

Chapitre 1

La cellule : constituants et organisation générale

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. Toutes les formes vivantes sont constituées de cellules, et chaque cellule contient en elle-même tous les attributs du vivant.

On distingue deux grands types de cellule : la cellule eucaryote et la cellule procaryote.

1. Les différents types de cellules

1.1. La cellule eucaryote

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 (*Fig. 1.1*).

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 »).

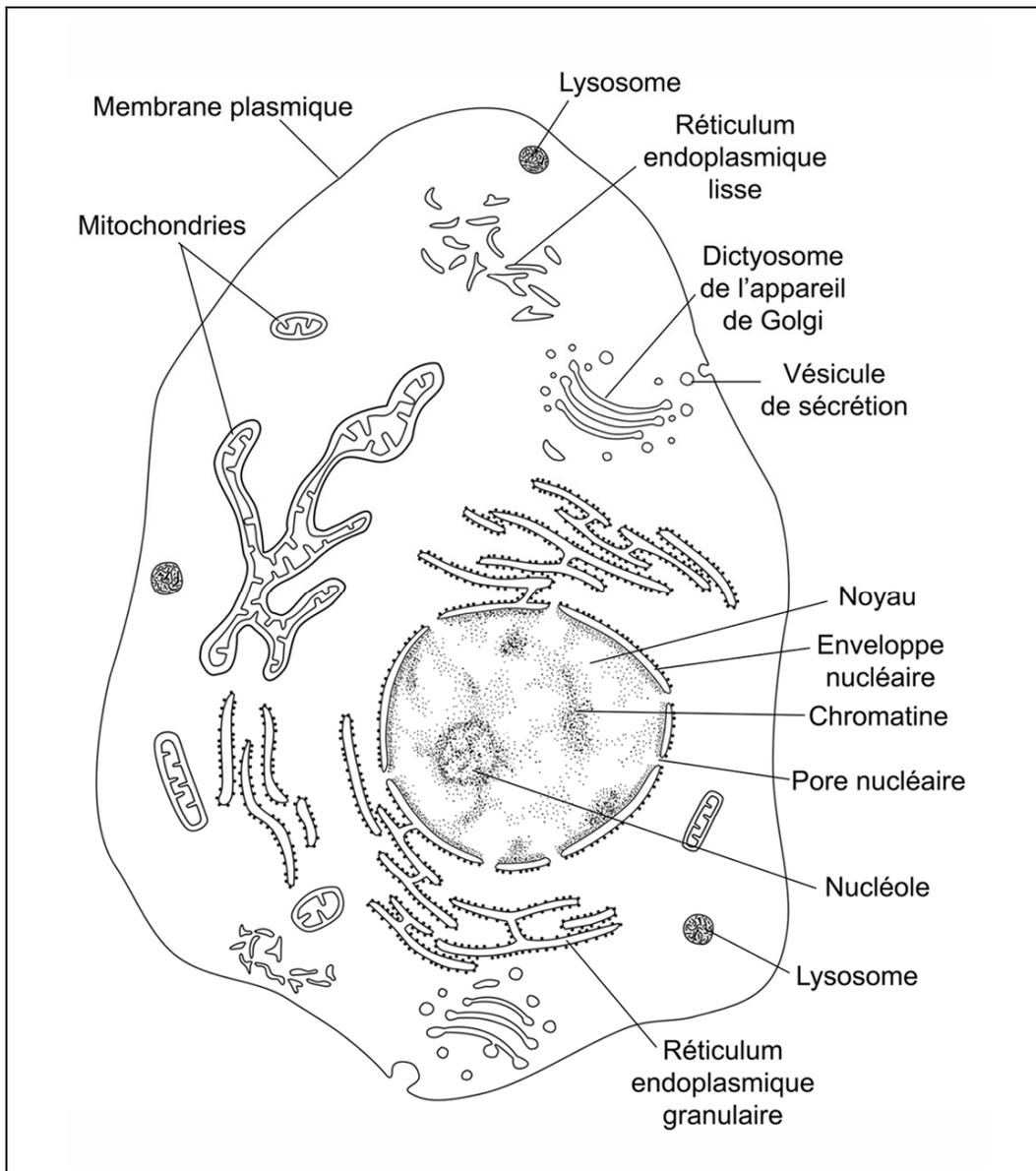


Figure 1.1 : Ultrastructure d'un archétype de cellule eucaryote en interphase.

L'organisation des cellules eucaryote est complexe mais un archétype cellulaire comporte au moins les structures suivantes :

- **Noyau** : 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 10^8 pb en moyenne, associées à des protéines, et qui forment les chromo-

somes dont l'ensemble forme la chromatine. Il renferme également un ou plusieurs nucléoles riches en ribonucléoprotéines (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.

- **Cytoplasme** : le cytoplasme représente un ensemble complexe compartimenté en organites, structuré par le cytosquelette, et délimité par la membrane plasmique. Le milieu intérieur de la cellule, la substance fondamentale du cytoplasme, est le hyaloplasme (on parle également de cytosol ou de cytogel, en fonction de son état, plus ou moins liquide ou visqueux). De nombreuses réactions du métabolisme s'y déroulent. Il est sous-tendu par une armature de molécules protéiques formant le cytosquelette, qui a un rôle de soutien, qui organise l'espace cellulaire et qui est impliquée dans les transports intracellulaires et plus généralement dans les mécanismes liés à la motilité de la cellule.

Un vaste réseau membranaire, le réticulum endoplasmique, impliqué dans les fonctions de synthèse et de transport s'y ramifie. On distingue le réticulum endoplasmique lisse (R.E.L.), siège du métabolisme lipidique, et le réticulum endoplasmique granulaire (R.E.G.) où les membranes sont associées à des particules denses, les ribosomes, qui jouent un rôle essentiel dans la synthèse des protéines.

L'appareil de Golgi forme un second réseau intracytoplasmique, constitué par un ensemble d'organites membranaires, les dictyosomes, qui participent aussi à diverses activités de synthèse, de transport, de transformation (glycosylation) et de triage.

De petites vésicules membranaires, les lysosomes, renfermant de nombreuses enzymes lytiques (hydrolases), exercent leur fonction dans le cadre du catabolisme (digestion cellulaire). D'autres vésicules membranaires, les péroxysomes, contiennent des enzymes permettant l'oxydation de nombreuses molécules organiques.

Un troisième réseau intracytoplasmique correspond au chondriome, qui peut se fragmenter en un ensemble d'organites particuliers, les mitochondries. Les mitochondries sont le siège des phénomènes de la respiration cellulaire, génératrice de l'énergie chimique nécessaire à l'accomplissement des diverses fonctions métaboliques.

Dans les cellules de végétaux verts on observe aussi les chloroplastes où s'effectue la transformation de l'énergie lumineuse en énergie chimique. Les mitochondries et les chloroplastes renferment de l'ADN ; ces organites détiennent donc une petite partie de l'information génétique de la cellule, dont l'essentiel se trouve stocké dans le noyau.

Les cellules eucaryotes peuvent mener une vie indépendante, c'est le cas des levures et des protozoaires. Celles-ci doivent donc assurer toutes les fonctions vitales (se nourrir, intégrer et réagir aux variations du milieu, proliférer, ...). Ces cellules sont donc relativement autonomes mais elles dépendent la plupart du temps des autres cellules (rares sont les cellules ne prélevant que dans le milieu des composés exclusivement inorganiques). Il peut donc exister une interdépendance cellulaire, même pour les êtres unicellulaires. Elles peuvent aussi s'associer en colonies (Gonium), en groupes plus ou moins organisés (Volvox), ou encore former des organismes pluricellulaires.

Au sein d'un organisme pluricellulaire comme l'organisme humain, environ cent mille milliards de cellules (de 10^{13} à 10^{15}) sont associées pour former des tissus et des organes. Dans l'organisme humain, on reconnaît ainsi plus de 200 types cellulaires distincts. Ces cellules dérivent toutes d'une unique cellule initiale, mais leurs structures sont spécialisées en vue de fonctions précises au sein de l'organisme. Ces cellules sont totalement dépendantes du bon fonctionnement des autres cellules : chacune d'entre elles, bien qu'ayant le même matériel génétique (à de rares exceptions près, les gamètes, les lymphocytes, par exemple), exprime un programme génétique particulier qui la maintient dans une voie de différenciation.

Ce fractionnement des fonctions au sein de l'organisme pluricellulaire nécessite une coordination entre cellules, d'où l'émergence de systèmes de communication entre celles-ci.

1.2. Les cellules 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 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 (Fig. 1.2) 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 lipo-polysaccharidique.

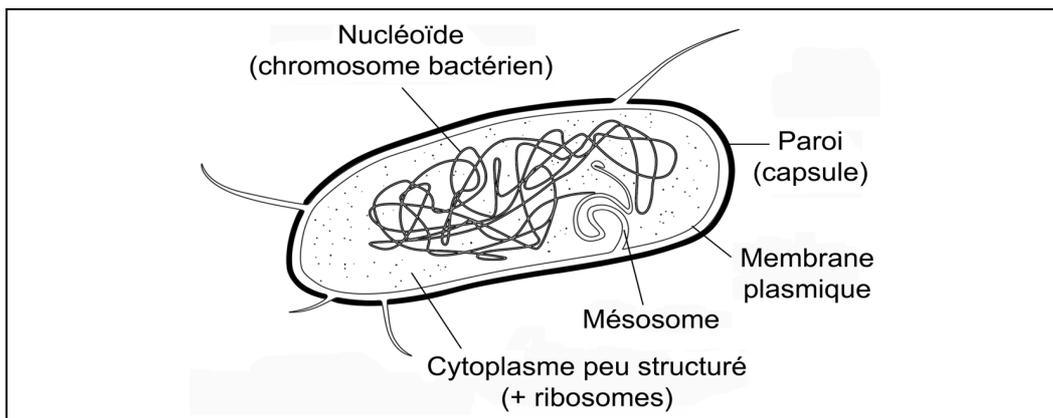


Figure 1.2 : Bactérie (*Escherichia coli*).

La membrane plasmique est riche en systèmes enzymatiques impliqués dans le métabolisme producteur d'énergie (respiration cellulaire) ; son rôle peut être comparé à celui des mitochondries des cellules eucaryotes.

Il existe un chromosome bactérien unique, le nucléoïde, formé par une molécule circulaire d'ADN (en moyenne $4 \cdot 10^6$ pb), au contact direct du cytoplasme. Le nucléoïde est souvent attaché à une digitation de la membrane plasmique, le mésosome. Des éléments génétiques extra-

chromosomiques, les plasmides (très courtes molécules circulaires d'ADN de 1000 à 30 000 pb) peuvent aussi porter certaines instructions.

Le cytoplasme contient des ribosomes (20 000 à 30 000 par cellule), mais il ne renferme pas les autres organites membranaires observés chez les eucaryotes. Certains procaryotes sont dotés de flagelles, pour se déplacer, ou de pili, pour faciliter l'adhésion et/ou des échanges avec d'autres cellules.

1.3. Les « acaryotes » ou virus

La forme vivante dont l'organisation structurale est la plus sommaire est représentée par les virus. 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 capside. 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 : le virus 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 capside. Les bactériophages (*Fig. 1.3*), sont des virus n'infectant que les bactéries.

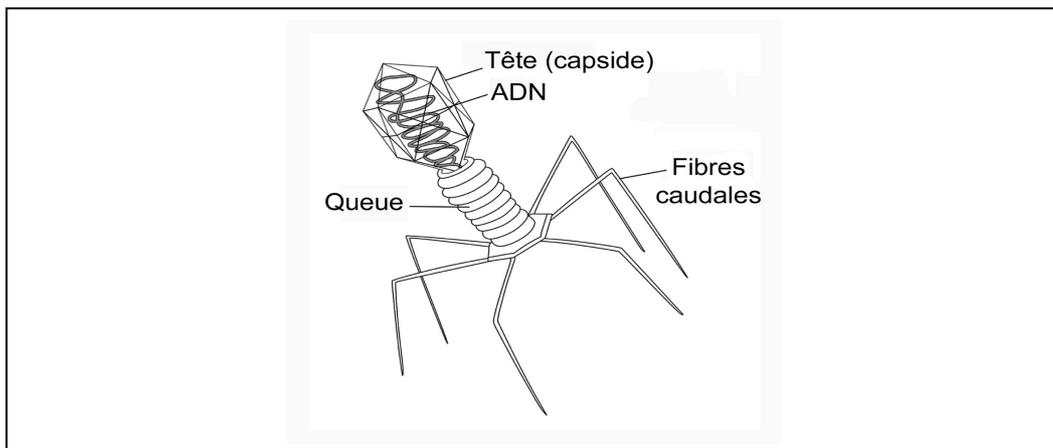


Figure 1.3 : Bactériophage.

2. Les constituants du vivant

Sur la terre, la biosphère représente l'ensemble de ce qu'on appelle la « matière vivante ». Celle-ci représente une masse de 2×10^{19} grammes. Il n'existe pas fondamentalement de différence de nature entre la matière « vivante » et la matière « inerte », mais seulement une différence de complexité. Il est plus juste de considérer que la matière présente certaines formes hautement complexes d'organisation qui ont les caractéristiques et les propriétés de ce que nous nommons « la vie ». Nous connaissons dans l'univers 92 éléments naturels stables.

Parmi ces 92 éléments, 16 se retrouvent systématiquement dans toutes les formes vivantes, et une dizaine d'autres peuvent y apparaître occasionnellement. En biologie, les éléments principaux (à titre d'exemple ils représentent plus de 97 % de la composition atomique d'un être humain) sont : le carbone (C), l'hydrogène (H), l'azote (N), le phosphore (P) et le soufre (S). Les atomes d'hydrogène, d'oxygène, de carbone et d'azote occupent dans l'espace un volume particulièrement réduit, leurs noyaux exercent donc une très forte attraction sur les électrons. Lorsqu'ils mettent en commun un doublet d'électrons, ces atomes établissent entre eux des liaisons covalentes particulièrement fortes.

L'élément essentiel du vivant est le carbone, à partir duquel s'organisent toutes les molécules organiques. L'atome de carbone est un atome de petite taille, comportant deux électrons sur une orbite interne et quatre électrons sur une couche externe. Il peut donc former simultanément quatre liaisons covalentes (très fortes) avec d'autres atomes. C'est un atome neutre, capable de se combiner aussi bien avec des atomes électropositifs qu'avec des atomes électronégatifs.

2.1. Les molécules organiques

Chaque forme vivante peut contenir un millier de types différents de molécules simples, parmi lesquelles quatre familles de molécules organiques sont particulièrement importantes : les glucides, les lipides, les protides, et les acides nucléiques.

Pour bien comprendre les réactions susceptibles de se produire entre ces molécules, il est essentiel de se souvenir que dans le contexte du vivant elles se trouvent toujours en milieu aqueux. Enfin, on doit se rappeler que dans le vivant, le singulier n'existe pas. Les molécules organiques, si elles sont les molécules « de la vie », ne sont pas par elles-mêmes « vivantes ».

Une molécule seule n'est pas vivante; pour qu'elle accède à la vie, il faut qu'elle reconnaisse d'autres formes et que de leur union naissent de nouvelles formes aux propriétés de réactivité chimiques inattendues. La vie naît du partage ou de la fusion.

2.1.1. Glucides

Les glucides interviennent dans le fonctionnement du vivant comme sources énergétiques, comme matériaux de base pour la construction d'autres molécules organiques et comme vecteurs d'informations.

Les molécules simples des sucres, les oses ou monosaccharides correspondent à la formule générale : $C_n(H_2O)_n$ (dans laquelle n peut varier de 3 à 7). Ce sont des hydrates de carbone. Les oses sont des composés non ramifiés dont tous les carbones, sauf un, portent une fonction alcool. Un des carbones porte une fonction carbonyle, aldéhyde ou cétone (Fig. 1.4).

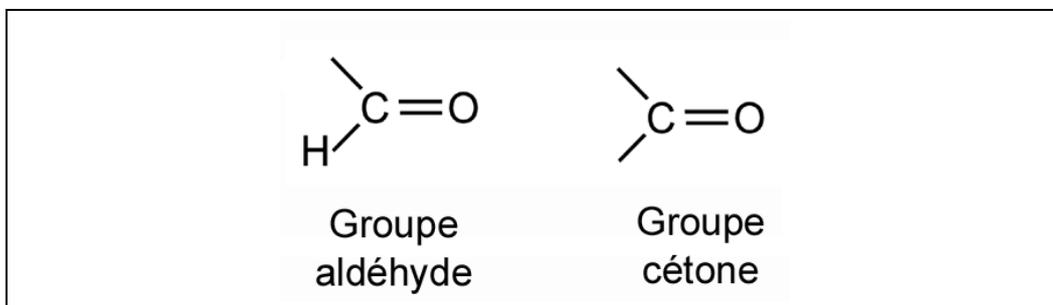


Figure 1.4 : Fonctions carbonyles des oses.

Si le carbonyle est un aldéhyde, nous avons un aldose, si c'est une cétone, nous avons un cétose. On classe également les oses en fonction de leur nombre de carbones en trioses, tétroses, pentoses, hexoses et heptoses. Nous rencontrerons des hexoses (sucres à 6 carbones) comme le glucose, et des pentoses (sucres à 5 carbones) comme le ribose et le désoxyribose (Fig. 1.5).