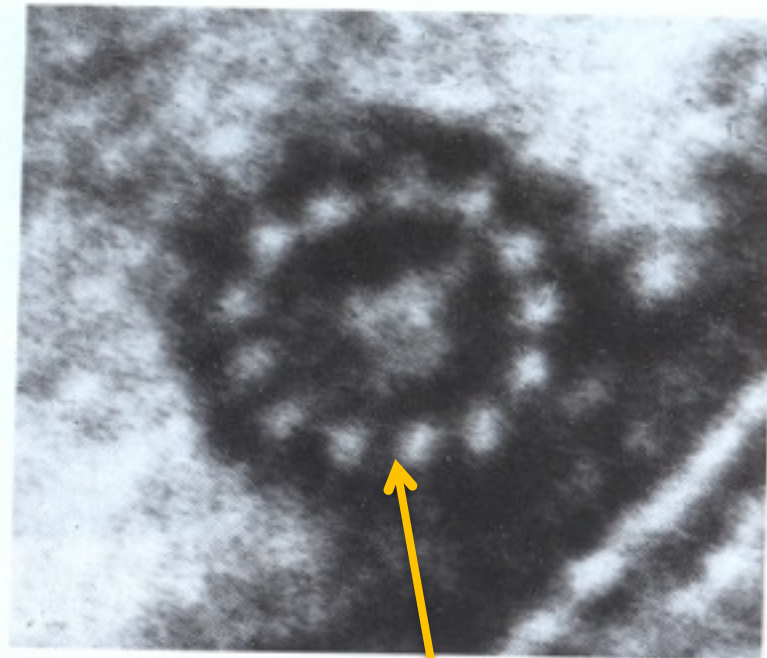
(d)

La **paroi** du microtubule est composée de **protéines tubulaires** disposées en rangées longitudinales = **protofilaments**, alignés parallèlement au grand axe du tubule (a,d).

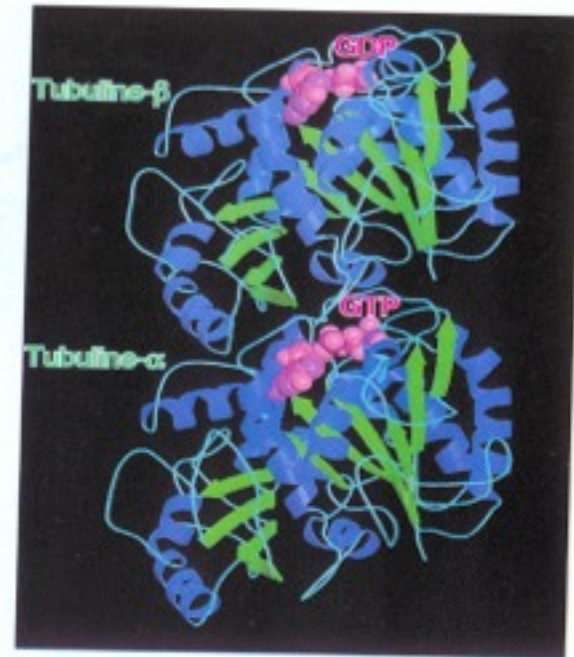




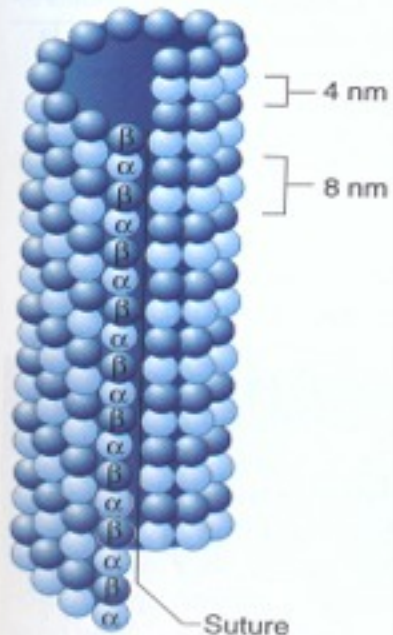
(a)



(b)

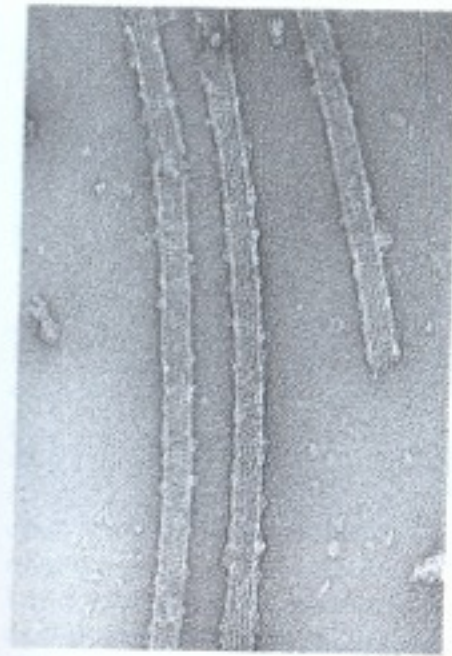


(c)

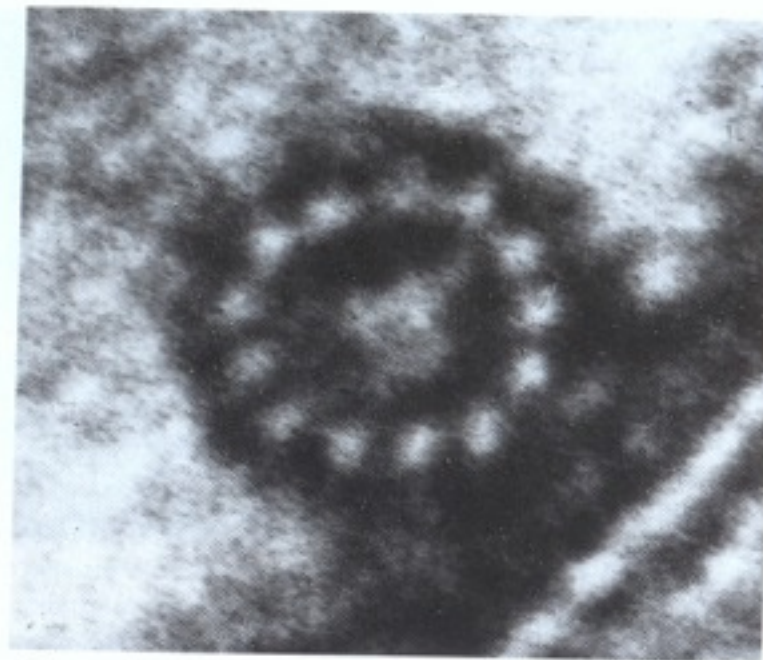


(d)

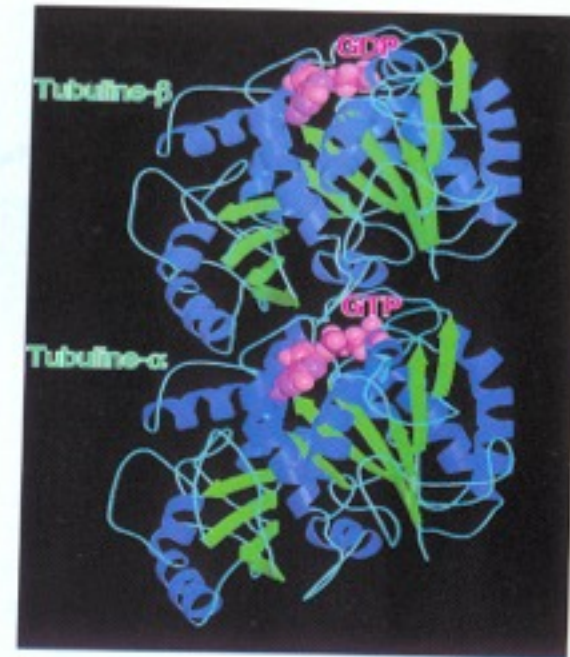
En coupe transversale,  
les microtubules montrent  
**13 protofilaments** disposés en  
cercle dans la cellule (b).



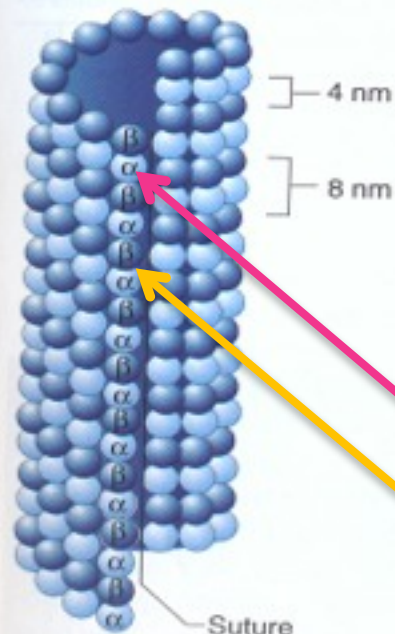
(a)



(b)



(c)



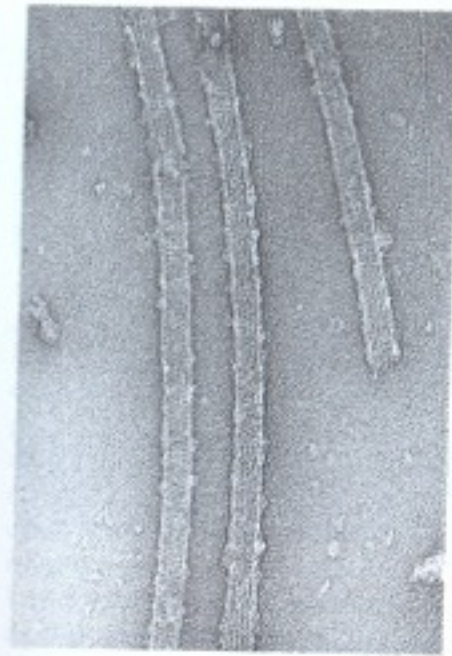
(d)

Chaque **protofilament** est lui-même constitué de deux hétérodimères de **tubuline** :

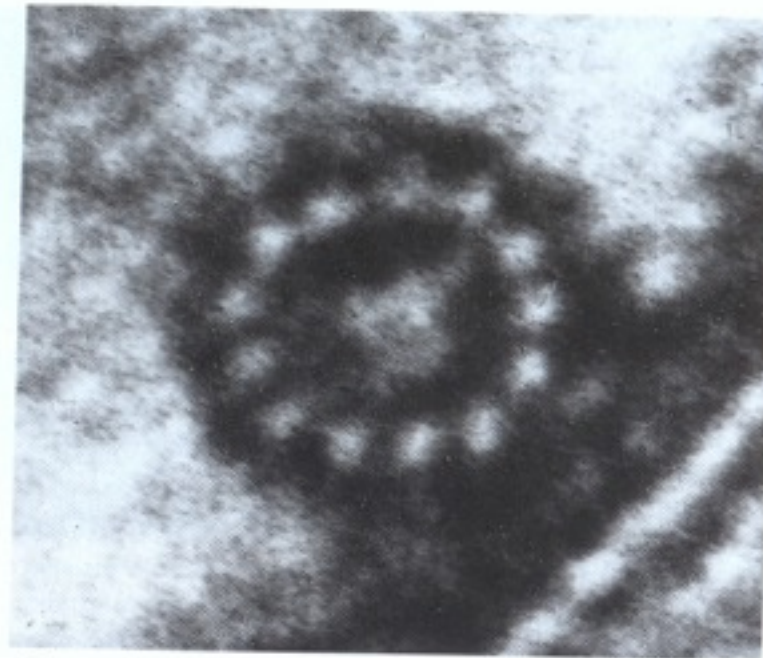
- tubuline-alpha  $\alpha$
- tubuline-beta  $\beta$

reliés par des liaisons non-covalentes.





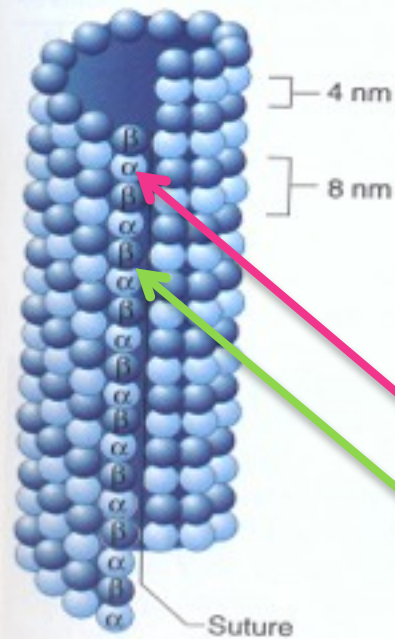
(a)



(b)



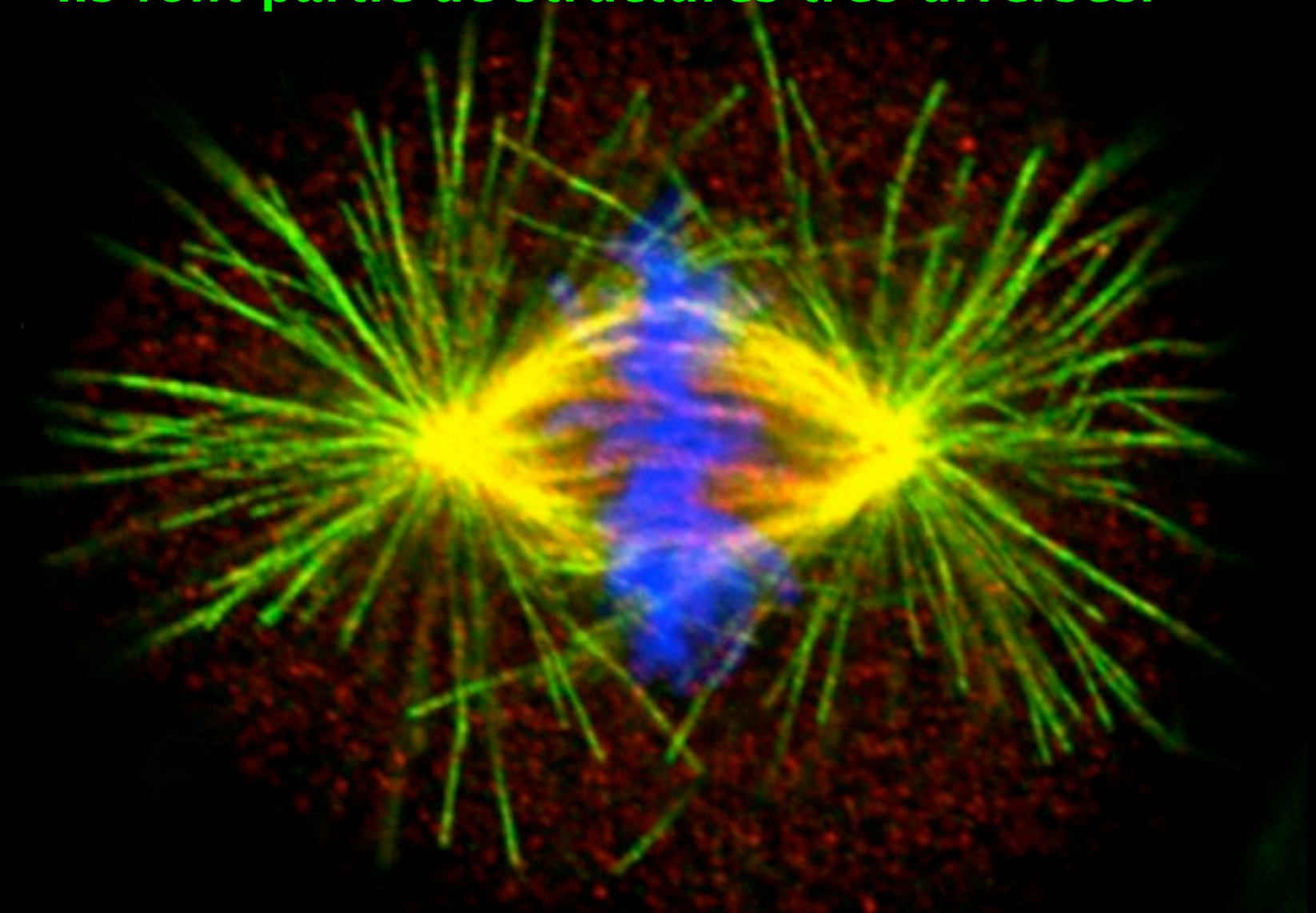
(c)



(d)

Les deux sous-unités de tubuline ont la même structure tridimensionnelle, s'adaptent l'une à l'autre (c) et sont réparties linéairement le long des protofilaments (d).

**Ils font partie de structures très diverses:**



**Le fuseau achromatique d'une cellule en division**

**Ils font partie de structures très diverses:**

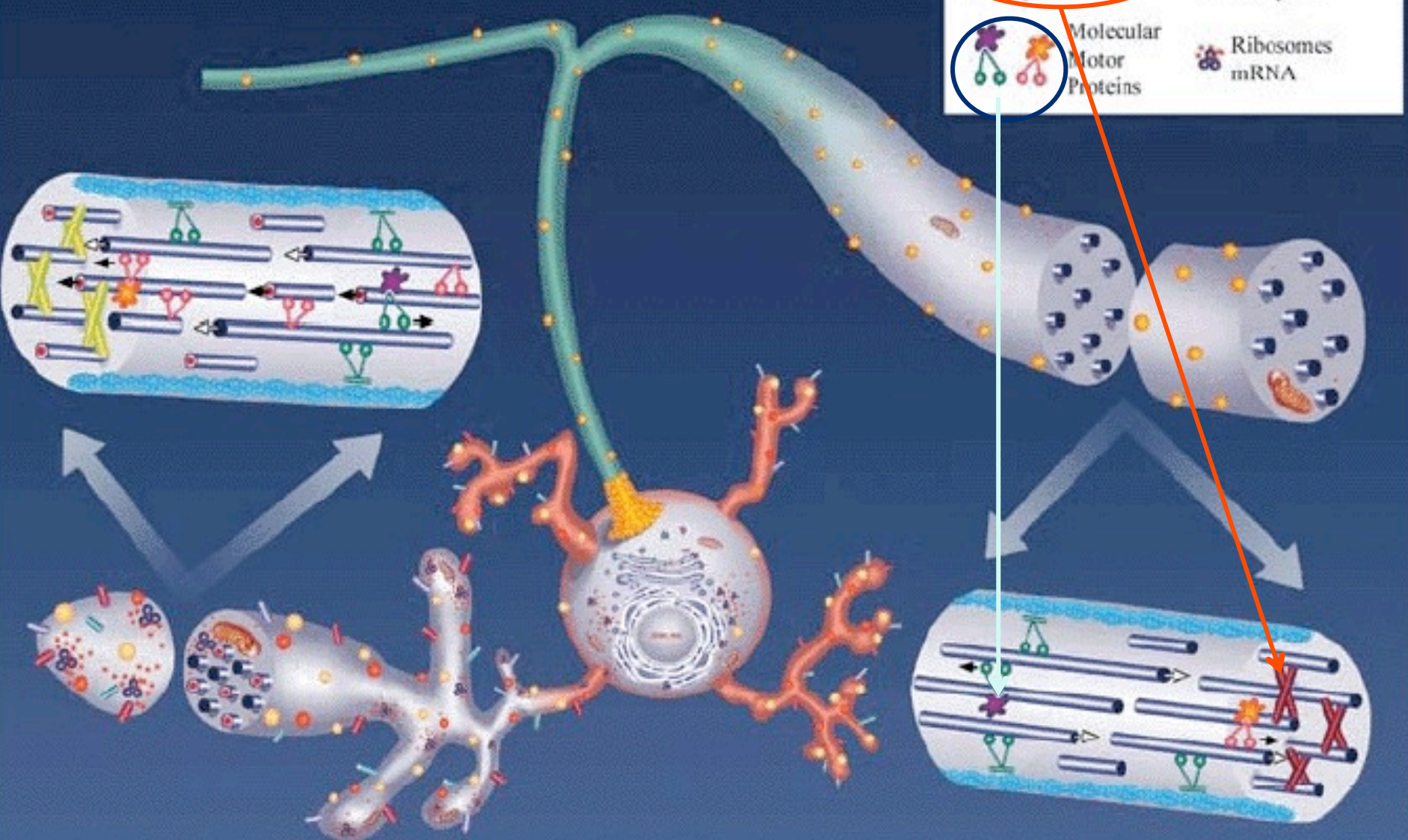
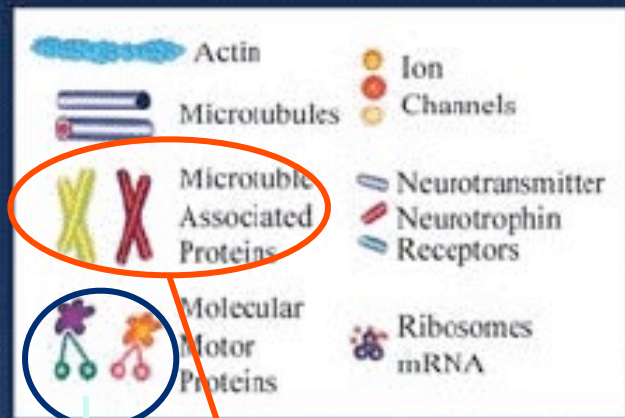


**L'axe des cils et flagelles.**



## II-4-2- Les protéines associées

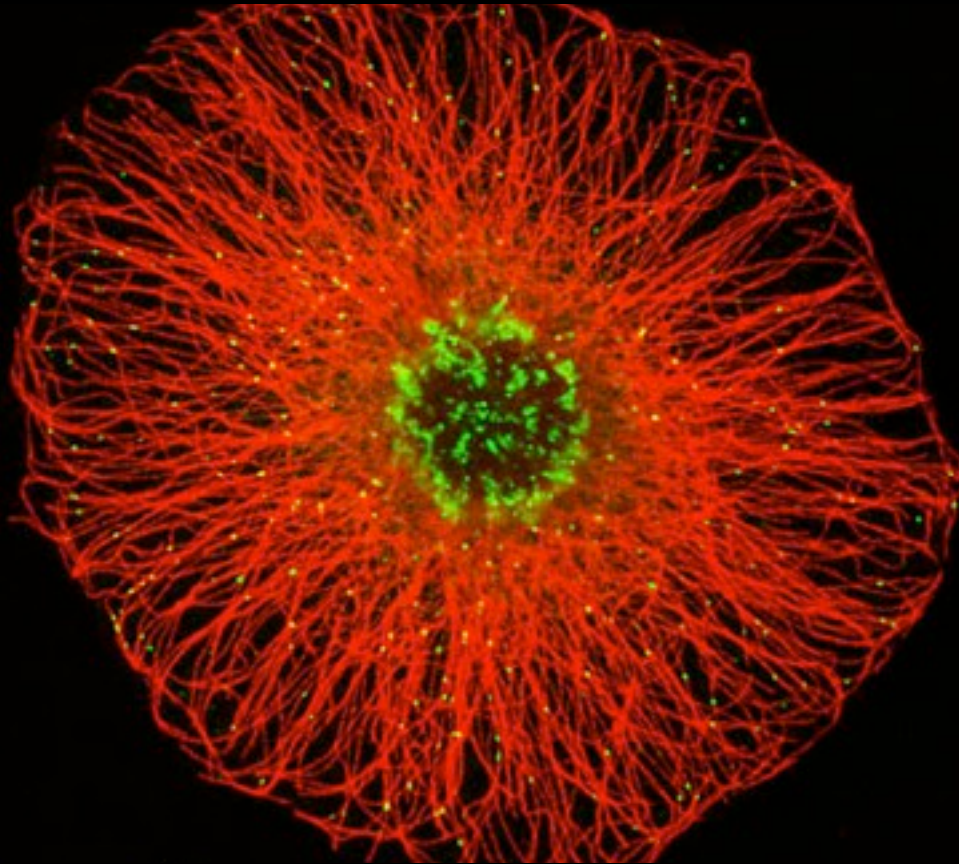
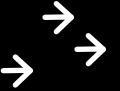
- Il existe des **protéines associées aux microtubules** ou **MAP**, les unes ont un rôle dans la stabilisation des microtubules, les autres sont spécialisées dans le mouvement des vésicules et des organites le long des microtubules ; ce sont des ATPases :
  - Les kinésines et,
  - Les dynéines qui transportent des vésicules dans des sens opposés.





## II-4-3- Rôle des microtubules

### II-4-3-1- Les microtubules = supports structuraux

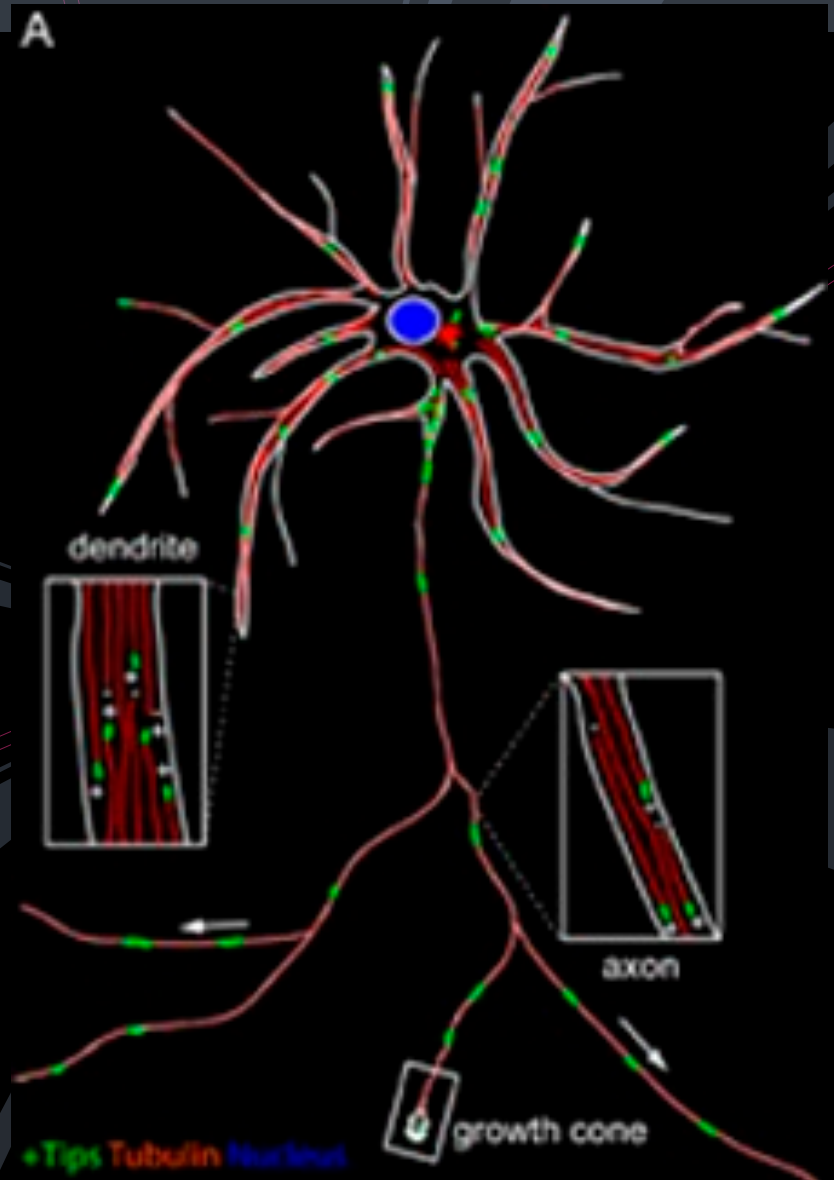


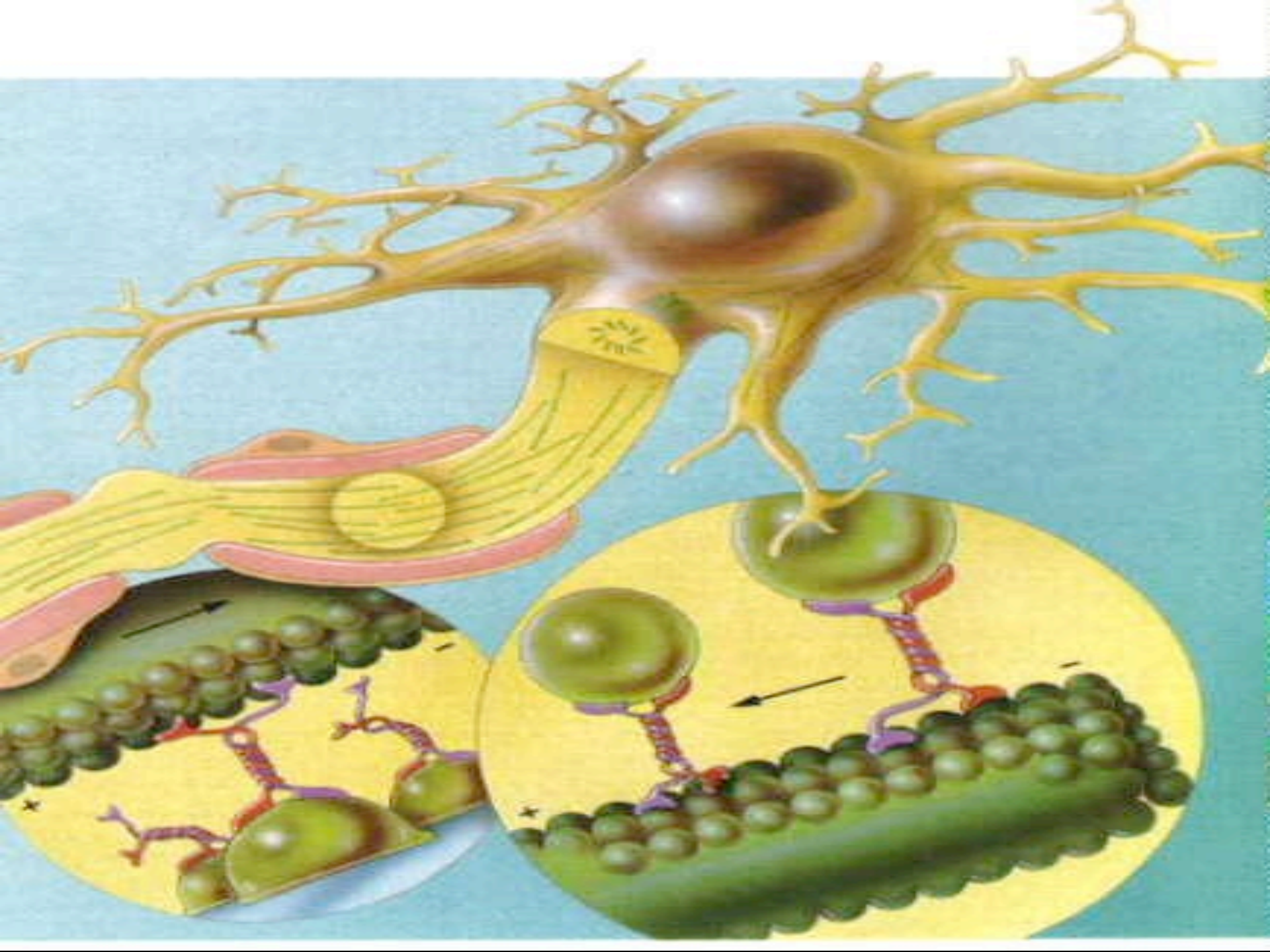
La **répartition** des microtubules est généralement en rapport avec la **forme** de la cellule.

## II-4-3-2- Rôle des microtubules dans le transport cytoplasmique

Les déplacements cellulaires se font avec la concurrence entre:

- Les microfilaments d'actine et
- les microtubules.







# II-4-3-3- Rôle des microtubules dans la mobilité cellulaire

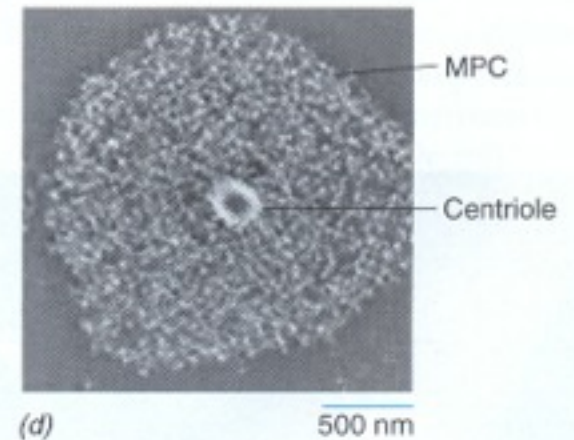
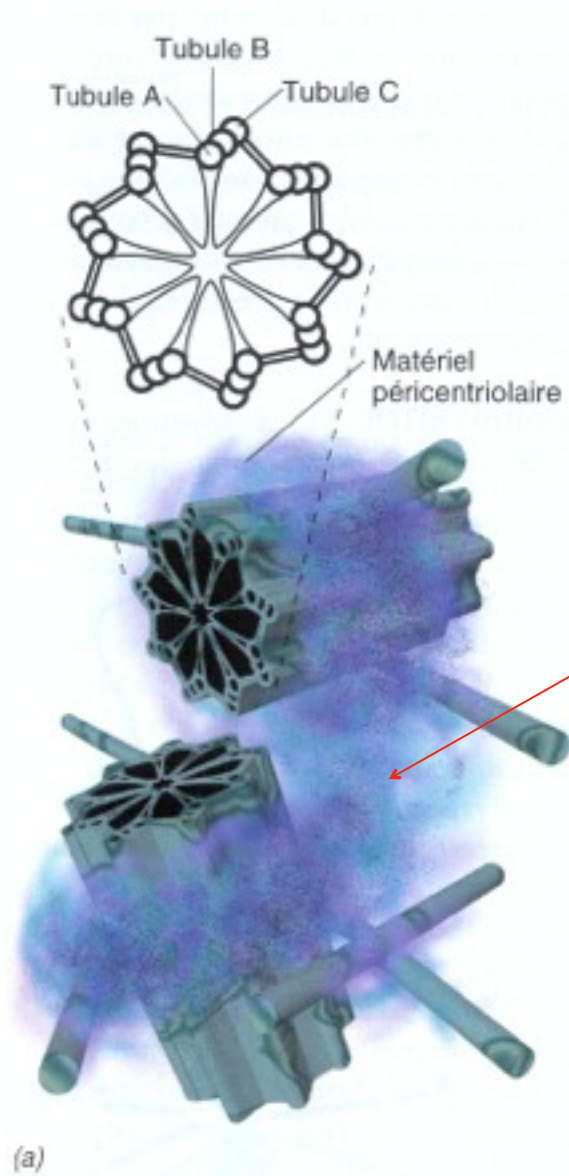
Spermatozoïdes



Protozoaire (Paramécie)

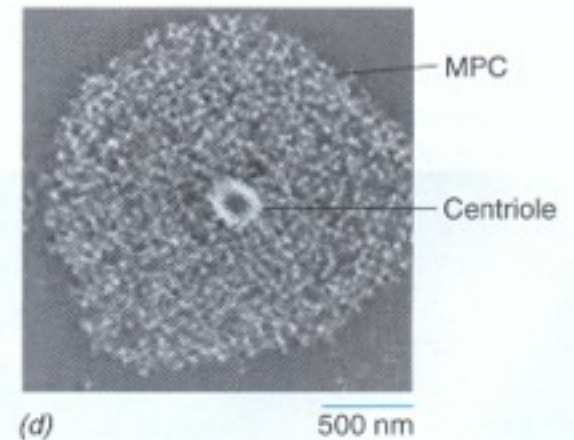
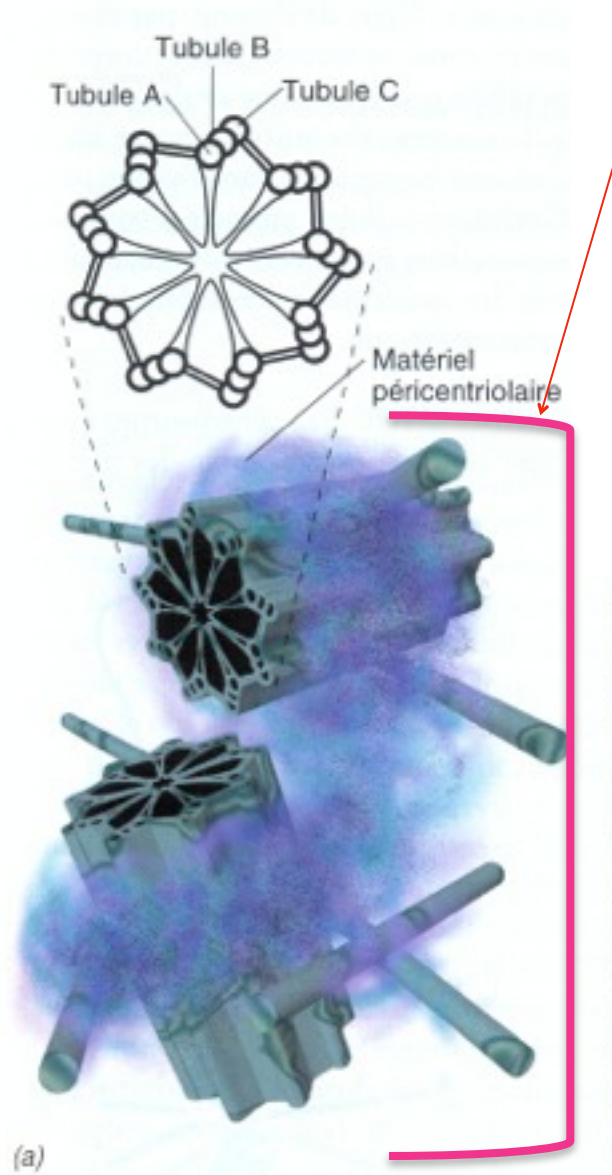


# II-4-4- Les centres organisateurs des microtubules

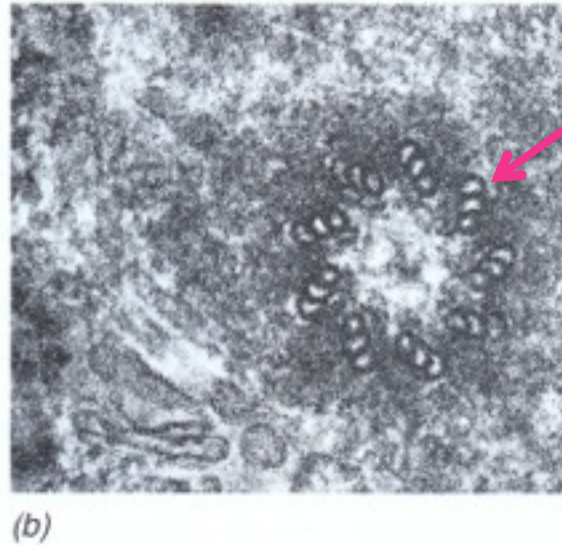
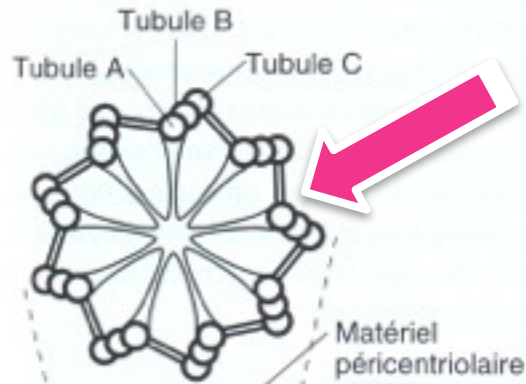




# II-4-4- Les centres organisateurs des microtubules

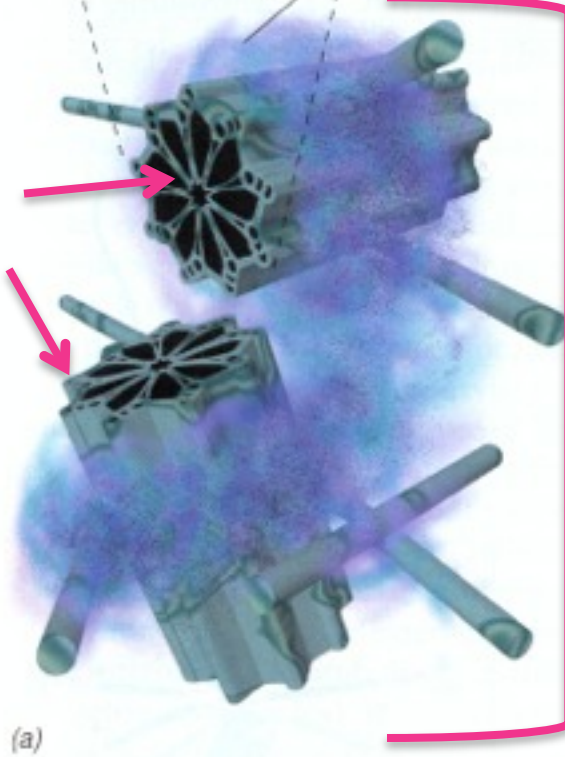


## II-4-4- Les centres organisateurs des microtubules



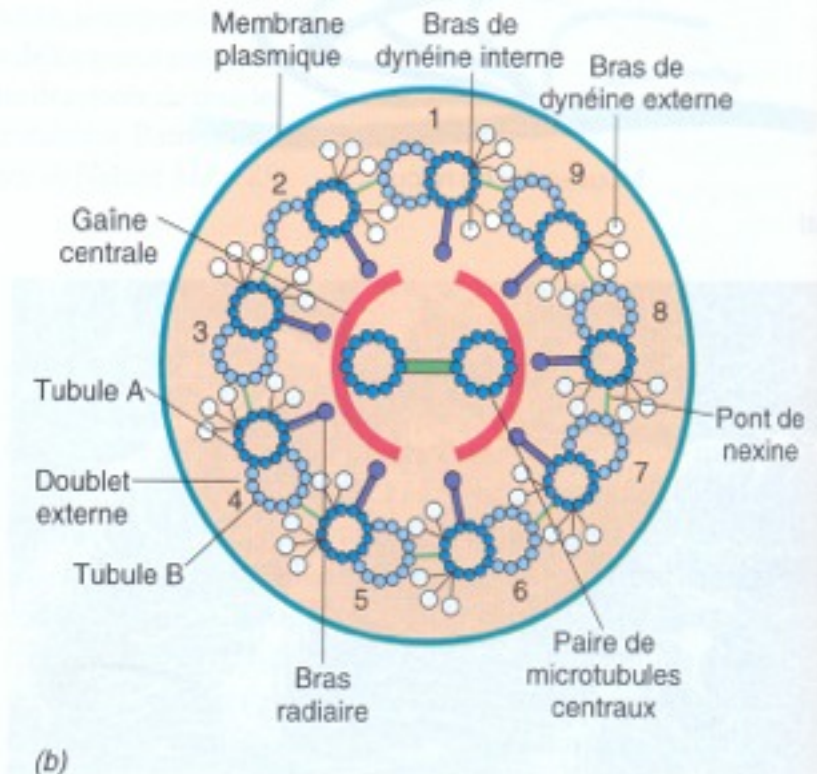
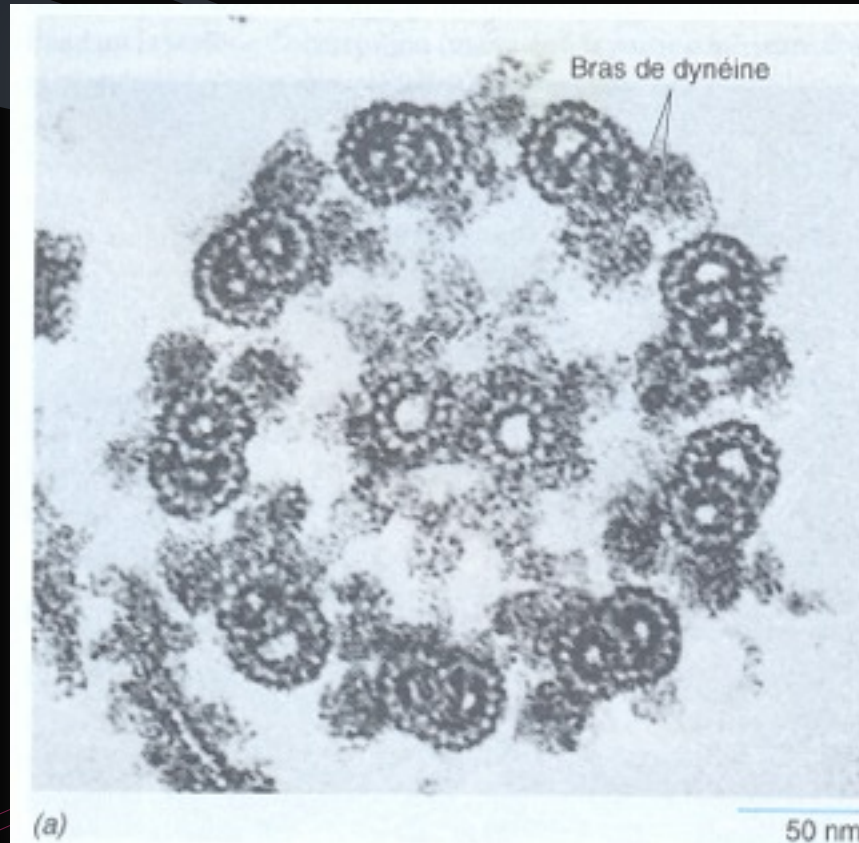
Un **centriole** est formé de 9 groupes de 3 microtubules.

Un système central et des rayons associent les différents groupes de microtubules.  
De plus, les microtubules internes sont reliés aux microtubules externes d'un autre groupe.



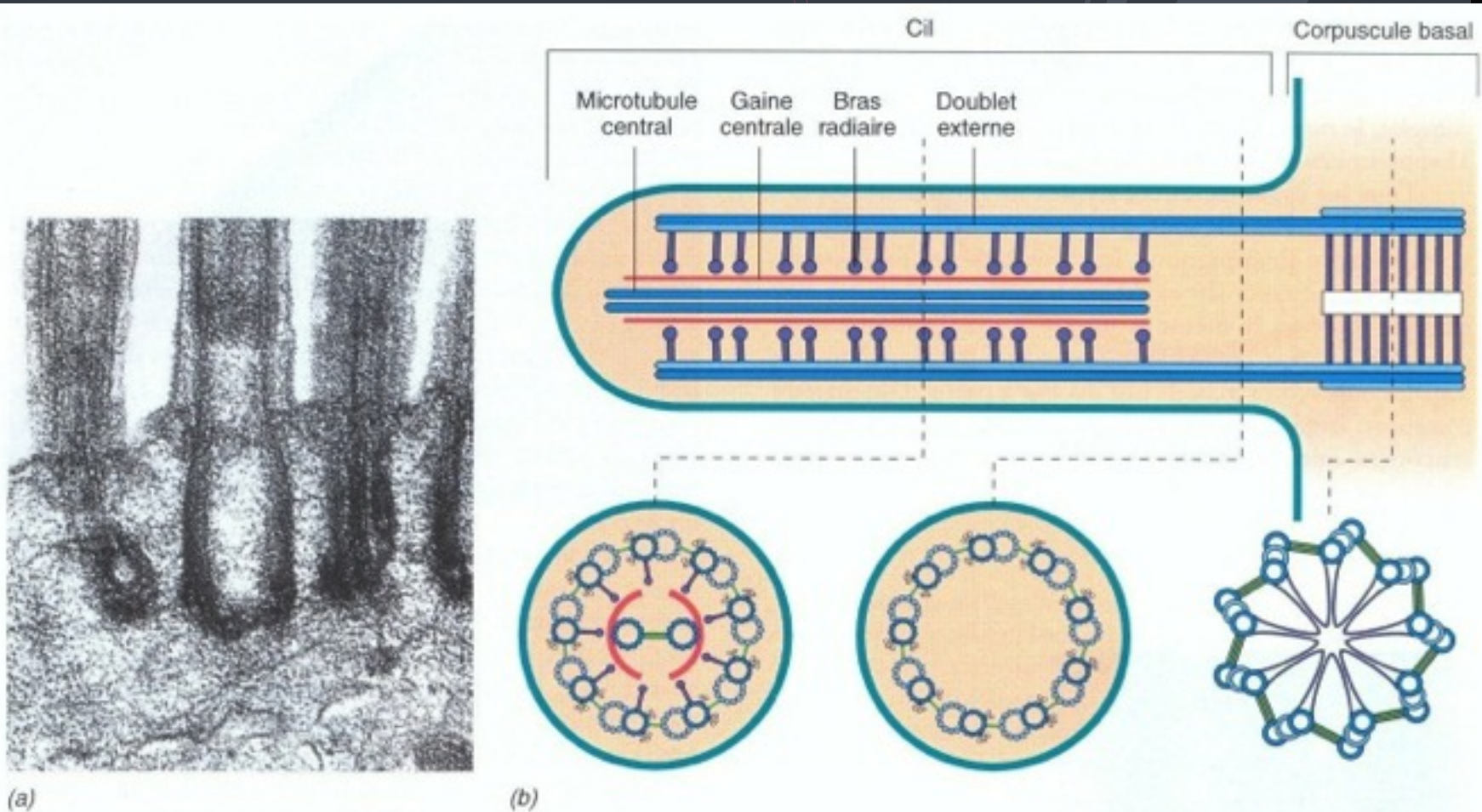
## II-4-5- Les cils et les flagelles

Au microscope électronique les **cils** et les **flagelles** eucaryotes apparaissent, en coupe transversale sous forme d'un arrangement caractéristique de type **9+2**, c'est à dire **9 doublets** de microtubules formant un cercle autour de **2 microtubules** centraux.





Le **centre organisateur** (corpuscule basal), est un arrangement 9+0.



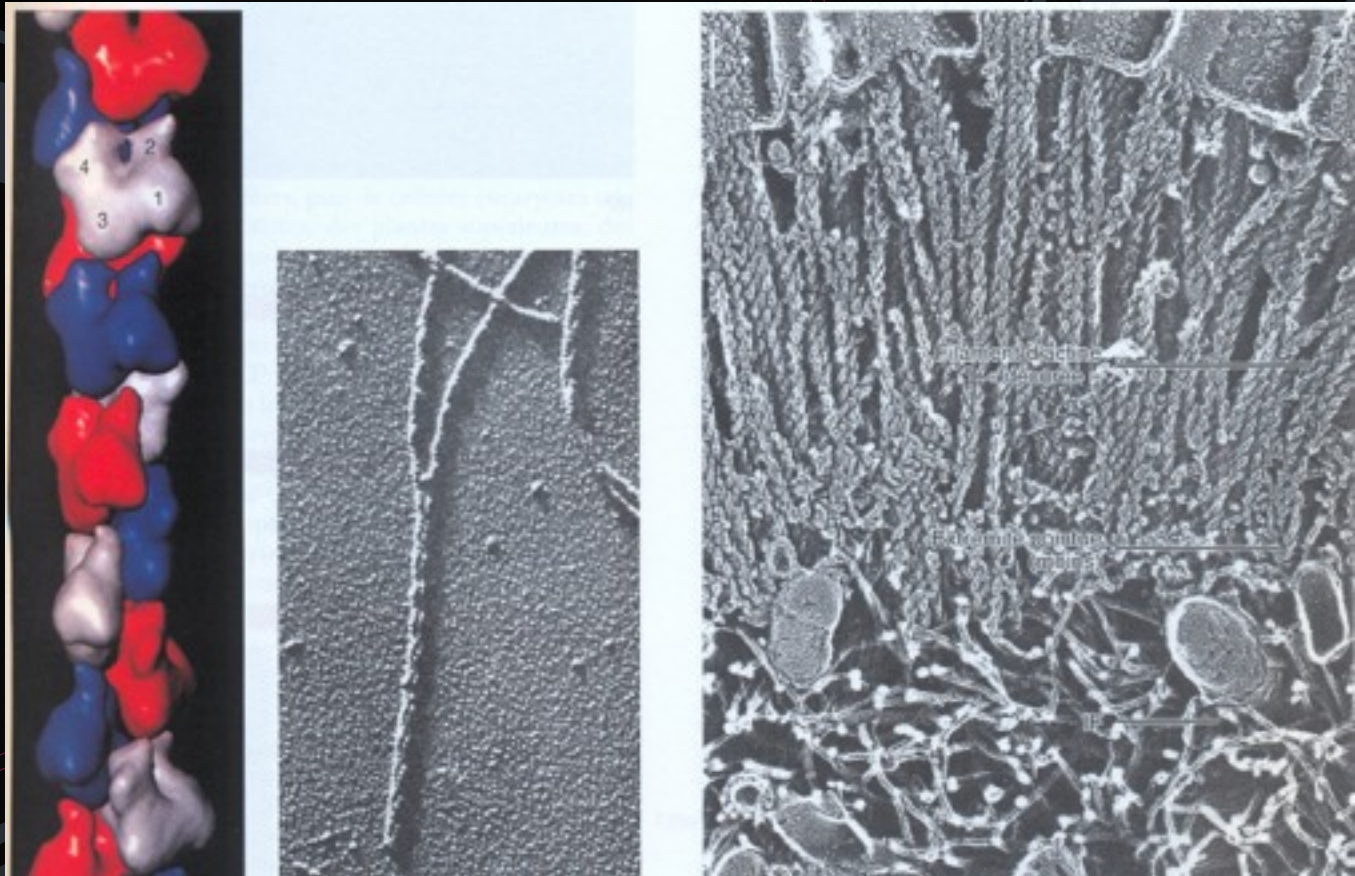
**Figure 9.33** Corpuscules de base et axonèmes de cils ou de flagelles. (a) Micrographie électronique d'une coupe longitudinale dans les corps de base de plusieurs flagelles à la surface apicale de cellules épithéliales d'un oviducte de lapin. (b) Schéma illustrant les

relations structurales entre les microtubules du corps de base et de l'axonème d'un cil ou d'un flagelle (a : Dû à l'obligeance de R. G. W. Anderson).



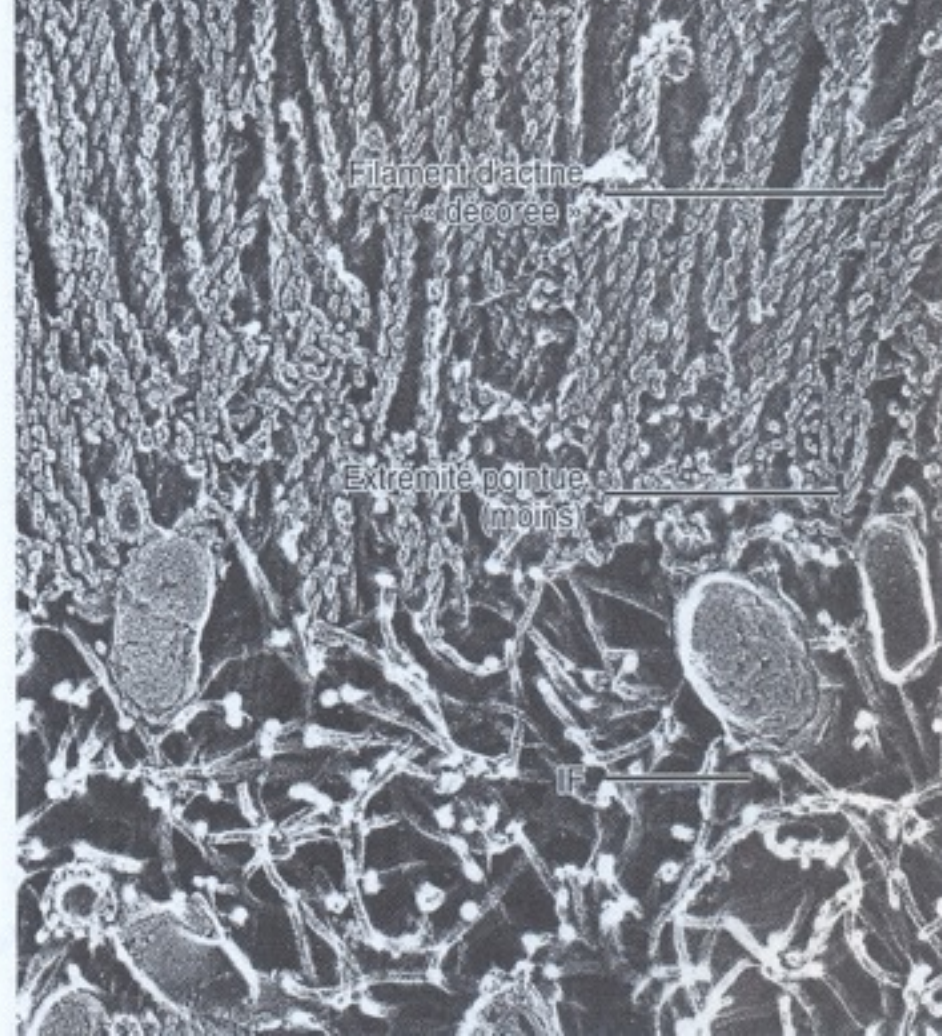
## II-1-2- Les microfilaments

Les microfilaments sont de minces structures pleines, formées de sous-unités globuleuses d'une protéine, l'actine. Ils sont appelés aussi de ce fait, filaments d'actine et sont retrouvés en grande quantité dans les fibres musculaires.



Ils ont un diamètre d'environ 8 nm, et leur longueur peut atteindre 17  $\mu\text{m}$ .

En présence d'ATP, les monomères d'actine se polymérisent pour former un filament rigide composé de deux brins enroulés l'un autour de l'autre en double hélice.

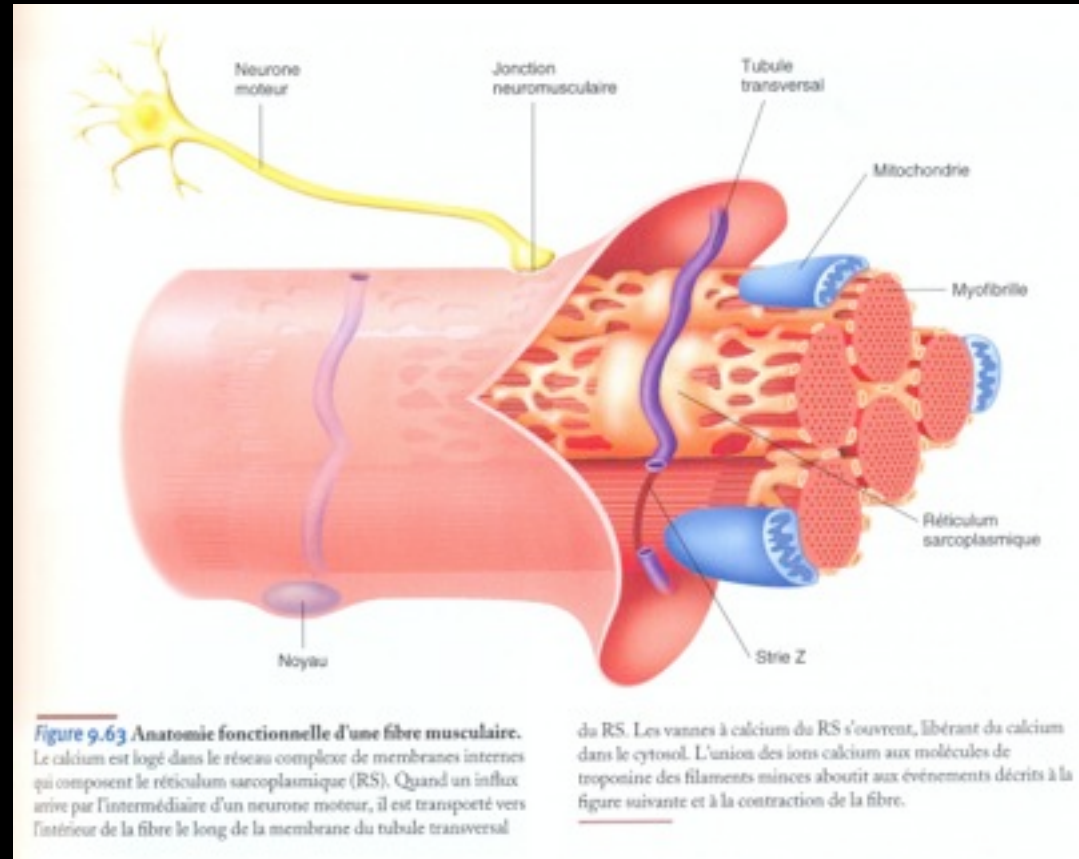
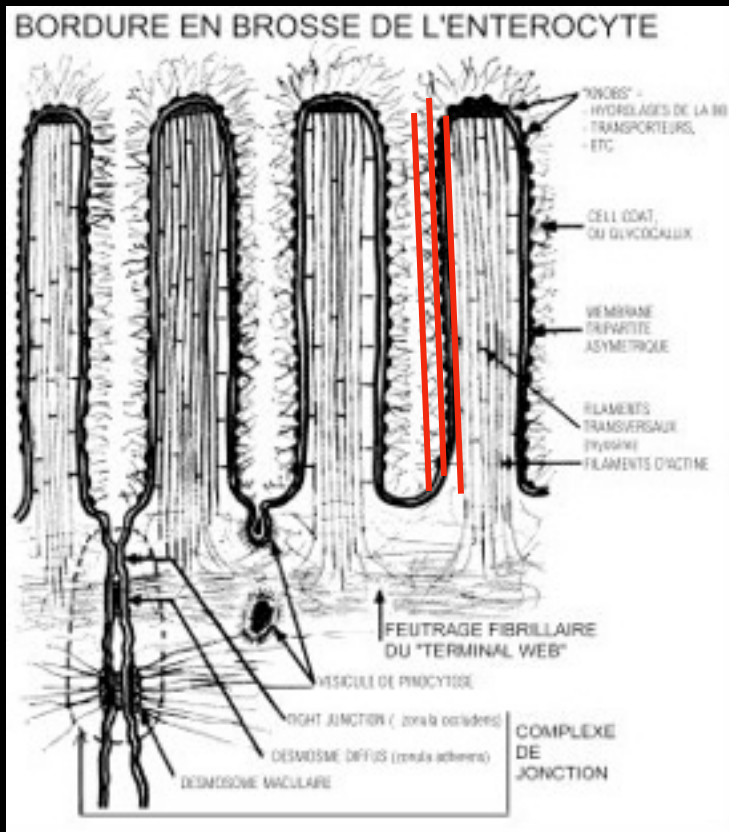




# Les microfilaments sont de deux types :

Les tonofilaments  
(Kératines constituant de fins filaments)  
(rigidité)

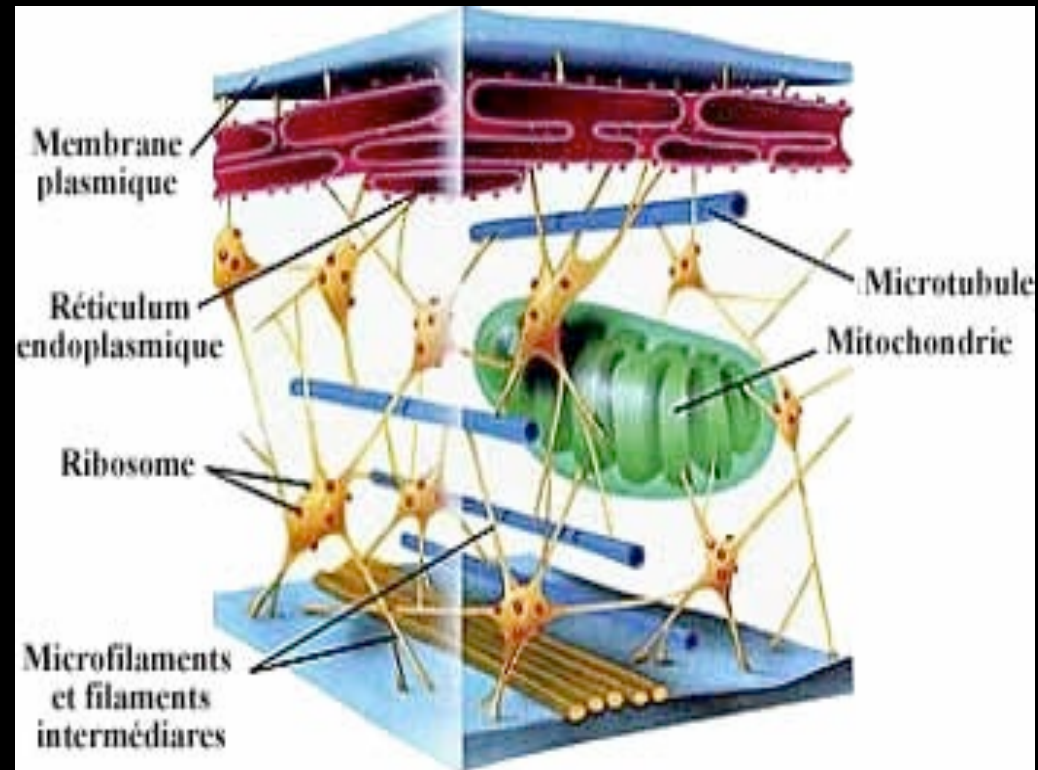
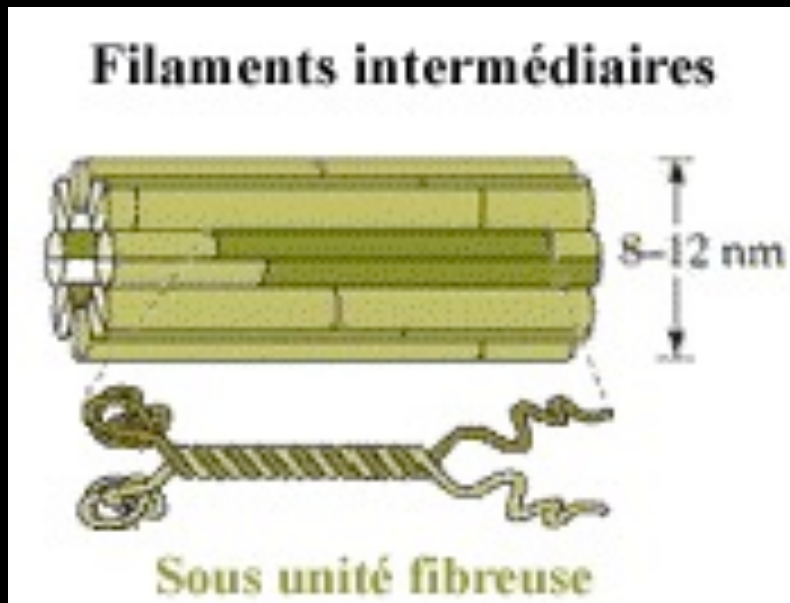
Les myofilaments  
(faisceaux de molécules de myosine ou d'actine)



## II-1-3- Les filaments intermédiaires

= polymères stables formés de **protéines fibrillaires** assemblées de façon hélicoïdale.

– Taille intermédiaire entre les **microfilaments** d'actine et les **microtubules**.



Maintien de la forme cellulaire & ancrage des organites.