

# **LA CELLULE**

## **INTRODUCTION :**

Au XVII<sup>e</sup> siècle, avec la mise au point du microscope par van LEEWENHOEK, HOOKE a défini le terme de cellule. Deux siècles plus tard SCHLEIDEN, SCHWANN et VIRCHOW en firent l'unité fondamentale du monde vivant, l'unité fonctionnelle de tous les tissus, pouvant s'acquitter seule des fonctions vitales essentielles.

L'apparition de la vie peut être datée de celle des premières cellules, il y a environ 7 milliards d'années. Une cellule ancestrale est à l'origine de deux types de cellules qui ont évolué en colonisant et en s'adaptant à des milieux très différents :

Les cellules PROCARYOTES, caractérisées par l'absence de noyau et un matériel génétique intégré au cytoplasme. (les bactéries par exemple)

Les cellules EUCARYOTES, possédant un compartiment nucléaire individualisé et des compartiments cytoplasmiques spécialisés. Ces organismes peuvent être unicellulaires (protozoaires) ou pluricellulaires (métazoaires) dont les cellules peuvent être regroupées en tissus.

Les méthodes d'étude des cellules et des tissus reposent sur :

Des techniques d'observations utilisant des appareils de plus en plus performants (microscopes photoniques et électroniques) et des préparations d'échantillons de plus en plus sophistiquées (immunofluorescence et hybridation in situ)

Des techniques biochimiques permettant la séparation, la purification et l'analyse des molécules entrant dans la composition des organites cellulaires tout en conservant leur intégrité morphologique et fonctionnelle (chromatographie et électrophorèse).

La cellule EUCARYOTE est une unité limitée par une membrane plasmique, elle comporte un noyau individualisé par une membrane nucléaire et un cytoplasme renfermant de nombreux organites. Nous allons voir dans le détail ces différents éléments.

## **LA MEMBRANE PLASMIQUE :**

La membrane plasmique ou PLASMALEMME limite chaque cellule et la sépare du milieu extérieur tout en maintenant des échanges sélectifs dans des conditions compatibles avec la vie cellulaire.

## **LA COMPOSITION CHIMIQUE :**

La membrane plasmique est majoritairement composée de lipides et de protéines.

Les lipides sont des phospholipides comportant une tête polaire hydrophile (glycérophosphate + alcool lipidique) et une queue hydrophobe (deux chaînes d'acides gras asymétriques). Ces phospholipides sont organisés en une double couche opposée par leurs queues hydrophobes intriquées et les pôles hydrophiles denses donnant un aspect en double feuillet en microscopie électronique. Des molécules de cholestérol viennent s'intercaler pour rigidifier la membrane.

Les protéines sont plus diversifiées car elles sont impliquées dans des fonctions diverses. Certaines sont transmembranaires et constitueraient des pores pour le passage des molécules hydrophiles. D'autres sont simplement accrochées à la face interne ou externe de la double couche lipidique.

A la face externe, les protéines sont associées à de courtes chaînes polysaccharidiques donnant des glycoprotéines qui forment le GLYCOCALYX. Cette structure est impliquée dans les phénomènes de reconnaissance, les jonctions intercellulaires et l'adsorption des molécules.

La structure ainsi présentée est en réalité beaucoup plus mobile et l'on parle de structure en « MOSAÏQUE FLUIDE ». Les phospholipides et les protéines seraient capables de rotations, de déplacements latéraux et même d'un feuillet à l'autre. Cette conception d'une mobilité relative des constituants permet d'expliquer la régénération de la membrane cytoplasmique et les échanges avec le milieu extérieur.

## **LES ECHANGES PLASMIQUES :**

La membrane plasmique est une frontière semi-perméable qui contrôle en permanence la composition du cytoplasme, y fait entrer les substances nutritives et en expulse les déchets du métabolisme cellulaire. On distingue deux types de processus.

Transports à travers la membrane :

Diffusion simple pour les gaz (O<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub>-N<sub>2</sub>) et les petites molécules neutres (urée-éthanol) en fonction des gradients.

Diffusion facilitée par des protéines transmembranaires comme pour l'eau (aquaporines) ou pour les sucres, les acides aminés et les nucléotides (perméases).

Transport actif nécessitant de l'énergie sous forme de chaînes Le maintien des concentrations en ions très différentes entre le milieu intra et extracellulaire (Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>/Ca<sup>++</sup>) demande le déplacement de ces ions contre leur gradient électrochimique.

Les protéines impliquées sont des chaînes désignées sous le terme de « pompe à cations ».

Transport vésiculaire : Les grosses molécules et les particules ne peuvent franchir la membrane sans l'intermédiaire de vésicules.

L'Endocytose : est caractérisée par une invagination de la membrane plasmique.

Pinocytose pour les liquides avec ou sans petites particules

Phagocytose pour les grosses molécules et les micro-organismes. La vésicule ou « phagosome » fusionnera avec des lysosomes pour digérer et transformer en molécules simples ces particules.

L'Exocytose : est une sécrétion de molécules synthétisées ou des déchets emballés dans des vésicules golgiennes.

## **LE NOYAU CELLULAIRE:**

Le noyau caractéristique des cellules eucaryotes a été très tôt identifié. Il est généralement de forme sphérique mais il peut être polylobé. Il est très souvent unique mais certaines cellules peuvent en contenir plusieurs.

Le noyau est plus ou moins gros, plus ou moins condensé selon l'activité cellulaire et les différents stades du cycle de reproduction cellulaire.

On distingue l'enveloppe nucléaire, le nucléoplasme et les nucléoles.

## **LE NUCLEOPLASME :**

Il renferme essentiellement la CHROMATINE et des enzymes protéiques intervenant dans la réparation, la transcription et la duplication du matériel génétique.

La chromatine contient l'ensemble de l'information génétique de la cellule. Elle est constituée de molécules d'ADN (Acide DésoxyriboNucléique) et des protéines (Histones ou non).

L'ADN est constitué de deux chaînes antiparallèles, complémentaires et torsadées dont chacune est composée de nucléotides. Chaque nucléotide comprend un sucre (Désoxyribose) et une molécule d'acide phosphorique constituant les « montants » et des bases puriques (adénine ou guanine) ou pyrimidiques (thymine ou cytosine) appariées constituant les « barreaux » d'une échelle.

Les protéines assurent la cohésion, la protection et le compactage de l'ADN. Ainsi, on distingue l'euchromatine E, centrale, fine, moins dense, active correspondant à la fraction d'ADN impliquée dans les processus de synthèse. L'hétérochromatine H, souvent périphérique, dense est une forme inactive. Chez la femme et dans certaines cellules, l'un des chromosomes X inactif constitue une petite masse dénommée « Corpuscule de Barr ». Le compactage ultime de la chromatine lors de la division est représenté par le chromosome.

L'information génétique portée par l'ADN n'est pas directement utilisée par la cellule pour effectuer ses synthèses. L'information est véhiculée par des molécules d'ARN (Acide RiboNucléique). L'ARN diffère de l'ADN, c'est un brin monocaténaire comportant du ribose et l'une des bases pyrimidique, la thymine est remplacée par l'uracile. Ce brin peut se replier sur lui-même avec appariement des bases (aspect en épingle à cheveux). On distingue trois grands groupes d'ARN.

Les ARN messagers (ARNm) qui véhiculent l'information génétique.

Les ARN de transfert (ARNt) qui transportent et positionnent les acides aminés dans la synthèse protéique.

Les ARN ribosomiques (ARNr) qui constituent les sous-unités des ribosomes, siège de la synthèse protéique.

L'une des chaînes d'ADN sert de matrice à des enzymes (ARN polymérase ADN dépendantes) qui synthétisent des brins d'ARN complémentaires et spécifiques des codons de l'ADN. C'est ce qu'on appelle la TRANSCRIPTION des ARN messager

## **LES NUCLEOLES :**

Bien qu'ils soient dépourvus de membranes, les nucléoles sont des organites complexes, sites de synthèse et de stockage de l'ARN ribosomal. On distingue :

un centre fibrillaire contenant les gènes ribosomiques

une zone fibrillaire de transcription ribosomique

une zone granulaire où s'organisent les sous-unités ribosomiques.

## **LA MEMBRANE NUCLEAIRE :**

L'enveloppe nucléaire est composée de deux membranes délimitant un espace périnucléaire.

Une membrane externe en continuité avec le système réticuloendoplasmique et recouverte de ribosomes sur le versant cytoplasmique.

Une membrane interne plus spécifique, sous-tendue par un réseau de filaments, la LAMINA qui jouerait un rôle dans la forme du noyau et l'organisation de ses composants.

Cette enveloppe contient de nombreux PORES NUCLEAIRES à des points de fusion des membranes. Ce sont des structures complexes d'une centaine de protéines. Elles assurent un trafic sélectif et à double sens entre le cytoplasme et le noyau.

## **LE CYTOPLASME ou CYTOSOL :**

Le cytoplasme est le constituant principal de la cellule. C'est le milieu où baignent tous les organites cellulaires. Il est très riche en eau libre ou liée, en ions avec une concentration forte en  $K^+$  et faible en  $Na^+$  et  $Ca^{++}$ . Il peut passer d'un état liquide à un état de gel. Il contient un grand nombre d'inclusions dépourvues de membrane comme le glycogène, quelques lipides et des protéines dont il est à la fois lieu de synthèse (ribosomes libres) et de dégradation (glycolyse). Nous allons surtout étudier les organites cytoplasmiques et leurs fonctions.

### **LE CYTOSQUELETTE :**

Le cytosquelette est un réseau protéique de trois types d'éléments fibrillaires, tous constitués de monomères polymérisés.

Les MICROTUBULES : Ceux sont les plus épais et les plus rigides.

Ce sont des polymères de TUBULINE avec 13 protofilaments accolés pour former un cylindre creux ou microtubule.

Ils peuvent ensuite s'organiser en structures stables ou instables.

Les structures stables sont les CENTRIOLES et les cils ou flagelles avec leurs corpuscules basaux.

Les structures instables apparaissent dans le fuseau mitotique chargé de la migration des chromosomes lors de la division cellulaire.

Les MICROFILAMENTS : Ceux sont les plus souples. Ils sont constitués d'ACTINE et interviendrait dans la mobilité cellulaire.

Les FILAMENTS INTERMEDIAIRES : Ceux sont les plus stables. Ce sont des polymères de polypeptides groupés en tétramères torsadés donnant un protofilament. Huit protofilaments formeront un cylindre creux filamenteux. Ils interviennent dans la migration intracytoplasmique des organites.

### **LE RETICULUM ENDOPLASMIQUE :**

Le cytoplasme est traversé par un réseau diffus de tubules, de saccules, de citernes bordés par une membrane simple, c'est le réticulum endoplasmique. Ce réseau est en relation avec la membrane plasmique et la membrane nucléaire. On distingue deux types selon l'importance de l'activité sécrétoire de la cellule.

Le Réticulum Endoplasmique Lisse (REL) composé de la simple membrane et est le siège de la synthèse, du stockage et du transport des lipides et en particulier des hormones stéroïdiennes dérivées du cholestérol.

Le Réticulum Endoplasmique Rugueux (RER) dont la surface endoplasmique de sa membrane est recouverte de ribosomes. Cette surface serait le siège d'une importante synthèse protéique puis les protéines traverseraient la membrane pour être stockées dans les citernes.

## **L'APPAREIL DE GOLGI :**

Cet organite plus ou moins développé selon les cellules est constitué d'un empilement de citernes plates séparées les unes des autres (Dictyosome). La membrane ne comporte pas de ribosome comme le REL. L'empilement des citernes est orienté avec une face *Cis* de formation et une face *Trans* de maturation. Le passage d'une citerne à l'autre se fait par des vésicules de sécrétion.

On pense que l'appareil de Golgi est un organite de maturation des protéines, en particulier pour les glycoprotéines et les protéines membranaires.

## **LES MITOCHONDRIES :**

Présentes dans la majorité des cellules eucaryotes, les mitochondries sont les « centrales énergétiques » de la cellule.

Ces organites, très polymorphes, ont souvent une forme de cylindre allongé. La mitochondrie est entourée de deux membranes séparées par un espace intermembranaire. La membrane externe la sépare du cytosol mais elle est perméable à de nombreuses molécules grâce à des perméases. La membrane interne est très spécifique et sa surface est fortement augmentée par des replis dénommés « crêtes ». L'intérieur appelé matrice contient un ADN mitochondrial circulaire, de très nombreux enzymes et des ribosomes spécifiques.

C'est au niveau des crêtes mitochondriales que s'effectue l'essentiel de la production énergétique de type aérobie.

La glycolyse amorcée dans le cytosol et la dégradation des acides gras génèrent du pyruvate. Cette molécule sera dégradée dans le cycle tricarboxylique ou cycle de KREBS pour donner du CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, NADH et FADH<sub>2</sub>.

La chaîne de transfert des électrons ou de phosphorylation oxydative va générer de nombreuses molécules d'ATP, riche en énergie, à partir du NADH et FADH<sub>2</sub> (par exemple la dégradation d'une molécule de glucose va fournir 38 molécules d'ATP)

## **LES LYSOSOMES et PEROXYSOMES :**

Les lysosomes sont de petites vésicules à membrane unique et renferment des enzymes de type hydrolase actives en milieu acide pour dégrader les molécules. Les enzymes sont synthétisées par le RER et emballées en vésicules par l'appareil de Golgi.

Les lysosomes primaires vont s'accoler et fusionner avec les pinosomes, les phagosomes et les vacuoles autophagiques. Cette fusion donne un lysosome secondaire ou vacuole de digestion. Le contenu de ces vacuoles n'est jamais déversé dans le cytosol mais dans le milieu extérieur.

Les peryxosomes sont de plus petites vésicules, limitées par une membrane unique et contiennent des peroxydases telle que la catalase. Ils participent à la dégradation oxydative.

## **LA DIVISION CELLULAIRE :**

Les cellules ont un cycle de vie qui conduit à la division et à la multiplication cellulaire pour maintenir et développer la croissance des tissus, des organes et enfin de l'individu.

En plus de ce développement, il faut pallier la destruction cellulaire qu'elle soit provoquée ou programmée (apoptose).

Le cycle cellulaire comporte quatre phases :

Phase G1 : phase de durée variable correspondant à la croissance et à l'activité cellulaire.

Phase S : phase de synthèse et de duplication de l'ADN.

Phase G2 : phase de préparation à la division.

Phase M : Phase de division cellulaire, d'abord nucléaire puis cytoplasmique.

Chez les eucaryotes multicellulaires, on distingue deux types de division : la mitose asexuée et la méiose sexuée.

## **LA MITOSE :**

La division cellulaire va aboutir à deux cellules filles strictement identiques à la cellule mère. Le capital génétique en double exemplaire, dit diploïde ou  $2n$  sera transmis aux cellules filles.

La mitose se déroule en plusieurs phases caractéristiques :

La prophase : après dédoublement de l'ADN, il y a condensation chromatinienne pour aboutir à  $4n$  chromosomes et dédoublement des centrioles qui migrent vers chaque pôle de la cellule.

La prométaphase correspond à la rupture de la membrane nucléaire et à l'installation du fuseau mitotique.

La métaphase est l'alignement des  $4n$  chromosomes reliés par leur centromère sur le plan équatorial du fuseau mitotique.

L'anaphase est la séparation et la migration de  $2n$  chromosomes vers chacun des pôles de la cellule.

La télophase : parvenus au pôle les  $2n$  chromosomes se regroupent, s'entourent d'une membrane nucléaire et se décondensent.

La cytodierèse représente la phase finale de la mitose par division cytoplasmique contrôlée par le cytosquelette.

## **LA MEIOSE :**

La division cellulaire va aboutir à 4 cellules filles dites haploïdes comportant un seul exemplaire chromosomique et donc un chromosome X ou Y. Ces cellules sexuées sont appelées des gamètes et de leur fusion ou fécondation naissent à nouveau des cellules diploïdes mais il y aura eu brassage génétique à l'origine de la diversification des individus.

La méiose comprend deux divisions : la première comparable à la mitose et donnant 2 cellules à  $n$  chromosome et  $2n$  chromatine, suivie immédiatement d'une seconde mitose donnant 4 cellules  $n$  chromosome et  $n$  chromatine.

Chez l'homme les 4 cellules haploïdes parviendront à maturité et chez la femme une seule, les 3 autres seront éliminées sous formes de globules polaires.

## **CONCLUSION :**

Pour conclure, l'organisation de nombreuses cellules en tissus requiert leur association, au niveau de leurs membranes plasmiques, par des jonctions solides. Elles sont classées en trois catégories :

Les jonctions étanches : Ceux sont des zones de fusion entre les feuillettes externes des membranes plasmiques de cellules adjacentes. Elles constituent des barrières étanches mais aussi une restriction à la théorie de la « mosaïque fluide ».

Les jonctions d'encrage : Elle sont constituées de protéines (cadhérines) intercalées entre les membranes plasmiques et reliées aux cytosquelettes. On distingue les plaques d'adhérence et les desmosomes.

Les jonctions communicantes : appelées aussi *jonction gap* car des protéines réalisent des canaux transmembranaires ou connexons au niveau de l'accolement des membranes. Elles permettent le passage de petites molécules hydrophiles.