

UNIVERSITE DE SARH (UDS)
FACULTES DES SCIENCES AGRONOMIQUES
ET DE L'ENVIRONNEMENT

REPUBLIQUE DU TCHAD
Unité-Travail-Progrès

NIVEAU : I

BIOLOGIE CELLULAIRE

CHARGE DU COURS : Dr NIDEOU Dassidi
Maître Assistant.

PROGRAMME DU COURS

CHAPITRE I : ORGANISATION DE LA CELLULE

I. HISTORIQUE DE LA NOTION DE CELLULE

1.1. La théorie cellulaire

II- ORGANISATION DE BASE DE LA CELLULE

2.1. NOMBRE, FORME ET DIMENSIONS

Nombre de cellules dans un organisme

Formes cellulaires

La taille des cellules

2.2. STRUCTURES CELLULAIRES

1- Les Procaryotes

Les Eucaryotes

Les structures cellulaires atypiques

III. ORGANISATION ET UTRASTRUCTURE DES CELLULES BACTERIENNES

3.1. LA PAROI

Les parois denses : (Gram +)

Les parois fines et lâches (Gram -):

3.2. LA MEMBRANE CYTOPLASMIQUE

3.3. LE CYTOPLASME

3.1. LE MATERIEL NUCLEAIRE

3.2. LA CAPSULE

3.3. LES FLAGELLES

3.4. LA SPORE

3.5. LES PILI

3.6. LES PLASMIDES

3.7. LES VIRUS

IV. EVOLUTION DES STRUCTURES CELLULAIRES : LA DIFFERENCIATION ET LA SPECIALISATION CELLULAIRES.

CHAPITRE 2 : L'ENVELOPPE EXTERNE DE LA CELLULE

La membrane plasmique

Structure et composition de la membrane plasmique

Les lipides de la membrane plasmique

Les protéines de la membrane plasmique

Les glucides de la membrane plasmique

Caractéristiques de la membrane plasmique

CHAPITRE 3 : LE CYTOPLASME ET LES ORGANITES

LE CYTOSOL

LES ORGANITES

LE NOYAU

1. STRUCTURE DU NOYAU

Organisation générale du noyau interphasique

Le nucléole

LES ORGANITES NON ENTOURES D'UNE MEMBRANE

Le cytosquelette

Structure du cytosquelette :

Les ribosomes

Le centrosome

LES ORGANITES ENTOURES D'UNE MEMBRANE

Réticulums endoplasmiques :

Appareil de Golgi (AG)

Lysosomes

Vacuoles

Peroxisomes :

Mitochondries :

Plastes

CHAPITRE 4 : TRANSPORT MEMBRANAIRE

PERMEABILITE MEMBRANAIRE

Différents types de transports membranaires

Perméabilité passive ou transport passif :

a- L'osmose :

b- Diffusion

□ Diffusion simple :

□ Diffusion facilitée :

La perméabilité active ou le transport actif :

a- Transport actif primaire :

b- Transport actif secondaire

Perméabilité des macros molécules :

❖ L'endocytose :

• La pinocytose :

La phagocytose

❖ L'exocytose :

CHAPITRE 5: ACIDES NUCLEIQUES MATERIEL HEREDITAIRE ET COMMUNICATION CELLULAIRE

I-ACIDES NUCLEIQUES ET MATERIEL HEREDITAIRE

I.1. Généralités

2. Localisation des acides nucléiques

Structure des acides nucléiques

I.2.1.1 Le nucléoside

Le nucléotide

Les nucléotides libres

L'ADN

L'ARN

Acides nucléiques : source de l'information génétique

La transformation bactérienne

Le facteur transformant= ADN

COMMUNICATIONS CELLULAIRES (ECHANGES D'INFORMATION) :

Transmission endocrine (humorale)

Transmission paracrine

Transmission nerveuse

ROLES DU MANTEAU CELLULAIRE

INTRODUCTION

Tous les êtres vivants sont constitués d'au moins une cellule et toute cellule est issue d'une autre cellule. La cellule est la plus petite forme de vie, le plus petit ensemble cohérent de structures et de fonctions vitales. On peut définir la cellule comme une « unité de vie » capable de manifester les propriétés d'un être vivant : se nourrir, croître et se reproduire. Toute cellule présente toutes les caractéristiques fondamentales du vivant : elle transfère différentes formes d'énergie de manière à effectuer un travail ; elle exprime une information génétique contenue dans des acides nucléiques ; elle échange avec son milieu de vie. La vie des organismes pluricellulaires impose l'existence d'une communication entre les cellules, moyen essentiel de leur coordination. Même si les cellules semblent être de très petite taille, elles présentent une très grande complexité mettant en jeu des centaines de milliers d'interactions de tous ordres, entre gènes, protéines, petites molécules, cytosquelette.

On distingue deux grands types de cellule : la cellule eucaryote et la cellule procaryote. Les cellules ne peuvent pas être observées à l'œil nu en raison de leur très petite taille. Les structures observées dans une cellule dépendent des moyens d'observation que l'on utilise. L'outil le plus communément utilisé est le microscope à lumière ou microscope optique avec lequel la cellule est traversée par des photons (lumière) et qui permet des grossissements de l'ordre de 1000 fois. Pour observer des structures cellulaires non visibles à ces grossissements, il faut utiliser un microscope électronique (la cellule est alors traversée par un faisceau d'électrons) qui permet des grossissements qui peuvent aller jusqu'à 800 000 fois. Parmi les cellules eucaryotes, il faut distinguer la cellule de type animal et la cellule de type végétal.

Objectif général : Cette UE vise à

Faire comprendre à l'apprenant les bases essentielles sur la structure et l'ultrastructure de la cellule unité de base fonctionnelle et reproductrice des organismes vivants.

Objectifs spécifiques : A la fin de l'UE, les étudiants seront capables de

- de décrire la différence entre les cellules procaryotes et eucaryotes ;
- de décrire les différents plans d'organisation et types cellulaires (cellules : bactérienne, animale et végétale)
- de décrire la structure et les rôles des constituants/organites des différents types cellulaires

CHAPITRE I : ORGANISATION DE LA CELLULE

INTRODUCTION

La notion moderne de cellule date d'environ 150 ans. Le concept de cellule qui unifie le monde vivant est plus complexe, car actuellement deux plans d'organisation cellulaire existent. Sur le plan structural, on distingue les **Procaryotes** (noyau primitif) et les **Eucaryotes** (noyau vrai) qui constituent les pluricellulaires (animaux, végétaux, champignons et les protistes supérieurs).

I. HISTORIQUE DE LA NOTION DE CELLULE

1.1. Premières observations (découverte de la cellule)

L'existence de la cellule a été ignorée jusqu'au 17^{ème} siècle, à cause du pouvoir séparateur de l'œil humain (0,2 mm), car les cellules mesurent en moyenne 100 μm (1/100^e mm). La découverte des cellules est étroitement liée à la mise au point des lentilles optiques et à leur disposition dans un microscope. Galilée (en 1610, astronome à l'Université de Padoue) avec un microscope rudimentaire avait pu observer des spores de fougères et de nombreux organismes microscopiques.

Le terme de cellule (du latin cellula) fut utilisé pour la 1^{ère} fois en 1665 par Robert Hooke (1635-1703) décrivant les alvéoles du liège (cellules mortes) à l'aide d'un microscope constitué de deux lentilles (X150 à 200). Des structures identiques ont été observées dans d'autres tissus végétaux et animaux par N. Grew (1641-1712) et M. Malpighi (1628-1694) entre 1670 et 1680. Plus tard (1674) Anthony Leeuwenhoeck (1632-1723) au moyen un microscope simple qui évitait l'aberration chromatique, décrit des microorganismes vivants (bactéries, protistes...), c'est l'acte de naissance de la bactériologie. Au début du 19^{ème} siècle l'idée d'une organisation en tissus des végétaux, se précisa et Dutrochet en 1820 réintroduit la notion de cellule qui avait disparu depuis 150 ans.

1.1. La théorie cellulaire

Elle a pris naissance à la suite des observations de nombreux auteurs dès le début du 19^e siècle (Mirbel, 1802 ; Oken, 1805 ; Lamarck, 1809 ; Dutrochet, 1824 ; Turpin, 1826). Un progrès technologique important survient en 1822, lorsque Amici apporte des corrections à la construction des microscopes composés. C'est ainsi qu'en 1833 Brown décrit le noyau des cellules vivantes comme étant une structure constante. Toutes ces observations débouchent de 1838-1839 sur la formulation définitive de la **théorie cellulaire** élaborée par le botaniste M.J. Schleiden (1804-1881) et le zoologiste T. Schwann (1810-1882) selon laquelle « **tout être vivant complexe est constitué de cellules, qui représentent l'unité de base structurale et fonctionnelle de la vie** ».

La cellule peut être conçue comme la plus petite portion du vivant capable de vivre isolée de manière indépendante et de se reproduire. Le concept de protoplasme, substance fondamentale vivante est dégagé par F. Dujardin (1801-1860) chez les protistes en 1835. En 1855, R. Virchow (1821-1902) démontre que toute nouvelle cellule est issue d'une cellule préexistante. «Omne cellula e cellula ». La cellule est alors envisagée sous son aspect actuel. On peut en déduire que la cytologie est un terrain commun où convergent l'embryologie, la génétique, la médecine, la physiologie, la biochimie etc., et elle intéresse tous les biologistes, botanistes, physiologistes, agronomes, médecins, zoologistes..

II- ORGANISATION DE BASE DE LA CELLULE

Les cellules sont les unités de constitution de tous les êtres vivants. On les trouve à l'état libre, en colonie ou intégrées dans un tissu. Elles présentent des différences importantes selon qu'elles appartiennent aux organismes primitifs ou aux organismes évolués.

2.1. NOMBRE, FORME ET DIMENSIONS

2.1.1. Nombre de cellules dans un organisme : chez les êtres unicellulaires, l'organisme et la cellule sont confondus en une seule et même entité (amibe, levure etc.). Chez les pluricellulaires on distingue plusieurs niveaux d'organisation :- i) des colonies comme chez les algues vertes du genre *Gonium* qui rassemblent 4 à 32 cellules. - ii) groupe des multicellulaires. Ex : *Volvox* ≈ 50.000 cellules fonctionnant en coopération. Certaines d'entre elles manifestent un degré de spécialisation. - iii) Autres cas : des milliers de cellules organisées en tissus chez l'homme 10^{13} à 10^{14} cellules.

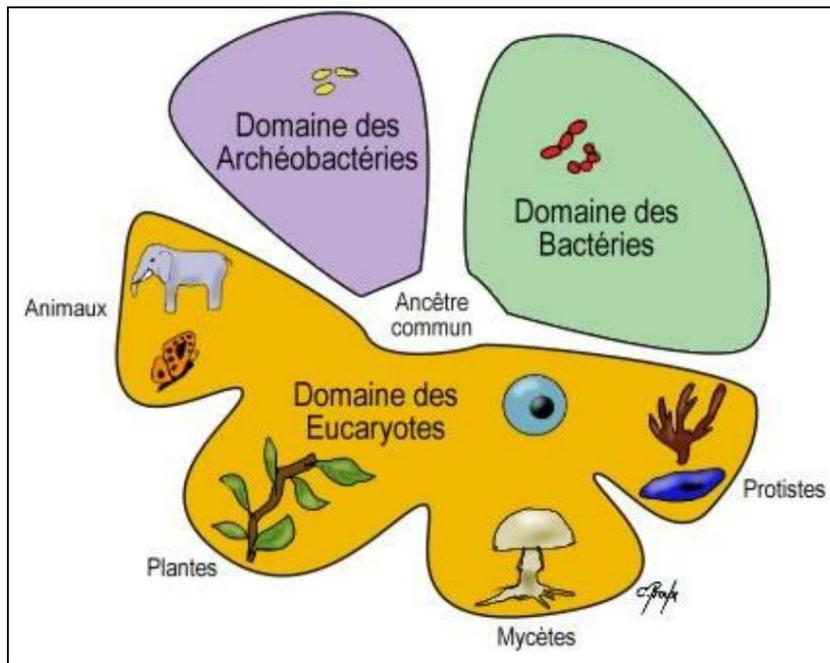
2.1.2. Formes cellulaires : les cellules différencient des formes et des structures correspondant à leurs fonctions et à leur environnement. On distingue : des cellules isolées et de forme spécifique [globules rouges / blancs, spermatozoïdes, cellules nerveuses, bactéries, levures etc.], des cellules adaptées à une fonction : cellules nerveuses, cellules musculaires, cellules hépatiques etc.

2.1.3. La taille des cellules : varie selon le type de cellule : bactéries : 10 nm à 100 nm ; Cellules végétales : 20 à 50 μm ; Œuf de batracien: 1 à 2 mm ; Œuf de poule (jaune) 3 à 5 cm ; Œuf d'autruche: 7 cm. La plupart des cellules animales mesurent entre 7 et 20 μm . Mais pour l'ovule, le O varie 100 à 140 μm , cellule nerveuse avec axone plusieurs dizaines de cm....

2.2. STRUCTURES CELLULAIRES

La vie d'une cellule se déroule suivant un cycle dont les deux étapes sont l'interphase et la mitose. Les cellules qui présentent à l'interphase un noyau bien limité par une enveloppe qui l'isole du cytoplasme sont dites **eucaryotes**. Celles qui ne possèdent pas de « noyau » et présente un degré d'organisation structurale inférieure sont les **procaryotes**. Les cellules des organismes vivants sont classées en deux grands groupes selon les différents plans d'organisation : les cellules procaryotes et les cellules eucaryotes. Ainsi le

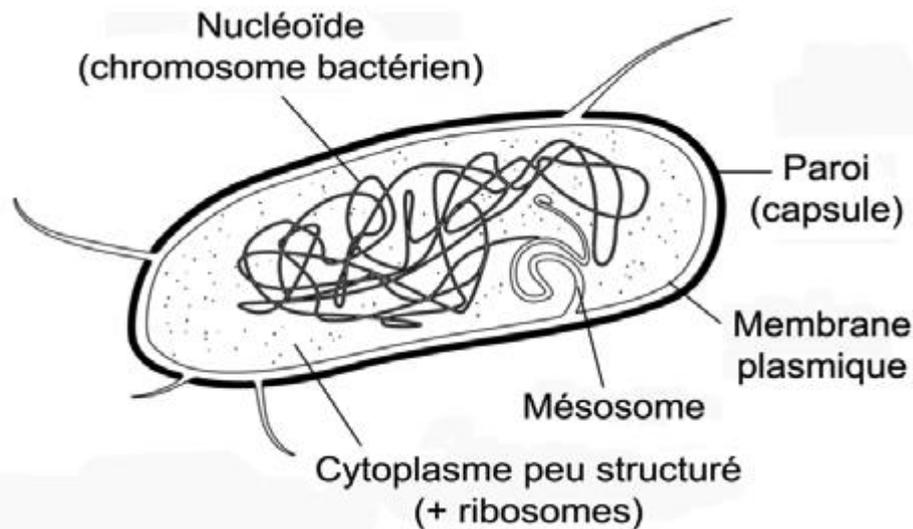
monde vivant est divisé en 3 domaines : les Eubactéries, les Archéobactéries et les Eucaryotes
qui regroupent : les protistes, les champignons, les animaux et les plantes



2.2.1- Les Procaryotes

Ces formes cellulaires (bactéries, cyanophycées) présentent des structures plus simples que les cellules eucaryotes et ne possèdent pas de véritable noyau. C'est pourquoi on les appelle « procaryotes ». Les organismes procaryotes sont en général des unicellulaires. Les cellules sont de petite taille (1-10 μm). Ce sont des microorganismes présentant des métabolismes d'une extrême diversité, ce qui leur permet d'occuper des niches écologiques très variées ; leur rôle dans les grands cycles des éléments est fondamental. Les procaryotes mènent toujours une vie indépendante, même s'ils forment des colonies regroupant plusieurs millions d'individus, capables d'échanges entre eux. Dans des conditions favorables, une unique cellule procaryote initiale peut se multiplier, et être à l'origine d'une colonie qui comptera au bout de 12 heures une dizaine de milliards de cellules.

Les bactéries sont de petites cellules (0,2 à 3 μm de diamètre en moyenne) limitées par une membrane plasmique qui est généralement doublée par une enveloppe externe plus ou moins rigide, la paroi cellulaire, constituée de peptidoglycanes (complexes de protéines et d'oligosaccharides) qui confère à la cellule sa rigidité et sa forme. Certaines bactéries sont en plus entourées extérieurement d'une capsule protectrice, composée d'une couche lipopolysaccharidique.



On distingue :

- **Les Eubactéries** : bactéries à *Gram (+)*, à *Gram (-)* et les cyanobactéries ou cyanophycées.

* Bactéries à *Gram (+)* : Bacillus, Clostridies, Staphylococcus, Streptococcus, listeria,

*Bactéries à *Gram (-)* : Entérobactéries, Mycobactéries, Neisseria, Rhizobium.

*Cyanobactéries ou cyanophycées : Nostoc,

- **Les Archéobactéries** : Bactéries méthanogènes, Halobactéries, Thermophiles extrêmes.

*Bactéries méthanogènes : anaérobies strictes elles sont retrouvées dans les eaux stagnantes et dans le tractus de nombreux animaux. Elles constituent la principale source de CH₄(méthane) atmosphérique. Elles vivent dans des milieux extrêmes (température élevée, milieu acide, milieu salé, température très basse...)

- Méthanogènes (Produisent du méthane)

- Halophiles (croît dans le sel marin)

- Thermophiles (Croît dans la chaleur et l'acidité)

*Halobactéries, halophiles extrêmes, exigeant des concentrations salines très élevées (30% NaCl). On les retrouve dans les lacs salés ou les saumures alimentaires. Certaines effectuent une photosynthèse particulière.

*Thermophiles extrêmes, aérobies ou anaérobies qui vivent dans des conditions écologiques particulières : milieux très acides (pH=1), température dépassant 100°C. On les trouve dans les sources chaudes sulfureuses volcaniques ou au niveau des zones sous-marines.

En plus de la membrane plasmique, ces organismes procaryotes peuvent être entourés par une enveloppe externe plus ou moins rigide : la capsule. Ils n'ont qu'un seul compartiment, pas d'organe dans le cytoplasme (sauf les ribosomes). La membrane plasmique peut former des digitations dans le cytoplasme pour constituer le mésosome. Une structure filamenteuse : le nucléoïde correspond au chromosome bactérien et

constitue le matériel génétique de la cellule procaryote. Il a donc la valeur du noyau. Par ailleurs, malgré son organisation simplifiée, la cellule procaryote présente les activités fondamentales du vivant.

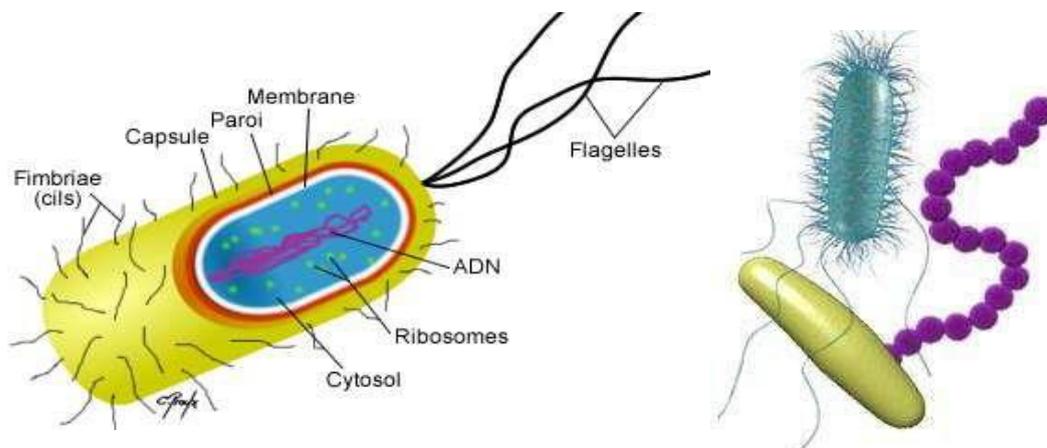


Figure 2 : Cellules procaryotes : Bactérie non photosynthétique

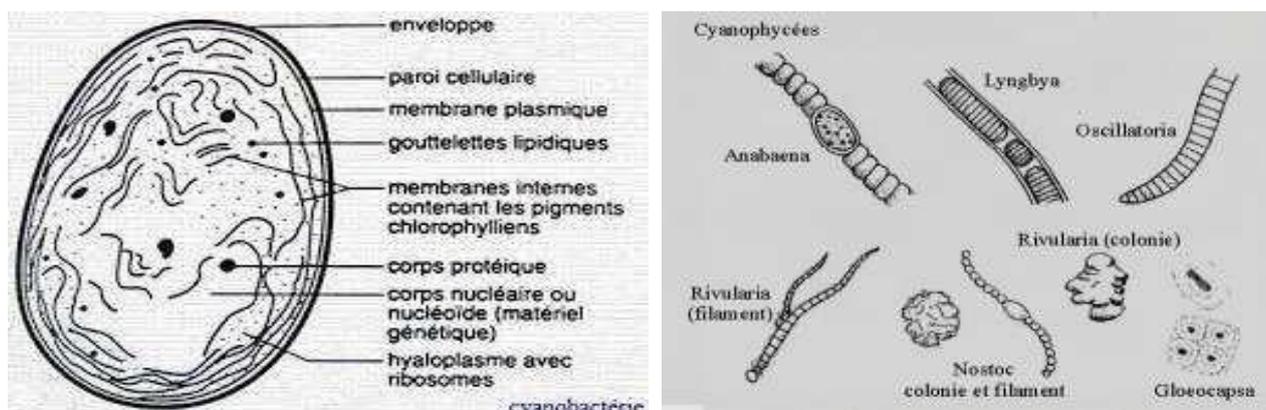


Figure 3 : Cellules procaryotes: bactéries photosynthétiques (Cyanobactérie)

2.2.2- Les Eucaryotes

Elle se rencontre chez les animaux et les vertébrés supérieurs. C'est le type de cellule dont la taille est la plus grande (de 2 à 100 μm) et l'organisation la plus complexe. En interphase, période caractérisée par un métabolisme particulièrement actif, la cellule eucaryote présente des structures significatives.

La cellule eucaryote est limitée par une membrane biologique, la membrane plasmique, qui la sépare de son environnement et qui assure les échanges avec le milieu extérieur. L'intérieur de la cellule est compartimenté par des systèmes membranaires qui définissent différents types d'organites. Le volume cellulaire est structuré par un réseau complexe de molécules protéiques qui forme le cytosquelette (on parle quelquefois de cytomotosquelette).

Un compartiment majeur de la cellule eucaryote interphasique est le noyau, séparé du reste de la cellule, le cytoplasme, par l'enveloppe nucléaire. L'existence d'un noyau est caractéristique de la cellule eucaryote (eucaryote signifie : « qui possède un véritable noyau »). La richesse de son matériel génétique a permis la formation des organismes pluricellulaires, dont le degré de différenciation des types cellulaires associés peut être considérable. On distingue : les animaux, les végétaux, les champignons (+ paroi et vacuole, - plaste) et les protistes eucaryotes unicellulaires : protozoaires et protophytes (algues).

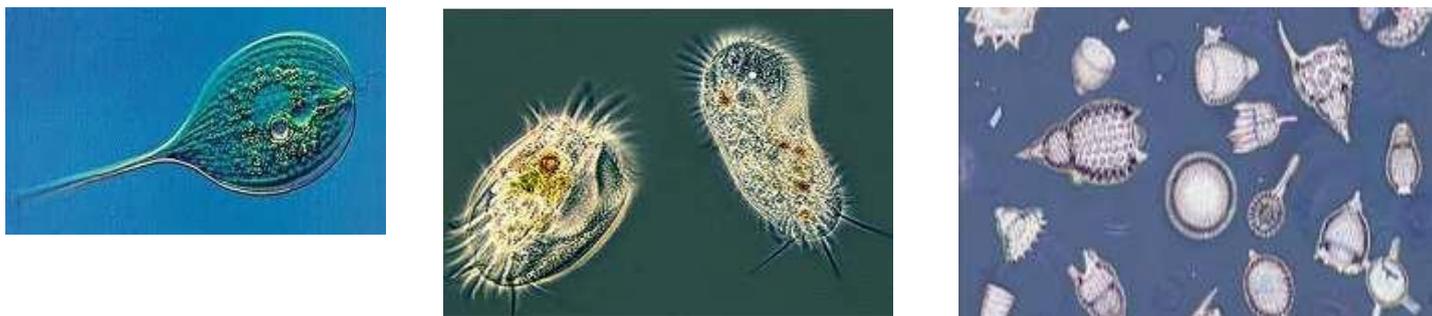
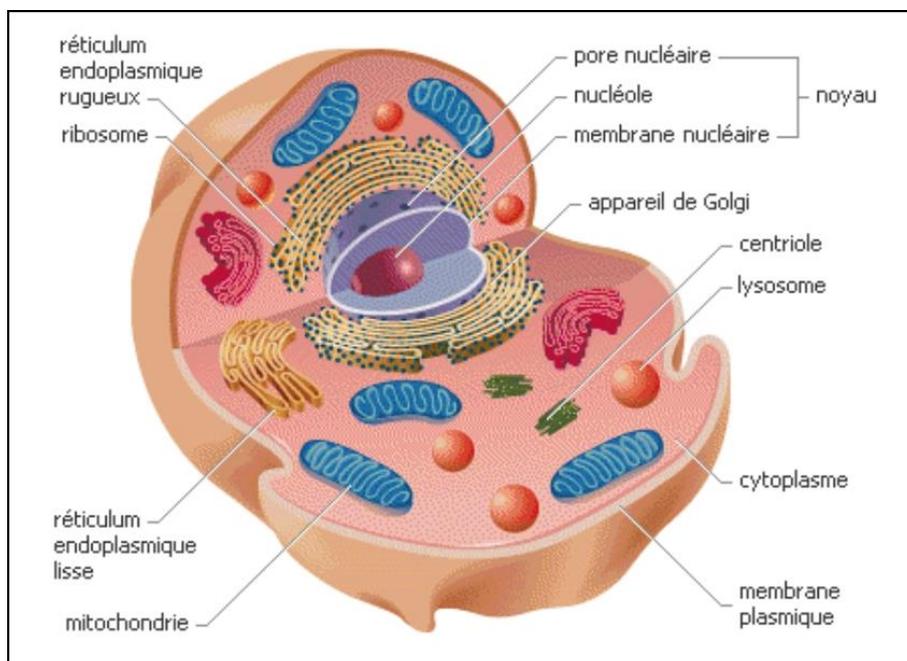


Figure .4 : Cellules protistes eucaryotes



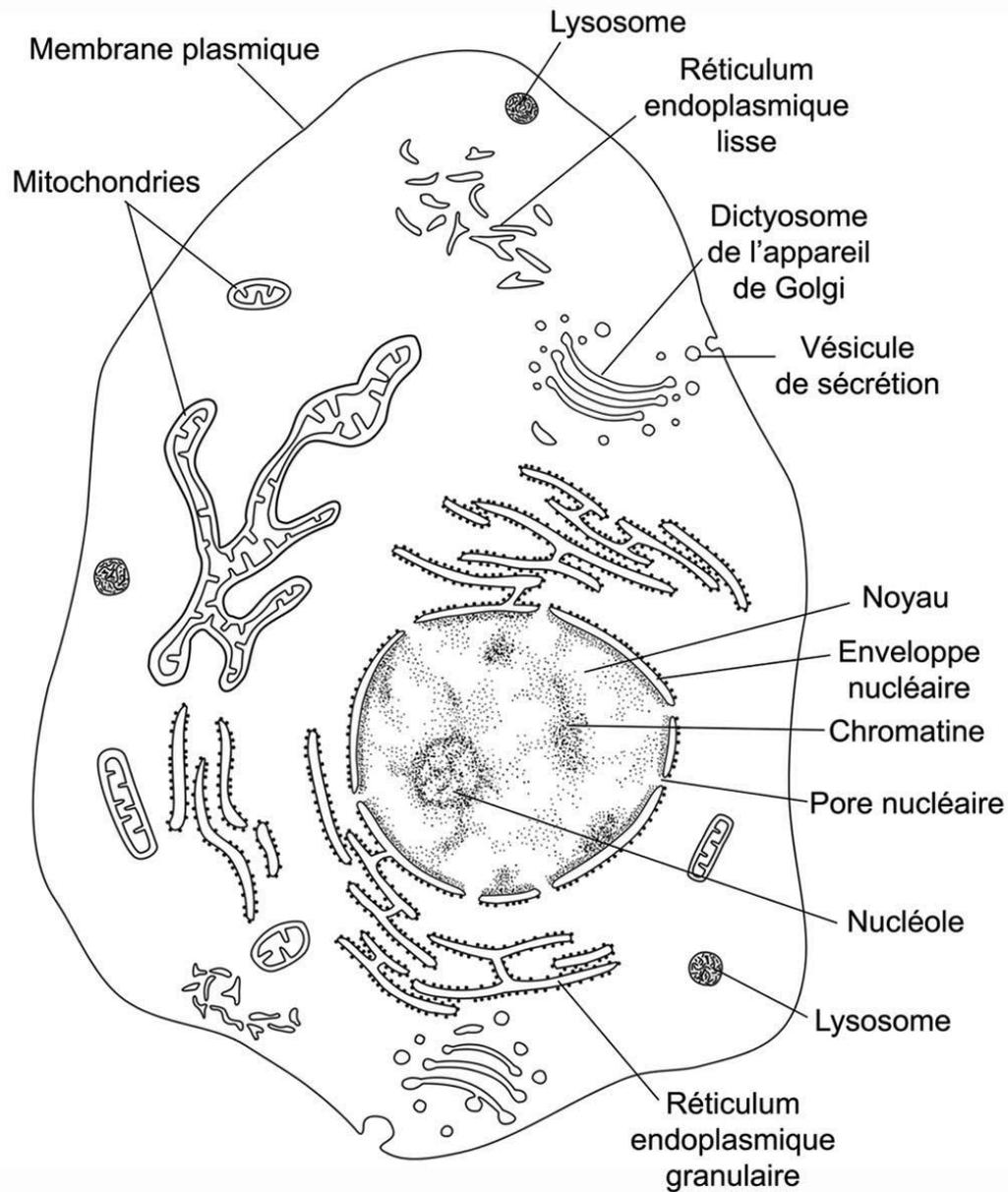


Figure 5: Cellules eucaryotes

2.2.3. Les caractères distinctifs entre procaryote et eucaryote

1. Les procaryotes

- ne possèdent pas de noyaux
- possèdent un ADN circulaire ou linéaire, situé dans le cytoplasme
- la réplication, la transcription et la traduction de l'ADN se fait directement dans le cytoplasme.

- Les procaryotes n'ont pas de cloisonnement cytoplasmique
- La membrane est doublée d'une couche de peptidoglycane formant la paroi cellulaire
- La substance fondamentale du cytoplasme est appelé le cytosol qui est rigide chez les procaryotes, avec une absence de flux (ni exocytose, ni endocytose)
- ne possèdent ni organites ni cytosquelette..

2) Les eucaryotes

- Possèdent un noyau qui est l'organite le plus volumineux
- Noyau est délimité par une double membrane appelée enveloppe nucléaire.
- Dans le noyau se réalise la réplication et la transcription de l'ADN
- la traduction se fait dans le cytoplasme de la cellule.
- Présence d'organites (noyau réticulum endoplasmique, appareil de golgi, lysosomes)
- Ces organites nagent dans le cytosol (fluide)
- Les membranes plasmiques ne sont pas doublées d'une paroi pour les animaux, mais doublées pour les végétaux (paroi pecto-cellulosique) et pour les champignons (paroi polysaccharidique)

2.2.4. Les structures cellulaires atypiques : coenocyte, syncytium, plasmode, apocyte:

- Coenocytes : éléments plurinuclés observés chez les champignons et les algues.

- les syncytiums : structures avec plusieurs noyaux issues de la fusion de plusieurs cellules ayant perdu leur individualité.

Plasmode = cellule ayant subi plusieurs divisions sans division du cytoplasme.

Apocyte: structure cloisonnée dont la paroi ne délimite pas de véritable cellule. Dans chaque compartiment on a plusieurs noyaux.

III. ORGANISATION ET ULTRASTRUCTURE DES CELLULES BACTERIENNES

Les bactéries présentent des formes variées. On distingue :

Les Cocci ou coques (*rondes*), les Bacilles (*allongées en bâtonnet*), les Coccobacilles (*formes intermédiaires*) et les Spirilles (*spiralées*). Certaines structures bactériennes sont permanentes, d'autres inconstantes.

3.1. LA PAROI

Elle est présente chez toutes les espèces bactériennes à l'exception des mycoplasmes. Elle entoure la bactérie et constitue la structure constante la plus externe. On rencontre deux types de paroi :

3.1.1. Les parois épaisses et denses : (Gram +) elles sont constituées presque uniquement de **peptidoglycane** ou **muréine** ou **mucopeptide** (chaînes glucidiques reliées entre elles par des peptides) associés à des molécules d'**acides téchoïques** (polymères d'alcool-phosphate).

3.1.2. Les parois fines et lâches (Gram -): elles ont une structure plus complexe constituée d'une fine couche de mucopeptide plus lâche, recouverte à l'extérieur d'une **membrane externe** ou **pariétale**. Cette paroi est séparée de la membrane cytoplasmique par un espace appelé **espace périplasmique**. La membrane externe est constituée de lipides (phospholipides et lipopolysaccharides) organisés en deux couches séparées par une couche hydrophobe. Des protéines (**porines**) enchâssées dans l'épaisseur de cette membrane permettent le passage de petites molécules telles que les antibiotiques. Les lipopolysaccharides les plus externes portent les **antigènes O** et constituent l'**endotoxine** des bactéries.

Remarque : La paroi des bactéries détermine leur forme, les protège (une bactérie sans paroi meurt) et est un passage obligé pour les échanges avec le milieu extérieur, elle est antigénique (antigène O). Elle est aussi la cible d'antibiotiques tels que les bêta-lactamines qui bloquent sa synthèse.

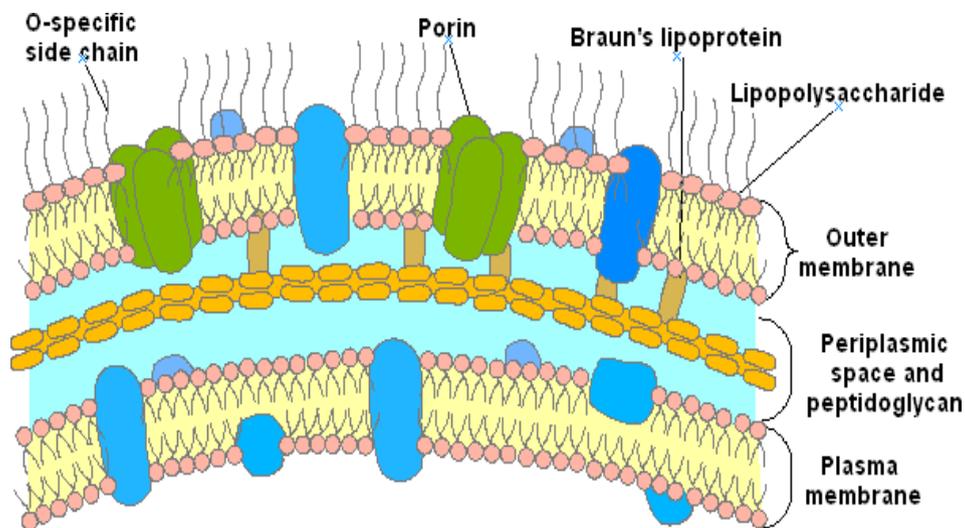
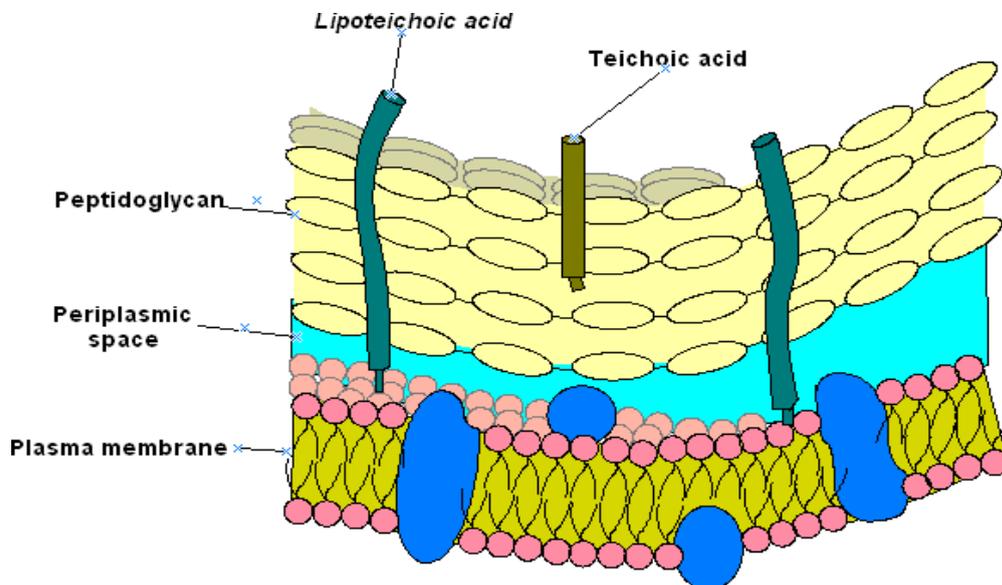


Figure 6: Organisation de la paroi et des membranes limitantes des Bactéries à Gram positif (à gauche et en foncé) et à Gram négatif (à droite et en clair)

La coloration de Gram permet de séparer les bactéries à paroi épaisse et à paroi fine.

Après fixation des bactéries sur une lame microscopique, on traite la préparation par un premier colorant : le "violet de gentiane" puis on mordance par une solution de lugol. A ce stade, toutes les bactéries apparaissent violet. On lave la préparation avec de l'alcool qui décolore les seules bactéries à paroi fine qui ne sont donc plus visibles. On surcolore par de la fuchsine (colorant rouge) qui recolore les bactéries décolorées. Après coloration de Gram, les bactéries à paroi épaisses sont colorées en violet : elles sont dites "à Gram positif", les bactéries à paroi fine sont colorées en rouge : ce sont les bactéries "à Gram négatif".

3.2. LA MEMBRANE CYTOPLASMIQUE

La membrane cytoplasmique est constituée de lipides (**sauf le cholestérol**) et de protéines comme toutes membranes cellulaires. Les molécules sont mobiles et "flottent" dans son épaisseur. Ce qui lui donne une grande plasticité. On retrouve des protéines de structure et de transport permettant le passage de molécules ou d'ions (Na, K, Cl, sucres, aminoacides ou oligopeptides). Elle contrôle donc les échanges de la cellule.

Chez les bactéries la membrane plasmique contient de nombreuses enzymes qui assurent les synthèses et fournissent l'énergie nécessaire au métabolisme. Elle assure les fonctions des mitochondries, qui n'existent pas chez les bactéries.

Remarque : Certaines bactéries produisent des substances toxiques : les **bactériocines** qui peuvent perturber le fonctionnement de la membrane cytoplasmique qui est aussi la cible des antibiotiques polypeptidiques.

LE CYTOPLASME

Il contient essentiellement les ribosomes qui assurent les synthèses protéiques en traduisant le m-RNA. Ils sont en étroit contact avec le matériel nucléaire. Les ribosomes des bactéries sont différents des ribosomes des eucaryotes.

Ils sont la cible de nombreux antibiotiques.

3.1. LE MATERIEL NUCLEAIRE

Le matériel nucléaire des cellules procaryotes (sans noyau) est sous forme d'un chromosome unique, circulaire, de ~ 1mm de long et constitué d'un filament hélicoïdal d'ADN bicaténaire qui transmet les informations aux ribosomes pour les synthèses.

3.2. LA CAPSULE

La capsule est une structure extérieure **non constante** qui entoure la bactérie. Elle est souvent constituée polysaccharides, parfois de protéines. Elle est mise évidence au microscope, dans une suspension des bactéries dans de l'encre de chine. On l'observe sous forme d'un halo clair et réfringent.

La capsule est un facteur de virulence car elle protège la bactérie de la phagocytose.

Elle est antigénique et les Antigènes capsulaires sont dénommés **antigène K**.

3.3.LES FLAGELLES

Les flagelles ou cils sont des structures rigides, ondulées qui naissent de la membrane cytoplasmique. Ils permettent la mobilité des bactéries et seules les espèces qui en sont pourvues sont mobiles. Ils sont constitués d'une protéine appelée flagelline.

Plusieurs dispositions sont possibles : ciliature monotriche (un seul flagelle polaire) ; ciliature lophotriche (une touffe de flagelles polaires) ; ciliature.

3.4.LA SPORE

La spore contient, sous forme condensée, le génome et une partie du cytoplasme déshydraté autour d'une enveloppe très résistante. Elles constituent une forme de résistance des bactéries et sont la cause de certaines contaminations d'origine tellurique (tétanos, charbon).

Lorsqu'on place les bactéries dans des conditions défavorables de survie, certaines d'entre elles (bacilles Gram + : Bacillus et Clostridium) forment des spores; c'est la **sporulation**. Lorsque les spores sont placées dans des conditions favorables, elles retournent à l'état de bactéries végétatives ; c'est la **germination**. On peut observer au microscope les spores en voie de formation dans les corps bactériens. La situation de la spore est caractéristique de l'espèce amphitriche (un flagelle à chaque pôle) ; ciliature prétriche (flagelles entourant la bactérie). Les spirochètes ont un flagelle interne appelé filament axial.

Les antigènes des flagelles sont appelés **Antigène H**.

3.5. LES PILI

Les pili (poils) sont des formations qu'on ne peut observer qu'au microscope électronique. Certains d'entre eux, dénommés **pili communs** ou **fimbriae** (frange) sont courts et cassants. Ils sont utiles pour l'adhésion des bactéries aux interfaces et particulièrement aux muqueuses et sont donc des facteurs de virulence. Ils ont une structure protéique : la **piline**

Les **pili sexuels**, plus longs, relient deux bactéries et sont des voies d'échanges de matériel génétique entre les bactéries. Les bactéries capables de produire des pili sexuels sont dénommées bactéries "mâles" à l'opposé des autres qui sont dites "femelles".

3.6.LES PLASMIDES

Les plasmides sont de petits éléments circulaires constituant du matériel génétique extra- chromosomique. Ils sont faits d'ADN et portent, comme le chromosome, des informations génétiques. Ils sont autonomes et capables de se

répliquer indépendamment du chromosome. Ils codent pour la synthèse de différentes protéines enzymatiques conférant ainsi à la bactérie qui les possède des caractères particuliers tels que possibilité d'utiliser tel ou tel substrat ou **résistance aux antibiotiques**. Ces plasmides sont **transmissibles** à d'autres bactéries.

3.7. LES VIRUS

Plus petits que les bactéries, ce sont des entités biologiques ne présentant aucun aspect structural de type cellulaire mais possédant un acide nucléique (ADN ou ARN). De très petite taille (0,001 à 0,1 μm), ceux-ci sont constitués par des acides nucléiques (courtes molécules d'ADN ou d'ARN) enclos dans une enveloppe protectrice, généralement de nature protéique (ou lipo-protéique), la capsid. Ils peuvent provoquer des maladies chez les bactéries, les végétaux, animaux et les humains. **Ils sont des parasites obligatoires**. En dehors des cellules hôtes, la particule virale est métaboliquement inerte car dépourvue de système autonome d'enzyme. Les virus ne possèdent pas de cytoplasme, c'est-à-dire

qu'ils ne disposent ni des enzymes, ni des petites molécules, ni des fournisseurs d'énergie qui leur permettraient de répliquer ou de transcrire leur matériel génétique, ou même d'accomplir différentes fonctions métaboliques. Les virus ont besoin d'une cellule hôte, dont il utilise les constituants pour se multiplier : associé au cytoplasme étranger, le matériel génétique viral peut fonctionner. Ce dernier injecte son matériel génétique dans la cellule. Dans le cytoplasme de la cellule hôte, le matériel génétique viral peut alors fonctionner en utilisant la machinerie cellulaire de l'hôte : il effectue sa réplication, sa transcription et les synthèses protéiques nécessaires à l'édification de la capsid. Les bactériophages (Fig. 1.3), sont des virus n'infectant que les bactéries. Les virus se rapprochent du monde vivant car ils sont constitués des molécules qui en sont caractéristiques. Ils possèdent le matériel génétique qui leur permet de se reproduire et d'évoluer. ***Cependant, l'absence de structure cellulaire, de métabolisme et de croissance fait qu'on ne peut pas les considérer comme des êtres vivants. Ils représentent un état dit acaryote***

IV. EVOLUTION DES STRUCTURES CELLULAIRES : LA DIFFERENCIATION ET LA SPECIALISATION CELLULAIRES.

Au cours de leur évolution, les organismes unicellulaires vont acquérir des structures spéciales servant à la locomotion, la contraction, la circulation des fluides, la digestion etc. On assiste ensuite à une diversification explosive des eucaryotes, dont les pluricellulaires sont apparus il y a ~600 MM d'années ; les premiers vertébrés sont apparus il y a ~500 MM d'années. Progressivement, on assiste aussi à l'apparition des organismes terrestres (les premiers étaient aquatiques).

Par ailleurs, l'embryologie montre que tout être vivant passe au cours de son évolution d'un stade unicellulaire au stade

pluricellulaire. Ce fait confirme donc que les unicellulaires ont précédé les pluricellulaires. Le stade unicellulaire apparaît comme le témoin des anciens unicellulaires.

Le passage à l'état pluricellulaire va permettre aux organismes de se différencier mais surtout de grandir. Au cours de l'évolution, la spécialisation va aboutir à la formation des tissus (++ cellules), des organes (++tissus), puis des systèmes. C'est ainsi que l'étape pluricellulaire et la spécialisation des cellules vont permettre à la matière vivante des variations architecturales et un pouvoir d'expansion illimité qui était irréalisable à l'état unicellulaire. Ceci a été le point de départ de l'évolution du règne animal et du règne végétal. La conquête de l'espace jusque-là inaccessible aux unicellulaires est désormais possible pour les organismes pluricellulaires. Ex : les stations de recherche dans l'espace, maintenant pour les touristes aussi.

CHAPITRE 2 : L'ENVELOPPE EXTERNE DE LA CELLULE

Elle définit la cellule, la protège et assure les échanges entre la cellule et son environnement. C'est la périphérie cellulaire qui peut comprendre 1 à 3 éléments selon les types de cellules :

- La membrane plasmique (élément constant) nue
- La membrane plasmique + la paroi
- La membrane plasmique + la paroi + la capsule (Bactéries)
- La membrane plasmique + la paroi + le mucilage (Algues bleu vert)

La membrane plasmique

La membrane plasmique est une enveloppe continue qui sépare le milieu intracellulaire et le milieu extracellulaire. La membrane plasmique délimite la cellule, séparant le cytoplasme du milieu extérieur. Elle est constituée de lipides et de protéines. Elle contrôle le transport des molécules entre le milieu intracellulaire et extracellulaire.

Elle constitue une frontière par laquelle la cellule interagit avec son environnement. Elle interagit localement avec la matrice extracellulaire qui la baigne, avec la membrane plasmique des cellules voisines. Elle reçoit des signaux chimiques émis par des cellules proches ou lointaines, "traduit" et

transmet ces signaux au cytoplasme et au noyau. Elle assure enfin un contrôle strict des échanges dans les deux sens entre la cellule et le milieu qui l'entoure.

Structure et composition de la membrane plasmique

Les membranes biologiques en général sont constituées (en poids sec de membrane) de 40 à 50% de lipides, environ 50% de protéines et environ 8 à 10% de glucides.

Tout comme toute membrane biologique, la membrane plasmique est composée très majoritairement de protéines et de lipides.

La quantité de protéines, varie selon les types de cellules. Les lipides étant des molécules plus petites que les protéines, la membrane plasmique comporte environ 50 molécules de lipides pour chaque molécule de protéine.

Les lipides de la membrane plasmique : Les lipides constituent environ la moitié du poids sec de la membrane plasmique. La membrane plasmique s'organise en deux couches (bicouche) lipidiques, dont les parties hydrophobes (tournées vers l'intérieur) sont disposées face à face dans la bicouche, et les parties hydrophiles (tournées vers l'extérieur) sont en contact avec le milieu aqueux qui borde la membrane. Ces couches sont en fait deux feuillets denses d'environ 2 nm d'épaisseur séparés par un feuillet clair d'environ 3.5 nm d'épaisseur. Ces feuillets sont constitués essentiellement de phospholipides et de stéroïdes. Ce sont des molécules amphiphiles ; elles présentent une extrémité hydrophile (ou polaire) et une extrémité hydrophobe (ou apolaire).

Les phospholipides sont constitués essentiellement des dérivés du glycérol ou phosphoglycérides et des sphingolipides.

Les stéroïdes sont constitués du cholestérol pour le règne animal et du phytostérol pour le règne végétal.

Les protéines de la membrane plasmique : Elles constituent environ la moitié du poids sec de la membrane plasmique. On distingue :

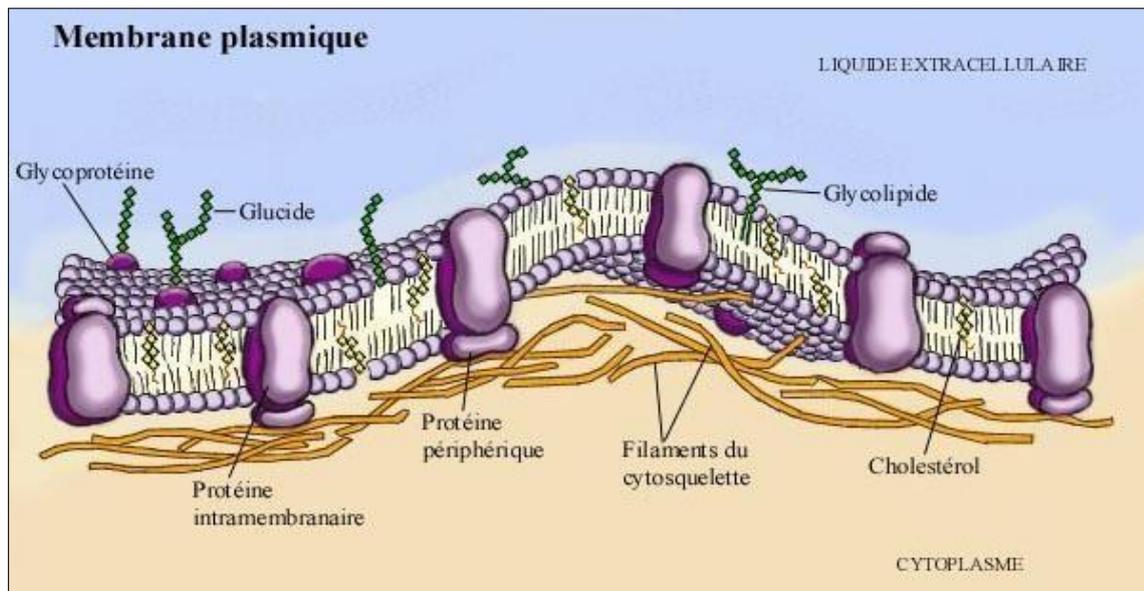
- Les protéines intrinsèques ou intégrales (qui ne peuvent être détachées de la bicouche lipidique que sous l'action de détergents ou de solvants organiques qui la détruisent) ; elles

sont le plus fréquentes (représentent environ 70% des protéines membranaires), s'intègrent dans la membrane plasmique et ont un caractère amphiphile. Les domaines transmembranaires qui traversent la membrane plasmique sont généralement hydrophobes.

- Les protéines à ancrage lipidique dans la bicouche lipidique par un ou plusieurs acides gras ; elles possèdent une chaîne carbonée hydrophobe permettant l'ancrage de la protéine dans l'un des feuillet de la membrane sans qu'une partie du polypeptide n'y pénètre ;
- Les protéines extrinsèques ou périphériques ; elles ne sont pas ancrées dans la membrane plasmique, mais maintenues sur l'une des faces de celle-ci indirectement avec des protéines intrinsèques ou directement avec les têtes de phospholipides.

Les glucides de la membrane plasmique : Les sucres sont présents en faible quantité ; en effet, ils ne représentent 5 à 10% du poids sec de la membrane plasmique. Ils sont toujours liés à des protéines ou à des lipides.

En effet, la plupart des protéines membranaires possèdent des glycanes, formant ainsi des glycoprotéines. Celles-ci sont orientées dans la membrane de telle sorte que les structures glucidiques sont situées uniquement sur le versant extracellulaire de la membrane plasmique. Les glycolipides quant à elles sont toujours présents du côté extracytoplasmique.



Caractéristiques de la membrane plasmique

La membrane plasmique présente cinq (5) caractéristiques :

- (i). C'est une bicouche de lipides : cette organisation, en relation avec les propriétés physico chimiques des lipides, assure la stabilité de la membrane par rapport aux deux milieux liquidiens qui la bordent.
- (ii). Des édifices macromoléculaires de nature protéique et/ou glycoprotéique sont insérés dans la bicouche lipidique : ils interviennent dans les échanges de la cellule avec le milieu extracellulaire (récepteurs aux hormones, transporteurs d'ions et de molécules, enzymes, molécules d'adhérence intercellulaire ou avec la matrice extracellulaire...)
- (iii). La membrane plasmique est organisée de manière asymétrique : la composition en lipides des deux feuillettes de la bicouche, la présence ou l'absence de sucres liés aux protéines ou aux lipides, le mode d'insertion des protéines membranaires, les interactions de protéines avec la bicouche ou les protéines transmembranaires, les liens avec le cytosquelette etc. sont autant de facteurs qui contribuent à cette asymétrie.

En effet :

- La composition lipidique de chacun des deux feuillettes de la membrane plasmique est différente. Bien que la plupart des phospholipides soient présents dans les deux feuillettes d'une membrane, leur répartition quantitative est asymétrique ; en effet, un revêtement fibreux se

trouve notamment du côté extracellulaire et varie selon le type cellulaire ou la région de la cellule ;

- Les chaînes oligosaccharidiques des glycoprotéines et des glycolipides sont situées sur le versant extracellulaires ;
- Les liaisons disulfures entre les résidus de cystéine des protéines sont toutes situées du côté extracellulaire de ces protéines ;
- L'association des constituants de la membrane au cytosquelette se fait sur la face cytosolique avec intervention de protéines périphériques spécialisées ;
- Cette asymétrie dans le sens transmembranaire se complique par une hétérogénéité de composition en protéines et en lipides dans le plan de la membrane plasmique.

(iv). La membrane plasmique ne présente pas une composition chimique homogène : cette composition chimique varie d'un type cellulaire à un autre, mais aussi, pour une cellule donnée, au niveau de régions ou domaines membranaires différents. Des différences sont aussi observées entre une cellule normale et la cellule cancéreuse qui en est dérivée.

(v). La membrane plasmique est en continuité transitoire avec le système endomembranaire, dont les membranes d'enveloppe ont une organisation très comparable et qui contribue à sa biosynthèse et son renouvellement.

Remarque : chez les bactéries, les fonctions principales de la membrane cytoplasmique sont les suivantes :

- perméabilité sélective et transport des substances solubles à l'intérieur de la bactérie : la membrane est à la fois une barrière osmotique et un lieu de transport actif grâce à des perméases ;
- fonction respiratoire par transport d'électrons et phosphorylation oxydative dans les espèces bactériennes aérobies (rôle équivalent à celui des mitochondries des eucaryotes) ;

- excrétion d'enzymes hydrolytiques, qui dégradent les polymères en sous-unités suffisamment petites pour pouvoir traverser la membrane cytoplasmique et être importés dans la bactérie ;
- Excrétion de toxines contre les organismes ennemis ou les hôtes ;
- support d'enzymes et de transporteurs de molécules impliqués dans la biosynthèse de l'ADN, des polymères de la paroi et des lipides membranaires.

CHAPITRE 3 : LE CYTOPLASME ET LES ORGANITES

Le cytoplasme est le contenu d'une cellule vivante. Il comprend donc tout ce qui est contenu à l'intérieur du volume délimité par la membrane cytoplasmique à l'exception du noyau et de certains organites. C'est un milieu complexe, organisé et dynamique. Le milieu liquide à l'extérieur des membranes internes est appelé cytosol ou hyaloplasme.

Le cytosol

Le cytosol comprend une matrice fondamentale, des structures granulaires (paraplasme, cristaux protéiques, enclaves de glycogène, gouttelettes lipidiques, ribosomes) et fibreuses (microtubes et microfilaments).

Le cytosol est constitué en moyenne de 85 % d'eau, de protéines solubles (enzymes) ou insolubles (protéines de structure), du glycogène, des lipides, des ARN solubles (ARNm et ARNt), des sucres, des acides aminés, acides gras, sels minéraux et des nucléotides). mais est, cependant, de nature plus visqueuse. Son pH est neutre (pH = 7). C'est dans cette matrice que baigne l'ensemble des organites de la cellule et se déroulent les principales activités cellulaires. Sa consistance est variable, soit visqueuse (gel) soit liquide (sol), différente d'un point à un autre de la cellule et elle est capable de changer rapidement en un même point de la cellule (phénomène de thixotropie : polymérisation et dépolymérisation des filaments et des microtubes).

LES ORGANITES

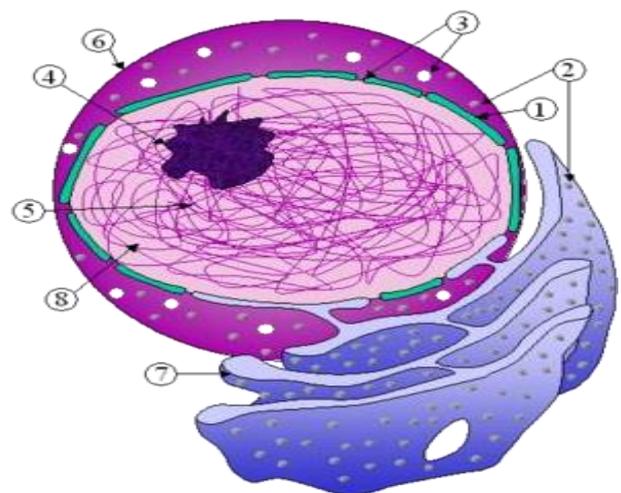
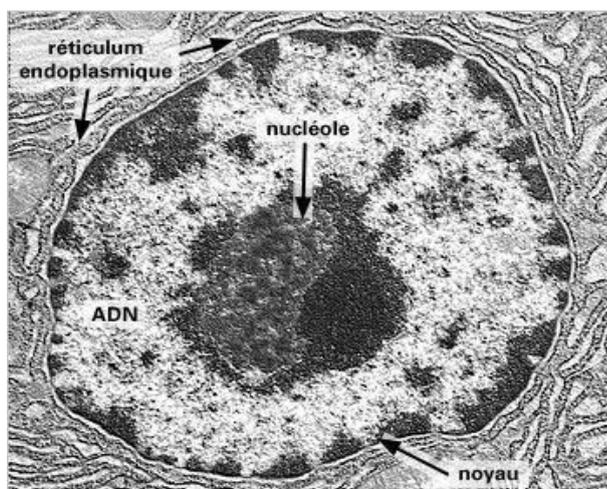
LE NOYAU

1. STRUCTURE DU NOYAU

Le noyau peut être considéré comme le « coffre fort » de la cellule, car c'est en son sein que se trouve l'information génétique matérialisée par la molécule d'ADN. Cette molécule immense (environ 2m de long pour l'ensemble de l'ADN d'une seule cellule...) est déroulée dans le liquide nucléaire ou

nucléoplasme. L'ADN déroulé constitue la chromatine. Dans une zone du noyau, la chromatine est plus dense et forme une « tache » circulaire appelée nucléole.

Il est délimité par l'enveloppe nucléaire, composée de deux membranes biologiques percées de pores qui permettent les échanges avec le cytoplasme. Le volume nucléaire est structuré par le nucléosquelette (ou matrice nucléaire). Le noyau contient un réseau de molécules linéaires d'ADN de 108 en moyenne, associées à des protéines, et qui forment les chromosomes dont l'ensemble forme la chromatine. Il renferme également un ou plusieurs nucléoles riches en ribonucléoprotéides (ARN+protéines). Le noyau est le lieu du stockage et de la réplication de l'ADN, de la transcription et de la maturation des ARN. L'essentiel du programme génétique de la cellule est porté par les chromosomes nucléaires. Les échanges entre le noyau et le cytoplasme sont contrôlés au niveau des complexes de pores de l'enveloppe nucléaire, associés à des éléments du nucléosquelette et du cytosquelette.



Le Schéma du noyau et du réticulum endoplasmique : (1) Enveloppe nucléaire. (2) Ribosomes. (3) Pores nucléaires. (4) Nucléole. (5) Chromatine. (6) Noyau. (7) Réticulum endoplasmique granuleux. (8) Nucléoplasme.

2. Organisation générale du noyau interphasique

C'est un organite gros, réfringent (renvoie la lumière) et facile à colorer. Sa taille varie selon le type de cellule et son activité. Le rapport nucléoplasmique (volume du noyau divisé par le volume du cytoplasme) renseigne sur l'activité cellulaire.

Les principales structures du noyau interphasique sont :

- L'enveloppe nucléaire : c'est une double membrane en continuité avec le réticulum endoplasmique. Elle est interrompue par endroits par des passages appelés pores nucléaires.
- Les pores ne sont pas de simples trous. C'est une structure organisée comprenant environ 500 protéines. Elle comprend un anneau cytoplasmique lié à des filaments, un anneau intermédiaire et un anneau nucléaire associé à un panier. Ces pores servent à réguler les échanges entre le cytoplasme et le noyau. La face interne de l'enveloppe nucléaire est tapissée par une couche protéique filamenteuse de 10 à 20 nm d'épaisseur : **la lamina**. Elle donne au noyau sa forme et sert aussi à reconstituer l'enveloppe nucléaire après la mitose.
- Le nucléoplasme : C'est une substance fondamentale gélatineuse contenant des ions, des protéines, des enzymes et des nucléotides. Elle assure une continuité entre les divers constituants moléculaires du noyau.
- **La chromatine** : c'est la forme sous laquelle se présente le matériel génétique pendant l'interphase. Elle comprend une forme très condensée inactive appelée hétérochromatine et une forme lâche et diffuse appelée euchromatine. La chromatine présente dans le noyau est constituée d'ADN (le génome) et de protéines sous une forme plus ou moins compactée. Le génome nucléaire humain est constitué de 23 paires de chromosomes : 22 paires d'autosomes dits homologues (identiques au sein d'une même paire) et une paire de chromosomes sexuels.

A: Euchromatine: est une forme légèrement concentrée de chromatine (ADN, ARN et protéine) qui est enrichie en gènes et qui est souvent (mais pas toujours) sous transcription active. L'euchromatine constitue la partie la plus active du génome au sein du noyau de la cellule. 92 % du génome humain est euchromatique. L'euchromatine représente les zones de l'échafaudage de chromatation desserré dans le caryoplasme d'une cellule. Contrairement à l'hétérochromatine, l'acide désoxyribonucléique (ADN) est présent sous une forme moins dense. L'euchromatine contient la plupart des gènes et presque toute l'activité génétique. Dans certains cas, les doubles brins de l'ADN sont séparés par des enzymes en simples brins parallèles.

B : Hétérochromatine : l'hétérochromatine a été définie comme une structure qui ne change pas d'état de condensation au cours du cycle cellulaire tandis que l'euchromatine apparaît décondensée pendant l'interphase. L'hétérochromatine est localisée principalement en périphérie du noyau et du nucléole tandis que l'euchromatine est répartie à l'intérieur du nucléoplasme.

On distingue :

- **l'hétérochromatine constitutive** qui contient peu de gènes, formée principalement de séquences répétées et dont les plus grandes régions sont situées à proximité des centromères et des télomères.
- **l'hétérochromatine facultative** qui contient des régions codantes pouvant adopter les caractéristiques structurale et fonctionnelle de l'hétérochromatine, comme le chromosome X inactif chez la femelle des mammifères.
- **Le nucléole** : Le noyau possède une zone spécialisée très fortement colorée par les préparations standards, le nucléole. Le nucléole est une structure dense, bien individualisée et de forme sphérique. Il n'est pas entouré d'une membrane lipidique. Ce nucléole, en général unique dans les cellules, est le centre de synthèse des ARN ribosomiaux et d'assemblage des sous-unités ribosomiales. Ce nucléole est dynamique, il disparaît avant la division cellulaire et réapparaît juste après. Le nucléole est centré autour d'une structure bien particulière de l'ADN, l'organisateur nucléolaire. Au microscope électronique, le nucléole montre plusieurs structures formées de 3 zones :
 - (Un centre fibrillaire correspondant aux organisateurs nucléolaires qui expriment les ARNr ;
 - Une zone fibrillaire dense qui correspond à la partie active du nucléole contenant les ARN.
 - Une zone granulaire constituée de particules de 15 à 25 nm. C'est la zone de stockage des pré-ribosomes.

Le rôle des nucléoles est la formation des ribosomes. Les gènes appelés organisateurs nucléolaires réalisent la transcription d'une partie des ARNr qui s'associent avec d'autres ARN et avec des protéines (issues du cytoplasme) pour former les préribosomes qui se scindent en petite et grosse sous-unité.

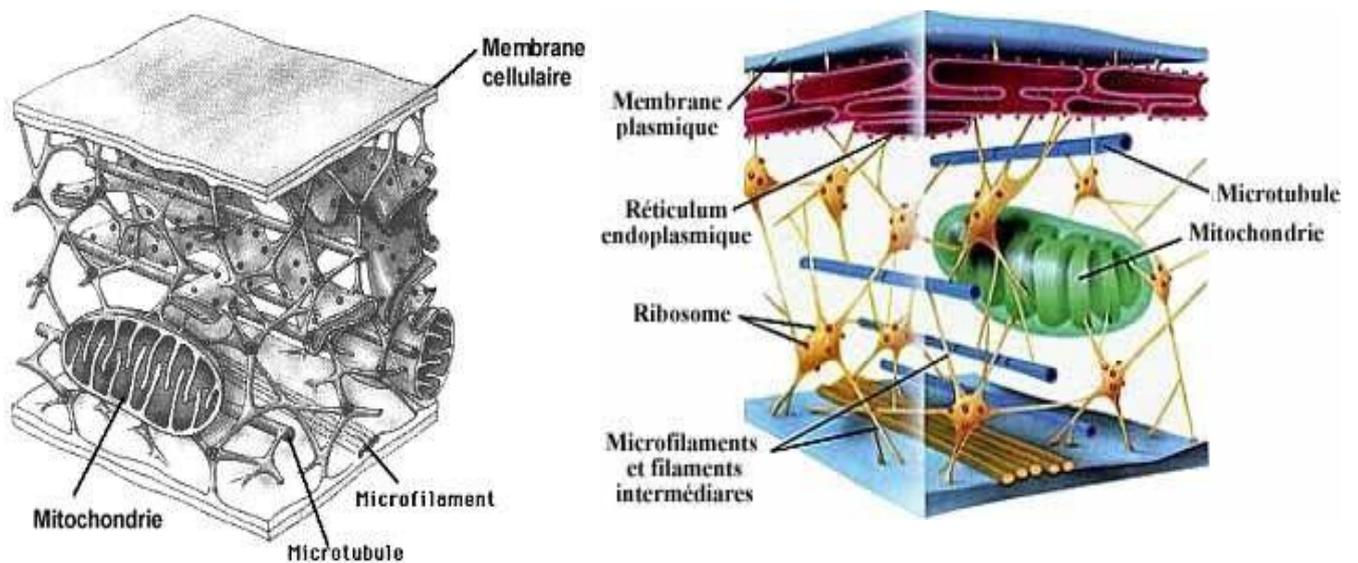
○ **LES ORGANITES NON ENTOURES D'UNE MEMBRANE**

- ❖ **Le cytosquelette** : Ce réseau fibreux, de nature protéique, constitue à la fois un squelette et une musculature pour les cellules. Il permet aux cellules eucaryotes de s'adapter à une grande variété de changements morphologiques, d'effectuer des mouvements coordonnés. Donc

l'aptitude des cellules Eucaryotes à organiser le contenu de leur cytoplasme, à changer de forme à se mouvoir dépend de cette organelle, qui correspond à un réseau hautement élaboré et complexe, de nature protéique, occupant tout le cytoplasme. Contrairement au squelette osseux qui est rigide, le cytosquelette est une structure très dynamique qui se réorganise continuellement au cours des différents événements cellulaires (migration, division, etc.). À noter que le cytosquelette n'est cependant pas une structure rigide ni articulée comme le mot "squelette" peut le laisser entendre. Ce cytosquelette apparaît dans le cytosol comme un échafaudage impressionnant formé de protéines fibrillaires appelées "fibrilles". Le cytosquelette est constitué de trois types de filaments protéiques : les microfilaments d'actine (7 à 9 nm de diamètre), les microtubules (25 nm de diamètre) et les filaments intermédiaires (10 nm de diamètre).

Structure du cytosquelette : Grâce au perfectionnement des techniques de microscopie électronique et aux études biochimiques et immunologiques, il a été possible de mettre en évidence la structure de ce réseau interne constitué de trois types de fibres de protéines : les microtubules, les microfilaments et les filaments intermédiaires.

- Les microtubules sont des tubes creux très fins constitués d'une protéine appelée tubuline, qui existe sous deux formes moléculaires : a et b. Quand les molécules de tubuline s'agrègent, elles donnent naissance à des filaments (protofilaments) caractérisés par une alternance des deux types de tubuline. Dans chaque microtubule, on trouve 13 protofilaments disposés parallèlement de façon à former un tube creux de quelques microns de longueur et d'environ 25 nanomètres de diamètre extérieur.
- Les microfilaments, présents sous la membrane cellulaire, dans l'interface entre cytogel et cytosol et aux points où naissent les courants cytoplasmiques, sont des filaments protéiques de 5-6 nanomètres de diamètre, constitués d'une protéine appelée actine contenue en grande quantité dans les muscles.
- Les filaments intermédiaires, enfin, ont un diamètre de 8-10 nanomètres et contribuent à la motilité cellulaire.



- ❖ **Les ribosomes** : Les ribosomes ont été décrits pour la première fois par Palade en 1953 au microscope électronique à transmission (MET). Ce sont des constituants universels de tous les êtres vivants à l'exception des Acaryotes (sans noyau). Ce sont des sphères qui peuvent être libres ou associées au RE et participent à la synthèse protéique à partir d'ARN (traduction). Les ribosomes sont des structures très hydratées, ils contiennent jusqu'à 70% d'eau, le reste (poids sec) est composé d'ARNr et de protéines. Les proportions de protéines et d'ARNr sont différentes d'un type de ribosome à un autre. Il y a 50% de protéines et 50% d'ARNr chez les Eucaryotes. Chez les Procaryotes, les ribosomes contiennent 60% de protéines et 40% d'ARNr. L'observation de coupes minces au (MET) montre que les ribosomes ont une forme globulaire de 150 à 200Å de diamètre. Ils sont composés de deux sous-unités : une grande (L pour large) et une petite (S pour small) sous-unité. Ces sous-unités sont construites autour d'un cœur d'ARN ribosomique possédant une structure très compacte, autour duquel sont accrochées les protéines. Le site actif du ribosome qui catalyse la liaison peptidique est constitué d'ARN. La biogenèse des ribosomes a lieu dans le nucléole, une structure du noyau.

- ❖ **Le centrosome** : Le centrosome est constitué de deux centrioles. Ce sont des éléments tubulaires intervenant dans la division cellulaire. Le centriole est une structure cellulaire intracytoplasmique constituée de 9 triplets de 3 tubules. Chaque cellule contient 2 centrioles

(perpendiculaire et ne se touchant pas) et l'ensemble forme le centrosome qui est toujours à proximité du noyau.

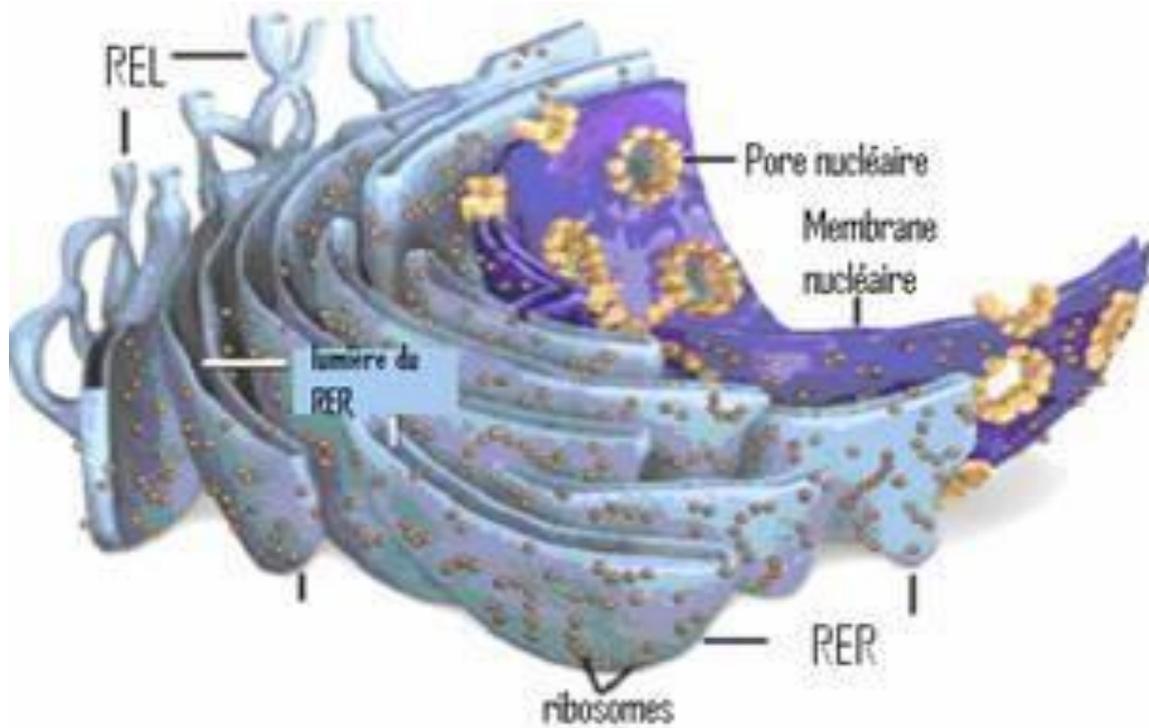
○ LES ORGANITES ENTOURES D'UNE MEMBRANE

❖ Réticulums endoplasmiques :

Ils ont été décrits par PORTER en 1945 grâce à la microscopie électronique. Les réticulums endoplasmiques (RE) sont des organites avec une double membrane intracellulaire et ressemblent à un amas de replis formant des cavités appelées « citernes » (réseau de cavités de forme tubulaire ou aplatie) qui communiquent d'une part avec l'extérieur (par anastomose avec la membrane cytoplasmique), de l'autre avec l'espace compris entre les deux feuillets de la membrane nucléaire. Il est également en relation avec les dictyosomes : les saccules de ces derniers proviennent de la fusion de vésicules produites par le réticulum endoplasmique. Il assure le transport et le stockage des matériaux à l'intérieur de la cellule. Le réticulum se nomme corps de Nissl dans les neurones, corps de Berg dans les hépatocytes et calciosome ou bien réticulum sarcoplasmique dans les cellules musculaires. Ils sont présents dans toutes les cellules animales et végétales. Il est formé d'un ensemble de cavités limitées chacune par une membrane de même structure que la membrane cytoplasmique. Les cavités du RE sont de formes variables, généralement aplaties de 250 à 500 μ m et communiquant entre elles par des connections temporaires comme celles qui constituent les vacuoles de la cellule végétale sont parfois très dilatées, d'autres forment des tubes ou des vésicules. Les RE sont généralement très polymorphe (système dynamique) à l'intérieur de la cellule à l'exception de la région qui marque la frontière entre le hyaloplasme et le nucléoplasme. En effet les RE entourent complètement le noyau et forment la membrane nucléaire. Contre les membranes du RE on observe très fréquemment des granules de 150 \AA de diamètre : ce sont les ribosomes. On distingue selon qu'il existe ou non les ribosomes contre les membranes : un REG ou ergatoplasme (basophile) et un RE lisse. Tout ce système de cavités s'étend dans le hyaloplasme depuis la membrane nucléaire jusqu'à la membrane cytoplasmique avec lesquelles les parois du réticulum sont en continuité. Ils sont en continuité avec la membrane du noyau. On distingue :

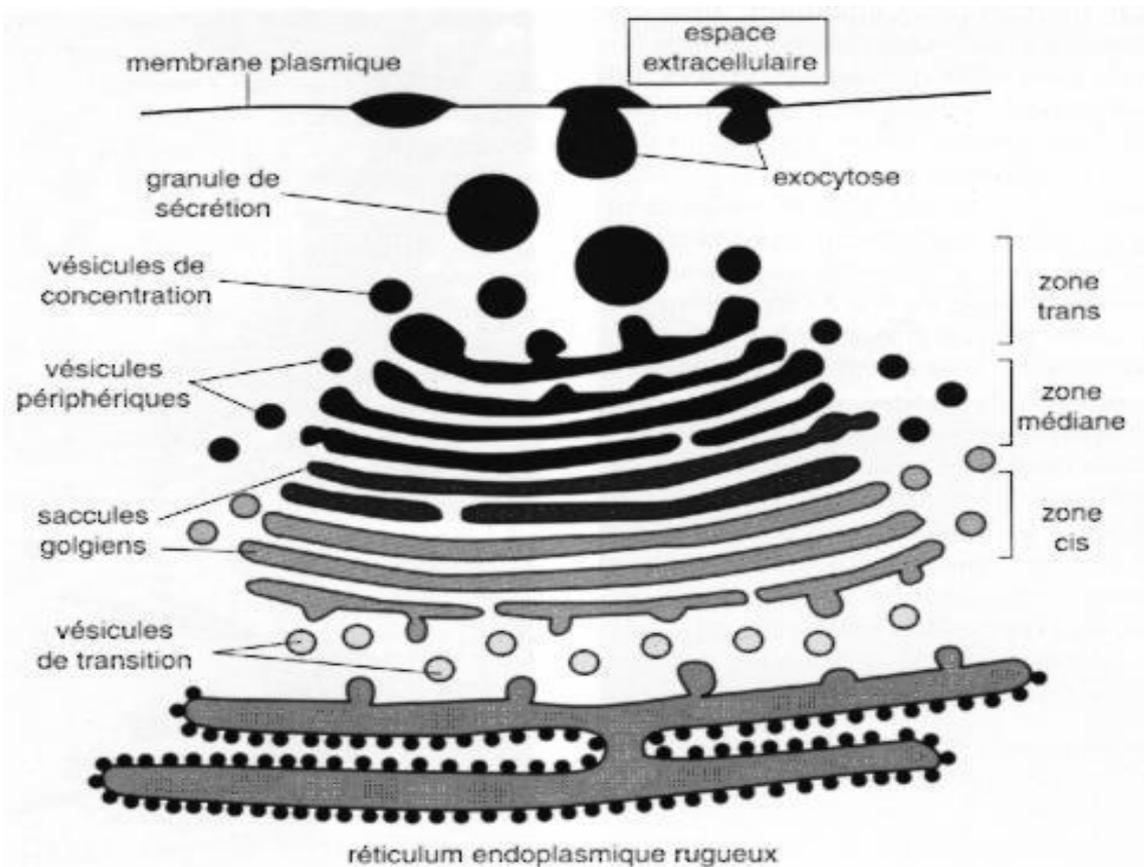
- ❖ Le réticulum endoplasmique granuleux (REG) ou réticulum endoplasmique rugueux (RER) est un système de cavités plus ou moins dilatées et de canalicule qui communique entre eux, portant des ribosomes attachés sur leurs faces externes représentant 20 à 60 % de la surface des membranes (dépend du type cellulaire). Il est plus abondant dans les cellules de sécrétion protéique importantes d'où le nom d'ergastoplasme. Il est en continuité avec l'enveloppe nucléaire et avec le réticulum endoplasmique LISSE (REL). Le réticulum endoplasmique rugueux (RER) a sa surface recouverte de ribosomes qui assemblent les acides aminés en protéines suivant l'information venue du noyau.

- ❖ Le réticulum endoplasmique lisse (REL) : les cellules eucaryotes contiennent peu ou pas de réticulum endoplasmique lisse. On a des régions de transition à partir de laquelle bourgeonnent des vésicules de transport. Cette région de transition constitue par ailleurs un site de synthèse des lipides. Elle est plus abondante dans certaines cellules spécialisées. C'est le cas des cellules qui synthétisent les corticostéroïdes comme certaines cellules des glandes surrénales, les hépatocytes qui synthétisent les acides biliaires, les lipoprotéines. Le cholestérol, tous les sphingolipides et leurs dérivés sont synthétisés dans la membrane du réticulum endoplasmique lisse. Il intervient dans la synthèse de lipides (phospholipides, acides gras...), détoxification des cellules (transformation de molécules toxiques en molécules atoxiques) et le stockage du calcium.



❖ **Appareil de Golgi (AG)** : L'appareil de Golgi se rencontre dans toutes les cellules, à l'exception des cellules procaryotes. Il appartient à l'ensemble des cavités limitées par une membrane tripartite à l'intérieur du hyaloplasme, mais il se différencie du réticulum endoplasmique par sa forme. Il est constitué de petites piles de quatre à cinq saccules : les dictyosomes (1). Des vésicules plus petites (2) se forment à la périphérie des grandes vésicules aplaties. Elles peuvent donner naissance à des vésicules de grande taille appelées vacuoles où s'accumulent les produits de sécrétion de de la cellule. L'appareil de Golgi entretient des relations étroites avec le reticulum endoplasmique (3) et joue un rôle essentiel dans la sécrétion vers l'extérieur des produits de la cellule. En fixant des glucides sur les lipides et les protéines qui seront ensuite incorporés dans la membrane, il participe à la création de la membrane cytoplasmique. C'est un organite regroupant l'ensemble des dictyosomes (formations constituées de saccules ou citernes empilées). C'est un lieu de passage obligatoire des protéines synthétisées par le réticulum endoplasmique rugueux (granuleux). Il participe au processus de sécrétion. Les protéines à sécréter sont concentrées dans des vésicules issues des extrémités de l'appareil de Golgi. Ces vésicules sont déversées dans le milieu extracellulaire par exocytose. Vésicules : Ce sont de petits compartiments cellulaires constitués d'une membrane fermée et contenant des molécules devant être transférées entre deux

organites. La plupart des vésicules transfèrent les protéines et les fragments de membrane assemblés dans le RE vers l'AG puis de ce dernier vers diverses destinations dans et hors de la cellule.



- ❖ **Lysosomes** : Dans le cytoplasme des cellules eucaryotes sont présents des organites de forme, de nombre et de dimensions variables, qui peuvent être considérés comme l'estomac de la cellule. Ce sont les lysosomes, vésicules contenant une très haute concentration d'enzymes digestives (ou hydrolases) qui sont utilisées pour dégrader les macromolécules. Leur nom dérive du grec lithos, pierre, et soma, corps, en raison de l'aspect granulaire que présentent certains des matériaux qu'ils contiennent. Les lysosomes se forment et se détachent de l'appareil de Golgi, et se déplacent vers l'extérieur de la cellule pour aller se fondre avec la membrane plasmique. Pendant le parcours, ils peuvent s'unir aux vacuoles alimentaires (voir endocytose et exocytose) et y verser leur contenu, de façon à former un lysosome secondaire ou bien se fondre directement avec la membrane plasmique, sécrétant à l'extérieur de la cellule

les enzymes lysosomiales. Le lysosome fut décrit et nommé pour la première fois en 1955 par Christian de Duve. Il considérait les lysosomes primaires n'ayant pas encore rencontré de matériel à digérer, les lysosomes secondaires, les lysosomes qui sont en contact de la matière à digérer et les lysosomes tertiaires, les lysosomes ayant terminés la digestion (Corps résiduels ou vacuoles à déchets). : Ce sont des organites intra cytoplasmiques appartenant au système endomembranaire contenant des enzymes hydrolytiques (des hydrolases acides) qui proviennent du RE ou de l'AG et qui dégradent de nombreuses molécules biologiques. Ils se trouvent dans toutes les cellules mais sont plus abondantes dans les cellules responsables de la défense de l'organisme (macrophages, polynucléaires neutrophiles) ou des cellules très spécialisées comme les ostéoclastes. Visibles en microscopie optique et électronique, l'aspect hétérogène Ces enzymes servent à digérer des molécules absorbées par la cellule ainsi que des macromolécules ou éléments inutilisables ou usagés telles que les organites détruits ou abimés, les substances toxiques... Ils contiennent des hydrolases acides qui requièrent un pH faible (acide) pour le fonctionnement. Ils réalisent la digestion intracellulaire des substances absorbées par phagocytose en fusionnant avec le phagosome pour y libérer les enzymes nécessaires à l'assimilation de son contenu.

- ❖ Vacuoles : Les vacuoles et les vésicules sont toutes deux des sacs intracellulaires entourés de membrane. Les vacuoles sont des cavités sphériques et mobiles qui contiennent des substances stockées par les cellules ou bien des déchets à éliminer. Plus grosses que les vésicules, les vacuoles ont diverses fonctions. On distingue : des vacuoles nutritives ou phagosomes ; des phagolysosomes (fusion d'un lysosome et d'une vacuole nutritive) ; des vacuoles contractiles qui expulsent l'excès d'eau de la cellule (protistes d'eau douce). Les vacuoles constituent le principal réservoir d'eau et d'ions inorganiques tels que les ions potassium et chlorure dans une cellule végétale. Contrairement à la cellule animale, la cellule végétale ne renferme généralement pas de lysosomes spécialisés. C'est la vacuole qui fait office de compartiment lysosomal.

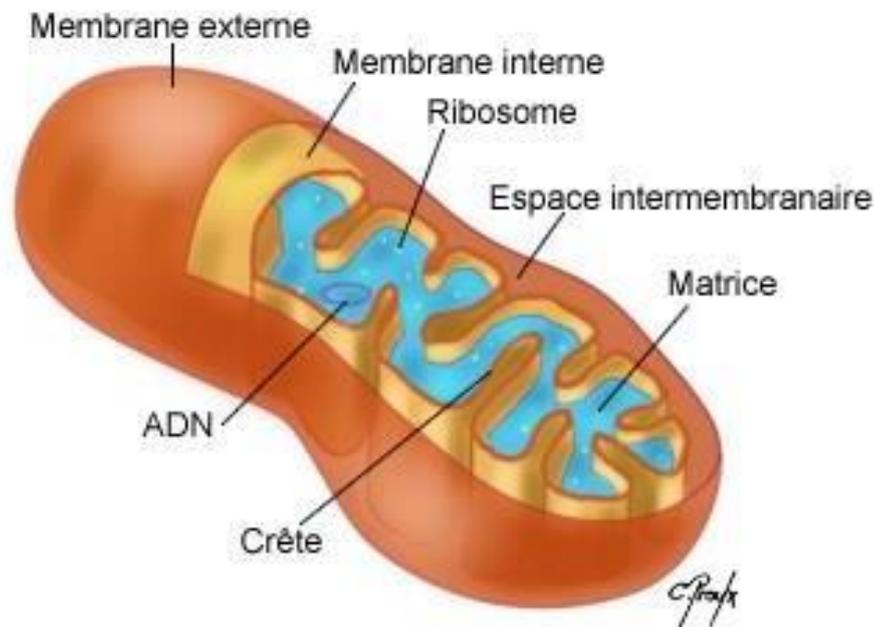
La vacuole sert aussi à l'isolement des sous-produits du métabolisme qui deviendraient nocifs s'ils s'accumulaient dans le cytoplasme. Certaines vacuoles contiennent des pigments rouges et bleus qui attirent les insectes pollinisateurs vers les pétales des fleurs. Les vacuoles peuvent aussi protéger la

plante contre les prédateurs, car renfermant parfois des composés toxiques ou désagréables au goût. La vacuole joue un rôle primordial dans la croissance de la cellule végétale (absorption d'eau et allongement de la cellule qui s'agrandit sans production de nouveau cytoplasme).

Peroxisomes : Terme issu du latin : per : grande quantité, du grec oxus : pointu et sôma : corps. Peroxisome signifie exactement corps de peroxyde suite à leur capacité à produire du peroxyde d'hydrogène, ou eau oxygénée H_2O_2 . Il s'agit de particules présentes à l'intérieur du cytoplasme des cellules animales mais également des cellules végétales. Ce sont des sacs membraneux comme les vésicules et contenant des enzymes puissants qui utilisent l'oxygène pour neutraliser de nombreuses substances nuisibles ou toxiques à la cellule comme entre autres l'alcool et le formaldéhyde. Ces enzymes servent également à oxyder certains acides gras à longue chaîne. Le rôle plus important des peroxysomes est la neutralisation des radicaux libres qui sont des substances chimiques très réactives comportant des électrons non appariés (ne se déplaçant pas vers d'autres molécules pour former des couples). Ces électrons non appareillés sont également susceptibles de semer le désordre dans la structure des protéines, des acides nucléiques (ADN ou ARN) et des lipides. Les peroxysomes sont particulièrement fréquents dans les cellules hépatiques (du foie) et des reins et tout particulièrement des tubes rénaux. Dans ces tissus, ils contribuent très activement à la détoxification. Ils se forment en incorporant des protéines et des lipides produits dans le cytosol, et ils se multiplient par scissiparité quand ils atteignent une certaine taille.

Mitochondries : Ce sont des organites en forme de haricot de très petite taille, ressemblant à de petits bâtonnets et possédant une double membrane intracellulaire.

Le mot mitochondrie dérive du grec mitos, « filament », et chondros, « graine » en raison de l'aspect de cet organite au microscope optique (et électronique). Par exemple dans les cellules élaboratrices d'hormones stéroïdiennes (corticosurrénales et gonades) les mitochondries sont filamenteuses, alors que dans les hépatocytes (foie), elles sont granulaires. Les mitochondries ont un diamètre d'environ $1\mu m$. Les cellules en contiennent de nombreuses : nombre estimé à 1000 dans un hépatocyte de rat. Les mitochondries ne sont pas des organites statiques : elles se scindent ou, au contraire, fusionnent couramment ce qui explique leur polymorphisme au sein d'une même cellule.



La mitochondrie est limitée par une enveloppe formée de deux membranes : membrane externe et membrane interne. Elles sont très différentes dans leur composition et leurs fonctions. Ces deux membranes délimitent trois milieux: l'espace extra mitochondrial qui est le cytoplasme de la cellule, l'espace inter membranaire et la matrice.

- La membrane externe est perméable à toutes les molécules de 5 kDa ou moins grâce à la présence de porines. Elle contient aussi des translocases, transporteurs protéiques, impliquées dans l'import des protéines.
- La membrane interne se replie pour former de nombreuses crêtes, ce qui a pour conséquence d'augmenter sa surface totale. La base d'une crête est souvent constituée par une structure tubulaire étroite appelée tube de jonction de crête qui établit une communication entre l'espace intérieur de la crête et l'espace inter membranaire périphérique de la mitochondrie. La composition lipidique de la membrane interne est particulière : elle contient une majorité de phosphatidylcholine et de cardiolipine. Dans cette membrane on trouve la chaîne respiratoire de transporteurs d'électrons, l'ATP synthase et de nombreux transporteurs qui assurent le passage d'éléments tels que pyruvate, acide gras, ATP, ADP et $H_2 PO_4$, composés

nécessaires à la production d'ATP. La membrane interne contient aussi des translocases, impliquées dans l'import des protéines

- Dans l'espace matriciel on trouve un mélange très concentré de nombreuses enzymes, dont celles qui sont nécessaires à l'oxydation du pyruvate et des acides gras (en acétyl-CoA) et au cycle de l'acide citrique. Il renferme également plusieurs copies identiques d'ADN (génome mitochondrial) et les protéines nécessaires à sa transcription puis à la traduction de l'ARNm en protéines. La protéosynthèse mitochondriale ne concerne cependant qu'un nombre restreint de protéines (13), la grande majorité des protéines mitochondriales (environ 300 protéines différentes) étant importée à partir du cytoplasme.

Plastes : Un plaste, ou leucite ou plastide, est une inclusion (cytoplasmique) qui est un organe cellulaire pouvant se charger de pigments, chloroplaste et/ou chromoplaste, ou de diverses substances nutritives ; par exemple, un amyloplaste est une inclusion cytoplasmique qui est chargée d'amidon. Tous les plastes peuvent dériver des proplastes, mais peuvent aussi dériver d'un plaste déjà existant par division ou différenciation. La division des plastes se fait par « fission » d'un plaste déjà existant. Il n'est pas possible de former un plaste de nouveau.

On distingue 3 types de plastes : Chloroplastes, Chromoplastes et Leucoplastes.

- ❖ Chloroplastes : Ce sont des organites spécialisés au sein desquels s'effectue la photosynthèse. Ils contiennent un pigment vert, la chlorophylle, ainsi que des caroténoïdes. Un chloroplaste est délimité par 2 membranes séparées par un espace intermembranaire très mince. À l'intérieur du chloroplaste se trouve un autre réseau membranaire organisé en sacs aplatis, les thylakoïdes. Dans certaines régions du chloroplaste, les thylakoïdes sont empilés en des structures appelés grana (granum au singulier). Le liquide où baignent les thylakoïdes s'appelle stroma, une matrice dense et granuleuse contenant des ribosomes et de l'ADN. Les chloroplastes sont des organites semi-autonomes qui croissent et se reproduisent à l'intérieur de la cellule. Les chloroplastes, propres aux végétaux et à certains protistes, transforment l'énergie solaire en énergie chimique ; avec la lumière qu'ils absorbent, ils alimentent la synthèse de composés organiques à partir de dioxyde de carbone et d'eau
- ❖ Chromoplastes : Plastes qui élaborent les pigments (caroténoïdes) qui donnent aux fruits et aux fleurs leurs teintes.

- ❖ Leucoplastes : Ce sont des plastes sans pigments, servant au stockage des composés organiques. On distingue : les amyloplastes, spécialisés dans le stockage de l'amidon ; les élaïoplastes, spécialisés dans le stockage des lipides et les protéinoplastes, spécialisés dans le stockage des protéines.

Remarque : Dans la vie des végétaux, on peut avoir aussi des plastes qui proviennent d'une anomalie physiologique spéciale : les étioplastes. Ceux-ci sont des plastes dont le développement en chloroplastes a été arrêté par manque de lumière. On obtient donc des plastes sans chlorophylle, mais qui accumulent un précurseur : la protochlorophyllide.

CHAPITRE IV : TRANSPORT MEMBRANAIRE

INTRODUCTION

De façon générale, toute cellule vivante doit se développer, se reproduire et assurer une activité métabolique précise. De ce fait, elle est amenée à importer des matières premières nutritives et à éliminer des produits terminaux (déchets) de son activité. Ceci doit se faire à travers la membrane plasmique qui entoure son cytoplasme et qui constitue l'unique voie pour arriver au niveau du cytoplasme de la cellule. Le passage de toutes ces substances à travers la membrane est qualifié de perméabilité. La perméabilité est la propriété que possède la surface cellulaire (membrane plasmique) d'absorber directement des substances du milieu extracellulaire et d'y éliminer d'autres substances. Elle peut prendre deux formes.

PERMEABILITE MEMBRANAIRE

Différents types de transports membranaires

Le mouvement des substances à travers la membrane plasmique peut se faire de deux façons, c'est-à-dire de façon active ou passive. Dans les mécanismes passifs, les molécules traversent la membrane sans que la cellule fournisse d'énergie. Par contre, dans les mécanismes actifs, la cellule dépense impérativement de l'énergie pour transporter la substance en question à travers la membrane plasmique.

Perméabilité passive ou transport passif :

Le transport passif est un transport qui se fait sans consommation d'énergie, il se fait donc

le long du gradient électrochimique (ou gradient de concentration). Il permet, de faire passer une substance à travers une membrane d'un milieu très concentré en cette substance vers le milieu le moins concentrée en cette substance.

a- L'osmose :

L'osmose est un phénomène physique passif qui a lieu seulement lorsque les solutions sont séparées par une membrane semi-perméable. C'est également une diffusion d'un solvant, par exemple l'eau, à travers une membrane à perméabilité sélective. Seules les molécules d'eau traversent la membrane de la solution hypotonique (la plus diluée) vers la solution hypertonique (solution la plus concentrée) jusqu'à ce que les solutions soient isotoniques (de même concentrations). Si les deux milieux sont de même concentrations, aucun mouvement d'eau n'est envisageable : la cellule est en équilibre osmotique. En d'autres termes le transport passif via l'osmose ne peut se faire que lorsqu'il ya déséquilibre osmotique.

Etant donné que l'eau n'est pas soluble dans les lipides, il est quasiment impossible qu'elle puisse traverser directement la double couche lipidique de la membrane cytoplasmique. Pourtant l'eau est un élément aussi essentiel au maintien de l'intégrité cellulaire.

Il est bien connu de nos jours que le libre passage de l'eau se fait par l'intermédiaire de protéines intégrées qui traversent complètement la double couche lipidique : on parle des "pores membranaires". Ces protéines ou pores ressemblent à de petits canaux dont la forme évoque celle d'un tunnel placé verticalement à travers la membrane cytoplasmique et, par conséquent, de façon à ce que l'orifice central permette à l'eau et, à l'occasion, à certaines petites molécules dissoutes dans l'eau de diffuser librement de part et d'autre de la membrane cytoplasmique. Ainsi, il est question de comprendre que le pore membranaire est un moyen de transport assez spécial dans ce sens que c'est la configuration de la protéine en forme de tunnel qui permet la diffusion passive de l'eau.

b- Diffusion

C'est le passage de substances d'un compartiment où cette substance est très concentrée vers un compartiment à faible concentration en cette substance suivant son gradient de concentration. Elle est également un phénomène purement physico chimique qui se fait à

travers la partie lipidique de la membrane plasmique et nécessite pas d'intervention des protéines membranaires.

□ Diffusion simple :

La diffusion simple est la diffusion dans la membrane à travers la bicouche phospholipidique. Ce type de passage est un phénomène physique passif et n'est possible que si la molécule est « soluble » dans la membrane phospholipidique, c'est-à-dire qu'elle peut traverser directement la bicouche de phospholipides. Cette diffusion se fait dans le sens du gradient. La molécule doit donc être hydrophobe (apolaire) ou, si elle est hydrophile (polaire), elle doit être suffisamment petite (en pratique : éthanol). Ainsi, la diffusion simple est conditionnée par certains facteurs tels que :

- La taille des molécules : les molécules dont la masse moléculaire est supérieure à 150 Da (unité de masse atomique unifiée ou dalton), ne peuvent traverser la bicouche lipidique. Cette règle, ne s'applique qu'aux molécules de petite dimension.
- L'absence de polarité : une molécule polarisée ne traverse pas la membrane par diffusion facilitée.
- L'absence de charge : une molécule chargée, même de très petite dimension, ne pénètre pas la bicouche lipidique.
- Le coefficient de partition : c'est le rapport solubilité dans les lipides/solubilité dans l'eau ; plus ce rapport s'élève, plus la facilité de passage transmembranaire de la substance augmente.

□ Diffusion facilitée :

Les molécules hydrosolubles comme les ions, les glucides et les acides aminés ne peuvent diffuser à travers la membrane lipidique à des vitesses suffisantes pour satisfaire les besoins des cellules. Le transport de ces molécules est toujours passif mais fait intervenir des protéines, c'est un phénomène qui est spécifique et régulé. Ainsi, le transport de ces molécules sera donc fait par un groupe de protéines membranaires intégrées spécialisées tels que les "protéines transporteurs" spécifiques aussi appelées "perméases".

D'une façon générale, le transport à travers les protéines membranaires sujette :

1- La stéréospécificité : qui est la conformation spatiale.

2- La saturation : dépend du nombre de transporteurs disponibles prêts à transporter la substance.

3- La compétition : les solutés de structures semblables se disputent les molécules de transport dans les sites de passage.

Ces transporteurs peuvent se présenter par :

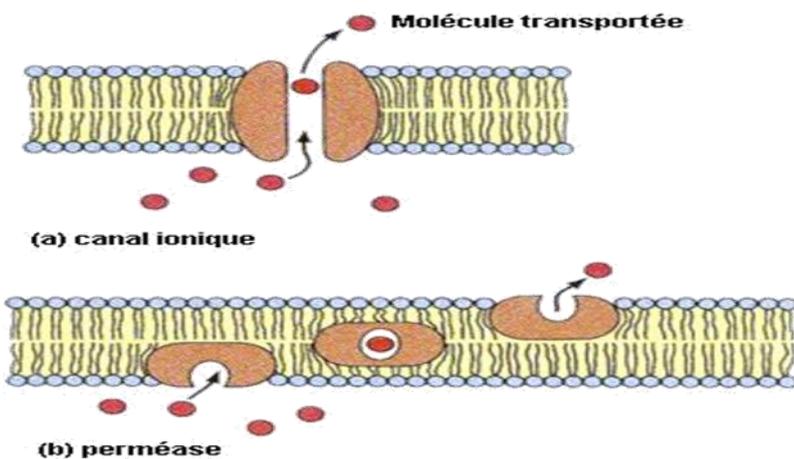
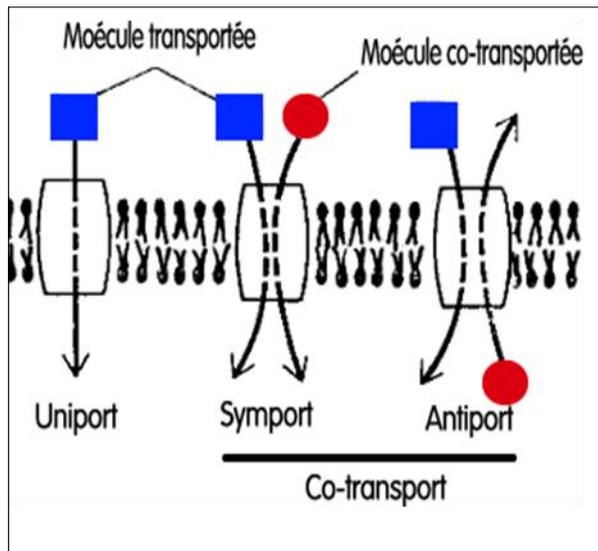
- Les protéines de canal (canaux ioniques) : Les protéines-canal assurent un transport passif de molécules à travers la membrane. Le passage des molécules à travers un canal suit les lois de la diffusion. Cependant elles peuvent être plus ou moins sélectives. Elles peuvent aussi se fermer et s'ouvrir en fonctions de différents stimuli (électrique, chimique, mécanique...). La protéine ne doit pas changer de forme pour permettre le passage. Ce transport par les protéines de canal est très spécifique ; il ne laisse passer qu'une ou quelques sortes de molécules et pas d'autres mais il est très rapide

- Les transporteurs : ils changent de forme pour déplacer des molécules d'un côté à l'autre d'une membrane. Ce transport est similaire à celui des protéines canaux, si ce n'est qu'il est généralement moins rapide. Selon le nombre et le sens de la substance à transporter et également le mode de fonctionnement de la perméase, on distingue :

- Le mode uniport : ce mode implique une protéine de transport pour faire traverser une seule substance de par et d'autre la membrane selon les lois de la diffusion.

- Le mode symport : c'est un mode qui utilise un co- transporteur, donc il fait passer deux substances dans le même sens selon leurs gradients de concentration.

- Le mode antiport : il s'agit ici, de faire traverser deux substances à travers la membrane dans deux sens différents.



La perméabilité active ou le transport actif :

Le transport actif implique le transfert d'une molécule contre le gradient de concentration (c'est-à-dire du compartiment le moins concentré = solution hypotonique vers le compartiment le plus concentré = solution hypertonique). Il y a donc nécessité de fournir de l'énergie car ce transport n'est pas spontané. Il existe deux types de transport actif selon la source d'énergie utilisée mais dans les 2 cas une protéine de transport est nécessaire.

Les différents types de transport actif ; ont en commun la caractéristique de générer un flux net de particules avec consommation obligatoire d'une partie de l'énergie totale du système.

Il permet de maintenir une différence de concentration de divers solutés de part et d'autre d'une membrane.

Les deux principaux mécanismes actifs de transport membranaire sont le pompage de solutés et le transport vésiculaire.

a- Transport actif primaire :

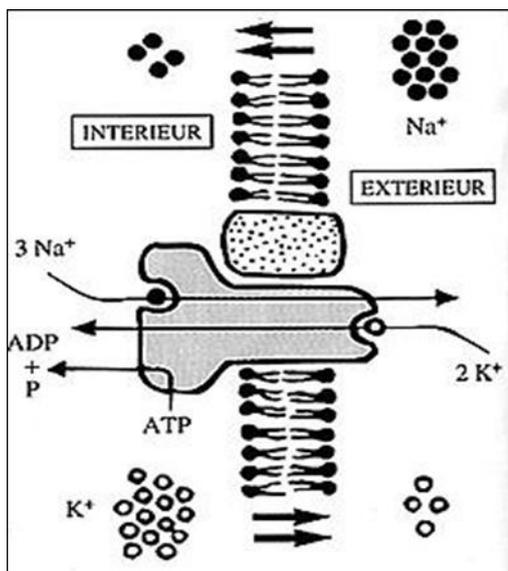
Dans ce type de transport, le transporteur utilise directement l'énergie fournie par une réaction exoénergétique (le plus souvent l'hydrolyse de l'ATP). Le transporteur le plus connu est la pompe Na^+/K^+ (ou Na^+/K^+ ATPase) qui expulse trois ions sodium et fait entrer deux ions potassium pour chaque molécule d'ATP hydrolysée. Les pompes à solutés (transporteurs protéiques qui ressemblent à des enzymes) déplacent les solutés, principalement des acides aminés et des ions (comme Na^+ , K^+ et Ca^{2+}) à contre-courant, c'est-à-dire contre leur gradient de concentration. Pour ce faire, les cellules doivent consommer l'énergie fournie par le métabolisme cellulaire et présente sous forme d'ATP.

On distingue :

*La pompe à sodium- potassium-ATP ase qui va rejeter 3 Na^+ et faire entrer 2 K^+ .

*La pompe Ca^{2+} ATP ase qui assure la sortie du Ca^{++} vers le milieu extra cellulaire.

*Pompe à proton (en thérapeutique les inhibiteurs de la pompe à proton en cas d'ulcère



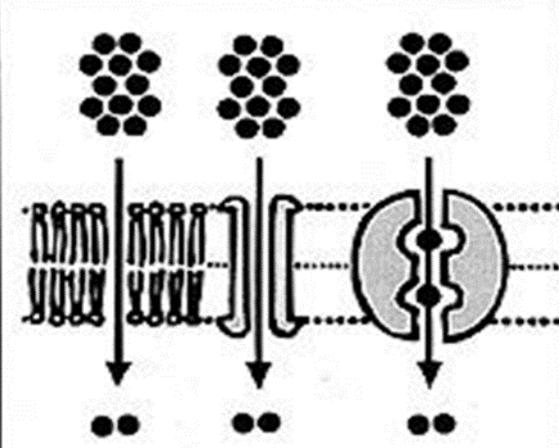
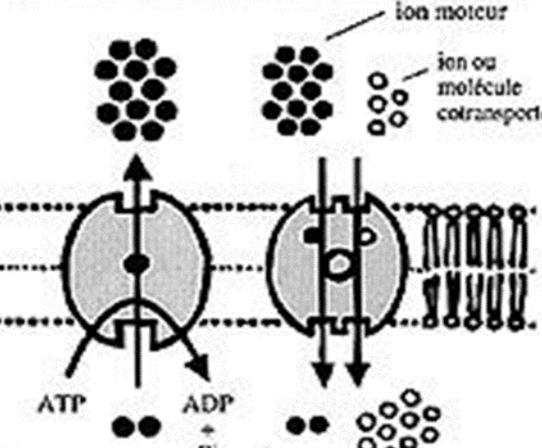
D'autres transporteurs actifs très importants dans la cellule sont ceux qui concentrent le calcium du cytoplasme vers le réticulum endoplasmique et maintiennent ainsi une concentration cytosolique libre de l'ordre de la centaine de nano moles. Cette concentration très basse sera exploitée par la cellule ; le calcium est utilisé par de nombreux récepteurs comme signal pour prévenir la cellule de la présence de sa molécule activatrice (hormone en général) sur son site actif.

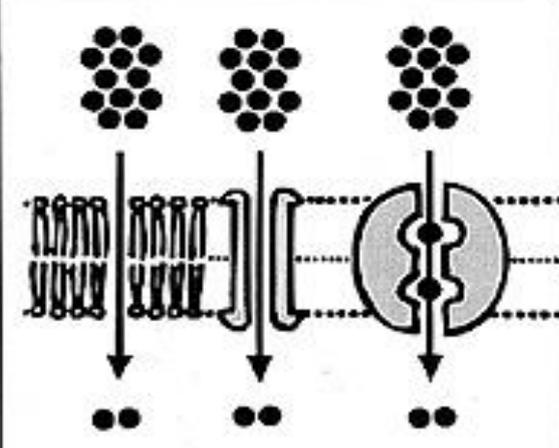
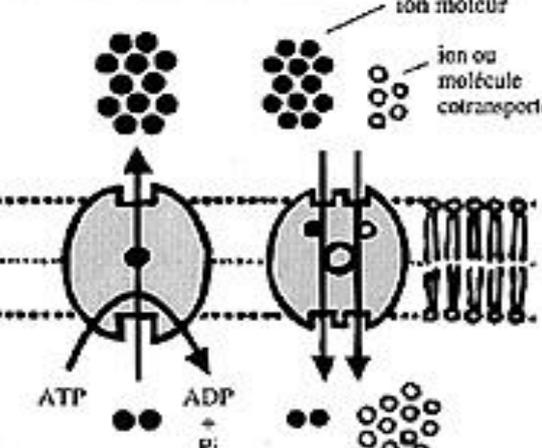
b- Transport actif secondaire

Dans ce type de transport, le déplacement contre le gradient de concentration de la molécule est réalisé par la dissipation d'un autre gradient, lui-même construit par un transport actif primaire. C'est le cas par exemple du transport de chlorure dans certains épithéliums qui sécrètent du NaCl. Le transport de molécules contre leur gradient électrochimique ne nécessite pas forcément l'hydrolyse de l'ATP. Il existe de nombreux cas où l'énergie est fournie par un ion ou une autre molécule qui suit son gradient électrochimique. Ce phénomène s'appelle transport couplé ou co-transport, car il couple un canal ionique à une pompe membranaire et utilise l'énergie de l'un pour activer l'autre. Selon le sens de déplacement respectif des deux molécules on parle de symport (l'ion et la molécule transportée traversent la membrane dans le même sens) ou d'antiport (les deux espèces chimiques se déplacent en sens inverse). Ces transports couplés sont très utilisés par la cellule pour récupérer les molécules nécessaires à son métabolisme dans le milieu extérieur.

L'énergie vient du gradient électrochimique, entretenu entre autre par la pompe Na^+/K^+ , et que l'on peut considérer que c'est bien l'ATP qui a fourni l'énergie, de manière indirecte, d'où le terme de transport primaire pour désigner les pompes ATPasiques et de transport secondaire pour les transports couplés.

Tableau récapitulatif des différents passages de substance via la membrane

INTERVENTION DE PROTEINES PORTEUSES			
TRANSPORTS PASSIFS = DIFFUSION		TRANSPORTS ACTIFS	
			
INTERIEUR DE LA CELLULE			
Simple	Facilitée	Primaire = Pompe	Secondaire avec cotransport
Lipophile	Par canaux ou pores	Par perméase	Consomme de l'ATP
			Utilise un gradient ionique

INTERVENTION DE PROTEINES PORTEUSES			
TRANSPORTS PASSIFS = DIFFUSION		TRANSPORTS ACTIFS	
			
INTERIEUR DE LA CELLULE			
Simple	Facilitée	Primaire = Pompe	Secondaire avec cotransport
Lipophile	Par canaux ou pores	Par perméase	Consomme de l'ATP
			Utilise un gradient ionique

Perméabilité des macros molécules :

❖ L'endocytose :

Des particules ou molécules peuvent aussi pénétrer dans la cellule par endocytose. Dans ce processus les éléments qui vont entrer se trouvent "capturés" dans une vésicule qui provient d'un repliement de la membrane cytoplasmique autour de ceux - ci. Cette vésicule va ensuite se retrouver du coté intracellulaire.

•La pinocytose : C'est un phénomène de l'endocytose, qui concerne le passage de substances à l'état liquide de fort poids moléculaire à travers la membrane par ondulation de cette dernière. Ce phénomène est très fréquent chez les cellules intestinales. Contacte et accollement englobement formation de vacuole et transfert.



Contacte et accollement englobement formation de vacuole et transfert

•La phagocytose : Ce phénomène est analogue à celui de la pinocytose, sauf que la substance à faire traverser est à l'état solide. On le rencontre chez les macrophages (globules blancs) ou dans l'alimentation de la majorité des organismes unicellulaires aquatiques tel que l'amibe et la paramécie.



a-accollement b- englobement c- étranglement d- formation de vacuole e- transfert

❖ L'exocytose :

Dans ce cas des particules destinées à être excrétées hors de la cellule sont entourées dans une vésicule (qui provient le plus souvent de l'appareil de Golgi). Celle-ci va fusionner avec la membrane cytoplasmique puis son contenu va être libéré du côté extracellulaire.

CHAPITRE V: ACIDES NUCLEIQUES MATERIEL HEREDITAIRE ET COMMUNICATION CELLULAIRE

I-ACIDES NUCLEIQUES ET MATERIEL HEREDITAIRE

I.1. Généralités

Miescher isole en 1869 l'ADN qu'il nomma nucléine, à partir de noyaux de cellules. La molécule contient du phosphore, est très acide et a une grande affinité pour les colorants basiques d'où le nom d'acide nucléique. Il existe deux types d'acides nucléiques : l'ADN et l'ARN retrouvés chez tous les êtres vivants. Ils sont les constituants essentiels de toutes les unités biologiques capables d'autoreproduction.

L'ADN constitue le matériel héréditaire et porte l'information qui commande la synthèse des protéines. Les acides nucléiques s'associent à des protéines basiques (Histones, protamines) ou non basiques pour former des nucléoprotéines.

I.2. Localisation des acides nucléiques

- Dans les cellules eucaryotes, l'ADN associé aux protéines est localisé dans le noyau. Dans le cytoplasme, il est retrouvé dans les chloroplastes et les mitochondries. L'ARN se retrouve dans le cytoplasme et en faible quantité dans le noyau surtout au niveau du nucléole.

- Chez les procaryotes, ADN et ARN sont tous les deux localisés dans le cytoplasme.

I.2.1. Structure des acides nucléiques

I.2.1.1 Le nucléoside

C'est l'unité d'acide nucléique. Il est constitué d'un pentose (β -D- ribose dans l'ARN ou β -D-2 désoxyribose dans l'ADN, d'une base azotée purique (adénine, guanine) ou

pyrimidique (thymine (ADN), uracile (ARN), cytosine pour les deux.

La liaison sucre + base est une liaison N-glycosidique qui peut être facilement hydrolysée en milieu acide dans les nucléosides puriques, mais elle est plus résistante pour les nucléosides pyrimidiques.

Le nucléotide

- Le nucléoside peut se lier à une ou plusieurs molécules de H_3PO_4 pour former un nucléoside phosphate ou nucléotide.

Les nucléotides libres

Ce sont des mono ou di ou triphosphates qui jouent des rôles importants dans les réactions du métabolisme cellulaire (transport d'information, d'électrons, transfert de l'énergie chimique.

Mononucléotides : rôle de messenger dans l'action de plusieurs hormones), FMN : flavine mononucléotide = (riboflavine ou Vit B2 phosphate) Dinucléotides : ADP ; FAD (flavine adénine-dinucléotide) ; NAD (nicotinamide adénine dinucléotide) ; NADP; coenzyme A ; UDP.

Trinucléotides : ATP (transfert d'énergie chimique).

L'ADN

Les analyses physico-chimiques de l'ADN non dégradé donnent les résultats incompatibles avec l'existence d'une fibre unique et tendue.

Elles ont permis proposer un modèle de l'ADN formé de 2 chaînes polynucléotidiques en double hélice autour d'un axe (structure bicaténaire). Les deux chaînes sont complémentaires, antiparallèles et de constitution en bases différentes. Lors de la duplication chaque chaîne peut servir de moule pour la synthèse de chaînes complémentaires. L'élimination des liaisons permet la séparation des chaînes : c'est la dénaturation

L'ARN

L'ARN est constitué par une chaîne polynucléotidique (monocaténaire). La chaîne peut se replier sur elle-même pour donner des secteurs à double hélice (structure secondaire) moins stable que celle de l'ADN. Dans la cellule, il existe différents types d'ARN : ARN de

transfert ou ARN-T, (5-10 %) solubles et libres dans l'hyaloplasme, qui se combinent de façon réversible à un acide aminé.

ARN messenger ou ARN-M (5%) libres. (cf Jacob Monod et Lwoff le prix Nobel de Médecine 1965) ARN ribosomiens (ARN-R) # 80% de l'ARN cellulaire), existent sous forme de ribonucléo-protéines.

Les ARN possèdent des séquences de bases complémentaires de celles de l'ADN du noyau. Ils peuvent s'hybrider réversiblement avec des secteurs de fibres isolées l'ADN.

Acides nucléiques : source de l'information génétique

L'ADN est le support de l'information génétique d'une cellule à l'autre, d'une génération à la suivante. Il possède 2 savoir faire directs : la réplication : ADN → ADN et la transcription ADN donné →→→ ARN. Un savoir faire indirect : il contient l'information nécessaire à la synthèse protéique. C'est la traduction.

Plusieurs travaux de recherche ont permis de préciser la nature du matériel génétique.

Expérience permettant de préciser que la source de l'information génétique de la cellule est constituée par l'ADN.

La transformation bactérienne

Exp : Griffith (1928) utilise les pneumocoques (*Diplococcus pneumoniae*), bactéries responsables de la pneumonie chez les mammifères et qui existent sous 2 formes : capsulée (lisse ou smooth (S) et virulente, sans capsule rugueuse ou rough (R) non virulente. Il réalise plusieurs expériences en injectant des bactéries à des souris :

1/ →→→Bactéries (S) virulentes => souris morte avec S dans le sang

2/ →→→Bactéries (R) non virulentes => la souris a survécu.

3/ Il tue par la chaleur les bactéries S et les injecte à une souris qui survit.

4/ Le mélange de R avec S tuées par la chaleur est injecté à une souris qui meurt de pneumonie.

Dans le sang, on retrouve des S virulentes vivantes.

Interprétation des résultats

Il y a eu transformation des bactéries R par une substance issue des bactéries S tuées. L'auteur a d'abord pensé à l'action des polysaccharides de la capsule, mais les bactéries S tuées débarrassées de leur capsule = → aussi la transformation.

*Quelle est la nature du facteur transformant ?

- On fait éclater les S et leur contenu récupéré. L'extrait S+ les R → leur transformation en S

L'analyse du facteur transformant a été réalisée en 1944 par Avery et al.

Dans des tubes à essais

- Bactéries R + ADN de S = → transformation → Bactéries S

- Bactéries R + ADN de S + Dnase (Les DNases sont des enzymes qui hydrolysent l'ADN et libèrent des nucléotides libres et du phosphate. Les DNases produites par les bactéries sont des endonucléases extracellulaires qui clivent l'ADN, produisant une forte concentration d'oligonucléotides.) → (-) transformation → R

- Bactéries R + ADN de S + Rnase (La RNase est l'enzyme responsable de la dégradation de l'ARN dans les organismes vivants. Elles jouent un rôle clé dans la maturation des molécules d'ARN et constituent une première ligne de défense contre les virus contenant de l'ARN, ainsi que dans la dégradation des anciens ARN.) = → transformation → Bactéries S.

Le facteur transformant = ADN

Explication : l'ADN des S contient l'information qui conditionne la virulence. Cet ADN s'intègre à l'ADN des bactéries R qui acquièrent le savoir-faire correspondant à l'élaboration de la capsule et transmettent ce savoir-faire à leur descendance. Pour s'intégrer au matériel génétique de la cellule hôte, l'ADN transformant doit traverser la membrane plasmique. Le passage de l'ADN est possible quand la bactérie est en état de compétence.

N.B. La transformation peut être généralisée à tous les caractères héréditaires.

Ces expériences sur les bactéries ont montré que l'ADN est la substance chimique contenant l'information génétique qui gouverne le fonctionnement de la cellule et qui est transmise d'une cellule à l'autre, d'une génération à la suivante. Cette notion peut être

généralisée aux cellules eucaryotes.

COMMUNICATIONS CELULAIRES (ECHANGES D'INFORMATION) :

Les cellules d'un organisme pluricellulaire doivent communiquer les unes avec les autres pour assurer le développement et l'organisation des tissus, pour contrôler leur croissance et pour réguler leurs fonctions.

Ces facteurs extérieurs influent sur la survie, la mort ou la prolifération des cellules. On distingue plusieurs types de communications intercellulaires :

- les communications à distance par des molécules secrétées
- les communications par contact grâce à des molécules liées aux membranes
- les communications intercytoplasmiques par les jonctions gap
- les communications par signaux chimiques

On reconnaît 3 stratégies de fapar messagers chimiques :

Transmission endocrine (humorale)

Le mécanisme est relativement lent (délai d'action de S à plusieurs H); la dilution >> des hormones (hydrophiles et hydrophobes), → cellules cibles doivent posséder des récepteurs de haute affinité ($10^{-8}M$). Suivant leur nature chimique, les substances humorales traversent ou non la membrane plasmique. Ainsi, le message est perçu par la cellule qui modifie son activité en conséquence.

Les substances liposolubles (ex : hormones sexuelles), traversent rapidement la MP. Les substances hydrosolubles de gros PM (protéines et gros peptides) ne peuvent pas traverser la MP. Elles restent à l'extérieur fixées sur leurs récepteurs, ce qui entraîne des modifications de la MP avec la formation de l'AMPc qui porte l'information dans la cellule. Différentes réactions peuvent être initiées au sein du hyaloplasme en réponse à la stimulation hormonale.

Transmission paracrine

Les médiateurs sont sécrétés à proximité de la cellule cible (< 1 mm); les médiateurs sont très rapidement détruits ou recaptés (ex : facteurs de croissance, prostaglandines)

Transmission nerveuse

Elle s'effectue par l'intermédiaire des neurones au niveau de l'extrémité terminale de l'axone dont la MP constitue la membrane présynaptique. Les vésicules synaptiques contenant les molécules de neuromédiateur se trouvent concentrées dans le cytoplasme autour de la membrane présynaptique. La membrane de la cellule réactrice constitue la membrane post synaptique, l'espace entre les deux membranes est appelé fente synaptique.

L'ensemble membrane pré, post et la fente synaptique = synapse L'arrivée de l'influx nerveux (onde dépolariation) ==> entrée active d'ions Ca^{2+} dans la région terminale de l'axone ; ce qui se traduit par la libération de neuromédiateur par ouverture des vésicules dans l'espace synaptique.

Les molécules libérées sont captées par des récepteurs de la membrane post synaptique dont la perméabilité aux ions Na^+ augmente. Les ions Na^+ entrent activement et provoque la dépolariation de la membrane post synaptique (il y a modification du potentiel de repos avec création localement d'un potentiel d'action). L'hydrolyse rapide du neuromédiateur entraîne la repolarisation de la membrane post synaptique. Cependant l'onde de dépolariation constituant un signal informatif se propage dans la membrane de la cellule réactrice à partir de la synapse.

Le cell coat intervient :

- dans la protection de la membrane contre les variations rapides du milieu et l'action des enzymes ;
- directement ou non dans le contrôle de la perméabilité cellulaire et de l'endocytose ; (filtration et diffusion des molécules).
- dans les phénomènes d'adhésivité cellulaire richesse en ($++ Ca^{2+}$) ;

- dans la reconnaissance spécifique des cellules qui possèdent des molécules (Ag) qui lui confèrent leur identité (gpes sanguins). Ces facteurs permettent aux cellules de s'associer spécifiquement.

Chez les cellules cancéreuses la plupart des propriétés de la MP et du revêtement sont modifiées.

ROLES DU MANTEAU CELLULAIRE

De nombreuses cellules possèdent un revêtement constitué de polysaccharides associés aux lipides (glycolipides) et surtout aux protéines (glycoprotéines). Ces glucides sont synthétisés de façon continue et rapide par la cellule elle-même, ex : glycoprotéines des gamètes femelles, mucines des cellules intestinales, pectine et cellulose des cellules végétales, et chitine de la carapace des crustacés.

Les polysaccharides sont aussi retrouvés dans les espaces intercellulaires. Le cell coat intervient :

- dans la protection de la membrane contre les variations rapides du milieu et l'action des enzymes ;
- directement ou non dans le contrôle de la perméabilité cellulaire et de l'endocytose ; (filtration et diffusion des molécules).
- dans les phénomènes d'adhésivité cellulaire richesse en ($++ \text{Ca}^{2+}$) ;
- dans la reconnaissance spécifique des cellules qui possèdent des molécules (Ag) qui lui confèrent leur identité (gpes sanguins). Ces facteurs permettent aux cellules de s'associer spécifiquement.

Chez les cellules cancéreuses la plupart des propriétés de la MP et du revêtement sont modifiées.

Remarque : La paroi de la cellule végétale constitue un exosquelette qui la protège et lui fournit un support mécanique. Elle assure aussi l'équilibre de la pression osmotique intracellulaire avec celle du milieu extérieur. Elle est formée de μ fibrilles de cellulose et d'une matrice de pectine, d'hémicellulose et de lignine.