

Chapitre 1

La cellule eucaryote, unité structurale et fonctionnelle

L'observation microscopique en travaux pratiques de fragments d'êtres vivants, animaux et végétaux, montre toujours l'existence d'éléments de très petites dimensions, de l'ordre de la dizaine de microns chez les animaux à la centaine de microns chez les végétaux, dans lesquels on reconnaît :

- une substance fondamentale, incolore, transparente ou granuleuse, le **cytoplasme** limité par la **membrane plasmique** ou **plasmalemme**
- un corps réfringent, sphérique ou ovoïde, souvent au centre, le **noyau**.

Cette constance de tels éléments a fait dire qu'un être vivant est constitué d'unités anatomiques, nommées **cellules**.

Le fonctionnement harmonieux d'un organisme pluricellulaire implique une répartition des fonctions biologiques entre différents organes spécialisés dans l'exécution d'un travail précis, chaque organe à son tour est formé de cellules spécialisées. Il en va de même pour la cellule, elle est compartimentée. Depuis sa découverte et l'élaboration de la théorie cellulaire, les progrès technologiques ont permis de connaître la structure, la composition chimique, les fonctions exactes de chaque élément constitutif ou **organite** de telle sorte qu'il est possible d'affirmer maintenant qu'à l'unité de structure correspond une unité de composition et une unité de fonction. **La cellule vivante est une unité structurale et fonctionnelle.**

I. Organisation générale de la cellule vivante

L'approche comparative de deux exemples, la cellule acineuse du pancréas et la cellule du parenchyme palissadique de la feuille de Houx, permet de dégager le plan d'organisation générale d'une cellule, de préciser ce qui la caractérise et ce qui différencie la cellule animale de la cellule végétale. Les observations faites au microscope optique et au microscope électronique, à deux échelles différentes, sont rassemblées dans les schémas de la figure 1.

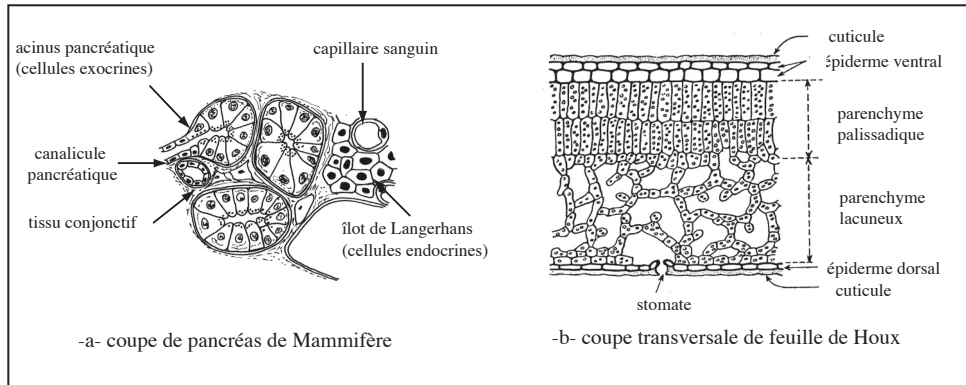


Figure 1 : Observation microscopique de fragments d'êtres vivants

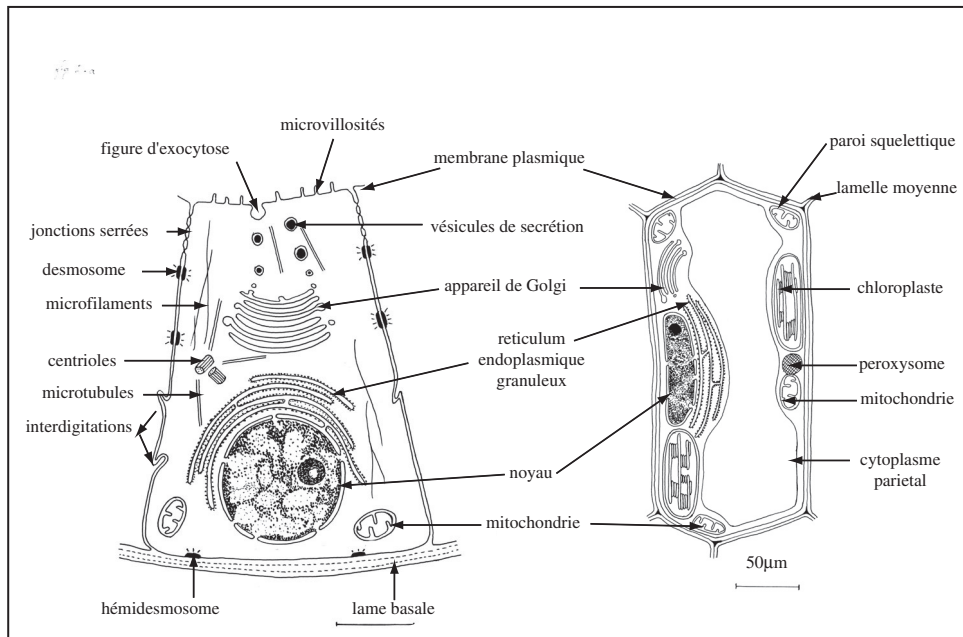


Figure 2 : Plan d'organisation d'une cellule animale et d'une cellule végétale (d'après électronographies)

Serrées les unes contre les autres, formant un acinus plus ou moins sphérique, les cellules acineuses ont une forme subpyramidale. La partie élargie repose sur une lame fibreuse tandis que la partie opposée, plus étroite, délimite la lumière de l'acinus. Les cellules adhèrent entre elles par leur région étroite. Cet aspect définit une polarité morphologique avec un pôle basal élargi, reposant sur une lame basale et un pôle apical, étroit, libre.

Dans une coupe transversale de feuille, les cellules parenchymateuses constituent l'essentiel du matériel foliaire; les unes de forme rectangulaire évoquent une palissade, elles définissent le parenchyme palissadique, les autres moins régulières, ménageant des lacunes entre elles, définissent le parenchyme lacuneux.

La substance fondamentale, plus ou moins granuleuse, nommée **cytoplasme**, observée en microscopie optique apparaît comme une gelée limpide, de viscosité variable, le **hyaloplasme** ou **cytosol** dans lequel sont dispersés divers **organites** bien reconnaissables sur les électrographies et divers constituants granulaires tels que ribosomes, grains de glycogène, inclusions lipidiques.

Les points communs aux deux types cellulaires :

Toutes les cellules, animales et végétales, possèdent un certain nombre d'organites communs que l'on peut regrouper en compartiments fonctionnels :

- ➔ un compartiment de synthèse comprenant :
 - Un réseau de membranes internes ou réseau endomembranaire : le **réticulum endoplasmique**, parfois lisse, **REL**, parfois granuleux, **REG**, quand il est bordé de **ribosomes**. Ces derniers synthétisent les protéines, les membranes réalisent la synthèse de certains lipides. Ce réseau permet le transport de molécules à l'intérieur de la cellule. Des communications avec l'enveloppe nucléaire apparaissent localement.
 - Un ensemble de saccules regroupés en **dictyosomes**, c'est l'**appareil de golgi** qui élabore et libère des grains de sécrétion.
- ➔ **un compartiment énergétique**, constitué d'organites divers :
 - Les **mitochondries**, limitées par deux membranes, dont la taille varie de 1 à 10 μm . Elles sont le siège de la respiration cellulaire qui produit les molécules riches en énergie.
 - Les **peroxysomes**, délimités par une seule membrane, leur taille varie de 0,2 à 1,5 μm . La matrice contient souvent des inclusions à structure cristalline et plusieurs enzymes dont les plus importantes sont des oxydases et catalases. D'abord découverts dans les hépatocytes, on les retrouve dans toutes les cellules. Ils sont caractérisés par leur capacité de produire puis de décomposer le peroxyde d'hydrogène ou eau oxygénée. On sait maintenant que ces petits organites sont reliés entre-eux par de fins canalicules et qu'ils forment un réseau canaliculaire totalement indépendant du réseau endomembranaire.
 - **Un compartiment informatif**, représenté par le **noyau** limité par l'enveloppe nucléaire. Le support chimique de l'information génétique est l'ADN, Acide Désoxyribonucléique, contenu dans les chromosomes. L'information se transmet de façon conforme à chaque division cellulaire ou mitose. Entre les mitoses elle dirige la synthèse des protéines.
 - **Le cytosquelette**, ensemble de microfilaments d'actine, de microtubules de tubuline et de filaments de taille intermédiaire auxquels s'associent d'autres protéines. Les éléments du cytosquelette occupent le nucléoplasme et le cytosol, site de sa biosynthèse. Associé à la membrane plasmique, il détermine la morphologie cellulaire et ses déformations; dispersé dans le cytosol, il permet le déplacement des organites. Des filaments intermédiaires particuliers, les lamines, occupent le noyau. Les uns dispersés dans le nucléoplasme, d'autres formant la **lamina**, réseau fibreux fixé à la face interne de l'enveloppe nucléaire, emprisonnant le matériel héréditaire et responsable de la désorganisation nucléaire au

début de la mitose. Les éléments du cytosquelette sont des polymères protéiques en remaniements permanents, tout en constituant le squelette cellulaire ils sont responsables du dynamisme cellulaire.

Remarque : compte tenu de la répartition des éléments fibreux, certains auteurs distinguent cytosquelette et nucléosquelette.

Les particularités des cellules animales

Dans les cellules animales, des microtubules s'organisent pour former le **centrosome**, localisé près du noyau. Il est constitué de deux **centrioles** disposés perpendiculairement l'un à l'autre et entourés par une matrice protéique. Chaque centriole est constitué par 9 triplets de microtubules. Lorsqu'ils existent, les cils et flagelles sont des expansions de la membrane plasmique qui contiennent un axonème construit sur le même plan que le centriole mais où les 9 groupes de microtubules sont associés par paires et non plus par trois. L'axonème est issu d'un corpuscule basal dont la structure est comparable à celle du centriole. Associé au cytosquelette, le centrosome participe aux mouvements cellulaires. Au cours de la division cellulaire, la disposition des centrioles détermine la polymérisation des microtubules du fuseau achromatique le long desquels s'effectue la migration des chromosomes.

Les particularités des cellules végétales

- ➔ La cellule végétale diffère de la cellule animale sur trois points fondamentaux:
 - Outre les mitochondries et les peroxysomes, le compartiment énergétique possède des **chloroplastes**, organites capables de transformer l'énergie lumineuse en énergie chimique et de réaliser la synthèse de matière organique. Comme les mitochondries, ce sont des organites limités par une enveloppe à deux membranes. À l'intérieur, on reconnaît les grana formés d'empilements de petits saccules aplatis, les thylacoïdes, eux-mêmes répartis entre les thylacoïdes du stroma. Les membranes des thylacoïdes portent les systèmes photosynthétiques. Les chloroplastes proviennent de la différenciation de proplastides, mais tous les proplastides n'évoluent pas en chloroplastes. Ils peuvent devenir des leucoplastes, plastides dépourvus de thylacoïdes, ou des amyloplastides quand ils accumulent de l'amidon, ou encore des chromoplastes quand ils synthétisent les pigments colorés, xanthophylles ou caroténoïdes.
 - Les **vacuoles**: même si elles ne sont pas absentes des cellules animales, elles y sont très réduites, en revanche elles sont très développées dans la cellule végétale. Elles occupent pratiquement tout le volume cellulaire, repoussant le cytoplasme et ses inclusions contre la membrane plasmique.
 - La membrane plasmique produit une **paroi pecto-cellulosique** qui confère une forme définitive à la cellule végétale et la prive de toute déformation.

II. La limite cellulaire: structure, rôles, productions

1. La membrane plasmique

En confrontant l'aspect du plasmalemme sur les électronographies, les observations de répliques après cryodécapage et les données de la biochimie, Singer et Nicolson ont établi un modèle structural qui s'accorde avec les fonctions de la membrane, adhésivité entre cellules voisines, échanges entre l'intérieur et l'extérieur de la cellule.

a. Les observations

Les électronographies montrent toujours deux feuilletts sombres séparés par un feuillet clair, chacun d'entre eux ayant une épaisseur moyenne de 2,5 nm. Cette structure se retrouve au niveau des membranes internes délimitant les différents compartiments, c'est la **membrane unitaire**.

L'observation des répliques après cryodécapage montre que la membrane unitaire ne se clive pas en 3 mais en 2 seulement et qu'il y a des particules intramembranaires non visibles en coupe.

b. Composition chimique

L'étude *in situ*, menée par Overton sur une Algue unicellulaire en 1899, a montré que les substances liposolubles pénètrent plus vite dans la cellule que les substances hydrosolubles ce qui l'a conduit à penser que la surface cellulaire doit être formée d'une couche lipidique continue. En outre, la mesure de la tension superficielle indique que les lipides doivent être associés à des protéines.

La membrane plasmique présente de grandes variations de composition chimique d'un type cellulaire à un autre. L'analyse chimique de la membrane des hématies a permis d'établir un modèle unitaire dans lequel la membrane plasmique est constituée de lipides et de protéines, représentant chacun la moitié environ du poids sec de la membrane. Parmi les lipides, les phospholipides (55 %), et le cholestérol (25 %) sont les plus abondants. Les protéines participent à la fois à la structure, protéines globulaires et aux diverses fonctions, protéines enzymatiques. On remarquera plus loin que les membranes des organites sont beaucoup plus riches en protéines, enzymes principalement, en relation avec leurs fonctions.

c. Établissement de la structure membranaire

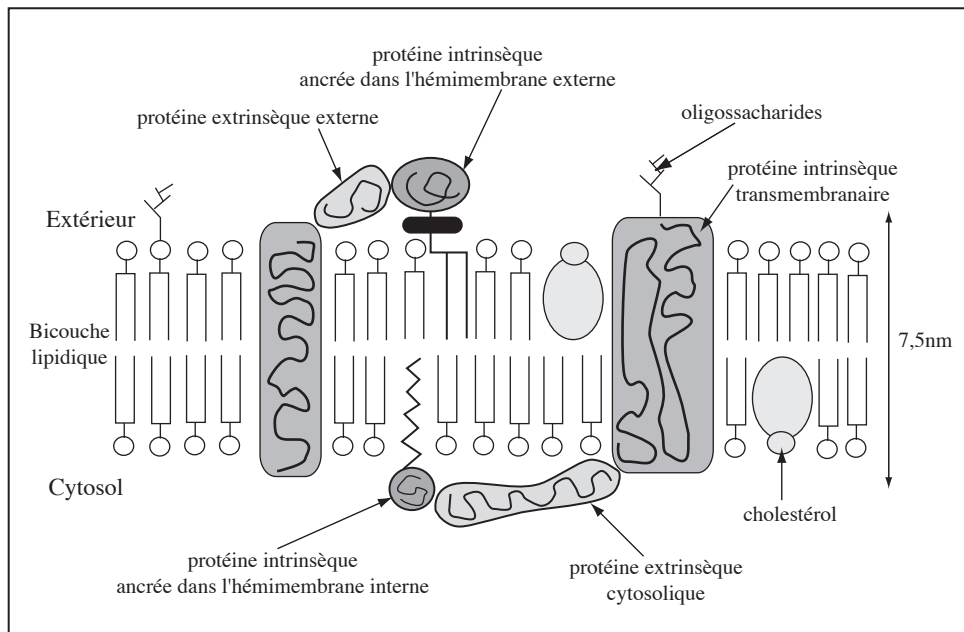


Figure 3 : Organisation générale de la membrane plasmique

La connaissance de la structure membranaire a été obtenue en utilisant les globules rouges, cellules dépourvues de système endomembranaire dont on connaît parfaitement la surface externe. Après avoir dissous dans l'acétone les lipides membranaires d'un nombre connu de globules rouges, ces derniers sont étalés sur une cuve à eau en une couche monomoléculaire. On constate alors que la surface de la couche lipidique correspond au double de la surface des hématies. C'est la preuve que la membrane plasmique est constituée d'une bicouche lipidique, les pôles hydrophiles en constituent les faces externe et interne. Les protéines qui s'insèrent dans la bicouche se répartissent en deux classes :

- les protéines intrinsèques parmi lesquelles on distingue :
 - des protéines transmembranaires qui traversent totalement la bicouche lipidique avec laquelle elles interagissent par l'intermédiaire des acides aminés hydrophobes. Les liaisons sont fortes mais non covalentes. Elles sont glycosylées sur leur pôle extracellulaire ;
 - des protéines intrinsèques ancrées dans l'hémimembrane externe par l'intermédiaire d'un groupement GPI, glycosyl-phosphatidyl-inositol ;
 - des protéines intrinsèques ancrées dans l'hémimembrane interne par l'intermédiaire d'un acide gras ;
 - les protéines extrinsèques disposées sur les faces externe et interne de la bicouche lipidique. Elles sont liées aux protéines intrinsèques par des liaisons faibles. Les protéines de la face externe sont souvent glycosylées, elles participent à la formation du glycocalix.

La répartition, le nombre de protéines sur chacune des faces sont différents de sorte que la membrane plasmique est **asymétrique**, d'autant plus que la composition lipidique des deux hémimembranes est différente et que des oligosaccharides s'associent à certaines protéines et certains lipides de la face externe. Ces glycoprotéines et glycolipides, lorsqu'ils existent, forment un revêtement fibreux nommé **cell-coat** ou **glycocalyx**. Les glycoprotéines interviennent dans la reconnaissance et l'adhésivité cellulaires. Certaines protéines intrinsèques assurent l'association de la membrane et du cytosquelette, d'autres forment différentes jonctions cellulaires responsables de la cohésion des tissus ou des échanges intercellulaires.

Dans la membrane, protéines et lipides se déplacent latéralement. Le fait a été démontré en réalisant des cellules hybrides par la fusion de cellules de souris et de cellules humaines. Les protéines des deux types cellulaires sont marquées par des anticorps fluorescents distincts. On constate que les marques, séparées en début d'expérience, se mélangent peu à peu, la mobilité latérale des protéines traduit bien la fluidité de la membrane, on parle de **mosaïque fluide**. La fluidité membranaire est due à la mobilité des molécules lipidiques, celles-ci se déplacent très facilement latéralement, plus difficilement d'une couche lipidique à l'autre. La mobilité des protéines résulte de la traction qu'exercent sur elles les microtubules du hyaloplasme superficiel. L'abondance du cholestérol diminue la fluidité membranaire.

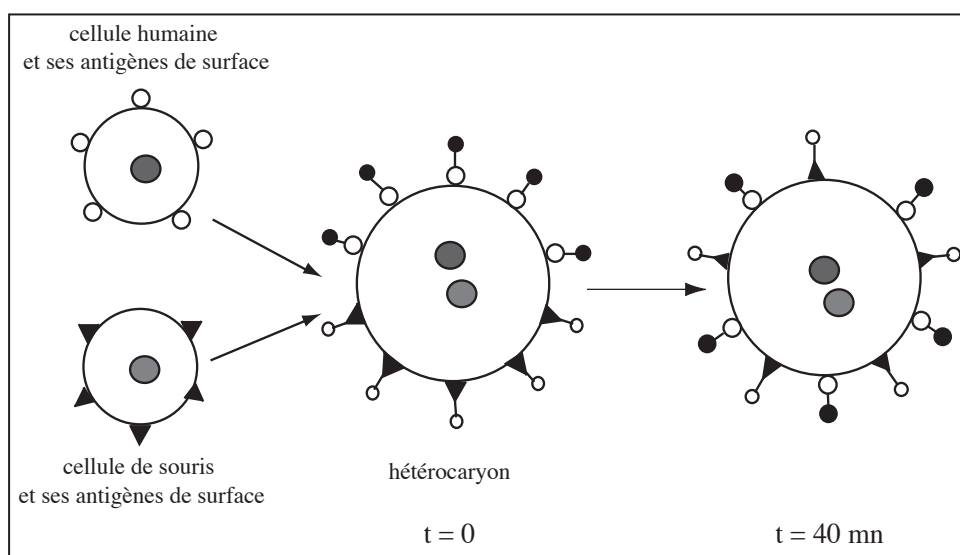


Figure 4 : Mise en évidence de la fluidité membranaire

La fusion d'une cellule humaine et d'une cellule de souris donne un hétérocaryon. Au temps $t = 0$, les antigènes humains et de souris, marqués par des anticorps fluorescents spécifiques, sont nettement localisés sur 2 hémisphères distincts de l'hétérocaryon. Au temps $t = 40$ mn, les anticorps sont répartis régulièrement sur toute la surface de l'hétérocaryon, preuve de la mobilité des protéines membranaires.

Remarque : les fonctions de la membrane plasmiques sont détaillées au chapitre 1-3-Partie I (page 79).

2. La paroi cellulaire des cellules végétales

La paroi cellulaire est la caractéristique qui distingue le mieux la cellule végétale de la cellule animale. Cette paroi est rigide, elle détermine la forme et la taille de la cellule; on la qualifie souvent de paroi squelettique.

a. Organisation et nature chimique

Le principal constituant est la cellulose. Il s'agit de microfibrilles qui s'organisent en réseau formant une armature solide dans une matrice de pectines et d'hémicelluloses dans laquelle s'ajoutent des glycoprotéines et des enzymes. La cellule produit plusieurs assises qui se repoussent vers l'extérieur. Les premières assises, extensibles, se déposent pendant la croissance, elles forment la **paroi primaire**. Une **lamelle mitoyenne**, riche en pectines, réunit les cellules voisines. Le plus souvent les cellules végétales possèdent une **paroi secondaire** appliquée contre la face interne de la paroi primaire. Riche en cellulose, pauvre en pectines et protéines, la paroi secondaire est rigide et inextensible, elle se dépose après la période de croissance. La rigidité de la paroi interdit le développement de cils ou de flagelles et tout déplacement.

Le microscope électronique a permis de voir que les cellules voisines communiquent entre-elles par des **plasmodesmes**. Ce sont des canaux très fins, tapissés par la membrane plasmique, contenant un tubule du reticulum endoplasmique, qui traversent la paroi squelettique et qui assurent des échanges entre les cellules. L'ensemble des cellules d'un végétal ainsi mises en relation constitue le **symplasma**; on lui oppose l'**apoplasme** formé par l'ensemble des parois celluloseuses, riches en eau, qui constitue également une voie importante de transport dans les tissus végétaux.

En plaçant des cellules végétales dans une solution salée à 1 %, la membrane plasmique se détache de la paroi; la vacuole a perdu de l'eau, la cellule a diminué de volume, elle est plasmolysée. Cette observation prouve que la paroi est indépendante de la cellule, elle constitue une **matrice extra-cellulaire**. Une cellule végétale débarrassée de sa paroi pectocellulosique prend une forme d'équilibre sphérique, le **protoplaste**; associés entre-eux, les protoplastes permettent de créer expérimentalement des individus nouveaux.

b. Variations chimiques et adaptations biologiques

Aux éléments constitutifs de la paroi des cellules parenchymateuses, telle qu'elle vient d'être envisagée, s'ajoutent dans les parois des tissus protecteurs ou de soutien, et principalement dans la paroi des cellules de l'épiderme, d'autres constituants qui confèrent résistance, protection et imperméabilisation.