**Chapitre 3 : Organisation fonctionnelle de la cellule eucaryote**

[I. La membrane plasmique 2](#_Toc312678173)

[1) Organisation structurale de toutes membranes cellulaires 2](#_Toc312678174)

[2) Rôles 5](#_Toc312678175)

[II. Le réseau membranaire intracellulaire 9](#_Toc312678176)

[1) Le réticulum endoplasmique 9](#_Toc312678177)

[2) L’appareil de Golgi 11](#_Toc312678178)

[3) Les lysosomes 12](#_Toc312678179)

[4) Conclusion sur le réseau endomembranaire 14](#_Toc312678180)

[III. Les organites cytoplasmiques 14](#_Toc312678181)

[1) La mitochondrie 14](#_Toc312678182)

[2) Autres organites producteurs d’énergie 17](#_Toc312678183)

[3) Les chloroplastes 18](#_Toc312678184)

[4) La vacuole 20](#_Toc312678185)

[5) Le noyau 21](#_Toc312678186)

[IV. Particules cytoplasmiques et cytosol 22](#_Toc312678187)

[1) Le cytosquelette 22](#_Toc312678188)

[2) Le cytosol 25](#_Toc312678189)

[V. L'extérieur de la cellule 25](#_Toc312678190)

[1) La matrice extracellulaire des cellules animales 25](#_Toc312678191)

[2) Rôle de la matrice 26](#_Toc312678192)

[3) La paroi squelettique des vésicules végétales 27](#_Toc312678193)

[VI. Adressage des protéines 28](#_Toc312678194)

[1) Le transfert co-traductionnel 29](#_Toc312678195)

[2) Le transfert post-traductionnel 32](#_Toc312678196)

**Chapitre 3 : Organisation fonctionnelle de la cellule eucar yote**

Une cellule eucaryote est délimitée par une membrane plasmique, milieu intérieur = cytoplasme, un réseau de membranes internes, de nombreux organites et un noyau.

(fig1)

# La membrane plasmique

## Organisation structurale de toutes membranes cellulaires

### Constituants

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Lipides | Protéines |
| En poids | 50% | 50% |
| En nombre de moles | 98% | 2% |

#### Lipides : phospholipides et cholestérol (sauf végétaux)

Les proportions de lipides sont variables selon : les organismes, les types cellulaires et les types de membranes au sein de la cellule (trente membranes différentes dans une cellule).

Cette membrane est organisée en bicouche, ce qui lui confère un rôle structural.

#### Protéines

On les classe en deux catégories : périphériques et intrinsèques.

Les protéines périphériques adhèrent à la surface hydrophile de la membrane par liaisons hydrogènes ou liaisons ioniques. Elles sont détachées par lavage.

Les protéines intrinsèques sont ancrées dans la zone hydrophobe de la membrane par l’interaction hydrophobe. Elles ne sont récupérées qu’après destruction de la membrane.

(fig2)

Toutes les protéines transmembranaires sont des protéines intrinsèques mais toutes les protéines intrinsèques ne sont pas transmembranaires.

Exemple particulier de protéine transmembranaire = glycophorine A (fig3)

Les protéines transmembranaires sont très variables selon le type de cellule. On trouve des transporteurs d’ions ou de glucose, des récepteurs de signaux ou d’hormones, des enzymes (par exemple impliquées dans la synthèse de cellulose), des protéines de structure qui font le lien entre l’intérieur et l’extérieur de la cellule.

#### Cell coat

(fig4a)

Quelques lipides et de nombreuses protéines sont glycosylées mais seulement sur la face extérieure de la cellule. Le manteau forme une couche avec de nombreux groupements chargés négativement. La surface extérieure de la cellule est donc chargée négativement.

#### Apparence en microscopie électronique

(fig4b-fig5)

### Propriétés

#### Imperméable

Seules les molécules telles que l’eau, le dioxyde de carbone et le dioxygène traversent la membrane plasmique librement (très petites molécules). Toutes les autres molécules, à quelques exceptions près, ne passent pas, soit parce qu’elles sont hydrophiles, soit parce qu’elles sont trop grosses. Cette membrane isole un compartiment intérieur du milieu extérieur.

#### Asymétrique

Les deux feuillets ne sont pas équivalents. En termes de protéines, on trouve les protéines périphériques surtout sur la face cytoplasmique et les protéines intrinsèques toujours orientées de la même manière, ce qui crée une grosse asymétrie fonctionnelle.

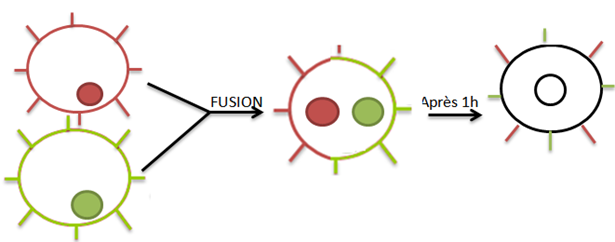
En termes de lipides, l’asymétrie est moins forte mais certains lipides sont fortement liés à certaines protéines, d’où une asymétrie.

En termes de glucides, ils sont présents uniquement sur la face externe.

(fig6)

#### Fluide

On observe en permanence des mouvements et des déplacements au sein de la membrane. Les lipides réalisent des mouvements latéraux, très fréquents, et parfois des inversions (flip-flop), ce qui est beaucoup plus rare. Les protéines flottent dans la bicouche lipidique, elles se déplacent en permanence.

(fig7)

Cellule   
  
 homme

Cellule souris

(fig8)

La fluidité dépend de la température. Lorsque la cellule est dans un état fluide, les mouvements sont fréquents et lorsque les membranes se trouvent dans un état visqueux, gélifié ou cristallin, les mouvements sont très rares.

La fluidité dépend de la composition des lipides : si les lipides sont encombrants ou très insaturés, si les chaines sont courtes, + la température de fusion est basse

(fig9)

#### Croissance et fusion

Pas de création de membrane de novo (à partir de rien)

Toute membrane croit par insertion de nouveaux constituants dans une membrane préexistante. La La fusion des membranes est un processus très fréquent et très important pour le fonctionnement cellulaire mais il est non spontané car les membranes sont chargées négativement.

(fig10)

On observe une augmentation locale de la fluidité au niveau de la zone de contact, ce qui rend la zone de jonction instable. Après fusion, on observe une réorganisation de la membrane.

### Différenciations localisées de la membrane plasmique

#### Augmentation de la surface d’échange avec le milieu extracellulaire

(fig11)

On observe 3000 microvillosités par cellule. La surface de la cellule est donc multipliée par 1000.

Le premier type de différenciation est donc la formation de microvillosités.

#### Cohésion des cellules entre elles

(fig12)

* La matrice extracellulaire : gel situé entre les cellules qui permet de les relier
* Les engrenages et inter digitations
* Les desmosomes : composés de protéines fibreuses transmembranaires reliées de chaque côté à une plaque protéique -> augmentent la rigidité d’un tissu répartissant les forces de cisaillement. Ils sont fréquents dans les tissus soumis à des forces mécaniques (peau, muscles, col de l’utérus…).

#### Etanchéité entre cellules

(fig13)

Cette étanchéité est assurée par les jonctions étanches qui correspondent à l’accumulation de protéines entre les deux cellules. Il n’y a plus d’espaces intercellulaires à ce niveau-là. Elles sont organisées en réseau = nids d’abeille. Elles forment un obstacle à la libre diffusion des protéines membranaires ce qui permet de polariser la cellule et l’absorption du glucose dans l’intestin.

#### Communication entre cellules ou jonctions lacunaires

(fig14)

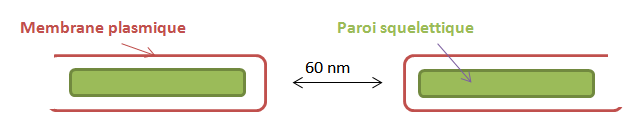
Au niveau des jonctions lacunaires on observe un espace rétréci mais pas absent et des protéines transmembranaires formant un canal. Ce canal permet le passage de petites molécules, directement de cytoplasme à cytoplasme (ions, acides aminés, ATP, messages secondaires…).

(fig15)

#### Le plasmodesme : ponctuation des cellules végétales

L’étanchéité est assurée par la paroi. La jonction lacunaire est remplacée par le plasmodesme. Le plasmodesme est une zone où la paroi squelettique s’interrompt et où les membranes plasmiques sont mises en commun.

Cellule 1



Cellule 2

## Rôles

### Transport de molécules

#### Osmose

En absence d’autres forces, une substance diffuse de la zone la plus concentrée vers la zone la moins concentrée = suivant un gradient de concentration

* Cellule animale :

Milieu hypotonique = cellule turgescente puis lyse cellulaire (cytoplasme trop dilué)

Milieu isotonique

Milieu hypertonique = cellule plasmolysée (cytoplasme déshydraté)

Ex d’osmorégulation : La paramécie vit dans l’eau stagnante, hypotonique = eau qui a tendance à rentrer en permanence.

* Cellule végétale :

Entrée d’eau = vacuole gonflée = cellule turgescente

Sortie d’eau = vacuole déshydratée = cellule plasmolysée

#### Transport passif

(fig16)

C’est un transport qui se fait en suivant le gradient de concentration jusqu’à l’équilibre et il ne nécessite pas d’énergie. On distingue deux types de diffusions :

* Diffusion simple : C’est le passage spontané des gaz et de très petites molécules au travers de la membrane plasmique. Les gaz en question sont le CO2 et l’O2.
* Diffusion facilitée : Passage de petites molécules non-chargées prise en charge par des protéines membranaires appelées perméases qui accélèrent la diffusion de façon spécifique et peu saturable.

(fig17)

#### Transport actif

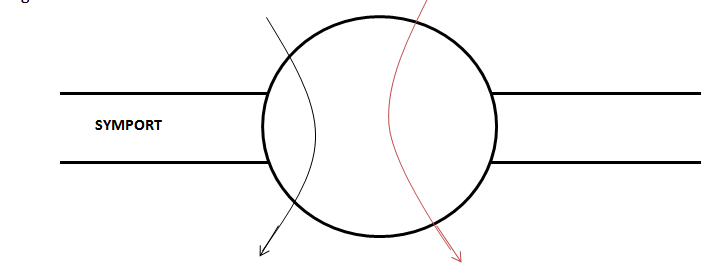
Il se fait contre un gradient de concentration et en consommant de l’énergie. Il laisse passer des ions tels que K+, Cl-, Na+, Ca2+… Les concentrations ioniques intracellulaires et extra cellulaires sont très différentes. Elles forment des gradients de concentration et des gradients de charges électriques. L’existence de ces gradients est très importante et ces gradients sont maintenus par la cellule grâce à des canaux ioniques qui consomment de l’énergie (ATP). *Ex : 50% de l’ATP consommée par un globule rouge sert à maintenir ces gradients ioniques.*

Besoin de cette différence de concentration. *Ex : Na+ - K+ ATPase = complexe protéique de la membrane plasmique qui hydrolyse de l’ATP pour faire rentrer 2K+ et sortir 3Na+ contre leurs gradients.*

(fig18-fig19-fig20-fig21)

fig20 : Potentielle électrique et gradient H+ = double source d’énergie pour la cellule. La pompe électrogène est activée par de l’ATP et véhicule des charges positives sous forme de protons.

fig21 : Le cotransport est composé de petites molécules. La source d’énergie n’est pas l’hydrolyse de l’ATP mais le gradient ionique. Le passage d’un ion suivant son gradient sert à faire passer une molécule contre son gradient. Il y a deux cas de figures : le transport symport et le transport antiport.

 Molécules Ions

Antiport : flèche rouge dans l’autre sens.

#### Voies vésiculaires

(fig22)

Elles permettent la capture de grosses molécules et particules (Ex : Bactériennes) et impliquent la fusion membranaire.

Phagocytose :La membrane plasmique se soulève autour de la particule jusqu’à former une vésicule de phagocytose.

Endocytose :Une petite zone de la membrane plasmique s’invagine pour former un puits qui va s’individualiser en vésicule contenant du milieu extracellulaire.

Exocytose **:** C’est l’inverse de l’endocytose. Elle permet la sécrétion de molécules et d’enzymes dans le milieu extracellulaire.

Application spécialisée de l’endo et exocytose :

- Le Fibroblaste : Cellule pouvant ramper le lond d’un substrat en projetant une des extrémités et en rétractant l’autre. Traitée aux colorants fluorescents faisant ressortir le cytosquelette.

- Cycle endo et exocytose contribue a la locomotion cellulaire :

- Endocytose partout sauf a l’extrémité projetée de la cellule d’ou orientation du déplacement

- Cette extrémité= siège de l’exocytose

- Cytosquelette dirige les vésicules et les fait avancer. Les mitochondies fournissent l’ATP

### Communication entre les cellules

Cette communication se fait soit directement grâce aux jonctions lacunaires soit indirectement via des signaux chimiques tels que les hormones ou les neurotransmetteurs.

Il existe deux types d’hormones : les liposolubles et les hydrosolubles.

Liposolubles : Elles diffusent à travers la membrane plasmique donc le signal rentre dans la cellule. Elles peuvent s’associer à des récepteurs cytosoliques (ou cytoplasmiques) et donc l’ensemble récepteur + hormone peut migrer vers le noyau où il fonctionne comme un facteur de transcription. L’association récepteur + hormone entraîne la transcription de nouveaux gènes et constitue une réponse lente (quelques heures) mais durable.

Hydrosolubles : Elles se fixent à des récepteurs membranaires (donc le signal reste à l’extérieur de la cellule) et on va observer la transduction du signal c'est-à-dire comment le message est amené jusqu’au cytoplasme. Elle donne une réponse rapide mais fugace.

#### Transduction du signal direct

(fig23)

Le récepteur est une protéine transmembranaire qui possède une activité enzymatique du côté du cytoplasme. La fixation de l’hormone active cette enzyme ce qui entraîne un résultat cytoplasmique. *Ex : Le récepteur de l’insuline où l’activité kinase est déclenchée par la fixation de l’insuline. La phosphorisation de la protéine cytoplasmique entraine l’activation du glycogène synthétase et le stockage du glucose alimentaire en glycogène.*

Cette transduction conduit à la phosphorylation de protéines cytoplasmiques et à la modulation de son activité.

#### Transduction du signal via messager secondaire

Dans ce cas précis, la fixation de l’hormone sur le récepteur active une hormone membranaire qui produit un messager secondaire. Ce messager secondaire migre dans la cellule et active d’autres enzymes ce qui conduit à un résultat cytoplasmique.

(fig24-fig25)

Leur structure peut être très variable.

Ex de l’AMPc qui agit sur le récepteur de l’adrénaline : (fig26)

* Activation de l’enzyme membranaire l’adénylate cyclase
* Synthèse d’adénylate cyclase et diffusion dans le cytoplasme
* Activation d’une protéine kinase cytoplasmique (PKA)
* Activation d’enzymes par phosphorylation
* Résultat cytoplasmique qui correspond au glycogène phosphorylase qui est activé et cela conduit à la libération de glucose par glycogénolyse

(fig27) : Voie du phosphatidylinositol = exemple de l’acétylcholine

* Fixation de l’acétylcholine
* Activation d’une enzyme membranaire la phospholipase C.
* Cette enzyme coupe une molécule PiP2 en IP3 et DAG.
* Le DAG reste dans la membrane et active une kinase (PKC) ce qui conduit à la phosphorylation de protéines cytoplasmiques.
* IP3 migre dans le cytoplasme et active des canaux à calcium (Ca2+)
* Il y a libération de Ca2+ dans le cytoplasme
* Fixation du Ca2+ sur une protéine appelée Calmoduline
* Modification conformationnelle de la calmoduline
* Fixation sur d’autres protéines et modification de leur activité.

### Reconnaissance du soi

Chaque être vivant possède à la surface de ses cellules des marqueurs chimiques qui le différencient des autres organismes de son espèce. On parle de molécule de reconnaissance du « soi » et du « non-soi ».   
*Exemple : Les groupes sanguins A, B, O : La différence est liée aux oligosaccharides du cellcoat (=manteau cellulaire) qui diffèrent par la présence d’un sucre.*

(fig28)

# Le réseau membranaire intracellulaire

Le réticulum endoplasmique et le golgi représentent à eux deux environ 50% de la surface membranaire totale d’une cellule.

(fig29)

## Le réticulum endoplasmique

### Structure

On distingue deux types de réticulums endoplasmiques : le REG (granuleux ou rugueux) ou le REL (lisse).

Le REG est composé de lamelles parallèles et d’une surface cytoplasmique granuleuse qui correspond aux ribosomes qui y sont accrochés.

Le REL est formé de tubules emmêlées et sa surface cytoplasmique est lisse.

(fig30)

#### La membrane

Il y a plus de protéines que dans la membrane plasmique car les fonctions enzymatiques sont nombreuses. On observe 30% de lipides et 70% de protéines, en masse. Les lipides sont de compositions peu variées, on y trouve très peu de cholestérol et surtout des phosphatidylcholines (50 à 60% des lipides de la membrane).

(fig31)

#### Le compartiment intérieur = la lumière du réticulum endoplasmique

Ce compartiment est isolé du cytoplasme par la membrane du réticulum endoplasmique.

### Fonctions du REG

Les fonctions sont communes à tous les types cellulaires et plus ou moins développées.

#### Adressage de certaines protéines

Les protéines à destination du réticulum endoplasmique, de l’appareil de Golgi, de la vacuole, des lysosomes, de la membrane plasmique et de l’extérieur de la cellule, sont synthétisées par les ribosomes accolés à la membrane du REG. Elles sont ensuite stockées dans la lumière du REG avant d’être distribuées dans le bon compartiment cellulaire.

#### Modifications post-traductionnelles des protéines

Certaines modifications post-traductionnelles se déroulent dans le REG :

* Ponts-disulfures : Ils aident à donner la bonne configuration spatiale à la protéine.
* Assemblages en oligomères : Plusieurs chaînes peptidiques s’assemblent pour former la protéine fonctionnelle. *Exemple : Les 4 chaînes de la myoglobine forment l’hémoglobine.*
* Glycosylation : Un oligosaccharide est transféré sur certains acides aminés des protéines transitant par le REG. La majorité de ces protéines est glycosylée.
* Clivage de certaines portions de ces protéines

#### Biogenèse des membranes cellulaires

Il n’y a pas de formation de novo d’une membrane, elle se forme par agrandissement d’une membrane existante. C’est le REG qui est responsable de la maintenance des membranes cellulaires.

Cet agrandissement se fait par insertion de nouveaux lipides et de nouvelles protéines dans le REG et dans le REL, puis des portions de membranes migrent dans la cellule sous forme de vésicules jusqu’à rejoindre la membrane à agrandir et fusionner avec.

### Fonctions du REL

Les fonctions sont très variables selon le type de cellule.

#### Synthèse des lipides membranaires

Acides gras = acides organiques à longues chaînes droites

R-COOH

Lipides simples = Esters d’acides gras

CH2OH-CHOH-CH2OH

Les phospholipides = Esters d’acides phosphoriques

Les lipides membranaires (phospholipides, cholestérol) sont synthétisés dans la membrane du REL. Ils migrent jusqu’au REG par voie vésiculaire. Les enzymes de chaque voie de biosynthèse sont des protéines intrinsèques de cette membrane. C'est indispensable car les différents intermédiaires sont hydrophobes donc ça ne pourrait se faire dans le cytoplasme. Au contraire les intermédiaires s'insèrent directement dans la bicouche et diffusent d'une enzyme à l'autre.

(fig32)

#### La synthèse de nombreux lipides

- Les acides gras : étapes d’élongation et de désaturation qui se font par les enzymes du REL. La désaturation est l’introduction de doubles liaisons.

- Le cholestérol : l'enzyme clé est présente dans la membrane du REL.

- Les hormones stéroïdes sont synthétisées à partir du cholestérol dans la membrane du REL.

#### Détoxification

De nombreux médicaments ou drogues sont détoxifiés par des enzymes du REL. Ces molécules sont rendues plus hydrophiles pour faciliter leur élimination via les urines.

#### Stockage du Ca2+

On observe ce stockage dans les muscles. Dans les cellules musculaires, le REL est très développé dans une forme particulière qui s'appelle le réticulum sarcoplasmique. Cette forme permet de stocker le Ca2+ et le libère au moment de la contraction musculaire. La synthèse des lipides membranaires se fait dans le REL. La synthèse des protéines membranaires se fait dans le REG.

(fig33)  
Tous ces constituants rejoignent leur compartiment de destination par migration dans des vésicules.

## L’appareil de Golgi

### Structure

(fig34, 35)

C'est un réseau constitué de nombreuses membranes organisées en dictyosome. Il y a un à cent dictysomes par cellule. Un dictyosome correspond à un empilement de citernes aplaties. Il y a quatre à dix citernes par dictyosome et on trouve des vésicules et des tubules sur les bords des citernes. Chaque dictyosome a une polarité avec trois compartiments distincts.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Zone cis | Zone médiane | Zone trans |
| Morphologie | -face convexe  -les dictyosomes sont reliés entre eux par des tubules dans cette zone |  | -face concave  -dernière citerne très fragmentée (= réticulum du trans Golgi) |
| Fonction | Capture de vésicules en provenance du REG | Maturation et tri des protéines | Envoi vers destination finale par vésicules |

### Fonctions de l'appareil de golgi

#### Adressage de protéines par le REG

Les protéines synthétisées par le REG et accumulées ensuite dans la lumière du REG transitent toujours par l'appareil de Golgi en arrivant à la face cis et en partant par la face trans.

Le REG émet des vésicules qui emportent une portion du contenu de la lumière du REG, cela s’appelle les vésicules de transition. Ces vésicules fusionnent avec la face cis d’un dyctyosome et déversent leur contenu dans la première citerne. Le transit de la face cis à la face trans se fait aussi par transport vésiculaire, les citernes ne se déplaçent pas. Des vésicules sont émises par bourgeonnement des citernes et vont fusionner avec la citerne suivante.

(fig36)

#### Modifications post traductionnelles des protéines

Ce sont des glycosylations:

-modification des oligosaccharides accrochés sur les protéines dans le REG

-ajouts de nouveaux oligosaccharides

Il y a aussi les clivages de certaines portions de la protéine.

## Les lysosomes

C'est un ensemble de vésicules de tailles et de formes variables caractérisées par la présence d'enzymes de dégradation agissant à pH acide, on les appelle en général des hydrolases acides.

### Les lysosomes primaires

*Structure :* Ce sont des petites vésicules sphériques au contenu homogène. Leur pH est acide, environ 4,8. Elles contiennent des hydrolases acides. Il y a environ une quarantaine d’enzymes différentes qui dégradent toutes les molécules biologiques en molécules de base du métabolisme. Elles n'agissent qu'à pH acide. Elles sont inactives à pH neutre dans le cytoplasme.

*Rôle :* Le rôle des lysosomes primaires est de stocker les enzymes avant utilisation.

*Formation :* Ces vésicules sont issues du Golgi où transitent les enzymes.

(fig37-fig38)

### Les lysosomes secondaires

*Structure :* Ce sont de grandes vésicules de forme irrégulière. Leur contenu est hétérogène : on peut y trouver des particules, des fractions d'organites… Leur pH est acide et elles contiennent des hydrolases acides.

*Rôle:* C'est le lysosome actif qui sert à dégrader les molécules, les organites cellulaires périmés ou les bactéries ingérées, en digérant les molécules qui les composent.

Schéma :

Formation de vacuoles digestives permettent de digérer du matériel extracellulaire. Les vésicules autophagiques permettent de digérer du matériel intracellulaire.

(fig39)

* Vacuoles hétérophagiques : L’entrée se fait par phagocytose (c'est le cas des vieilles cellules à éliminer, bactéries, virus) ou par endocytose (cela correspond aux hormones à dégrader). Le lysosome secondaire se forme par fusion d’une de ces vésicules avec un lysosome primaire. C’est dans le lysosome secondaire que se déroulent les digestions. (fig40a)
* Vacuoles autophagiques : Elles permettent de digérer du matériel intracellulaire. On distingue trois modes de formation : soit fusion d'une vésicule avec un lysosome primaire = lysosome secondaire, soit englobement d'un organite par un lysosome primaire = lysosome secondaire, soit encerclement d'un organite par le REG puis fusion avec un lysosome primaire = lysosome secondaire. (fig40b)

### Les corps résiduels

Ce sont des corpuscules circulaires ou ovoïdes ne contenant plus d'hydrolases acides. Leur rôle est d’être la « poubelle » de la cellule. Ils agissent après la digestion du matériel capturé dans les lysosomes secondaires. Ce qui est réutilisable, c’est-à-dire les molécules de base du métabolisme passent dans le cytoplasme pour être recyclées. Ce qui n'a pas pu être entièrement dégradé reste dans le lysosome secondaire et devient corps résiduel. Ce corps résiduel soit est rejeté par exocytose, soit il reste dans le cytoplasme où il s'accumule.

(fig41)

### Fonctions

(fig42)

#### Entretien de la cellule

Il se fait par les vacuoles autophagiques. Cela correspond à la digestion des produits nutritifs absorbés par la cellule. Elles ont un rôle de dégradation et de recyclage des organites cellulaires. La demi vie d’une mitochondrie est de 10 jours.

#### Entretien de l'organisme

Il se fait grâce aux vacuoles hétérophagiques. (La durée de demi-vie d'un globule rouge est de 3mois.)

-fonction de défense = élimination des bactéries et virus

-élimination des cellules sénescentes = cellules qui ont perdu leur capacité à être performantes

#### Cas particulier de la fécondation

La tête du spermatozoïde, ou acrosome, est un gros lysosome dont les enzymes vont dégrader l’enveloppe protectrice de l'ovule pour parvenir jusqu'à la membrane plasmique.

(fig42)

## Conclusion sur le réseau endomembranaire

#### Continuité

-Dans l'espace : le REG, le golgi et le lysosome sont souvent associés car ils sont en continuité dans l'espace et dans le temps. Le REG est relié directement au REL. De plus les dictyosomes sont reliés entre eux.

-Dans le temps : on observe un flux de vésicules permanent entre les différents compartiments.

(fig43-fig44)

#### Adaptabilité

Ce réseau s'adapte très rapidement aux besoins de la cellule.   
Exemples : Lorsqu'il y a une forte dose de médicament, on observe l’hypertrophie du REL dans le foie pour détoxifier. Pour la synthèse d'insuline, on observe un fort développement du REG et du golgi dans le pancréas. Dans les leucocytes, on observe beaucoup de lysosomes secondaires.

#### Le renouvellement

Ce réseau endomembranaire permet la biogenèse (= renouvellement de manière générale) des membranes dans le réticulum endoplasmique, la distribution de ces membranes dans toute la cellule par le flux de vésicules et la dégradation de portions de membrane par les lysosomes.   
*Exemple : La durée de vie d'une cellule de foie est de 6 à 12mois mais la durée de vie de ses protéines membranaires est de 6 à 20 jours.*

# Les organites cytoplasmiques

Ils ont une structure entièrement délimitée par une membrane biologique (définit un compartiment interne qui est différent du cytoplasme), ils sont bien individualisés (différents du réseau membranaire).

## La mitochondrie

C’est la centrale énergétique de la cellule.

### Structure

La mitochondrie est en forme de bâtonnet. Le nombre de mitochondries est très variable par cellule selon les besoins énergétiques. Il y a environ 2000 mitochondries par cellule hépatique. Elles peuvent représenter jusqu’à 25% du volume du cytoplasme. Ces mitochondries sont mobiles dans le cytoplasme (= cyclose). L’ensemble des enzymes des mitochondries d’une cellule est appelé le chondriome.

(fig45)

#### L’enveloppe mitochondriale

La mitochondrie est composée de deux membranes très différentes : la membrane externe et l’espace intermembranaire.

La membrane externe**:** Assez similaire à la membrane plasmique eucaryote (40% de lipides, 60% de protéines en masse) et de nombreuses protéines qui forment des pores. On les appelle les porines. La membrane est donc très perméable aux petites et moyennes molécules.

L’espace intermembranaire**:** Il ressemble au cytosol (= cytoplasme sans les organites). La membrane interne est très différente de la membrane externe et plus proche de la membrane d’une bactérie (procaryote) (20% de lipides, **80% de protéines** d’où un rôle fonctionnel très important). Il y a plus de 60 protéines différentes dans cette membrane. Elles correspondent aux enzymes et protéines de la chaîne respiratoire, des protéines de transport et des ATP synthétases. La surface de contact est augmentée grâce aux crêtes (membrane 5 à 20 fois plus grande que la membrane externe).

(fig46)

#### Matrice mitochondriale

* Les mitoribosomes sont différents des ribosomes cytoplasmiques. Ils ressemblent aux ribosomes bactériens.
* mtDNA ou ADNmt : double brin circulaire, sans histones (nu) et de petite taille (cf plasmide bactérien).
* Les enzymes : Enzymes de la réplication, transcription, traduction et il y a aussi des enzymes qui correspondent au cycle du citrate, ou les enzymes du cycle de la βoxydation.
* Des particules : Elles correspondent à des complexes multienzymatiques.

### Fonctions

#### Fin des voies de catabolisme

* Obtention de l’acétyle CoA :
  + Décarboxylation oxydative du pyruvate
  + βoxydation des acides gras
  + cétolise
* Oxydation de l’Ac CoA => CO2

#### La chaîne respiratoire

Les unités monétaires énergétiques de la cellule :

* Le NADH (= nicotinamide adénine dinucléotide) est la molécule la plus riche de la cellule en énergie. C’est donc un réducteur fort (réagit dans de nombreuses réactions de réduction)  
  NADH + H+ + X  NAD+ + H2X  
  On appelle réduction l’addition de 2 atomes d’H à une molécule ou l’élimination d’un oxygène.  
  NADH agit dans de nombreuses réactions de réduction. Quand il se comporte en unités énergétiques, il transfère deux atomes d’H à l’O2, on a formation d’eau et libération de beaucoup d’énergie (206 kJ).
* Nucléotides triphosphates (ATP + GTP…). Quand un ATP est hydrolysé, 30 kJ sont libérés.
* Le gradient d’H au travers de la membrane mitochondriale : fort gradient électrochimique observé entre l’intérieur et l’extérieur des cellules. Ce fort gradient permet aux ions hydrogène de passer de l’espace intermembranaire vers la matrice mitochondriale en libérant 17kJ.
* Le gradient sodium au travers de la membrane plasmique : Les Na+ sortent grâce à un gradient électrochimique et génèrent 15 kJ par molécule sortant du cytosol.

(fig48)

La chaine respiratoire est la transformation de l’énergie chimique de la monnaie redox en énergie osmotique. On observe le transfert des électrons du NADH, H+ et de FADH2 jusqu’à O2 qui est l’accepteur final via une cascade d’oxydorédution.

On observe la formation d’un gradient de protons. Le passage des électrons permet de faire sortir des H+ de la matrice vers l’espace intermembranaire. Dans la matrice le pH est de 8, dans l’espace intermembranaire comme dans le cytoplasme le pH est de 9.

(fig48)

#### La phosphorylation oxydative

Elle s’observe au niveau d’une ATP synthétase (ou ATPase), composé de 15 monomères qui forment 2 sous unités. Dans la membrane de la mitochondrie on peut trouver 2000 à 4000 ATPase par micromètre carré. Le passage de 3H+ suivant leur gradient permet de phosphoryler une molécule d’ADP en ATP. Le mécanisme précis est inconnu.

Les électrons, cédés par les coenzymes réduits, cèdent leur énergie dans la chaine respiratoire et finissent par réduire le dioxygène.

(fig49)

### Biogenèse

#### Le ADNmt

(fig51)

Il est double brin, circulaire et sans protéines histones.

On observe plusieurs coquilles identiques de cet ADN par mitochondrie. Sa taille est très variable en fonction des organismes. Chez l’Homme c’est 17kPb. Chez la levure cela représente 78kPb et chez les plantes 200 000 Pb. Le nombre de gênes est limité et constant quelle que soit la taille du génome.

Deux ou trois gènes codent pour les mtARNr, 20 à 30 mtARNt existent et 10 à 20 gènes codent pour des protéines.

Ces 40 gènes sont transcris et traduits dans la matrice grâce aux mitoribosomes et forment des sous-unités qui ne sont jamais des enzymes entièrement fonctionnelles. La mitochondrie importe des protéines ou des sous-unités protéiques depuis le cytoplasme pour permettre de réaliser toutes les activités métaboliques. La mitochondrie possède un ADN autonome capable de réplication/transcription/traduction autonomes mais elle n’est pas autonome en protéines (elle importe des protéines du cytoplasme)

(fig52)

#### La chondrodiérèse

La membrane mitochondriale n’est jamais formée de novo. Chaque mitochondrie dérive d’une mitochondrie mère par division binaire : c’est le phénomène de chondrodiérèse.

* Réplication du mtDNA
* Invagination de la membrane interne pour séparer la matrice en 2 compartiments
* Invagination de la membrane externe
* Fusion membranaire

(fig53)

*Remarque : L’hérédité mitochondriale est maternelle parce que les mitochondries du spermatozoïde ne pénètrent pas dans l’ovule. Donc toutes les mitochondries d’un individu dérivent des mitochondries de sa mère.*

#### Origine évolutive des mitochondries

Constat : Organites entourés de deux membranes, qui possèdent de l’ADN et la structure interne d’une bactérie.

C’est un organite qui présente de nombreuses caractéristiques procaryotes (circulaire avec des ribosomes mitochondriaux, membrane interne, structure des gènes).

Élaboration d’une théorie endosymbiotique : On pense qu’il y a 2 ou 3 milliards d’années, une bactérie a été capturée par une cellule eucaryote. Cette bactérie aurait d’abord vécue en symbiose (de nombreux organismes hébergent ainsi des bactéries symbiotiques) : La cellule lui apportant une protection et des métabolites. La bactérie offre une production efficace d’ATP puis la bactérie aurait perdu son autonomie : tout son métabolisme sauf la respiration, et une partie de son génome (divisé par 10).

## Autres organites producteurs d’énergie

### Les péroxysomes

Ce sont de petites vésicules limitées par une seule membrane, caractérisées par une enzyme appelée la catalase.

2H2O2  O2 + 2H2O : sous l’effet de la catalase.

Ces péroxysomes sont présents dans toutes les cellules animales et la plupart des cellules végétales. Ils sont impliqués dans de nombreuses réactions d’oxydation (acides gras, glucides) et ils permettent d’éliminer par la catalase l’H2O2 .

### Les glyoxysomes

Ce sont de petites vésicules qui possèdent une seule membrane seulement. Ils sont présents dans les cellules végétales seulement, en particulier dans les graines en germination. Leur rôle est de transformer les acides gras de réserve en glucose (pour le développement de la plantule) grâce à une association entre un glyoxysome et une mitochondrie.

(fig55)

## Les chloroplastes

Ils assurent la photosynthèse chez les plantes, les algues et certaines bactéries.

### Structure

Ils sont de forme et taille très variables selon les organismes. Ils sont plus grands que les mitochondries. On trouve en général 5 à 20 chloroplastes par cellules.

(fig56)

#### Enveloppe chloroplastique

L’enveloppe chloroplastique est formée de deux membranes :

* une membrane externe assez perméable grâce aux porines
* un espace intermembranaire qui est peu différent du cytoplasme (pH=7)
* une membrane interne qui est la barrière de perméabilité du chloroplaste, elle forme quelques replis, elle est moins développée que les crêtes mitochondriales.

#### Intérieur

On y trouve le stroma. Il est composé de chlororibosomes, d’ADN chloroplastique appelé chADN, d’enzymes du cycle de Calvin, des inclusions (amidons, lipides). Dans le stroma pH vaut 8. On a aussi un système de vésicules aplaties nommées les thylakoïdes, empilés en grana. Les thylakoïdes sont composés d'une membrane qui est le lieu de la photosynthèse. On y trouve donc les protéïnes de la photosynthèse et les pigments, dont la chlorophylle. L’intérieur du thylacoïde est la lumière. La lumière du thylakoïde a un pH de 5.

=> Trois compartiments différents : espace intermembranaire, stroma et lumière du thylakoïde

(fig57)

### La photosynthèse

### 

H2O phase lumineuse O2 (au niveau de la membrane thylakoïde)

APP NADPH, H+

CO2 phase obscure glucose / stroma

#### La phase lumineuse

* Les photosystèmes

Ils sont composés de deux grandes structures : complexe photocolecteur et centre réactionnel :

-Le complexe photocollecteur est caractérisé par la présence de nombreux pigments (chlorophylle et caroténoïde). Un pigment est percuté par un photon, passe à l'état excité et transmet cette excitation au pigment voisin jusqu'au centre réactionnel.

-Le centre réactionnel est composé de deux chlorophylles. C’est le lieu de convergence de toute l’énergie des photons.

(fig58-fig59)

* pSII

La chlorophylle excitée cède un électron riche en énergie qui va être pris en charge par des transporteurs d'électrons jusqu'au pSI. En chemin l'électron perd de l'énergie qui est utilisée pour établir un gradient de H+. La chlorophylle ayant perdu un électron devient un oxydant puissant capable d'oxyder l'H2O pour récupérer des électrons.

H2O 1/2O2 +2H++2e- : par photolyse   
H+ : participe au gradient H+   
e- : capté par la chlorophylle   
O2: déchet de la photosynthèse

(fig60)

* pSI

La chlorophylle excitée par la lumière cède un électron riche en énergie qui est pris en charge jusqu'à réduire NADP+ en NADPH. La chlorophylle, ayant perdu un électron, récupère l’électron venu du pSII.

H2O + NADP+ 1/2O2 + NADPH, H+ + 6H+ 4 photons

(fig60)

* Phosphorylation

Elle se déroule grâce à des ATPase. Il existe des ATPase très similaires à celles des mitochondries qui permettent le passage de 3H+ vers le stroma qui permet de phosphoriler un ATP.

Le bilan de la phase lumineuse:

H2O 1/2O2+2ATP+NADPH, H+ 4photons

Énergie biologique

#### La phase obscure

Cette phase correspond au cycle de Calvin. Elle se déroule dans le stroma. Il y a d'abord fixation du CO2 sur un pentose grâce à la rubisco. La réduction des trioses en GA3P se déroule aussi dans le stroma. Deux GA3P vont former un glucose par néoglucogenèse.

Bilan de la phase obscure : 6O2 + 6H2O (consommation de 18 ATP + 12NADPH, H+) = 1 glucose

(fig61)

### Biogénèse

#### Le chl ADN

C'est un ADN double brin, circulaire et nu. Il est de petite taille de 120mille à 160mille paires de bases. Le nombre de gènes est d’environ 120. On a 4 gènes codent chlARNr, 37 gènes codent chlARNt et environ 80 gènes codent pour des protéines. Ces gènes sont transcrits et traduits dans le chloroplaste grâce aux chlororibosomes. Les protéines ne forment pas des enzymes fonctionnelles mais seulement des sous unités. Le chloroplaste importe le reste depuis le cytoplasme.

(fig62)

#### La chlorodiérèse

La chlorodiérèse est comme la condodiérèse. On observe la division d'un chloroplaste en deux.

#### Origine évolutive

Comme pour la mitochondrie, il y a 1.7 MA on pense qu’une bactérie photosynthétique a été capturée par une cellule eucaryote. Ce serait un évènement plus récent que pour la mitochondrie, ce qui expliquerait un génome moins réduit.

## La vacuole

C’est un compartiment isolé du cytoplasme par une membrane appelée le tonoplaste. Dans les cellules animales, les vacuoles sont toutes petites, presque inexistantes et ont un rôle réduit : elles correspondent à 1 à 2% du volume total. Chez les végétales, elles représentent jusqu'à 90% du volume total, elles ont donc un rôle important.

(fig63)

### Compartiment de stockage

Dans le tonoplaste, on a deux pompes à H+ différentes. L’énergie consommée par la vacuole est de l’ATP. On observe un gradient de H+ entre la vacuole (pH de 3 à 6) et le cytoplasme (pH=7). Ces différents éléments ont pour conséquences le stockage des ions, du saccharose et des déchets du métabolisme. En effet, l’utilisation du gradient H+ permet de faire entrer les cations par antipores H+-cations. Ce gradient permet aussi de faire entrer du saccharose par antipores H+-saccharose. Ces deux transports sont actifs. La vacuole contient des hydrolases actives à pH acide, ce qui permet la dégradation des déchets.

(fig64)

### Contrôle des échanges hydriques de la cellule

A cause de l'accumulation d'ions et de saccharose, la pression osmotique dans la vacuole est très élevée, plus élevée que celle du cytoplasme ou que celle du milieu extérieur. Ceci permet de pomper l'eau dans le sol, même si le sol n'est pas très humide (pas de danger d’éclatement de la cellule grâce à la paroi végétale). Cette différence de pression osmotique permet aussi une augmentation de taille de la cellule lorsque la cellule est jeune et que la paroi squelettique est encore déformable. L'entrée d'eau permet d'agrandir la paroi et donc la cellule.

## Le noyau

Le noyau est un organite bien particulier, de taille plus importante que les autres organites et dont le rôle est essentiel. En général, il y a un noyau par cellule.

*Exemple : Le globule rouge perd son noyau et survit 3 mois. Les cellules musculaires (avec plusieurs noyaux) subissent plusieurs mitoses sans séparation des noyaux des cellules filles.*

### L'enveloppe nucléaire

#### Structure

L’enveloppe nucléaire est une double membrane. La membrane extérieure est en continuité avec le REG, elle isole un espace internucléaire entre la membrane interne et la membrane externe. Sous la membrane interne se trouve une couche de lamina. C’est un réseau de fibres ou un treillis épais formé de protéines, les lamines, qui sont polymérisées. Elles épousent la forme du noyau et permettent un ancrage à l’ADN. On a aussi des pores nucléaires, ce sont plusieurs protéines assemblées en un canal assemblant les deux membranes. Il existe plusieurs milliers de pores par noyau. Ils correspondent à jusqu’à 25% de la surface du noyau. Ces pores forment un filtre pour contrôler les échanges entre le noyau et le cytoplasme.

Fig65-66

*Exemple : Le pore reconnait la coiffe des ARNm grâce à CBP (cape binding protein).*

#### Rôle

L’enveloppe protège le nucléoplasme de l’action des enzymes lithiques du cytoplasme. Elle permet aussi des échanges contrôles grâce aux pores nucléaires.

### Le nucléoplasme

#### La chromatine

La chromatine est l'association de l'ADN (13%) avec des protéines histones (75%) et avec un peu d’ARN (12%). La chromatine sert de support de l’ADN. Elle permet son compactage en chromosomes et participe à l'expression de la régulation des gènes. On distingue l'eu-chromatine, la chromatine est diffuse et décondensée, forme la fibre nucléosomique, et l’hétérochromatine, lorsque la chromatine est condensée (=fibre épaisse) et que l'on trouve en périphérie.

#### Le nucléole

On distingue une tâche colorée différente du reste du noyau, elle est identifiée visuellement. Le nucléole contient de l'ADN codant pour des ARNr par l’ARN polymérase I, des protéines de structure et des protéines ribosomiales. C’est le lieu de l’assemblage des ribosomes et donc de synthèse des ARNr.

#### Structuration du nucléoplasme en territoire

Un réseau de fibres structure le nucléoplasme en différentes zones. Il y a une zone de chromatine non transcrite, proche de l'enveloppe nucléaire et une zone de chromatine transcrite, proche du centre du noyau. Il existe aussi une zone sans chromatine qui est la zone de maturation des ARNm.

(voir schéma vers fig 67)

# Particules cytoplasmiques et cytosol

Le cytoplasme constitue tout ce qui est « à l’intérieur » de la membrane plasmique, sauf le noyau. Après sédimentation du cytoplasme, on va obtenir des membranes, des vésicules, des organites et des particules qui ne sont pas enveloppées d'une membrane et qui sont trop grosses pour être en solution. Ce qui ne sédimente pas, c’est-à-dire ce qui reste en solution, est appelé le cytosol ou le hyaloplasme.

## Le cytosquelette

Le cytosquelette est un réseau d'éléments protéiques filamenteux et tubulaires qui se trouve dans le cytoplasme.

(fig69-fig70)

### Les microtubules

#### Structure

* Formation

Ces molécules sont formées de protéines globulaires qui sont appelées des tubulines : alpha et béta. Elles s'associent en dimères alpha-béta. Ces dimères s'associent en protofilaments qui sont des suites d’alpha-béta. Treize proto-filaments s'associent en parallèle pour former un tube, c’est ce que l’on appelle le microtubule.

* Caractéristiques

On en trouve dans toutes les cellules. Ils sont rectilignes et ne sont jamais ramifiés. Leur diamètre est de 24nm et leur longueur peut varier de 0,1 à 30 micromètres. Ils sont à la taille de la cellule.

* Propriétés

Ces microtubules sont dynamiques, c’est-à-dire que des dimères sont en permanence ajoutés ou enlevés aux extrémités. Les microtubules sont polarisés, c’est-à-dire qu’ils sont toujours orientés de la même manière. On observe une extrémité + très dynamique, où les microtubules s’agrandissent ou se raccourcissent, et une extrémité – qui est très peu dynamique.

(fig71)

#### Les microtubules isolés

Ces microtubules isolés rayonnent à partir d'une région appelée centrosome ou MTOC (centre organisateur de MT). Cette région est située près du noyau. Elle contient deux centrioles (sauf chez les plantes) et les extrémités négatives des microtubules (stables).

(fig72)

Ils servent à maintenir les formes de la cellule. Ils ont un rôle de transport des chromosomes durant la mitose et de transport intracellulaire : les vésicules et les particules sont transportées le long de ces microtubules, comme sur un rail.

(fig74-fig75)

#### Les structures pluritubulaires

On en distingue deux types : les centrioles et les corpuscules basals. Ce sont des particules cylindriques de faible longueur et de même structure.   
Elles sont formées de neuf triplets de microtubules qui forment un tube. Chaque triplet est composé d’un microtubule avec 13 filaments et de deux structures avec dix filaments.

(fig76)

Le centriole est présent dans les MTOC des cellules animales. Il forme deux tubes perpendiculaires et se reproduit juste avant le début de la mitose. C'est le centre de formation des microtubules isolés dans la cellule.

Le corpuscule basal est situé à la base d'un cil ou d'un flagelle. Il est toujours seul et il sert d'ancrage à l'axonème de la cellule.

#### L’axonème

L'axonéme est une particule cylindrique de grande longueur. Il est caractérisé par 9 doublets de microtubules, associés pour former un tube, et deux microtubules axiaux qui s’y ajoutent. Il sert d’armature au cil et au flagelle. Chaque doublet est formé d’un premier tube qui fait 13 protofilaments et d’un deuxième qui en fait 10. C'est une protubérance très fine et allongée que l'on trouve dans le cytoplasme. Il a un rôle dans la perception auditive, dans l’élimination des poussières et dans le déplacement des spermatozoïdes.

(fig77-fig78-fig79)

La dinéine est une protéine motrice qui permet un mouvement de l’axonème si on lui fournit de l’énergie.

(fig80)

### Les microfilaments

#### Structure

Ils sont composés d’une protéine globulaire appelée l'actine G. Cette protéine polymérise en filament torsadé pour former de l'actineF ou actine. C’est ce que l’on appelle un microfilament. Ils sont rectilignes, jamais ramifiés, présents dans toutes les cellules et ont un diamètre de 7 nm. Ce sont des filaments dynamiques et plus stables que les microtubules. Ils sont polarisés : les actines G sont toujours orientées de la même manière. L’extrémité + est la plus dynamique et l’extrémité – est la moins dynamique.

#### Rôle de l'actine dans la contraction musculaire

(fig82-fig83a-fig84)

La myosine est composée de quatre chaines peptidiques qui sont chacune formées d’une queue rigide et d’une tête articulée. Plusieurs tétramères s’agglomèrent pour former un filament épais, hérissé de têtes. Lors de la contraction musculaire, les têtes de myosine se fixent sur l'actine et la consommation d'un ATP permet un changement de conformation des têtes. Cela induit un déplacement de la myosine par rapport à l'actine et permet un raccourcissement de la fibre musculaire.

(fig83b)

#### Les autres rôles

- Ils ont un rôle de soutien de la forme cellulaire. Les microfilosités sont soutenues par un faisceau de microfilaments. On observe un glissement de vésicules et d'organites, le long des microfilaments : c’est le phénomène de la cyclose. (fig84a)

- Ils ont un rôle de structuration du cytosol par réticulation. (fig84b)

### Les filaments intermédiaires

#### Structure

Ils sont composés de cinq groupes de protéines très similaires qui s’assemblent de manière identique. Des protéines fibreuses s’associent en tétramères et s’ajoutent les unes à la suite des autres pour former un protofilament. Huit protofilaments forment le filament intermédiaire.

(fig85)

#### Rôles

Ce sont les composants majeurs des cheveux et des ongles. Ils forment une armature pour le cytoplasme. Ils permettent le soutien de l’axone des neurones (= neurofilaments) et le soutien l’enveloppe nucléaire au niveau de la lamina.

### Le réseau trabéculaire

Des filaments de 3nm de diamètre forment un réseau très enchevêtré. Ils formeraient l’armature fine du cytoplasme, organiseraient et positionneraient les organites, les ribosomes et les complexes enzymatiques les uns par rapport aux autres.

(fig87)

## Le cytosol

Le cytosol correspond à tout ce qui ne sédimente pas.

### Structure

Il est composé de 70 à 80% d'eau et de 20 à 30% de protéines. Son pH est de 7. C'est un élément assez difficile à analyser car les concentrations en protéines sont souvent trop faibles et, in vivo, il y a beaucoup d’artéfacts. La conception actuelle est celle d’un système très organisé avec une localisation précise des constituants (grâce au cytosquelette) et dont la consistance est variable, et ceci au sein d’une même cellule. Parfois la cellule est dans un état quasi liquide, gélatineuse et parfois elle est dans un état semi solide lorsque les filaments d'actine se réticulent. Tout est alors immobilisé.

### Rôle

C'est le siège de très nombreuses fonctions métaboliques d’où la présence de milliers d’enzymes. Le réseau trabéculaire favoriserait la rencontre entre l’enzyme et le substrat. C'est le lieu de stockage de certains produits sous la forme d'inclusions (qui ne sont pas entourées de membranes). Ces inclusions peuvent être des acides gras, des gouttelettes lipidiques, du glycogène…

(fig88)

# L'extérieur de la cellule

## La matrice extracellulaire des cellules animales

Cette matrice est un réseau de macromolécules sécrétées par les cellules et qui les entoure.

### Les constituants de la matrice extracellulaire

#### Les collagènes

C'est la protéine la plus abondant dans le règne animal. Elle correspond à 25% des protéines, en masse. Ce sont des protéines fibreuses sans structure secondaire qui forment des fibres très résistantes (plus résistantes que l’acier à poids égal). Elles servent d'armature dans la matrice et permettent la résistance à la traction et à la déformation.

(fig89)

#### Les protéoglycanes

Ils forment une charpente protéique de la cellule sur laquelle de nombreux ploysachariques sont accrochés. Cette région est donc hydrophile et permet la capture de beaucoup d'eau.

(fig90)

#### L'hyaluronate

C'est un polysacharide très long (jusqu’à 100mille monomères), très répétitif (deux types de monomères répétés) et très hydrophile. Il capte beaucoup d'eau (jusqu'à 10mille fois plus que le volume de la molécule). Il forme un gel qui permet la résistance à la compression et l'absorption des chocs.

(fig91)

#### La fibronectine

Elle est composée de deux protéines fibreuses qui sont attachées par leurs extrémités C terminales. Elles possèdent des sites de fixation aux collagènes, aux protéoglycanes et aux cellules. La fibronectine permet donc de faire le lien entre la cellule et la matrice.

(fig92)

## Rôle de la matrice

#### Adhésion des cellules entre elles

Dans un tissu, les cellules ne sont jamais parfaitement accolées mais elles sont séparées par une matrice plus ou moins large.

(fig93)

Dans le muscle de la paroi artérielle, de nombreuses cellules sont séparées par une fine matrice qui est composée de collagènes (résistance à la déformation), de protéoglycanes et de hyaluronates (flexibilité), et de fibronectine (arrimage des cellules à la matrice).

#### Composant principal du tissu conjonctif lâche

Ce tissu sert à la fois de support à de nombreux organes et aussi de remplissage entre ces organes. Par exemple, le tissu conjonctif lâche sous l'épiderme forme une couche épaisse sous la peau qui permet la diffusion de l'O2 et des nutriments, depuis les capillaires vers l'épiderme. Il est composé de nombreuses cellules de fibroblastes (qui synthétisent la matrice). Ces cellules sont noyées dans une matrice importante, composée du collagène en réseau lâche et de protéoglycanes. Cette consistance de gel permet une diffusion facile de l'O2 et des nutriments.

(fig94)

#### Les propriétés mécaniques dans les os, les tendons et le cartilage

Ce sont des tissus très pauvres en cellules et principalement constitués d'une matrice responsable de la rigidité, de la résistance et de la flexibilité. Dans un tendon, on observe de rares cellules fibroblastes qui sécrètent les constituants de la matrice et en particulier du collagène organisé en faisceaux de fibres parallèles qui permet une grande résistance à l’attraction, sécrète le protoeoglycane et hyaluronate (résistance à la déformation).

#### Communication entre cellules

La matrice n'a pas qu'un rôle structural, elle joue aussi un rôle fonctionnel. Par exemple, les hormones et les facteurs de croissance du sang diffusent hors des capillaires et sont captés par la matrice qui les fixe à proximité des cellules cibles et les protège des dégradations enzymatiques. La matrice renforce l'action de ces hormones.

Remarque: la matrice extracellulaire est synthétisée par les cellules à proximité. Il y a une synthèse de ces molécules dans le cytoplasme des précurseurs (comme le tropocollagène) et des molécules, comme les fibronectines ou glycoprotéines. Tout ceci est sécrété par exocytose puis assembler à l'extérieur de la cellule. Dans la matrice le tropocollagène devient collagène et, les protéines et les glycoprotéines forment les protéoglycanes. La matrice est une extension des cellules à proximité. Selon les cellules, la matrice est différente, elle peut être très souple et élastique dans le cartillage, elle peut être très résistante et dure dans les os et très déformable dans les muscles.

## La paroi squelettique des vésicules végétales

Il n'y a pas de matrice extracellulaire chez les cellules végétales mais une paroi rigide caractéristique.

### Les constituants de la paroi

#### La cellulose

C'est le constituant le plus abondant sur terre. C'est un polymère linéaire, rigide et composé de glucose qui s'organise en micro fibrilles parallèles et insolubles.

(fig96)

#### L'hémi-cellulose

C'est un squelette de cellulose sur lequel on observe des branchements de courts oligosacharides.

(fig97)

#### Les pectines

Ce sont des polysaccharides avec de nombreux groupements COOH. Ce sont des molécules très hydratées. Ces pectines forment un gel qui emprisonne les fibrilles de cellulose (proche du hyaluronate).

(fig97)

#### La lignine

C'est un polymère complexe avec de nombreux groupements phénols. Elle rigidifie les tissus et il est très abondant dans le bois où il rigidifie les vaisseaux conducteurs de sève.

### Formation de la paroi

Toutes ces molécules sont synthétisées dans le cytoplasme, puis sécrétées par exocytose au niveau de la membrane plasmique. On observe donc la formation d'une couche à l'extérieur de la membrane plasmique, ce qui fait que la couche suivante se retrouve plus près de la membrane plasmique et la couche initiale est la plus éloignée.

#### La lamelle moyenne

C'est une couche mince formée surtout de pectine et de lignine qui correspond à un ciment liant les deux cellules. Elle est synthétisée par les deux cellules filles après mitose. Il y a donc une seule lamelle moyenne commune aux deux cellules. Elle est synthétisée en premier. (voir schéma)

#### La paroi primaire

C'est une couche mince formée de 20% d'hémicellulose, 10% de cellulose et le reste constitue des pectines, des lignines, des lipides et des protéines. Cette paroi est synthétisée par chaque cellule fille. On a donc deux parois primaires de part et d'autre de la lamelle moyenne. La cellulose forme un réseau lâche qui peut encore se déformer, la cellule peut donc encore s’allonger. Elle est synthétisée en second. ( voir schéma)

#### La paroi secondaire

C’est une couche épaisse, formée de cellulose et d’ hémicellulose. Elle est synthétisée par chaque cellules filles donc la paroi secondaire est la plus proche de la membrane plasmique.   
La cellulose s'oriente de manière particulière dans chaque couche de la paroi secondaire, ce qui forme une structure parfaitement rigide.   
Dans certaines parois secondaires des tissus lignifiés, on trouve la lignine. (fig100-fig101)

# Adressage des protéines

Les protéines sont synthétisées dans le cytoplasme, au niveau des ribosomes. Comment les protéines rejoignent leur compartiment de destination ? C’est ce qu’on appelle l’adressage. Il y a deux mécanismes très différents selon la destination de ces protéines.

En plus de cet adressage, les protéines subissent des modifications post-traductionnelles, que l’on nomme la maturation. Le tri, selon les deux types de transfert, se fait très tôt. Tous les ARNm commencent leur traduction dans le cytoplasme en s’associant avec un ribosome libre. Il y a ensuite les deux types de transfert : le transfert co-traductionnel (pendant la traduction) et le transfert post-traductionnel (après la traduction).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Transfert | Co-traductionnel | Post-traductionnel |
| Ribosome | Accroché au REG | Libre dans le cytoplasme |
| Compartiments de destination | * Lysosomes * Extérieur * Membranes   Plasmique  Noyau  RE  Golgi  Lysosome  Vacuole   * Golgi * RE * Vacuole | * Noyau * Mitochondrie * Chloroplaste * Péroxysome, glyoxysome * Protéine périphérique de la membrane plasmique (côté cytoplasmique) * Cytoplasme |

(fig102)

ARNm : traduction dans le cytoplasme + association avec un ribosome libre

Les premiers aa traduits comportent Pas de séquence particulière  
une séquence particulière

Le ribosome s’accroche au REG Le ribosome reste libre dans le cytoplasme

Transfert co-traductionnel Transfert post-traductionnel

## Le transfert co-traductionnel

### Synthèse protéique au niveau des REG

#### Accrochage du ribosome contre le REG

Les premiers acides aminés traduits forment une séquence particulière hydrophobe (16 à 30 aa) que l’on appelle peptide signal ou séquence signal. Cette séquence est reconnue par la particule SRP. Cette SRP est reconnue par un récepteur situé dans la membrane du REG (récepteur de SRP). Ceci permet l'ancrage du ribosome et de l'ARNm en cours de traduction, sur la face cytoplasmique du REG (il n’entre pas dans le REG). Cette séquence est aussitôt clivée, elle ne fait pas partie de la protéine mature. La préproprotéine devient la proprotéine par suppression du peptide signal. (Voir schéma)

(fig103-fig104a)

#### Transfert de la protéine dans le REG

La chaine peptidique en cours de formation traverse la membrane du REG à travers un tunnel protéique. L'extrémité N terminale se trouve dans la lumière du REG et l'extrémité C terminale en cours de formation se trouve du côté cytoplasmique. Au fur et à mesure de son allongement, la chaine peptidique se déploie dans la lumière du REG. Elle n'est jamais dans le cytoplasme et passe directement dans le REG. La traduction a lieu dans le cytoplasme mais la protéine est libérée au fur et à mesure dans le REG.

(fig104b)

#### Libération de la protéine dans le REG

Quand le ribosome arrive sur un codon stop, il se sépare de l'ARNm et se dissocie en deux sous-unités. Il quitte la membrane du REG et se retrouve libre dans le cytoplasme. La protéine finit de traverser la membrane et est entièrement libérée dans la lumière du REG.

(fig104b)

#### Cas particulier des protéines membranaires intrinsèques

Les protéines intrinsèques (des membranes plasmique, des ribosomes, de Golgi) ne sont pas libérées entièrement dans la lumière du REG. Elles comportent une ou plusieurs portions hydrophobes, que l'on appelle les séquences topogènes et qui correspondent au domaine transmembranaire. Lors du transfert, ces portions hydrophobes restent bloquées dans la membrane (= séquences d’arrêt du transfert). S’il y a une deuxième séquence topogène, le transfert reprend puis s'arrête à la prochaine portion hydrophobe. La protéine se retrouve alors avec sa localisation caractéristique dans la membrane du REG (L’extrémité N terminale se trouve souvent dans la lumière du REG). S’il y a plusieurs séquences topogènes, le départ est le même mais on a des inversions au niveau de la membrane plasmique.

(fig105-fig106) + voir schéma 1

### Maturation dans le réseau endomembranaire (=modifications post traductionnelles)

Les maturations correspondent aux modifications post-traductionnelles. Ces maturations se font en même temps que l'adressage dans le REG, puis dans le golgi, puis dans les vésicules issues du golgi.

#### Obtention de la structure tertiaire et quaternaire dans le REG

Il y a formation de ponts disulfure SS au fur et à mesure que la protéine sort dans la lumière. On a l’obtention de la structure tertiaire correcte (c'est à dire la plus stable) au fur et à mesure par repliements successifs. On a l’obtention de la structure quaternaire éventuelle par association de plusieurs chaines peptidiques repliées.

#### Glycosylation dans le REG et dans le Golgi

* Les oligosaccharides liés à l’azote (sur l’Asparagine)

Ces sucres sont synthétisés dans le REG sous forme d'un précurseur de 14 monomères. Ils sont liés au dolichol (long lipide torpédique). Ils sont ensuite transférés sur certaines asparagines, lorsqu'elles émergent dans la lumière du REG. L’oligosaccharide est aussitôt remanié avec la perte de mannose et de glucose dans le REG. Toutes les protéines quittent le REG avec le même oligosaccharide. Il est remodelé dans le golgi de manière sélective (en fonction des protéines), ce qui entraine la perte ou l’ajout de monomères qui conduit au fait que chaque protéine quitte le golgi avec certains oligosaccharides caractéristiques.

(fig107-fig108) + Schéma 2

* Les oligosaccharides liés à l’oxygène (sur Ser et Thr)

L'oligosaccharide est synthétisé au fur et à mesure directement sur la protéine. Cela se fait surtout dans le golgi et commence parfois dans le REG.

#### Clivages dans les vésicules de transport (=post golgi)

Certaines protéines sont synthétisées sous une forme inactive. Cela évite certains effets désastreux sur la cellule (ex : si une enzyme litique est active dès sa synthèse elle détruirait le REG. Si une hormone est active dès sa synthèse, cela engendre une action permanente et donc inadaptée dans la cellule). Une protéine active est obtenue par clivage d'un acide aminé juste avant l’arrivée dans son compartiment de destination (ex : lysosome). On passe de l'état de proprotéine à l'état de protéine.

Schéma 3+ fig 109

### Adressage de la protéine

C’est l’envoi d’une protéine vers le bon compartiment après sa synthèse.

#### Vers les lysosomes

Mécanisme général : La protéine à adresser possède une étiquette qui signale sa destination. Elle est nécessaire et suffisante pour un adressage correct. La protéine est dirigée vers certaines vésicules de transport après le Golgi, grâce à la reconnaissance de cette étiquette par un récepteur de la membrane de la vésicule. La vésicule fusionne avec le bon compartiment grâce à un récepteur sur la membrane du compartiment qui reconnait une protéine de sa propre membrane.

Chez les lysosomes, l'étiquette est une phosphorisation de un ou plusieurs mannose(s) sur un oligosaccharide lié à N. Il se fait dans le site cis du golgi et sera enlevé dans les vésicules de transport. Les vésicules de transport reconnaissent le Man6P : c'est donc la phosphorisation d'un mannose. Ces vésicules fusionnent avec les lysosomes primaires. C’est la reconnaissance non élucidée (ex : les enzymes lytiques).

(fig110) + schéma 4

#### Vers la vacuole

L'étiquette de la vacuole est composée de 50 à 100 acides aminés qui sont ensuite clivés dans la vacuole. On ne connait pas le mécanisme d'adressage.

#### Vers l'extérieur ou la membrane plasmique

Il s'agit de l'adressage par défaut, c'est-à-dire qu'en absence d'étiquette tout sort de la cellule lors de la fusion de la vésicule de transport avec la membrane plasmique. Soit la protéine en solution est déversée à l'extérieur : c’est une protéine de sécrétion, soit elle est ancrée dans la membrane de la vésicule et se retrouve dans la membrane plasmique : c'est une protéine membranaire intrinsèque. Les oligosaccharides se trouvent du côté extracellulaire : c'est le cell coat (ex : collagène, hormone, enzyme digestive, protéines membranaires : les perméases).

#### Reste dans le Golgi

L'étiquette est une hélice transmembranaire particulière (enzyme de phosphorylation des mannoses ou de modification des oligosaccharides). Schéma 5

* ***Reste dans le réticulum endoplasmique***

Elle est composée de quatre acides aminés du côté C terminal (lys-asp-glu-esp). Il existe un récepteur spécifique dans la membrane du REG qui permet de retenir les protéines. Il se trouve aussi dans la membrane du Golgi et permet de ramener ces protéines dans le REG.

#### Vers l'enveloppe nucléaire

L’étiquette est inconnue. Les protéines migrent sans doute du REG vers la surface nucléaire grâce à la continuité.

## Le transfert post-traductionnel

### Synthèse protéique dans le cytoplasme

Les premiers acides aminés de la protéine ne comportent pas de peptide signal, donc il n'y a pas d'accrochage à la membrane du REG, donc la protéine est libérée dans le cytoplasme.

### Maturation de la protéine dans le cytoplasme

La première maturation correspond au repliement de la protéine pour avoir les structures III et IV, très peu de ponts disulfures et pratiquement pas de glycosylations.

### Adressage de la protéine

#### Vers le noyau

Les protéines entrent dans le noyau par les pores. Elles sont dirigées vers le noyau grâce à une étiquette. Elles possèdent une étiquette de cinq acides aminés basiques que l'on appelle la séquence NLS (nuclear localisation). Elle n'est pas excisée et est reconnue par un récepteur du côté cytoplasmique des pores (histone, polymérase, facteur de transcription).

#### Vers la mitochondrie

Il y a seulement 10 à 20 protéines synthétisées dans la mitochondrie. Les autres sont codées par le noyau et synthétisées dans le cytoplasme.

-envoi vers la matrice ou membrane interne, étiquette de 3 à 5 acides aminés basiques côté N terminal. La protéine passe par un tunnel à travers les deux membranes. On a excision de l'étiquette dans la matrice, puis on observe des repliements. Ceci entraine le fait que si la protéine est hydrophile, elle va rester dans la matrice, et si elle contient des portions hydrophobes, elle va s'insérer dans la membrane interne.

(fig111-fig112)

-envoi vers l'espace intermembranaire. S’il y a une deuxième étiquette, la protéine encore déployée retraverse la membrane interne et s'accumule dans l'espace intermembranaire. L'étiquette est excisée et la protéine se replie.

(fig113)

-envoi vers la membrane externe. S’il y a une deuxième étiquette, la protéine reste bloquée lors du transfert dans la matrice. Elle reste ancrée dans la membrane externe : l'étiquette n'est pas excisée, elle correspond à la future portion transmembranaire.

(fig114)

#### Vers le chloroplaste

Il y a 80 protéines codées et synthétisées dans le chloroplaste. Les autres sont codées dans le noyau et synthétisées dans le cytoplasme.

-envoi vers le stroma: étiquette coté N terminal et pas de motif commun. La protéine traverse un tunnel à travers les deux membranes puis l'étiquette est excisée et la protéine se replie. (ex : les enzymes du cycle de Calvin)

-envoi vers les thylakoïdes : il existe une autre étiquette qui fait traverser la membrane du thylakoïde

(fig115)

#### Autres destinations

Les peroxysomes et les glyoxysomes ont une étiquette de 3 acides aminés qui se trouve à la fin de la protéine et qui n'est pas excisée (ser-lys-neu). Le cytoplasme est l'adressage par défaut, il n’a pas d'étiquette (protéine du cytosquelette). Les protéines membranaires périphériques migrent dans le cytoplasme et viennent se coller à la membrane par des liaisons faibles.

(fig116) schéma 6