Document téléchargeable sur le site
https://www.svt-tanguy-jean.com/

ACADÉMIE DE RENNES
Liberté
Égalité
Fraternité

Région BRETAGNE

lycée Chateaubriand

Lycée François-René DE CHATEAUBRIAND
136 BOULEVARD DE VITRÉ, CS 10637
35706 RENNES CEDEX 7
CLASSE PRÉPARATOIRE BCPST 1
Biologie Chimie Physique Sciences de la Terre

ENSEIGNEMENT DE SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE (SVT)
°° SCIENCES DE LA VIE °°
>> Cours <<

Chapitre 6

Organisation fonctionnelle de la cellule

PROPOSITION DE FICHE À COMPLÉTER

Introduction

Définitions *déjà notées dans la fiche du chapitre 5.*

Ultrastructure :

Comment la constitution et la structuration des cellules impactent-elles leur fonctionnement ?

Les **aspects pratiques** sont traités dans le
TP SV C (Observations microscopiques de cellules et de tissus)

I. Des cellules limitées par une membrane, variablement compartimentées et présentant une information génétique

Capacités exigibles	✓ **Discuter** des intérêts et contraintes de la compartimentation dans le fonctionnement cellulaire. ✓ **Illustrer** la diversité structurale et fonctionnelle des compartiments sur l'exemple de l'entérocyte et de la cellule du parenchyme palissadique. ✓ **Évaluer** les dimensions d'une structure observée à partir de la connaissance de l'ordre de grandeur de quelques objets biologiques courants (membranes, organites...). ✓ À l'aide de différentes techniques microscopiques, **reconnaître** les ultrastructures cellulaires eucaryotes : noyau, membranes, mitochondrie, chloroplaste, réticulum endoplasmique, appareil de Golgi, lysosome, vésicules de sécrétion, eu/hétérochromatine, nucléole. ✓ **Schématiser** l'ultrastructure d'une bactérie. ✓ À l'aide de techniques de microscopie, **reconnaître** les principales caractéristiques ultrastructurales d'une bactérie.

A. Une limitation des cellules et des compartiments par des membranes biologiques

Le chapitre 7 (Membranes) développera ces aspects.

FIGURE 1. Une membrane biologique : la membrane plasmique.
Adapté d'après RAVEN *et al.* (2007).

Ajoutez des **aspects fonctionnels** aux **légendes structurales** !

TABLEAU I. Composition de diverses membranes. D'après PEYCRU *et al.* (2013).

Structure tripartite : ***la membrane comprend deux niveaux hydrophiles (au contact des milieux aqueux) prenant en sandwich un niveau hydrophobe***.

Glycocalyx = *cell coat* (*manteau cellulaire*) : ***ensemble des petits glucides portés par certaines protéines et certains lipides du côté externe de la membrane plasmique***
(ne se trouve pas sur les ~~autres membranes~~ !).

Membranes	Épaisseur en nm	Structure	Composition en lipides totaux	Composition en protéines totales
Plasmalemme	7,5 *	tripartite et glycocalyx en plus	42 %	58 %
Réticulum endoplasmique	5 à 6	tripartite	30 %	70 %
Appareil de Golgi	6 à 7	tripartite	35 %	65 %
Enveloppe plastidiale	6 **	tripartite	60 %	40 %
Thylacoïdes	7 ***	tripartite	50 % dont 12 % de pigments	50 %
Membrane mitochondriale externe	6	tripartite	40 %	60 %
Membrane mitochondriale interne	6 ***	tripartite	20 %	80 %
Plasmalemme bactérien	6 ***	tripartite	30 %	70 %

* : sans tenir compte du glycocalyx ; ** : épaisseur de chaque membrane de l'enveloppe ; *** : sans tenir compte des sphères pédonculées ; compositions moyennes exprimées en % de la masse totale de la fraction.

B. Une haute compartimentation des cellules eucaryotes impliquant une spécialisation et une coopération des volumes cellulaires

1. Nature et conséquences fonctionnelles de la compartimentation

a. Notions de compartiment et d'organites

Compartiment cellulaire :
Organite :

Notez que le terme « **organite** » est **parfois étendu** à des **structures cellulaires non limitées par une membrane** (ex. ribosomes).

b. Intérêts de la compartimentation cellulaire

-

-

-

-

-

-

c. Limites et contraintes de la compartimentation cellulaire

-

-

-

2. Le cytosol ou hyaloplasme, liquide fondamental de la cellule contenant des enzymes nombreuses et des ribosomes

Cytosol = hyaloplasme :
≠ Cytoplasme :

FIGURE 3. Organisation des cellules eucaryotes : l'exemple d'un entérocyte (Mammifères) et d'une cellule du parenchyme foliaire palissadique (Angiospermes Eudicotylédones). Original 2021.

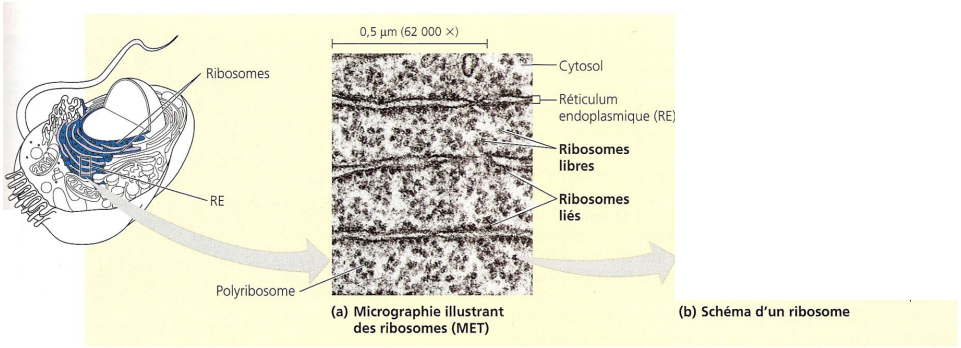


FIGURE 2. Les ribosomes. D'après CAMPBELL & REECE (2004). **Faire le schéma à droite**

Ribosomes :

- **libres** :

- **liés** :

Polysome = Polyribosome :

MET : allure en « collier de perles »

*Lorsqu'il est en train de **lire un ARNm** et de **synthétiser une protéine**, un **ribosome comprend deux sous-unités** mais, en dehors de ses moments d'activité, le **ribosome** n'existe pas intégralement et les **deux sous-unités** sont **séparées**.*

3. Le noyau, organite bimembranaire rassemblant l'essentiel du matériel génétique de la cellule

Noyau :

Chromatine :

- **Euchromatine** :

- **Hétérochromatine** :

Nucléole(s) :

FIGURE 6. Organisation du noyau interphasique (taille env. 4-5 µm).
D'après SEGARRA *et al.* (2014), complété.

Enveloppe nucléaire :

Pores nucléaires :

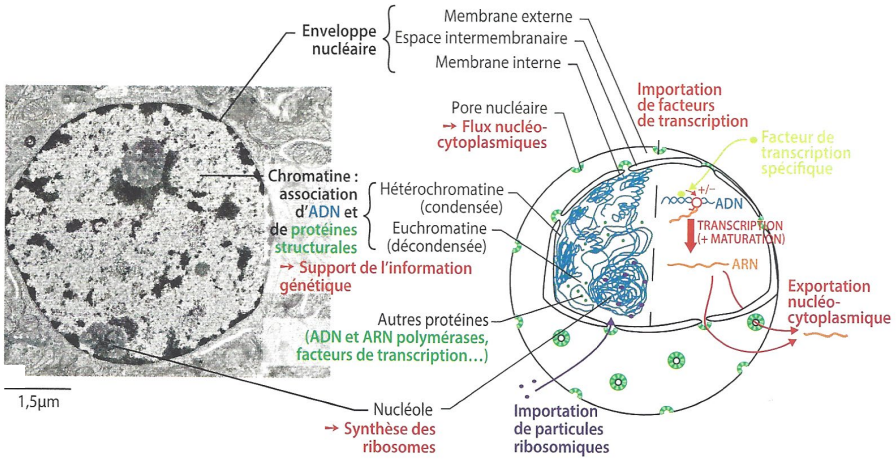


FIGURE 7. Le noyau : une vision fonctionnelle de son organisation.
D'après DAUTEL *et al.* (2021).

Nucléoplasme :

- existence de cellules anucléées

- existence de cellules plurinucléées

Syncytium :

Ex.

Cœnocyte :

Ex.

4. Un ensemble de compartiments plutôt monomembranaires impliqués dans les flux vésiculaires : le système endomembranaire

Système endomembranaire = réseau endomembranaire :

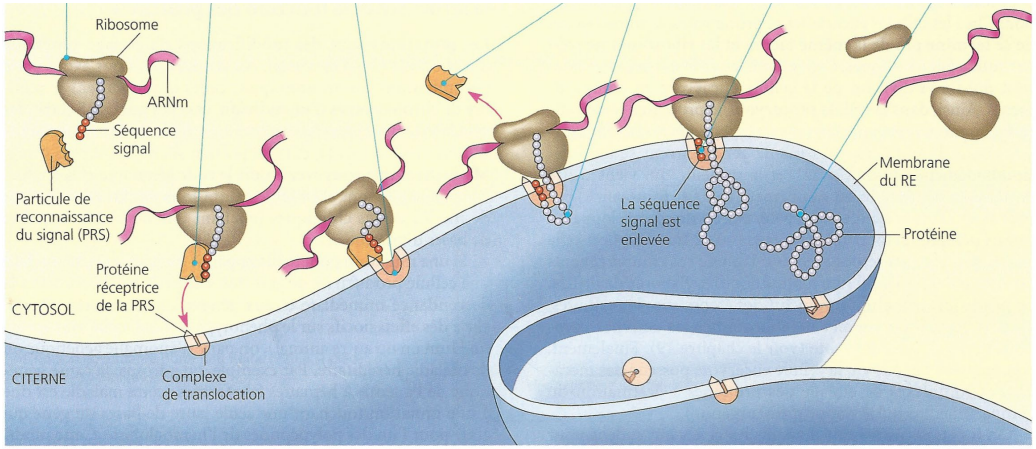
a. Le réticulum endoplasmique granuleux (REG) ou rugueux (RER), ensemble de citernes couvertes de ribosomes où maturent les protéines sécrétées, membranaires ou du système endomembranaire

Structuralement :

Fonctionnement :

Les **citernes** (ou **saccules**) du **REG** sont **disposées à intervalles d'espaces réguliers (quelques dizaines de nm) et communiquent entre elles par des ponts**. Le **REG** se place en **prolongement** de **l'enveloppe nucléaire** et l'**espace périnucléaire** (***espace entre la membrane interne et la membrane externe du noyau***) est en **continuité** avec la **lumière du REG**.

Pour information, les mots en « -ule » en cytologie désignent souvent des ***petites structures cellulaires limitées par une membrane*** *:*
- Les **saccules** sont des ***petits sacs membraneux, d'épaisseur généralement constante***
- Les **tubules** sont des ***petits tubes membraneux***
- Les **vésicules** sont des ***structures sphériques limitées par une membrane qui peuvent se déplacer dans la cellule***.



Mécanisme de signalisation pour le ciblage des protéines à destination du RE. Les polypeptides devant être affectés au réseau intracellulaire de membranes ou sécrétés à l'extérieur de la cellule commencent par une séquence signal, c'est-à-dire par une série d'acides aminés qui leur assigne une destination précise, le RE. Ce schéma montre successivement le début de la synthèse d'une protéine destinée à la sécrétion et son arrivée dans le RE. Sa maturation se poursuit dans le RE, puis dans l'appareil de Golgi.

FIGURE 8. L'adressage protéique vers le REG : un exemple d'adressage co-traductionnel.
D'après CAMPBELL & REECE (2004).
Ajoutez les **annotations** en haut !

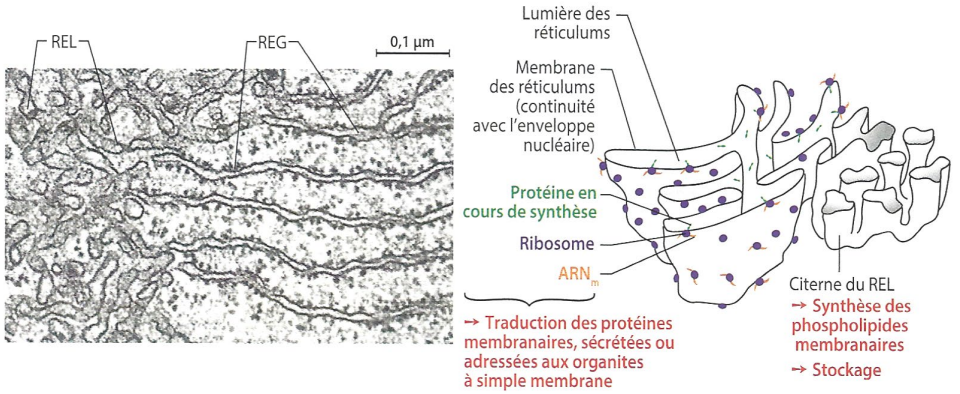


FIGURE 10. Le réticulum endoplasmique : une vision fonctionnelle de son organisation.
D'après DAUTEL *et al.* (2021).

* **Maturation d'une protéine** = ***ensemble des transformations que subit une chaîne polypeptidique juste après sa synthèse jusqu'à devenir une protéine fonctionnelle (repliement, modifications chimiques d'AA, glycosylations, etc.)***.
** **Sécrétion** = ***éjection d'une substance produite par une cellule ou un ensemble de cellules dans le milieu extracellulaire***.

b. Le réticulum endoplasmique lisse (REL), réseau tubulaire où a lieu la synthèse des lipides membranaires (voire des hormones stéroïdes ou des triglycérides) et le stockage de calcium (notion de calciosome)

Structuralement :

Fonctionnellement [**synthétisez le texte**] :

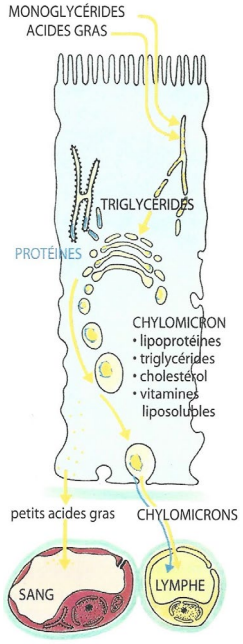
Focus sur l'entérocyte et les chylomicrons

Voir la figure 11

Les **micelles lipidiques** présentes dans **l'intestin** contiennent des **acides gras** et des **monoglycérides** qui sont **diffusent** au travers de la **bicouche phospholipidique** du **plasmalemme**. **Peu solubles** dans le **cytosol**, ces **lipides s'agrègent** en **microgouttelettes** qui atteignent rapidement le **réticulum endoplasmique lisse (REL)** à l'intérieur duquel ils **pénètrent** là encore par **diffusion**.

Dans le **REL**, des **enzymes** permettent la **synthèse de triglycérides**. Ils sont alors **associés** dans des **gouttelettes lipidiques** à **d'autres lipides** (cholestérol estérifié ou non, phospholipides…) et des **protéines** puis **migrent**, *via* des **vésicules de transition**, vers **l'appareil de Golgi** où **d'autres protéines** en provenance du **REG** sont **ajoutées** et où, **progressivement**, s'édifient ainsi *in fine* des **vésicules d'exocytose** contenant les fameuses ***gouttelettes lipidiques micrométriques exocytées au pôle basal des entérocytes***, les **chylomicrons**.

La **taille des chylomicrons** (jusqu'à 1 µm) les **empêche** de passer la **barrière** de **l'endothélium** des **capillaires sanguins**, de même que la **présence** autour de ces **capillaires** d'une **lame basale riche en glycoprotéiques** peu encline au passage des structures massives. En revanche, la **lame basale** des **chylifères** est plus **mince** et leur **endothélium** est perforé de **fentes** entre ses cellules de sorte que le **passage des chylomicrons** y est **aisé**.



➢ **Figure 11. La genèse des chylomicrons.** D'après Périlleux *et al.* (2002).

c. L'appareil de Golgi, ensembles des dictyosomes où sont modifiées les protéines sécrétées / membranaires / du réseau endomembranaire et où certains composés matriciels glucidiques sont synthétisés [incl. vésicules d'exocytose]

Dictyosome :

Chez **certains auteurs** (surtout **anglo-saxons**), le terme « **dictyosome** » désigne ***un seul saccule de ce que nous appelons dictyosome*** ; cet usage est **à éviter en français**. Notez que le mot « **dicytosome** » a **vieilli** et est **peu usité**, sauf peut-être chez les cytologistes végétaux.

Appareil de Golgi :

Honnêtement, **l'estimation de ce nombre** est **très variable** en fonction des **publications** que l'on peut lire… **j'y renonce** dans ce cours. Des travaux récents ont suggéré jusqu'à **40 à 100 dictyosomes** (au sens où nous l'entendons) dans une cellule mammalienne typique, bien loin des données ou schémas classiques des grands manuels de biologie…

Destination des **vésicules golgiennes** :

-

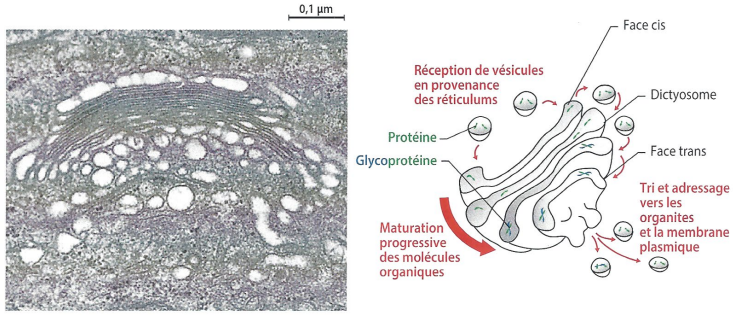
* **sécrétion constitutive** :

* **sécrétion contrôlée** :

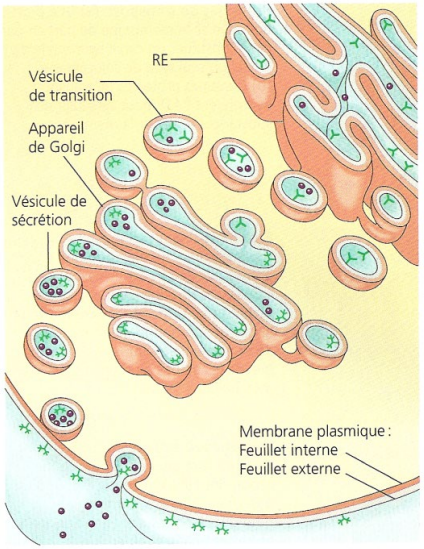
-

-

Comme **c'est dans le Golgi qu'a lieu la plupart des glycosylations**, les **glycoprotéines** – où qu'elles soient, **dans** la **cellule** ou **hors** de la **cellule** – ont **transité** par **l'appareil de Golgi** (à très peu d'exceptions près).



➢ **Figure 13. Un dictyosome : organisation fonctionnelle.** D'après Dautel *et al.* (2021).



Lien de l'appareil de Golgi avec le REG et les vésicules d'exocytose

Des **vésicules** se forment par **bourgeonnement** à la fin du **RER** et **fusionnent** alors avec **l'appareil de GOLGI**. Cela permet aux protéines de **passer du RER à l'appareil de GOLGI**. On appelle ces vésicules des **vésicules de transition** ; ***l'ensemble des vésicules de transition et du saccule cis de l'appareil d'un dictyosome*** forme le **réseau *cis*-golgien (CGN : *cis GOLGI network*)**.

Le **passage** d'un saccule d'un dictyosome à un autre se fait par des **vésicules** également.

D'autres **vésicules** se forment enfin dans la **partie terminale (côté trans) du GOLGI** et leur contenu est sécrété hors de la cellule par **exocytose** ou envoyé vers **d'autres organites** du **réseau endomembranaire** (**lysosomes**, **vacuole**…). La ***zone de formation des vésicules golgiennes terminales*** est appelée **réseau *trans*-golgien (TGN : *trans GOLGI network*)**.

FIGURE 14. Trafic vésiculaire du REG jusqu'au plasmalemme en passant par le GOLGI.
*Les **protéines sécrétées** sont représentées par les **boules** et les **arbuscules** symbolisent les **protéines membranaires**.* D'après CAMPBELL & REECE (2004).

\+ Partie finale de la **synthèse des composés matriciels** :

Revoir **l'organisation des matrices extracellulaires** (chapitre 5)

-

-

-

-

\+ **Métabolisme lipidique**

-

-

d. Les lysosomes, organites de taille vésiculaire, acides, riches en enzymes hydrolytiques digérant les molécules endocytées et les organites endommagés [cellules animales]

Lysosome :

Digestion :
-

-

-

FIGURE 16. Lysosome. D'après COOPER (2019), traduit et adapté.

Lysosome primaire :

Lysosome secondaire :

*Dans les **cellules végétales**, la **fonction des lysosomes** est assurée par la **vacuole**.*

*Certains **auteurs** affirment toutefois que les **cellules végétales** possèderaient des **lysosomes** (**phytolysosomes**), d'autres non… L'option retenue dans les **ouvrages universitaires qui font référence** est plutôt en faveur de **l'absence de lysosomes dans les cellules végétales**.*

FIGURE 19. Lysosomes et fonctionnement cellulaire : une vision simplifiée.
Les flèches indiquent des déplacements, des formations de vésicules et/ou des fusions.
Original, très librement recomposé et modifié d'après des schémas de LÜLLMANN-RAUCH & ASAN (2019).

Endosome :
Phagosome :
Autophagosome :

e. La vacuole (ou les vacuoles), compartiment turgescent à rôles multiples (osmose, réserve, recyclage moléculaire, squelette…) [cellules végétales]

Vacuole :

Dans les **cellules peu différenciées** comme les **cellules méristématiques**, le vacuome ***se compose de nombreuses petites vacuoles qui fusionneront lors de la différenciation***.

Fonctions :
-
-
  ◦
  ◦
  ◦

- **Turgescence** : ***se dit d'une cellule dont le cytoplasme et la membrane plasmique sont plaqués contre la paroi par la vacuole qui exerce une pression (dite de turgescence)*** ; **l'eau a tendance à rentrer par osmose** dans la vacuole, ***milieu hypertonique par rapport au cytosol*** ou à la paroi. C'est l'état naturel « normal ».
- **Plasmolyse** : ***se dit d'une cellule dont le cytoplasme est résorbé et dont la mebrane plasmique n'exerce de contacts avec la paroi guère qu'au niveau des plasmodesmes*** ; **l'eau a tendance à sortir par osmose** de la vacuole, ***milieu alors hypotonique par rapport au cytosol*** et à la paroi. C'est un état anormal. À l'échelle macroscopique, la plante subit un **flétrissement**.
- **Milieu hypertonique** : se dit d'une **solution plus concentrée qu'une autre** (par comparaison).
- **Milieu hypotonique** : se dit d'une **solution moins concentrée qu'une autre** (par comparaison).
- **Milieu isotonique** : se dit d'une **solution aussi concentrée qu'une autre** (par comparaison).

Voir chapitre 7 (Membranes) + voir TP C

-
-
-
…

5. Les péroxysomes, organites de taille vésiculaire assurant le métabolisme des ROS et d'autres réactions, dont une partie de la photorespiration végétale [+ notion de *microbody*]

- Les **péroxysomes** sont des

-

- qui :

-
-
-

Chez les '**plantes**', on trouve dans certaines cellules des **glyoxysomes** qui sont des ***péroxysomes particuliers***. S'y déroule le **cycle glyoxylique** ou **cycle du glycolate**, une ***variante du cycle de KREBS impliquée dans la production anabolique de glucose néoformé à partir d'acides gras*** ; on rencontre cela notamment dans les **graines à réserves lipidiques**.

- Les **péroxysomes** recouvrent des **spécialisations variées possibles** (**glyoxysomes**, **glycosomes**, **hydrogénosomes**...) dont l'examen dépasse le cadre de ce cours.

Les péroxysomes font-ils partie du système endomembranaire ?

Au sens large, les péroxysomes correspondent à ce que les **Anglo-Saxons** appellent – ou appelaient – « **microbodies** » [« microcorps » si l'on traduit littéralement] qui sont des ***organites à métabolisme varié et content des ROS***. Bien que limités par une seule membrane et d'une taille vésiculaire, ils sont généralement considérés comme en dehors du réseau endomembranaire pour deux raisons principales :

- Ils ne **participent pas au flux vésiculaire** et **de matière** massif de **l'axe REG-REL-GOLGI-lysosomes-endosomes-vésicules d'exocytose**.
- Il semblerait de plus que les **péroxysomes** soient reliés par un **fin réseau de canalicules**, constituant un **réseau à part** du **système endomembranaire**.
- Leurs **protéines** sont **produites** dans le **cytosol** et **ne transitent pas par l'axe REG-GOLGI**, contrairement à **celles du réseau endomembranaire**.

6. Des organites semi-autonomes pluricompartimentés intervenant dans le métabolisme énergétique : mitochondries et plastes

a. Les organites semi-autonomes : organites capables de produire des polypeptides et issus d'une endosymbiose

Organites semi-autonomes :

b. L'endosymbiose (primaire ou secondaire) des organites semi-autonomes : arguments et modalités

α. Notion d'endosymbiose et arguments

Théorie endosymbiotique :

Arguments :

β. Endosymbiose primaire (cas des mitochondries de tous les Eucaryotes et des plastes de la Lignée verte) *vs.* endosymbiose secondaire (cas des plastes d'autre lignées)

FIGURE 22. Endosymbiose d'une Protéobactérie (bactérie Gram –) devenue une mitochondrie : un scénario ultra simple. D'après SEGARRA *et al.* (2014)

FIGURE 23. Endosymbiose primaire d'une Cyanobactérie (bactérie Gram –) devenue un plaste : un scénario ultra simple. D'après SEGARRA *et al.* (2014)

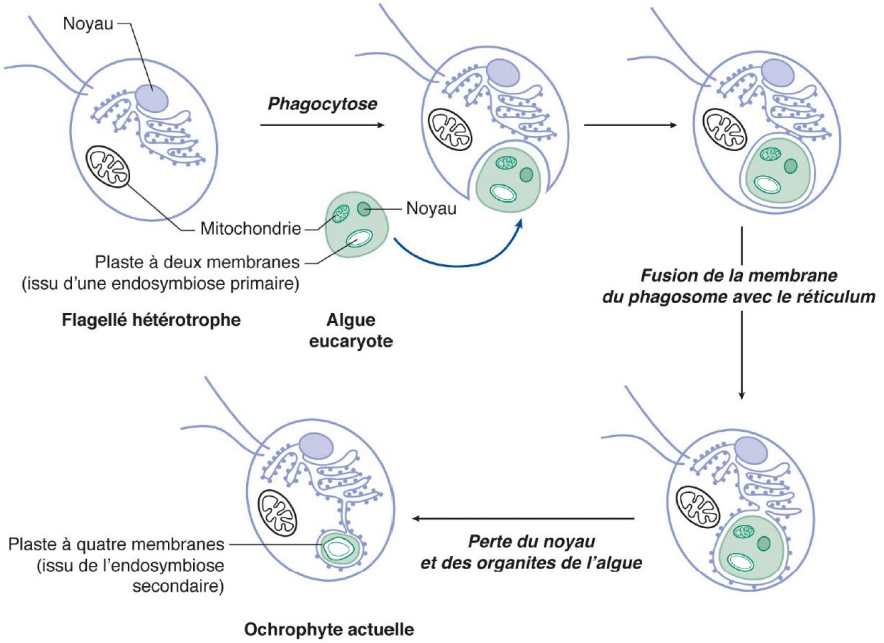


FIGURE 24. Une endosymbiose secondaire : cas des Ochrophytes.
D'après SEGARRA *et al.* (2015).

Endosymbiose primaire :
Endosymbiose secondaire :

c. Les mitochondries, organites assurant la respiration cellulaire et participant à des réactions anaboliques [toutes cellules eucaryotes]

Mitochondries :

- La **mitochondrie** intervient aussi dans l'**anabolisme** de certaines molécules.

Quelques caractéristiques

- ***La membrane interne présente de nombreux replis*** **(crêtes mitochondriales)** et une quantité importante d'**ATP synthases [= ATP synthétases = sphères pédonculées]** (***enzymes qui produisent l'ATP***) ;
- ***L'espace intermembranaire est très étroit, ce qui permet d'y concentrer facilement des protons H^+.***
- ***Le compartiment le plus interne*** s'appelle **matrice mitochondriale** ; elle contient des **inclusions** et des **ribosomes** ;
- ***Cet organite possède son propre ADN dans la matrice ainsi que des ribosomes*** (production de **quelques protéines** ou **sous-unités de protéines** : la **plupart des polypeptides mitochondriaux** sont toutefois **codés** par le **génome nucléaire**) ;
  Exemple chez l'Homme : on trouve seulement **37 gènes** codant **22 ARNt**, **2 ARNr** et **13 ARNm** de polypeptides…
- ***Il y a d'autant plus de mitochondries dans une cellule que celle-ci est active*** (mobilité, production intense de protéines…).

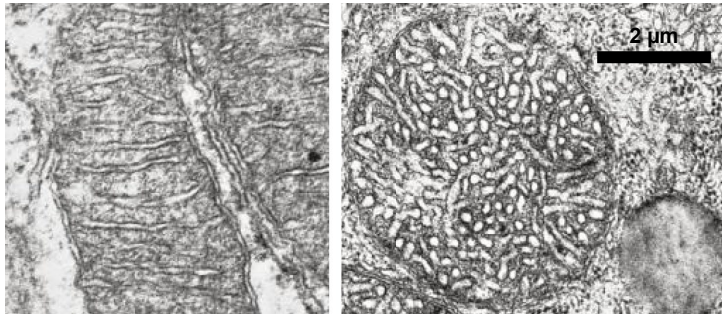


FIGURE 26. Mitochondries en coupes longitudinale (à gauche) et transversale (à droite).
D'après LÜLLMANN-RAUCH & ASAN (2019).

FIGURE 27. Organisation fonctionnelle d'une mitochondrie.
Fond de schéma : https://biologie-enligne.univ-lille.fr/biocellulaire/apprendre/chapitre10/ch10_page2.htm (consultation décembre 2021)

d. Les chloroplastes, organites réalisant la photosynthèse [cellules végétales]

Chloroplastes :

-

-

-

FIGURE 29. Organisation fonctionnelle d'un chloroplaste chez une Angiosperme.
D'après BREUIL (2007).

e. L'existence d'autres types fonctionnels de plastes dans des cellules autres que les cellules chlorophylliennes [cellules végétales]

- **chloroplaste** → ***photosynthèse***

-

-

-

-

-

-

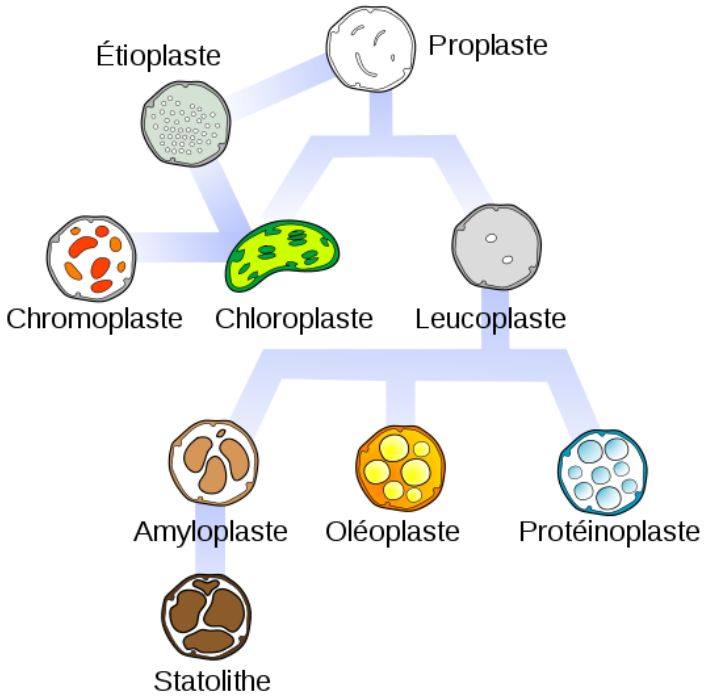
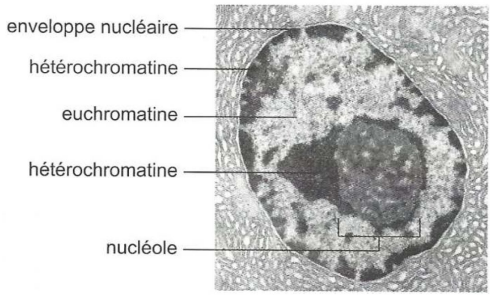
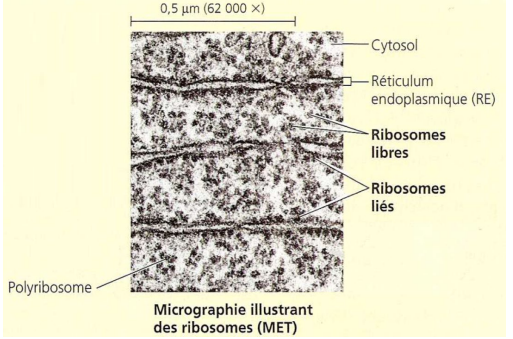
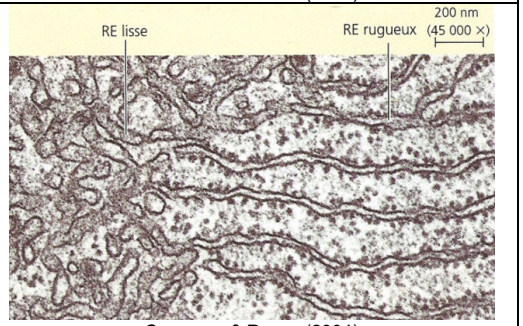


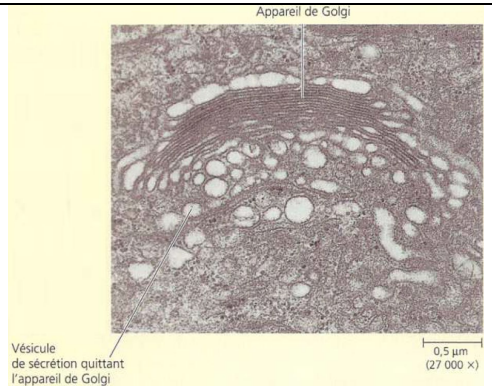
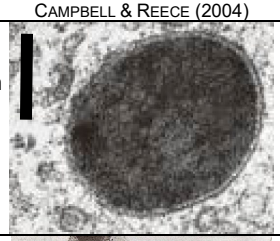
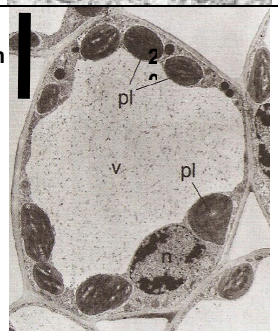
FIGURE 30. Diversité fonctionnelle des plastes chez les Angiospermes. *Wikipédia* (septembre 2015). Le terme de **leucoplaste** (du gr. *leucos*, blanc) renvoie à tous les plastes non pigmentés.

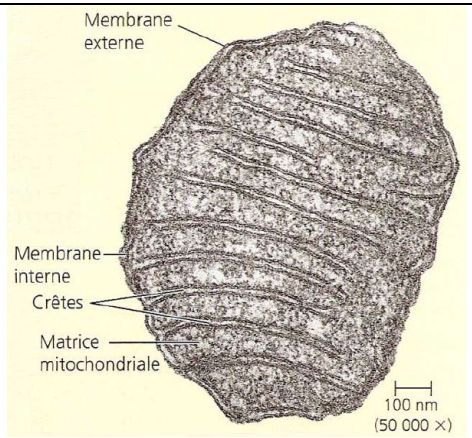
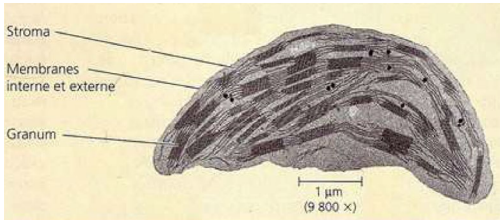
7. Bilan : vue d'ensemble des organites

- Voir le tableau I.

TABLEAU I. Organisation fonctionnelle de la cellule eucaryote : vue d'ensemble.
D'après BREUIL (2007).

Structure cellulaire		Organisation	Fonction	Électronographie (MET)
NOYAU	**Enveloppe nucléaire**	- **Double membrane** percée de **pores** (pas toujours visibles au MET)	- **Limitation** du noyau (enfermement de l'IG) - **Échanges** avec le **cytosol** : ARN, ribosomes, protéines	 PEYCRU *et al.* (2013)
	Chromatine	- **ADN plus ou moins condensé** dans le **nucléoplasme** > **euchromatine** (*très décondensée*) + **hétérochromatine** (*relativement condensée*)	- **Stockage** de l'IG - **Duplication** de l'IG (par **réplication** de l'ADN) - Expression génétique : **transcription** (= production des **ARN**)	
	Nucléole(s)	- Zone très riche en **protéines** (très sombre au MET) et plutôt ovoïde	- Synthèse des **ARNr** et **assemblage** des sous-unités ribosomiques	
CYTOPLASME	**Cytosol**	- **Liquide fondamental** de la cellule riches en **solutés** variés - Contient des **ribosomes**	- Fonctions variées (nombreuses **réactions anaboliques** et **cataboliques**) - Ribosomes : **traduction** (= synthèse de protéines)	 CAMPBELL & REECE (2004)
	Réticulum endoplasmique granuleux (REG)	- **Saccules** de **section constante** (saccule en coupe : 2 membranes rapprochées) et **espacés régulièrement**, portant de nombreux **ribosomes liés**	- [Fabrication et] **maturation** des **protéines membranaires** et des **protéines** destinées à la **sécrétion**	 CAMPBELL & REECE (2004)
	Réticulum endoplasmique lisse (REL)	- Réseau de **tubules** (tubule en coupe : forme ovoïde ou tubulaire) et dépourvues de **ribosomes liés**	- Synthèse de **lipides** variés : phospholipides, cholestérol, stéroïdes… - Stockage de **calcium** (**calciosome**)	

	Appareil de GOLGI (dictyosomes)	- **Saccules fins** et très rapprochés + **vésicules** (vésicule : petit compartiment cellulaire sphérique)	- **Tri** et **modification** des **protéines** membranaires et destinées à la sécrétion	 CAMPBELL & REECE (2004)
	Lysosomes *[c. animales]*	- **Compartiments ovoïdes** difficiles à caractériser sur le plan ultrastructural - pH **acide**, riches en **enzymes hydrolytiques**	- **Digestion** des **déchets cellulaires**, des **organites endommagés** et du contenu des **endosomes**	**100 nm** 
	Vacuole *[c. végétales]*	- Compartiment **très grand** et souvent **unique** (*sauf cellules méristématiques : multiples petites vésicules*)	- Gestion / recyclage des **déchets cellulaires** - **Turgescence** - **Homéostasie cellulaire** et **tampon ionique** - **Stockage** de **pigments** hydrophiles - **Stockage** de métabolites variés : **saccharose**, acide malique…	**20 µm**  ROBERT & ROLAND (1998a)
	Péroxysomes	- Allure de **vésicules**	- Gestion des **ROS** (*reactive oxygen species*) - **Voies métaboliques** variées, exemple : photorespiration chez les plantes	[*Allure de vésicule ; granulations et caractère foncé ou clair variables*]

	Mitochondries *[organite semi-autonome : origine endosymbiotique]*	- Double membrane (**enveloppe**) - Membrane interne avec des **crêtes** riches en **sphères pédonculées** - Présence d'**ADN** (rarement visible au MET) et de **ribosomes** dans la **matrice**	- **Respiration cellulaire** : production d'**ATP** par oxydation de matière organique	 CAMPBELL & REECE (2004)
	Chloroplastes *[c. végétales chlorophylliennes] [organite semi-autonome : origine endosymbiotique]*	- Double membrane (**enveloppe**) - Présence de saccules nommés **thylakoïdes**, localement empilés en **grana** - Présence d'**ADN** (rarement visible au MET) et de **ribosomes** dans le **stroma** - Inclusions, notamment **amidon** et gouttelettes lipidiques	- **Photosynthèse** : production de **matière organique** à partir de matière minérale et de lumière	
	Existence d'autres plastes dans d'autres cellules végétales : proplastes, amyloplastes, chromoplastes…			

C. Une organisation des cellules bactériennes notamment caractérisée par une compartimentation faible

- Nous allons à présent nous concentrer sur le **type cellulaire procaryote**. Le **type procaryote étudié** est la **cellule bactérienne** (= **eubactérienne**) ; on exclut ici les Archées.

1. Une membrane plasmique, une paroi et d'éventuelles expansions

a. Une membrane plasmique semblable à celle des Eucaryotes

Membrane plasmique :

b. Une paroi à rôle squelettique de deux types : GRAM + et GRAM –

Paroi GRAM + :

Résultat au test, raison :

Paroi GRAM – :

Résultat au test, raison :

Les types cellulaires traités ici (*E. coli*, Cyanobactéries, la plupart des *Rhizobium*) sont des bactéries Gram –.

Les **peptidoglycanes** sont des ***substances gélifiantes qui font de nombreuses liaisons avec l'eau ; ils constituent l'essentiel de la paroi bactérienne*** qui assure une **protection mécanique** mais aussi maintient la **forme de la cellule**, la protégeant des chocs osmotiques.

Ce sont les **peptidoglycanes** qui expliquent la façon dont agit la **coloration de GRAM**. Les **Gram +** ont une **paroi plus épaisse que les Gram –** et **non recouverte d'une membrane externe** comme les Gram – ; les **différences de coloration** en découlent.

Acide téichoïque // GRAM + :

Lipopolysaccharides (LPS) // GRAM – :

c. Des échanges autorisés par la membrane et la paroi, ainsi que la respiration cellulaire

FIGURE 32. Bactéries GRAM + et –. D'après BOUTIN *et al.* (2015), modifié.

Rôles principaux :
-

-

------ **encadré B**

Porines :
-

-

-

Peptidoglycanes = muréine = mucocomplexe = mucopeptides :

FIGURE 36. Transferts au niveau des surfaces limitantes d'une Bactérie.
D'après PERRIER, BEAUX *et al.* (2021), modifié.

- La **paroi** est **perméable** aux gaz, à **l'eau**, aux **petits solutés organiques** et aux **ions** (figures 36-37) :
  - Grâce à la **perméabilité des peptidoglycanes** (toutes Bactéries) ;
  - Grâce aux **porines**, pour les GRAM –.

- La **membrane plasmique** est plus **sélective** (figures 36-37), exprimant des **transporteurs sélectifs contrôlant** les **échanges**, ainsi que la **chaîne respiratoire** et des **ATP synthases**, assurant la **respiration cellulaire** (notamment chez les **Bactéries aérobies**). La **concentration des protons** est permise :
  - Chez les GRAM – : par le **périplasme**, ***fin compartiment limité par la membrane interne et la membrane externe*** où il est **aisé de concentrer** une **substance**.
  - Chez les GRAM + : par **l'épaisse couche de peptidoglycanes** qui, malgré sa **perméabilité**, **retient à court terme les substances près de la membrane plasmique** (même s'il y a des fuites).

d. L'existence possible d'une expansion de la paroi (capsule, mucilages…) et la capacité de former des biofilms

Capsule : Fonctions :
Mucilages : Fonctions :
Biofilms : Ex.

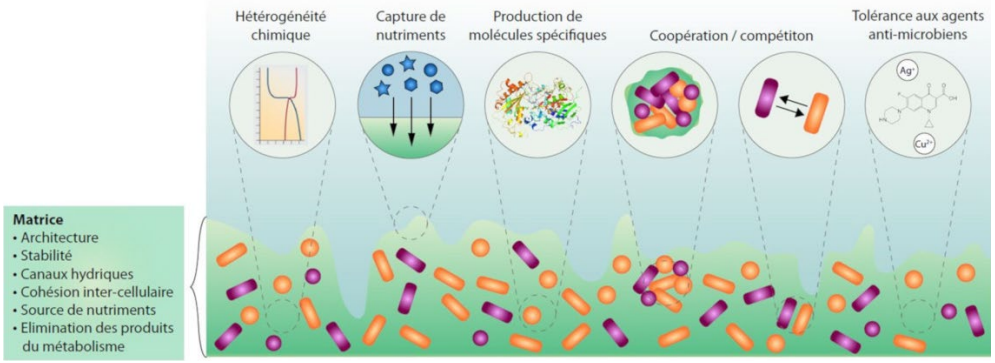


FIGURE 39. La dynamique d'un biofilm : intérêts pour les protagonistes [pour information].
https://www.encyclopedie-environnement.org/sante/biofilms-bacteriens/
(consultation décembre 2021).

2. Une compartimentation faible à inexistante

a. L'absence fréquente de système endomembranaire chez les Bactéries, mais une ébauche de compartimentation chez les Gram – liée au périplasme

FIGURE 40. Organisation de base d'une Bactérie Gram – typique (*Escherichia coli*, *Rhizobium leguminosarum*).
D'après PERRIER, BEAUX *et al.* (2021), modifié / corrigé.

Contrairement à ce que laisse à penser l'image originale, les **pili** ne sont absolument **pas des ~~expansions de la membrane plasmique~~** mais des ***structures protéiques polymérisées tubulaires***.

FIGURE 42. De la compartimentation chez les Bactéries ? Structure fondamentale.
D'après PEYCRU *et al.* (2010a).

b. Un cytoplasme généralement monocompartimenté comprenant du cytosol, des ribosomes, des inclusions et l'information génétique

-
-
-
-
  -

Chez les Cyanobactéries, la ***région centrale du cytoplasme*** (où se trouve entre autres le **nucléoïde**) s'appelle **centroplasme**. La ***partie périphérique*** de la cellule (où l'on trouve notamment les **thylakoïdes**) s'appelle **chromoplasme** (du gr. *khrôma*, couleur, en lien avec la présence de **pigments photosynthétiques**).

  -

c. La présence de thylakoïdes chez les Cyanobactéries

FIGURE 43. Organisation d'une Cyanobactérie. D'après PEYCRU *et al.* (2010a).

3. La présence possible d'expansions (pili, flagelles bactériens)

FIGURE 45. Flagelle bactérien (ici chez une GRAM –). [schéma du bas]
D'après RAVEN *et al.* (2007) et ALBERTS *et al.* (2004).

Pili (sing. *pilus*) **= *fimbriae*** (sing. *fimbria*) :
Flagelles bactériens :

D. Une information génétique dans chaque cellule

TABLEAU II. Comparaison des génomes eucaryotes et eubactériens.
Inspiré de PEYCRU *et al.* (2013).
pb = paire de base (*correspond à une paire de nucléotides*). L'unité accepte les préfixes multiplicateurs : 10^3 pb = 1 **kb** (kilobase), 10^6 pb = 1 **Mb** (mégabase), 10^9 pb = 1 **Gb** (gigabase). ADNmt = ADN mitochondrial.

	Localisation	Organisation de l'ADN	Nombre de molécules d'ADN	Taille du génome	Séquences répétées non codantes	Structure des gènes
Eucaryotes						
Bactéries						

Voir les **chapitres de génétique**

Information génétique = patrimoine génétique :

Génome :
-
-
  °
  °
  °

1. Chez les Eucaryotes : une information génétique compartimentée, scindée en une composante principale nucléaire et une composante mineure dans les organites semi-autonomes

-
-
-

2. Chez les procaryotes : une information génétique cytoplasmique scindée en une composante principale, le chromosome bactérien (dans le nucléoïde), et une composante mineure fréquente, les plasmides

-
-

II. Des cellules organisées par un squelette interne dynamique qui intervient dans leur fonctionnement : le cytosquelette

Capacités exigibles	✓ **Illustrer** les rôles du cytosquelette sur l'exemple de l'entérocyte et de la cellule du parenchyme palissadique (par exemple : association aux jonctions, structuration de l'enveloppe nucléaire, structuration des microvillosités, flux vésiculaires, cyclose des chloroplastes).

A. Le cytosquelette eucaryote : un réseau protéique impliqué dans la structuration et le fonctionnement cellulaires

Cytosquelette :

Il s'agit d'un **édifice supramoléculaire**.

Attention, le **rôle de squelette cellulaire** (au sens du **maintien de la forme globale** de la cellule) n'est ***pas toujours assuré par le cytosquelette*** : si c'est le **cas des cellules animales**, c'est peu vrai pour les **cellules végétales** (ou les **cellules bactériennes**) où c'est la **paroi** (donc la **matrice**) qui remplit le **rôle squelettique**.

- Le **cytosquelette** intervient aussi dans **l'organisation interne des constituants cellulaires** et leur dynamique de **fonctionnement**.

1. Une armature protéique en réseau à localisation surtout cytosolique : trois types de constituants principaux en interaction avec des protéines associées

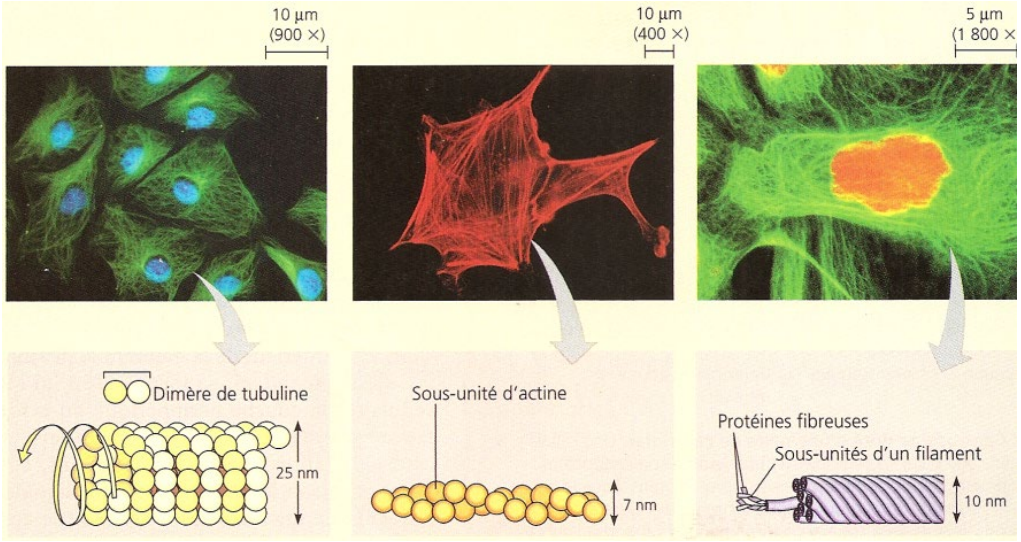


FIGURE 48. Constituants du cytosquelette : vue d'ensemble 2. D'après CAMPBELL & REECE (2004).

Bilan (adapté du programme)	✓ La **cellule eucaryote** est **compartimentée**, ce qui entraîne une **régionalisation** des **fonctions** et une **coopération** des **compartiments** dans le **fonctionnement cellulaire**. Le **support** de **l'information génétique** est présent dans **plusieurs compartiments** cellulaires. ✓ La **cellule bactérienne** contient un **chromosome unique circulaire** et éventuellement des **plasmides**. Elle est délimitée par une ou deux **membranes** et une paroi de **peptidoglycanes**. Son **cytoplasme** est souvent **peu compartimenté**.

⮝ **Microtubules (MT).** Faites votre **synthèse**.

⮝ **Filaments intermédiaires (FI).** Faites votre **synthèse**.

⮝ **Microfilaments d'actine (MF = µF).** Faites votre **synthèse**. [*cf.* figures 51-52 !]

a. Les éléments de cytosquelette (*stricto sensu*) : trois grands types de constituants

α. Les microtubules (MT) : des filaments cylindriques creux et orientés, composés de treize protofilaments de dimères de tubulines α-β

Microtubules :

-

-

-

Pôle + :

Pôle – :

En réalité, ces **extrémités** ne sont pas **si libres que ça** et souvent **stabilisées** (voir 1.b + 2).
Notez que l'**extrémité –** est, dans presque tous les **types cellulaires** (mais pas dans les **cellules épithéliales**…), **associée au COMT** (**centre organisateur des microtubules**) (voir plus loin).

β. Les filaments intermédiaires (FI) : des composés protéiques variés typiquement assemblés en dimères / tétramères / protofilaments / filaments [non orientés]

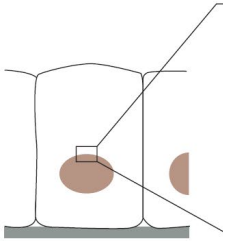
Filaments intermédiaires :

Ce sont des ***assemblages (non covalents) d'unités protéiques fondamentales fibrillaires (formées d'une grande hélice alpha) aux extrémités globulaires*** ; ces **protomères** s'assemblent ***par deux***, formant des **dimères**, qui eux-mêmes **s'associent par *paires antiparallèles légèrement en décalage***, formant ainsi des **tétramères**. Ces **tétramères *s'alignent bout-à-bout*** en **protofilaments**. ***Huit protofilaments s'assemblent*** enfin en **microfibrilles (= filaments intermédiaires)**.

Diversité

-

Les **filaments intermédiaires** sont **absents chez les 'plantes'** à l'exception notoire des **lamines nucléaires**. On les trouve sinon chez les **Métazoaires**, cas de ***tous les autres cas connus***.



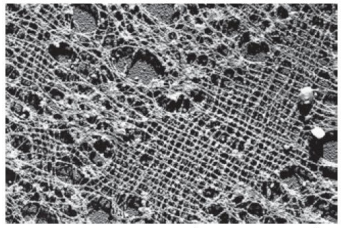


FIGURE 50. La lamina nucléaire : schéma et électronographie.
D'après ALBERTS *et al.* (2014), traduit. À **compléter**.

Uniquement chez les Métazoaires :

-

Les ***kératines des phanères (poils, ongles, écailles…)*** ou **kératines trichocytiques** sont **différentes** et constituent des **sécrétions**.

-

-

-

Et d'autres…

γ. Les microfilaments (MF = µM) d'actine : deux chaînes torsadées orientées (actine filamenteuse = actine F) composées d'actine globulaire (actine G)

Microfilaments d'actine :

Pôle + (barbelé) :

Pôle – (pointu) :

b. Les protéines accessoires (= annexes = associées) du cytosquelette : une grande diversité d'agents protéiques interagissant avec le cytosquelette

Protéines associées (= annexes = accessoires) au cytosquelette :

α. Les protéines de pontage : des protéines assurant l'association des éléments de cytosquelette en faisceaux ou en réseau

- **Réseau** :

- **Faisceaux** :

FIGURE 53. Protéines de pontage et organisation des microfilaments d'actine.
D'après LÜLLMANN-RACUH & ASEN (2019).

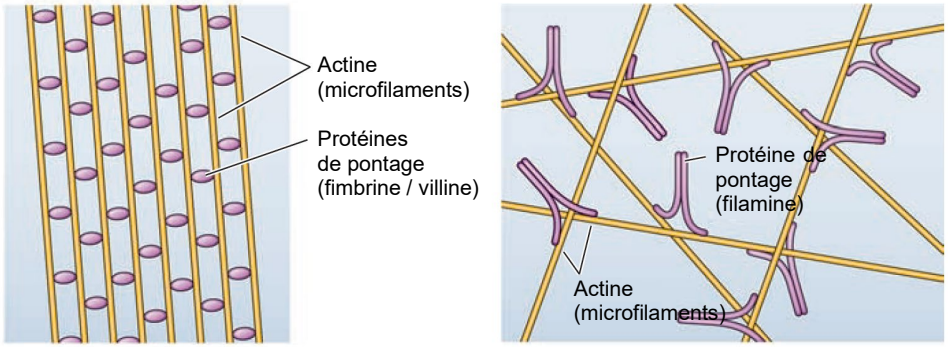


FIGURE 54. Protéines de pontage et organisation des microfilaments d'actine : une vision simplifiée. D'après COOPER (2019), adapté / traduit.

Protéines de pontage :

Effet **stabilisant** maintenant **l'état polymérisé / assemblé** des éléments de **cytosquelette**

β. Les protéines de coiffe : des protéines empêchant la dépolymérisation des extrémités de microtubules ou de microfilaments

Protéines de coiffe :

- Pour les **microfilaments** (figure 55) :
  - À l'extrémité – (« pointue ») :
  - À l'extrémité + (« barbelée ») :
- Pour les **microtubules** (exemple dans les cellules animales)
  - À l'extrémité – :
  - À l'extrémité + :

Les ***protéines associées au pôle + des MT*** s'appellent **+TIPs** [*Microtubule plus-end/positive-end tracking proteins*]

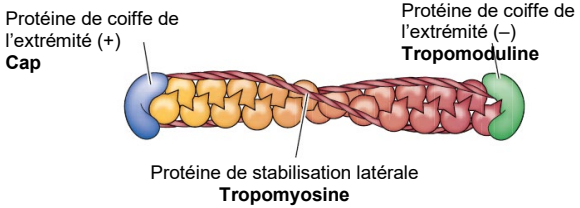


FIGURE 55. Coiffage et stabilisation des MF. D'après COOPER (2019), adapté / traduit.

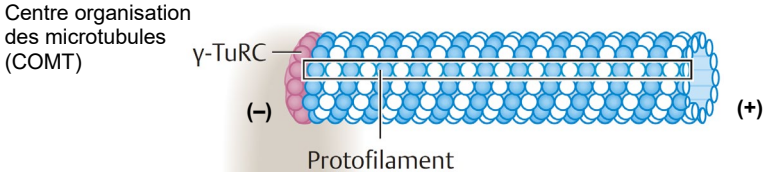


FIGURE 56. Complexe γ-TuRC à l'extrémité – (côté COMT) des MT. D'après LÜLLMANN-RACUH & ASEN (2019), adapté.

γ. Les protéines de stabilisation ou de déstabilisation : des protéines contrôlant la stabilité des éléments de cytosquelette

δ. Les protéines d'association aux membranes (protéines d'ancrage) et les protéines de liaisons aux jonctions cellulaires (protéines de liaisons)

Protéines d'ancrage aux membranes :

Ex.

Protéines de liaison aux jonctions :

Ex.

Revoir les **jonctions** dans le chapitre 5

ε. Les protéines motrices (= nanomoteurs = moteurs moléculaires) : des protéines qui se déplacent (de manière ATP-dépendante) sur le cytosquelette et assurent la motilité cellulaire

Protéines motrices = nanomoteurs = moteurs moléculaires :

-

-

-

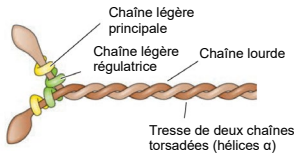


FIGURE 59. Organisation d'une myosine II typique des sarcomères musculaires. D'après COOPER (2019), adapté / traduit.

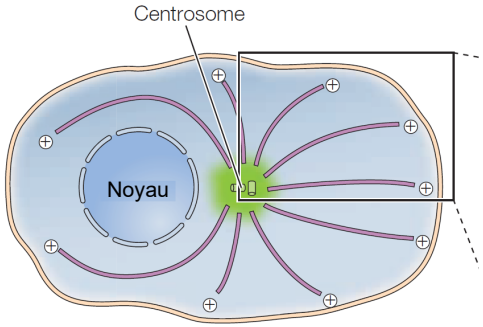


FIGURE 60. Rôle des dynéines et kinésines dans le transport vésiculaire.
D'après COOPER (2019), adapté / traduit.

2. Des éléments qui s'assemblent selon des modalités précises et avec une dynamique particulière (*in vivo* ou *in vitro*)

a. Les microtubules : des éléments polymérisables et dépolymérisables (en lien avec la GTP / la GDP)

- Commençons par noter que les **dimères de tubulines** sont associés :
  - Pour la **tubuline alpha**, à une **GTP** (guanosine triphosphate).
  - Pour la **tubuline bêta**, une **GTP** ou une **GDP** (guanosine triphosphate), la seconde dérivant de la seconde par **déphosphorylation**.

Sur les **schémas** (ex. figure 61), seules les GTP / GDP des tubulines bêta sont représentées mais on ne doit pas oublier pour autant que les tubulines alpha sont toutes associées à des GTP.

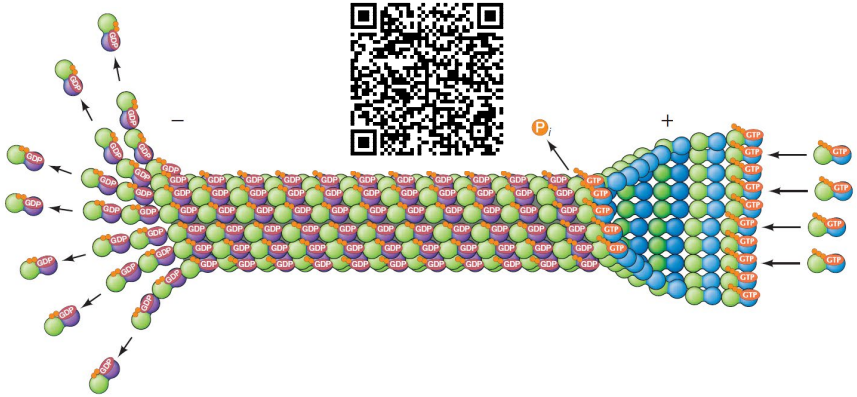


FIGURE 61. Polymérisation et dépolymérisation des microtubules.
(!) Bien que **non représentée**, les **tubulines alpha** sont **toutes associées à une GTP**.
D'après COOPER (2019), adapté / traduit. **Ajouter les zooms.**

In vitro :
-
-
-

Il est donc **un peu caricatural** (et donc **inexact**) d'affirmer que ~~la polymérisation des dimères de tubulines α-β **requiert l'hydrolyse de GTP**~~… car en réalité, les **liaisons faibles** associant les **nouveaux dimères** n'impliquent **pas cette hydrolyse**. Celle-ci **intervient spontanément en aval** de la **polymérisation**… **L'équilibre GTP / GDP** au niveau des **tubulines β** est plutôt un **régulateur de polymérisation** que le ~~fournisseur de l'énergie nécessaire au processus~~.

-

- **tapis roulant (*treadmilling*)** :

-
-
-

(!) instabilité dynamique =

-

In vivo,
- Les **principes énoncés** ci-dessus demeurent **vrais**…
- … mais sont **contrebalancés** par :
  °
  °

b. Les microfilaments d'actine : des éléments polymérisables et dépolymérisables (en lien avec l'ATP / l'ADP)

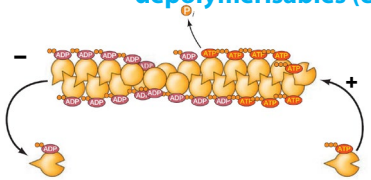


FIGURE 64. Polymérisation-dépolymérisation des actines G en microfilament. D'après COOPER (2019), adapté.

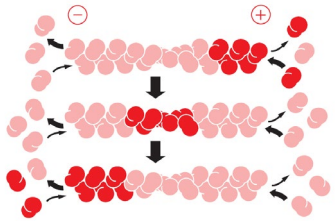


FIGURE 65. Le *treadmilling* (tapis-roulant) des microfilaments.
D'après ALBERTS *et al.* (2015).

- Les **actines G (globulaires)**, **monomères** des deux **polymères torsadés** constituant le **microfilament**, sont associés à une **ATP** (adénosine triphosphate) ou une **ADP** (adénosine diphosphate).

-

-

-

-

- **tapis roulant (*treadmilling*)**

-

-

(!) instabilité dynamique

-

Deux dernières remarques :

-

-

c. Les filaments intermédiaires : des éléments autoassemblés mais dissociables par phosphorylation

- Leur **assemblage** est un **autoassemblage** qui semble s'effectuer spontanément.
- Concernant leur **désassemblage**, il semble dépendre :
  - De leur **état de phosphorylation** (bien démontré pour les **lamines** ; fortement suspecté pour les **vimentines** ; probable pour les **autres types de FI**). Des **kinases** (***enzymes phosphorylantes***) et des **phosphatases** (***enzymes déphosphorylantes***) semblent impliquées.
    - Les **FI phosphorylés** sont désassemblés en **dimères**.
    - Les **FI déphosphorylés** se réassemblent en **FI constitués**.
  - D'un lien dont les mécanismes sont encore imparfaitement compris avec **l'état et la dynamique des microtubules et microfilaments**.

3. Des composés structurant et organisant la cellule

FIGURE 68-69. Le cytosquelette dans une cellule épithéliale : l'entérocyte.
Faites votre **synthèse**.

a. Cas des microtubules

α. Dans les cellules animales

i. Dans la plupart des cellules : une armature en étoile rayonnant à partir du centrosome

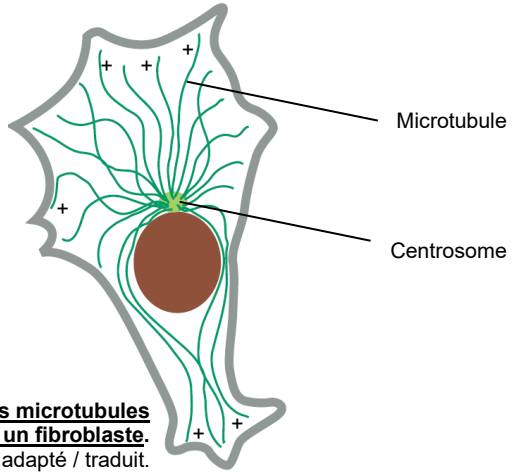
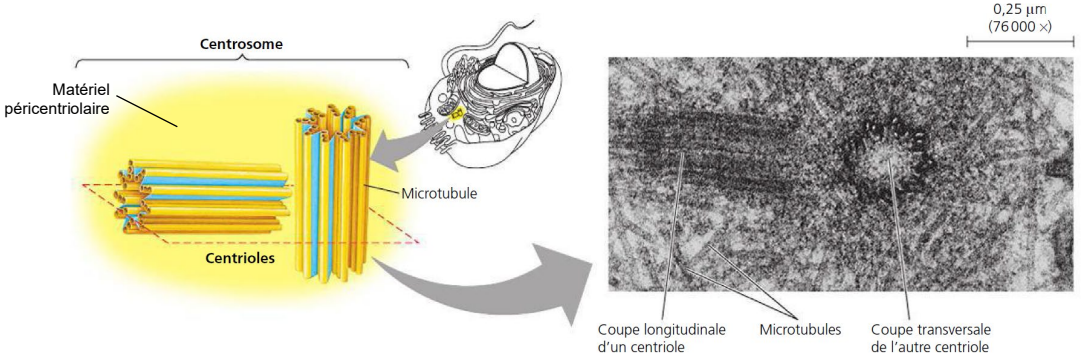


FIGURE 70. Localisation des microtubules dans un fibroblaste.
D'après ALBERTS et al. (2015), adapté / traduit.

FIGURE 71. Le centrosome. D'après ALBERTS et al. (2015), adapté / traduit.



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 µm), 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 (MET).

FIGURE 72. Le centrosome des cellules animales. D'après CAMPBELL *et al.* (2012).

- Les **extrémités +** sont associées à des **complexes protéiques** (dont des protéines de **coiffe**) qui les ancrent aux **protéines membranaires** et au **réseau d'actine**. **Sans cela**, les **MT** sont **instables** et potentiellement **dépolymérisables** (figure 73).

FIGURE 73. Stabilisation membranaire des microtubules.
D'après ALBERTS et al. (2014), adapté / traduit.

ii. Dans la plupart des cellules épithéliales : une armature dont les unités présentent une disposition essentiellement parallèle

iii. Dans les expansions cytoplasmiques motiles pourvues d'un axonème ou undulipoda (cils, flagelles)

Cils :
Flagelle :
Axonème : + **corpuscule basal** dérivant d'un centriole

Le **flagelle bactérien** (vu plus haut) n'a donc **rien à voir** en termes d'organisation avec le **flagelle eucaryote**.

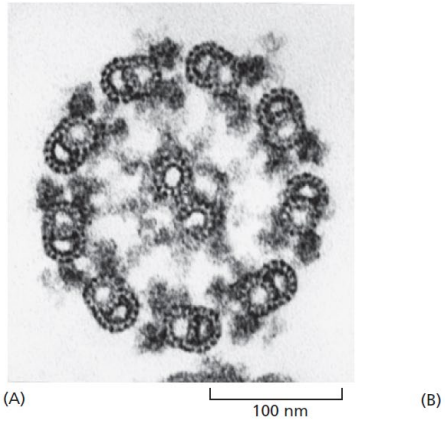


FIGURE 75. L'axonème. D'après ALBERTS et al. (2015), adapté / traduit.

β. Dans les cellules végétales : un positionnement circulaire périphérique en interphase (et une disposition variable en division)

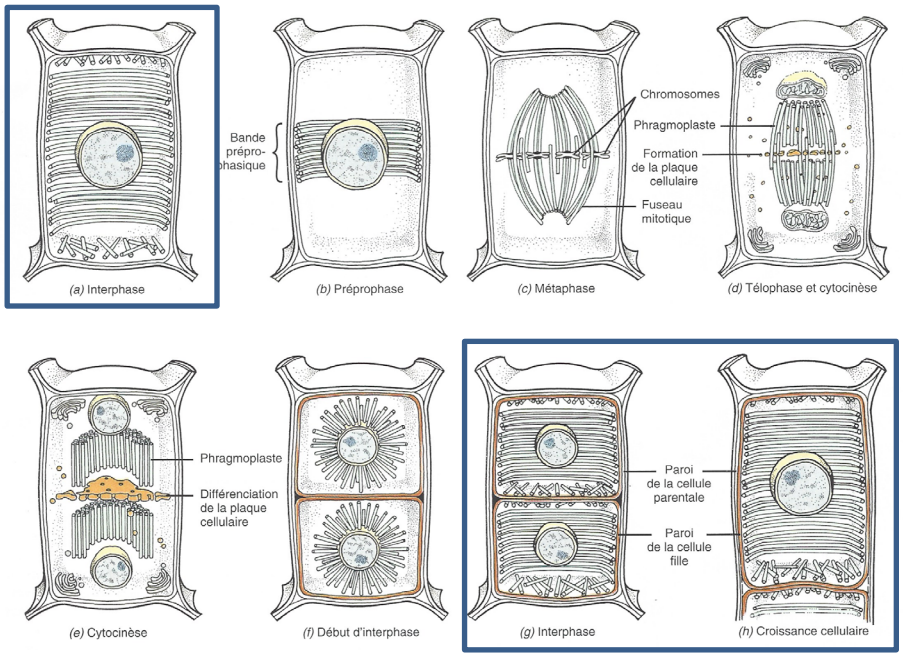


FIGURE 76. Évolution de la répartition des microtubules au cours du cycle cellulaire.
D'après RAVEN *et al.* (2007).

b. Cas des microfilaments d'actine

α. Dans les cellules animales épithéliales : un réseau plutôt périphérique participant au maintien de la forme cellulaire et structurant les microvillosités

Microvillosités :

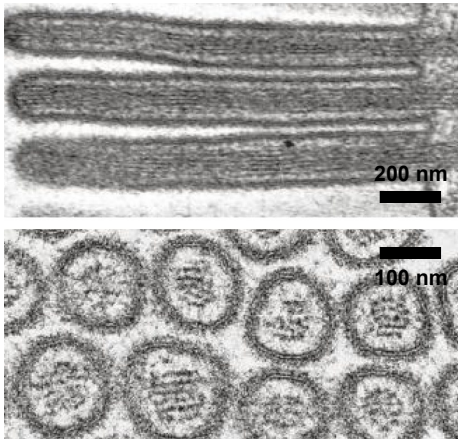


FIGURE 78. Microvillosités au MET en coupes longitudinale et transversale.
D'après LÜLLMANN-RAUCH & ASAN (2019).

β. Dans d'autres types de cellules : une organisation et une dynamique en lien avec la fonction

FIGURE 77. Organisation d'une microvillosité.

FIGURE 79. Organisation d'un sarcomère. D'après ALBERTS *et al.* (2015), adapté / traduit.

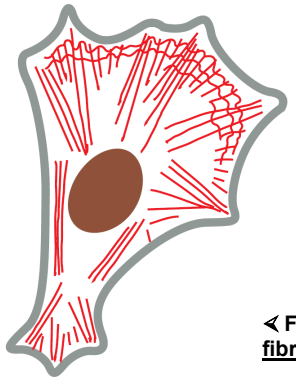


FIGURE 80. Répartition des microfilaments dans un fibroblaste. D'après ALBERTS *et al.* (2015).

γ. Dans les cellules végétales : un réseau qui organise en partie l'intérieur de la cellule (si l'on excepte le rôle de la vacuole turgescente)

c. Cas des filaments intermédiaires : dans le noyau de toutes les cellules eucaryotes (lamines nucléaires) et dans le cytosol des cellules animales

4. Des composés impliqués dans le fonctionnement et le dynamisme cellulaires

a. Le trafic vésiculaire et le déplacement d'organites

α. Un déplacement sur le réseau de microtubules (dynéines, kinésines), notamment dans les cellules animales

-

-

Dans les **cellules végétales**, **quelques structures** peuvent utiliser le **réseau de microtubules** lors de leur **déplacement**, comme les **vésicules golgiennes** qui fusionnent lors de la **formation de la plaque cellulaire**.

β. La possibilité d'utiliser le réseau d'actine, particulièrement dans les cellules végétales (myosines) : l'exemple de la cyclose

Cyclose :

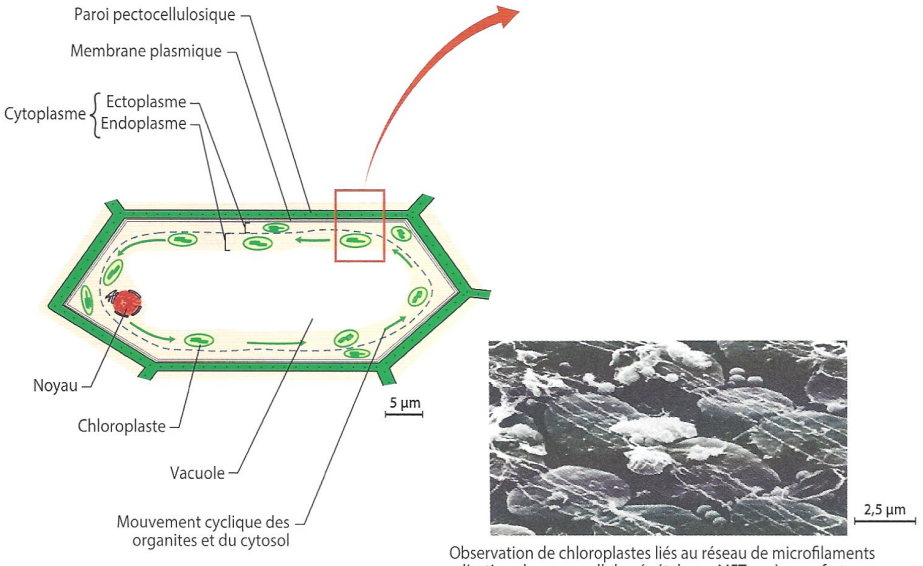


FIGURE 81. La cyclose. D'après DAUTEL *et al.* (2021). À **compléter**

b. Les processus de motilité cellulaire, déformation et migration

α. La contraction musculaire permise par le couple actine-myosine

β. Le déplacement des cils et flagelles permis par le couple microtubules-dynéine au sein de l'axonème

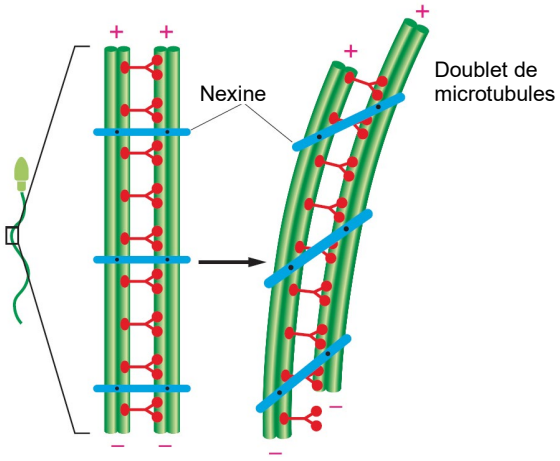


FIGURE 84. Modèle de fonctionnement de l'axonème. D'après ALBERTS *et al.* (2014).

γ. La déformation et la migration de cellules animales permises par une réorganisation des éléments de cytosquelette et des jonctions transitoires avec la matrice extracellulaire

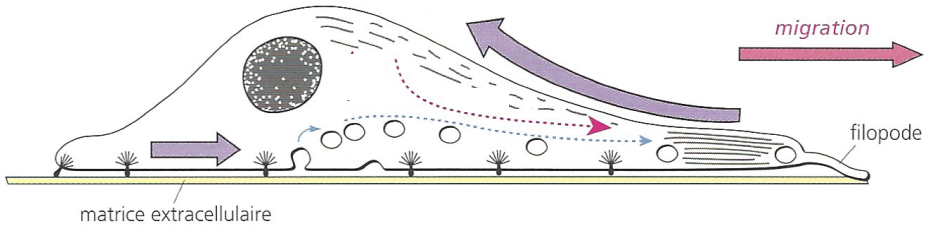


FIGURE 85. Une cellule du mésoderme en migration lors du développement.
D'après DARRIBÈRE (2002).

c. Les processus dynamiques associés aux divisions cellulaires

Voir le chapitre consacré au cycle cellulaire

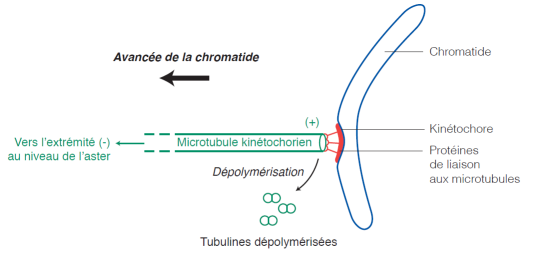
α. La migration des chromosomes au cours de la division : un couplage entre la polymérisation-dépolymérisation des microtubules du fuseau de division et des protéines motrices

Fuseau de division = Fuseau achromatique (= mitotique / méiotique) :

FIGURE 86. Organisation et fonctionnement du fuseau mitotique.
D'après SEGARRA *et al.* (2014).

MT astériens :
MT polaires :
MT kinétochoriens :

Les **kinétochores** sont des ***complexes protéiques situés au niveau du centromère des chromosomes condensés, toujours au nombre de deux, sur chacun desquels peuvent se fixer 20 à 40 microtubules***. Cela explique que ces structures soient **résistantes** et permettent **l'alignement des chromosomes doubles** lors de la **métaphase** ou encore la **traction des chromatides** lors de leur **séparation** en **anaphase**.



Le modèle présenté sur la figure est une représentation simplifiée du mécanisme de traction de la chromatide par dépolymérisation des microtubules kinétochoriens.

FIGURE 88. Mécanisme de l'ascension polaire des chromatides.
D'après SEGARRA *et al.* (2014).

β. La constriction entre cellules filles lors de la cytodiérèse animales : un couplage actine-myosine

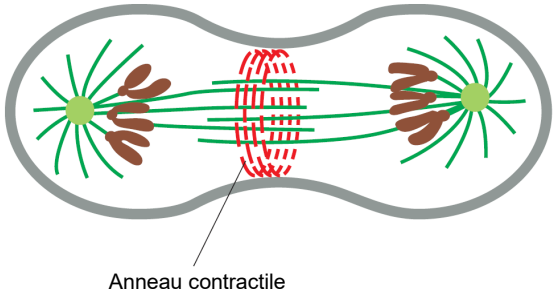


FIGURE 89. Cytodiérèse animale : origine du sillon de division. D'après ALBERTS *et al.* (2015).

γ. La séparation des cellules filles lors de la cytodiérèse végétale : un couplage microtubules / protéines motrices

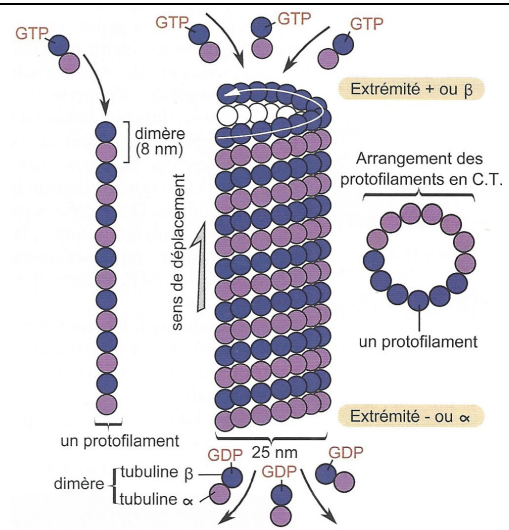
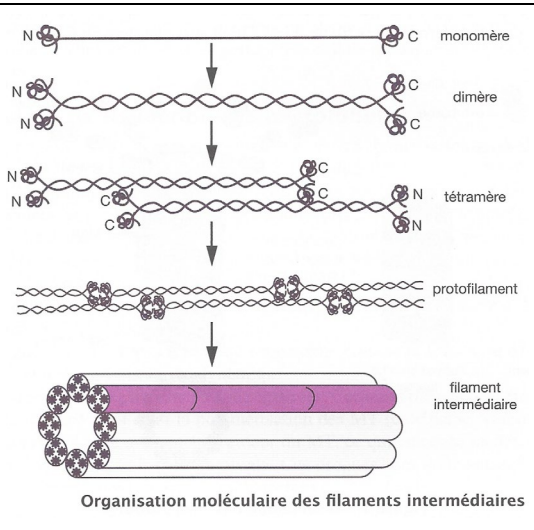
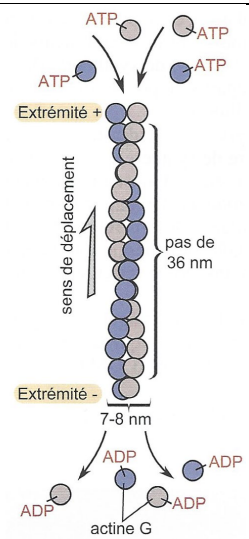
Revoir le chapitre 5

δ. La vésicularisation du noyau et sa reformation : la phosphorylation-déphosphorylation des lamines nucléaires

FIGURE 90. Rôle des lamines sur l'état de l'enveloppe nucléaire.
D'après SEGARRA *et al.* (2014).

TABLEAU III. Le cytosquelette eucaryote : une vue d'ensemble. Original 2021.

Caractère	Microtubules (MT)	Filaments intermédiaires (FI)	Microfilaments (MF = µF)
Constitution et organisation	- Diamètre **25 µm** - **Tube cylindrique creux** - **13 rangées** de **protofilaments** - **Monomère protéique globulaire polymérisé** : **tubulines α et β dimérisées** - **Polarité** : extrémité (+) et extrémité (–)	- Diamètre **8-12 µm** [moy. **10 nm**] - Filaments **pleins** ou **creux** [pas très clair] (*on trouve les deux types de représentations…*) - Association de **monomères fibrillaires en tétramères**, mis **bout-à-bout** en **protofilaments** >> **8 protofilaments** composent un **FI** (!) Diversité : - *toutes cellules eucaryotes* ° **Lamines nucléaire** (ensemble : **lamina nucléaire**) → sous la **membrane interne du noyau** - *cellules animales uniquement* ° **Kératines** (= cytokératines) → **cellules épithéliales** ° **Neurofilaments** → **cellules nerveuses** ° **Vimentine** → **fibroblastes**, leucocytes, cellules embryonnaires [= **cellules déformables / motiles**] + cellules endothéliales ° **Desmine** → architecture / positionnement des **organites** dans les **cellules musculaires** … et beaucoup d'autres…	- Diamètre **7 nm** - **Filaments pleins** - **2 chaînes torsadées** (**actine F** = filamenteuse) - **Monomère protéique globulaire polymérisé** : **actine G** (actine globulaire) - **Polarité** : extrémité (+) [barbelée] et extrémité (–) [pointue]

Schéma d'organisation (et d'assemblage-désassemblage *in vitro*)	 D'après PEYCRU *et al.* (2013)	 Organisation moléculaire des filaments intermédiaires *(!) Représentation creuse discutable.*	 D'après PEYCRU *et al.* (2013)
Modalités d'assemblage et de désassemblage	- Assemblage : **polymérisation** de **dimères de tubulines α-β avec GTP-β-tubuline**, plutôt au **pôle +** - Désassemblage : **dépolymérisation** des dimères avec **GDP-β-tubuline /** désassociation des protofilaments si **extrémité non capée** *In vitro / in vivo* : **instabilité dynamique**, ***treadmilling***	- Assemblage : **autoassemblage** des constituants - Désassemblage : par **phosphorylation** et/ou en lien avec l'**état des autres éléments** du cytosquelette	- Assemblage : **polymérisation** d'**ATP-actine G**, plutôt au **pôle +** - Désassemblage : **dépolymérisation** des **ADP-actines G /** désassociation des protofilaments si **extrémité non capée** *In vitro / in vivo* : **instabilité dynamique**, ***treadmilling***
Localisation cellulaire	- cellules animales : en **étoile**, **pôle – stabilisé** par **γ-TuRC** au niveau du **centrosome** - sauf cellules épithéliales : **MT parallèles** - cellules végétales : **variation** lors du **cycle cellulaire**, en **interphase position périphérique** guidant la mise en place des **celluloses**	- toutes cellules eucaryotes : dans le noyau (**lamina**) - cellules animales : réseau non orienté dans le **cytosol** - cellules végétales : **absents** du **cytosol**	- cellules animales : **partout**, plus dense en **périphérie** / sauf **types cellulaires particuliers** (cellules musculaires, fibroblastes…) ; présence dans les **microvillosités** - cellules végétales : **partout**
Fonctions dynamiques	- **Flux vésiculaire / déplacement d'organites** - **Axonème** : motilité - **Fuseau mitotique** : déplacement de **chromosomes**, modification de **forme de la cellule** - **Phragmoplaste** : **cytodiérèse végétale** - **Guidage** de la **synthèse de cellulose** chez les végétaux	- Lamina : **vésicularisation / reformation** du **noyau** lors de la mitose - Vimentine : fort **dynamisme** dans les cellules déformables	- **Flux vésiculaire / déplacement d'organites** (ex. **cyclose** végétale) - **Anneau contractile** : **cytodiérèse animale** - **Sarcomères** : **contraction musculaire** - **Lamellipodes**, **filipodes**, **pseudopodes** : **migration cellulaire**

B. Le cytosquelette bactérien : l'identification de protéines homologues aux protéines cytosquelettiques eucaryotes

Homologues =

Attention, cela ne veut pas dire qu'elles ont la même fonction.

1. La protéine FtsZ, protéine homologue de la tubuline

FtsZ :

2. Les protéines FtsA, MreB et ParM, protéines homologues de l'actine

FtsA :
MreB :
ParM :

3. La crescentine, protéine homologue des filaments intermédiaires

Crescentine :

Observation au microscope à fluorescence avec marquage de MreB en vert et FtsZ en rouge

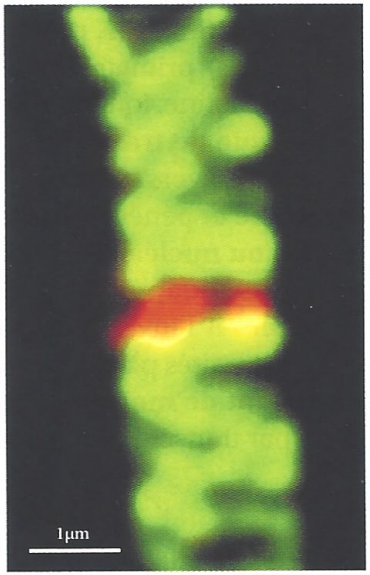


FIGURE 91. Des protéines homologues des protéines cytosquelettiques eucaryotes chez les Bactéries. D'après DAUTEL *et al.* (2021). À **compléter**

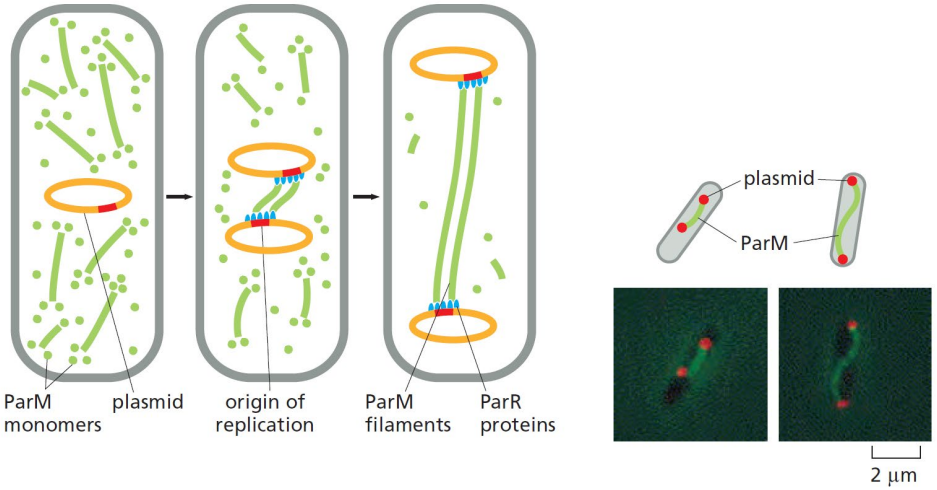


FIGURE 92. ParM, protéine dont la polymérisation sépare des molécules d'ADN récemment dupliquées. D'après ALBERTS *et al.* (2015).

4. Des protéines cytosquelettiques propres sans homologie avec le cytosquelette eucaryote

- On connaît également des **protéines à « fonction cytosquelettique » sans homologie connu** avec des **protéines eucaryotes** (ex. **MindD** et **ParA**, ***protéines impliquées dans la partition de plasmides***).

Bilan (adapté du programme)	✓ Les **cellules** possèdent un **squelette interne dynamique** : le **cytosquelette**. ✓ Chez les **cellules eucaryotes**, il est constitué de **trois catégories** de **structures protéiques fibrillaires** : les **microfilaments d'actine**, les **microtubules de tubuline** et les **filaments intermédiaires**. ✓ Le **cytosquelette des bactéries** présente des **protéines homologues** à celui des **cellules eucaryotes**.

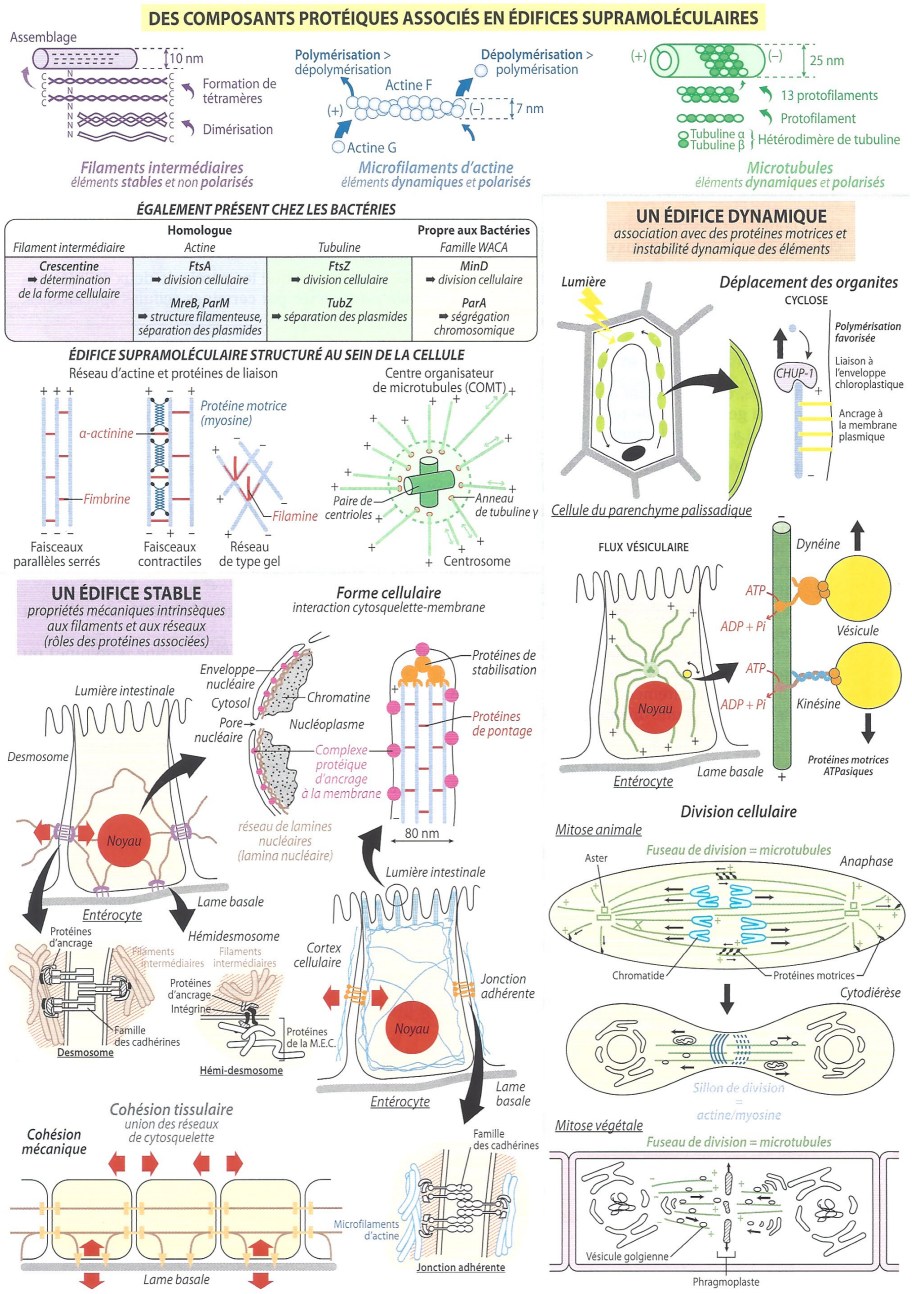


FIGURE 93. Une vue d'ensemble sur le cytosquelette. D'après SAINTPIERRE, BORDI *et al.* (2021).

III. Les cellules, des systèmes thermodynamiques ouverts traversés par des flux de matière, d'énergie et d'information

Système thermodynamique ouvert :

- Matière :

- Énergie :

- Information :

A. Des cellules eucaryotes traversées par des flux impliquant des échanges avec l'extérieur et une coopération entre compartiments

1. Spécialisation et coopération des compartiments entre eux et avec le milieu extracellulaire

a. Une complémentarité nécessaire

b. Les modalités des flux entre compartiments ou avec l'extérieur de la cellule : transferts transmembranaires, translocation, trafic vésiculaire

Voir le **chapitre sur les membranes** qui explicite les **mécanismes de tous ces processus**.

Échanges transmembranaires :

Trafic vésiculaire :

Translocation :

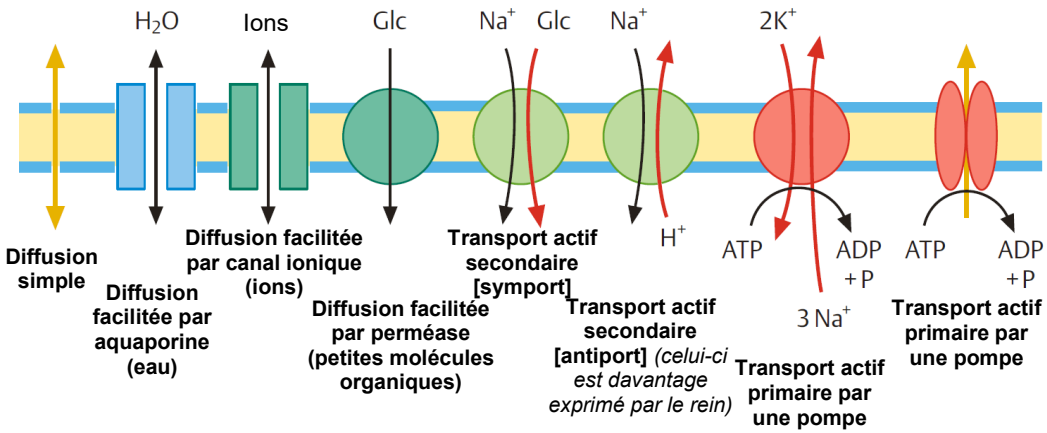


FIGURE 94. Principaux transports transmembranaires au niveau de la membrane plasmique de l'entérocyte. D'après LÜLLMANN-RAUCH & ASEN (2019), adapté.

2. Mise en évidence d'un flux sécrétoire (= cycle sécrétoire) dans les cellules acineuses pancréatiques : les expériences historiques de PALLADE (années 1960)

a. Principe des expériences

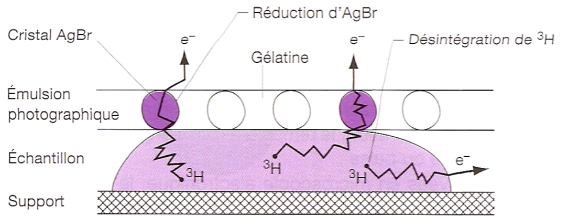
Revoir la fiche technique du TP SV C « Principales techniques d'observation et d'étude des cellules »

α. Principe du *pulse-chase* : le suivi d'un élément radioactif dans le temps et l'espace

Principe général d'un *pulse-chase*
On soumet brièvement un support biologique à des éléments radioactifs (**pulse**) puis ***on suit le déplacement et le devenir de ces éléments au cours du temps*** (**chase**).

β. Obtention de résultats : autoradiographie, comptage de grains d'argent, ultracentrifugation avec dosage de radioactivité

Principe de l'autoradiographie



Principe de l'autoradiographie

Ce sont des électronographies traitées de manière particulière, avec une émulsion photographique sensible à la radioactivité au-dessus de la préparation. Le rayonnement produit par les éléments radioactifs imprime le film photographique.

Principe de l'ultracentrifugation

L'étude des **constituants cellulaires** nécessite :
- Le **broyage cellulaire**, réalisé **mécaniquement** ou par **sonication** (utilisation d'ultrasons) ;
- L'**ultracentrifugation** (***centrifugation à très haute vitesse***, plus de 15000 tours/min) du mélange ;
- La **sédimentation** des éléments recherchés ; la **vitesse de sédimentation** s'exprime en Svedberg (S) (1 S = 10^{-13} s). On peut ***soit appliquer des vitesses de rotation différentes pour récupérer successivement les éléments d'intérêt dans le culot*** (**centrifugation différentielle**) (figure X), ***soit appliquer une seule vitesse de sédimentation et récupérer à différentes hauteurs les éléments d'intérêt*** (**centrifugation par gradients de densité**) (figure X).

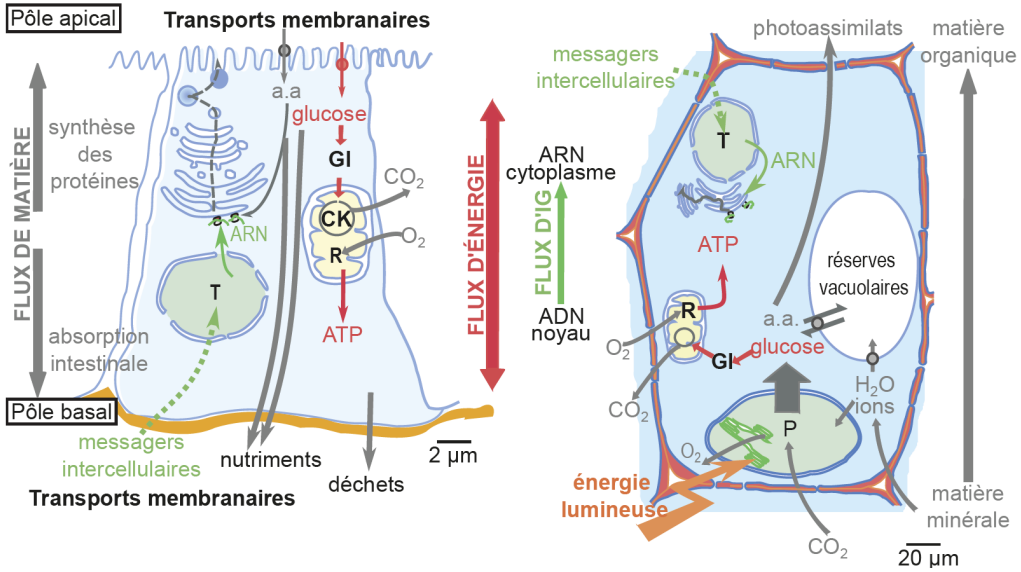
b. Résultats et interprétation

FIGURE 99. Localisation des grains d'argent en fonction du temps : déplacement des acides aminés radioactifs dans la cellule. D'après CALLEN (2005).

FIGURE 100. Localisation de la radioactivité par compartiments (à gauche par comptage de grains d'argent ; à droite par dosage de radioactivité après ultracentrifugation).
Les **microsomes** correspondent au **RE** et les **grains de zymogènes** sont les ***vésicules de sécrétion contenant les précurseurs d'enzymes pancréatiques***. D'après BREUIL (2007).

3. La nature des principaux flux dans les cellules eucaryotes (au travers de l'exemple de l'entérocyte et de la cellule chlorophyllienne)

- Les **flux** seront notamment **synthétisés** à partir de l'exemple de **l'entérocyte** (figure 100) et de la **cellule du parenchyme foliaire palissadique** (figures 100-101).



ribosome
a.a : acide aminé
CK : cycle de Krebs
GI : glycolyse
R : respiration
P : photosynthèse
T : transcription

(a) Entérocyte **(b)** Cellule du parenchyme palissadique

FIGURE 101. Principaux flux dans une cellule eucaryote (vision ultra-simplifiée).
D'après PERRIER, BEAUX *et al.* (2021).

On pourra utilement **compléter ces aspects** avec les flux abordés dans le chapitre 5.

a. Des flux de matière

- ***Principaux flux de matière de l'entérocyte*** :

On rappelle la **polarité structurale** de ce **type cellulaire**, ce qui **polarise** en partie les **flux**.

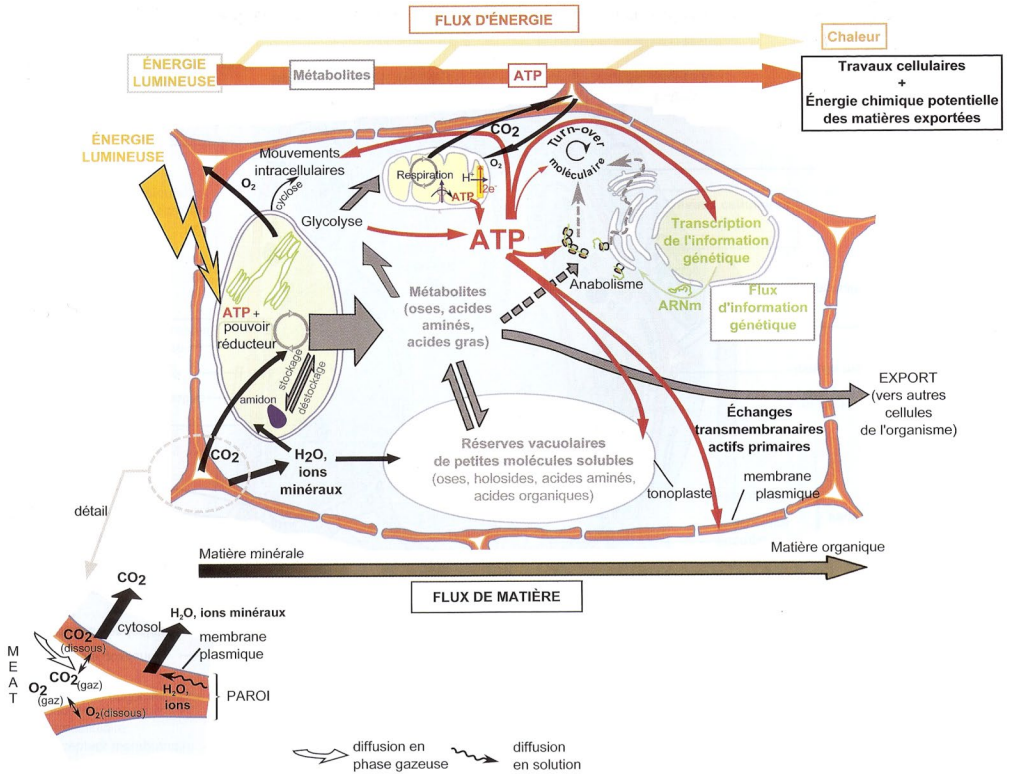


FIGURE 102. Les flux dans la cellule parenchymateuse palissadique.
Corrigé d'après PEYCRU *et al.* (2013).

- ***Principaux flux de matière de la cellule du parenchyme palissadique*** :

b. Des flux d'énergie

Voir les chapitres sur le métabolisme

α. Une production catabolique d'ATP dans les deux types de cellules

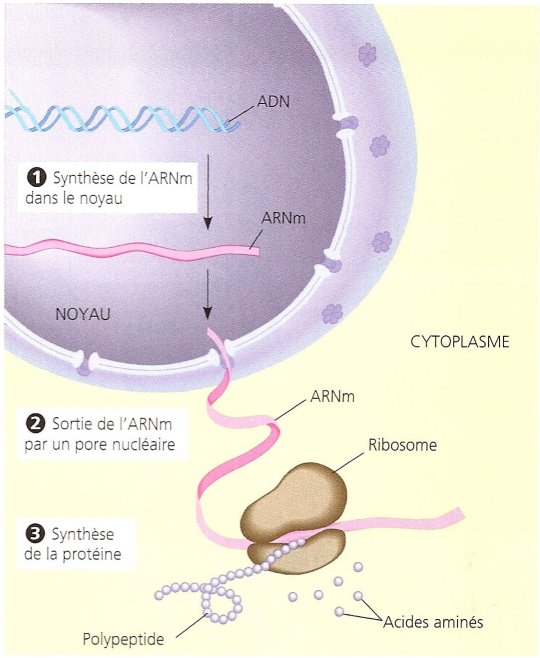
FIGURE 103. Une vision simplifiée du catabolisme.
D'après CAMPBELL *et al.* (2012).

β. Une production photosynthétique de métabolites dans la CPP

FIGURE 104. Une vision synthétique de la photosynthèse végétale.
D'après CAMPBELL *et al.* (2012).

c. Des flux d'information

α. Un flux génétique : une expression séquentielle et compartimentée de l'information génétique



ADN ⟶ ARN ⟶ protéine : schéma de la circulation de l'information dans une cellule. Dans une cellule eucaryote, l'ADN nucléaire programme la production de protéines en dictant la synthèse de l'ARN messager (ARNm). Celui-ci se déplace vers les ribosomes situés dans le cytoplasme et s'y fixe. Lorsqu'un ribosome (très grossi sur ce dessin) rencontre l'ARNm, le message génétique est traduit, et un polypeptide ayant une séquence spécifique d'acides aminés est formé.

FIGURE 105. Expression de l'information génétique dans la cellule eucaryote.
D'après CAMPBELL & REECE (2004).

β. Un flux d'informations issues de signaux extérieurs à la cellule (communications intercellulaires ou stimuli environnementaux)

B. Des cellules procaryotes traversées par des flux cytoplasmiques et des échanges avec le milieu extracellulaire (dont le domaine pariétal)

FIGURE 106. Les flux dans une cellule eubactérienne (E. coli) : une vision très simplifiée.
D'après PERRIER, BEAUX *et al.* (2021).

1. Des échanges de matière au niveau membranaire et pariétal

2. Des flux d'énergie avec la production catabolique d'ATP au niveau membranaire (en lien avec le périplasme où sont concentrés les protons)

- Sans rentrer ici dans le détail du **métabolisme d'*Escherichia coli***, citons qu'il s'agit d'une **aérobie facultative**.

▪ **Organisme aérobie** : ***organisme qui vit en conditions oxygéniques et réalise la respiration cellulaire***.
- **organisme aérobie strict** : ***la respiration est obligatoire et donc l'organisme ne peut pas survivre sans dioxygène***.
- **organisme aérobie facultatif** : ***la respiration n'est pas obligatoire et donc l'organisme peut survivre sans dioxygène***.
▪ **Organisme anaérobie** : ***organisme qui vit en conditions d'hypoxie (faible oxygénation) ou d'anoxie (absence de dioxygène), réalisant d'autres voies métaboliques productrices d'ATP que la respiration cellulaire***.

- En **conditions anaérobies**, cas fréquent dans **l'intestin**, la **production d'ATP** par des **réactions** de **fermentation** qui produisent des **déchets variés** (lactate, éthanol, acétate, CO_2, H_2). Le ***métabolisme fermentaire réalisé par les entérobactéries*** s'appelle la **fermentation acide mixte**.
- En **conditions aérobies**, la production d'ATP mobilise une respiration cellulaire complète.
  (!) Le **gradient de protons**, qui nécessite un **volume étroit** dans son **établissement**, est maintenu au niveau du **périplasme**.
  (!) La **chaîne respiratoire** et les **ATP synthétases** sont exprimées au niveau de la **membrane plasmique**.
  → On voit donc que le **périplasme** est clairement, sur le **plan fonctionnel**, un « **compartiment** » pour la **Bactérie** (bien qu'étant **structuralement « à l'extérieur »** de l'espace limité par la **membrane plasmique**).

3. Des flux d'information

a. Un flux génétique : une traduction co-transcriptionnelle dans le cytosol

b. Un flux d'informations issues de signaux extérieurs à la cellule

FIGURE 107. La transcription des ARNm eubactériens et leur traduction immédiate.
D'après CAMPBELL & REECE (2004).

Bilan (adapté du programme)	✓ Les **cellules** sont traversées par des **flux** de **matière**, d'**énergie** et d'**information**. ✓ Chez les **Eucaryotes**, une partie de ces **flux** transite par la **membrane plasmique** ou les **systèmes endomembranaires**. Ceci met en évidence la **coopération fonctionnelle** entre les **compartiments**.

Pour faire une fiche de révision : quelques pistes

Il est conseillé de maîtriser les **grandes lignes du plan**

*Le **plan** ne doit pas être perçu comme un carcan figé, ou comme un modèle de plan de dissertation à ré-utiliser en devoir, mais bien comme un **outil d'apprentissage et de structuration** des **concepts importants**. Vous pouvez en **recopier les grandes lignes** ou **annexer le plan du polycopié** directement.*

Il est conseillé de réaliser un **lexique des principales définitions**.

Il est conseillé de reproduire les **schémas (et tableaux) majeurs** :

Liste indicative.

- *Compartimentation eucaryote*
° **Membrane** biologique
° **Entérocyte**
° **Cellule acineuse**
° **Organites** au programme : **REG**, **REL**, **Golgi**, **((péroxysome))**, **vacuole**, **mitochondrie**, **chloroplaste**, **noyau**, **lysosome**… avec schémas de **fonctionnement** au besoin
+ savoir **diagnoser** des électronographies
° **Ribosome**
° **Endosymbioses** (I / II)

- *Bactéries*
° **Paroi GRAM + / –** [savoir expliquer la coloration et la constitution]
[° Porines]
° **Échanges** au niveau de la paroi et du plasmalemme
° **Organisation** d'une Bactérie type
° Typologie de la **compartimentation** : GRAM + / GRAM – / Cyanobactérie
[° **Cyanobactérie** > BCPST2]
° **Flagelle bactérien**

- *Tableau de comparaison des génomes*

- *Cytosquelette*
° Organisation des **microtubules**
° Organisation des **filaments intermédiaires**
° Organisation des **microfilaments**
° **Actine** en **réseau** / Actine en **faisceau**
° **Stabilisation / coiffage des MF**
° **Transport vésiculaire** / **dynéine et kinésine**
[° Avoir compris les **modes d'assemblages de MT-MR**, savoir les expliquer, y compris les notions de *treadmelling* et instabilité dynamique]
° **Microvillosité**
[° **Sarcomère**, **contraction** musculaire… > BCPST2]
° **Cyclose**
° **Axonème** et son fonctionnement
° **Fuseau mitotique**
° **Ascension polaire** des chromatides
° **Anneau contractile**
° **Lamines** et **vésicularisation** du noyau

- *Flux*
[° **Flux transmembranaires** de l'entérocyte > chapitre 7]
° **Autoradiographie**
[° **Ultracentrifugation** : savoir expliquer]
° **Expériences de PALADE** : savoir expliquer / schématiser
° **Flux** dans l'**entérocyte** (s'inspirer des autres schémas, dont ceux du chapitre 5)
° **Flux** dans la **CPP**
° **Catabolisme oxydatif**
° **Photosynthèse**
° **Expression génétique** (basique)
° **Flux** dans une **Bactérie**
[° **Traduction co-transcriptionnelle**]

Vous devez en outre **savoir / pouvoir** :

Références

ALBERTS, B., A. JOHNSON, J. LEWIS, M. RAFF, K. ROBERTS & P. WALTER (2004). *Biologie moléculaire de la cellule. Quatrième édition.* Flammarion, Paris. Traduction de la quatrième édition américaine (2002) par F. LE SUEUR-ALMOSNI. Première édition américaine 1983 (1986 1e édition française).

ALBERTS, B., A. JOHNSON, J. LEWIS, M. RAFF, K. ROBERTS & P. WALTER (2008). *Molecular Biology of the Cell. Fifth Edition*. 1st edition 1983. Garland Science, New York (NY), USA & Abingdon, UK.

ALBERTS, B., A. JOHNSON, J. LEWIS, D. MORGAN, M. RAFF, K. ROBERTS & P. WALTER (2015). *Molecular Biology of the Cell. Sixth Edition.* 1st edition 1983. Garland Science, New York (NY), USA & Abingdon, UK.

ALBERTS, B., D. BRAY, K. HOPKIN, A. JOHNSON, J. LEWIS, M. RAFF, K. ROBERTS & P. WALTER (2014). *Essential Celle Biology. Fourth Edition.* 1st edition 1998. Garland Science, New York (NY), USA & Abingdon, UK.

BASSAGLIA, Y. (2013). *Biologie cellulaire*. Maloine, Paris, 3e édition.

BERTHET, J. (2006). *Dictionnaire de Biologie.* De Boeck Université, Bruxelles (Belgique).

BOUJARD, D. (dir). B. ANSELME, C. CULLIN & C. RAGUÉNÈS-NICOL (2015). *Biologie cellulaire et moléculaire. Tout le cours en fiches. Licence. PACES. CAPES.* 2e édition (1e édition 2012), Dunod, Paris.

BOUTIN, V., L. GERAY, Y. KRAUSS & C. VILBERT (2015). *Atlas de biologie BCPST 1re et 2e années.* Dunod, Paris.

BREUIL, M. (2007). *Biologie 1re année BCPST-véto*. Tec & Doc, Lavoisier, Paris.

BREUIL, M. (2009). *Biologie 2e année BCPST-véto.* Tec & Doc, Lavoisier, Paris.

BUCHANAN, B. B., W. GRUISSEM & R. L. JONES (dir.) (2015). *Biochemistry and Molecular Biology of Plants*. Wiley, New York, USA – Blackwell, Oxford, UK, 2e edition (1e edition 2002).

CALLEN, J.-C. (2005). *Biologie cellulaire. Des molécules aux organismes.* Dunod, Paris, 2e édition (1e édition 1999).

CAMPBELL, N. A. & J. B. REECE (2004). *Biologie*. De Boeck Université, Bruxelles, 2e édition (1e édition 1995).

[CAMPBELL, N. A.], J. B. REECE, L. A. URY, M. L. CAIN, S. A. WASSERAMN, P. V. MINORSKY, R. B. JACKSON (2012). *Campbell Biologie.* Adaptation française J. FAUCHER & R. LACHAÎNE. Pearson, Paris (4e edition).

COOPER, G. M. (2019). *Cell. A Molecular Approach.* 8th edition, Sinauer / Oxford University Press, Oxford (GB).

DARRIBÈRE, T. (2002). *Introduction à la biologie du développement*. Belin, Paris.

DAUTEL, O. (dir.), A. PROUST, M. ALGRAIN, C. BORDI, A. HELME-GUIZON, F. SAINTPIERRE, M. VABRE & C. BOGGIO (2017). *Biologie Géologie BCPST 1re année*. Vuibert, Paris.

DAUTEL, O. (dir.), C. BORDI, F. SAINTPIERRE, M. ALGRAIN-PITAVY, M. QUERTINIEZ, A. PROUST, M. VABRE A. HELME-GUIZON & B. MOLLIER (2019). *Biologie Géologie BCPST 2e année*. Vuibert, Paris.

DAUTEL, O. (dir.), M. ALGRAIN-PITAVY, C. BORDI, A. HELME-GUIZON, B. MOLLIER, A. PROUST, M. QUERTINIEZ, F. SAINTPIERRE & M. VABRE (2021). *Prépas scientifiques BCPST 1re année. Biologie Géologie. Tout-en-un.* Vuibert, Paris.

DENŒUD, J., T. FERROIR, O. GUIPPONI, H. MOREAU, M. PAULHIAC-PISON, M.-L. PONS & F. TEJEDOR (2011). *Biologie-Géologie BCPST-véto 2e année.* Tec & Doc, Lavoisier, Paris.

DENŒUD, J., C. GODINOT, O. GUIPPONI, H. MOREAU, M. PAULHIAC-PISON & F. TEJEDOR (2013). *Biologie-Géologie BCPST-véto 1e année.* Tec & Doc, Lavoisier, Paris.

DENŒUD, J., C. GODINOT, O. GUIPPONI, H. MOREAU, M. PAULHIAC-PISON, M.-L. PONS & F. TEJEDOR (2014). *Biologie-Géologie BCPST-véto 2e année.* Tec & Doc, Lavoisier, Paris.

EDELBLUM, K. L. & J. R. TURNER (2015). Epithelial Cells: Structure, Transport, and Barrier Function. Pp. 187-210. In: J. MESTECKY, W. STROBER, M. W. RUSSEL, B. L. KELSALL, H. CHEROUTRE & B. N. LAMBRECHT (dir.). Mucosal Immunology. Fourth edition. Elsevier, Amsterdam, 2247 pp. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-415847-4.00012-4

GODINOT, C., H. MOREAU, M. PAULHIAC-PISON & F. TEJEDOR (2010). *Biologie-Géologie 1re année BCPST-véto*. Tec & Doc, Lavoisier, Paris.
LAFON, C. (2003). *La biologie autrement. 100 questions de synthèse.* Ellipses, Paris.
LATRUFFE, N. (dir.), F. BLEICHER-BARDETTI, B. DUCLOS & J. VAMECQ (2014). *Biochimie. Tout le cours en fiches. Licence. PACES-UE1. CAPES.* Dunod, Paris.
LELIÈVRE, É., J. DENŒUD, J. ROQUES, É. HAMARD-PÉRON & M. AIRAUD (2018). *Biologie*. Dunod, Paris.
LÜLLMANN-RAUCH, R. & E. ASAN (2019). *Taschenlehrbuch Histologie*. 6e édition allemande (1e édition 2003). Thieme, Stuttgart (D).
MEYER, S., C. REEB & R. BOSDEVEIX (2008). *Botanique. Biologie et physiologie végétales.* Maloine, Paris, 2e édition (1e édition 2004).
MORÈRE, J.-L., R. PUJOL (coord.), J.-C. CALLEN, L. CHESNOY, J.-P. DUPONT, A.-M. GIBERT-TANGAPREGASSOM, G. RICOU, N. TOUZET (dir.) et colloborateurs (2003). *Dictionnaire raisonné de Biologie.* Frison-Roche, Paris.
PÉRILLEUX, É., D. RICHARD, B. ANSELME, J.-M. DEMONT & P. VALET (2002). *Biologie humaine. Anatomie, physiologie, santé.* Nathan, Paris, 2e édition.
PERRIER, C. & J.-F. BEAUX (dir.), A. BOUFFIER, L. BOUGEOIS, P. CARRÈRE, T. DARRIBÈRE, J. DÉMARET-NICOLAS, A. EMOND, S. MAURY, O. MONNIER, T. SOUBAYA, A. VERGNAUD & A. WOEHRLÉ (2021). *Biologie-Géologie BCPST 1. Tout-en-un*. Dunod, Malakoff (F).
PETIT, J.-M. & R. JULIEN (2007). *Mini-manuel de Génétique*. Dunod, Paris.
PEYCRU, P. (dir.), J.-F. FOGELGESANG, D. GRANDPERRIN, B. AUGÈRE, J.-C. BAEHR, C. PERRIER, J.-M. DUPIN & C. VAN DER REST (2010*a*). *Biologie tout-en-un BCPST 1re année.* Dunod, Paris, 2e édition (2009), réimpression corrigée (2010) (1e édition 2006).
PEYCRU, P. (dir.), J.-C. BAEHR, F. CARIOU, D. GRANDPERRIN, C. PERRIER, J.-F. FOGELGESANG & J.-M. DUPIN (2010*b*). *Biologie tout-en-un BCPST 2e année.* Dunod, Paris, 2e édition (1e édition 2007).
PEYCRU, P., D. GRANDPERRIN, C. PERRIER (dir.), B. AUGÈRE, T. DARRIBÈRE, J.-M. DUPIN, C. ESCUYER J.-F. FOGELGESANG, & C. VAN DER REST (2013). *Biologie tout-en-un BCPST 1re année.* Dunod, Paris, 3e édition (1e édition 2006).
PEYCRU, P., D. GRANDPERRIN, C. PERRIER (dir.), B. AUGÈRE, J.-F. BEAUX, F. CARIOU, P. CARRÈRE, T. DARRIBÈRE, J.-M. DUPIN, C. ESCUYER, J.-F. FOGELGESANG, S. MAURY, É. QUÉINNEC, E. SALGUEIRO & C. VAN DER REST (2014). *Biologie tout-en-un BCPST 2e année.* Dunod, Paris, 3e édition (1e édition 2007).
PEYCRU, P., D. GRANDPERRIN, C. PERRIER (dir.), B. AUGÈRE, T. DARRIBÈRE, J.-M. DUPIN, C. ESCUYER, J.-F. FOGELGESANG, & C. VAN DER REST (2017). *Biologie tout-en-un BCPST 1re année.* Dunod, Paris, 4e édition (1e édition 2006).
PEYCRU, P., D. GRANDPERRIN, C. PERRIER (dir.), B. AUGÈRE, J.-F. BEAUX, F. CARIOU, P. CARRÈRE, T. DARRIBÈRE, J.-M. DUPIN, C. ESCUYER, J.-F. FOGELGESANG, S. MAURY, É. QUÉINNEC, E. SALGUEIRO & C. VAN DER REST (2018). *Biologie tout-en-un BCPST 2e année.* Dunod, Paris, 3e édition (1e édition 2007).
PORTER, K. R. & M. A. BONNEVILLE (1973). *Structure fine des cellules et des tissus*. 2e édition française (1e édition 1969). Traduction de la troisième édition américaine (1968) par C. FAVARD-SÉRÉNO sous la direction de P. FAVARD. Ediscience, Paris, 196 pages.
RAVEN, P. H., G. B. JOHNSON, J. B. LOSOS, S. S. SINGER (2007). *Biologie*. De Boeck, Bruxelles.
RICHARD, D. (dir.), P. CHEVALET, S. FOURNEL, N. GIRAUD, F. GROS, P. LAURENTI, F. PRADÈRE & T. SOUBAYA (2012). *Biologie. Tout le cours en fiches. Licence. CAPES. Prépas*. Dunod, Paris, 2e édition (1e édition 2010).
ROBERT, D. & J.-C. ROLAND (1998). *Biologie végétale. Caractéristiques et stratégie évolutive des plantes. **1**. Organisation cellulaire.* Doin, Paris, 2e édition (1e édition 1989).
SAINTPIERRE, F., C. BORDI (dir.), M. ALGRAIN, Y. KRAUSS, I. MOLLIÈRE & H. CLAUCE (2017). *Mémento Biologie BCPST 1re et 2e années.* Vuibert, Paris.
SAINTPIERRE, F., C. BORDI (dir.), M. ALGRAIN-PITAVY, A. DENIS, L. GERAY & I. MOLLIÈRE (2021). *Mémento Biologie BCPST 1re et 2e années*. Vuibert, Paris, 2e édition (1e édition 2017).
SEGARRA, J. (dir.), É. CHAUVET, C. COLSON-PROCH, M. HUILLE, M. LABROUSSE, F. LOUET, F. METZ & E. PIÈTRE (2014). *Biologie BCPST 1re année*. Ellipses, Paris.
SEGARRA, J., E. PIÈTRE (dir.), G. BAILLY, O. CHASSAING, D. FAVRE, T. JEAN, F. METZ & C. MEUNIER (2015). *Biologie BCPST 2e année*. Ellipses, Paris.
TAIZ, L. & E. ZEIGER (dir.) (2010). *Plant physiology*. Sinauer Associates, Sunderland (Massachussetts, USA), 5e édition (1e édition 1991).
VIGNAIS, P. (2001). *La Biologie des origines à nos jours. Une Histoire des idées et des hommes.* « Grenoble Sciences », EDP Sciences, Les Ulis.
VIGNAIS, P. (2006). *Science expérimentale et connaissance du Vivant. La Méthode et les concepts.* « Grenoble Sciences », EDP Sciences, Les Ulis.
SILVERTHORN, D. U., avec W. C. OBER, C. W. GARRISON, A. C. SILVERTHORN & B. R. JOHNSON (2007). *Physiologie humaine. Une approche intégrée.* Pearson Education France, Paris, 4e édition américaine traduite sous la dir. de J.-F. BRUN.
[VANDER, A. J.], E. P. WIDMAIER, H. RAFF & K. T. STRANG (2013). *Physiologie humaine. Les mécanismes du fonctionnement de l'organisme*. Maloine, Paris, 6e édition.

Plan du chapitre

Introduction 1

I. Des cellules limitées par une membrane, variablement compartimentées et présentant une information génétique 1
A. Une limitation des cellules et des compartiments par des membranes biologiques 1
B. Une haute compartimentation des cellules eucaryotes impliquant une spécialisation et une coopération des volumes cellulaires 2
1. Nature et conséquences fonctionnelles de la compartimentation 2
a. Notions de compartiment et d'organites 2
b. Intérêts de la compartimentation cellulaire 2
c. Limites et contraintes de la compartimentation cellulaire 2
2. Le cytosol ou hyaloplasme, liquide fondamental de la cellule contenant des enzymes nombreuses et des ribosomes 2
3. Le noyau, organite bimembranaire rassemblant l'essentiel du matériel génétique de la cellule 4
4. Un ensemble de compartiments plutôt monomembranaires impliqués dans les flux vésiculaires : le système endomembranaire 5
a. Le réticulum endoplasmique granuleux (REG) ou rugueux (RER), ensemble de citernes couvertes de ribosomes où maturent les protéines sécrétées, membranaires ou du système endomembranaire 5
b. Le réticulum endoplasmique lisse (REL), réseau tubulaire où a lieu la synthèse des lipides membranaires (voire des hormones stéroïdes ou des triglycérides) et le stockage de calcium (notion de calciosome) 6
c. L'appareil de GOLGI, ensembles des dictyosomes où sont modifiées les protéines sécrétées / membranaires / du réseau endomembranaire et où certains composés matriciels glucidiques sont synthétisés [incl. vésicules d'exocytose] 6
d. Les lysosomes, organites de taille vésiculaire, acides, riches en enzymes hydrolytiques digérant les molécules endocytées et les organites endommagés [cellules animales] 7
e. La vacuole (ou les vacuoles), compartiment turgescent à rôles multiples (osmose, réserve, recyclage moléculaire, squelette…) [cellules végétales] 8
5. Les péroxysomes, organites de taille vésiculaire assurant le métabolisme des ROS et d'autres réactions, dont une partie de la photorespiration végétale [+ notion de *microbody*] 8
6. Des organites semi-autonomes pluricompartimentés intervenant dans le métabolisme énergétique : mitochondries et plastes 9
a. Les organites semi-autonomes : organites capables de produire des polypeptides et issus d'une endosymbiose 9
b. L'endosymbiose (primaire ou secondaire) des organites semi-autonomes : arguments et modalités 9
α. Notion d'endosymbiose et arguments 9
β. Endosymbiose primaire (cas des mitochondries de tous les Eucaryotes et des plastes de la Lignée verte) *vs*. endosymbiose secondaire (cas des plastes d'autre lignées) 9
c. Les mitochondries, organites assurant la respiration cellulaire et participant à des réactions anaboliques [toutes cellules eucaryotes] 10
d. Les chloroplastes, organites réalisant la photosynthèse [cellules végétales] 11
e. L'existence d'autres types fonctionnels de plastes dans des cellules autres que les cellules chlorophylliennes [cellules végétales] 11
7. Bilan : vue d'ensemble des organites 11
C. Une organisation des cellules bactériennes notamment caractérisée par une compartimentation faible 14
1. Une membrane plasmique, une paroi et d'éventuelles expansions 14
a. Une membrane plasmique semblable à celle des Eucaryotes 14

b. Une paroi à rôle squelettique de deux types : GRAM + et GRAM – 14
c. Des échanges autorisés par la membrane et la paroi, ainsi que la respiration cellulaire 15
d. L'existence possible d'une expansion de la paroi (capsule, mucilages…) et la capacité de former des biofilms 16
2. Une compartimentation faible à inexistante 16
a. L'absence fréquente de système endomembranaire chez les Bactéries, mais une ébauche de compartimentation chez les Gram – liée au périplasme 16
b. Un cytoplasme généralement monocompartimenté comprenant du cytosol, des ribosomes, des inclusions et l'information génétique 17
c. La présence de thylakoïdes chez les Cyanobactéries 17
3. La présence possible d'expansions (pili, flagelles bactériens) 17
D. Une information génétique dans chaque cellule 18
1. Chez les Eucaryotes : une information génétique compartimentée, scindée en une composante principale nucléaire et une composante mineure dans les organites semi-autonomes 18
2. Chez les procaryotes : une information génétique cytoplasmique scindée en une composante principale, le chromosome bactérien (dans le nucléoïde), et une composante mineure fréquente, les plasmides 18

II. Des cellules organisées par un squelette interne dynamique qui intervient dans leur fonctionnement : le cytosquelette 19
A. Le cytosquelette eucaryote : un réseau protéique impliqué dans la structuration et le fonctionnement cellulaires 19
1. Une armature protéique en réseau à localisation surtout cytosolique : trois types de constituants principaux en interaction avec des protéines associées 19
a. Les éléments de cytosquelette (*stricto sensu*) : trois grands types de constituants 20
α. Les microtubules (MT) : des filaments cylindriques creux et orientés, composés de treize protofilaments de dimères de tubulines α-β 20
β. Les filaments intermédiaires (FI) : des composés protéiques variés typiquement assemblés en dimères / tétramères / protofilaments / filaments [non orientés] 21
γ. Les microfilaments (MF = µM) d'actine : deux chaînes torsadées orientées (actine filamenteuse = actine F) composées d'actine globulaire (actine G) 21
b. Les protéines accessoires (= annexes = associées) du cytosquelette : une grande diversité d'agents protéiques interagissant avec le cytosquelette 21
α. Les protéines de pontage : des protéines assurant l'association des éléments de cytosquelette en faisceaux ou en réseau 21
β. Les protéines de coiffe : des protéines empêchant la dépolymérisation des extrémités de microtubules ou de microfilaments 22
γ. Les protéines de stabilisation ou de déstabilisation : des protéines contrôlant la stabilité des éléments de cytosquelette 22
δ. Les protéines d'association aux membranes (protéines d'ancrage) et les protéines de liaisons aux jonctions cellulaires (protéines de liaisons) 22
ε. Les protéines motrices (= nanomoteurs = moteurs moléculaires) : des protéines qui se déplacent (de manière ATP-dépendante) sur le cytosquelette et assurent la motilité cellulaire 22
2. Des éléments qui s'assemblent selon des modalités précises et avec une dynamique particulière (*in vivo* ou *in vitro*) 23
a. Les microtubules : des éléments polymérisables et dépolymérisables (en lien avec la GTP / la GDP) 23
b. Les microfilaments d'actine : des éléments polymérisables et dépolymérisables (en lien avec l'ATP / l'ADP) 23
c. Les filaments intermédiaires : des éléments autoassemblés mais dissociables par phosphorylation 24
3. Des composés structurant et organisant la cellule 24
a. Cas des microtubules 24
α. Dans les cellules animales 24
i. Dans la plupart des cellules : une armature en étoile rayonnant à partir du centrosome 24
ii. Dans la plupart des cellules épithéliales : une armature dont les unités présentent une disposition essentiellement parallèle 25
iii. Dans les expansions cytoplasmiques motiles pourvues d'un axonème ou undulipodia (cils, flagelles) 25
β. Dans les cellules végétales : un positionnement circulaire périphérique en interphase (et une disposition variable en division) 26
b. Cas des microfilaments d'actine 26
α. Dans les cellules animales épithéliales : un réseau plutôt périphérique participant au maintien de la forme cellulaire et structurant les microvillosités 26
β. Dans d'autres types de cellules : une organisation et une dynamique en lien avec la fonction 26
γ. Dans les cellules végétales : un réseau qui organise en partie l'intérieur de la cellule (si l'on excepte le rôle de la vacuole turgescente) 27
c. Cas des filaments intermédiaires : dans le noyau de toutes les cellules eucaryotes (lamines nucléaires) et dans le cytosol des cellules animales 27
4. Des composés impliqués dans le fonctionnement et le dynamisme cellulaires 27
a. Le trafic vésiculaire et le déplacement d'organites 27
α. Un déplacement sur le réseau de microtubules (dynéines, kinésines), notamment dans les cellules animales 27
β. La possibilité d'utiliser le réseau d'actine, particulièrement dans les cellules végétales (myosines) : l'exemple de la cyclose 27
b. Les processus de motilité cellulaire, déformation et migration 27
α. La contraction musculaire permise par le couple actine-myosine 27
β. Le déplacement des cils et flagelles permis par le couple microtubules-dynéine au sein de l'axonème 27
γ. La déformation et la migration de cellules animales permises par une réorganisation des éléments de cytosquelette et des jonctions transitoires avec la matrice extracellulaire 28
c. Les processus dynamiques associés aux divisions cellulaires 28
α. La migration des chromosomes au cours de la division : un couplage entre la polymérisation-dépolymérisation des microtubules du fuseau de division et des protéines motrices 28
β. La constriction entre cellules filles lors de la cytodiérèse animales : un couplage actine-myosine 29
γ. La séparation des cellules filles lors de la cytodiérèse végétale : un couplage microtubules / protéines motrices 29
δ. La vésicularisation du noyau et sa reformation : la phosphorylation-déphosphorylation des lamines nucléaires 29
B. Le cytosquelette bactérien : l'identification de protéines homologues aux protéines cytosquelettiques eucaryotes 30
1. La protéine FtsZ, protéine homologue de la tubuline 30
2. Les protéines FtsA, MreB et ParM, protéines homologues de l'actine 31
3. La crescentine, protéine homologue des filaments intermédiaires 31
4. Des protéines cytosquelettiques propres sans homologie avec le cytosquelette eucaryote 31

III. Les cellules, des systèmes thermodynamiques ouverts traversés par des flux de matière, d'énergie et d'information 32
A. Des cellules eucaryotes traversées par des flux impliquant des échanges avec l'extérieur et une coopération entre compartiments 32
1. Spécialisation et coopération des compartiments entre eux et avec le milieu extracellulaire 32
a. Une complémentarité nécessaire 32
b. Les modalités des flux entre compartiments ou avec l'extérieur de la cellule : transferts transmembranaires, translocation, trafic vésiculaire 32
2. Mise en évidence d'un flux sécrétoire (= cycle sécrétoire) dans les cellules acineuses pancréatiques : les expériences historiques de PALLADE (années 1960) 33
a. Principe des expériences 33
α. Principe du *pulse-chase* : le suivi d'un élément radioactif dans le temps et l'espace 33
β. Obtention de résultats : autoradiographie, comptage de grains d'argent, ultracentrifugation avec dosage de radioactivité 33
b. Résultats et interprétation 33
3. La nature des principaux flux dans les cellules eucaryotes (au travers de l'exemple de l'entérocyte et de la cellule chlorophyllienne) 34
a. Des flux de matière 34
b. Des flux d'énergie 35
α. Une production catabolique d'ATP dans les deux types de cellules 35
β. Une production photosynthétique de métabolites dans la CPP 35
c. Des flux d'information 35
α. Un flux génétique : une expression séquentielle et compartimentée de l'information génétique 35
β. Un flux d'informations issues de signaux extérieurs à la cellule (communications intercellulaires ou stimuli environnementaux) 35
B. Des cellules procaryotes traversées par des flux cytoplasmiques et des échanges avec le milieu extracellulaire (dont le domaine pariétal) 36
1. Des échanges de matière au niveau membranaire et pariétal 36
2. Des flux d'énergie avec la production catabolique d'ATP au niveau membranaire (en lien avec le périplasme où sont concentrés les protons) 36
3. Des flux d'information 36
a. Un flux génétique : une traduction co-transcriptionnelle dans le cytosol 36
b. Un flux d'informations issues de signaux extérieurs à la cellule 36

Pour faire une fiche de révision : quelques pistes 37
Références 37
Plan du chapitre 38
Plan simplifié (3 niveaux de plan) 40
Plan très simplifié (2 niveaux de plan) 41

Plan simplifié (3 niveaux de plan)

Introduction 1

I. Des cellules limitées par une membrane, variablement compartimentées et présentant une information génétique 1
A. Une limitation des cellules et des compartiments par des membranes biologiques 1
B. Une haute compartimentation des cellules eucaryotes impliquant une spécialisation et une coopération des volumes cellulaires 2
1. Nature et conséquences fonctionnelles de la compartimentation 2
2. Le cytosol ou hyaloplasme, liquide fondamental de la cellule contenant des enzymes nombreuses et des ribosomes 2
3. Le noyau, organite bimembranaire rassemblant l'essentiel du matériel génétique de la cellule 4
4. Un ensemble de compartiments plutôt monomembranaires impliqués dans les flux vésiculaires : le système endomembranaire 5
5. Les péroxysomes, organites de taille vésiculaire assurant le métabolisme des ROS et d'autres réactions, dont une partie de la photorespiration végétale [+ notion de *microbody*] 8
6. Des organites semi-autonomes pluricompartimentés intervenant dans le métabolisme énergétique : mitochondries et plastes 9
7. Bilan : vue d'ensemble des organites 11
C. Une organisation des cellules bactériennes notamment caractérisée par une compartimentation faible 14
1. Une membrane plasmique, une paroi et d'éventuelles expansions 14
2. Une compartimentation faible à inexistante 16
3. La présence possible d'expansions (pili, flagelles bactériens) 17
D. Une information génétique dans chaque cellule 18
1. Chez les Eucaryotes : une information génétique compartimentée, scindée en une composante principale nucléaire et une composante mineure dans les organites semi-autonomes 18
2. Chez les procaryotes : une information génétique cytoplasmique scindée en une composante principale, le chromosome bactérien (dans le nucléoïde), et une composante mineure fréquente, les plasmides 18

II. Des cellules organisées par un squelette interne dynamique qui intervient dans leur fonctionnement : le cytosquelette 19
A. Le cytosquelette eucaryote : un réseau protéique impliqué dans la structuration et le fonctionnement cellulaires 19
1. Une armature protéique en réseau à localisation surtout cytosolique : trois types de constituants principaux en interaction avec des protéines associées 19
2. Des éléments qui s'assemblent selon des modalités précises et avec une dynamique particulière (*in vivo* ou *in vitro*) 23
3. Des composés structurant et organisant la cellule 24
4. Des composés impliqués dans le fonctionnement et le dynamisme cellulaires 27
B. Le cytosquelette bactérien : l'identification de protéines homologues aux protéines cytosquelettiques eucaryotes 30
1. La protéine FtsZ, protéine homologue de la tubuline 30
2. Les protéines FtsA, MreB et ParM, protéines homologues de l'actine 31
3. La crescentine, protéine homologue des filaments intermédiaires 31
4. Des protéines cytosquelettiques propres sans homologie avec le cytosquelette eucaryote 31

III. Les cellules, des systèmes thermodynamiques ouverts traversés par des flux de matière, d'énergie et d'information 32
A. Des cellules eucaryotes traversées par des flux impliquant des échanges avec l'extérieur et une coopération entre compartiments 32
1. Spécialisation et coopération des compartiments entre eux et avec le milieu extracellulaire 32
2. Mise en évidence d'un flux sécrétoire (= cycle sécrétoire) dans les cellules acineuses pancréatiques : les expériences historiques de PALLADE (années 1960) 33
3. La nature des principaux flux dans les cellules eucaryotes (au travers de l'exemple de l'entérocyte et de la cellule chlorophyllienne) 34
B. Des cellules procaryotes traversées par des flux cytoplasmiques et des échanges avec le milieu extracellulaire (dont le domaine pariétal) 36
1. Des échanges de matière au niveau membranaire et pariétal 36
2. Des flux d'énergie avec la production catabolique d'ATP au niveau membranaire (en lien avec le périplasme où sont concentrés les protons) 36
3. Des flux d'information 36

Pour faire une fiche de révision : quelques pistes 37
Références 37
Plan du chapitre 38
Plan simplifié (3 niveaux de plan) 40
Plan très simplifié (2 niveaux de plan) 41

Plan très simplifié (2 niveaux de plan)

Introduction 1

I. Des cellules limitées par une membrane, variablement compartimentées et présentant une information génétique 1
A. Une limitation des cellules et des compartiments par des membranes biologiques 1
B. Une haute compartimentation des cellules eucaryotes impliquant une spécialisation et une coopération des volumes cellulaires 2
C. Une organisation des cellules bactériennes notamment caractérisée par une compartimentation faible 14
D. Une information génétique dans chaque cellule 18

II. Des cellules organisées par un squelette interne dynamique qui intervient dans leur fonctionnement : le cytosquelette 19
A. Le cytosquelette eucaryote : un réseau protéique impliqué dans la structuration et le fonctionnement cellulaires 19
B. Le cytosquelette bactérien : l'identification de protéines homologues aux protéines cytosquelettiques eucaryotes 30

III. Les cellules, des systèmes thermodynamiques ouverts traversés par des flux de matière, d'énergie et d'information 32
A. Des cellules eucaryotes traversées par des flux impliquant des échanges avec l'extérieur et une coopération entre compartiments 32
B. Des cellules procaryotes traversées par des flux cytoplasmiques et des échanges avec le milieu extracellulaire (dont le domaine pariétal) 36

Pour faire une fiche de révision : quelques pistes 37
Références 37
Plan du chapitre 38
Plan simplifié (3 niveaux de plan) 40
Plan très simplifié (2 niveaux de plan) 41

© Tanguy JEAN. Les textes et les figures originales sont la propriété de l'auteur. Les figures extraites d'autres sources restent évidemment la propriété des auteurs ou éditeurs originaux.
Document produit en décembre 2021 • Dernière actualisation : novembre 2023.
Contact : Tanguy.Jean4@gmail.com
Adresse de téléchargement : https://www.svt-tanguy-jean.com/

Ces données sont placées sous licence *Creative Commons Attribution – Pas d'Utilisation commerciale 4.0 CC BY NC* qui autorise la reproduction et la diffusion du document, à condition d'en citer explicitement la source et de ne pas en faire d'utilisation commerciale.