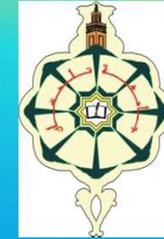


Université Aboubakr Belkaid  
Faculté SNV & STU  
Département de biologie



## Chapitre II de Biologie Cellulaire et Signalisation

# Le cytosquelette

Mme A. SAIDI

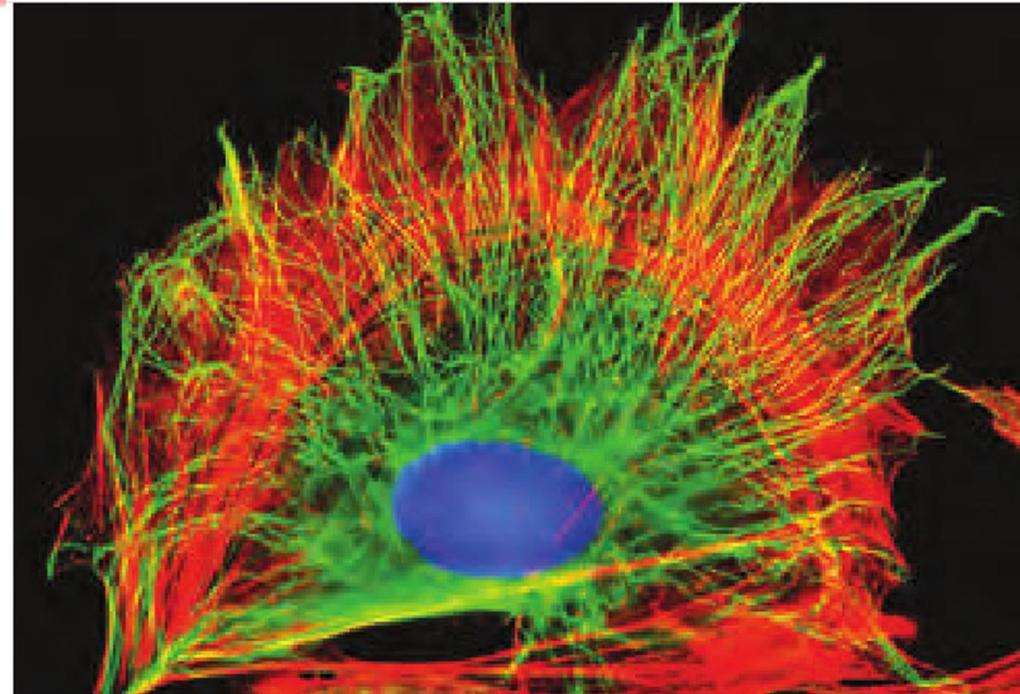
[amal.brikcinigassa@univ-tlemcen.dz](mailto:amal.brikcinigassa@univ-tlemcen.dz)

- **Eléments du cytosquelette**
  1. Les microtubules
  2. Les microfilaments
  3. Les filaments intermédiaires
- **Protéines associées aux éléments du cytosquelette**
- **Molécules affectant la polymérisation/dépolymérisation de certains éléments du cytosquelette**

# Le cytosquelette

**Les éléments qui constituent le cytosquelette**

1. **Les microtubules (MT)**
2. **Les microfilaments (MF)**
3. **Les filaments intermédiaires (FI)**

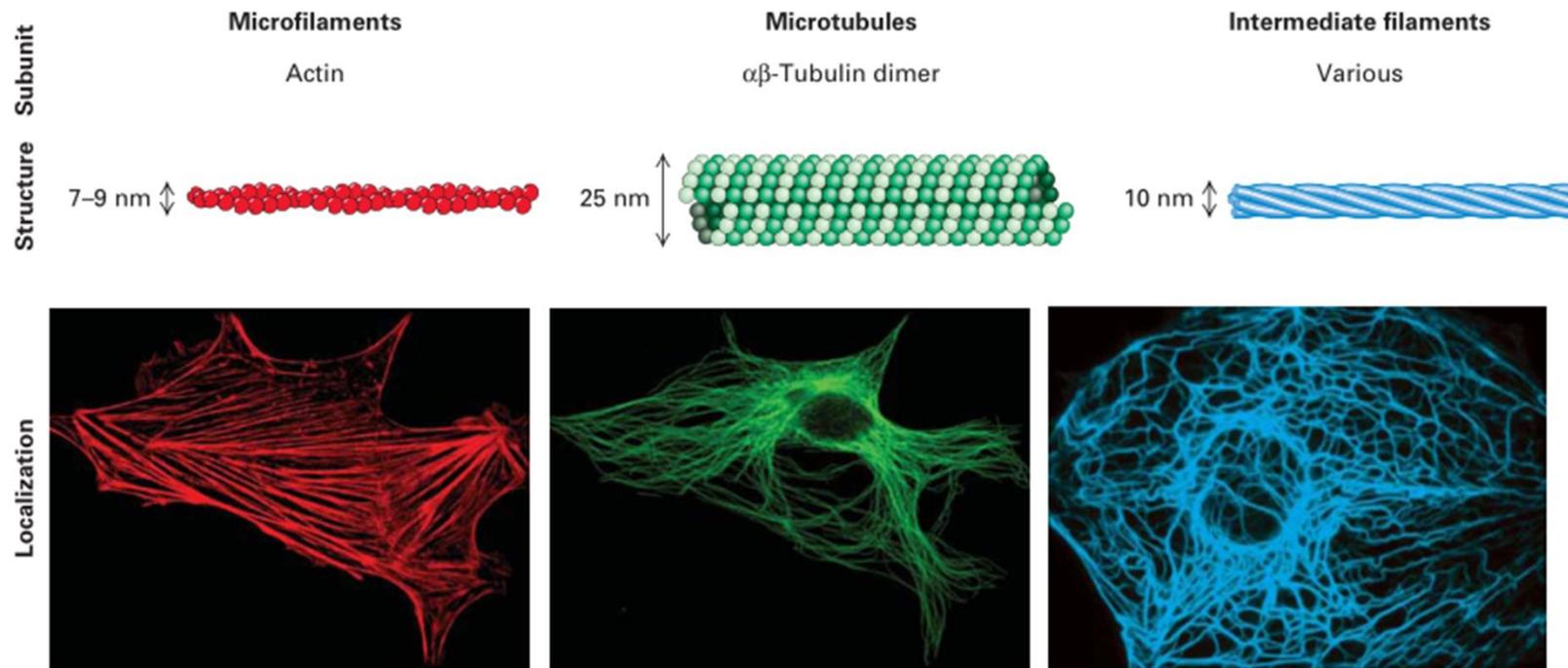


(A)

10  $\mu\text{m}$

## Les éléments du cytosquelette chez les eucaryotes

Le cytosquelette est un réseau protéique comportant trois types de filaments protéiques.



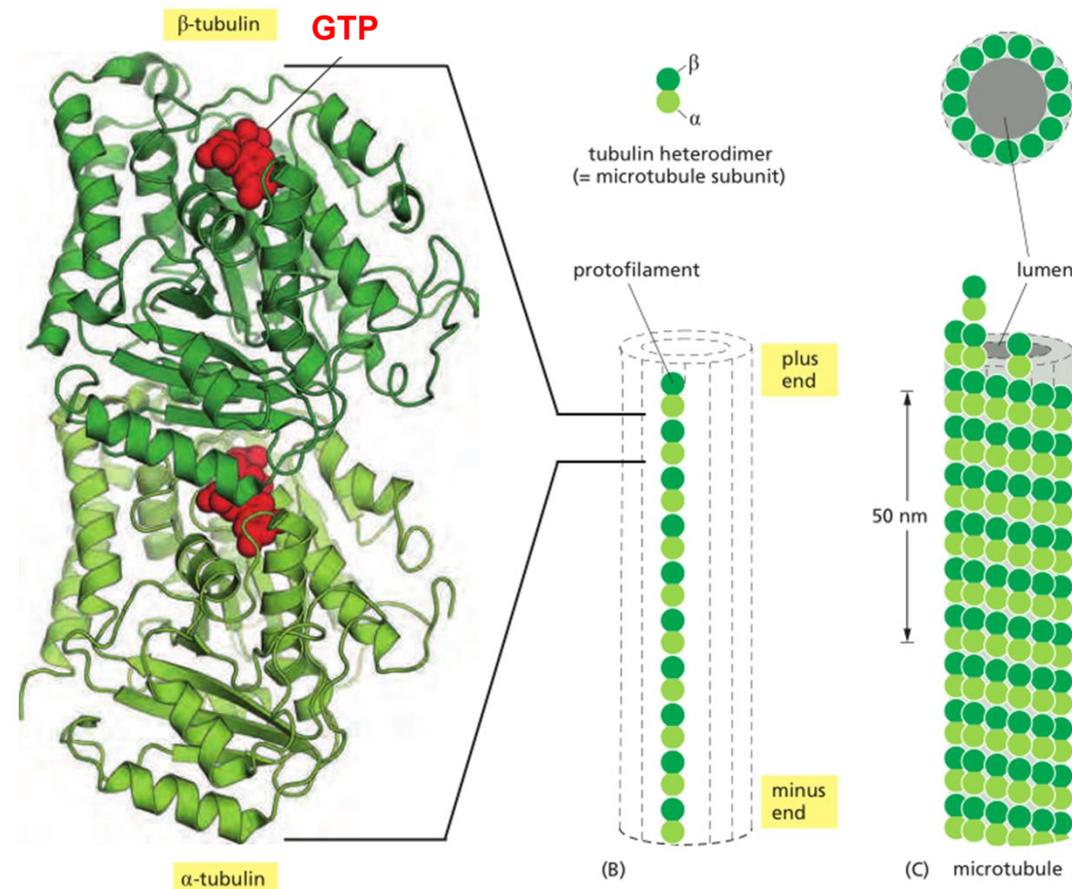
**FIGURE 17-2** The components of the cytoskeleton. Each filament type is assembled from specific subunits in a reversible process so that cells can assemble and disassemble filaments as needed. Bottom panels show localization of the three filament systems in cultured cells

as seen by immunofluorescence microscopy of actin, tubulin, and an intermediate filament protein, respectively. [Actin and tubulin courtesy of Damien Garbett and Anthony Bretscher; intermediate filaments photo courtesy Molecular Expressions, Nikon & FSU.]

Figure 17-2  
*Molecular Cell Biology, Eighth Edition*  
© 2016 W. H. Freeman and Company

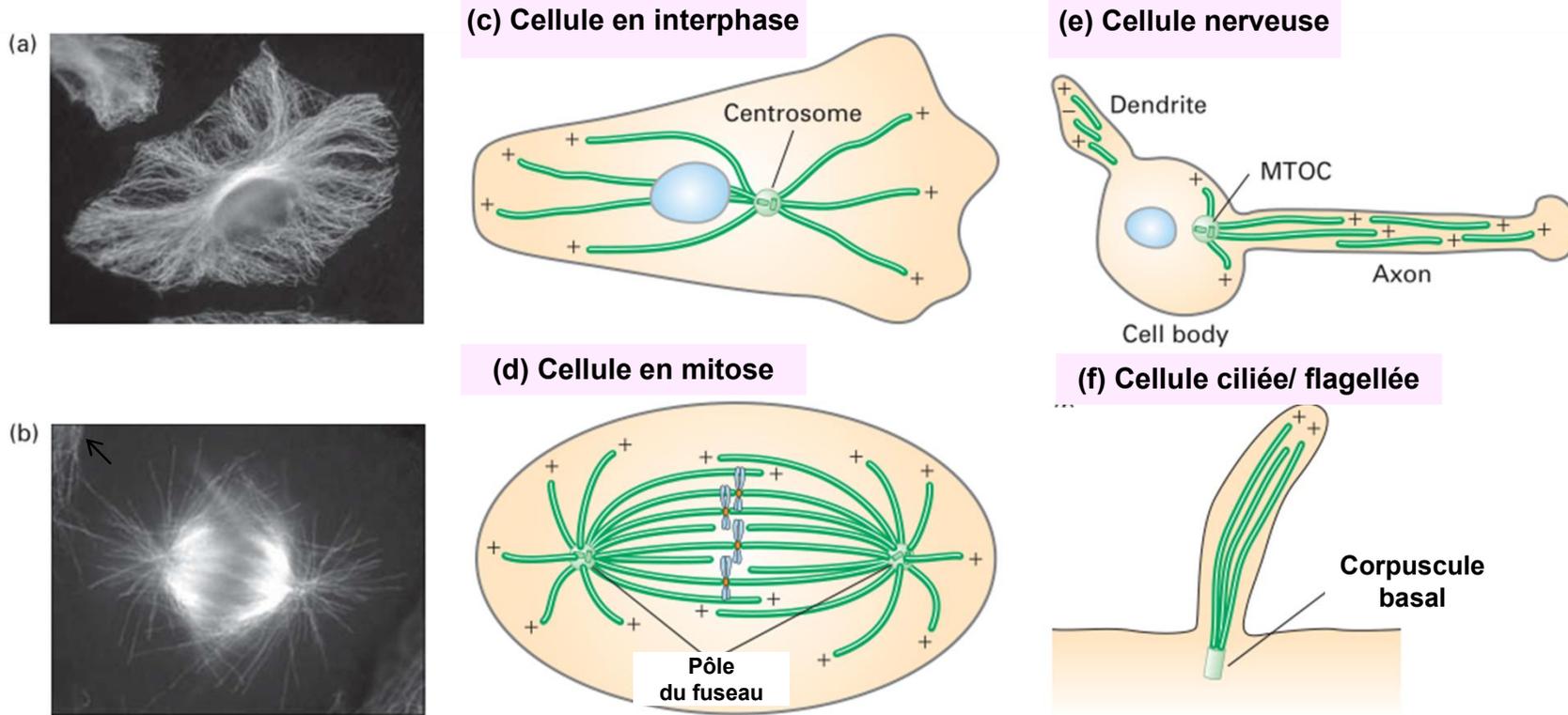
# Les microtubules

**La tubuline** : hétérodimère de 50 kDa (pour un seul monomère) formé de deux chaînes polypeptidiques étroitement associées et apparentées appelées tubuline  $\alpha$  et  $\beta$  (tubuline  $\alpha/\beta$ ).



**Structure d'un microtubule et de ses sous-unités**

# Organisation des microtubules dans les cellules



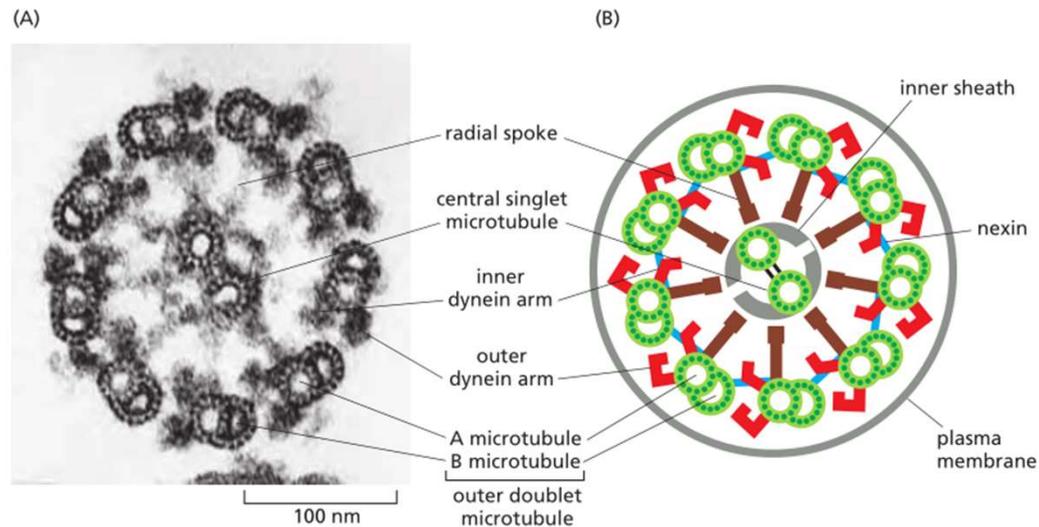
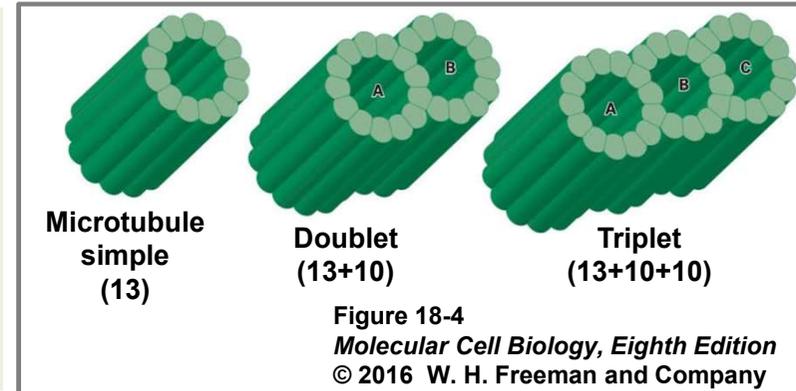
**FIGURE 18-5 Microtubules are assembled from microtubule organizing centers (MTOCs).** (a–b) The distribution of microtubules in cultured cells, as seen by immunofluorescence microscopy using antibodies to tubulin, in an interphase cell (a) and a cell in mitosis (b). (c–f) Diagrams of the distributions of microtubules in various cells and structures. All of these microtubules are assembled from distinct MTOCs. (c) In an interphase cell, the MTOC is called a centrosome (the nucleus is indicated by a blue oval). (d) In a mitotic cell, the two MTOCs

are called spindle poles (the chromosomes are shown in blue). (e) In a neuron, microtubules in both axons and dendrites are assembled from an MTOC in the cell body and then released from it. (f) The microtubules that make up the shaft of a cilium or flagellum are assembled from an MTOC known as a basal body. The polarity of microtubules is indicated by (+) and (–). [Part (a) courtesy Anthony Bretscher. Part (b) courtesy of Torsten Wittmann.]

**Figure 18-5**  
*Molecular Cell Biology, Eighth Edition*  
 © 2016 W. H. Freeman and Company

## Organisation des microtubules dans les cellules

Dans les cellules, les microtubules peuvent être **simples** ou s'organiser de façon particulière en **doublets** formant l'axonème ou en **triplets** formant les centrioles

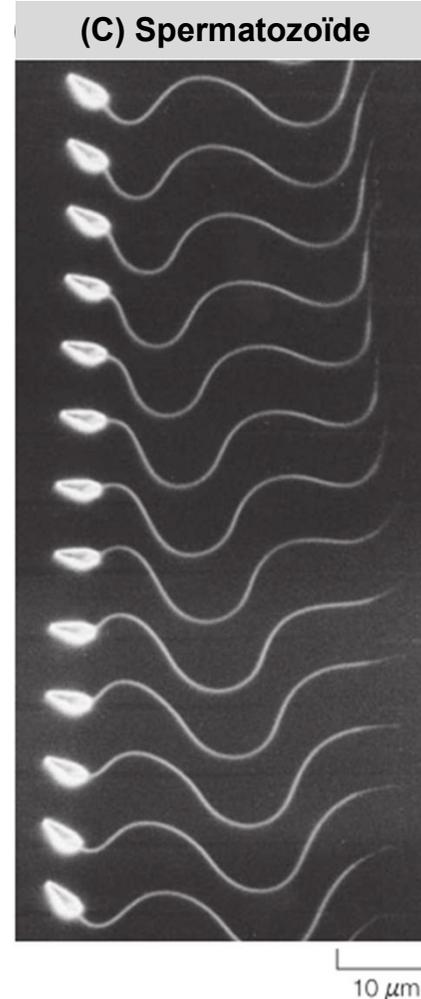
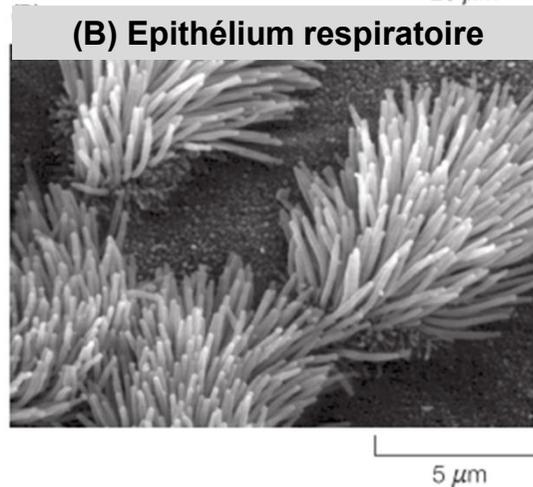
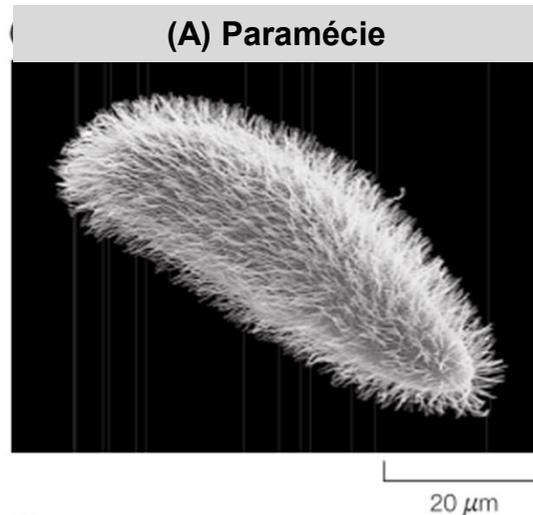


### Disposition des microtubules dans un flagelle ou un cil

(A) Micrographie électronique du flagelle d'une cellule d'algue verte (*Chlamydomonas*) montré en coupe transversale, illustrant la disposition distinctive "9 + 2" des microtubules. (B) Schéma des parties d'un flagelle ou d'un cil.

## Cils et flagelles

Les cils et les flagelles constituent des prolongements membranaires. Ils sont formés de doublets de microtubules et sont dotés de mouvement.



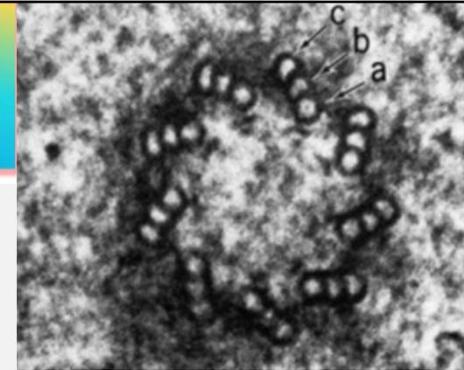
**Figure 14.39 Examples of cilia and flagella** (A) Scanning electron micrograph showing numerous cilia covering the surface of *Paramecium*. (B) Scanning electron micrograph of ciliated epithelial cells lining the surface of a trachea. (C) Multiple-flash photograph (500 flashes per second) showing the wavelike movement of a sea urchin sperm flagellum. (A, © SPL/Science Source; B, © Charles Daghljan/Science Source; C, courtesy of C. J. Brokaw, California Institute of Technology.)

**Figure 14-39**  
*The Cell a Molecular Approach, Eighth Edition*  
© 2019 Oxford University Press

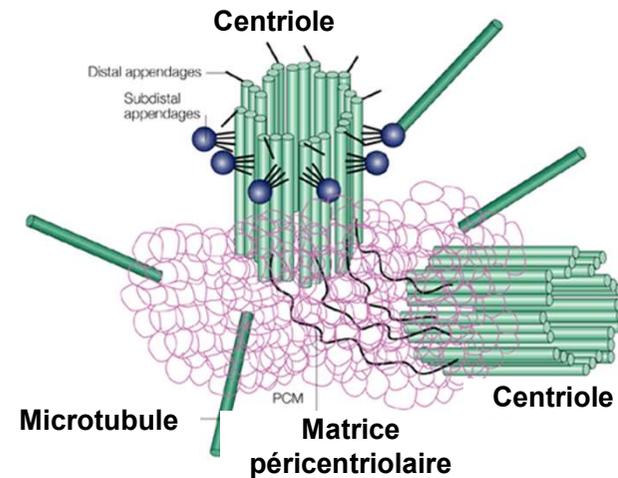
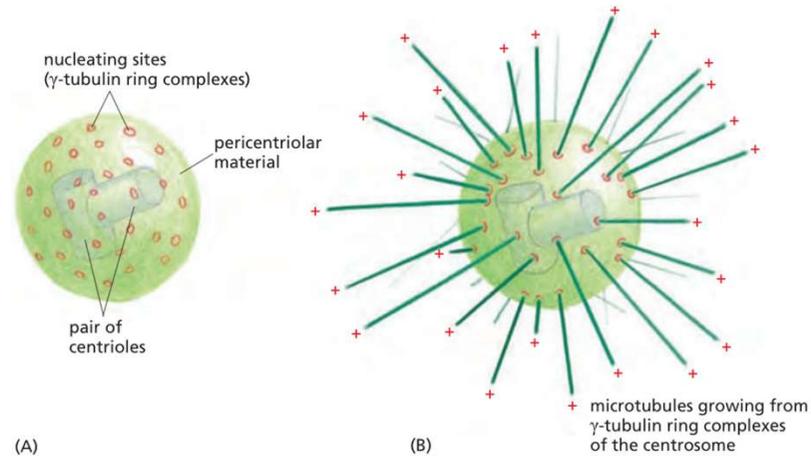
## Centrosome: centre organisateur des microtubules (MTOC)

**Centrosome:** paire de centrioles + matrice péricentriolaire.  
**Centriole:** structure cylindrique faite de 9 triplets de microtubules

Le MTOC des cils et flagelles s'appelle **le corpuscule basal**



Micrographie électronique d'une coupe transversale de centriole



Nature Reviews | Molecular Cell Biology

### Centrosome: site nucléateur des microtubules

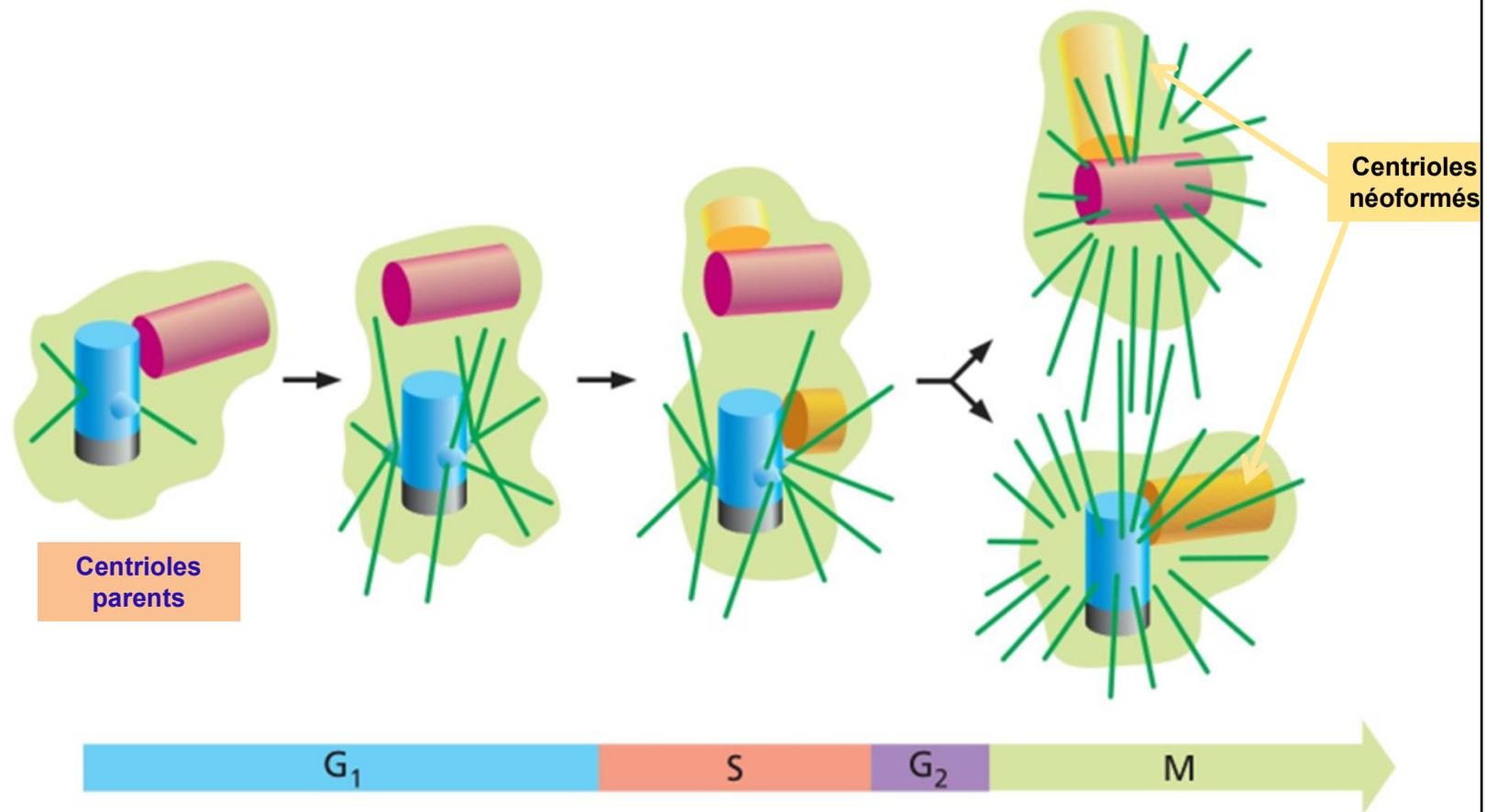
Gamma-Tubulin Ring Complexes: anneaux ouverts contenant de la tubuline  $\gamma$

### Une paire de centrioles d'un centrosome

Doxsey, S. (2001). Re-evaluating centrosome function. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 2(9), 688-698

À G<sub>2</sub> la croissance des centrioles fils est complète

En mitose, les centrosomes se divisent et chaque paire de centrioles migre vers les extrémités opposées de la cellule → établissent les deux pôles de la cellule en division



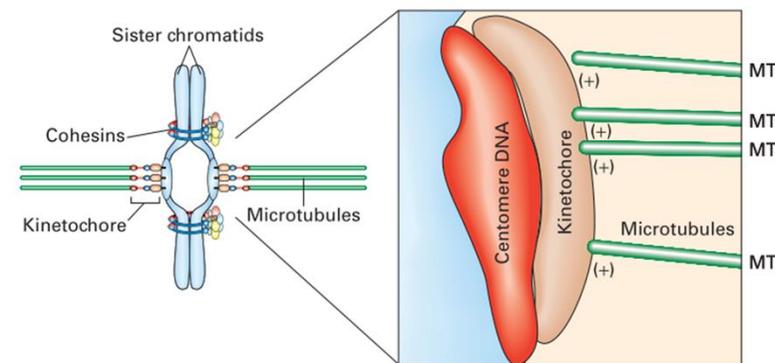
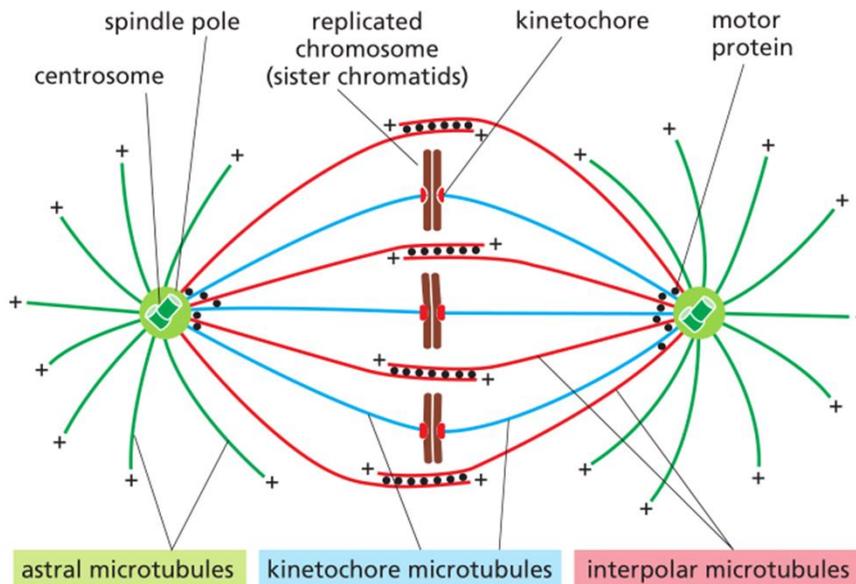
# Fuseau mitotique

Les microtubules interphasiques se dépolymérisent pour former le fuseau mitotique.  
 A chaque pôle du fuseau se trouve un centrosome.

Les trois classes de microtubules du fuseau mitotique à

la métaphase d'une cellule animale

1. Microtubules chevauchants (polaire)
2. Microtubules kinétochoriens
3. Microtubules astériens



**FIGURE 18-40** The structure of a mammalian kinetochore.  
 Diagram and electron micrograph of a mammalian kinetochore.

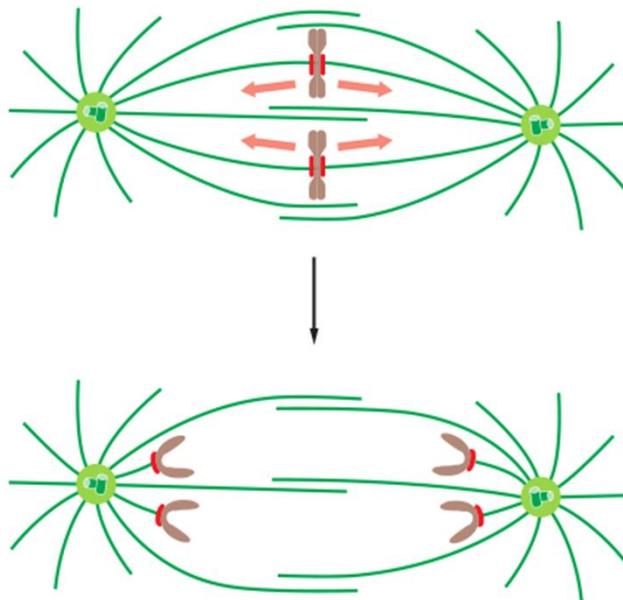
**Figure 18-40**  
*Molecular Cell Biology, Eighth Edition*  
 © 2016 W. H. Freeman and Company

## La dynamique des microtubules

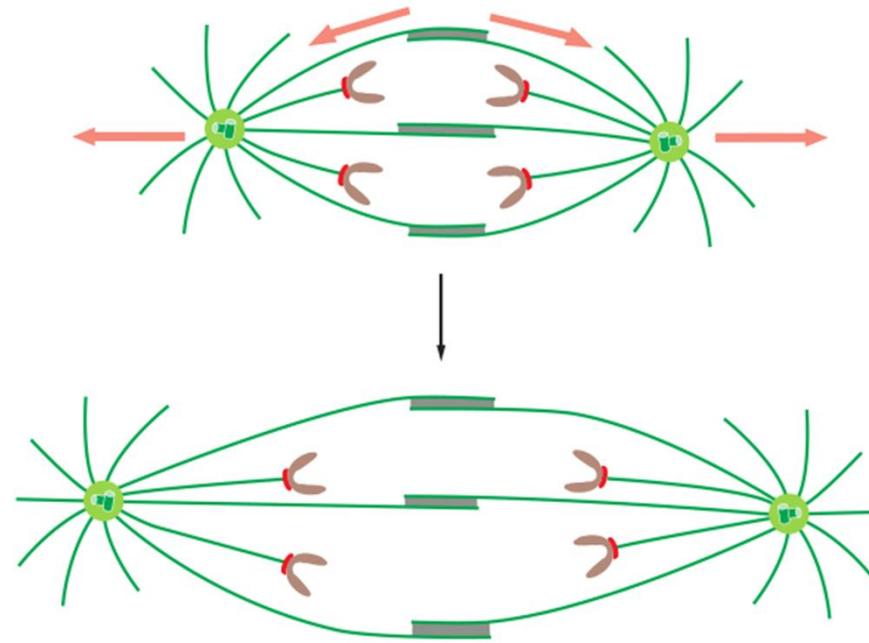
**Anaphase A:** Séparation des chromosomes fils vers les pôles à l'anaphase A par raccourcissement au bout plus des microtubules kinétochoriens

**Anaphase B:** Elongation du fuseau par polymérisation des microtubules polaires et mouvement des pôles

ANAPHASE A

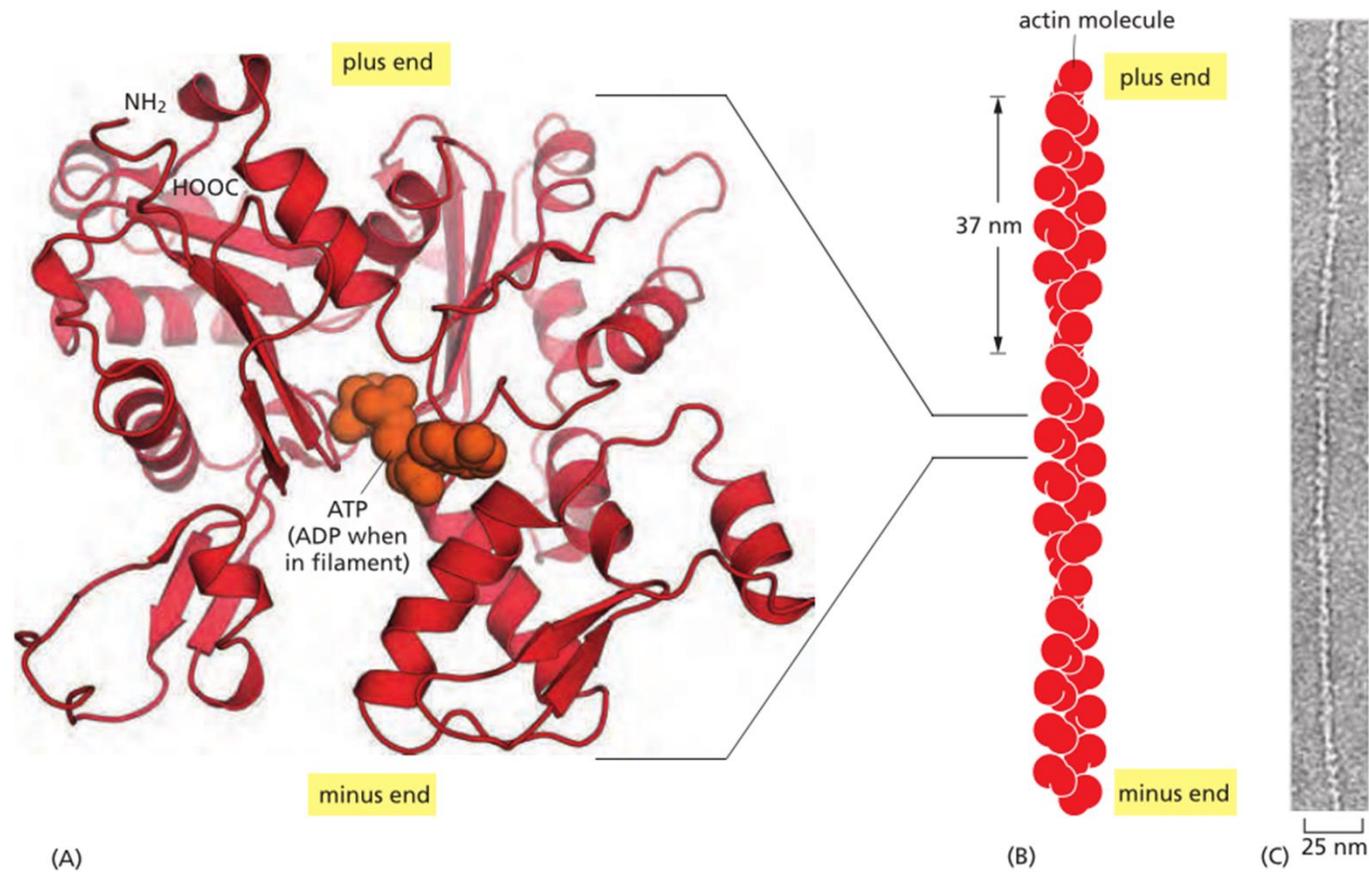


ANAPHASE B



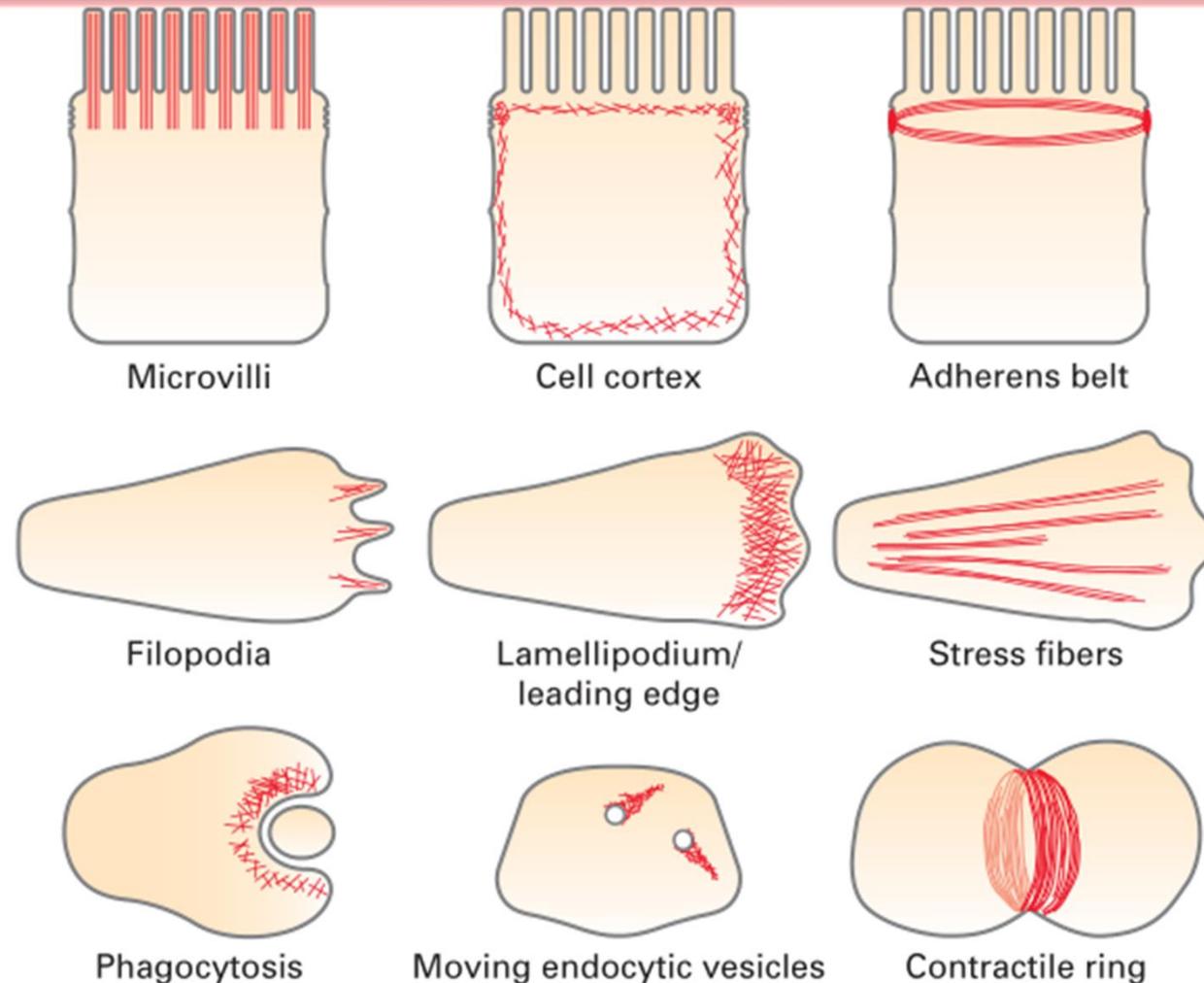
## Les microfilaments

**L'actine:** monomère de 43 kDa, comporte deux domaines et un site de liaison pour l'ATP qui se trouve entre ces deux domaines.



**Structure d'un microfilament et de ses sous-unités**

## Organisation des microfilaments dans les cellules



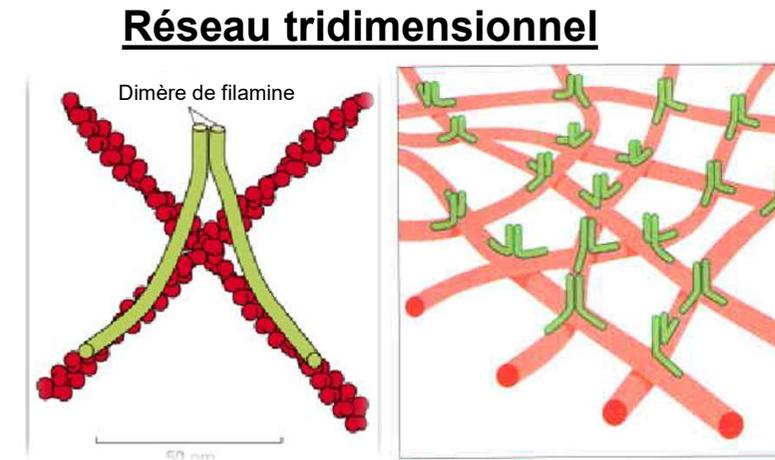
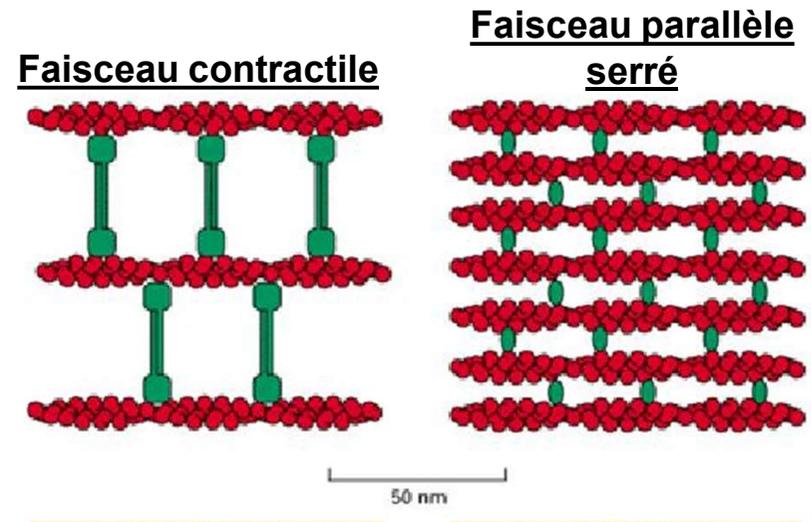
**FIGURE 17-4** Examples of microfilament-based structures.

Figure 17-4  
*Molecular Cell Biology, Eighth Edition*  
© 2016 W. H. Freeman and Company

## Organisation des microfilaments dans les cellules

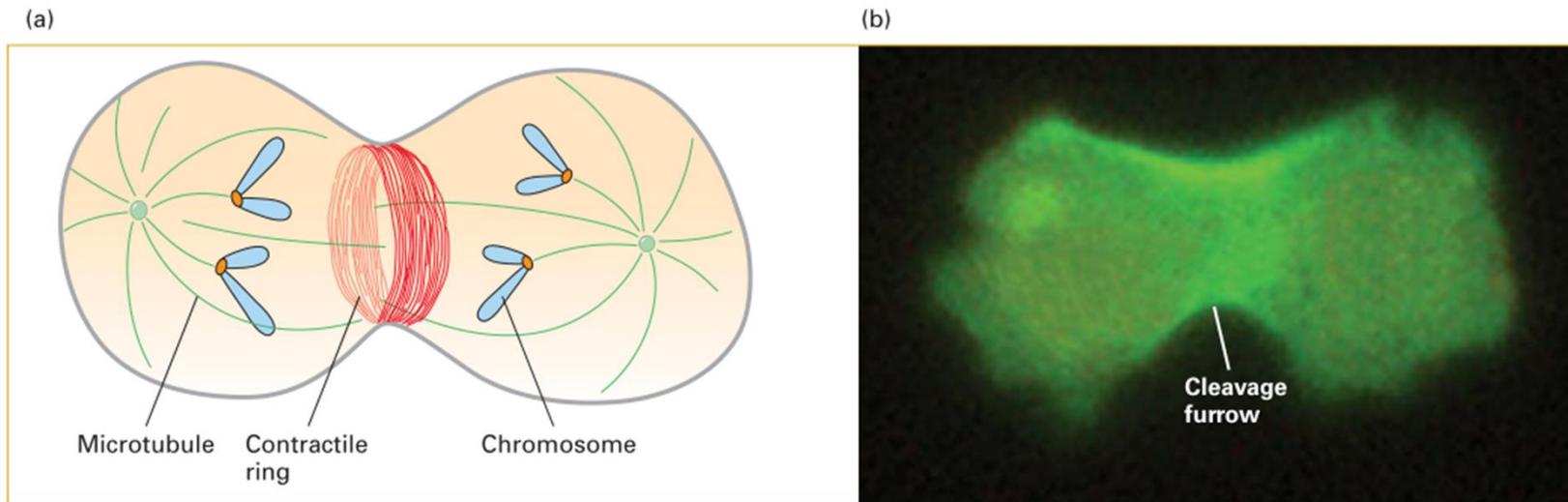
Dans les cellules, les microfilaments  
s'organisent en:

- **Faisceau contractile** qui constitue l'anneau contractile
- **Faisceau parallèle serré** qui se trouve dans les microvillosités (un prolongement de la membrane plasmique des cellules de l'épithélium intestinal)
- **Réseau tridimensionnel** qui se trouve dans les lamellipodes



## L'anneau contractile

Au cours de la télophase, un faisceau d'actine et de myosine II forme l'anneau contractile. A mesure que l'anneau se resserre, le sillon de clivage s'approfondit et finit par séparer les cellules-filles



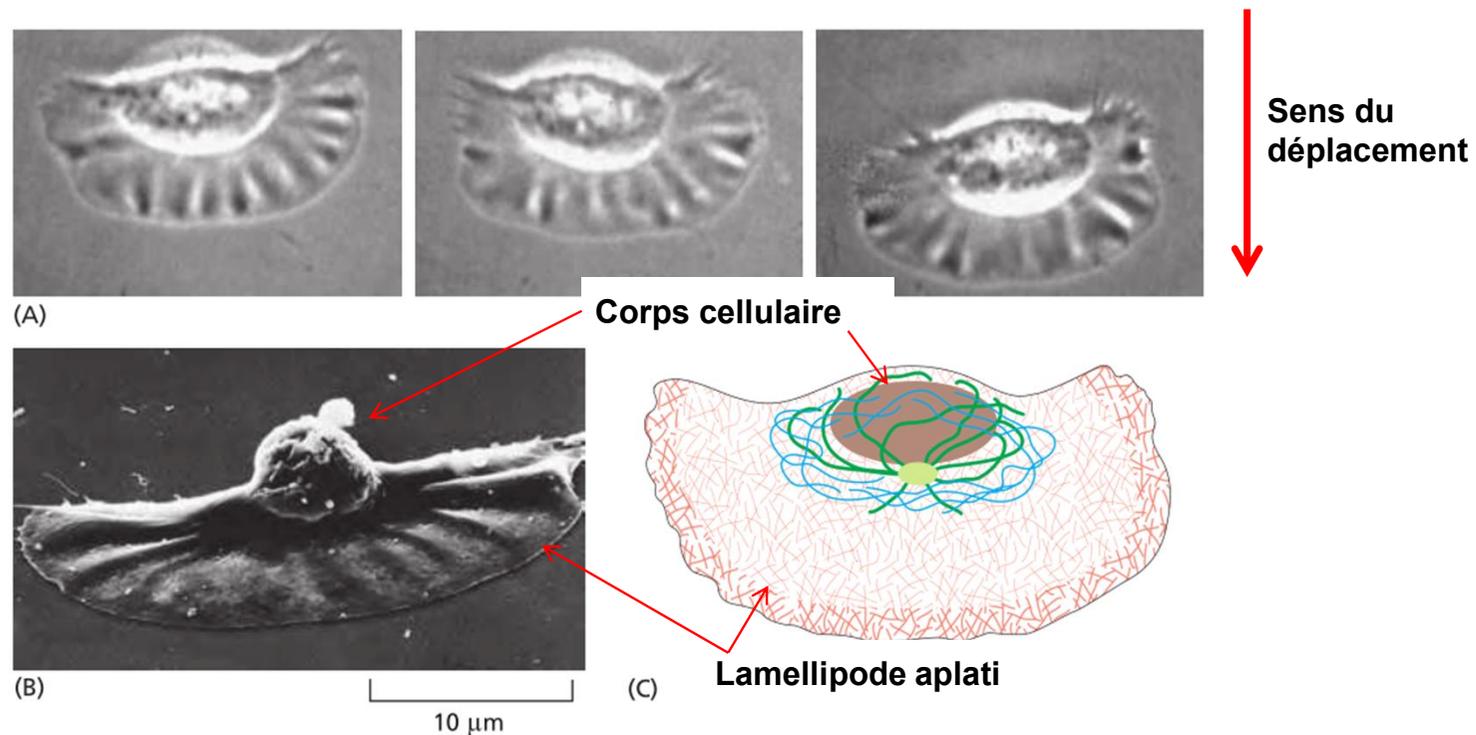
**EXPERIMENTAL FIGURE 17-35** Fluorescent antibodies reveal the localization of myosin I and myosin II during cytokinesis. (a) Diagram of a cell going through cytokinesis, showing the mitotic spindle (microtubules green, chromosomes blue) and the contractile ring with

**Figure 17-35**  
*Molecular Cell Biology, Eighth Edition*  
© 2016 W. H. Freeman and Company

actin filaments (red). (b) Fluorescence micrograph of a *Dictyostelium* amoeba expressing GFP-myosin-II reveals myosin-II enrichment in the cleavage furrow cortex, as the cell pinches into two during cytokinesis. [Part (b) courtesy of Douglas N. Robinson]

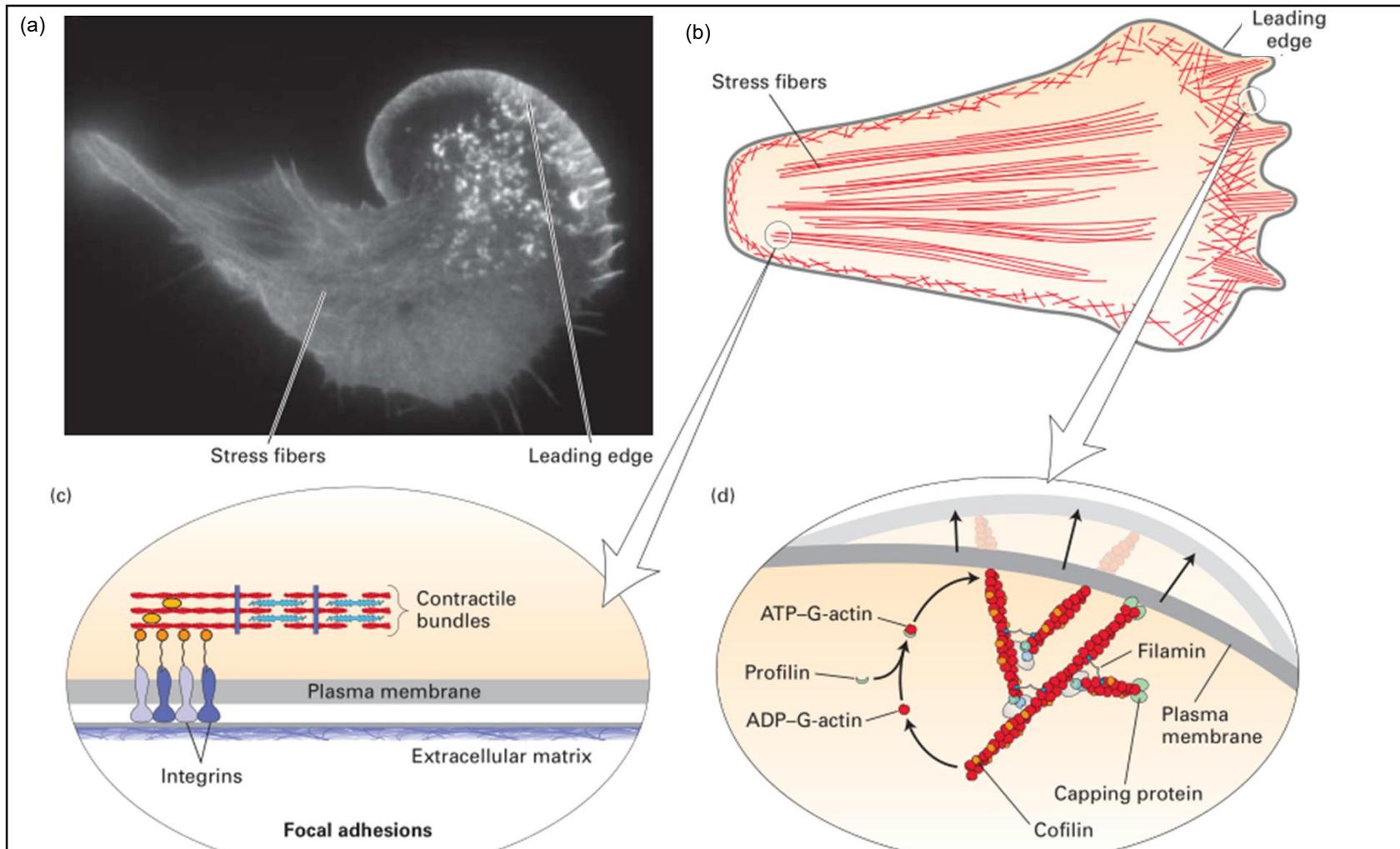
## Les lamellipodes

Les lamellipodes constituent de minces voiles cellulaires projetés par certains type cellulaires (fibroblastes en culture) afin de permettre leur déplacement.



### Migration des kératinocytes d'un épiderme de poisson

(A) Photographie en microscopie optique d'un kératinocyte en culture (B) Le kératinocyte observé en microscopie électronique à balayage (c) distribution des filaments du cytosquelette dans la cellule.



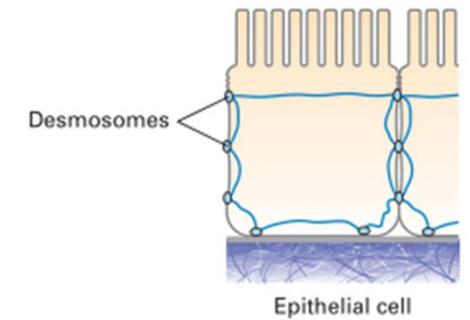
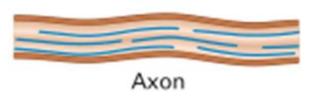
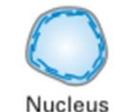
**FIGURE 17-40 Actin-based structures involved in cell locomotion.** (a) Localization of actin in a fibroblast expressing GFP-actin. (b) Diagram of the classes of microfilaments involved in cell migration. The network of actin filaments in the leading edge advances the cell forward. Contractile fibers in the cell cortex squeeze the cell body forward, and stress fibers terminating in focal adhesions also pull the bulk of the cell body up as the rear adhesions are released.

(c) The structure of focal adhesions involves the attachment of the ends of stress fibers through integrins to the underlying extracellular matrix. Focal adhesions also contain many signaling molecules important for cell locomotion. (d) The dynamic actin network in the leading edge is nucleated by the Arp2/3 complex

Table 17-40  
*Molecular Cell Biology, Eighth Edition*  
 © 2016 W. H. Freeman and Company

## Les principales classes des filaments intermédiaires

**TABLE 18-1** The Major Classes of Intermediate Filaments in Mammals (Lodish *et al.* 2016)

Class	Protein	Distribution	Proposed Function	
I II	Acidic keratins Basic keratins	Epithelial cells Epithelial cells	Tissue strength and integrity	 <p>Epithelial cell</p>
III	Desmin, GFAP, vimentin	Muscle, glial cells, mesenchymal cells		
IV	Neurofilaments (NFL, NFM, and NFH)	Neurons	Axon organization	 <p>Axon</p>
V	Lamins	Nucleus	Nuclear structure and organization	 <p>Nucleus</p>

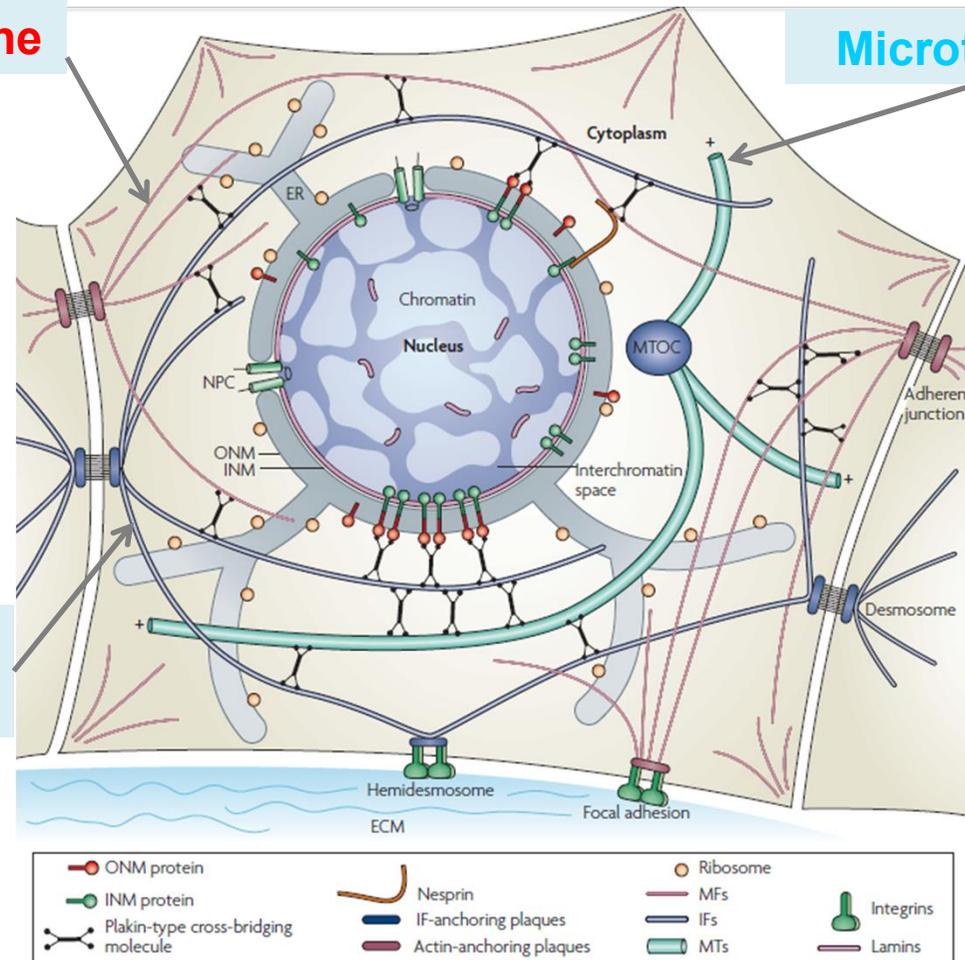
**Table 18-1**  
*Molecular Cell Biology, Eighth Edition*  
 © 2016 W. H. Freeman and Company

# Les filaments intermédiaires

Filaments d'actine

Microtubules

Filaments intermédiaires



## Organisation des filaments intermédiaires dans les cellules des métazoaires

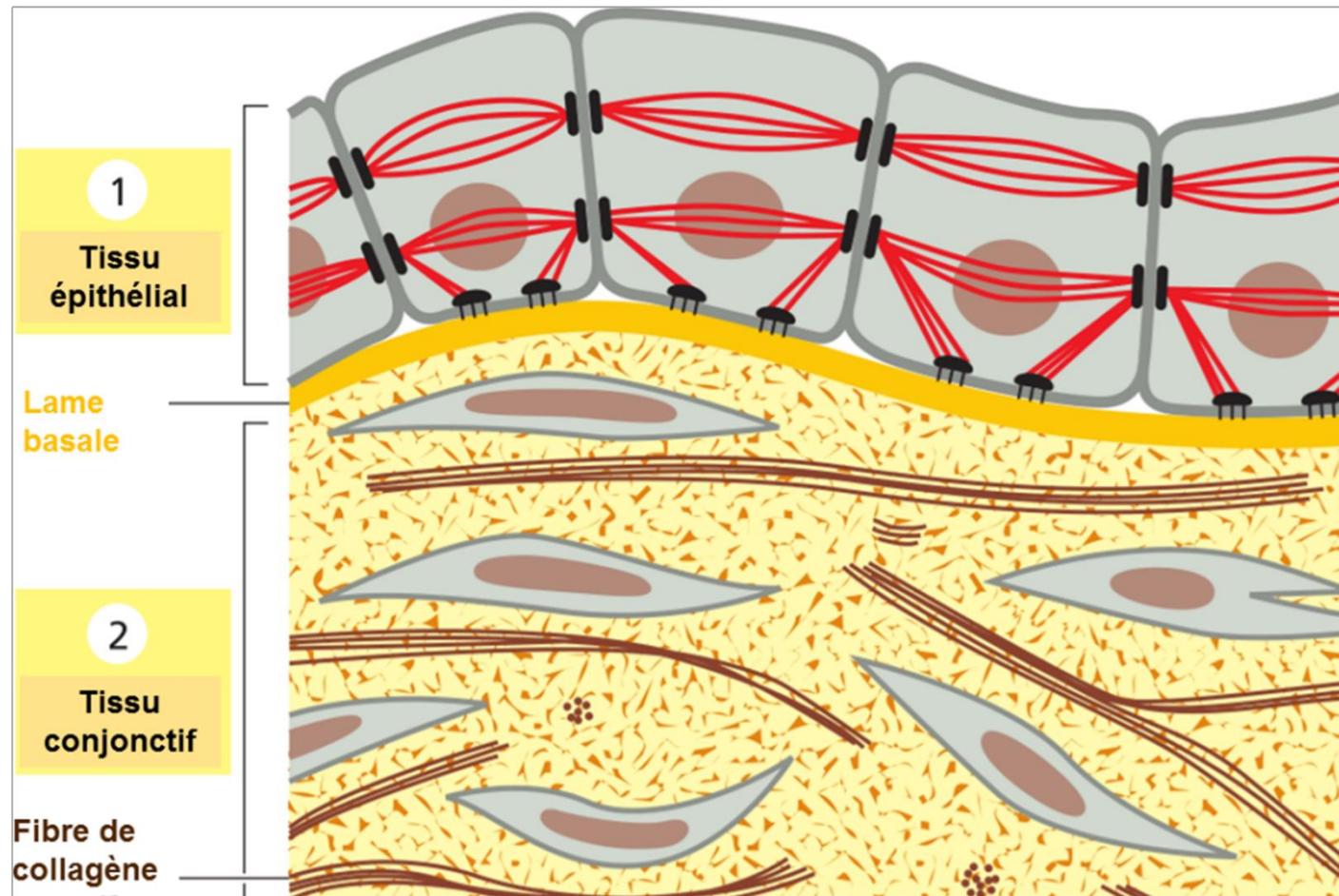
Herrmann, H., Bär, H., Kreplak, L., Strelkov, S. V., & Aebi, U. (2007). Intermediate filaments: from cell architecture to nanomechanics. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 8(7), 562-573.

## Les filaments de kératine des cellules épithéliales

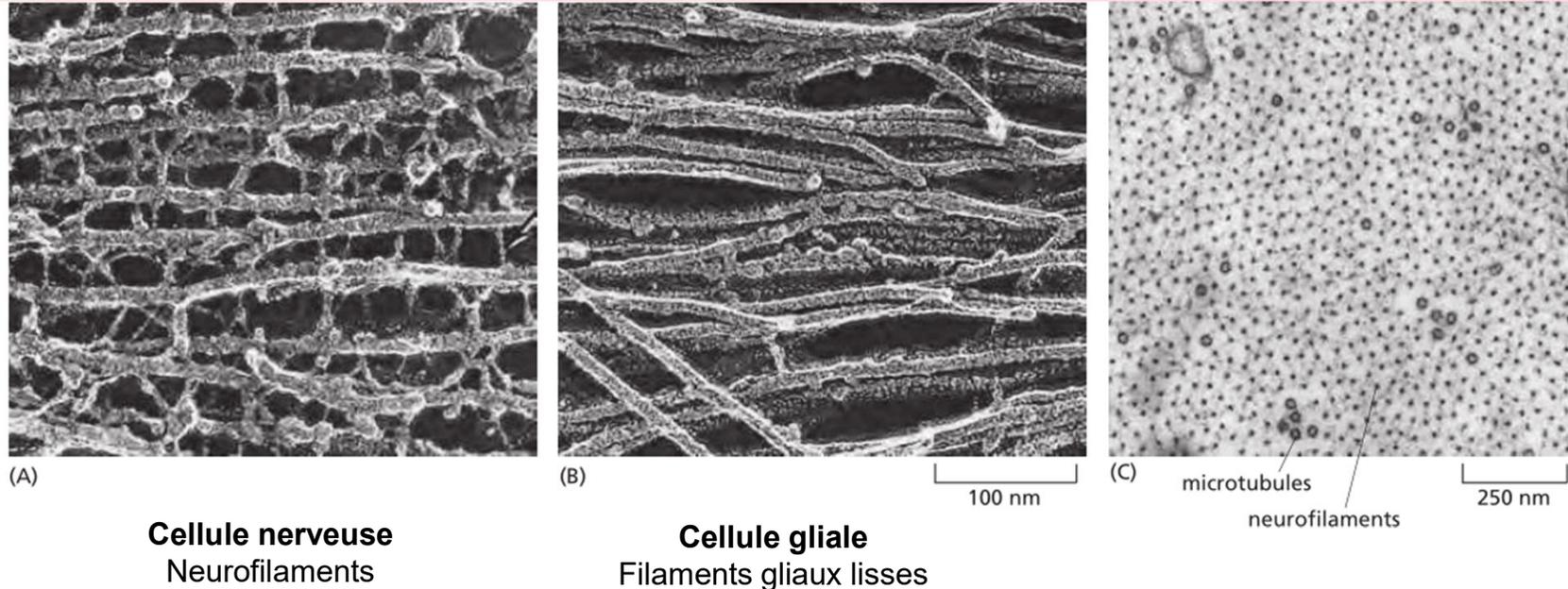
Le génome humain code pour environ 50 gènes de kératines.

Près de 20 types de kératine sont exprimés dans les cellules épithéliales

Exemple: **K5** et **K14** sont exprimées dans la couche basale de l'épiderme.



## Les filaments intermédiaires dans des cellules du système nerveux



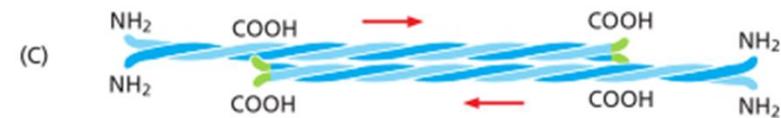
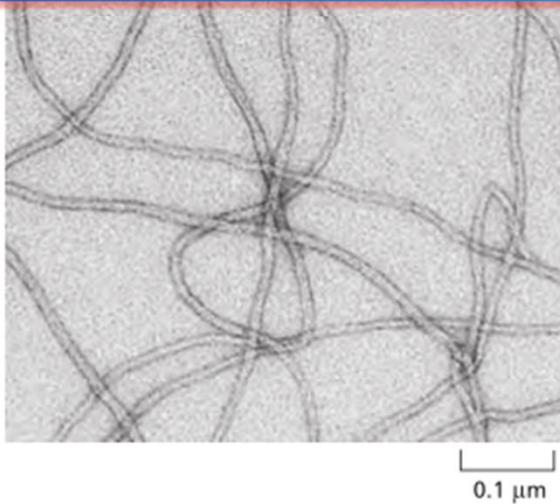
### Micrographies électroniques de deux types de filaments intermédiaires dans des cellules du système nerveux

(A) Image en cryodécoupage de neurofilaments dans un axone de cellule nerveuse, montrant la forte réticulation par les longues extensions non hélicoidales de l'extrémité C-terminale de la plus grosse des protéines des neurofilaments.

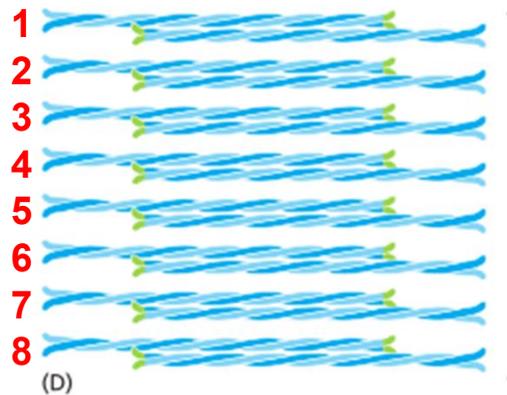
(B) Image en cryodécoupage de filaments gliaux montrant qu'ils sont lisses et ont peu de ponts transversaux.

(C) Micrographie électronique conventionnelle d'une coupe transversale d'un axone, montrant l'espacement latéral régulier côte à côte des neurofilaments, dont le nombre dépasse largement celui des microtubules

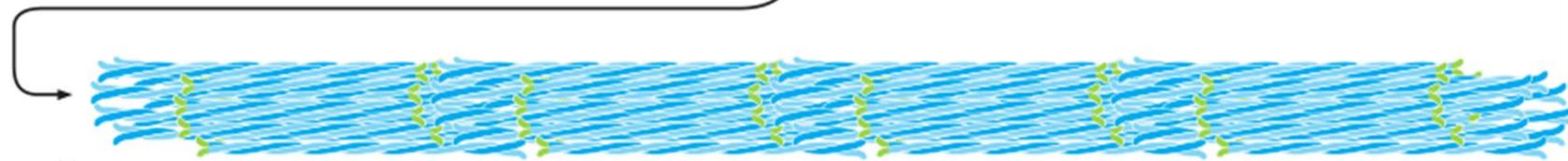
## Assemblage des filaments intermédiaires



**Tétramère** : deux dimères alignés côte à côte  
mais décalés l'un par rapport à l'autre



D) **8 tétramères** s'associent latéralement



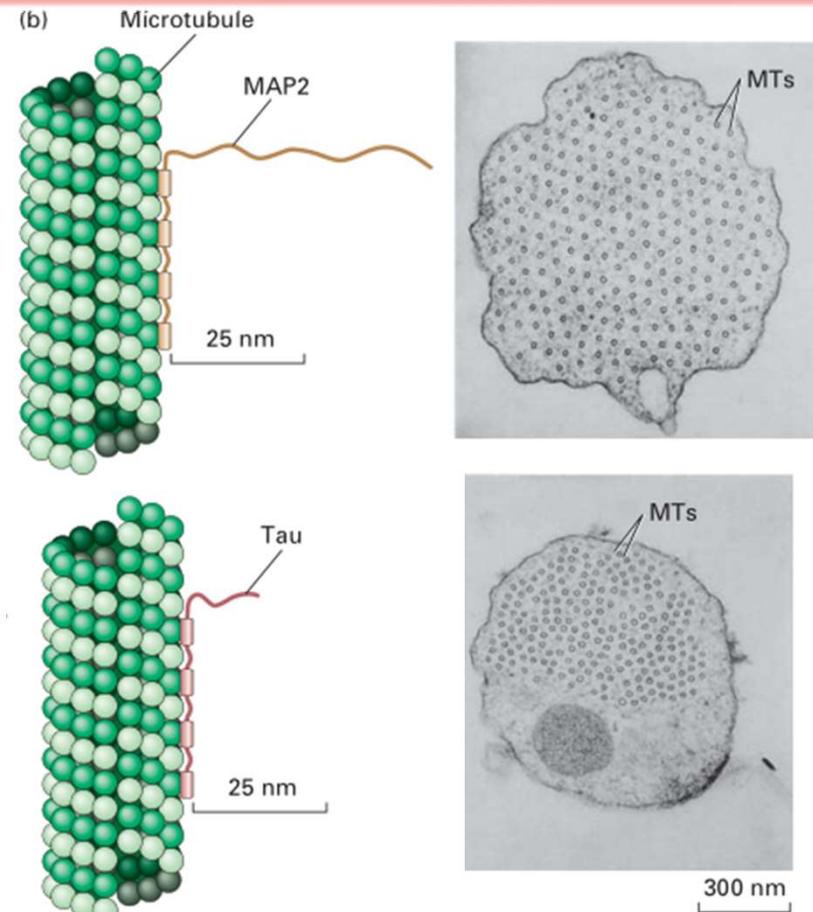
E) Addition de 8 tétramères aux **filaments** en croissance  $\rightarrow$  32 enroulements d'hélice  $\alpha$   $\rightarrow$  F. de type **cordage**

- **Les éléments qui constituent le cytosquelette**
  1. Les microtubules
  2. Les microfilaments
  3. Les filaments intermédiaires
- **Protéines associées aux éléments du cytosquelette**
- **Molécules affectant la polymérisation/dépolymérisation de certains éléments du cytosquelette**

## Protéines associées aux microtubules

**MAP-2** se fixe sur les microtubules par une de ses extrémités.

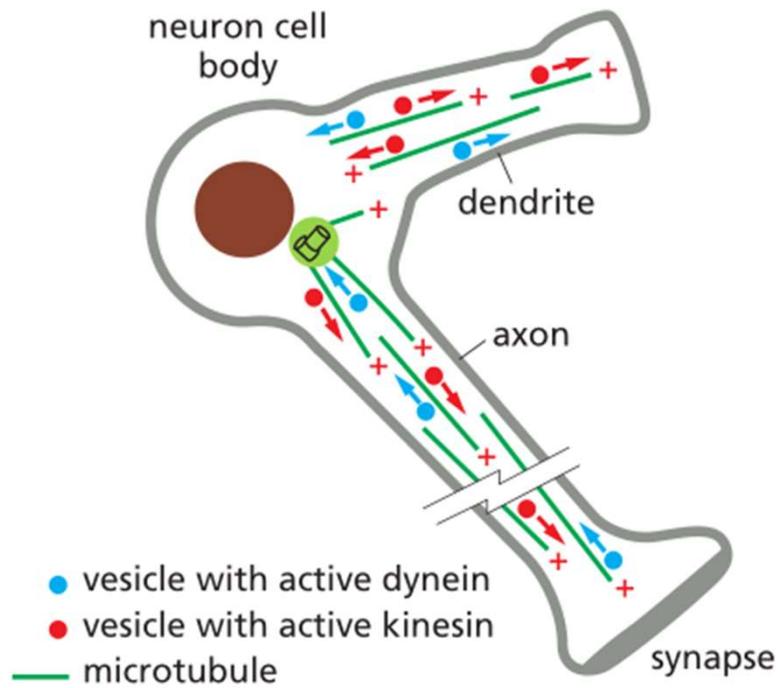
**Tau** possède un bras plus court que la protéine MAP-2



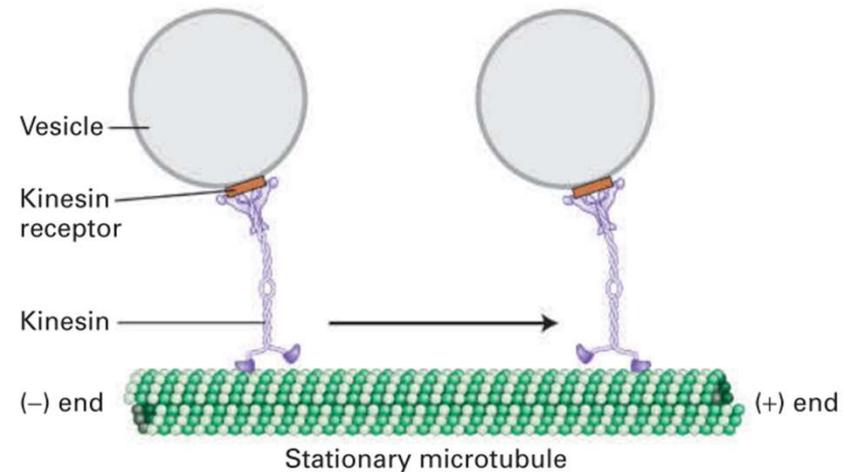
**Figure 18-13**  
*Molecular Cell Biology, Eighth Edition*  
© 2016 W. H. Freeman and Company

micrographies électroniques de coupes transversales de faisceaux de microtubules dans des cellules surexprimant MAP2 et tau

## Protéines motrices associées aux microtubules

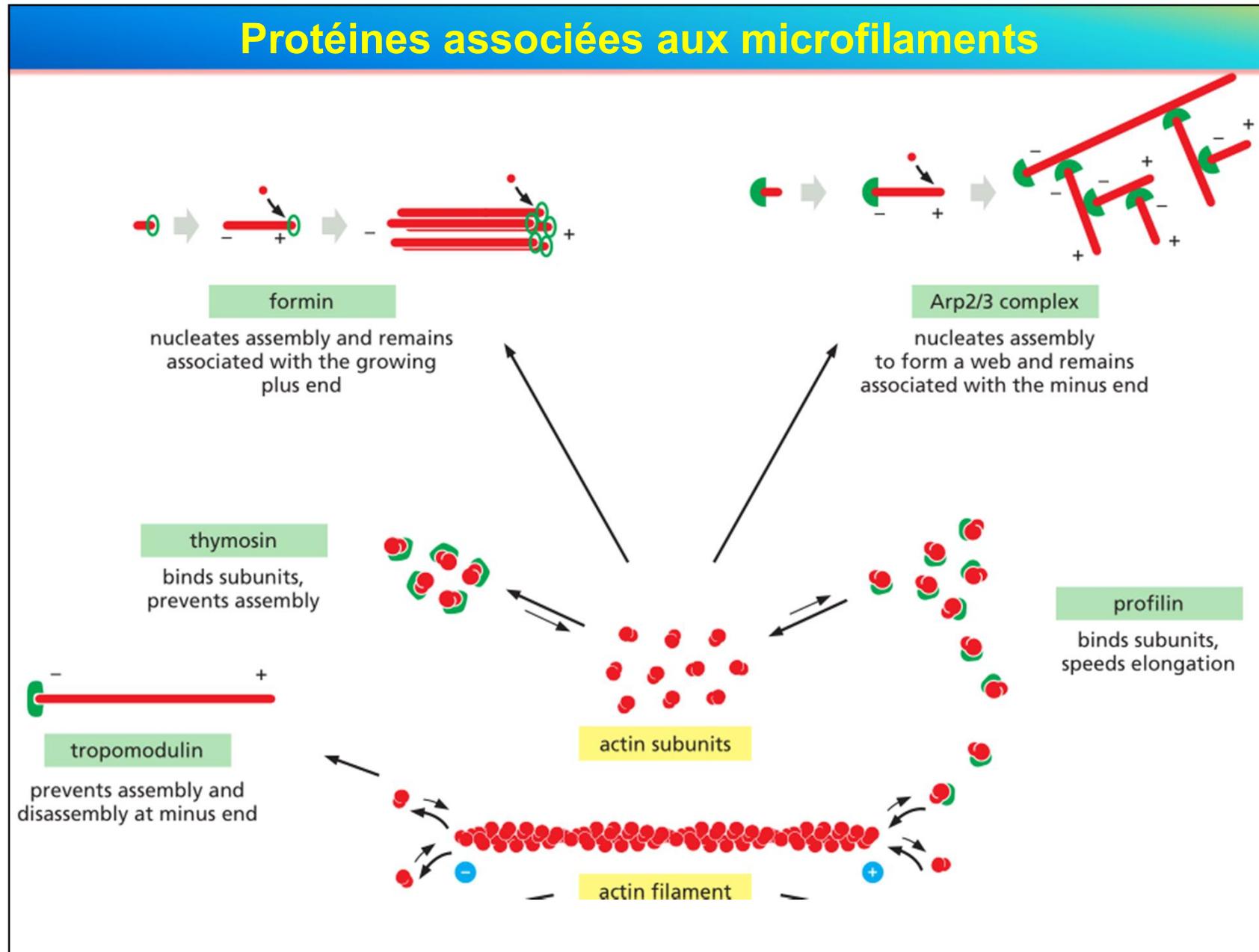


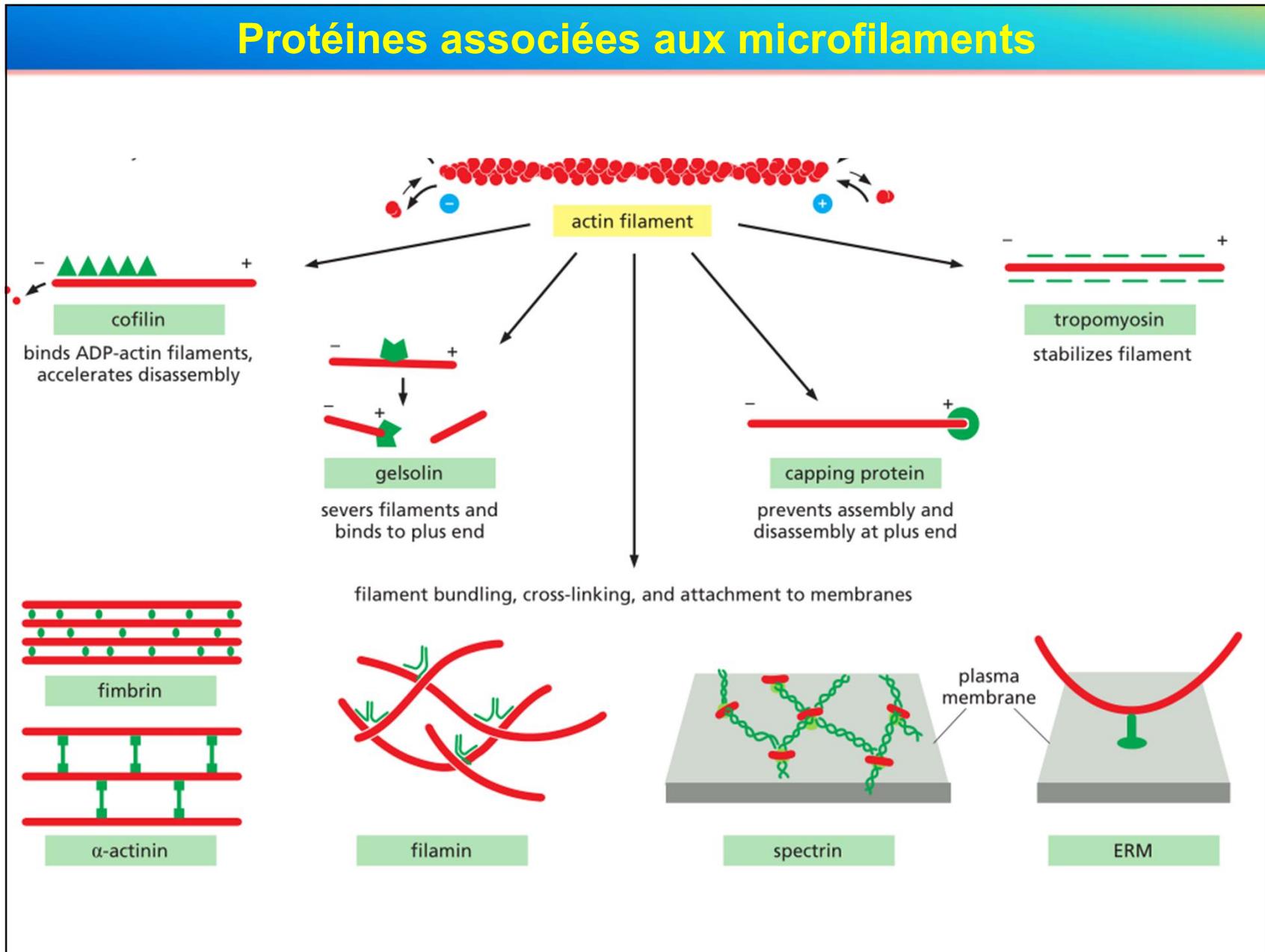
NEURON



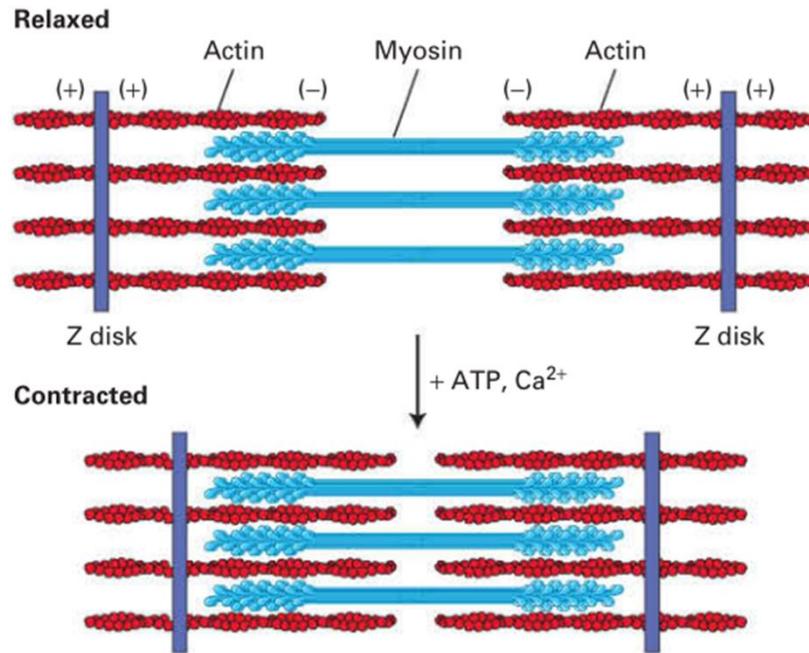
**FIGURE 18-19 Model of kinesin-1-catalyzed vesicle transport.** Kinesin-1 molecules, attached to receptors on the vesicle surface, transport the vesicles from the (-) end to the (+) end of a stationary microtubule. ATP is required for movement. See R. D. Vale et al., 1985, *Cell* **40**:559, and T. Schroer et al., 1988, *J. Cell Biol.* **107**:1785.

Figure 18-19  
*Molecular Cell Biology, Eighth Edition*  
© 2016 W. H. Freeman and Company



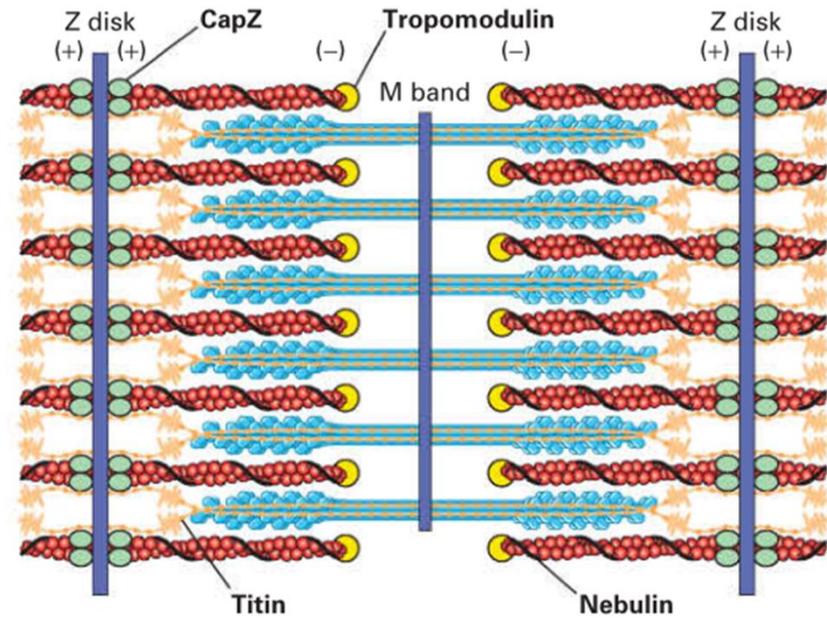


## Protéines associées aux microfilaments



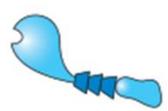
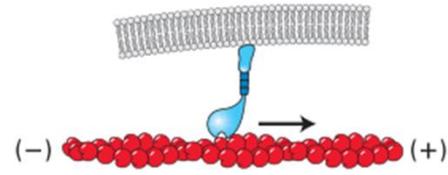
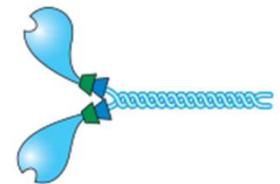
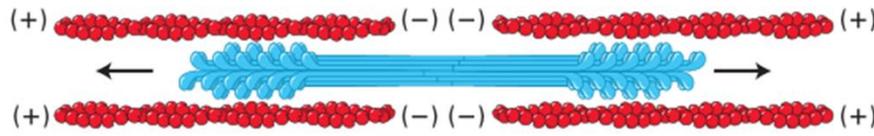
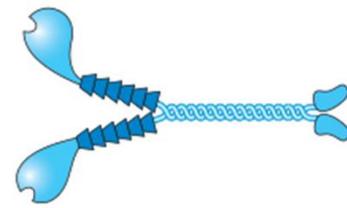
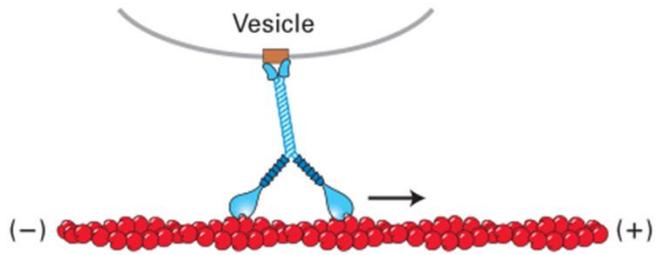
**FIGURE 17-31 The sliding-filament model of contraction in skeletal muscle.** The arrangement of thick myosin and thin actin filaments in the relaxed state is shown in the top diagram. In the presence of ATP and Ca<sup>2+</sup>, the myosin heads extending from the thick filaments walk toward the (+) ends of the thin filaments. Because the thin filaments are anchored at the Z disks (purple), movement of myosin pulls the actin filaments toward the center of the sarcomere, shortening its length in the contracted state, as shown in the bottom diagram.

Figures 17-31, 17-32  
*Molecular Cell Biology, Eighth Edition*  
 © 2016 W. H. Freeman and Company



**FIGURE 17-32 Accessory proteins found in skeletal muscle.** To stabilize the actin filaments, CapZ caps the (+) end of the thin filaments at the Z disk, whereas tropomodulin caps the (-) end. The giant protein titin extends through the thick filaments and attaches to the Z disk. Nebulin binds actin subunits and determines the length of the thin filament.

## Protéines motrices associées aux microfilaments

Class	Step size		Function
<p><b>I</b></p> 	<p>10–14 nm</p>		<p>Membrane association, endocytosis</p>
<p><b>II</b></p> 	<p>8 nm</p>		<p>Contraction</p>
<p><b>V</b></p> 	<p>36 nm</p>		<p>Organelle transport</p>

**FIGURE 17-25 Three common classes of myosins.** Myosin I molecules consist of a head domain and a neck domain; a variable number of light chains is associated with the neck domain. Members of the myosin I class are the only myosins to have a single head domain. Some of these myosins are believed to associate directly with membranes through lipid interactions.

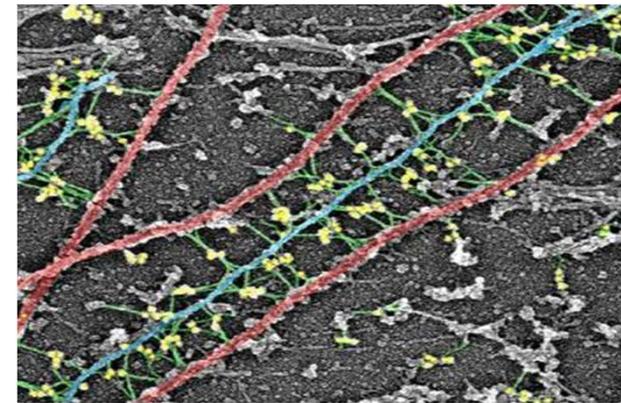
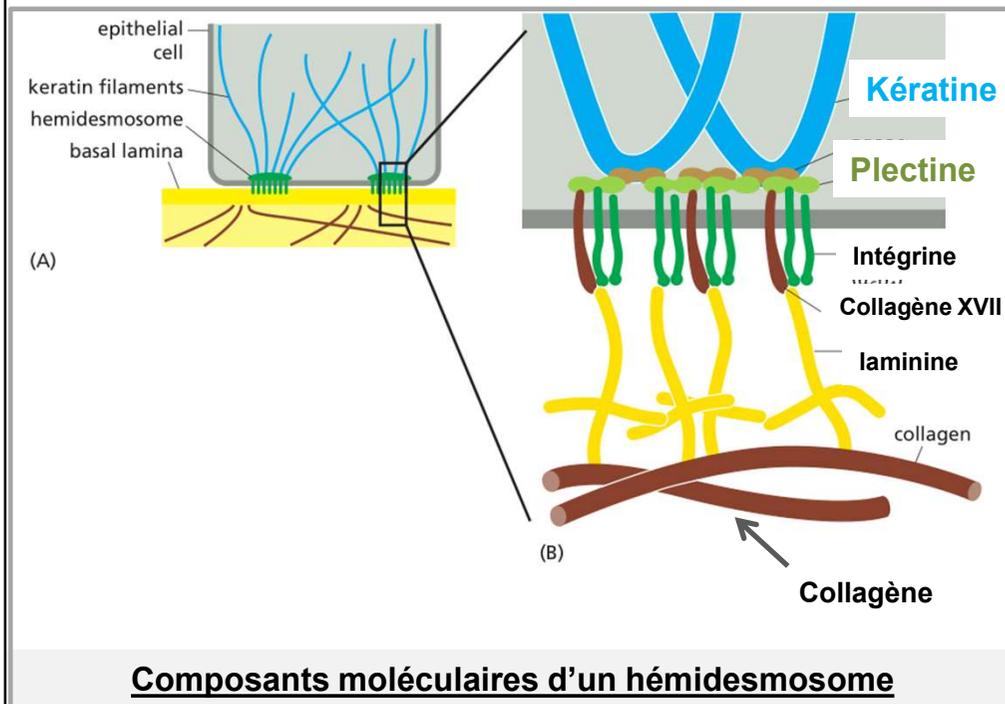
Myosin II molecules have two head domains and two light chains per neck and are the only class that can assemble into bipolar filaments. Myosin V molecules have two head domains and six light chains per neck. They bind specific receptors (brown box) on organelles, which they transport. All myosins in these three classes move toward the (+) end of actin filaments.

**Figure 17-25**  
*Molecular Cell Biology, Eighth Edition*  
 © 2016 W. H. Freeman and Company

## Protéines associées aux filaments intermédiaires

**Protéines associées aux filaments intermédiaires** : réalisent des interactions avec la membrane plasmique ou d'autres éléments du cytosquelette

**Plectine**: protéine qui lie les FI aux MT, MF, à la membrane plasmique, aux desmosomes, aux hémidesmosomes et enfin à la lamina nucléaire.



**Photographie en microscopie électronique d'un fibroblaste montrant les liaisons croisées de différents éléments du cytosquelette par la plectine**

**Microtubule: rouge**

**Filament intermédiaire: bleu**

**Plectine: vert**

- **Les éléments qui constituent le cytosquelette**
  1. Les microtubules
  2. Les microfilaments
  3. Les filaments intermédiaires
- **Protéines associées aux éléments du cytosquelette**
- **Molécules chimiques affectant la polymérisation/dépolymérisation de certains éléments du cytosquelette**

## Molécules chimiques qui modifient la polymérisation/dépolymérisation des microtubules et des microfilaments

**TABLE 16–1 Chemical Inhibitors of Actin and Microtubules**

Chemical	Effect on filaments	Mechanism	Original source
<b>Actin</b>			
Latrunculin	Depolymerizes	Binds actin subunits	Sponges
Cytochalasin B	Depolymerizes	Caps filament plus ends	Fungi
Phalloidin	Stabilizes	Binds along filaments	<i>Amanita</i> mushroom
<b>Microtubules</b>			
Taxol® (paclitaxel)	Stabilizes	Binds along filaments	Yew tree
Nocodazole	Depolymerizes	Binds tubulin subunits	Synthetic
Colchicine	Depolymerizes	Caps filament ends	Autumn crocus

### **Références bibliographiques**

- Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Morgan, D., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2017).  
Molecular Biology of the Cell : 6e Edition. *Lavoisier, Médecine sciences*,
- Cooper G. M. (2019). *The cell: a molecular approach*. 8e Edition Oxford University Press.
- Lodish, H., Berk, A., Kaiser, C. A., Krieger M., Bretscher A., Ploegh H., Amon A., & Martin K. C. (2016). *Molecular Cell Biology: 8e Edition*. W. H. Freeman and Company.

**Note:** La majorité des figures des diapositives se trouvent dans le livre de référence de ce cours : “**Biologie moléculaire de la cellule**” de Alberts *et al.*, (2017).

Quelques figures proviennent du livre “**Biologie moléculaire de la cellule**” de Lodish *et al.*, (2016),

**Pour les figures qui restent, les références sont mentionnées.**