



## VOS OUTILS INTERACTIFS



Consultez votre MANUEL NUMÉRIQUE, qui vous donne accès aux animations, aux exercices et à la plateforme d'anatomie interactive.

▲ **Figure 6.1** Comment vos cellules vous aident-elles à apprendre la biologie ?

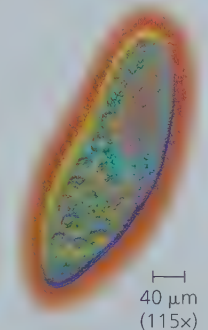
## CONCEPTS CLÉS

- 6.1** Les biologistes étudient les cellules à l'aide de microscopes et de diverses techniques biochimiques
- 6.2** Chez les eucaryotes, la compartimentation de l'espace cellulaire contribue au fonctionnement biochimique
- 6.3** Le noyau de la cellule eucaryote renferme les instructions génétiques que les ribosomes utilisent pour fabriquer les protéines
- 6.4** Le réseau de membranes intracellulaires dirige la circulation des protéines et remplit des fonctions métaboliques
- 6.5** Les mitochondries et les chloroplastes convertissent l'énergie d'une forme à une autre
- 6.6** Le cytosquelette est un réseau de fibres qui organise les structures et les activités de la cellule
- 6.7** Les constituants extracellulaires et les jonctions intercellulaires contribuent à la coordination des activités de la cellule
- 6.8** Le tout que forme la cellule est supérieur à la somme de ses parties

## Les unités fondamentales de la vie

Les cellules sont aussi essentielles aux systèmes vivants de la biologie que les atomes le sont aux molécules de la chimie. Plusieurs types de cellules travaillent pour vous en ce moment même. La contraction des cellules des muscles oculaires déplace vos yeux pendant que vous lisez cette phrase. Les mots de cette page sont traduits en signaux que des cellules nerveuses transmettent à votre cerveau, où ils sont acheminés à d'autres cellules nerveuses. Lorsque vous étudiez, vos cellules établissent des connexions entre les cellules nerveuses pour consolider la mémoire et permettre l'apprentissage. La **figure 6.1** illustre ce propos en montrant les prolongements d'une cellule nerveuse (en orange) qui se connectent à des cellules musculaires (en rouge).

Tous les organismes se composent de cellules. Dans la hiérarchie de l'organisation biologique, la cellule est le premier ensemble de matière qu'il est possible de considérer comme une entité vivante. D'ailleurs, bien des êtres vivants ne sont constitués que d'une seule cellule, comme la paramécie (*Paramecium*) illustrée ici, un eucaryote qui vit dans l'eau des étangs. Les organismes plus complexes et de plus grande taille, dont les végétaux et les animaux, sont multicellulaires et comportent plusieurs sortes de cellules spécialisées incapables de survivre par elles-mêmes. Cependant, même lorsqu'elles s'unissent à d'autres pour constituer un niveau d'organisation supérieur, comme dans les tissus et les organes, les cellules demeurent les unités fondamentales de la structure et du fonctionnement des organismes.



Toutes les cellules sont apparentées, car elles descendent de cellules ancestrales. Au cours de la longue histoire évolutive de la vie sur Terre, les cellules ont subi de nombreuses modifications. Elles peuvent différer considérablement les unes des autres, mais elles ont aussi de nombreux points en commun. Dans le présent chapitre, nous nous familiariserons avec les instruments et les techniques expérimentales qui nous permettent de comprendre les cellules, puis nous explorerons la cellule et ses constituants.

## CONCEPT 6.1

### Les biologistes étudient les cellules à l'aide de microscopes et de diverses techniques biochimiques

Comment les biologistes cellulaires (cytologistes) réussissent-ils à étudier le fonctionnement d'une entité comme la cellule, généralement invisible à l'œil nu ? Avant d'explorer la cellule, penchons-nous sur les techniques qui permettent de l'observer.

#### La microscopie

La mise au point d'instruments qui permettent à l'être humain de dépasser les limites de ses sens a permis de découvrir et d'étudier les cellules. Les microscopes ont été inventés en 1590 et perfectionnés au 17<sup>e</sup> siècle. Robert Hooke a été le premier, en 1665, à distinguer les parois d'une cellule lorsqu'il a regardé au microscope les cellules mortes de l'écorce d'un chêne. Mais il lui a fallu attendre les lentilles de très grande qualité fabriquées par Antoni van Leeuwenhoek pour observer des cellules vivantes. Imaginez son émerveillement lorsqu'il a rendu visite à van Leeuwenhoek en 1674 et que le monde des microorganismes – des animalcules, comme les appelait son hôte – s'est révélé à lui !

Les microscopes qu'utilisaient les scientifiques de la Renaissance tout comme ceux de votre laboratoire sont des **microscopes photoniques (MP)**. Dans ces instruments, la lumière visible traverse la préparation (l'échantillon), puis des lentilles de verre. Ces lentilles réfractent (dévient) la lumière, de façon à grossir l'image projetée dans l'œil ou dans un appareil photo (voir l'appendice D).

Le grossissement, la résolution et le contraste sont trois paramètres importants en microscopie. Le *grossissement* est le rapport entre les dimensions de l'image obtenue et celles de l'objet réel. Les microscopes photoniques (MP) peuvent grossir d'environ 1 000 fois la taille réelle du spécimen ; de plus forts grossissements ne permettent pas toujours d'observer clairement les détails les plus fins. La *résolution* est une mesure de la netteté de l'image ou, plus précisément, de la distance minimale séparant deux points pour que ceux-ci restent distincts (pour l'œil humain, cette distance est de 100  $\mu\text{m}$ ). Par exemple, là où l'œil nu voit une seule étoile dans le ciel, le télescope, qui a un plus grand pouvoir de résolution, permet d'apercevoir des étoiles jumelles. De même, en utilisant les techniques classiques, le microscope photonique peut grossir les objets tant qu'on veut, mais son pouvoir de résolution s'arrêtera toujours à 0,2 micromètre ( $\mu\text{m}$ ), soit 200 nanomètres (nm), ce qui représente la taille d'une petite bactérie (figure 6.2). Le troisième paramètre, le *contraste*, est la différence de brillance entre les parties claires et sombres d'une

▼ **Figure 6.2 Les dimensions comparées des cellules.** La plupart des cellules (zones en jaune) mesurent entre 1 et 100  $\mu\text{m}$  de diamètre, et leurs constituants sont encore plus petits (voir la figure 6.32), tout comme les virus. Par conséquent, elles ne sont visibles qu'au microscope. Étant donné l'écart entre les dimensions représentées, nous avons opté pour une échelle logarithmique : chaque mesure indiquée à gauche de la graduation est 10 fois inférieure à celle qui est inscrite au-dessus d'elle. L'appendice C présente un tableau complet du système international d'unités.

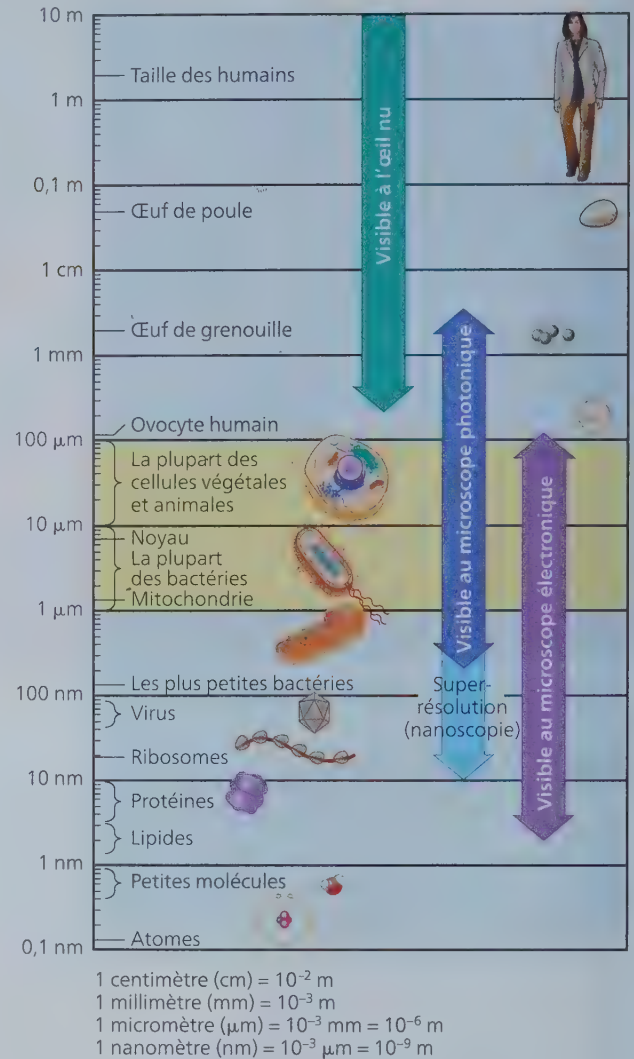


image. Des méthodes améliorant le contraste, comme la coloration ou le marquage des constituants cellulaires, permettent de mieux faire ressortir les détails. La figure 6.3 montre différents types de microscopie ; il sera utile de vous y référer pendant que vous lirez cette section.

L'obstacle de la résolution empêche les biologistes cellulaires d'utiliser la microscopie photonique classique pour étudier les **organites**, c'est-à-dire les diverses structures des cellules eucaryotes contenues dans une membrane (noyau, chloroplastes, mitochondries, etc.). Pour observer les détails de ces structures, il fallait mettre au point un instrument plus puissant, le **microscope électronique (ME)**. Inventé dans les années

### La microscopie photonique (MP)

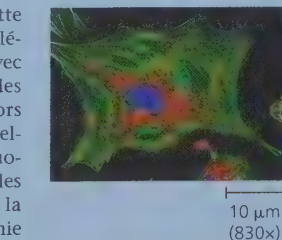
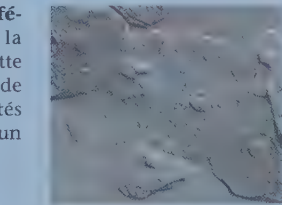
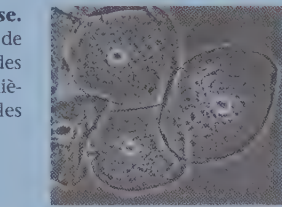
**Microscopie à fond clair (échantillon non coloré).** La lumière passe directement à travers l'échantillon; si la cellule n'est ni naturellement pigmentée ni artificiellement colorée, le contraste est faible. (Les quatre premières micrographies photoniques montrent des cellules épithéliales de la joue humaine; l'échelle est la même pour les quatre.)

**Microscopie à fond clair (échantillon coloré).** Divers colorants accentuent le contraste. La plupart des techniques de coloration exigent que la cellule soit fixée (rendue inerte par un fixateur), ce qui la tue.

**Microscopie en contraste de phase.** Cette technique amplifie les variations de densité et accentue le contraste dans des cellules non colorées, ce qui est particulièrement utile pour l'examen des cellules vivantes dépourvues de pigments.

**Microscopie en contraste interférentiel de Nomarski.** Comme la microscopie en contraste de phase, cette technique amplifie les différences de densité en tirant parti des propriétés optiques de l'échantillon, produisant un effet proche d'une image en 3-D.

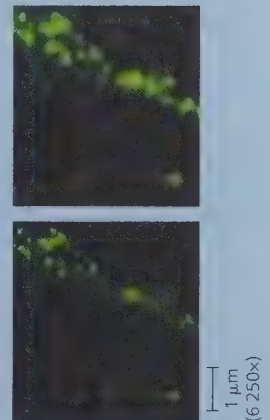
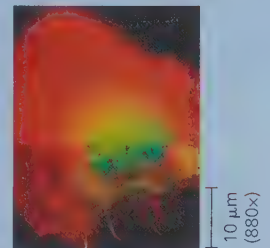
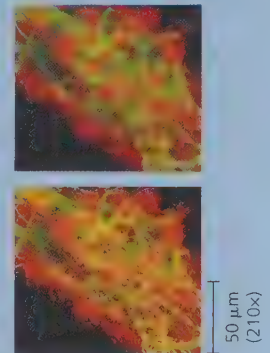
**Microscopie à fluorescence.** Cette technique fait ressortir certaines molécules de la cellule en les marquant avec des colorants fluorescents ou avec des anticorps fluorescents (on parle alors d'immunofluorescence). Certaines cellules contiennent des molécules fluorescentes. Ces substances absorbent les rayons ultraviolets et émettent de la lumière visible. Dans cette micrographie à fluorescence d'une cellule utérine, le contenu du noyau est bleu, des organites qu'on appelle mitochondries sont orangés, et le « squelette » de la cellule apparaît en vert.



**Microscopie confocale.** La photo du haut est une micrographie à fluorescence classique de tissu nerveux coloré (les cellules nerveuses sont vertes, les cellules de soutien, orangées, et les régions communes, jaunes). La photo du dessous montre une image confocale du même tissu. Réalisée avec un laser, cette technique de « coupe optique » élimine les zones lumineuses hors foyer d'un échantillon relativement épais, créant un seul plan de fluorescence dans l'image. La captation d'images nettes de divers plans permet de procéder à une reconstruction en 3-D. L'image classique (en haut) est floue parce qu'on n'en a pas éliminé les zones lumineuses hors foyer.

**Microscopie avec déconvolution.** Dans cette image divisée, la partie supérieure représente une image reconstituée à partir de la superposition de micrographies à fluorescence classiques dans l'épaisseur d'un globule blanc du sang. La partie inférieure montre la même cellule reconstituée à partir de plusieurs images floues de différents plans, traitées une à une avec un logiciel de déconvolution. Ce processus numérique élimine la lumière hors foyer, créant ainsi une image 3-D beaucoup plus nette.

**Microscopie de superrésolution ou nanoscopie.** En haut, on voit une image confocale d'une partie d'une cellule nerveuse réalisée à l'aide d'un marqueur fluorescent qui se lie à des molécules agglomérées dans des vésicules (petits sacs) de 40 nm de diamètre. Les taches jaune vert sont floues parce que ces 40 nm sont en deçà du pouvoir de résolution de la microscopie photonique classique (200 nm). La photo du bas représente une image de la même partie de la cellule, mais réalisée au moyen d'une nouvelle technique de superrésolution. Un dispositif complexe permet d'illuminer des molécules fluorescentes individuelles et d'enregistrer leur position. La combinaison de l'information provenant de nombreuses molécules dans différentes positions permet de dépasser la limite du pouvoir de résolution, produisant les points jaune vert très nets qu'on voit ici. (Chaque point correspond à une vésicule de 40 nm.)



## La microscopie électronique (ME)

**Microscopie électronique à balayage (MEB).** Les micrographies obtenues avec un microscope électronique à balayage produisent une image tridimensionnelle de la surface d'un échantillon. La MEB que l'on voit ici montre la surface d'une cellule de la trachée couverte de cils. Le battement des cils qui tapissent la trachée propulse les débris inhalés jusque dans la gorge.

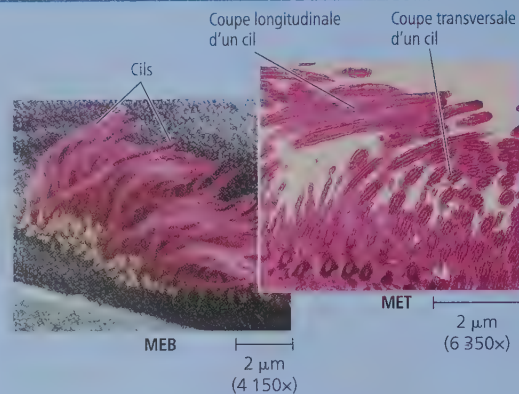
La MEB et la MET qu'on voit ici ont été colorées artificiellement. (Les micrographies électroniques sont en noir et blanc, mais on les colore souvent pour rendre certaines structures plus apparentes.)

### Abréviations utilisées dans les légendes des figures de cet ouvrage:

MP = micrographie photonique

MEB = micrographie électronique à balayage

MET = micrographie électronique à transmission



**Microscopie électronique à transmission (MET).** Une MET permet d'examiner une coupe fine d'un échantillon. Cette MET montre une coupe de cellule trachéale qui révèle sa structure interne. Lors de la préparation de l'échantillon, quelques cils ont été coupés dans le sens de la longueur (coupes longitudinales), et d'autres dans le sens de la largeur (coupes transversales).

**HABILITÉS VISUELLES** ► Lorsqu'on a coupé le tissu pour la MET, quelle était l'orientation des cils dans le haut de la photo à gauche ? Dans la photo à droite ? Expliquez en quoi cette orientation détermine le type de coupe que l'on voit.

1950, le ME n'utilise pas la lumière, mais plutôt un faisceau d'électrons qui traverse la préparation ou en balaie la surface (voir l'appendice D). Le pouvoir de résolution est inversement proportionnel à la longueur d'onde de la lumière (ou électrons) utilisée, et la longueur d'onde des faisceaux d'électrons est de beaucoup inférieure à celle de la lumière visible. Théoriquement, les microscopes électroniques modernes peuvent atteindre une résolution d'environ 0,002 nm, mais en pratique leur limite est généralement de 2 nm, ce qui représente tout de même une résolution 100 fois plus grande que celle du microscope photonique.

Le **microscope électronique à balayage (MEB)** est particulièrement utile pour étudier la topographie (surface) d'un échantillon (voir la figure 6.3). On commence par recouvrir l'échantillon d'une mince pellicule d'or ou de platine, puis un faisceau d'électrons balaie la surface. Le faisceau excite les électrons de la pellicule, laquelle émet des électrons secondaires. Ces derniers sont détectés par un instrument qui convertit la disposition des électrons en signal électronique visible sur un écran. Le microscope électronique à balayage se distingue par sa grande profondeur de champ, grâce à laquelle il produit des images qui semblent tridimensionnelles.

Le **microscope électronique à transmission (MET)** sert à étudier la structure interne d'une cellule (voir la figure 6.3). Le MET envoie un faisceau d'électrons à travers une coupe très mince d'un spécimen, tout comme le faisceau lumineux du microscope photonique traverse un échantillon placé sur une lame. Le spécimen a été coloré au moyen d'atomes de métaux lourds qui se fixent à certaines structures cellulaires, accentuant ainsi la densité électronique de certaines parties de la cellule par rapport à d'autres. Les électrons qui traversent l'échantillon sont

plutôt dispersés dans les régions plus denses, de sorte que moins d'électrons sont transmis (ces régions paraissent plus sombres). L'image révèle la disposition des électrons transmis. Au lieu de comporter des lentilles de verre, le microscope électronique à transmission fonctionne au moyen d'électroaimants qui mettent l'image au point et la grossissent en déviant la trajectoire des électrons. L'image est finalement projetée sur un écran.

Les microscopes électroniques ont permis de découvrir un grand nombre de structures intracellulaires invisibles au microscope photonique. Toutefois, le MP a des avantages, notamment celui de permettre l'étude des cellules vivantes, alors que la microscopie électronique exige une fixation préalable des cellules, une opération qui les tue. Pour tout type de microscopie, la préparation des échantillons risque d'introduire des artefacts, c'est-à-dire des altérations ou des anomalies structurales inexistantes dans les cellules intactes (ce qui est vrai de toutes les techniques de microscopie).

Ces dernières décennies, des percées techniques majeures ont donné un second souffle au microscope photonique (voir la figure 6.3). L'utilisation de marqueurs fluorescents a rendu possible l'observation de plus en plus détaillée des molécules et des structures cellulaires individuelles. De plus, la microscopie confocale et la microscopie avec déconvolution ont donné des images en 3-D beaucoup plus nettes des cellules et des tissus. Finalement, les récentes années ont été marquées par l'introduction d'un ensemble de nouvelles techniques et de nouvelles méthodes de marquage des molécules. Grâce à ces outils, les chercheurs ont réussi à dépasser la limite de la résolution et à distinguer des structures intracellulaires dont la taille est d'environ 10 à 20 nm. Avec l'essor de cette *microscopie de superrésolution*, ou nanoscopie, les images de cellules vivantes qu'on obtient de nos jours sont

aussi impressionnantes pour nous que celles de van Leeuwenhoek l'ont été pour Robert Hooke il y a 350 ans.

Les microscopes de tous genres sont les principaux outils de la *cytologie*, soit l'étude des structures de la cellule. Cependant, pour comprendre le fonctionnement des structures, il a fallu intégrer la cytologie et la *biochimie*, c'est-à-dire l'étude des molécules et des processus chimiques (métabolisme) des cellules.

## Le fractionnement cellulaire

La technique biochimique du **fractionnement cellulaire** (figure 6.4) consiste à décomposer les cellules et à en isoler les principaux organites et autres structures intracellulaires. Cette technique est particulièrement utile pour étudier la structure et le fonctionnement des cellules. Le fractionnement se fait à

l'aide d'une centrifugeuse, un instrument capable de faire tourner à des vitesses de plus en plus élevées des éprouvettes contenant des cellules préalablement dissociées dans un mélangeur. À chacune de ces vitesses, la force centrifuge produite isole des constituants de la cellule qui se déposent au fond du tube, formant un culot. Aux vitesses les plus basses, le précipité est formé des composants les plus gros, et aux vitesses les plus hautes, des plus petits.

Il est souvent nécessaire de faire suivre la *centrifugation différentielle* d'une autre centrifugation qui, elle, sépare des constituants différents contenus dans un même culot, selon leur masse volumique. Le fractionnement cellulaire permet alors d'isoler (sans les détruire) des constituants cellulaires en grande quantité pour étudier leur fonctionnement, ce qui est généralement impossible avec des cellules intactes. Ainsi, ayant recueilli par

### DÉMARCHE SCIENTIFIQUE

### MÉTHODE DE RECHERCHE

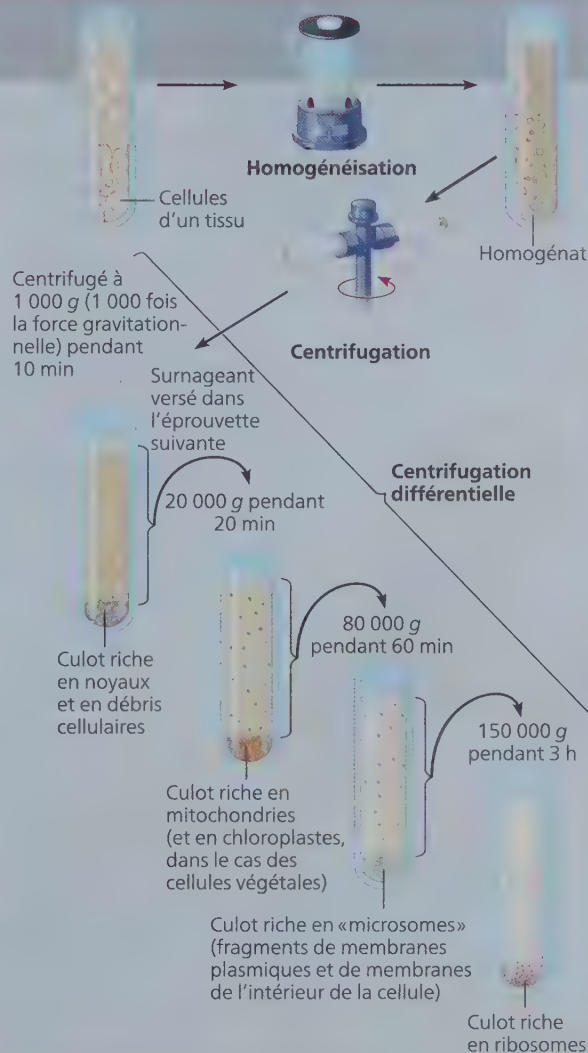
#### Le fractionnement cellulaire

■ **APPLICATION** ■ Le fractionnement cellulaire sert à séparer (fractionner) les constituants de la cellule selon leur taille et leur masse volumique.

■ **TECHNIQUE** ■ La première étape du fractionnement est l'homogénéisation dans un mélangeur afin de désintégrer les cellules. L'homogénat est centrifugé, puis le surnageant (liquide au-dessus du culot) est ensuite versé dans une autre éprouvette. Il est alors centrifugé plus longtemps à une vitesse plus élevée. On répète le processus à plusieurs reprises. Cette «centrifugation différentielle» produit une série de culots, chacun contenant un composant cellulaire différent.

■ **RÉSULTATS** ■ Dans les premières expérimentations, les chercheurs ont utilisé la microscopie pour identifier les organites de chaque culot et des techniques biochimiques pour déterminer les fonctions métaboliques de chaque organite. Ces travaux ont établi des valeurs de référence pour les expériences subséquentes, ce qui a permis aux générations suivantes de chercheurs de savoir quelle fraction cellulaire ils devaient recueillir pour isoler et étudier tels ou tels organites.

■ **FAITES DES LIENS** ► Si vous deviez étudier le processus de traduction des protéines à partir de l'ARNm, quelle partie de quelle fraction utiliseriez-vous ? (Voir la figure 5.22.)



centrifugation une fraction cellulaire contenant des enzymes de la respiration cellulaire et ayant constaté que cette même fraction cellulaire contenait aussi beaucoup de mitochondries, un type d'organite mis en évidence par microscopie électronique, les cytologistes ont pu déterminer que la mitochondrie est le site de la respiration cellulaire. La cytologie et la biochimie se complètent avantageusement, car elles concourent toutes les deux à préciser le lien entre la structure et la fonction cellulaires.

## RETOUR SUR LE CONCEPT 6.1

1. Comparez l'utilisation de la coloration en microscopie photonique et en microscopie électronique.
2. **ET SI ?** ► Quel type de microscope utiliseriez-vous pour étudier (a) les changements de forme d'un leucocyte (globule blanc) vivant et (b) les détails de la surface d'un cheveu ?

Voir les réponses proposées à l'appendice A.

## CONCEPT 6.2

### Chez les eucaryotes, la compartimentation de l'espace cellulaire contribue au fonctionnement biochimique

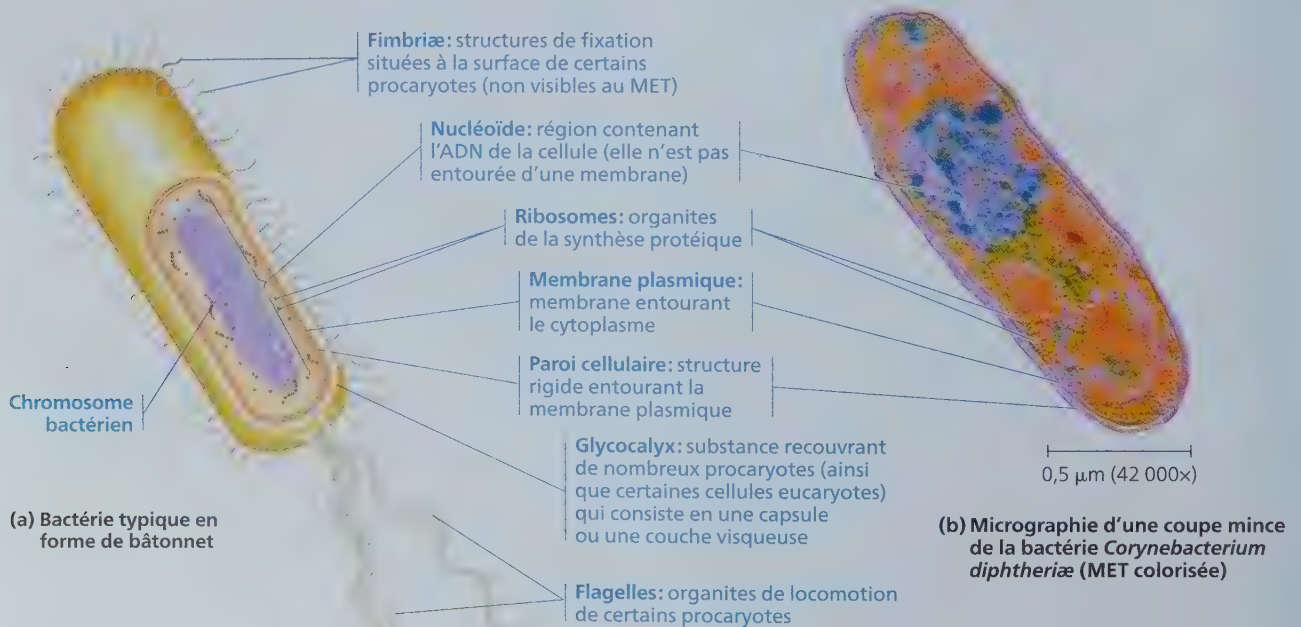
Unités structurales et fonctionnelles de base de tout organisme, les cellules sont soit de type procaryote, soit de type eucaryote.

Seuls les organismes appartenant aux domaines des bactéries et des archées sont constitués de cellules procaryotes. En revanche, les protistes, les végétaux, les eumycètes et les animaux sont constitués de cellules eucaryotes. (Le terme « protiste » désigne un groupe diversifié comprenant essentiellement des eucaryotes unicellulaires.)

### Cellules procaryotes et cellules eucaryotes: ressemblances et différences

Toutes les cellules présentent certaines caractéristiques communes. Elles sont toutes entourées d'une barrière sélective, la *membrane plasmique* (aussi appelée membrane cellulaire ou cytoplasmique), qui circonscrit leurs organites, lesquels baignent dans une substance semi-liquide semblable à de la gelée, le **cytosol**. Toutes les cellules contiennent des *chromosomes* qui portent des gènes constitués d'ADN. De même, toutes les cellules possèdent des *ribosomes*, minuscules complexes qui synthétisent les protéines en suivant les instructions inscrites dans les gènes. Enfin, les grands mécanismes biochimiques qui entretiennent la vie s'effectuent selon un plan de base similaire dans toutes les cellules.

L'une des grandes différences entre les *cellules procaryotes* et les *cellules eucaryotes* réside dans la localisation de leur ADN. Dans une **cellule eucaryote**, la majeure partie du matériel génétique (ADN) se trouve dans le *noyau*, un organite entouré d'une double membrane (voir la figure 6.8), tandis que, dans une **cellule procaryote**, il est concentré dans une région appelée **nucléotide** (figure 6.5) qu'aucune membrane ne sépare du reste de la cellule. Comme l'indiquent leurs racines, le terme *eucaryote* (du grec *eu*, « vrai », et *karyon*, « noyau ») signifie « vrai noyau » et



▲ **Figure 6.5** La cellule procaryote. Dépourvue de véritable noyau et d'organites membraneux, la cellule procaryote semble être beaucoup plus simple que la cellule eucaryote. Les procaryotes comprennent les bactéries et les archées; la structure cellulaire générale de ces deux domaines est très semblable.

le terme *procaryote* (du grec *pro*, « avant ») veut dire « prénoyau » – les cellules procaryotes ayant précédé les cellules eucaryotes dans l'évolution.

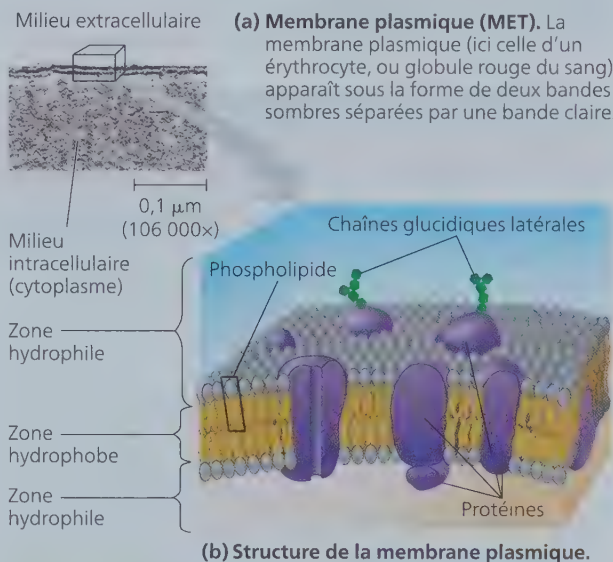
L'intérieur des deux types de cellules s'appelle **cytoplasme**; pour les cellules eucaryotes, ce terme ne s'applique qu'à la région située entre le noyau et la membrane plasmique. Le cytoplasme de la cellule eucaryote contient divers organites spécialisés qui baignent dans le cytosol et qui diffèrent par leurs formes et leurs fonctions. Ces structures séparées par des membranes sont absentes de presque toutes les cellules procaryotes, et c'est là une autre différence entre les cellules procaryotes et eucaryotes. Dépourvu d'organites, le cytoplasme des cellules procaryotes n'est pas pour autant un bouillon clair. Certaines cellules procaryotes, par exemple, contiennent des régions entourées de protéines (et non de membranes) à l'intérieur desquelles des réactions spécifiques se produisent.

En général, les cellules eucaryotes sont beaucoup plus importantes que les cellules procaryotes (voir la figure 6.2). Or, comme d'autres caractéristiques générales de la structure cellulaire, la taille est liée à la fonction. Pour remplir ses fonctions métaboliques, la cellule ne doit être ni trop petite ni trop grande. Les plus petites cellules connues appartiennent au domaine des bactéries et se nomment mycoplasmes; leur diamètre mesure entre 0,1 et 1  $\mu\text{m}$ . Il s'agit peut-être là du volume minimal pouvant renfermer suffisamment d'ADN pour programmer le métabolisme, et assez d'enzymes et d'équipement cellulaire pour accomplir les activités nécessaires au maintien de la vie et à la reproduction. Les bactéries mesurent généralement de 1 à 5  $\mu\text{m}$  de diamètre; elles sont donc une dizaine de fois plus grosses que les mycoplasmes. Les cellules eucaryotes, quant à elles, mesurent habituellement de 10 à 100  $\mu\text{m}$  de diamètre.

Les exigences du métabolisme cellulaire imposent également une limite aux dimensions que peut atteindre la cellule, en raison de la vitesse à laquelle les molécules peuvent se déplacer à l'intérieur de la cellule, mais surtout à cause des échanges nécessaires entre la cellule et son milieu. La **membrane plasmique**, qui délimite la périphérie de chaque cellule, tient lieu de barrière sélective assurant le passage d'une quantité suffisante de molécules d'oxygène ( $\text{O}_2$ ), de nutriments et de déchets pour desservir la totalité de la cellule (figure 6.6). Toutefois, il y a des limites à la capacité d'une surface membranaire à laisser diffuser ou à faire passer une substance donnée en un temps donné (disons un micromètre carré de membrane par seconde). C'est pourquoi le rapport surface/volume est crucial. Lorsqu'une cellule (ou tout autre objet) grandit, sa surface augmente moins, toutes proportions gardées, que son volume. (L'aire est proportionnelle au carré de la dimension linéaire, tandis que le volume est proportionnel au cube de la dimension linéaire.) Par conséquent, plus un objet est petit, plus le rapport surface/volume est élevé (figure 6.7). La rubrique **Habilités scientifiques** vous donnera l'occasion de calculer les volumes et les surfaces de deux cellules réelles: une cellule de levure mature et sa cellule fille. Pour voir les diverses façons dont la surface des cellules est maximisée chez les organismes, reportez-vous à la partie Faites des liens de la figure 33.9.

Plus la surface de la membrane plasmique est grande par rapport au volume de la cellule, plus les échanges satisfont les besoins cellulaires, ce qui explique la taille microscopique de la plupart des cellules et la forme allongée des autres, comme

▼ **Figure 6.6 La membrane plasmique.** La membrane plasmique et les membranes des organites de la cellule renferment diverses protéines spécialisées attachées ou incorporées dans une double couche (bicouche) de phospholipides. En raison de leurs propriétés hydrophiles et hydrophobes, ces molécules contribuent à l'organisation des membranes cellulaires. En effet, les parties hydrophobes des phospholipides et des protéines membranaires se trouvent à l'intérieur de la membrane, tandis que les parties hydrophiles sont en contact avec la solution aqueuse de part et d'autre de la membrane. Des chaînes glucidiques latérales peuvent être attachées à des protéines ou à des lipides sur la surface externe de la membrane plasmique.



**HABILITÉS VISUELLES** ► Quelles parties du schéma de la partie (b) correspondent aux bandes foncées de la MET de la partie (a)? Quelles parties correspondent à la bande claire? (Revoyez la figure 5.11.)

▼ **Figure 6.7 La géométrie du rapport surface/volume.** Dans ce schéma, les cellules sont représentées par des cubes. À l'aide d'unités de longueur arbitraires, on peut calculer leur surface (en unités carrées, ou unités<sup>2</sup>), leur volume (en unités cubes, ou unités<sup>3</sup>) ainsi que leur rapport surface/volume. Un rapport surface/volume élevé favorise les échanges entre la cellule et son environnement.

L'aire augmente, alors que le volume total reste constant.

	1	5	1
<b>Surface totale</b> (somme des aires de la surface [hauteur × largeur] de tous les côtés × nombre de cubes)	6	150	750
<b>Volume total</b> (hauteur × largeur × longueur × nombre de cubes)	1	125	125
<b>Rapport surface/volume</b> (aire de la surface ÷ volume)	6	1,2	6

les cellules nerveuses. Généralement, les cellules des organismes les plus grands ne sont pas *plus grandes* que celles des petits organismes, elles sont seulement *plus nombreuses* (voir la figure 6.7). Un rapport surface/volume suffisamment élevé est particulièrement important dans les cellules qui échangent beaucoup de matières avec leur milieu, par exemple les cellules intestinales. La surface de ce genre de cellule est parfois pourvue de longs et fins prolongements, les *microvillosités*, qui augmentent la surface d'échange de la cellule sans accroître significativement son volume.

Plus loin dans ce chapitre, nous décrirons les relations qu'ont entretenues les cellules procaryotes et les cellules eucaryotes au

fil de l'évolution. La majeure partie du texte qui suit concerne les cellules eucaryotes; nous décrirons la cellule procaryote en détail plus loin (au chapitre 27).

## Une vue d'ensemble de la cellule eucaryote

En plus de sa membrane plasmique, la cellule eucaryote possède un réseau étendu et élaboré de membranes internes (les organites membraneux déjà mentionnés) qui la compartimentent. Les compartiments cellulaires constituent des microenvironnements propices à certaines fonctions métaboliques spécialisées, ce qui permet à des processus opposés de se dérouler simultanément

### DÉMARCHE SCIENTIFIQUE

#### HABILITÉS SCIENTIFIQUES

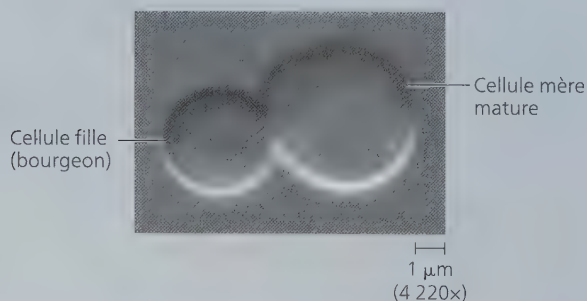
#### Utiliser une échelle graphique pour calculer le volume et la surface d'une cellule

##### ■ QUELLE QUANTITÉ DE NOUVEAU CYTOPLASME ET DE MEMBRANE PLASMIQUE UNE CELLULE DE LEVURE EN CROISSANCE PEUT-ELLE PRODUIRE ? ■

La levure unicellulaire *Saccharomyces cerevisiae* se reproduit par bourgeonnement et donne naissance à une petite cellule qui croît jusqu'à pleine maturité (voir les cellules de levure au bas de la figure 6.8). Durant sa croissance, la cellule fille (bourgeon) synthétise du cytoplasme, qui augmente son volume, et de la membrane plasmique, qui augmente sa surface. Dans cet exercice, vous utiliserez une échelle graphique pour déterminer la taille d'une cellule de levure mère et la taille de sa cellule fille. Vous calculerez le volume et la surface de chaque cellule, puis vous déterminerez la quantité de cytoplasme et de membrane plasmique que la cellule fille devra produire jusqu'à maturité.

**■ MÉTHODE ■** Les chercheurs ont mis en culture les cellules de levure dans des conditions propices à leur reproduction par bourgeonnement. Ils les ont ensuite observées par microscopie en contraste interférentiel de Nomarski et photographiées.

**■ RÉSULTATS ■** Cette micrographie photonique montre une cellule de levure en bourgeonnement qui s'apprête à donner naissance à une cellule.

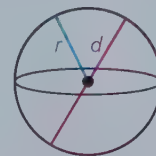


**Source de la micrographie:** Kelly Tatchell, utilisant des cellules de levure cultivées pour une expérience décrite dans L. Kozubowski et coll., Role of the septin ring in the asymmetric localization of proteins at the mother-bud neck, *Saccharomyces cerevisiae*, *Molecular Biology of the Cell* 16: 3455-3466 (2005).

##### INTERPRÉTEZ LES DONNÉES ▼

- Examinez la micrographie photonique des cellules de levure. L'échelle graphique sous la photo indique 1 µm. Cette échelle fonctionne de la même façon que l'échelle d'une carte géographique où, par exemple, 1 cm correspond à 1 km. Dans cet exercice, l'échelle représente un millièème de millimètre. En vous servant de l'échelle comme unité de base, déterminez le diamètre de la cellule mère et celui de la cellule fille. Commencez par mesurer l'échelle graphique et le diamètre de chaque cellule. Les unités que vous utiliserez n'importent peu, mais il demeure commode de travailler en millimètres. Divisez chaque diamètre par la longueur de l'échelle graphique, puis multipliez par la valeur correspondante pour obtenir le diamètre en micromètres.
- La forme d'une cellule de levure ressemble à celle d'une sphère. (a) Calculez le volume de chaque cellule à l'aide de la formule utilisée pour calculer le volume d'une sphère, soit:

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3$$



Notez que le symbole  $\pi$  (la lettre grecque pi) est une constante dont la valeur est égale à environ 3,14, que  $d$  est le diamètre et que  $r$  est le rayon, dont la valeur est la moitié du diamètre. (b) Quel volume de nouveau cytoplasme la cellule fille devra-t-elle synthétiser durant sa croissance? Pour le savoir, calculez la différence entre le volume de la cellule mère et le volume de la cellule fille.

- À mesure que la cellule fille croît, sa membrane plasmique doit s'agrandir elle aussi afin de pouvoir contenir le cytoplasme de plus en plus abondant (le volume de plus en plus grand). (a) Calculez la surface de chaque cellule à l'aide de la formule utilisée pour calculer la surface d'une sphère, soit:  $S = 4\pi r^2$ . (b) Déterminez la surface que la cellule fille devra ajouter à sa membrane plasmique durant sa croissance.
- Lorsque la cellule fille parviendra à maturité, combien de fois plus grand sera son volume et combien de fois plus grande sera sa surface (membrane) par rapport à son volume et à sa surface actuels?

dans une même cellule. Par exemple, les enzymes digestives confinées dans les lysosomes n'entravent pas les processus de synthèse qui ont cours dans le cytoplasme. En outre, la membrane plasmique et les membranes des organites participent directement au métabolisme cellulaire, puisque de nombreuses enzymes y sont incorporées.

La plupart des membranes biologiques sont constituées d'une double couche de phospholipides et d'autres lipides. Diverses protéines associées à ces lipides sont incorporées à la double couche ou fixées à sa surface (voir la figure 6.6). Toutefois, chacune présente une composition lipidique et protéique conforme à ses fonctions spécifiques. Par exemple, plusieurs enzymes de la respiration cellulaire sont insérées dans la membrane interne des mitochondries. Comme les membranes jouent un rôle fondamental dans l'organisation de la cellule, nous en traiterons au chapitre 7.

Avant de poursuivre, examinez la **figure 6.8**. Ces représentations schématiques de cellules animales et végétales montrent les divers organites de la cellule eucaryote et en font ressortir les principales différences. Les micrographies au bas des pages vous donnent un aperçu des cellules de divers organismes eucaryotes.

## RETOUR SUR LE CONCEPT 6.2

1. Décrivez brièvement la structure et la fonction de chacun des organites suivants : noyau, mitochondrie, chloroplaste, vacuole centrale, réticulum endoplasmique et complexe golgien.
2. **FAITES UN DESSIN** ► Dessinez une cellule simplifiée de forme allongée qui mesure  $125 \times 1 \times 1$  unités arbitraires. Une cellule nerveuse aurait à peu près cette forme. Selon vous, comment son rapport surface/volume se compare-t-il à ceux de la figure 6.7 ? Vérifiez votre prédiction en calculant ce rapport.

Voir les réponses proposées à l'appendice A.

## CONCEPT 6.3

### Le noyau de la cellule eucaryote renferme les instructions génétiques que les ribosomes utilisent pour fabriquer les protéines

Nous commencerons notre exploration approfondie de la cellule eucaryote par deux des constituants cellulaires intervenant dans l'expression des gènes : le noyau, qui héberge la plus grande partie de l'ADN cellulaire, et les ribosomes, qui fabriquent les protéines à partir de l'information codée dans l'ADN.

#### Le noyau : porteur de l'information génétique de la cellule

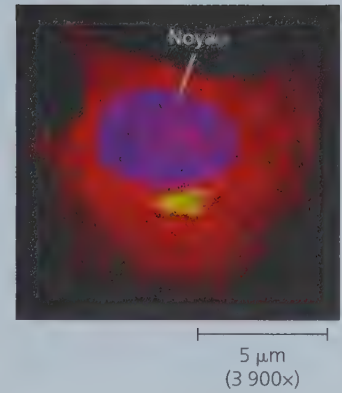
Le **noyau** contient la plupart des gènes qui régissent la cellule eucaryote ; les autres gènes se trouvent dans les mitochondries et dans les chloroplastes. Il y a habituellement un seul noyau par cellule, mais il existe plusieurs exceptions dont, chez les mammifères, les érythrocytes qui n'en possèdent pas et les cellules hépatiques (cellules du foie) qui en ont souvent deux. Son diamètre moyen

étant de  $5 \mu\text{m}$ , il constitue généralement l'organite le plus visible d'une cellule eucaryote (voir la structure mauve dans la micrographie à fluorescence). Il est entouré d'une membrane **double**, appelée **enveloppe nucléaire** (**figure 6.9**), qui sépare son contenu du cytoplasme.

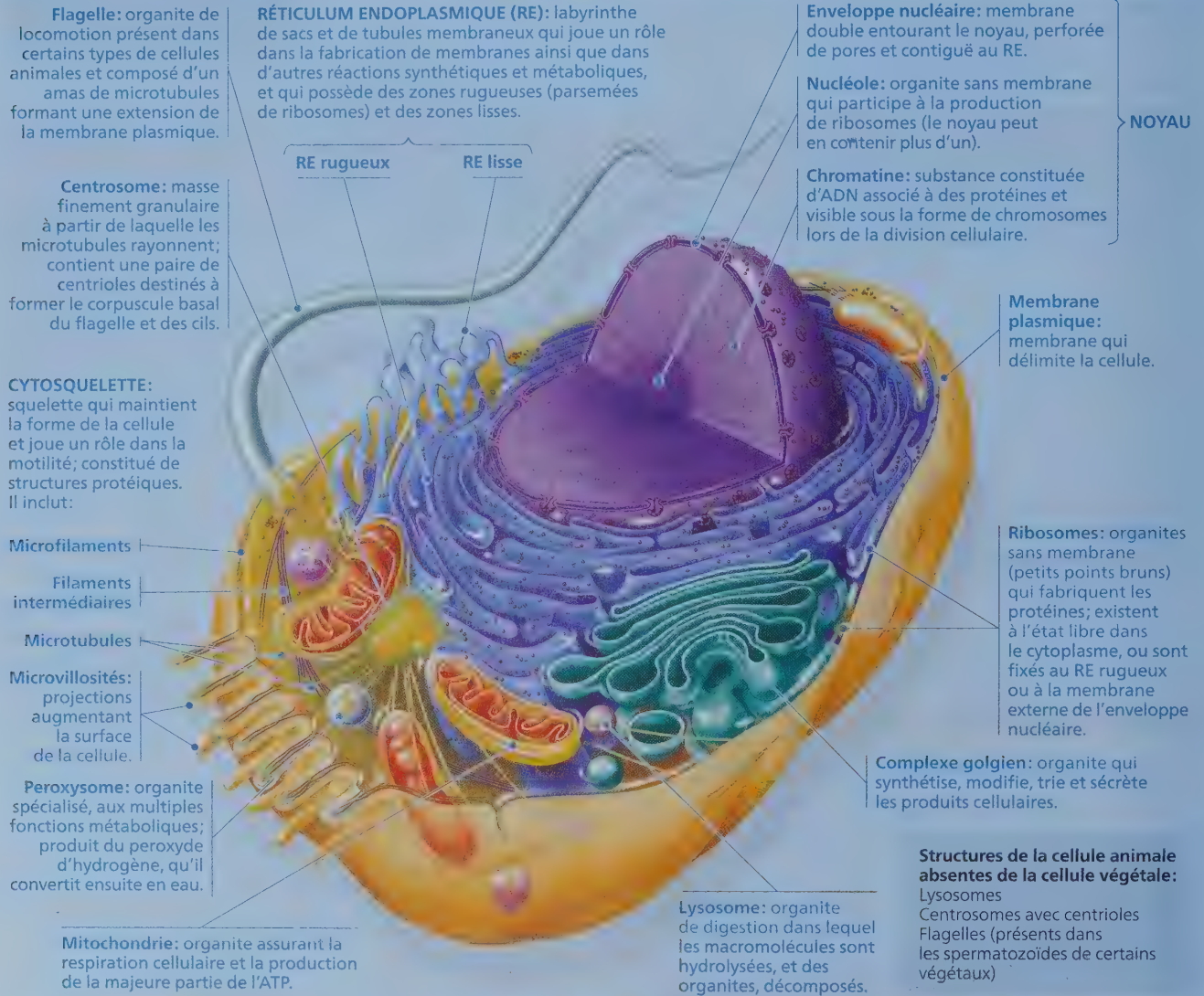
Les deux membranes de l'enveloppe nucléaire, formées chacune d'une double couche de lipides associée à des protéines, sont séparées par un espace de 20 à 40 nm environ. L'enveloppe nucléaire est percée de milliers de pores, mesurant chacun environ 100 nm de diamètre. Les membranes interne et externe de l'enveloppe nucléaire se rejoignent à l'embouchure de ces pores. Chacun d'eux est constitué d'une structure formée de quelques dizaines de protéines qui déterminent le **complexe du pore nucléaire**, ressemblant à un bouchon sur le pore. Ce complexe régule le passage de certaines macromolécules et particules. La **lamina nucléaire** tapisse la face interne de l'enveloppe nucléaire, sauf au niveau des pores ; elle consiste en un entrelacement de filaments protéiques (appelés **filaments intermédiaires** dans les cellules animales) qui soutient mécaniquement l'enveloppe du noyau, lui donne sa forme et la maintient. Des données incontestables indiquent la présence d'une **matrice nucléaire**, un réseau de fibres protéiques qui s'étend dans le noyau. La lamina et la matrice nucléaires contribueraient à organiser le matériel génétique de manière à assurer son bon fonctionnement.

À l'intérieur du noyau, l'ADN est réparti dans des structures distinctes, les **chromosomes**, qui portent l'information génétique. Chaque chromosome contient une longue molécule d'ADN associée à de nombreuses protéines. Certaines de ces protéines facilitent l'enroulement de la molécule d'ADN de chaque chromosome pour lui permettre de se loger dans le noyau. Le complexe d'ADN et de protéines qui forment les chromosomes s'appelle **chromatine**. Lorsque la cellule n'est pas en train de se diviser, la chromatine colorée apparaît comme un amas diffus, tant au microscope photonique qu'au microscope électronique. Même en présence de chromosomes séparés, il est impossible de les distinguer les uns des autres. Cependant, au moment où la cellule s'apprête à se diviser, les chromosomes se condensent (ils se resserrent) et s'épaississent suffisamment pour qu'on puisse distinguer leurs structures respectives au microscope. Chaque espèce eucaryote possède un nombre caractéristique de chromosomes. Ainsi, le noyau des cellules humaines en contient 46, exception faite des gamètes, ou cellules sexuelles (l'ovocyte et le spermatozoïde), qui en comptent seulement 23. La drosophile (*Drosophila melanogaster*, ou mouche du vinaigre) en possède 8 dans la plupart de ses cellules et 4 dans ses gamètes.

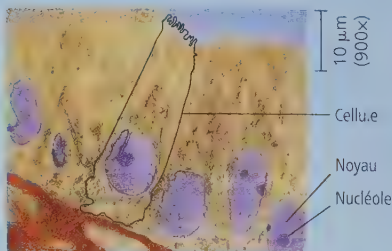
Entre les périodes de division cellulaire, la structure intranucléaire la plus visible est le **nucléole**. Au microscope électronique, celui-ci apparaît sous la forme d'une masse opaque de granules et de fibres associée à la chromatine. Un ARN particulier, l'**ARN ribosomique** (ARNr), y est synthétisé à partir de l'information contenue dans l'ADN. Des protéines importées du



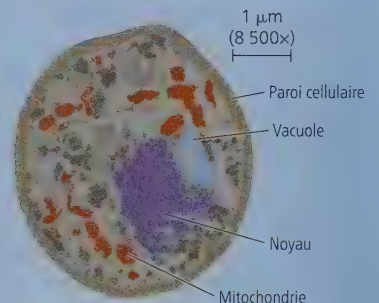
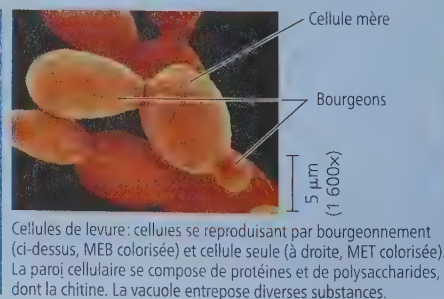
### Cellule animale (coupe d'une cellule théorique)



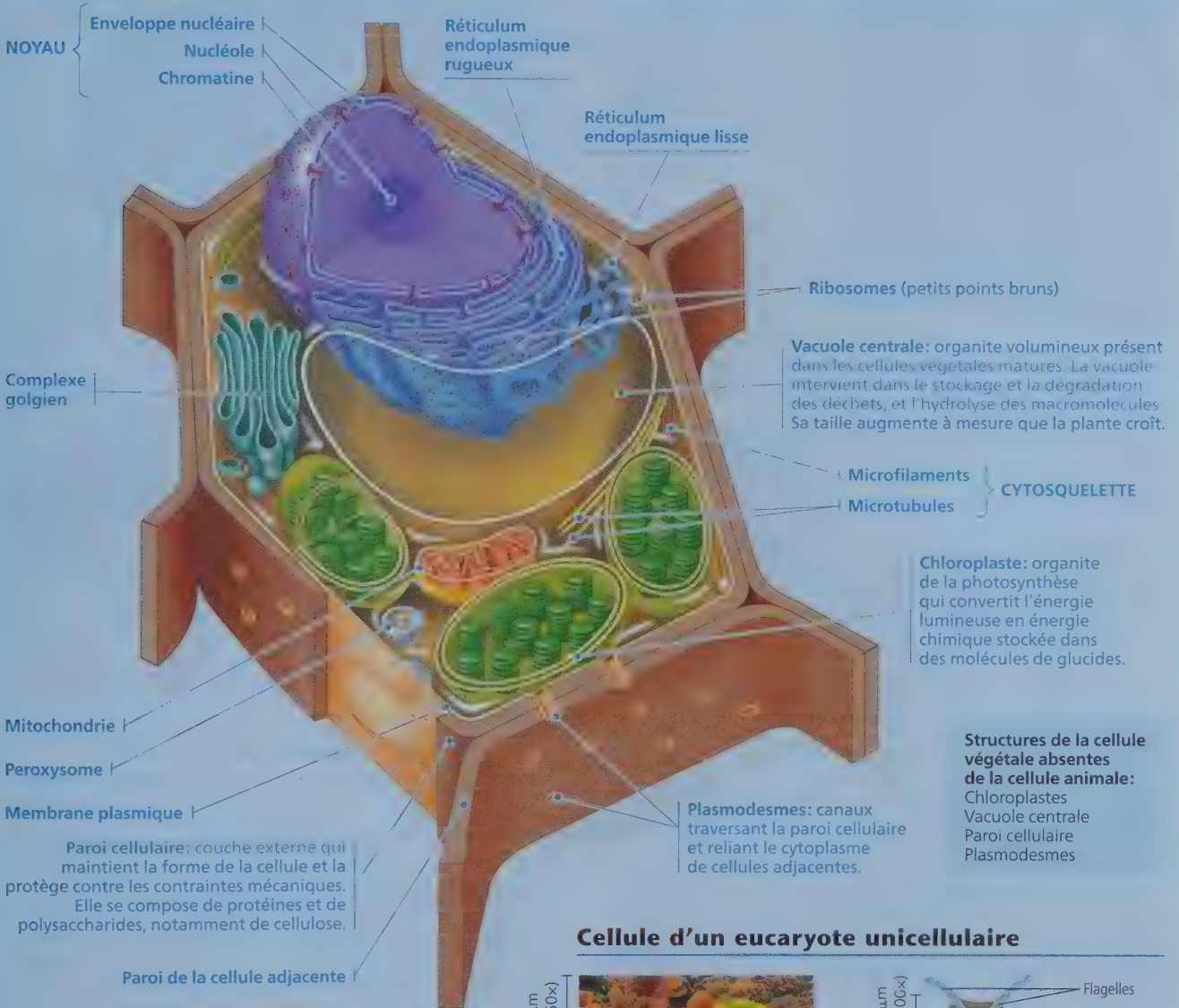
### Cellules animales



### Cellules d'eumycètes

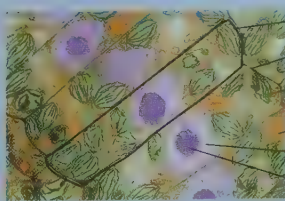


## Cellule végétale (coupe d'une cellule théorique)



## Cellules végétales

5  $\mu\text{m}$   
(1 800x)



Cellule

Paroi cellulaire

Chloroplaste

Mitochondrie

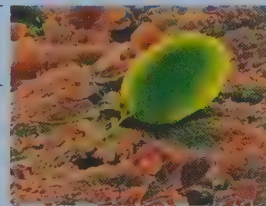
Noyau

Nucléole

Cellules de la lentille d'eau (*Spirodela oligorrhiza*), une plante flottante (MET colorisée).

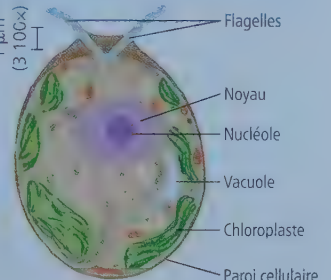
## Cellule d'un eucaryote unicellulaire

8  $\mu\text{m}$   
(1 450x)

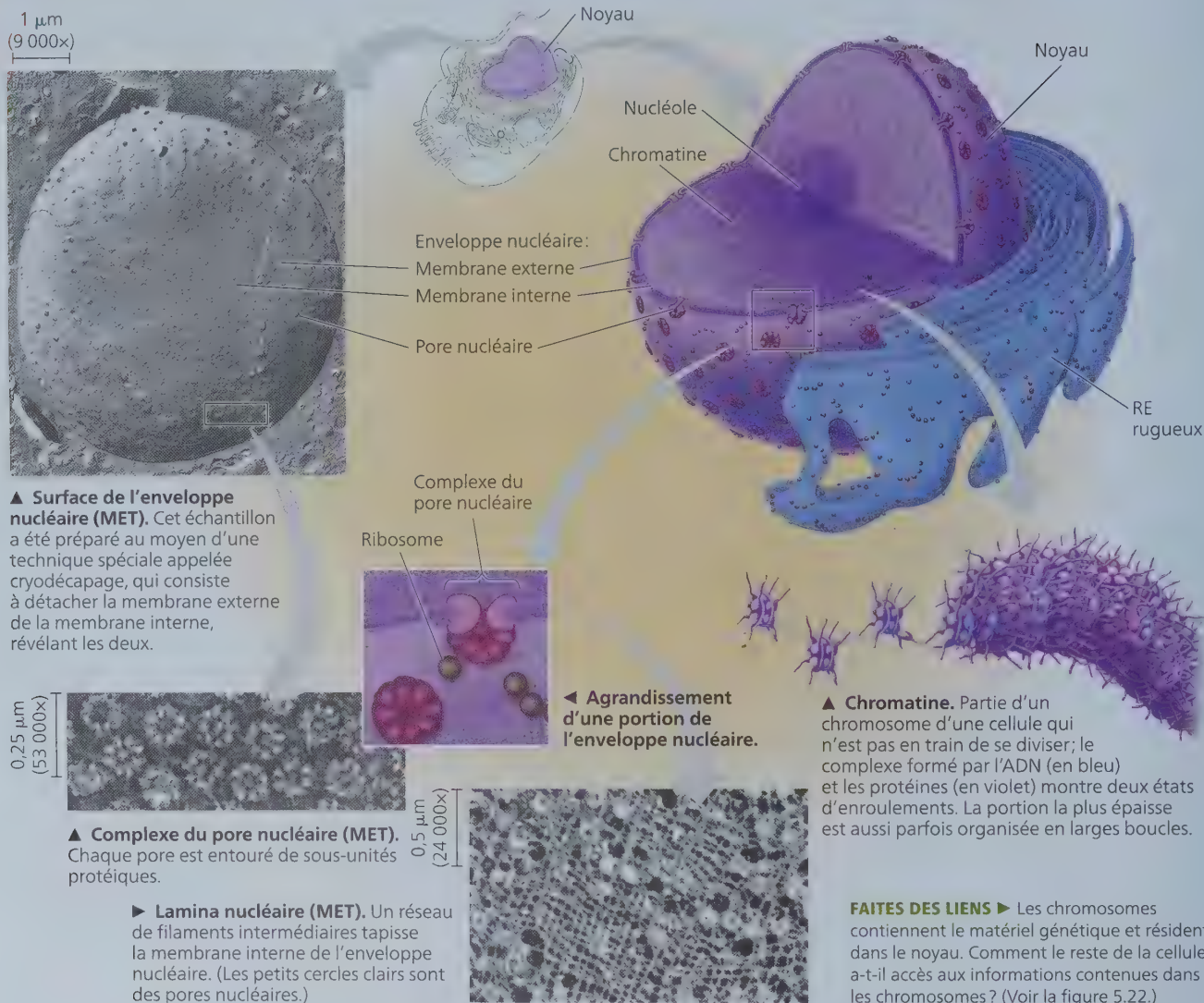


Algue verte unicellulaire *Chlamydomonas* (ci-dessus, MEB colorisée; à droite, MET colorisée). La paroi cellulaire se compose de glycoprotéines et de polysaccharides non cellulosiques. La vacuole contractile expulse l'eau vers l'extérieur de la cellule.

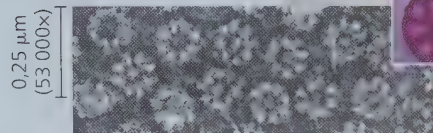
1  $\mu\text{m}$   
(3 100x)



▼ **Figure 6.9 Le noyau et l'enveloppe nucléaire.** Le noyau contient les chromosomes, qu'on voit ici sous la forme d'une masse de chromatine (association d'ADN et de protéines), ainsi qu'un ou plusieurs nucléoles, qui participent à la synthèse des sous-unités ribosomiques. L'enveloppe nucléaire, formée de deux membranes séparées par un espace étroit, est percée de pores; la lamina nucléaire tapisse la membrane interne.



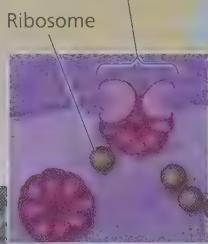
▲ **Surface de l'enveloppe nucléaire (MET).** Cet échantillon a été préparé au moyen d'une technique spéciale appelée cryodécapage, qui consiste à détacher la membrane externe de la membrane interne, révélant les deux.



▲ **Complexe du pore nucléaire (MET).** Chaque pore est entouré de sous-unités protéiques.

► **Lamina nucléaire (MET).** Un réseau de filaments intermédiaires tapisse la membrane interne de l'enveloppe nucléaire. (Les petits cercles clairs sont des pores nucléaires.)

Complexe du pore nucléaire



◀ **Agrandissement d'une portion de l'enveloppe nucléaire.**

▲ **Chromatine.** Partie d'un chromosome d'une cellule qui n'est pas en train de se diviser; le complexe formé par l'ADN (en bleu) et les protéines (en violet) montre deux états d'enroulements. La portion la plus épaisse est aussi parfois organisée en larges boucles.

**FAITES DES LIENS ►** Les chromosomes contiennent le matériel génétique et résident dans le noyau. Comment le reste de la cellule a-t-il accès aux informations contenues dans les chromosomes? (Voir la figure 5.22.)

cytoplasme sont assemblées dans le noyau avec l'ARN ribosomique pour former de grandes et de petites sous-unités ribosomiques. Ces sous-unités sortent du noyau par les pores nucléaires et se rendent dans le cytoplasme. Là, une grande sous-unité et une petite se combinent pour former un ribosome. Le noyau contient parfois deux nucléoles, ou plus, selon l'espèce et la phase du cycle reproductif de la cellule.

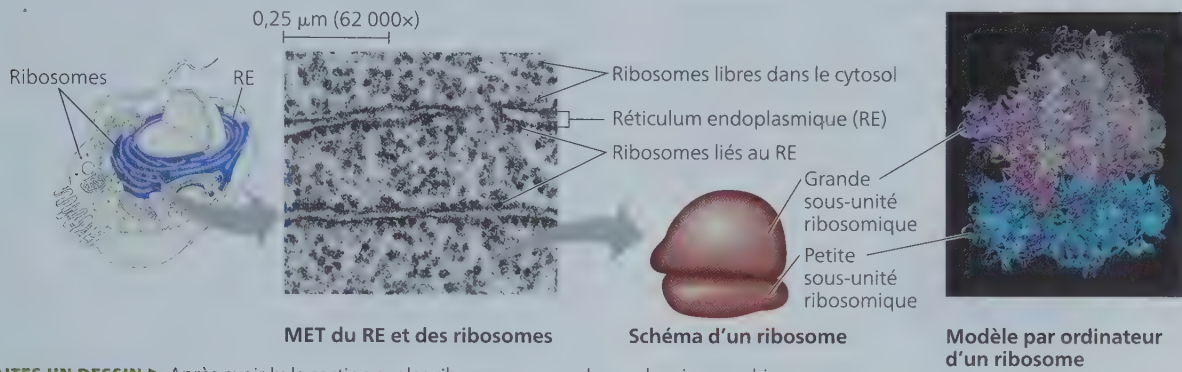
Comme on l'a vu à la figure 5.22, le noyau régit la synthèse protéique en élaborant l'ARN messager (ARNm) selon les directives fournies par l'ADN. Il expédie ensuite l'ARNm dans le cytoplasme par les pores nucléaires. Lorsqu'une molécule d'ARNm rejoint le cytoplasme, les ribosomes convertissent son message génétique en polypeptide de structure primaire. (Ce processus de transcription et de traduction de l'information génétique est approfondi au chapitre 17.)

## Les ribosomes: des usines de protéines

Les **ribosomes**, des complexes constitués d'ARN ribosomiques et de protéines, sont les constituants cellulaires qui synthétisent les protéines (**figure 6.10**). (Notez que les ribosomes ne sont pas limités par une membrane et ne sont donc pas considérés comme des organites.) Les cellules qui synthétisent beaucoup de protéines se démarquent par leur grand nombre de ribosomes et leurs nucléoles proéminents, ce qui n'est pas surprenant si l'on pense au rôle des nucléoles dans la formation des ribosomes. Ainsi, une cellule pancréatique humaine, qui fabrique plusieurs enzymes digestives, possède quelques millions de ribosomes.

Dans le cytoplasme, les protéines sont assemblées par deux types de ribosomes. À tout moment, des **ribosomes libres** sont suspendus dans le cytosol et des **ribosomes liés** sont fixés à la

▼ **Figure 6.10 Les ribosomes.** Cette micrographie électronique d'une cellule pancréatique montre de nombreux ribosomes libres ou liés. Le schéma simplifié et le modèle par ordinateur illustrent les deux sous-unités d'un ribosome.



**FAITES UN DESSIN** ► Après avoir lu la section sur les ribosomes, encerclez sur la micrographie un ribosome qui pourrait être en train de fabriquer une protéine qui sera sécrétée.

surface externe du réticulum endoplasmique ou de l'enveloppe nucléaire (voir la figure 6.10). Qu'ils soient liés ou libres, les ribosomes sont structurellement identiques, et un même ribosome peut être tantôt libre, tantôt lié. La plupart des protéines fabriquées sur des ribosomes libres interviennent dans le cytosol ; c'est notamment le cas des enzymes qui catalysent les premières étapes du métabolisme des glucides. Quant aux ribosomes liés, ils synthétisent généralement des protéines qui seront insérées dans les membranes ou dans certains organites comme les lysosomes (voir la figure 6.8), ou qui seront exportées (sécrétion). Les cellules spécialisées dans la sécrétion de protéines – comme les cellules du pancréas qui sécrètent des enzymes digestives – présentent pour la plupart une forte proportion de ribosomes liés. (Vous approfondirez vos connaissances sur la structure et la fonction des ribosomes au concept 17.4.)

**intracellulaires** (aussi appelé réseau intracellulaire de membranes), qui comprend l'enveloppe nucléaire, le réticulum endoplasmique, le complexe golgien, les lysosomes, divers types de vésicules et de vacuoles ainsi que la membrane plasmique. Ce système accomplit diverses tâches dans la cellule, dont la synthèse des protéines et leur transport vers des membranes et des organites ou vers l'extérieur de la cellule. Il intervient également dans le métabolisme et le mouvement des lipides, ainsi que dans la détoxification des substances nocives et des médicaments. Les membranes du réseau de membranes intracellulaires sont liées de deux façons : ou bien elles se prolongent les unes les autres, ou bien elles échangent des portions d'elles-mêmes par l'intermédiaire de minuscules **vésicules** (sacs membraneux). Toutes n'ont pas pour autant la même structure ni la même fonction. L'épaisseur de ces membranes, leur composition moléculaire et le type de réactions chimiques auxquelles participent les protéines dans une membrane donnée peuvent changer à plusieurs reprises au cours de la vie de la membrane. Comme nous avons déjà décrit l'enveloppe nucléaire, nous nous concentrerons ici sur le réticulum endoplasmique et sur les autres membranes internes auxquelles il donne naissance.

### RETOUR SUR LE CONCEPT 6.3

1. Quel est le rôle des ribosomes dans l'expression des instructions génétiques fournies par l'ADN ?
2. Décrivez la composition moléculaire des nucléoles et expliquez leur fonction.
3. **ET SI ?** ► Lorsqu'une cellule entame son processus de division, ses chromosomes deviennent plus courts et plus épais, et l'examen en microscopie photonique permet de distinguer chacun d'eux. Expliquez ce qui se produit à l'échelle moléculaire.

Voir les réponses proposées à l'appendice A.

### Le réticulum endoplasmique : une usine biosynthétique

Le **réticulum endoplasmique (RE)** forme un labyrinthe membraneux si étendu que, dans beaucoup de cellules eucaryotes, il représente plus de la moitié de la substance membraneuse. (Le terme *endoplasmique* signifie « à l'intérieur » du cytoplasme et le terme *réticulum* vient d'un mot latin qui signifie « réseau ».) Le RE comprend un réseau de tubules et de sacs membraneux appelés citernes (du latin *cisterna*, « réservoir »). Sa membrane isole du cytosol le compartiment interne du RE, appelé *lumière du RE* (ou cavité de la citerne). Et comme la membrane du RE est en continuité avec l'enveloppe nucléaire, le contenu des citernes communique avec l'espace situé entre les deux membranes de l'enveloppe nucléaire (figure 6.11).

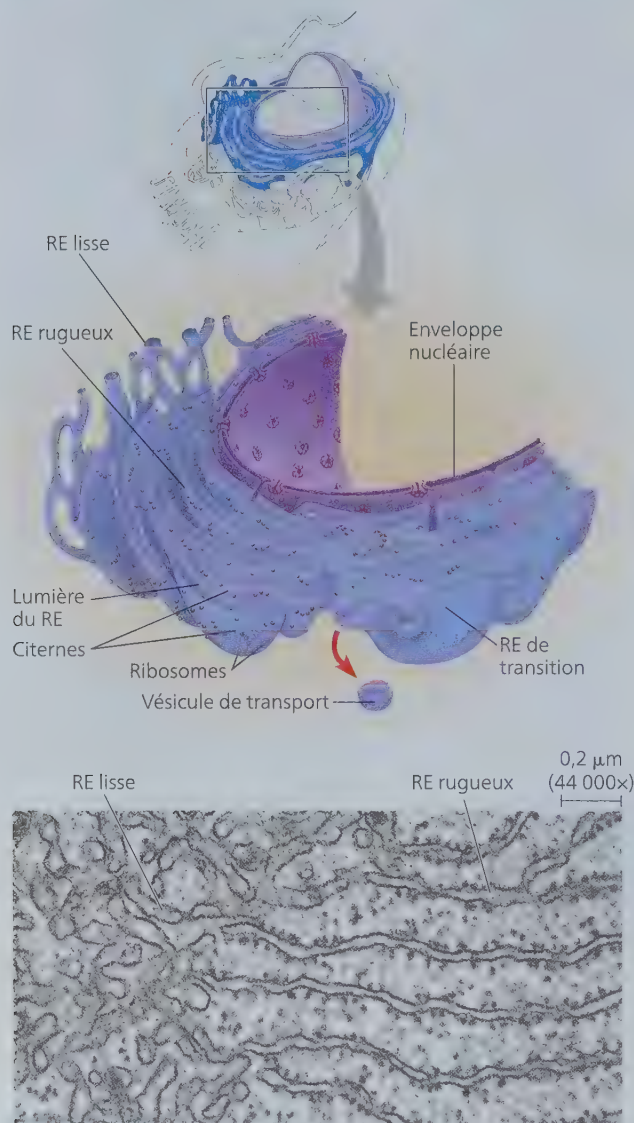
Le réticulum endoplasmique se divise en deux régions présentant certaines différences moléculaires et fonctionnelles : le RE rugueux et le RE lisse. Le **réticulum endoplasmique lisse (REL)** est ainsi qualifié parce qu'il ne porte pas de ribosomes sur

### Le réseau de membranes intracellulaires dirige la circulation des protéines et remplit des fonctions métaboliques

Dans la cellule eucaryote, plusieurs organites limités par une membrane font partie intégrante du **réseau de membranes**

### CONCEPT 6.4

sa face cytoplasmique. Quant au **réticulum endoplasmique rugueux (RER)**, il a un aspect granulaire lorsqu'il est observé au microscope électronique. Il est parsemé de ribosomes sur sa face cytoplasmique. On trouve aussi des ribosomes sur la face externe cytoplasmique de l'enveloppe nucléaire, que prolonge le RE rugueux.



▲ **Figure 6.11** Le réticulum endoplasmique (RE). Le réticulum endoplasmique (RE) est un réseau membraneux de tubules et de sacs aplatis appelés citernes. La membrane du réticulum endoplasmique prolonge l'enveloppe nucléaire et délimite une cavité remplie de solutions diverses appelée lumière du RE (ou cavité de la citerne). Cette micrographie électronique illustrant une coupe du RE permet de distinguer le réticulum endoplasmique rugueux (ou granulaire), parsemé de ribosomes sur sa face cytoplasmique, du réticulum endoplasmique lisse (MET). Les vésicules de transport se détachent d'une région du réticulum endoplasmique rugueux appelée réticulum endoplasmique de transition, puis se dirigent vers le complexe golgien ou ailleurs.

### Les fonctions du réticulum endoplasmique lisse

Le RE lisse participe à divers processus métaboliques, qui varient selon le type cellulaire, dont la synthèse des lipides, le métabolisme des glucides, la détoxification des médicaments, des drogues et des substances nocives, ainsi que le stockage des ions calcium.

Les enzymes du RE lisse jouent un rôle important dans la synthèse des lipides, notamment des graisses, des stéroïdes et de nouveaux phospholipides membranaires. Parmi les stéroïdes produits par le RE lisse des cellules animales, on compte les hormones sexuelles des vertébrés et les diverses hormones stéroïdes sécrétées par les glandes surrénales. Les cellules spécialisées qui synthétisent et sécrètent ces hormones, celles des testicules et des ovaires, par exemple, sont riches en RE lisse, une caractéristique structurale conforme à leur fonction.

Dans le RE lisse, d'autres enzymes contribuent à ces fonctions de détoxification, en particulier dans les cellules hépatiques. La détoxification se fait habituellement par l'ajout de groupements hydroxyle, qui augmentent la solubilité des produits nocifs et facilitent leur élimination. Par exemple, le phénobarbital, un sédatif, et d'autres barbituriques font partie des substances métabolisées de cette façon par le RE lisse des cellules hépatiques. En fait, la consommation de barbituriques, d'alcool et de bien d'autres substances entraîne une prolifération du RE lisse et de ses enzymes de détoxification, augmentant du même coup le taux de détoxification. C'est pourquoi l'organisme acquiert une plus grande tolérance aux produits en question ; autrement dit, le sujet doit ingérer des doses croissantes pour ressentir les mêmes effets. Et comme certaines enzymes de détoxification ont un spectre d'action relativement étendu, la prolifération du RE lisse consécutive à l'usage d'une substance risque d'accroître la tolérance à d'autres substances. Ainsi, la prise excessive de barbituriques peut diminuer l'efficacité de certains antibiotiques et d'autres médicaments.

Le RE lisse emmagasine également des ions calcium. Dans les cellules musculaires, par exemple, une membrane spécialisée du réticulum sarcoplasmique (une forme de RE lisse) extrait des ions calcium du cytosol et les accumule dans les citernes. Quand un signal nerveux atteint une cellule musculaire, le calcium fait le chemin inverse : il retransverse la membrane du réticulum sarcoplasmique, pénètre dans le cytosol et déclenche la contraction musculaire. Dans d'autres types de cellules, la libération d'ions calcium du RE lisse déclenche des réactions différentes, comme la sécrétion de vésicules portant des protéines nouvellement synthétisées.

### Les fonctions du réticulum endoplasmique rugueux

Plusieurs cellules sécrètent les protéines produites par les ribosomes liés au RE rugueux. Par exemple, certaines cellules pancréatiques synthétisent la protéine insuline dans le RE rugueux et sécrètent cette hormone dans la circulation sanguine. Lorsqu'un ribosome lié synthétise une chaîne polypeptidique, celle-ci traverse la membrane du RE, vraisemblablement par un pore formé d'un complexe protéique. En entrant dans la lumière du RE, le nouveau polypeptide se replie et prend sa forme native. La plupart des protéines de sécrétion sont des **glycoprotéines**, c'est-à-dire des protéines auxquelles sont fixés des glucides par des liaisons covalentes. Les glucides sont liés aux protéines dans la lumière du RE par des enzymes incorporées dans la membrane du RE.

Une fois les protéines de sécrétion formées, la membrane du RE les isole des protéines du cytosol qui, elles, sont produites par les ribosomes libres. Les protéines de sécrétion quittent le RE emballées dans des **vésicules de transport**; celles-ci se détachent d'une région spécialisée appelée *réticulum endoplasmique de transition* (voir la figure 6.11). Nous verrons dans la prochaine section ce qu'il advient des vésicules de transport.

En plus de fabriquer des protéines de sécrétion, le RE rugueux est une usine à membrane pour la cellule; il fait croître sa propre membrane en y ajoutant des protéines et des phospholipides. Certains polypeptides nouvellement formés par les ribosomes et destinés à devenir des protéines membranaires s'insèrent dans sa membrane et s'y ancrent à l'aide de leurs parties hydrophobes. Comme le RE lisse, le RE rugueux produit également ses propres phospholipides membranaires, que des enzymes incorporées à sa membrane assemblent à partir de précurseurs venant du cytosol. Ainsi, grâce à l'agencement de protéines adéquates et de phospholipides, le RE étend sa membrane; le nouveau matériel peut aussi être transféré sous la forme de vésicules de transport à d'autres composantes du réseau de membranes intracellulaires.

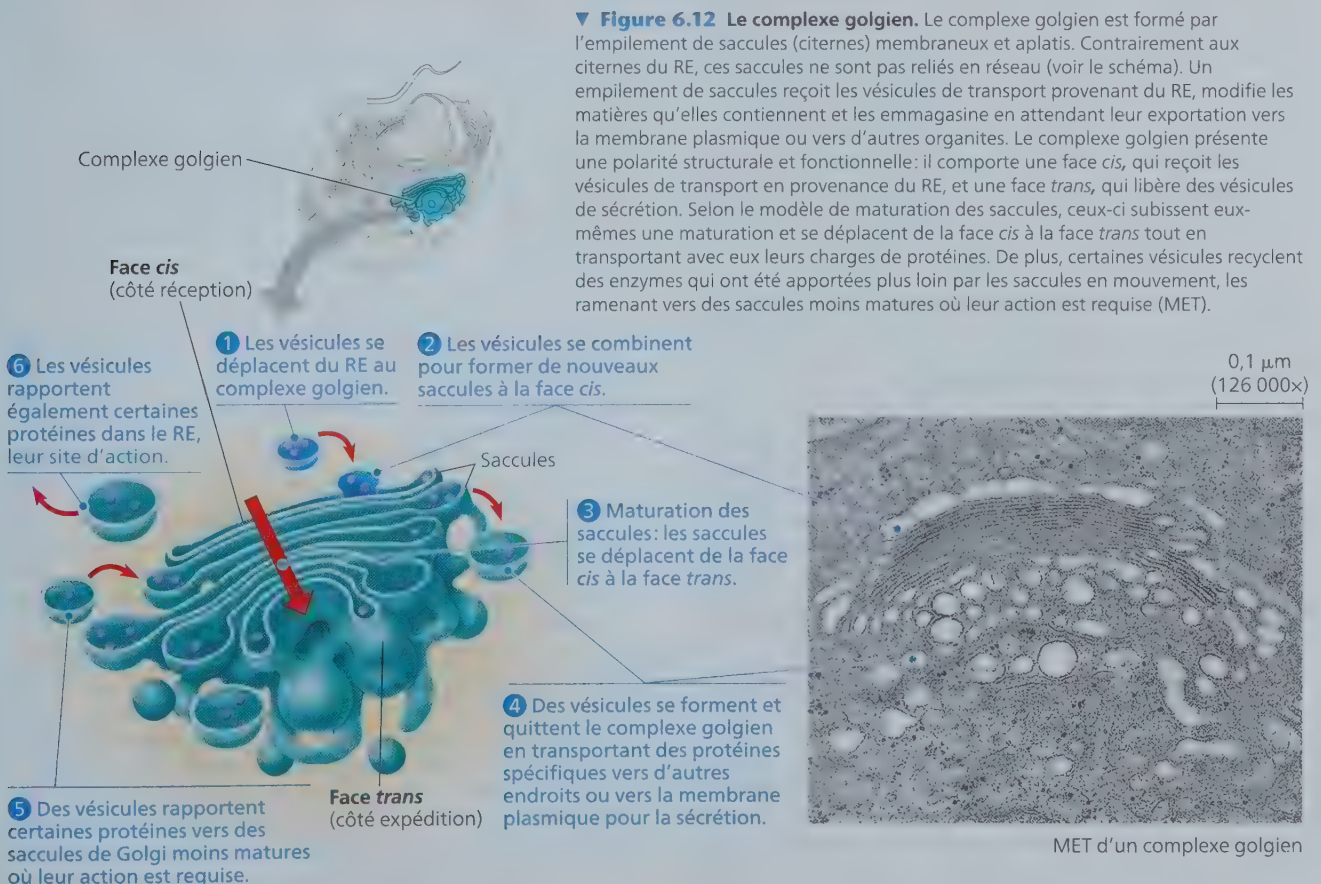
## Le complexe golgien: un centre d'expédition et de réception

À leur sortie du réticulum endoplasmique, beaucoup de vésicules de transport se dirigent vers le **complexe golgien** (ou appareil

de Golgi). On peut comparer ce dernier à un centre de réception, d'entreposage, de triage, d'expédition et même, dans une certaine mesure, de fabrication. Les produits du RE, comme les protéines, y sont modifiés, entreposés, puis expédiés vers d'autres destinations. Comme on pouvait s'y attendre, le complexe golgien est particulièrement étendu dans les cellules sécrétrices.

Un complexe golgien, situé généralement près du noyau, est constitué d'un certain nombre d'ensembles de saccules membranaires aplatis (citernes), chacun de ces ensembles ressemblant à une pile de pains pitas (**figure 6.12**). Une cellule animale peut contenir une vingtaine de ces empilements (appelés *dictyosomes*) alors qu'une cellule végétale peut en contenir jusqu'à plusieurs centaines. La membrane des saccules sépare le contenu de ceux-ci du cytosol. Les *vésicules de sécrétion*, concentrées au voisinage du complexe golgien, véhiculent des matières entre ce dernier et d'autres structures cellulaires.

Le complexe golgien présente une nette polarité structurale: les membranes des saccules situés aux extrémités opposées d'un empilement n'ont ni la même épaisseur ni la même composition moléculaire. Les deux pôles d'un empilement s'appellent face **cis** et face **trans**; ils ont respectivement pour fonction de recevoir et d'expédier les matières. Le terme *cis* signifie « du même côté », et la face *cis* est habituellement située près du RE. Des vésicules de transport acheminent des matières du RE au complexe golgien. Une fois que celles-ci se sont détachées du RE, elles incorporent leur membrane et leur contenu à la face *cis* d'un



empilement en fusionnant avec la membrane du saccule supérieur. La face *trans* (« du côté opposé ») concave donne naissance à des vésicules de sécrétion qui s'achèment vers d'autres sites.

En général, les produits du réticulum endoplasmique subissent une modification au cours de leur transit entre la face *cis* et la face *trans* du complexe golgien. Par exemple, la partie glucidique des glycoprotéines formées dans le RE est modifiée lors du passage de ces dernières dans le reste du RE et dans le complexe golgien. Ce dernier délège certains monomères des polysaccharides et les remplace par d'autres ; il produit ainsi une grande variété de glucides, différents de ce qu'ils étaient à l'origine. Les phospholipides membranaires peuvent aussi être modifiés dans le complexe golgien.

En plus d'accomplir ce travail de finition, le complexe golgien fabrique certaines macromolécules, notamment de nombreux polysaccharides sécrétés par les cellules. C'est là, par exemple, que sont fabriqués les pectines et certains autres polysaccharides non cellulotiques qui seront incorporés avec la cellulose dans les parois des cellules végétales. Les produits du complexe golgien destinés à la sécrétion quittent la face *trans* dans des vésicules de sécrétion qui fusionneront ultérieurement avec la membrane plasmique.

Le complexe golgien élabore et affine ses produits par étapes ; celles-ci correspondent aux différents saccules compris entre la face *cis* et la face *trans* d'un empilement, qui renferment chacun des enzymes particulières. Jusqu'à récemment, on considérait ce complexe comme une structure statique dont les produits, à différentes étapes de traitement, passaient d'un saccule à l'autre, par l'intermédiaire de vésicules de transport. Bien que cette conception (appelée *modèle du transport vésiculaire*) puisse être correcte, les travaux entrepris dans plusieurs laboratoires ont amené des chercheurs à proposer de revenir au *modèle dit de maturation des saccules* (ou modèle de maturation des citernes), qui avait cours avant celui du transport vésiculaire. Selon ce modèle, le complexe golgien est une structure dynamique dont les saccules, constamment produits, se déplacent de la face *cis* à la face *trans*, transportant et modifiant leur cargaison au fil de leur déplacement. La figure 6.12 illustre les détails de ce modèle. La réalité se situe probablement à mi-chemin entre les deux modèles. Des travaux de recherche récents donnent à penser que les régions centrales des saccules seraient fixes, tandis que les régions en bordure seraient plus dynamiques.

Avant d'émettre des vésicules de sécrétion par sa face *trans*, le complexe golgien doit trier ses produits et déterminer leur destination. Cette opération est facilitée par une sorte d'apposition d'étiquettes moléculaires, comme des groupements phosphate, qui jouent un peu le même rôle qu'un code postal dans une adresse. On croit que les vésicules de sécrétion provenant du complexe golgien portent des molécules externes qui reconnaissent les sites récepteurs spécifiques à la surface des organites ou sur la membrane plasmique, ce qui permet de les cibler.

## Les lysosomes : des compartiments destinés à la digestion

Un **lysosome** est un sac membraneux rempli d'une cinquantaine d'enzymes hydrolytiques que beaucoup de cellules eucaryotes utilisent pour digérer (hydrolyser) des macromolécules. Les enzymes lysosomiales ont une efficacité maximale dans le milieu acide des lysosomes, à un pH de 5 environ. Si un lysosome

fuit ou se désagrège, ses enzymes deviennent inactives dans le milieu neutre du cytosol. Néanmoins, un écoulement excessif d'enzymes résultant de la fuite simultanée de plusieurs lysosomes peut détruire une cellule.

Les enzymes hydrolytiques et la membrane du lysosome sont produites par le RE rugueux, puis transférées séparément dans le complexe golgien, où leur traitement se poursuit. Il semble que certains lysosomes se forment par bourgeonnement de la face *trans* du complexe golgien (voir la figure 6.12). Comment les protéines de la face interne de la membrane du lysosome et les enzymes digestives échappent-elles à l'autodestruction ? Apparemment, leur forme tridimensionnelle protège leurs liaisons vulnérables contre l'activité enzymatique.

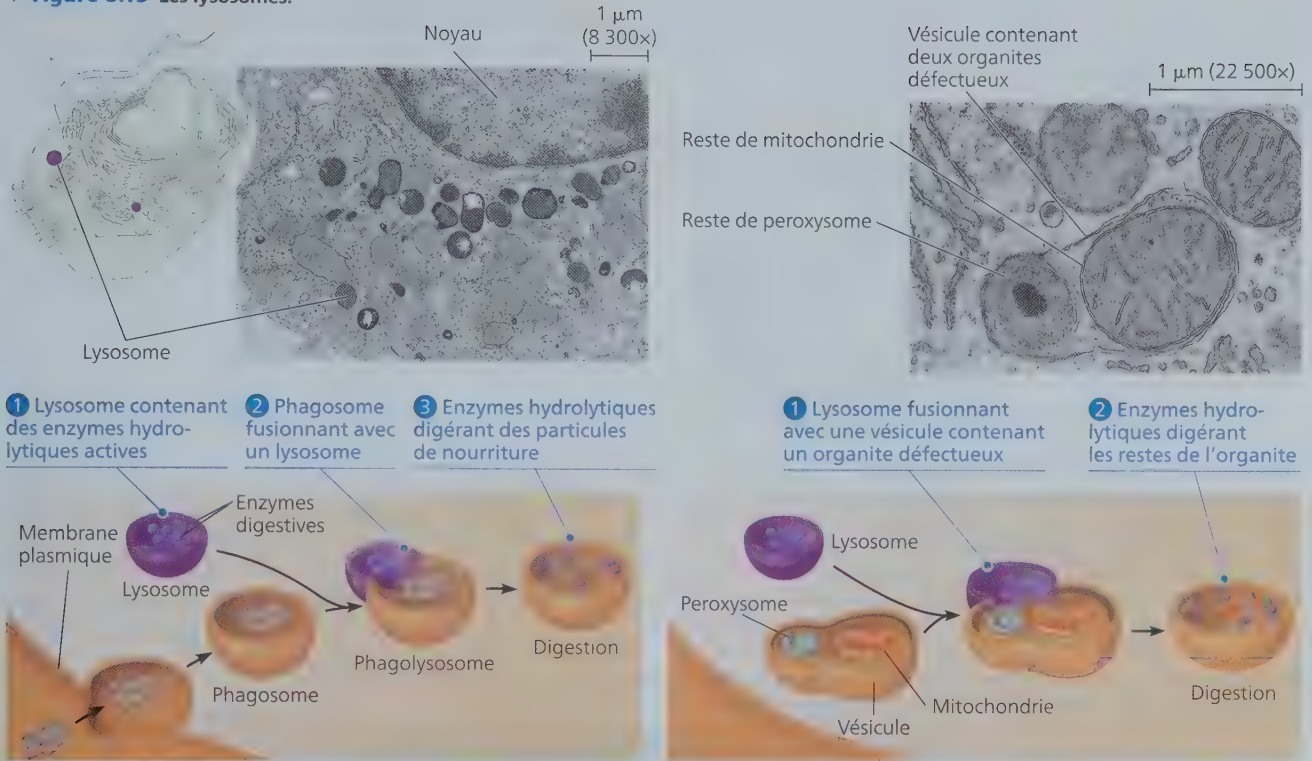
La fonction de digestion intracellulaire des lysosomes intervient dans diverses circonstances. Certaines cellules se nourrissent par **endocytose**, un processus au cours duquel elles ingèrent des nutriments et que nous verrons plus en détail au chapitre 7. En fait, la membrane plasmique laisse passer les particules nutritives en formant des vacuoles. Les amibes et plusieurs autres eucaryotes unicellulaires se nourrissent en ingérant de plus petits organismes ou de minuscules particules de nourriture. Ce processus est appelé **phagocytose** (du grec *phagein*, qui signifie « manger », et *kytos*, « récipient », qui renvoie à la cellule). Il s'agit d'un processus par lequel une cellule se déforme afin d'entourer complètement un corps étranger. Ce dernier se trouve ainsi emprisonné dans un *phagosome* (ou vacuole digestive). Ce phagosome se détache de la membrane, puis fusionne avec un lysosome pour donner un *phagolysosome*, dont le contenu est digéré par des enzymes (figure 6.13a, en bas). Les produits de la digestion, dont les glucides simples, les acides aminés et d'autres monomères, retournent dans le cytosol et fournissent à nouveau de la matière et de l'énergie à la cellule. Certaines cellules humaines, notamment les macrophages, des cellules du système immunitaire aussi appelées macrophages, détruisent des bactéries, des virus et des substances étrangères par phagocytose (figure 6.13a, en haut, et figure 6.32).

Le lysosome a aussi pour fonction de recycler la matière organique intracellulaire, un processus appelé *autophagie*. Au cours de ce processus, un organite défectueux ou endommagé ou une petite quantité de cytosol s'entourent d'une double membrane (d'origine inconnue) et forment une vésicule, appelée *autophagosome*, qui fusionne avec un lysosome (figure 6.13b). Ce dernier, à l'aide de ses enzymes, décompose la membrane interne contenant la matière organique ingérée, et les composés organiques plus simples qui en résultent peuvent retourner dans le cytosol et être réutilisés. Grâce à l'autophagie, la cellule se renouvelle sans cesse. Une cellule hépatique humaine, par exemple, recycle la moitié de ses macromolécules chaque semaine. L'autophagie peut aussi constituer une façon pour la cellule de se procurer des nutriments et de l'énergie lorsque ceux-ci font défaut.

Le lysosome contribue également à la dégradation rapide des organites et des molécules d'une cellule endommagée ou morte. Les enzymes lysosomiales sont libérées dans le cytosol et participent à ce processus appelé **autolyse** (du grec *autos*, qui signifie « soi-même », et *lisis*, « dissolution ») de la cellule.

Les maladies de surcharge comprennent un groupe de troubles héréditaires qui perturbent le métabolisme lysosomal. Elles se caractérisent par l'absence d'une des enzymes hydrolytiques actives normalement présentes dans les lysosomes. Chez les

▼ **Figure 6.13 Les lysosomes.**



**(a) Phagocytose.** Dans la phagocytose, les lysosomes digèrent (hydrolysent) les matières absorbées par la cellule. *En haut* : Les lysosomes de ce macrophage (un type de globule blanc) de rat sont très sombres, parce que le colorant utilisé réagit avec l'un des produits de la digestion qu'ils contiennent (MET). Les macrophages ingèrent les agresseurs bactériens ou viraux et les détruisent dans leurs lysosomes. *En bas* : Ce schéma illustre un lysosome fusionnant avec un phagosome durant le processus de phagocytose par un eucaryote unicellulaire.

**(b) Autophagie.** Dans l'autophagie, les lysosomes recyclent les déchets intracellulaires. *En haut* : Dans le cytoplasme de cette cellule hépatique de rat, on peut voir une vésicule contenant deux organites défectueux (MET); la vésicule fusionnera avec un lysosome au cours du processus d'autophagie, qui recycle les déchets intracellulaires. *En bas* : Ce schéma illustre la fusion d'une telle vésicule avec un lysosome. Ce type de vésicule est doté d'une double membrane (d'origine inconnue). La membrane externe fusionne avec le lysosome et la membrane interne est détruite avec les organites défectueux.

personnes atteintes, les lysosomes s'engorgent de substrats non utilisables, ce qui nuit aux autres fonctions cellulaires. Dans la maladie de Tay-Sachs, par exemple, une lipase (une enzyme digérant les lipides) est absente ou inactive, et l'accumulation de lipides dans les cellules nerveuses entrave le fonctionnement de l'encéphale. Heureusement, les maladies de surcharge sont rares.

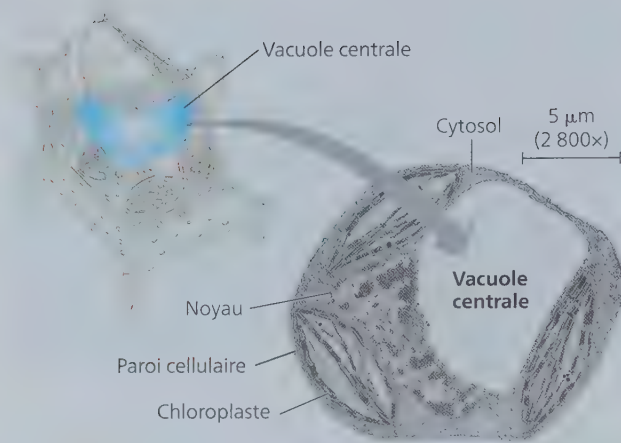
**Les vacuoles: divers compartiments d'entretien**

Les **vacuoles** sont de grosses vésicules provenant du réticulum endoplasmique et du complexe golgien; elles font donc partie intégrante du réseau de membranes intracellulaires. Comme toutes les membranes cellulaires, la membrane vacuolaire transporte les ions de manière sélective, ce qui explique que la composition de la solution contenue dans la vacuole diffère de celle du cytosol.

Les vacuoles remplissent diverses fonctions dans différents types de cellules. Nous avons déjà parlé des phagosomes, qui sont des **vacuoles digestives** formées lors de la phagocytose (voir la figure 6.13a). Beaucoup d'eucaryotes unicellulaires d'eau douce expulsent l'excès d'eau de leur unique cellule pour maintenir une concentration appropriée de sels et d'autres molécules grâce à des **vacuoles pulsatiles** (ou contractiles, voir la figure 7.13).

Chez les végétaux et les eumycètes, certaines vacuoles procèdent à l'hydrolyse enzymatique, une fonction remplie par les lysosomes dans les cellules animales. (Certains biologistes considèrent d'ailleurs ces vacuoles hydrolytiques comme un type de lysosome.) Chez les végétaux, les petites vacuoles peuvent emmagasiner d'importants composés organiques, comme les réserves de protéines accumulées dans les cellules nutritives des graines produites par une plante. Les vacuoles protègent certaines plantes contre les herbivores ou les champignons en stockant des composés désagréables au goût ou des substances toxiques. Par ailleurs, certaines vacuoles végétales contiennent des pigments (comme les pigments rouges et bleus qui attirent les insectes pollinisateurs vers les pétales des fleurs).

Les cellules végétales matures contiennent généralement une grande **vacuole centrale** (figure 6.14), délimitée par une membrane appelée **tonoplaste**, qui se développe par la fusion de vacuoles plus petites. Dans une cellule végétale, la solution contenue dans la vacuole centrale, la sève cellulaire, est le principal dépôt d'ions inorganiques, comme les ions potassium et chlorure, et de substances organiques telles que les protéines ou les polysaccharides. La vacuole centrale joue aussi un rôle primordial dans la croissance de la cellule végétale, laquelle grossit



▲ **Figure 6.14 La vacuole de la cellule végétale.** La vacuole centrale constitue habituellement le plus grand compartiment de la cellule végétale mature. Le cytoplasme est souvent confiné dans une zone étroite comprise entre la membrane vacuolaire et la membrane plasmique (MET).

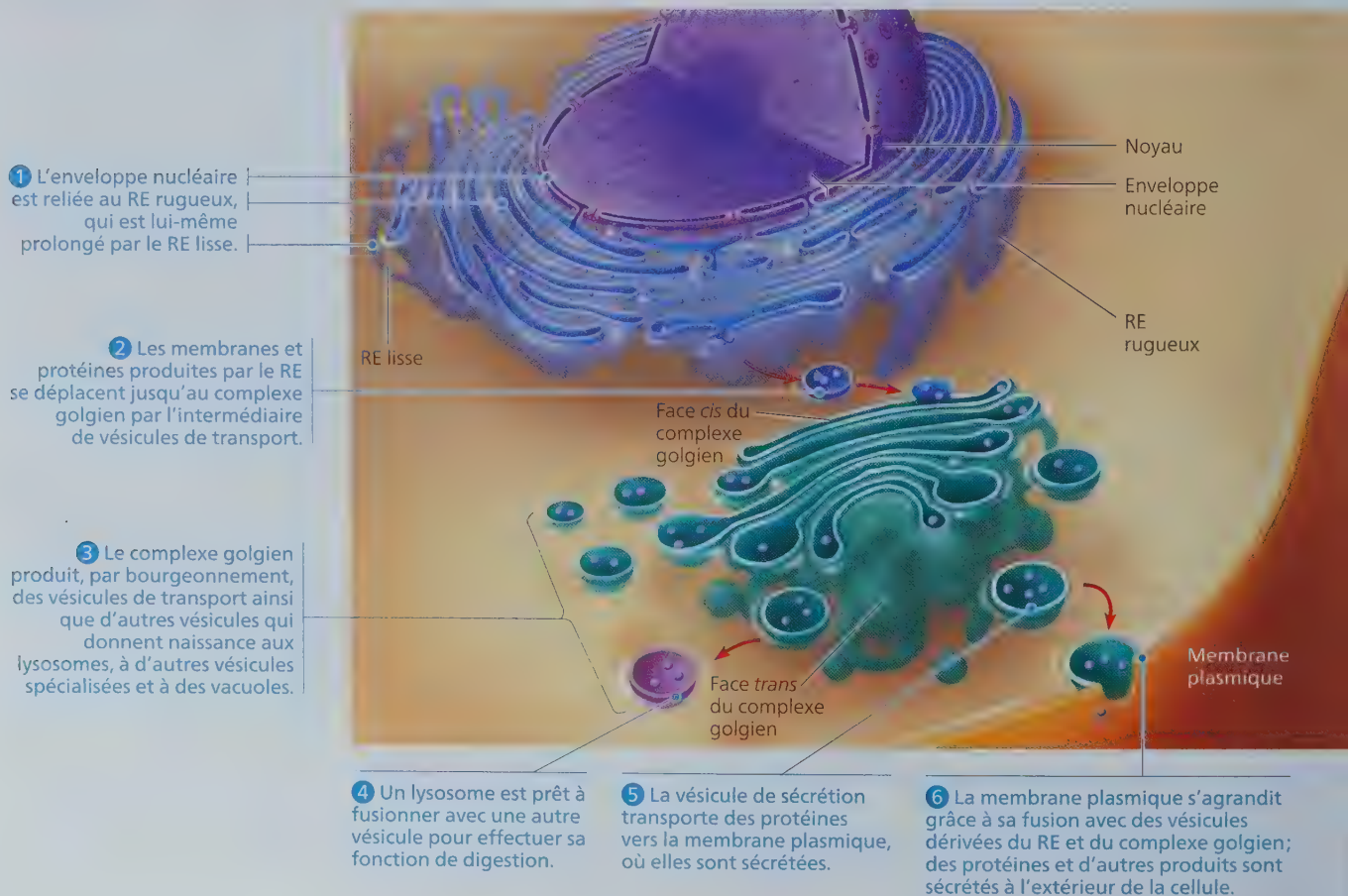
à mesure que la vacuole absorbe de l'eau, et ce, avec un investissement minimal en nouveau cytoplasme. Le rapport entre la surface membranaire et le volume cytoplasmique reste élevé, même dans une cellule végétale de grande dimension, pour deux raisons : la cellule tend à se dilater sous l'effet de la pression intravacuolaire, et le cytosol se résume à une fine couche entre la vacuole centrale et la membrane plasmique.

### Le réseau de membranes intracellulaires : une révision

La **figure 6.15** passe en revue le réseau de membranes intracellulaires et décrit la circulation des lipides et des protéines au sein des différents organites. Au fur et à mesure que la membrane progresse du RE vers le complexe golgien puis vers d'autres organites, sa composition moléculaire, ses fonctions métaboliques et son contenu changent. Le réseau de membranes intracellulaires joue donc un rôle dynamique complexe dans la compartimentation de la cellule.

Nous poursuivons notre exploration de la cellule en étudiant certains organites qui jouent un rôle crucial dans les conversions d'énergie réalisées par la cellule même s'ils ne sont pas étroitement associés au réseau de membranes intracellulaires.

▼ **Figure 6.15 Les relations entre les organites du réseau de membranes intracellulaires.** Les flèches rouges indiquent quelques-unes des voies de migration des membranes et des matières qu'elles renferment.



1. Expliquez les différences structurales et fonctionnelles entre le RE rugueux et le RE lisse.
2. Comment les vésicules de transport participent-elles au fonctionnement du réseau de membranes intracellulaires ?
3. **ET SI ?** ► Imaginez une protéine qui exerce une fonction dans le RE, mais qui doit être modifiée dans le complexe golgien avant de pouvoir la remplir. Décrivez la voie qu'emprunte cette protéine dans la cellule en commençant par la molécule d'ARNm qui lui confère sa spécificité.

Voir les réponses proposées à l'appendice A.

## Les mitochondries et les chloroplastes convertissent l'énergie d'une forme à une autre

Les organismes transforment l'énergie puisée dans leur environnement par l'intermédiaire des mitochondries et des chloroplastes. Ce sont, en effet, ces organites des cellules eucaryotes qui convertissent l'énergie captée en formes utilisables par la cellule. Les **mitochondries** sont le site de la respiration cellulaire aérobie, un processus métabolique qui utilise de l'O<sub>2</sub> pour produire de l'ATP en extrayant l'énergie des glucides, des lipides et d'autres substances. Les **chloroplastes**, des organites propres aux végétaux et aux algues, sont le site de la photosynthèse. Ils convertissent l'énergie solaire en énergie chimique en absorbant la lumière et en l'utilisant pour procéder à la synthèse de composés organiques comme les glucides à partir de molécules de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et d'eau.

En plus de remplir des fonctions apparentées, les mitochondries et les chloroplastes ont une origine évolutive commune ; nous en discuterons brièvement avant d'aborder leur structure. Nous traiterons également, dans cette section, des peroxysomes, des organites oxydatifs dont l'origine évolutive et les relations avec les autres organites font encore l'objet d'un certain débat.

## Les origines évolutives des mitochondries et des chloroplastes

**ÉVOLUTION** Les similarités que les mitochondries et les chloroplastes présentent avec les bactéries sont à l'origine de la **théorie de l'endosymbiose** (figure 6.16). Selon cette théorie, un ancêtre lointain des cellules eucaryotes a absorbé une cellule procaryote non photosynthétique aérobie. Avec le temps, la cellule absorbée a établi une relation avec la cellule hôte, devenant ainsi un endosymbionte (une cellule qui vit dans une autre cellule). Au fil de l'évolution, la cellule hôte et son endosymbionte ont fusionné pour ne former qu'un seul organisme, soit une cellule eucaryote renfermant une mitochondrie. Au moins l'une de ces cellules a acquis un procaryote photosynthétique, devenant ainsi l'ancêtre des cellules eucaryotes contenant des chloroplastes.

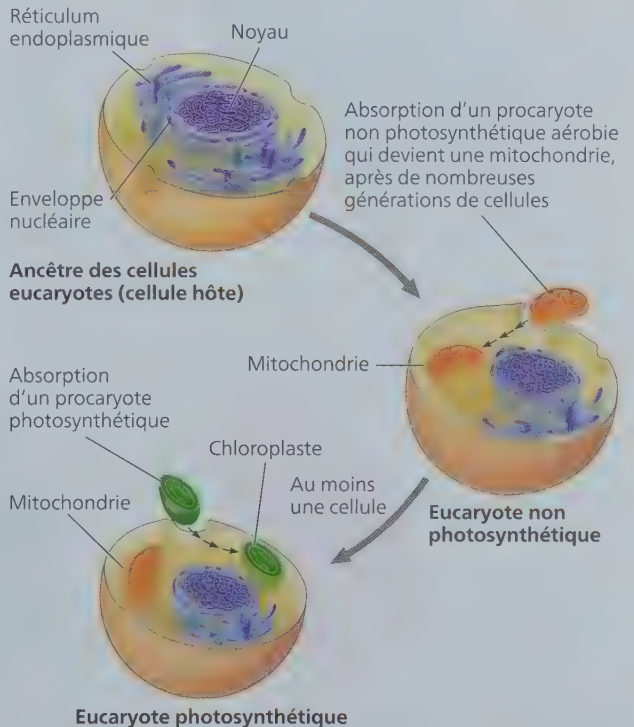
Nous examinerons la théorie de l'endosymbiose (maintenant largement acceptée) plus en profondeur au concept 25.3, mais précisons ici que cette théorie concorde avec plusieurs

caractéristiques des mitochondries et des chloroplastes. Premièrement, plutôt que d'être entourés d'une seule membrane, comme le sont les organites du réseau de membranes intracellulaires, les mitochondries et les chloroplastes typiques sont recouverts de deux membranes. (Les chloroplastes ont également un système interne de sacs membraneux.) Or, tout indique que les procaryotes ancestraux qui ont été absorbés possédaient deux membranes externes, et que ces dernières sont devenues les doubles membranes des mitochondries et des chloroplastes. Deuxièmement, comme les procaryotes, les mitochondries et les chloroplastes recèlent des ribosomes de même que des molécules d'ADN circulaire (à l'instar des chromosomes bactériens) attachées à leurs membranes internes. L'ADN contenu dans ces organites programme la synthèse de certains organites protéiques fabriqués sur des ribosomes qui y ont eux aussi été synthétisés et assemblés. Troisièmement, les mitochondries et les chloroplastes sont des organites autonomes (relativement indépendants) qui croissent et se reproduisent dans la cellule, ce qui concorde également avec une origine cellulaire.

Nous allons maintenant traiter de la structure des mitochondries et des chloroplastes ainsi que fournir une vue d'ensemble de leurs fonctions. (Aux chapitres 9 et 10, nous verrons les processus par lesquels les mitochondries et les chloroplastes transforment l'énergie.)

### ▼ Figure 6.16 La théorie de l'endosymbiose de l'origine des mitochondries et des chloroplastes dans les cellules eucaryotes.

Selon cette théorie, les ancêtres des mitochondries étaient des procaryotes non photosynthétiques aérobies, et les ancêtres des chloroplastes, des procaryotes photosynthétiques. Les grandes flèches indiquent le changement au fil de l'évolution ; les petites flèches dans les cellules montrent le processus par lequel l'endosymbionte est devenu un organite, également sur une longue période de temps.



## Les mitochondries: des convertisseurs d'énergie chimique

On trouve des mitochondries dans presque toutes les cellules eucaryotes, dont celles des végétaux, des animaux, des eumycètes et de la plupart des eucaryotes unicellulaires. Certaines cellules n'en contiennent qu'une seule, qui est volumineuse, mais la plupart en comportent des centaines, voire des milliers. Leur nombre dépend généralement de l'activité métabolique de la cellule. Par exemple, les cellules mobiles et les cellules contractiles ont proportionnellement plus de mitochondries par volume que les cellules moins actives.

Chacune des deux membranes qui entourent une mitochondrie est une double couche de phospholipides dans laquelle s'insère un assemblage de protéines (**figure 6.17**), mais les proportions de lipides et de protéines varient pour chacune des membranes. La membrane externe est lisse, alors que la membrane interne est repliée sur elle-même et dessine des **crêtes** dont la forme varie selon le type de cellule. La membrane interne divise la mitochondrie en deux compartiments: un espace intermembranaire, situé entre la membrane interne et la membrane externe, et une **matrice mitochondriale**, située dans l'espace délimité par la membrane interne. La matrice contient plusieurs sortes d'enzymes ainsi que de l'ADN mitochondrial et des ribosomes dont la taille est inférieure à celle des ribosomes cytoplasmiques. Plusieurs de ces enzymes catalysent certaines étapes de la respiration cellulaire. D'autres protéines nécessaires à la respiration cellulaire, dont l'enzyme qui produit l'ATP, sont intégrées à la membrane interne. Grâce à leur surface très plissée, les crêtes augmentent jusqu'à cinq fois l'aire de la membrane interne, soit l'aire consacrée à la respiration cellulaire. Voilà un autre exemple de corrélation entre structure et fonction.

Les mitochondries mesurent de 1 à 10  $\mu\text{m}$  de long environ. Projetées en accéléré, des prises de vue image par image de cellules vivantes ont révélé que les mitochondries se déplacent, modifient leur forme, fusionnent ou se divisent en deux. Elles sont donc loin d'être les cylindres statiques que montrent les micrographies électroniques de cellules mortes. Ces études ont aidé les biologistes cellulaires à comprendre que les mitochondries d'une cellule vivante peuvent former un réseau tubulaire ramifié, comme on le voit à la figure 6.17b, c'est-à-dire dans un état de flux dynamique.

## Les chloroplastes: des capteurs d'énergie lumineuse

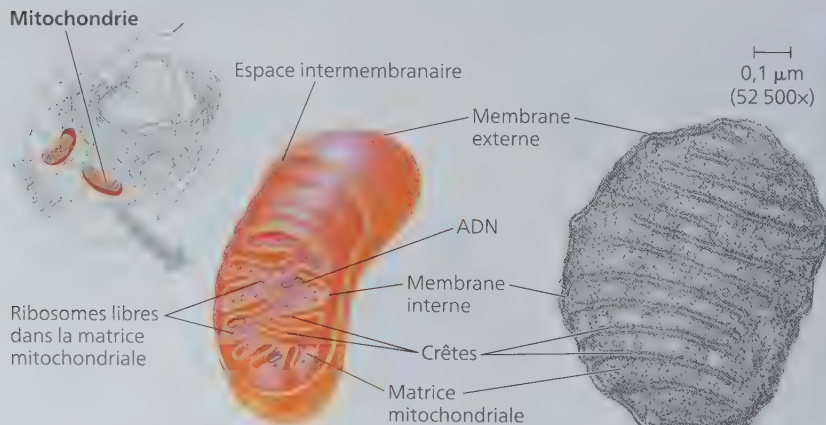
Les chloroplastes contiennent plusieurs pigments, dont la chlorophylle, ainsi que les enzymes et les molécules nécessaires à la production de glucides lors de la photosynthèse. Les chloroplastes sont biconvexes; ce sont de très gros organites qui mesurent environ 2  $\mu\text{m}$  par 5 à 10  $\mu\text{m}$ . Ils se trouvent dans les feuilles et dans les autres organes verts des végétaux, de même que chez les algues (**figure 6.18**; voir aussi la figure 6.26c).

Le contenu d'un chloroplaste est isolé du cytosol par une enveloppe composée de deux membranes séparées par un espace intermembranaire très mince. À l'intérieur du chloroplaste se trouve un autre réseau membranaire organisé en sacs aplatis, les **thylakoïdes**. Dans certaines régions du chloroplaste, les thylakoïdes (jusqu'à plusieurs dizaines) s'empilent comme des jetons de poker et forment des structures appelées **grana** (*granum* au singulier). C'est dans la membrane des thylakoïdes que se trouvent les molécules de chlorophylle. Le liquide, appelé **stroma**, où baignent les thylakoïdes contient de l'ADN circulaire et des ribosomes, de même que de nombreuses enzymes.

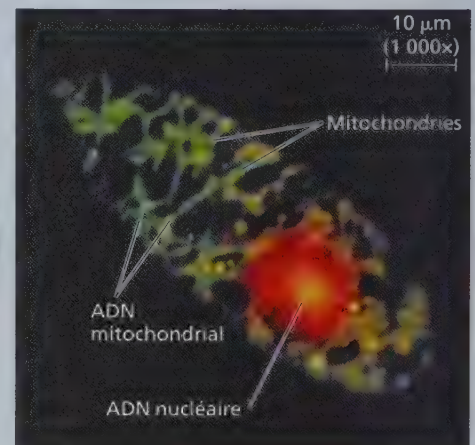
▼ **Figure 6.17** La mitochondrie, site de la respiration cellulaire. (a) La membrane interne et la membrane externe de la mitochondrie apparaissent clairement sur cette illustration et sur cette micrographie électronique (MET). Des crêtes sont formées par les replis de la membrane interne ce qui en augmente la surface. Comme le montre bien le schéma en trois dimensions, la membrane interne

délimite deux compartiments: l'espace intermembranaire et la matrice mitochondriale. On trouve de nombreuses enzymes respiratoires dans la membrane interne et dans la matrice mitochondriale. Des ribosomes libres sont aussi présents dans la matrice. Habituellement circulaires (comme chez les bactéries), les molécules d'ADN sont attachées à la membrane interne de la mitochondrie.

(b) Cette micrographie photonique montre un eucaryote unicellulaire entier (*Euglena gracilis*), à un grossissement beaucoup plus faible que la MET. La matrice mitochondriale est colorée en vert. Les mitochondries forment un réseau tubulaire ramifié. L'ADN nucléaire est coloré en rouge; les molécules d'ADN mitochondrial correspondent aux taches jaune brillant.

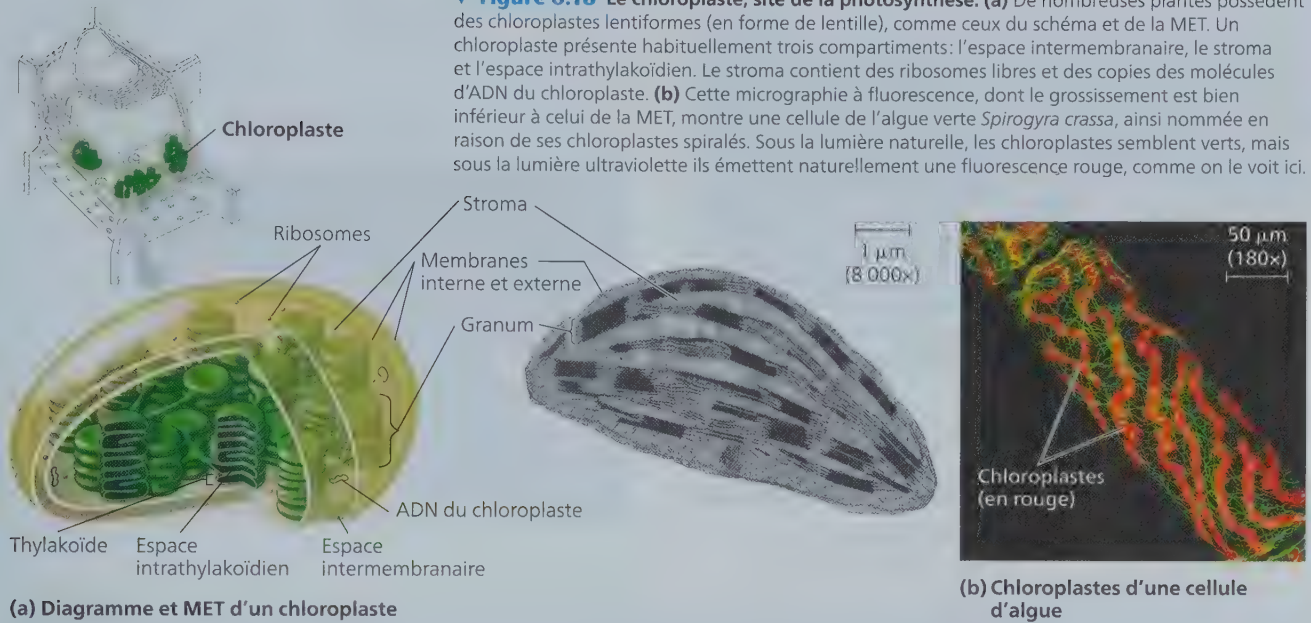


(a) Représentation schématique et MET d'une mitochondrie



(b) Réseau de mitochondries chez *Euglena* (MP)

▼ **Figure 6.18 Le chloroplaste, site de la photosynthèse.** (a) De nombreuses plantes possèdent des chloroplastes lentiformes (en forme de lentille), comme ceux du schéma et de la MET. Un chloroplaste présente habituellement trois compartiments: l'espace intermembranaire, le stroma et l'espace intrathylakoïdien. Le stroma contient des ribosomes libres et des copies des molécules d'ADN du chloroplaste. (b) Cette micrographie à fluorescence, dont le grossissement est bien inférieur à celui de la MET, montre une cellule de l'algue verte *Spirogyra crassa*, ainsi nommée en raison de ses chloroplastes spiralés. Sous la lumière naturelle, les chloroplastes semblent verts, mais sous la lumière ultraviolette ils émettent naturellement une fluorescence rouge, comme on le voit ici.



Les membranes du chloroplaste divisent l'intérieur de celui-ci en trois compartiments: l'espace intermembranaire, le stroma et l'espace intrathylakoïdien. Cette compartimentation permet au chloroplaste de convertir l'énergie lumineuse en énergie chimique pendant la photosynthèse. (Vous en apprendrez davantage sur la photosynthèse au chapitre 10.)

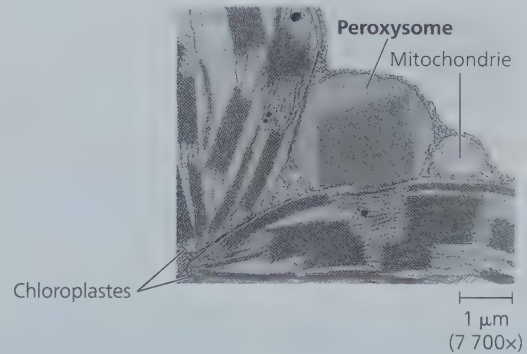
Comme pour les mitochondries et d'autres organites, les chloroplastes que montrent les micrographies et les illustrations schématiques présentent une apparence statique et rigide qui ne correspond pas à leur comportement dynamique dans les cellules vivantes. En effet, en plus d'avoir une forme malléable, ils croissent et se divisent parfois en deux pour se reproduire. De plus, comme les mitochondries et d'autres organites, ils se déplacent d'un endroit à l'autre le long des «voies» du cytosquelette, un réseau structural que nous examinerons plus loin au concept 6.6.

Le chloroplaste est un membre spécialisé de la famille des **plastés**, des organites végétaux étroitement apparentés. Ainsi, l'*amyloplaste* (aussi appelé leucoplaste) est un organite incolore qui stocke de l'amidon, particulièrement dans les racines et les tubercules. Quant aux *chromoplastes*, ils renferment des pigments qui donnent aux fruits et aux fleurs leurs teintes orangées et jaunes.

## Les peroxysomes: des organites oxydatifs

Les **peroxysomes** sont des compartiments métaboliques spécialisés délimités par une membrane simple (figure 6.19). Ils contiennent plus d'une cinquantaine d'enzymes qui transfèrent l'hydrogène de divers substrats à de l' $O_2$ . Ils doivent leur nom au sous-produit de ce transfert, le peroxyde d'hydrogène (ou dioxyde de dihydrogène,  $H_2O_2$ ). Ils exercent diverses fonctions. Certains utilisent l' $O_2$  pour décomposer les acides gras des lipides (par bêta-oxydation) en petites molécules qui serviront de sources d'énergie pour la respiration cellulaire dans les

▼ **Figure 6.19 Les peroxysomes.** Les peroxysomes ont une forme plutôt sphérique. Ils présentent souvent une matrice granulaire ou cristalline constituée vraisemblablement d'un amas d'enzymes. Les mitochondries et les chloroplastes coopèrent avec les peroxysomes pour accomplir certaines fonctions métaboliques.



mitochondries. Les peroxysomes des cellules hépatiques détournent l'alcool et d'autres composés nocifs en transférant l'hydrogène de ces substances à de l' $O_2$ . Le  $H_2O_2$  formé par le métabolisme des peroxysomes est toxique, mais ce composé est rapidement converti en eau par une enzyme, la catalase. Voilà un autre exemple éloquent de la relation entre la structure (ici la compartimentation de la cellule) et la fonction. Les enzymes qui produisent du  $H_2O_2$  et celles qui en disposent sont séquestrées loin des autres composants cellulaires, qui pourraient être endommagés par ce composé très réactif.

Les tissus riches en lipides des graines de végétaux contiennent des peroxysomes spécialisés appelés *glyoxysomes*. Ces organites renferment des enzymes qui déclenchent la conversion des acides gras en glucides, ce qui constitue la source d'énergie et de carbone du jeune plant, jusqu'à ce qu'il soit en mesure de produire lui-même ses glucides par photosynthèse.

La façon dont les peroxysomes sont reliés aux autres organites reste à élucider. Ils croissent en taille en incorporant des protéines produites dans le cytosol et dans le RE, des lipides synthétisés dans le RE ou dans le peroxysome lui-même. Les peroxysomes et les glyoxysomes peuvent se multiplier par scissiparité (division en deux parties égales) quand ils atteignent une certaine taille, ce qui pourrait constituer un argument en faveur d'une origine endosymbiotique, mais il ne convainc pas tous les biologistes. Des études récentes démontrent que les peroxysomes se formeraient à partir du RE lisse par le biais de vésicules qui s'en détachent. La recherche demeure ouverte. L'importance des peroxysomes pour le bon fonctionnement cellulaire est un fait acquis, comme en témoignent les effets nocifs de leur mauvais fonctionnement (problèmes neurologiques, hépatiques, endocriniens, etc.).

## RETOUR SUR LE CONCEPT 6.5

1. Décrivez deux points communs entre les chloroplastes et les mitochondries. Examinez à la fois la fonction et la structure membranaires.
2. Les cellules végétales recèlent-elles des mitochondries ? Expliquez votre réponse.
3. **ET SI ?** ► Un camarade de classe soutient que les mitochondries et les chloroplastes doivent être considérés comme des organites du réseau de membranes intracellulaires. Vous n'êtes pas d'accord. Quels sont vos arguments ?

Voir les réponses proposées à l'appendice A.

## CONCEPT 6.6

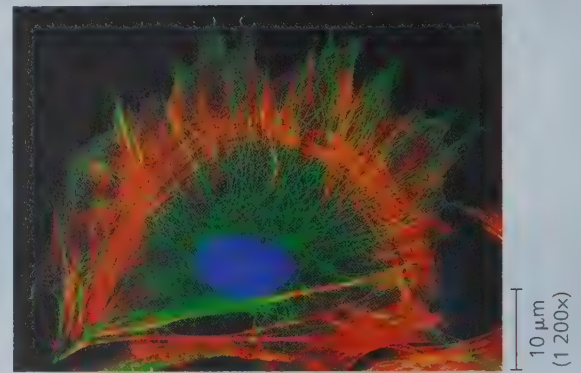
### Le cytosquelette est un réseau de fibres qui organise les structures et les activités de la cellule

Au moment de l'invention du microscope électronique, les biologistes imaginaient que les organites des cellules eucaryotes baignaient librement dans le cytosol. Cependant, les avancées en matière de microscopies photonique et électronique ont permis de découvrir le **cytosquelette** (figure 6.20), un réseau de fibres protéiques qui parcourt le cytoplasme. Les cellules bactériennes ont elles aussi des fibres qui forment une sorte de cytosquelette composé de protéines (d'ailleurs semblables à celles des eucaryotes), mais nous ne traiterons ici que des cellules eucaryotes. Le cytosquelette eucaryote joue un rôle fondamental dans l'organisation des structures et des activités cellulaires. Il se compose de trois types de structures moléculaires : les microtubules, les microfilaments et les filaments intermédiaires.

#### Les rôles du cytosquelette: soutien et motilité

La fonction la plus évidente du cytosquelette consiste à assurer le soutien mécanique et le maintien de la forme de la cellule. Cette fonction est particulièrement importante dans les cellules

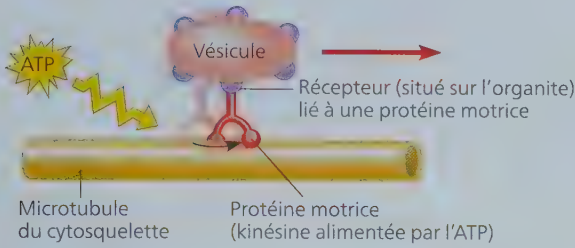
▼ **Figure 6.20 Le cytosquelette.** Comme on le voit sur cette micrographie à fluorescence, le cytosquelette s'étend à toute la cellule. Les éléments cytosquelettiques ont été mis en évidence à l'aide de diverses molécules fluorescentes: vertes pour les microtubules et orange pour les microfilaments. Un troisième constituant du cytosquelette, les filaments intermédiaires, ne sont pas visibles ici. (Le bleu correspond à l'ADN contenu dans le noyau.)



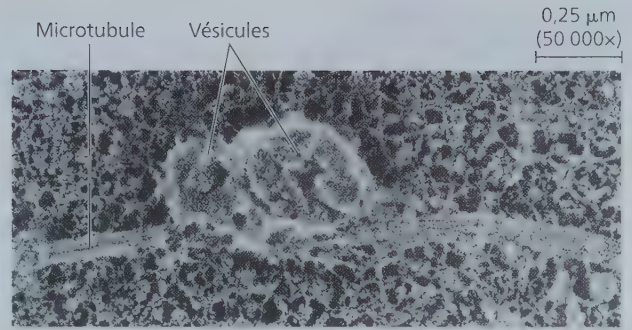
animales, qui sont dépourvues de paroi. Le cytosquelette doit sa résistance remarquable et son élasticité à son architecture. Comme une tente en forme de dôme, il se stabilise en équilibrant les forces opposées exercées par ses éléments structuraux. De la même façon que le squelette d'un animal aide à fixer la position des parties du corps, le cytosquelette fournit des points d'ancrage à de nombreux organites et même à des enzymes du cytosol. Il joue cependant un rôle beaucoup plus actif qu'un squelette, car il peut être démonté puis remonté ailleurs; il modifie ainsi la forme de la cellule.

Certains types de motilité (mouvement) cellulaire font appel au cytosquelette. Le terme *motilité cellulaire* s'applique autant à la cellule entière qu'aux organites qu'elle contient. La motilité cellulaire nécessite habituellement l'interaction du cytosquelette et des **protéines motrices** – des molécules spécifiques dont font partie la dynéine, la myosine et la kinésine. Les exemples de motilité cellulaire abondent. Les éléments du cytosquelette et les protéines motrices collaborent avec les molécules de la membrane plasmique pour permettre à certaines cellules de se déplacer le long des fibres à l'extérieur de la cellule. Dans d'autres cas, les protéines motrices produisent le mouvement des cils et des flagelles en forçant les microtubules de ces organites à glisser les uns contre les autres. Un mécanisme similaire faisant appel aux microfilaments intervient lors de la contraction des cellules musculaires. À l'intérieur de la cellule, les vésicules et les autres organites utilisent souvent les « pieds » des protéines motrices pour « marcher » le long de la voie fournie par le cytosquelette. À titre d'exemple, les vésicules porteuses de neurotransmetteurs utilisent ce moyen pour migrer vers les extrémités d'un axone, le prolongement principal des cellules nerveuses, qui libèrent ces molécules. Celles-ci agissent comme des signaux chimiques qui stimulent les cellules nerveuses voisines (figure 6.21). C'est aussi le cytosquelette qui entraîne l'invagination de la membrane plasmique et la formation de vacuoles digestives. Enfin, c'est lui qui provoque le mouvement du cytoplasme (cyclose), lequel assure la circulation des matériaux dans de nombreuses cellules végétales.

▼ **Figure 6.21** Les protéines motrices et le cytosquelette.



(a) Les protéines motrices fixées aux récepteurs des organites font glisser ces derniers le long de microtubules ou, parfois, le long de microfilaments.



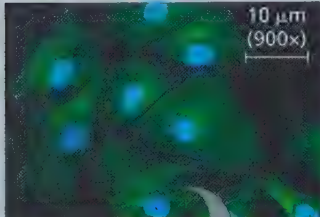
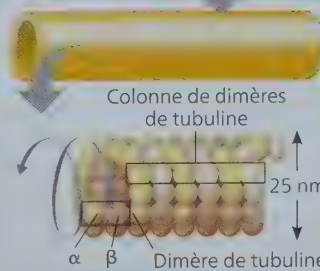
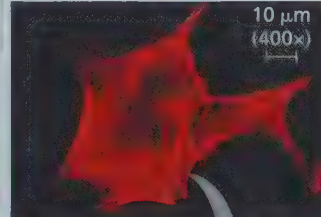
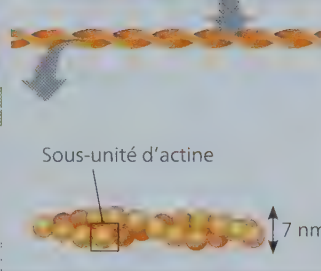
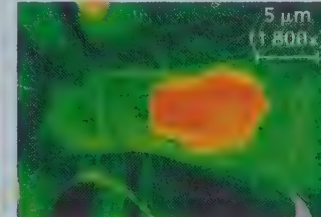
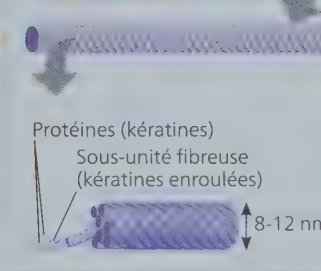
(b) Deux vésicules se déplacent le long d'un microtubule pour migrer vers les extrémités d'un prolongement de cellule nerveuse appelé axone (MEB).

## Les constituants du cytosquelette

Le cytosquelette comprend principalement trois types de fibres, d'épaisseurs variables, que nous allons examiner plus en détail. Les plus épaisses sont les *microtubules*; les plus fines

sont les *microfilaments* (aussi appelés filaments d'actine); quant aux *filaments intermédiaires*, ils sont d'épaisseur moyenne (**tableau 6.1**).

**Tableau 6.1** Structure et fonction du cytosquelette

Propriétés	Microtubules (polymères de tubuline)	Microfilaments (filaments d'actine)	Filaments intermédiaires
Structure	Cylindres creux	Deux brins d'actine entrelacés	Protéines fibreuses enroulées en câbles
Diamètre	25 nm; lumière de 15 nm de diamètre	7 nm environ	De 8 à 12 nm
Sous-unités protéiques	Tubuline, un dimère constitué de tubuline $\alpha$ et de tubuline $\beta$	Actine	Une protéine parmi plusieurs autres (comme celles de la famille des kératines)
Fonctions principales	Maintien de la forme cellulaire (charpente résistant à la compression) Motilité cellulaire (ils sont l'un des composants des cils et des flagelles) Mouvements des chromosomes lors de la division cellulaire Mouvements des organites	Maintien de la forme cellulaire (éléments supportant la tension) Modification de la forme cellulaire Contraction musculaire Cyclose dans les cellules végétales Motilité cellulaire (comme dans le mouvement amoiboïde) Division des cellules animales	Maintien de la forme cellulaire (éléments supportant la tension) Fixation du noyau et de certains organites Formation de la lamina nucléaire
Micrographies à fluorescence de fibroblastes, un type de cellules du tissu conjonctif souvent utilisé en cytologie, parce qu'elles s'étendent et s'aplatissent, ce qui facilite l'observation de leurs structures internes. Chaque fibroblaste a été coloré avec une substance fluorescente pour faire ressortir la structure étudiée. Dans la première et la troisième micrographie, l'ADN du noyau a aussi été coloré (en bleu ou en orange)	 	 	 

## Les microtubules

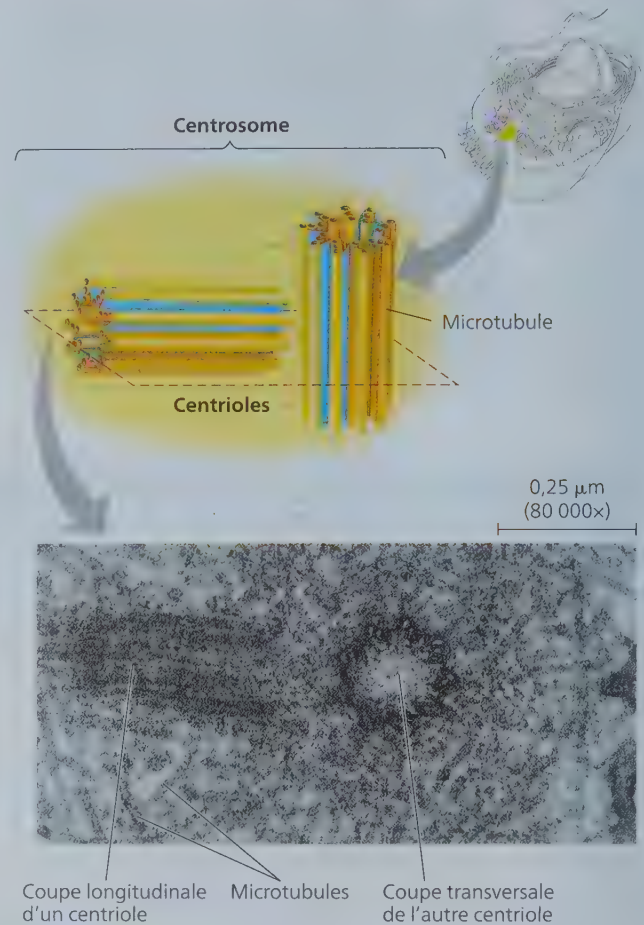
On trouve des **microtubules** dans le cytoplasme de toutes les cellules eucaryotes. Ce sont des cylindres creux qui se composent de protéines globulaires appelées tubulines. Chaque tubuline existe sous deux formes légèrement différentes, la tubuline  $\alpha$  et la tubuline  $\beta$ . Chaque molécule de tubuline est un dimère constitué d'une sous-unité de tubuline  $\alpha$  et d'une autre de tubuline  $\beta$ . Les microtubules s'allongent par l'ajout de dimères de tubuline à une de leurs extrémités. Ils peuvent aussi se démonter; la tubuline libre sert alors à former un autre microtubule ailleurs dans la cellule. À cause de l'agencement de leurs composants, des dimères de tubuline, les deux extrémités du microtubule diffèrent légèrement. On observe en effet que l'une de ces extrémités peut accumuler (polymérisation) ou libérer (dépolymérisation) des dimères de tubuline beaucoup plus rapidement que l'autre, de sorte qu'elle grandit et rapetisse de manière évidente au cours des activités cellulaires. (On l'appelle « extrémité plus », non pas parce qu'elle ne peut qu'ajouter des protéines tubulines, mais parce que les ajouts et retraits s'y produisent plus rapidement [de trois à quatre fois] qu'à « l'extrémité moins ».)

En plus de façonner et de soutenir la cellule, les microtubules servent de « voies » de circulation pour les organites associés à des protéines motrices. En plus de l'exemple donné à la figure 6.21, ils guident les vésicules du RE au complexe golgien et du complexe golgien vers la membrane plasmique. Ils participent en outre à la séparation des chromosomes pendant la division cellulaire, comme le montre la figure 12.7.

**Centrosomes et centrioles** Dans les cellules animales, c'est autour d'un **centrosome**, une masse finement granulaire souvent située près du noyau, que s'organise la disposition rayonnante des microtubules. Ces derniers servent alors de poutres résistantes à la compression dans la charpente cellulaire qu'est le cytosquelette. Le centrosome d'une cellule animale contient une paire de **centrioles**. Chacun d'eux comprend neuf triplets de microtubules formant un cercle (figure 6.22). Bien que les centrosomes dotés de centrioles concourent probablement à l'assemblage des microtubules dans les cellules animales, les centrosomes de beaucoup d'autres cellules eucaryotes ne renferment pas de centrioles et organisent les microtubules par d'autres moyens.

**Cils et flagelles** La disposition particulière des microtubules permet les battements des **flagelles** et des **cils**, ces prolongements émis par les cellules eucaryotes (le flagelle bactérien présenté à la figure 6.5 a une structure complètement différente). Beaucoup d'organismes unicellulaires eucaryotes se propulsent dans l'eau au moyen de cils ou de flagelles; de même, les gamètes mâles des animaux (les spermatozoïdes), des algues et de certains végétaux sont flagellés. Mais les cils et les flagelles ne servent pas seulement au déplacement cellulaire. Ils créent un courant dans la mince couche de liquide qui recouvre la surface des tissus comportant des cellules ciliées ou flagellées, lesquelles ne se déplacent pas. Par exemple, les cils des cellules qui tapissent la trachée expulsent des poumons le mucus chargé de débris (voir la figure 6.3). De même, dans les voies génitales de la femme, les cils recouvrant les trompes utérines aident à propulser l'ovocyte (ovule non fécondé) vers l'utérus. Chez les invertébrés, le battement des cils sert à capter des particules de nourriture.

▼ **Figure 6.22 Le centrosome et sa paire de centrioles.** La plupart des cellules animales possèdent un centrosome, une zone près du noyau où se forment les microtubules. Ce centrosome contient une paire de centrioles, chacun d'un diamètre d'environ 250 nm (0,25  $\mu\text{m}$ ), disposés à angle droit l'un par rapport à l'autre et se composant chacun de neuf triplets de microtubules. Les parties bleues du schéma représentent les protéines autres que la tubuline qui relient les triplets.



**HABILITÉS VISUELLES** ► Combien de microtubules un centrosome contient-il ? Dans le schéma, encerclez et pointez un microtubule, puis décrivez-en la nature. Ensuite, encerclez un triplet de microtubules.

Lorsqu'une cellule est dotée de cils, ceux-ci sont généralement très abondants. Les flagelles sont moins nombreux que les cils: une cellule n'en porte généralement que quelques-uns, et ils sont plus longs que les cils. Les flagelles et les cils ne battent pas de la même façon. Le flagelle produit un mouvement ondulatoire semblable à celui de la queue d'un poisson. Le mouvement ciliaire, en revanche, fait alterner un battement de propulsion et un battement de récupération, un peu comme les rames d'une embarcation (figure 6.23).

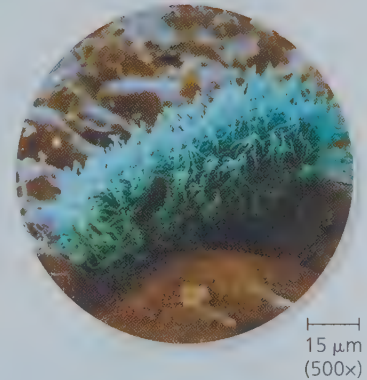
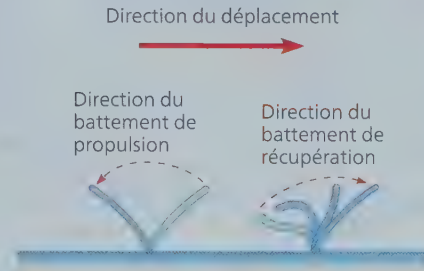
Un cil peut aussi agir comme une antenne qui reçoit les signaux de la cellule. Les cils qui remplissent cette fonction n'ont généralement aucune motilité et on n'en compte qu'un seul par cellule. (Chez les vertébrés, presque toutes les cellules semblent dotées d'un tel cil, qu'on appelle « cil primaire ».) Les protéines membranaires de ce type de cil transmettent des signaux

▼ **Figure 6.23** Comparaison entre le battement des flagelles et celui des cils.

**(a) Mouvement du flagelle.** Habituellement, le flagelle ondule à la manière d'un serpent, poussant la cellule dans son axe. La propulsion du spermatozoïde humain illustre bien la locomotion flagellaire (MEB).



**(b) Mouvement du cil.** Le cil bat d'avant en arrière, propulsant rapidement la cellule dans une direction perpendiculaire à l'axe ciliaire. Durant la phase de récupération, plus lente que la phase de propulsion, le cil se replie et glisse sur les côtés, se rapprochant de la surface de la cellule. D'innombrables cils recouvrent ce *Colpidium*, un protozoaire d'eau douce, et se meuvent au rythme de 40 à 60 battements par seconde (MEB).



moléculaires de l'extérieur de la cellule jusqu'à l'intérieur, déclenchant des mécanismes moléculaires qui modifient les activités cellulaires selon les informations captées. La signalisation moléculaire associée au cil primaire semble cruciale dans le fonctionnement cérébral et le développement embryonnaire.

Bien qu'ils diffèrent par leur longueur, leur nombre et leurs battements, les cils motiles et les flagelles présentent la même structure. Ils se composent d'un groupe de microtubules recouverts par un prolongement de la membrane plasmique (**figure 6.24a**). Neuf doublets de microtubules forment un anneau autour de deux microtubules non jumelés. Les microtubules de chaque doublet adhèrent l'un à l'autre (**figure 6.24b**). Cette disposition de type «9 + 2» s'observe dans presque tous les cils motiles et les flagelles des cellules eucaryotes. (Les cils primaires non motiles présentent une disposition de «9 + 0» et sont dépourvus de la paire de microtubules centraux.) L'assemblage de microtubules d'un cil ou d'un flagelle est ancré à la cellule par un **corpuscule basal** structuralement très semblable à un centriole, avec une disposition «9 + 0» (**figure 6.24c**). En fait, chez de nombreux animaux (incluant l'être humain), le corpuscule basal du flagelle du spermatozoïde pénètre dans l'ovule et devient un centriole.

Comment l'assemblage de microtubules produit-il les mouvements de flexion des flagelles et des cils motiles? La flexion fait intervenir de grosses protéines motrices qu'on appelle **dynéines** (en rouge dans le schéma de la figure 6.24) et qui sont réparties sur chaque doublet périphérique. La molécule de dynéine typique comporte deux «pieds» qui marchent le long du microtubule du doublet adjacent, l'ATP fournissant l'énergie nécessaire. Un pied reste en contact avec le microtubule, tandis que l'autre s'en détache pour y reprendre appui un pas plus loin (voir

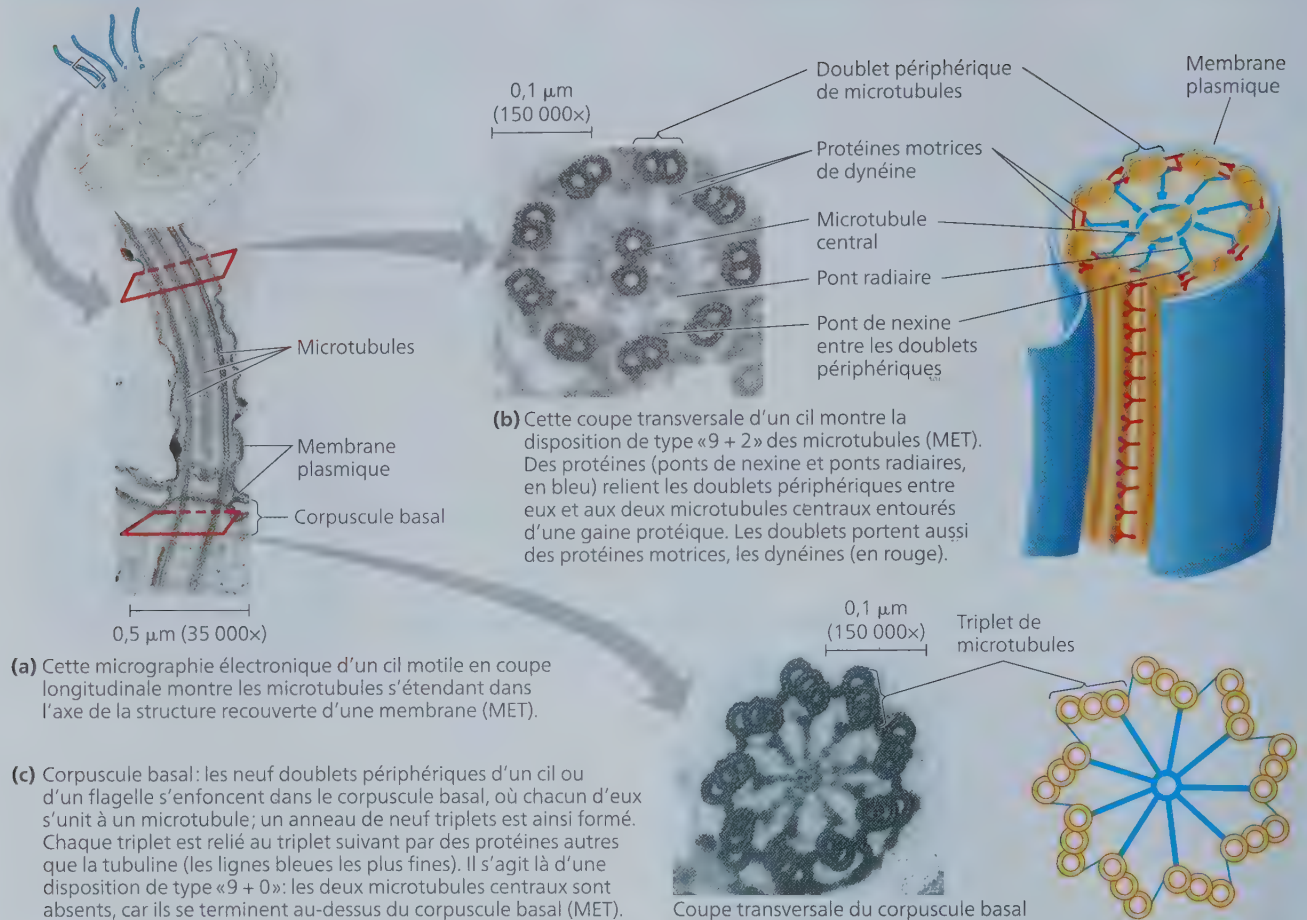
la figure 6.21). Les doublets périphériques et les deux microtubules centraux sont maintenus en place par des protéines de liaison flexibles (en bleu dans le schéma de la figure 6.24), et le mouvement de «marche» est ainsi coordonné qu'il s'effectue d'un seul côté du cercle à la fois. Si les doublets n'étaient pas retenus par ces entraves, ils glisseraient les uns contre les autres. Au lieu de cela, les mouvements des «pieds» de la dynéine font fléchir les microtubules (et l'organite dans son ensemble).

### Les microfilaments (filaments d'actine)

Les **microfilaments** sont minces et rigides et ont une forme cylindrique. Ils se composent de molécules d'**actine**, une protéine globulaire, unies les unes aux autres. Chaque microfilament est formé de deux chaînes torsadées de sous-unités d'actine (voir le tableau 6.1). Les microfilaments peuvent être de simples filaments linéaires, mais ils peuvent aussi former des réseaux structuraux en raison de la présence de protéines qui se lient le long d'un filament d'actine et permettent à un nouveau filament de former une ramification. On trouve des microfilaments, semble-t-il, dans toutes les cellules eucaryotes.

Alors que les microtubules aident le cytosquelette à résister à la compression (écrasement), les microfilaments, eux, l'aident à supporter la tension (étirement) à laquelle il est soumis. Un réseau fibreux tridimensionnel à l'intérieur de la membrane plasmique (les **microfilaments corticaux**) aide la cellule à maintenir sa forme (voir la figure 6.8). C'est ce réseau fibreux qui donne au **cortex** cellulaire (la couche périphérique du cytoplasme) sa consistance gélatineuse (*gel*), tandis que l'intérieur du cytoplasme est plus liquide. Dans certains types de cellules animales, comme les cellules intestinales, qui absorbent des nutriments,

▼ **Figure 6.24** La structure du flagelle et du cil motile.



**FAITES UN DESSIN** ► Dans les parties (a) et (b), encerclez et identifiez la paire de microtubules centraux. Dans la partie (a), montrez où ils se terminent et expliquez pourquoi on ne les voit pas dans la coupe transversale du corpuscule basal en (c).

des faisceaux de microfilaments remplissent les fins prolongements cytoplasmiques, ou microvillosités, qui augmentent la surface d'échange (**figure 6.25**).

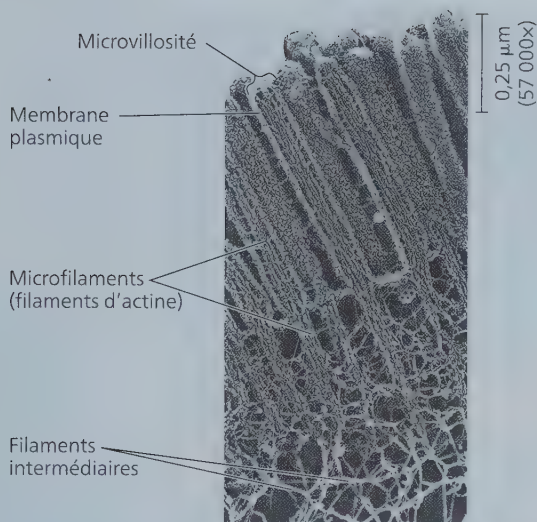
Les microfilaments (d'actine) sont surtout connus pour leur rôle dans la motilité cellulaire. Des milliers de microfilaments et de filaments plus épais, composés de molécules d'une protéine appelée **myosine**, interagissent pour faire se contracter les cellules musculaires (**figure 6.26a**); la contraction musculaire est expliquée en détail dans le concept 50.5. Chez *Amoeba*, un eucaryote unicellulaire, et dans certains de nos leucocytes, des contractions localisées provoquées par l'actine et la myosine sont à l'origine du mouvement amiboïde (reptation) des cellules. La cellule rampe sur une surface en formant des prolongements cellulaires rétractiles appelés **pseudopodes** (du grec *pseudēs*, qui signifie « faux », et *podos*, « pied ») et en se déplaçant vers eux (**figure 6.26b**). Dans les cellules végétales, les interactions actine-myosine concourent à la **cytose**, un phénomène par lequel une partie du cytoplasme circule continuellement dans l'espace séparant la vacuole centrale du cortex cellulaire sous la membrane plasmique (**figure 6.26c**). Ce mouvement, particulièrement

répandu dans les grosses cellules végétales, accélère le mouvement des organites et la distribution intracellulaire des substances.

### Les filaments intermédiaires

Les **filaments intermédiaires** doivent leur nom à leur diamètre, qui est supérieur à celui des microfilaments, mais inférieur à celui des microtubules (voir le tableau 6.1). Toutes les cellules eucaryotes renferment des microtubules et des microfilaments, mais seules les cellules de certains animaux, dont des vertébrés, possèdent des filaments intermédiaires. Capables de résister à la tension (comme les microfilaments), les filaments intermédiaires sont un groupe diversifié d'éléments constitutifs du cytosquelette. Chaque type de filament intermédiaire est formé par l'assemblage de sous-unités protéiques particulières – appartenant à une famille de protéines dont font partie les kératines – et a donc un diamètre distinct. À l'opposé, les microtubules et les microfilaments ont le même diamètre et la même composition dans toutes les cellules eucaryotes.

Les filaments intermédiaires sont plus stables que les microfilaments et les microtubules, lesquels sont assemblés et démontés



**▲ Figure 6.25 Le rôle structural des microfilaments.** La présence de prolongements cytoplasmiques, ou microvillosités, à la surface de cette cellule intestinale en augmente la surface d'échange. Ces prolongements sont renforcés par des faisceaux de microfilaments, eux-mêmes ancrés à un réseau de filaments intermédiaires (MET).

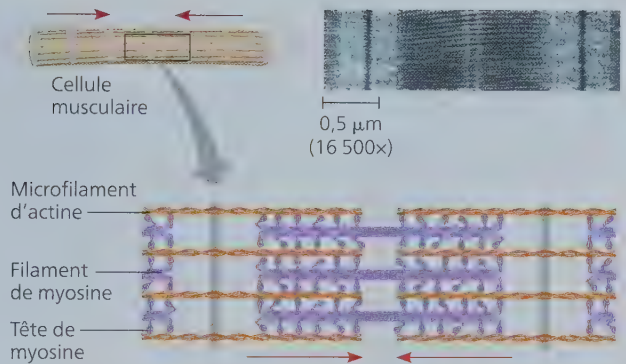
successivement dans diverses parties de la cellule. Même après la mort des cellules, les réseaux de filaments intermédiaires persistent souvent ; par exemple, la couche externe de notre peau est formée de cellules cutanées mortes, mais pleines de kératine. Les traitements chimiques qui séparent les microfilaments et les microtubules du cytoplasme des cellules vivantes laissent intact le réseau de filaments intermédiaires. Ces expériences semblent indiquer que ces filaments sont particulièrement robustes et qu'ils jouent un rôle important dans le maintien de la forme de la cellule et dans l'ancrage de certains organites. Par exemple, le noyau réside généralement dans une cage formée de filaments intermédiaires et maintenue en place par les ramifications de filaments qui s'étendent jusque dans le cytoplasme. Des filaments intermédiaires constitués de lamines composent la lamina nucléaire, une structure qui tapisse l'intérieur de l'enveloppe nucléaire, et participent à son démantèlement lors de la division cellulaire (voir la figure 6.9). En maintenant la forme de la cellule, les filaments intermédiaires aident celle-ci à remplir ses fonctions. Ainsi, le réseau de filaments intermédiaires illustré à la figure 6.25 permet d'ancrer les microfilaments qui supportent les microvillosités de l'intestin. Par conséquent, il se pourrait que les divers types de filaments intermédiaires constituent l'armature permanente de la cellule entière.

RETOUR SUR LE CONCEPT

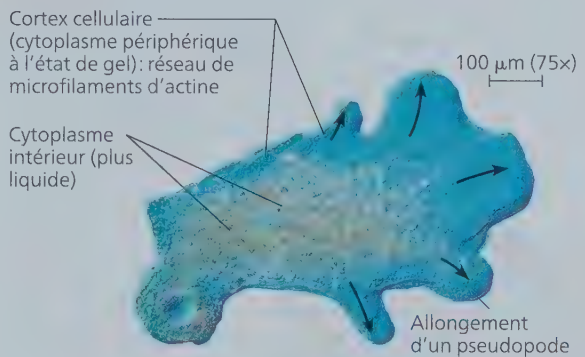
6.6

1. Décrivez comment s'effectue la flexion des cils et des flagelles.
2. **ET SI ?** ► Les hommes atteints du syndrome de Kartagener – un trouble d'origine génétique – sont stériles en raison du fait que leurs spermatozoïdes sont incapables de se mouvoir. De plus, ils sont sujets aux infections pulmonaires. Quelle pourrait être la défectuosité sous-jacente à ce syndrome ?

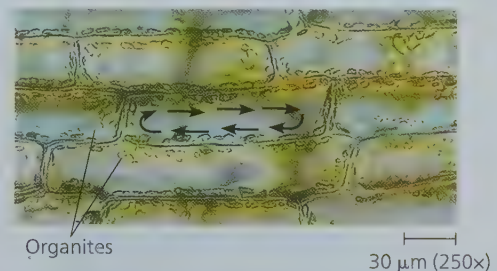
Voir les réponses proposées à l'appendice A.



**(a) Rôle de la myosine dans la contraction des cellules musculaires.** Le déplacement des projections de myosine (appelées têtes) fait glisser les microfilaments d'actine le long des filaments de myosine, de sorte que les filaments d'actine se rapprochent les uns des autres vers le milieu (flèches rouges), et la cellule musculaire se raccourcit. La contraction musculaire nécessite la contraction simultanée de nombreuses cellules musculaires (MET).



**(b) Mouvement amiboïde.** L'interaction des microfilaments d'actine et des filaments de myosine entraîne la contraction de la cellule, attirant la « queue » de la cellule (à gauche) vers l'avant (à droite) (MP).



**(c) Mouvement de cyclose dans les cellules végétales.** Une couche de cytoplasme tourne autour de la vacuole centrale. Elle se déplace au-dessus des traînées de microfilaments d'actine. Les molécules motrices formées de myosine et fixées à des organites peuvent provoquer ce mouvement de cyclose lorsqu'elles interagissent avec l'actine (MP).

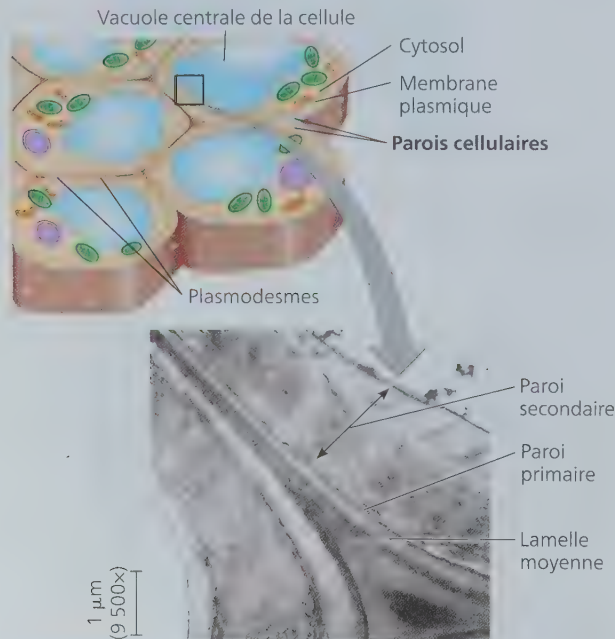
**▲ Figure 6.26 Les microfilaments et la motilité.** Dans les trois exemples de cette figure, les interactions entre les microfilaments d'actine et les protéines motrices permettent le mouvement.

## Les constituants extracellulaires et les jonctions intercellulaires contribuent à la coordination des activités de la cellule

Après avoir fait le tour des composants cellulaires internes, nous terminerons notre exploration de la cellule par les importantes structures disposées à sa surface. On considère généralement la membrane plasmique comme la frontière de la cellule vivante, mais la plupart des cellules synthétisent et sécrètent des matières vers l'extérieur de la cellule. Même si ces matières et ces structures sont extérieures à la cellule, elles participent à plusieurs de ses fonctions vitales, ce qui explique pourquoi leur étude est essentielle en biologie cellulaire.

### La paroi cellulaire des cellules végétales

La **paroi cellulaire** fait partie des structures extracellulaires de la cellule végétale (figure 6.27). C'est une des caractéristiques qui la distinguent de la cellule animale. Cette paroi maintient la forme de la cellule végétale, prévient l'absorption excessive d'eau et la protège contre les agresseurs. La paroi résistante formée par les cellules spécialisées d'une plante permet à celle-ci de lutter contre la force gravitationnelle et de rester érigée. Les procaryotes, les eumycètes et certains eucaryotes unicellulaires possèdent également une paroi cellulaire, comme



▲ **Figure 6.27** La paroi cellulaire végétale. Le schéma illustre plusieurs cellules, chacune possédant une paroi cellulaire, une grande vacuole, un noyau et quelques chloroplastes et mitochondries. La micrographie (MET) montre les parois cellulaires de deux cellules voisines; chacune des deux cellules adjacentes a sécrété les différentes couches de sa propre paroi. Les parois cellulaires ne sont pas étanches: des canaux appelés plasmodesmes les traversent et établissent un lien entre les cytoplasmes des cellules voisines (MET).

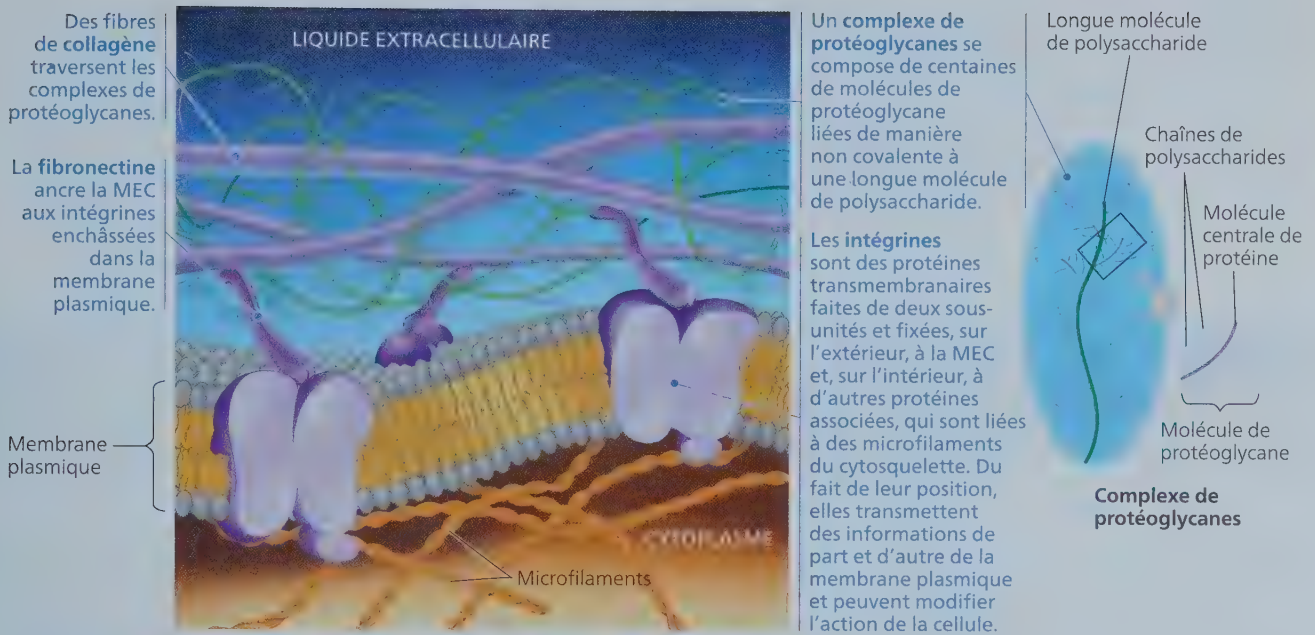
ils montrent les figures 6.5 et 6.8, mais nous n'en traiterons que dans la cinquième partie de ce manuel.

L'épaisseur de la paroi cellulaire végétale varie de 0,1 µm à plusieurs micromètres; elle est donc beaucoup plus épaisse que la membrane plasmique. Sa composition chimique précise varie (d'une espèce à l'autre ou même d'un type de cellule à l'autre dans une même plante), mais son architecture de base présente une composition assez uniforme. Les microfibrilles de 10 à 25 nm de diamètre qui la composent sont constituées d'un polysaccharide, la cellulose (voir la figure 5.6); elles sont synthétisées par une enzyme située dans la membrane plasmique, appelée cellulose synthase, puis sécrétées dans l'espace extracellulaire. À cet endroit, elles s'associent pour former des macrofibrilles dont le diamètre peut atteindre 0,5 µm, puis elles s'insèrent dans une matrice constituée d'autres polysaccharides et de protéines. Cette combinaison de matériaux – des fibres résistantes dans une « substance fondamentale » (matrice) – est similaire à la configuration architecturale qu'on trouve dans le béton armé et la fibre de verre.

Les cellules végétales immatures commencent par sécréter une paroi relativement mince et flexible, appelée **paroi primaire** (figure 6.27). Entre les parois primaires des cellules adjacentes se trouve la **lamelle moyenne**, une couche mince riche en pectines, des polysaccharides adhésifs et hydrophiles, donc capables d'absorber beaucoup d'eau. La lamelle moyenne colle les cellules les unes aux autres. (D'ailleurs, on utilise de la pectine pour épaissir les confitures et les gelées.) Quand les cellules arrivent à maturité et cessent de croître, leur paroi devient rigide. Pour ce faire, certaines sécrètent simplement des substances raffermissantes dans leur paroi primaire. D'autres élaborent une **paroi secondaire** entre la membrane plasmique et la paroi primaire. Souvent construite par l'apposition de couches successives, la paroi secondaire se compose d'une matrice durable qui protège et soutient la cellule; elle peut devenir très épaisse. Le bois, par exemple, se compose principalement de parois secondaires dans lesquelles un polymère très résistant, la lignine, vient s'ajouter à la cellulose. La paroi cellulaire de la cellule végétale est souvent traversée par des canaux appelés plasmodesmes qui la relient au cytoplasme de cellules voisines. Nous y reviendrons plus loin.

### La matrice extracellulaire des cellules animales

Bien qu'elles ne possèdent pas de parois cellulaires comme celles des cellules végétales, les cellules animales s'entourent d'une **matrice extracellulaire (MEC)** complexe qu'elles sécrètent. Cette matrice est composée de protéines fibreuses, principalement des glycoprotéines ainsi que d'autres molécules composées de glucides. (Rappelez-vous que les glycoprotéines sont des protéines liées de façon covalente à des glucides courts.) Le **collagène**, dont il existe une vingtaine de types différents, est la glycoprotéine la plus abondante de la MEC. Il forme des fibres solides à l'extérieur de la cellule (voir la figure 5.18). Les fibres de collagène traversent un réseau tissé de **protéoglycans**, sécrétés par les cellules (figure 6.28). Un protéoglycane se compose d'une molécule de protéine centrale comportant plusieurs longues chaînes de polysaccharides liées par covalence, de sorte qu'il peut renfermer plus de 95 % de glucides. Ces glucides sont des **glycosaminoglycans**, d'où le nom de protéoglycans. D'imposants complexes peuvent se former quand des centaines de protéoglycans se lient de façon non covalente à une longue molécule de polysaccharide, comme le montre la figure 6.28. On trouve des



▲ **Figure 6.28** La matrice extracellulaire (MEC) d'une cellule animale. La structure et la composition de la matrice extracellulaire varient selon le type de cellule. Dans cet exemple, trois sortes de molécules de la MEC sont illustrées: le collagène, la fibronectine et les protéoglycanes.

complexes de ce genre dans le cartilage, par exemple. D'autres protéines de la MEC – dont les **fibronectines** – concourent à fixer les cellules à la MEC. Dans les cellules des animaux, les fibronectines et d'autres protéines de la MEC se lient à des récepteurs protéiques appelés **intégrines** enchâssés dans la membrane plasmique. Les intégrines traversent cette membrane et, du côté du cytoplasme, s'attachent à des protéines associées qui sont liées à des microfilaments du cytosquelette. Le terme *intégrine* vient du mot *intégrer*: de fait, les intégrines peuvent passer d'une forme inactive à une forme active sous l'effet d'un signal. Elles sont bien placées pour « informer » le cytosquelette des modifications subies par la MEC et, donc, pour intégrer les changements qui se produisent à l'extérieur et à l'intérieur de la cellule.

La recherche sur les fibronectines, les autres molécules de la MEC et les intégrines a mis en évidence le rôle déterminant de la MEC dans la vie des cellules. En communiquant avec le cytoplasme au moyen des intégrines, cette matrice peut influencer sur le comportement de la cellule. Par exemple, certaines cellules embryonnaires migrent vers une destination précise en faisant concorder l'orientation de leurs microfilaments avec celle des fibres de la matrice extracellulaire. Par ailleurs, les chercheurs ont constaté aussi que la MEC autour d'une cellule peut modifier l'activité des gènes de son noyau. L'information provenant de la MEC atteint probablement le noyau par diverses voies de signalisation mécanique et chimique. Des changements d'ordre mécanique se transmettent successivement aux fibronectines, aux intégrines et aux filaments du cytosquelette. Une modification dans la disposition du cytosquelette peut à son tour déclencher une cascade de réactions. Ces réactions peuvent entraîner des changements dans l'ensemble de protéines synthétisé par la cellule et, donc, dans le fonctionnement de la cellule. Ainsi, la MEC d'un tissu particulier pourrait favoriser la coordination de toutes les cellules de ce tissu. Cette coordination s'effectue également au moyen d'un lien direct, comme nous le verrons dans la section qui suit.

## Les jonctions cellulaires

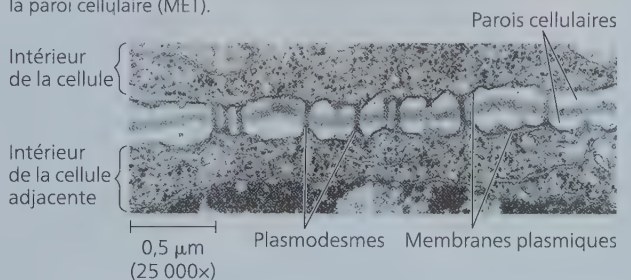
Les cellules d'un animal ou d'une plante sont organisées en tissus, en organes et en systèmes. Généralement, les cellules adjacentes adhèrent les unes aux autres, interagissent et communiquent directement entre elles par des zones de contact.

### Chez les végétaux: les plasmodesmes

On pourrait penser que la paroi cellulaire végétale isole les cellules les unes des autres. En fait, de très nombreux canaux appelés **plasmodesmes** (du grec *desma*, qui signifie « liaison ») relient les cellules (**figure 6.29**). Le cytosol qui traverse les plasmodesmes fait communiquer les milieux chimiques des cellules voisines. Ainsi, la plante en entier forme un continuum: les membranes plasmiques et celles du RE des cellules adjacentes se prolongent à travers le plasmodesme et en tapissent le canal; l'eau et les petits solutés diffusent librement d'une cellule à l'autre; des protéines spécifiques et des molécules d'ARN transigent également par ces canaux dont l'ouverture peut se dilater dans des circonstances

### ▼ Figure 6.29 Les plasmodesmes entre les cellules végétales.

Le cytoplasme d'une cellule végétale communique avec le cytoplasme des cellules voisines par les plasmodesmes, des canaux qui traversent la paroi cellulaire (MET).



particulières (voir le concept 36.6). Certaines macromolécules destinées à des cellules voisines atteignent les plasmodesmes en se déplaçant le long des fibres du cytosquelette.

### Chez les animaux: les jonctions serrées, les desmosomes et les jonctions ouvertes

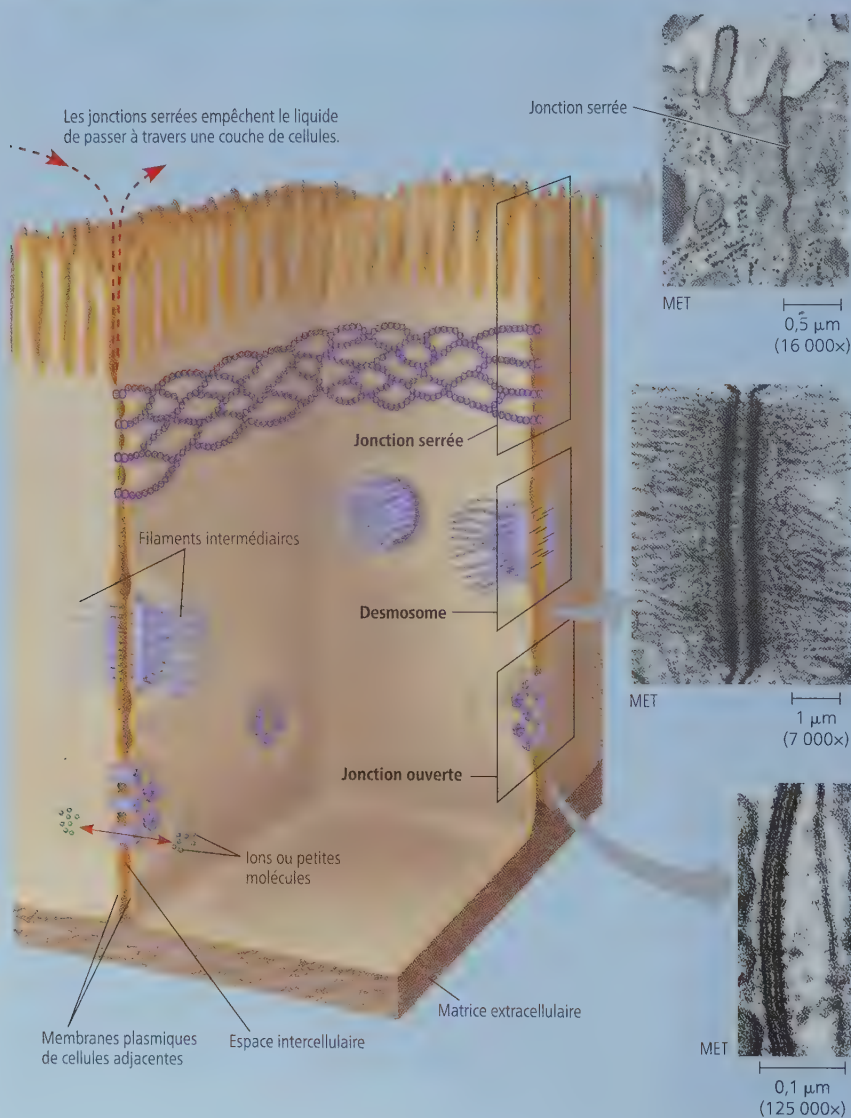
Dans le règne animal, il existe plusieurs types de jonctions cellulaires, dont trois principaux: les *jonctions serrées*, les

*desmosomes* et les *jonctions ouvertes* (qui ressemblent aux plasmodesmes des plantes, quoique les jonctions ouvertes ne sont pas couvertes de membrane). Le tissu épithélial, qui tapisse les cavités internes de l'organisme, regorge particulièrement de ces trois sortes de jonctions. La **figure 6.30** illustre celles qu'on trouve dans les cellules de l'épithélium intestinal. Il serait souhaitable que vous regardiez attentivement cette figure avant de passer à la prochaine section.

## PANORAMA

▼ Figure 6.30

## Les jonctions intercellulaires dans les tissus animaux



### Jonctions serrées

Aux **jonctions serrées**, aussi appelées jonctions étanches, les membranes des cellules voisines sont accolées les unes contre les autres et liées ensemble par des protéines spécifiques. En formant des ceintures continues autour des cellules, du côté de la cellule exposé au milieu extérieur, ces jonctions servent de barrières qui empêchent le liquide extracellulaire de s'infiltrer entre les cellules épithéliales (flèche rouge en pointillé). Par exemple, les jonctions serrées entre les cellules de la peau rendent celles-ci étanches, alors que les jonctions serrées entre les cellules qui tapissent l'intestin empêchent le contenu intestinal d'entrer dans les vaisseaux sanguins en passant entre les cellules.

### Desmosomes

Les **desmosomes** (un type de *jonctions d'ancrage* parmi plusieurs) fonctionnent à la manière de rivets: ils retiennent les cellules solidement entre elles de façon à former des tissus résistant à la compression et à l'étirement. Des filaments intermédiaires constitués de kératine, une protéine résistante, ancrent les desmosomes au cytoplasme. Les desmosomes attachent les cellules musculaires les unes aux autres dans le muscle. Certaines « déchirures musculaires » supposent une rupture des desmosomes. Des structures semblables appelées *hémidesmosomes* attachent solidement les cellules d'un tissu à la lame basale (voir la figure 40.5) ou à d'autres matrices extracellulaires.

### Jonctions ouvertes

Les **jonctions ouvertes**, aussi appelées jonctions communicantes, sont des canaux reliant le cytoplasme de cellules animales adjacentes; elles exercent une fonction similaire à celle des plasmodesmes des végétaux. Les jonctions ouvertes se composent de protéines membranaires (les *connexines*) entourant un canal dont le diamètre est assez grand pour permettre le passage des ions, des glucides, des acides aminés et d'autres petites molécules. Les jonctions ouvertes sont nécessaires à la communication entre les cellules de plusieurs types de tissus, dont le muscle cardiaque et les embryons animaux.

1. Du point de vue de l'organisation et des jonctions cellulaires, qu'est-ce qui différencie les cellules animales et végétales des eucaryotes multicellulaires de celles des eucaryotes unicellulaires ?
2. **ET SI ?** ► Si la paroi de la cellule végétale ou la matrice extracellulaire de la cellule animale étaient imperméables, quel effet cela aurait-il sur la fonction cellulaire ?
3. **FAITES DES LIENS** ► Une jonction serrée est constituée d'une chaîne polypeptidique formée de quatre hélices transmembranaires, avec deux boucles à l'extérieur de la cellule et une boucle dans le cytoplasme. Cette dernière porte les extrémités C-terminale et N-terminale. En observant la figure 5.14, que pouvez-vous prédire quant à la séquence d'acides aminés de la protéine de la jonction serrée ?

Voir les réponses proposées à l'appendice A.

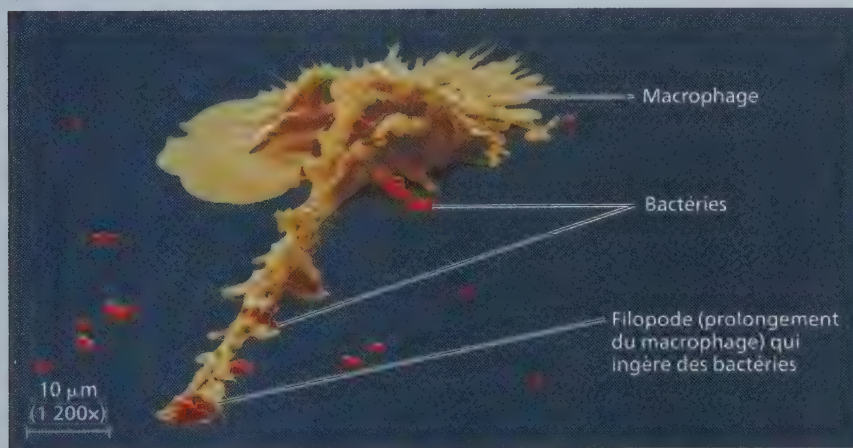
## Le tout que forme la cellule est supérieur à la somme de ses parties

De la compartimentation cellulaire à la structure des organites, l'exploration de la cellule nous a fourni de nombreuses occasions de souligner la relation entre structure et fonction. La figure 6.8 présente un résumé des structures et des fonctions cellulaires.

Toutefois, même si l'on doit compartimenter la cellule dans le but de l'étudier, il faut se rappeler que tous les organites travaillent en coopération avec un ou plusieurs autres organites. Pour mieux comprendre la profondeur de cette intégration cellulaire, examinez la scène microscopique reproduite à la **figure 6.31**. La grosse cellule est un macrophage (voir la figure 6.13a). Elle défend l'organisme contre les infections en phagocytant des bactéries (les

### ▼ Figure 6.31 Les fonctions cellulaires résultent de la coopération entre les organites.

La capacité de ce macrophage (en brun) de reconnaître, d'emprisonner et de détruire les bactéries *Staphylococcus* (en orange) est le fruit de la coordination entre toutes les parties de la cellule. Le cytosquelette, les lysosomes et la membrane plasmique font partie des constituants cellulaires qui interviennent dans la phagocytose (MEB colorisée).



petites cellules) au moyen de phagosomes (vacuoles digestives). Elle rampe sur une surface et se sert de prolongements minces appelés filopodes pour atteindre les bactéries, un mouvement rendu possible par l'interaction des microfilaments et des autres constituants du cytosquelette. À l'intérieur du macrophage, les bactéries sont détruites par des lysosomes produits par le très complexe réseau de membranes intracellulaires. Les enzymes digestives des lysosomes et les protéines du cytosquelette, elles, sont fabriquées par des ribosomes. Et la synthèse des protéines est programmée par les messages génétiques que l'ADN envoie du noyau. Tous ces processus requièrent de l'énergie, que les mitochondries fournissent sous forme d'ATP.

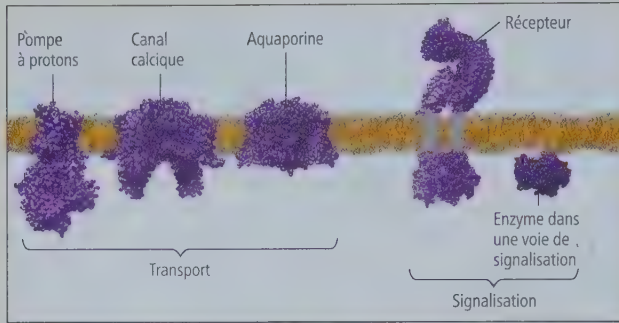
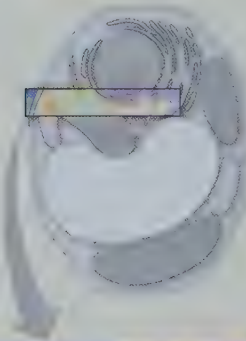
Les fonctions cellulaires naissent de l'organisation cellulaire : la cellule est une entité supérieure à la somme de ses parties. La cellule de la figure 6.31 est un bon exemple de l'intégration des processus cellulaires, tels qu'on peut les observer de l'extérieur. Mais à quoi ressemblerait l'organisation d'une cellule vue de l'intérieur ? En continuant votre étude de la biologie et des différents processus cellulaires, il vous sera utile d'arriver à visualiser mentalement l'architecture et les éléments de la cellule. La **figure 6.32** vous aidera à vous représenter plus clairement la taille relative des principales molécules et macromolécules biologiques, leur organisation, les organites et les autres structures de la cellule. En étudiant cette figure, essayez d'imaginer que vous êtes minuscule comme une protéine et que vous explorez de l'intérieur cet environnement qu'on appelle la cellule.

1. *Colpidium colpoda* est un eucaryote unicellulaire qui vit dans l'eau douce ; il se nourrit de bactéries et se déplace à l'aide de cils (voir la figure 6.23b). Décrivez la coopération des différentes parties de la cellule de *C. colpoda*. Dans votre description, incluez le plus possible d'organites et de structures cellulaires.

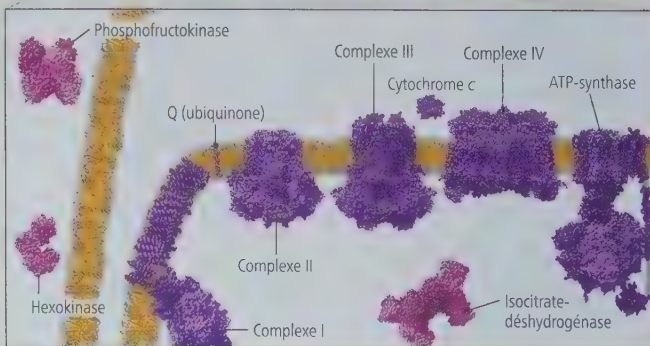
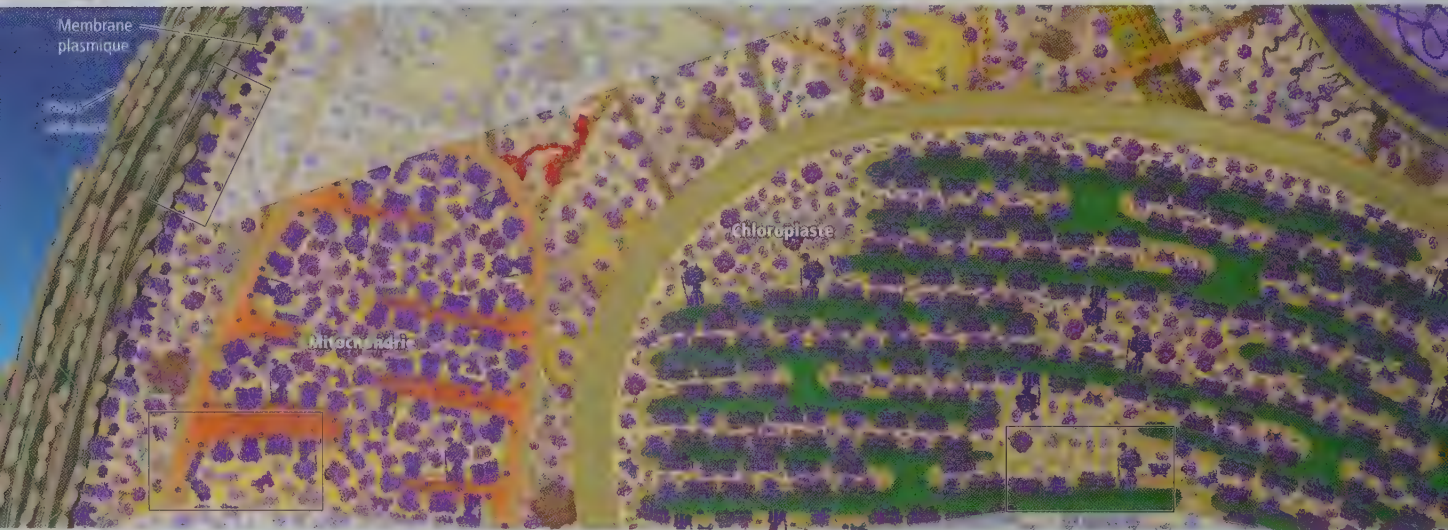
Voir les réponses proposées à l'appendice A.

L'illustration du centre montre une coupe de l'intérieur d'une cellule végétale. Toutes les structures et les molécules y sont dessinées à l'échelle. Certaines molécules et structures figurent à part, dans les médaillons au-dessus et en dessous de l'illustration centrale, agrandies par le même

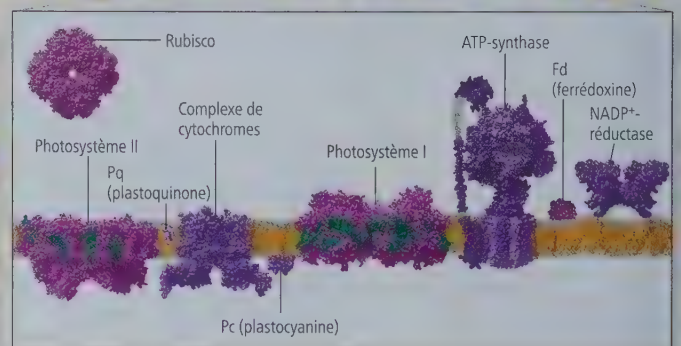
facteur afin de vous permettre une comparaison juste de leurs tailles. Toutes les structures représentant les protéines et les acides nucléiques sont basées sur les données de la Protein Data Bank; les régions dont la structure n'a pas encore été déterminée sont en gris.



**Protéines membranaires:** Les protéines enchâssées dans la membrane plasmique ou d'autres membranes cellulaires aident les substances à traverser des membranes, acheminent des signaux de part et d'autre de la membrane et participent à d'autres fonctions cellulaires vitales. Bon nombre de protéines sont capables de se déplacer à l'intérieur de la membrane.

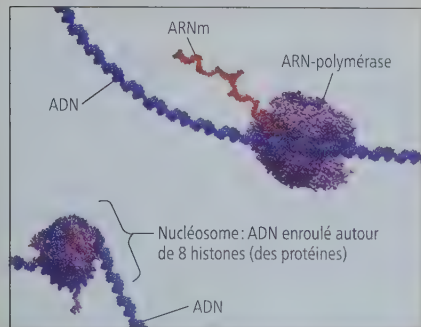


**Respiration cellulaire:** La respiration cellulaire comporte plusieurs étapes, dont certaines font intervenir des protéines individuelles ou des complexes protéiques du cytoplasme et de la matrice mitochondriale. D'autres protéines et complexes protéiques participent à la production d'ATP à partir des nutriments et forment une « chaîne » à l'intérieur de la membrane mitochondriale.



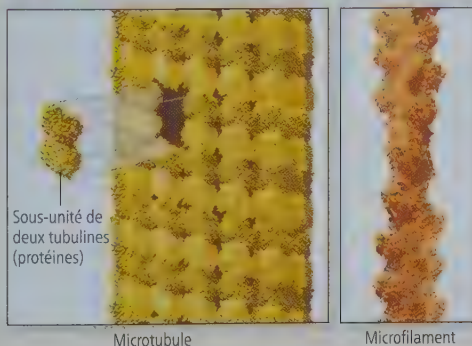
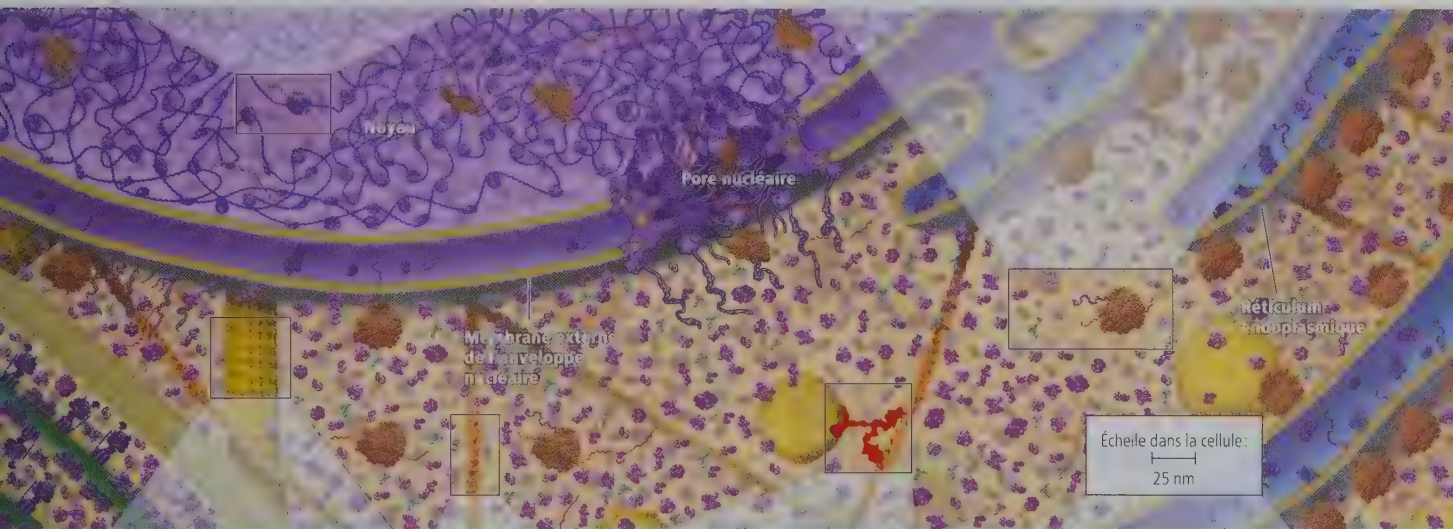
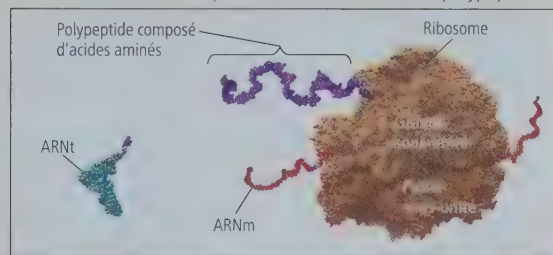
**Photosynthèse:** De volumineux complexes de protéines, associés à des molécules non protéiques, sont enchâssés dans les membranes du chloroplaste. Ensemble, ils peuvent emmagasiner l'énergie lumineuse dans des molécules que d'autres protéines utilisent ensuite à l'intérieur du chloroplaste pour fabriquer des sucres. C'est la base du fonctionnement de tous les organismes vivants de la planète.

**Transcription:** Dans le noyau, l'information contenue dans une séquence d'ADN est acheminée à l'ARN messager (ARNm) par une enzyme appelée ARN-polymérase. Après leur synthèse, les molécules d'ARNm quittent le noyau par les pores nucléaires.

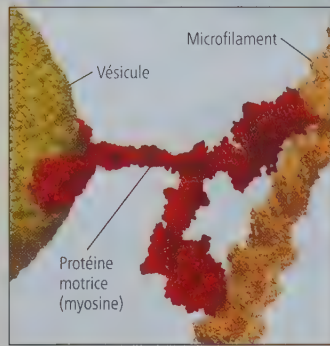


**Pore nucléaire:** Le complexe de pores nucléaires régule la circulation des molécules qui entrent dans le noyau (limité par une double membrane) et en sortent. Les sous-unités ribosomales fabriquées dans le noyau sont parmi les plus grosses structures pouvant passer par les pores.

**Traduction:** Dans le cytoplasme, l'information contenue dans l'ARNm est utilisée pour assembler un polypeptide constitué d'une séquence spécifique d'acides aminés. Les molécules d'ARN de transfert (ARNt) et un ribosome ont leur rôle à jouer. Le ribosome eucaryote, formé de quatre grosses molécules d'ARN ribosomique (ARNr) et de plus de 80 protéines. C'est au moyen de la transcription et de la traduction, et par l'intermédiaire de l'ARNm, que la séquence nucléotidique de l'ADN détermine la séquence d'acides aminés d'un polypeptide.



**Cytosquelette:** Les structures du cytosquelette sont des polymères de sous-unités protéiques. Les microtubules sont des cylindres structuraux creux composés de sous-unités de tubuline, tandis que les microfilaments sont des câbles faits de deux chaînes d'actine enroulées l'une autour de l'autre.



**Protéines motrices:** Ces protéines sont responsables du transport des vésicules et du mouvement des organites dans la cellule. L'énergie nécessaire provient souvent de l'hydrolyse de l'ATP.

25 nm  
Échelle des structures agrandies

1. Ordonnez les structures suivantes selon leur taille, de la plus grande à la plus petite : pompe à protons, pore nucléaire, cytochrome c, ribosome.
2. Compte tenu de la structure du nucléosome et de l'ARN-polymérase, décrivez ce qui doit se produire, selon vous, avant que l'ARN-polymérase puisse transcrire l'ADN enroulé autour des histones d'un nucléosome.
3. Dans ce schéma, trouvez une autre myosine (protéine motrice) qui « marche » sur un microfilament. Quel organe est déplacé par cette myosine ?

# RÉVISION DU CHAPITRE 6



Consultez votre MANUEL NUMÉRIQUE, qui vous donne accès aux animations, aux exercices et à la plateforme d'anatomie interactive.

## Résumé des concepts clés

### CONCEPT 6.1

#### Les biologistes étudient les cellules à l'aide de microscopes et de diverses techniques biochimiques (p. 102 à 106)

- Les avancées techniques qui ont amélioré les principaux paramètres de la microscopie – le grossissement, la résolution et le contraste – ont permis d'importants progrès dans l'étude de la structure de la cellule. Les diverses techniques de **microscopie photonique** (MP) et de **microscopie électronique** (ME) en constituent les principaux instruments.
- Les biologistes cellulaires peuvent obtenir des culots riches en tel ou tel constituant cellulaire par **fractionnement cellulaire**, un procédé qui consiste à centrifuger à diverses vitesses des cellules préalablement lysées.

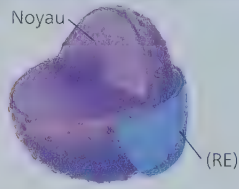

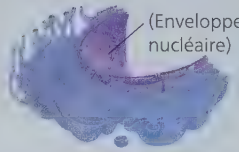



? Comment la microscopie et la biochimie se complètent-elles dans l'étude de la structure de la cellule et des fonctions cellulaires?

### CONCEPT 6.2

#### Chez les eucaryotes, la compartimentation de l'espace cellulaire contribue au fonctionnement biochimique (p. 106 à 109)

- Toutes les cellules sont entourées d'une barrière sélective, la **membrane plasmique**.
- Les **cellules procaryotes** sont dépourvues de vrai noyau et de la plupart des **organites** séparés par des membranes qu'on trouve dans les **cellules eucaryotes**. Dans ces dernières, des membranes internes compartimentent les fonctions cellulaires.
- Le rapport surface/volume est un paramètre important dans la détermination de la taille et de la forme de la cellule.
- Les cellules végétales et animales comportent essentiellement les mêmes organites – un noyau, un réticulum endoplasmique, un complexe golgien et des mitochondries. Les chloroplastes ne sont présents que dans les cellules eucaryotes photosynthétiques.




? Expliquez comment la compartimentation de la cellule eucaryote contribue à son fonctionnement biochimique.

	Constituant cellulaire	Structure	Fonction
<b>CONCEPT 6.3</b> <b>Le noyau de la cellule eucaryote renferme les instructions génétiques que les ribosomes utilisent pour fabriquer les protéines (p. 109 à 113)</b> ? Décrivez la relation entre le noyau et les ribosomes.	Noyau 	Entouré de l'enveloppe nucléaire (double membrane); percée de milliers de pores nucléaires, celle-ci est en continuité avec le réticulum endoplasmique (RE).	Conservation des chromosomes, qui sont faits de chromatine (combinaison d'ADN et de protéines); participation d'un ou de plusieurs nucléoles à la synthèse des sous-unités ribosomiques; régulation par les pores nucléaires de l'entrée et de la sortie des matières qui traversent l'enveloppe nucléaire
	Ribosome 	Formé de deux sous-unités composées d'ARN ribosomique et de protéines; peut être libre dans le cytosol ou lié au réticulum endoplasmique.	Synthèse des protéines
<b>CONCEPT 6.4</b> <b>Le réseau de membranes intracellulaires dirige la circulation des protéines et remplit des fonctions métaboliques (p. 113 à 119)</b> ? Décrivez le rôle clé que jouent les vésicules de transport et de sécrétion dans le réseau de membranes intracellulaires.	Réticulum endoplasmique (RE) 	Constitué d'un labyrinthe de sacs (cisternes) et de tubules membraneux; leur lumière est isolée du cytosol par une membrane en continuité avec l'enveloppe nucléaire.	RE lisse: synthèse des lipides, métabolisme des glucides; stockage des ions calcium et détoxification des médicaments, des drogues et des substances toxiques RE rugueux: synthèse des protéines de sécrétion et d'autres protéines liées aux ribosomes; incorporation des glucides aux protéines pour produire des glycoprotéines; croissance de sa propre membrane
	Complexe golgien 	Constitué de piles de saccules membraneux et aplaties; comporte une polarité (face <i>cis</i> et face <i>trans</i> ).	Modification des protéines, des glucides protéiques, des phospholipides; synthèse de nombreux polysaccharides; triage des produits du complexe golgien, qui sont ensuite libérés dans les vésicules
	Lysosome 	Fait d'un sac membraneux rempli de dizaines d'enzymes hydrolytiques (dans les cellules animales).	Dégradation des substances ingérées, des macromolécules cellulaires et des organites endommagés, afin de les recycler
	Vacuole 	Grosse vésicule liée délimitée par une membrane provenant du réticulum endoplasmique et du complexe golgien; les vacuoles font partie intégrante du réseau de membranes intracellulaires.	Digestion, stockage, évacuation des déchets, équilibre hydrique, croissance et protection de la cellule

## CONCEPT 6.5

### Les mitochondries et les chloroplastes convertissent l'énergie d'une forme à une autre (p. 119 à 122)

? Que propose la théorie de l'endosymbiose quant à l'origine des mitochondries et des chloroplastes ?

Constituant cellulaire	Structure	Fonction
Mitochondrie 	Entourée d'une double membrane; la membrane interne présente des crêtes.	Respiration cellulaire
Chloroplaste 	Isolé du cytosol par deux membranes; contient des thylakoïdes empilés qui forment des grana.	Photosynthèse (les chloroplastes se trouvent dans les cellules des eucaryotes photosynthétiques, dont les végétaux)
Peroxisome 	Délimité par une membrane simple; c'est un compartiment métabolique spécialisé.	Siège de réactions enzymatiques qui transfèrent les atomes d'hydrogène de divers substrats à de l'O <sub>2</sub> , ce qui donne comme sous-produit du H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (peroxyde d'hydrogène), lequel est converti en eau par une autre enzyme; réactions de bêta-oxydation des acides gras

## CONCEPT 6.6

### Le cytosquelette est un réseau de fibres qui organise les structures et les activités de la cellule (p. 122 à 127)

- Le **cytosquelette** assure le soutien structural, la motilité de la cellule et la transmission des signaux.
- Les **microtubules** soutiennent la cellule et maintiennent sa forme, guident les mouvements des organites et participent à la séparation des chromosomes au cours de la division cellulaire. Les **cils** et les **flagelles** sont des appendices motiles formés de microtubules. Les cils primaires jouent aussi un rôle sensoriel et un rôle dans la transmission des signaux. Les **microfilaments** sont de fins cylindres qui interviennent dans la contraction musculaire, le mouvement amiboïde, la **cyclose** et le soutien des microvillosités. Les **filaments intermédiaires** concourent à maintenir la forme de la cellule et à ancrer les organites.

? Décrivez le rôle joué par les protéines motrices à l'intérieur de la cellule eucaryote et dans le mouvement de la cellule entière.

## CONCEPT 6.7

### Les constituants extracellulaires et les jonctions intercellulaires contribuent à la coordination des activités de la cellule (p. 128 à 131)

- La paroi cellulaire de la cellule végétale est constituée de fibres de cellulose mêlées à d'autres polysaccharides et protéines.
- Les cellules animales sécrètent des glycoprotéines qui constituent la matrice extracellulaire (MEC), laquelle contribue au soutien, à l'adhésion, au mouvement et à la régulation cellulaires.
- Chez les végétaux et les animaux, des jonctions cellulaires relient les cellules adjacentes. Les végétaux possèdent des plasmodesmes qui traversent les parois cellulaires voisines. Chez les animaux, le contact entre les cellules met en jeu des jonctions serrées, des desmosomes et des jonctions ouvertes.

? Comparez la structure et les fonctions de la paroi cellulaire végétale avec celles de la matrice extracellulaire de la cellule animale.

## CONCEPT 6.8

### Le tout que forme la cellule est supérieur à la somme de ses parties (p. 131 à 133)

- De nombreuses composantes travaillent en coopération dans une cellule vivante.

? Lorsqu'une cellule ingère une bactérie, quel est le rôle du noyau ?

## Évaluation

### NIVEAU 1 : CONNAISSANCES ET COMPRÉHENSION

- Parmi les organites suivants, lequel *ne* fait *pas* partie du réseau de membranes intracellulaires ?
  - L'enveloppe nucléaire.
  - Le chloroplaste.
  - Le complexe golgien.
  - La membrane plasmique.
- Parmi les structures suivantes, laquelle se trouve à la fois dans les cellules végétales *et* dans les cellules animales ?
  - Le chloroplaste.
  - La vacuole centrale.
  - La mitochondrie.
  - Le centriole.
- Parmi les composants cellulaires suivants, lequel se trouve dans les cellules procaryotes ?
  - La mitochondrie.
  - Le ribosome.
  - L'enveloppe nucléaire.
  - Le chloroplaste.

### NIVEAU 2 : APPLICATION ET ANALYSE

- Le cyanure se lie avec au moins une des molécules qui jouent un rôle dans la production d'ATP. Si l'on expose des cellules à du cyanure, la plus grande partie de cette substance devrait se trouver dans :
  - les mitochondries.
  - les ribosomes.
  - les peroxysomes.
  - les lysosomes.
- Laquelle des cellules suivantes convient le mieux à l'étude des lysosomes ?
  - La cellule musculaire.
  - Le neurone.
  - La bactérie.
  - Le globule blanc.
- FAITES UN DESSIN** ► De mémoire, dessinez deux cellules eucaryotes, nommez et pointez les structures suivantes et montrez tous les liens entre les structures internes de chaque cellule : noyau, RE rugueux, RE lisse, mitochondrie, centrosome, chloroplaste, vacuole, lysosome, microtubule, paroi cellulaire, MEC, microfilament, complexe golgien, filament intermédiaire, membrane plasmique, peroxysome, ribosome, nucléole, pore nucléaire, vésicule, flagelle, microvillosité, plasmodesme.

Voir les réponses proposées à l'appendice A.

