



جامعة بجاية
Tasdawit n Bgayet
Université de Béjaïa

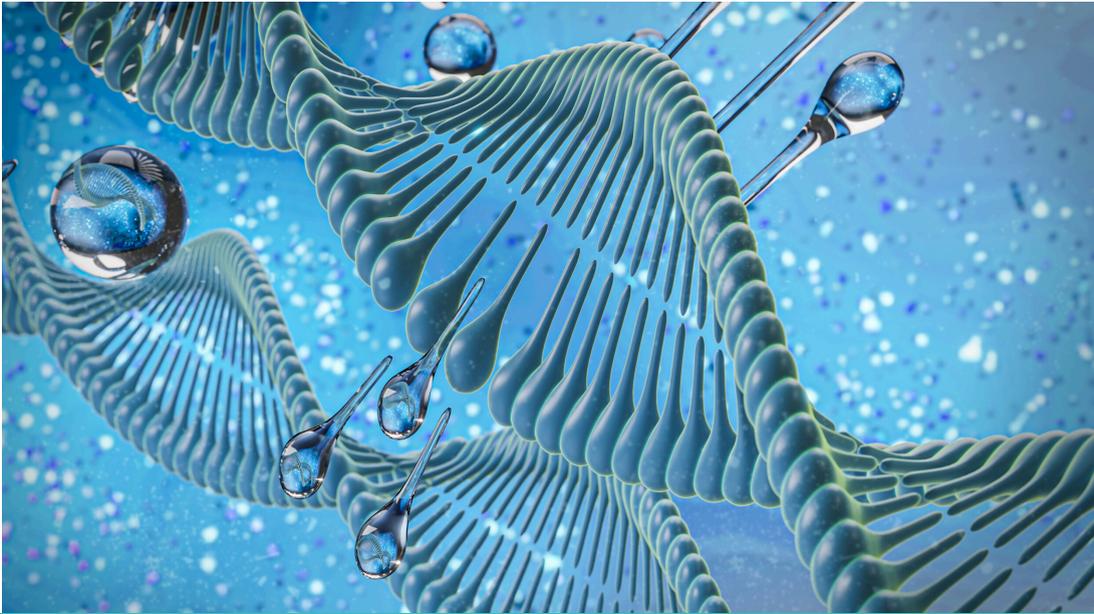
République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche scientifique
Université Abderrahmane Mira de Bejaia
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Tronc Commun



جامعة بجاية
Tasdawit n Bgayet
Université de Béjaïa

Polycopié de cours de :

BIOLOGIE CELLULAIRE



Destiné aux étudiants
de première année Licence

Réalisé par :
Dr DJAOUK Kahina

2023/2024

Avant-propos

Ce polycopié a pour objectif de présenter les concepts fondamentaux de la biologie cellulaire aux étudiants de première année de licence socle commun SNV et Sciences alimentaires. La biologie cellulaire est une discipline essentielle pour comprendre le fonctionnement des organismes vivants à l'échelle microscopique. Ce cours introduit la structure et l'organisation des cellules, leurs différents composants et leurs fonctions. Il présente également les mécanismes fondamentaux qui régissent le métabolisme, la division et la communication cellulaire. Ce polycopié de cours fournira aux étudiants les bases indispensables en biologie cellulaire qui leur permettront d'appréhender les enseignements plus approfondis qu'ils recevront dans leurs filières respectives. Les connaissances acquises seront également précieuses pour aborder d'autres disciplines comme la biochimie, la physiologie ou encore la génétique. Les chapitres ont été conçus de façon pédagogique avec de nombreuses illustrations pour faciliter la compréhension, ainsi que des exemples d'application et des exercices. L'objectif est d'aider les étudiants à intégrer efficacement les concepts présentés.

TABLE DES MATIÈRES

Chapitre 1 : Introduction à la biologie cellulaire

1.1. Généralités	1
1.2. Historique	1
1.2.1. Découverte de la cellule	1
1.2.2. Fondation de la théorie cellulaire	3
1.3. Variations morphologiques	3
1.4. Méthodes d'études de la cellule	4
1.4.1. Le microscope optique (photonique)	4
1.4.2. Le microscope électronique	5
1.5. Types d'organisation cellulaire	7
1.5.1. Les cellules procaryotes	7
1.5.2. Les cellules eucaryotes	8
1.5.2.1. Compartimentation de la cellule eucaryote	10
1.5.2.2. Composition chimique des cellules	10
1.5.3. Les cellules acaryotes	10
1.6. Classification des êtres vivants	11
1.6.1. Règne des végétaux	11
1.6.2. Règne des animaux	11
1.6.3. Règne des champignons (Fungi, Mycota ou Mycètes)	12
1.6.4. Règne des protistes	12
1.6.5. Règne des procaryotes (Monères)	13
1.6.6. Cas des virus (acaryotes)	13
1.6.6.1. Classification des virus	13
1.6.6.2. Structure des virus	13
1.6.6.3. Cycle de multiplication du virus (cycle viral)	14

Chapitre 2 : Membrane plasmique et transports membranaires

2.1. Membrane plasmique	15
2.1.1. Définition	15
2.1.2. Rôles de la membrane plasmique	15
2.1.3. Structure de la membrane plasmique	15
2.1.4. Perméabilité de la membrane plasmique	16
2.1.5. Composition chimique	17
2.1.5.2. Les protéines membranaires	18

2.1.5.3. Les glucides membranaires	18
2.2. Transports membranaires	19
2.2.1. Définition	19
2.2.2. Types de transports membranaires	19
2.2.2.1. Le transport passif	19
2.2.2.1. Les transports actifs	21
2.2.2.3. Le transport vésiculaire	21

Chapitre 3 : Noyau interphasique

3.1. Généralités	23
3.2. Structure	23
3.2.1. Enveloppe nucléaire	23
3.2.2. Pores nucléaires	24
3.2.3. Nucléoplasme	24
3.2.4. Nucléole	24
3.2.5. Chromatine	25
3.2.5.1. Définition	25
3.2.5.2. Niveaux de compaction de la chromatine	25

Chapitre 4. Divisions cellulaires

4.1. Cycle cellulaire et mitose : chez les eucaryotes	27
4.1.1. Cycle cellulaire	27
4.1.1.1. L'interphase	28
4.1.1.2. Mitose	29
4.1.3. La mitose végétale	32
4.1.4. La scissiparité	33
4.1.5. Variation de la quantité d'ADN au cours du cycle cellulaire	33
4.1.6. La durée du cycle cellulaire	34
4.1.7. Contrôle du cycle cellulaire	34
4.1.8. Les erreurs mitotiques	35
4.2. La méiose	36
4.2.1. Les étapes de la méiose	36
4.2.1.1. Méiose I (<i>division réductionnelle</i>)	37
4.2.2.2. Méiose II (<i>division équationnelle</i>)	38
4.2.3. Variation de la quantité d'ADN au cours de la méiose	39

Chapitre 5. Synthèse des protéines

5.1. Ribosomes	40
5.1.1. Généralités	40
5.1.2. Structure des ribosomes	40
5.1.3. Biogenèse des ribosomes	41
5.1.4. Fonction des ribosomes	42
5.2. Acides nucléiques	42
5.2.1. Acide désoxyribonucléique (ADN)	42
5.2.2. Acides ribonucléiques (ARN)	43
5.3. La synthèse des protéines	44
5.3.1. Transcription : chez les eucaryotes	45
5.3.1.1. Les phases de la transcription	46
5.3.2. Traduction : chez les eucaryotes	47
5.3.2.1. Les phases de la traduction	47
5.3.3. Transcription et traduction : chez les procaryotes	49

Chapitre 6. Système endomembranaire

6.1. Présentation du système endomembranaire	50
6.1.1. Caractéristiques	50
6.1.2. Compartiments	50
6.2. Le réticulum endoplasmique	51
6.2.1. Définition et description	51
6.2.2. Fonctions du réticulum endoplasmique	51
6.2.2.1. Fonctions du RE rugueux	51
6.2.2.1. Fonctions du RE lisse	54
6.3. Appareil de Golgi	54
6.3.1. Définition et description	54
6.3.2. Fonctions	54
6.4. Les endosomes	55
6.4.1. Définition et description	55
6.4.2. Classification	55
6.4.3. Rôle des endosomes	56
6.4.4. Endosomes et pathogènes	56
6.4.4.1. Cas des virus	56
6.4.4.2. Cas des toxines	56
6.5. Les lysosomes	57
6.5.1. Définition et description	57

6.5.2. Caractéristiques des lysosomes	57
6.5.2.1. La membrane lysosomale	57
6.5.2.2. La matrice lysosomale	58
6.5.3. Origine des lysosomes	58
6.5.4. Fonctions des lysosomes	58
6.5.5. Pathologies lysosomales	59

Chapitre 7. Cytosquelette

7.1. Définition	60
7.2. Fonctions du cytosquelette	60
7.3. Constituants du cytosquelette	60
Références	63

LISTE DES FIGURES

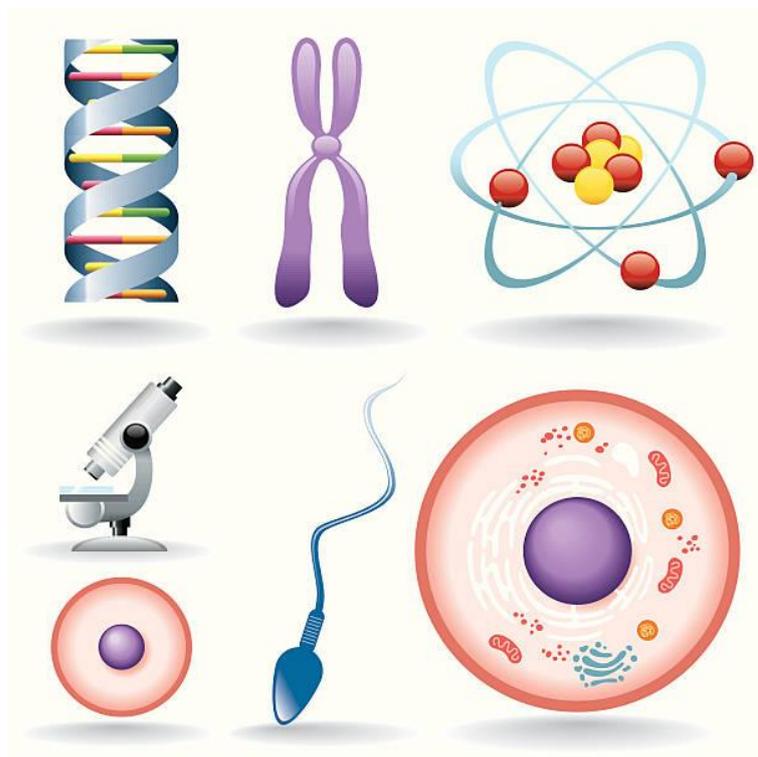
Figure 1.1.	Niveaux d'organisation cellulaire.	1
Figure 1.2.	Découverte de la cellule.	2
Figure 1.3.	Diversité de la taille des cellules.	3
Figure 1.4.	Diversité de la forme des cellules.	4
Figure 1.5.	Les constituants du microscope optique.	5
Figure 1.6.	Les types de microscope.	6
Figure 1.7.	Schéma des types cellulaire.	7
Figure 1.8.	Schéma d'une cellule animale et végétale avec leurs principaux composants.	9
Figure 1.9.	Érable (1) Iris (2) Fougère (3).	11
Figure 1.10.	Cerfs de Virginie (1) Poisson rouge (2) Mante religieuse (3).	12
Figure 1.11.	Hyphes (1) Amanite tue-mouches (2) Hyphes de moisissures (3).	12
Figure 1.12.	Amibe (1) Trypanosome (2) Paramécie (3).	13
Figure 1.13.	Structure d'un virus enveloppé et non enveloppé.	14
Figure 1.14.	Cycle lytique d'un virus.	14
Figure 2.1.	Allure d'une membrane plasmique au MET.	15
Figure 2.2.	Structure de la membrane plasmique.	16
Figure 2.3.	Perméabilité sélective de la membrane plasmique.	17
Figure 2.4.	Les trois types de mouvements des lipides membranaires.	18
Figure 2.5.	Illustration schématique des types de transports transmembranaires.	19
Figure 2.6.	Les modes de diffusion à travers les perméases.	20
Figure 2.7.	Illustration de l'endocytose et de l'exocytose.	22
Figure 3.1.	Représentation du noyau de la cellule.	23
Figure 3.2.	Ultrastructure des pores nucléaires.	24
Figure 3.3.	Ultrastructure du nucléole.	25
Figure 3.4.	Les niveaux de compaction de la chromatine.	26
Figure 4.1.	La division cellulaire.	27
Figure 4.2.	Les différentes phases du cycle cellulaire.	28
Figure 4.3.	Division cellulaire (Mitose).	29
Figure 4.4.	Prophase.	30
Figure 4.5.	Métaphase.	30
Figure 4.6.	Anaphase.	30
Figure 4.7.	Télophase.	31
Figure 4.8.	Les étapes d'une mitose végétale.	32
Figure 4.9.	Fission binaire chez une bactérie.	33

Figure 4.10.	Variation de la quantité d'ADN au cours du cycle cellulaire.	34
Figure 4.11.	Les trois points de contrôle du cycle cellulaire.	35
Figure 4.12.	Exemple de tumeur.	35
Figure 4.13.	Une paire de chromosomes homologues.	36
Figure 4.14.	Les étapes de la méiose I.	37
Figure 4.15.	Les étapes de la méiose II.	38
Figure 4.16.	Variation de la quantité d'ADN au cours de la méiose.	39
Figure 5.1.	Organisation structurale des ribosomes.	40
Figure 5.2.	Les quatre sites de liaisons des ribosomes.	41
Figure 5.3.	Nucléole et synthèse des ARN ribosomiaux.	41
Figure 5.4.	Structure en double hélice proposée par Watson et Crick.	42
Figure 5.5.	Structure d'un nucléotide (A) et des bases azotées (B).	43
Figure 5.6.	Schéma illustrant les étapes de la synthèse des protéines (A) et la forme en trèfle d'une molécule d'ARNt (B).	44
Figure 5.7.	Schéma illustrant la structure type d'un transcrit d'ARN.	45
Figure 5.8.	La transcription d'ADN.	45
Figure 5.9.	Phase d'initiation de la transcription.	46
Figure 5.10.	Phase d'élongation de la transcription.	46
Figure 5.11.	La traduction de l'ARNm.	47
Figure 6.1.	Vue d'ensemble du système endomembranaire.	50
Figure 6.2.	Réticulums endoplasmiques.	51
Figure 6.3.	Les deux voies de la synthèse protéique.	52
Figure 6.4.	Précurseur oligosaccharidique (14 résidus ou motifs glucidiques) lié à l'asparagine par liaison N-osidique et ajouté à la plupart des protéines dans la membrane du REG.	52
Figure 6.5.	Les étapes du transport vésiculaire.	53
Figure 6.6.	Organisation de l'appareil de Golgi.	54
Figure 6.7.	La voie de l'endocytose depuis la membrane plasmique jusqu'aux lysosomes.	56
Figure 6.8.	Représentation schématique d'un lysosome et de son contenu enzymatique.	57
Figure 6.9.	Autophagie des hépatocytes pendant le jeun prolongé.	59
Figure 7.1.	Le cytosquelette observé sous microscope électronique à transmission (MET).	60
Figure 7.2.	Les trois types de filaments protéiques du cytosquelette.	60
Figure 7.3.	Répartition des filaments protéiques du cytosquelette dans quelques cellules.	62

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1.	Les différents types de microscopes optiques et leur utilisation.	5
Tableau 1.2.	Les principales différences entre le microscope optique et électronique.	6
Tableau 1.3.	Les principales différences entre une cellule procaryote et une cellule eucaryote.	8
Tableau 1.4.	Comparaison entre la cellule animale et végétale.	9
Tableau 1.5.	Composition chimique moyenne des cellules en % de la masse cellulaire totale.	10
Tableau 4.1.	Les trois points de contrôle du cycle cellulaire.	35
Tableau 5.1.	Le code génétique.	48

Chapitre 1.
INTRODUCTION À LA BIOLOGIE
CELLULAIRE



Chapitre 1. Introduction à la biologie cellulaire

1.1. Généralités

- ◆ La **Biologie** « **Bios** = vie ; **Logos** = étude ou science » est la science qui étudie les êtres vivants.
- ◆ La **Biologie cellulaire**, anciennement appelée **cytologie**, est une discipline de la biologie, étudiant :
 - Les **cellules** et leurs **organites**.
 - Les **processus vitaux** qui s'y déroulent (reproduction, nutrition, respiration, ...)
 - La **mort cellulaire**, qui peut être programmée génétiquement (**apoptose**) ou être le résultat d'une agression (**nécrose**).
- ◆ La **Cellule** (du latin **cellula** = petite chambre) est l'unité structurale, fonctionnelle et reproductrice constituant tout ou une partie d'un être vivant. Les cellules de même type sont réunies en **tissus**, eux même réunis en **organes**, différents organes créent un **système**, comme le système digestif, le système respiratoire, le système nerveux, etc., pour remplir des fonctions spécifiques dans l'**organisme** vivant (Figure 1.1).

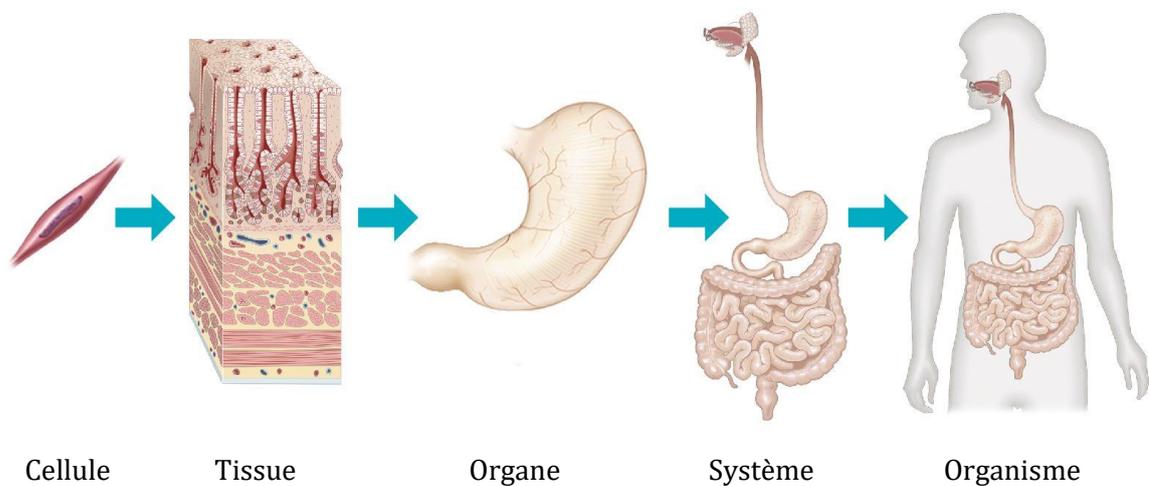


Figure 1.1. Niveaux d'organisation cellulaire.

1.2. Historique

1.2.1. Découverte de la cellule

Les cellules ne peuvent pas être observées à l'œil nu en raison de leur très petite taille. L'histoire de la biologie cellulaire est donc étroitement liée au perfectionnement d'un appareil optique agrandissant : le **microscope**. Les premiers microscopes composés ont été mis au point à la fin du XVI^e siècle (Figure 1.2). A partir de cette époque on peut résumer l'histoire de la biologie cellulaire comme suit :

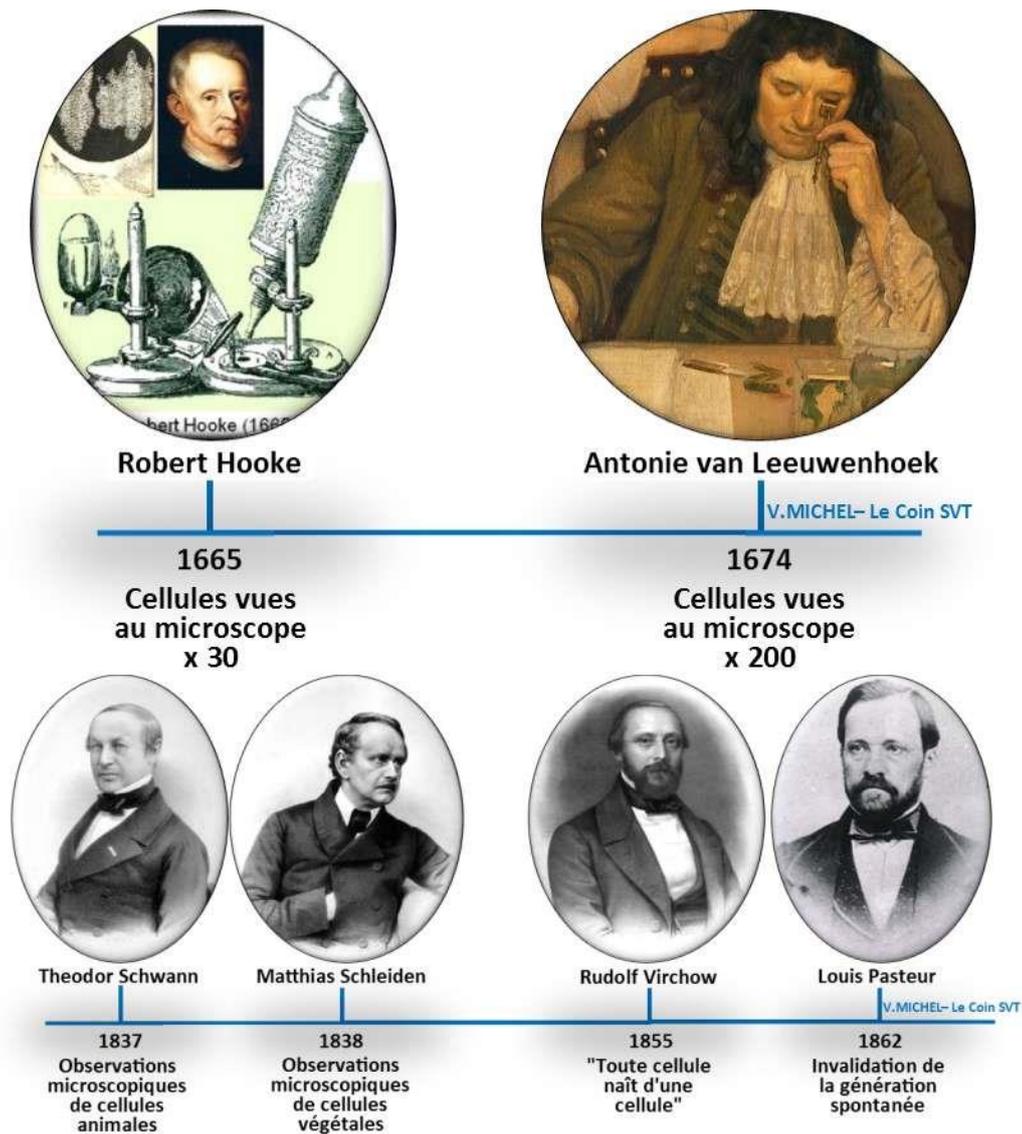


Figure 1.2. Découverte de la cellule.

- ◆ **Robert Hooke (1665)** : un scientifique anglais, propose pour la première fois, le terme cellule (petite chambre) en observant des coupes de liège (cellules végétales mortes) avec un microscope rudimentaire à une seule lentille.
- ◆ **Antoni Van Leeuwenhoek (1674)** : un drapier hollandais, connu pour ses améliorations du microscope, décrit plusieurs micro-organismes vivants (protistes, bactéries, ...).
- ◆ **Matthias Schleiden (1838)** : un botaniste allemand, utilisait des microscopes pour étudier les plantes. Il a fini par constater que toutes les plantes qu'il observait étaient constituées de cellules.
- ◆ **Theodore Schwann (1839)** : un zoologiste allemand, suite à l'observation de multiples organismes animaux, il a conclu que tous les animaux sont eux aussi faits de cellules.
- ◆ **Rudolf Virchow (1858)** : médecin allemand, affirme que les cellules naissent du résultat de la division cellulaire.

1.2.2. Fondation de la théorie cellulaire

Les observations et les découvertes de ces scientifiques ont mené à établir la **théorie cellulaire** qui comporte **trois grands principes** :

1. Tous les êtres vivants se composent d'une ou de plusieurs cellules.
2. La cellule est l'unité de base de la vie.
3. Toute cellule provient d'une autre cellule par division cellulaire.

1.3. Variations morphologiques

Les cellules présentent une grande diversité morphologique en fonction de leur **nombre**, leur **forme** et leur **taille** (figure 1.3 et 1.4).

- ◆ **Nombre** : Les êtres **unicellulaires** formés d'une seule cellule (exp : les amibes et les paramécies) et les organismes **pluricellulaires** constitués de plusieurs cellules.
- ◆ **Taille** : Les tailles moyennes des cellules sont de cet ordre : 1 μm pour les **bactéries**, 10 μm pour les cellules **animales** et 100 μm pour les cellules **végétales**.

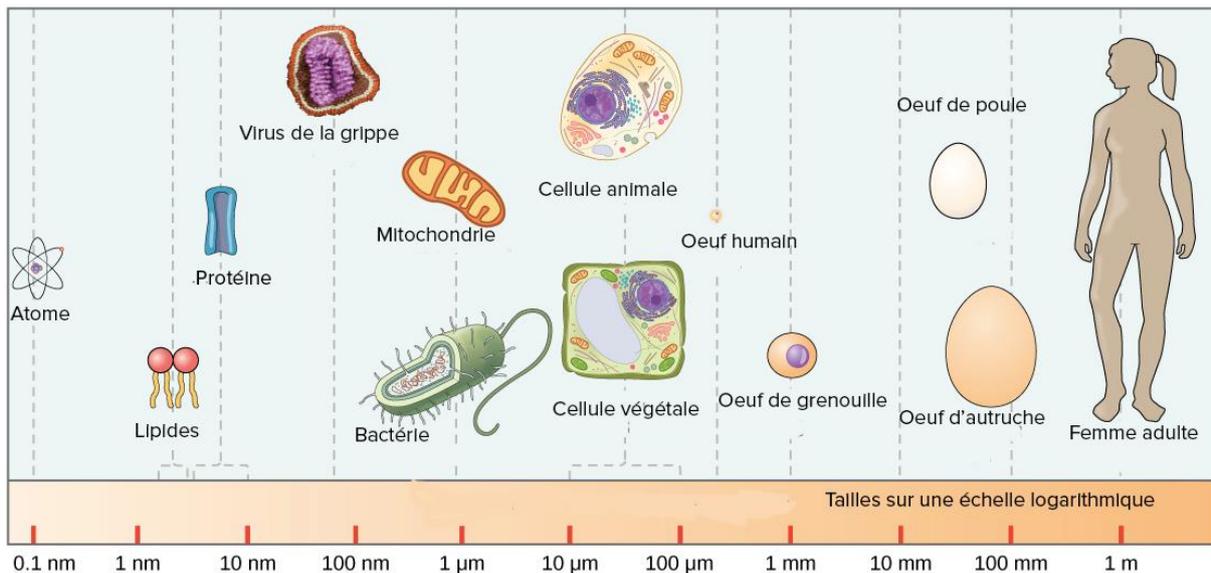


Figure 1.3. Diversité de la taille des cellules.

- ◆ **Forme** : Nombreuses cellules ont une forme **sphérique**, cependant que les globules rouges ont une forme **aplatie**, les spermatozoïdes et les cellules nerveuses ont une **architecture particulière**.

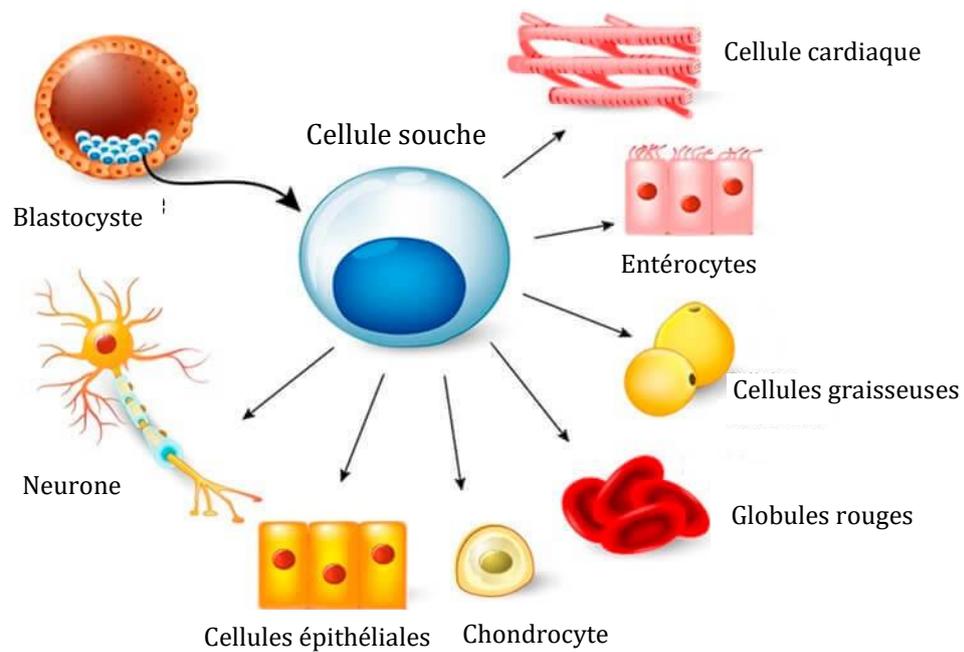


Figure 1.4. Diversité de la forme des cellules.

1.4. Méthodes d'études de la cellule

La biologie cellulaire, s'est dotée de techniques et d'instruments d'analyse de plus en plus puissants pour explorer les processus internes de la cellule : la **microscopie**. On distingue deux types de microscopes :

1.4.1. Le microscope optique (photonique)

- ◆ Le microscope optique (MO) est un instrument qui permet d'observer des éléments qui ne sont pas visibles à l'œil nu (Figure 1.5).
- ◆ L'échantillon est soumis à un flux de photons provenant d'une source de lumière. Celui-ci passe ensuite par deux lentilles en verre : un objectif et un oculaire, qui vont permettre de former une image dans l'œil humain.
- ◆ Il comprend un **piéd**, un **tube optique** le long duquel existe un système de **lentilles** en verre et à son extrémité, un **oculaire** qui permet de recueillir l'image, des **objectifs** qui servent à agrandir l'image un certain nombre de fois, une **platine** percée d'un trou et une **source lumineuse**.

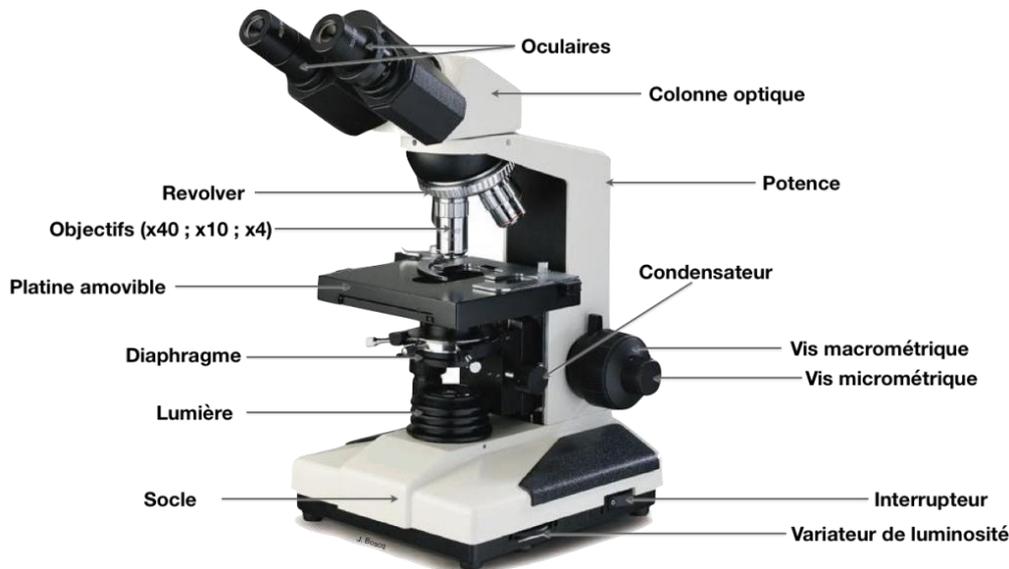


Figure 1.5. Les constituants du microscope optique.

Il existe plusieurs types de microscopes optiques dont les plus utilisés sont regroupés dans le tableau 1.1 qui suit :

Tableau 1.1. Les différents types de microscopes optiques et leur utilisation.

Type	Utilisation
Optique à fond clair	Observation des structures cellulaires internes après coloration.
Optique à fond noir	Observation d'échantillons non colorés et des cellules vivantes et en déplacement.
Optique à fluorescence	Marquage fluorescent de structures et de composés macromoléculaires.
Optique à contraste de phase	Mise en évidence des différences d'indices de réfraction et de contraste.
Optique confocal	Reconstitution d'images tridimensionnelles de l'objet.

1.4.2. Le microscope électronique

Il existe deux principaux types de microscope électronique (Figure 1.6) :

- ◆ **Le microscope électronique à transmission (MET)** : Le MET remplace les photons par des **électrons**, et les lentilles en verre par des **lentilles électromagnétiques**. Lorsque le rayonnement électronique traverse l'échantillon, il est modifié par des phénomènes physiques. Une partie de ce rayonnement est ensuite dirigé vers un écran pour y former une image. Il comprend un canon à électrons, un tube ou une pompe à vide, une série de lentilles électromagnétiques, une grille porte objet et un écran fluorescent relié à un écran de télévision.

- ◆ **Le microscope électronique à balayage (MEB) :** Dans le MEB, un faisceau d'électrons balaye l'échantillon qui a été au préalable recouvert d'une fine couche de métal. Cela permet à l'échantillon de réémettre les électrons qui l'atteignent, qui sont alors captés par un détecteur afin de reconstituer une image 3D de sa surface. Il comprend un canon à électrons, un tube à vide, une grille porte objet, un circuit de balayage et un écran de télévision.

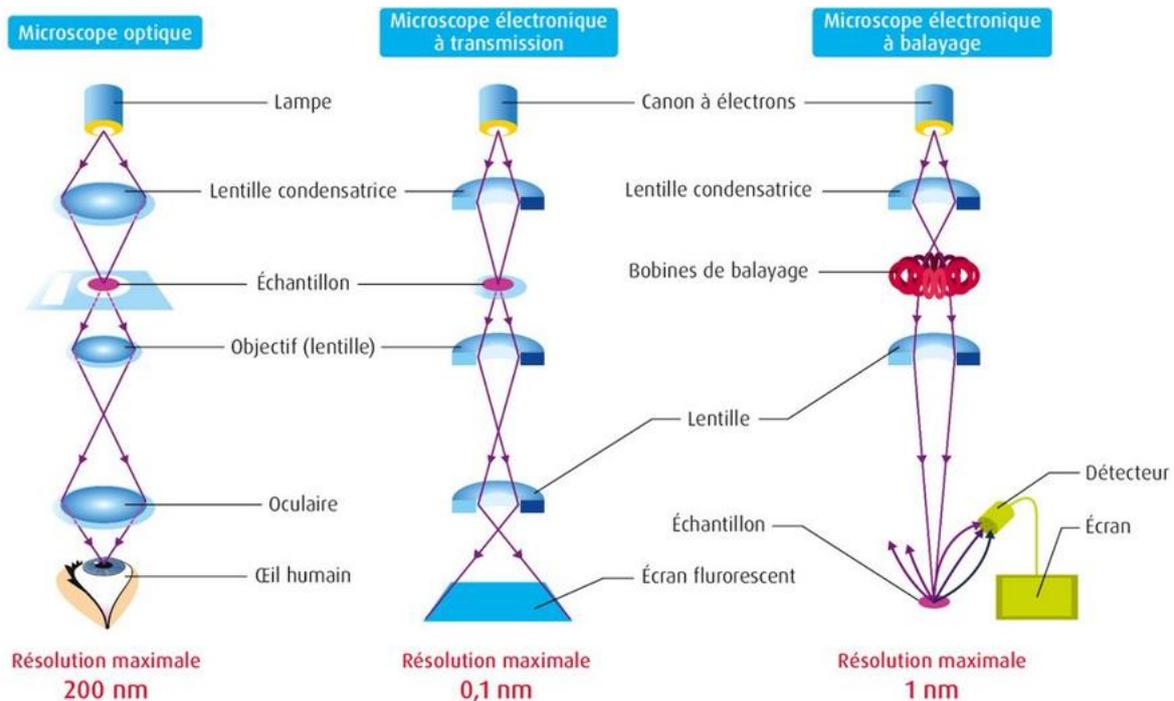


Figure 1.6. Les types de microscope.

Le tableau suivant (Tableau 1.2) résume les principales différences entre les microscopes optiques et électroniques.

Tableau 1.2. Les principales différences entre le microscope optique et électronique.

Microscope optique	Microscope électronique
Faisceau lumineux	Faisceau d'électrons
Lentilles en verre	Lentilles électrostatiques et magnétiques
Grossissement x 2.000 fois	Grossissement x 2.000.000 fois
Résolution limité	Résolution bonne
Technique simple	Technique complexe

- ◆ **Le rapport optique** est défini comme la puissance du microscope d'augmenter la taille apparente d'un objet.
- ◆ **Le pouvoir de résolution** ou le **pouvoir séparateur** : La résolution est définie comme la distance minimale séparant deux points individualisables.

1.5. Types d'organisation cellulaire

Les observations microscopiques de la structure d'une cellule (Figure 1.7), selon la présence ou l'absence d'un noyau, mettent en évidence trois types :

- ◆ Les **procaryotes** (**pro** = avant ; **caryote** = noyau)
- ◆ Les **eucaryotes** (**eu** = vrai ; **caryote** = noyau)
- ◆ Les **acaryotes** (**a** = sans ; **caryote** = noyau)

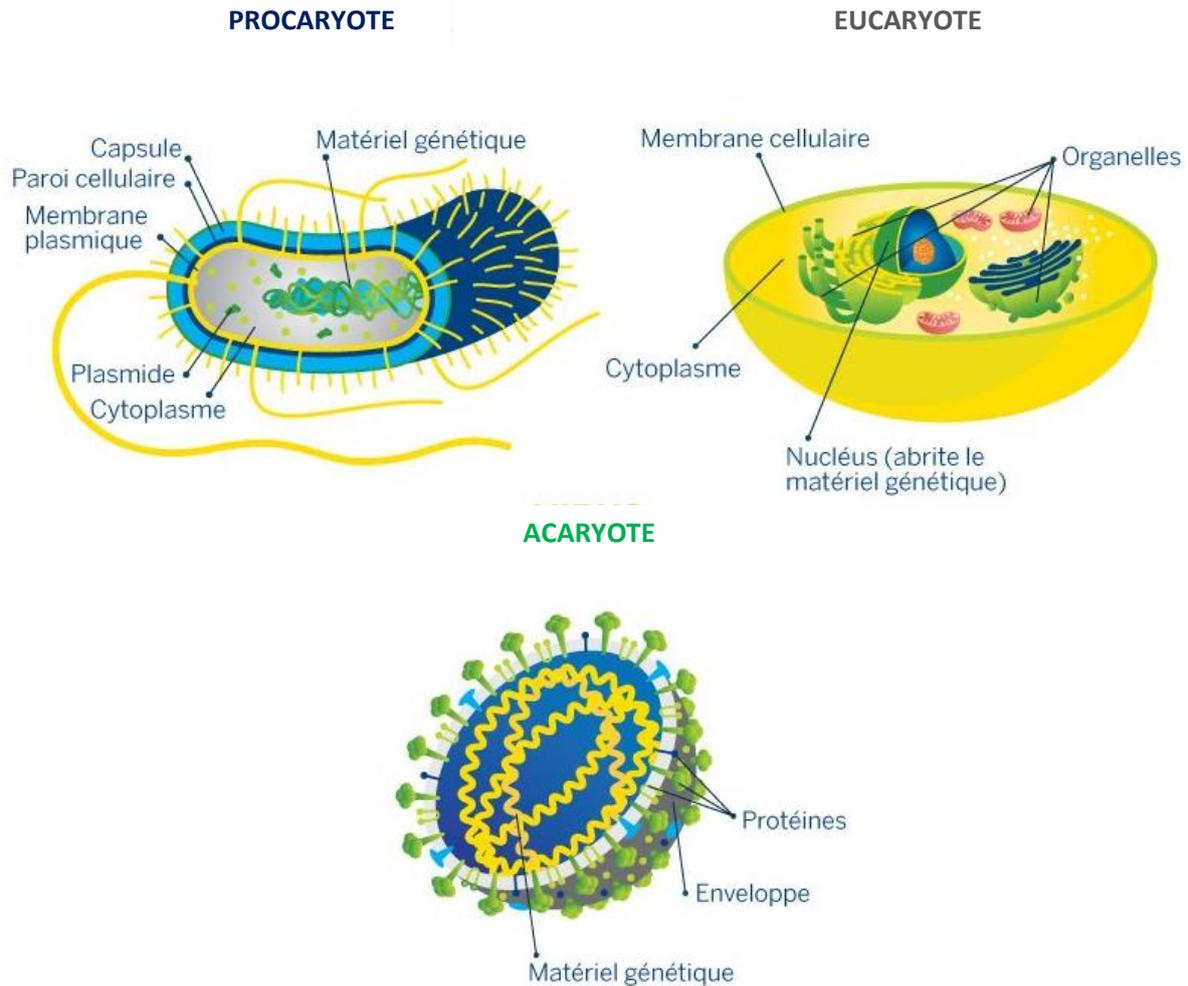


Figure 1.7. Schéma des types cellulaires.

1.5.1. Les cellules procaryotes

Les cellules **procaryotes** signifient des cellules **sans vrai noyau**, c'est-à-dire que le matériel génétique (ADN) n'est pas entouré par une **enveloppe nucléaire**. Elles présentent une ultrastructure simple du fait de l'**absence des organites intracellulaires**, il s'agit essentiellement des **bactéries**.

1.5.2. Les cellules eucaryotes

Les cellules **eucaryotes** possèdent un noyau délimité par une **enveloppe nucléaire** qui contient le matériel génétique (ADN). Leur **cytoplasme** est hautement structuré contenant un **système endomembranaire** et des **organites**. Elles constituent la quasi-totalité des organismes **pluricellulaires** (les animaux, végétaux et les champignons) et quelques organismes **unicellulaires** (levures) (Tableau 1.3).

Tableau 1.3. Les principales différences entre une cellule procaryote et une cellule eucaryote.

Caractéristiques	Cellule procaryote	Cellule eucaryote
Organismes typiques	Bactéries	Protistes, champignons, plantes, animaux
Organisation cellulaire	Unicellulaires	Unicellulaires/pluricellulaires
Taille des cellules	1-10 μm	10-100 μm
Présence de noyau	Pas de vrai noyau (Nucléoïde)	Vrai noyau avec enveloppe nucléaire
ADN	Molécules libre, circulaire, dépourvu des protéines	Linéaires avec des protéines histone
Nombre de chromosomes	Généralement 1 plasmide	Plus d'un chromosome
ARN/synthèse des protéines	Couplé au cytoplasme	Synthèse d'ARN dans le noyau Synthèse de protéines dans le cytoplasme
Organites	Absents (sauf ribosomes)	Nombreux et diversifiés (mitochondries, chloroplastes, réticulum endoplasmique, appareil de Golgi, etc ...)
Mouvement de la cellule	Flagelle fait de flagelline	Flagelle et cils fait de tubuline
Division de la cellule	Division simple (scissiparité)	Division cellulaire par mitose et méiose

Parmi les cellules eucaryotes on distingue deux types de cellules (Figure 1.8) : Les **cellules animales** et les **cellules végétales**.

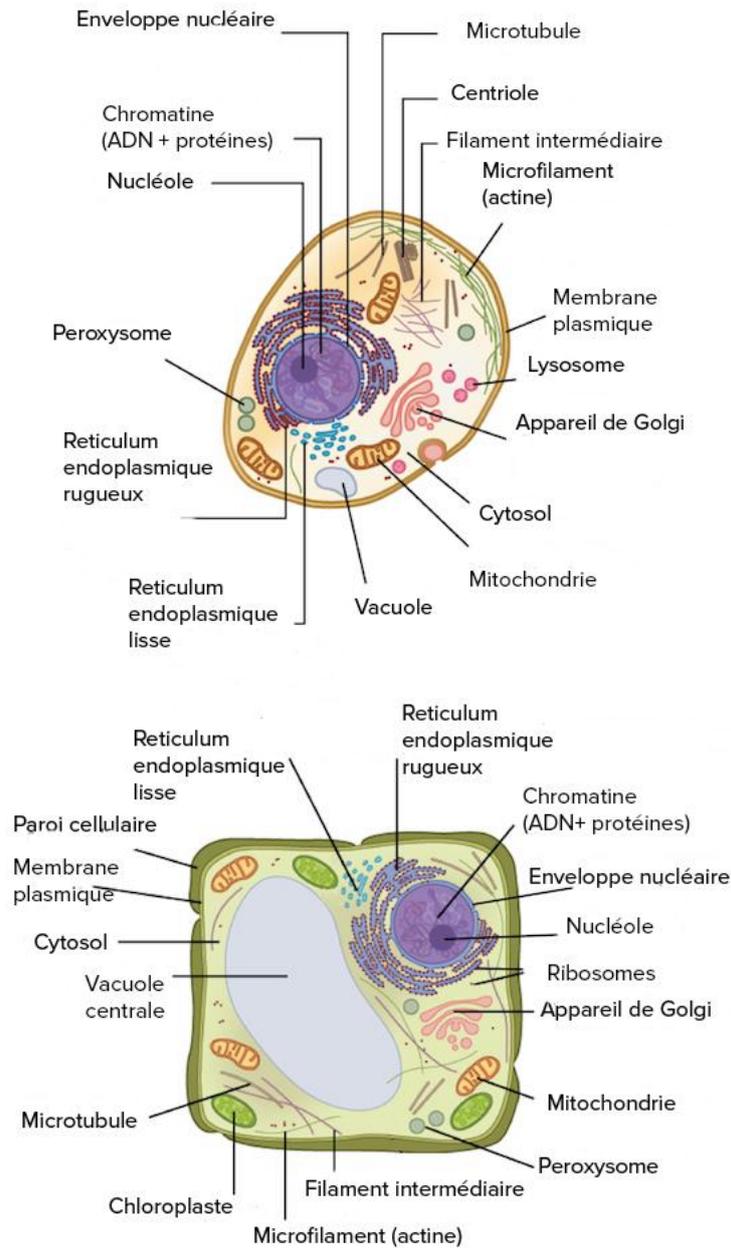


Figure 1.8. Schéma d'une cellule animale et végétale avec leurs principaux composants.

Les cellules animales et végétales présentent, en grande partie les **mêmes organites**, mais elles peuvent être **différenciées** par la présence d'organites en elles (Tableau 1.4).

Tableau 1.4. Comparaison entre la cellule animale et végétale.

Cellule végétale	Cellule animale
Présence d'une paroi pectocellulosique	Absence de la paroi pectocellulosique
Présence de vacuoles de grande taille	Présence de vacuoles de petite taille
Présence des plastes	Absence des plastes
Absence du centrosome (centrioles)	Présence du centrosome (centrioles)
Pas de cholestérol dans la membrane cellulaire	Présence de cholestérol dans la membrane cellulaire
Stocker l'excès de glucose sous forme d'amidon	Stocker l'excès de glucose sous forme de glycogène

1.5.2.1. Compartimentation de la cellule eucaryote

- ◆ **Le noyau** : est un organe délimité par l'enveloppe nucléaire, percée de pores nucléaires qui permettent les échanges entre le noyau et le cytoplasme. Il contient l'ADN (acide désoxyribonucléique), fragmenté en chromosomes et dans lequel est stockée l'information génétique.
- ◆ **Le cytoplasme** : contient le **cytosol** ou **hyaloplasme** (substance gélatineuse dont est remplie la cellule) et renferme les éléments qui permettent à la cellule d'assurer ses fonctions : le **système endomembranaire** (réticulum endoplasmique, appareil de Golgi, endosomes, lysosomes et les vésicules), les **mitochondries**, les **péroxyosomes** et le **cytosquelette**.
- ◆ **La membrane plasmique** : C'est une frontière entre le cytoplasme et l'environnement extracellulaire. Elle permet et régule les échanges entre les milieux intra et extracellulaires.

1.5.2.2. Composition chimique des cellules

On distingue deux types de constituants dans une cellule : les constituants **inorganiques** (eau et sels minéraux) et les constituants **organiques** (protéines, lipides, glucides et acide nucléique) (Tableau 1.5).

Tableau 1.5. Composition chimique moyenne des cellules en % de la masse cellulaire totale.

Constituants	Bactérie	Champignon	Mammifère
Eau	70	82,5	70
Ions inorganiques (Na ⁺ , K ⁺ , Mg ²⁺ , Ca ²⁺ , Cl ⁻ ...)	1	0,5	1
Protéines	15	6	18
Lipides	2	2	5
Glucides	2	2,5	2
Acide nucléique	1	0,5	0,25
Autres molécules	9	6	3,75

1.5.3. Les cellules acaryotes

La cellule acaryote n'a aucune des trois caractéristiques d'une cellule vivante : **ni noyau, ni organites, ni métabolisme**. On parle d'état acaryote ou état non-cellulaire tel que les **virus** qui sont une entité biologique et non une cellule.

1.6. Classification des êtres vivants

Les scientifiques, pour se retrouver dans la diversité des formes de vie, ont conçu un classement.

- ◆ *La classification classique (traditionnelle)* en deux groupes (végétal/animal) est basée uniquement sur les caractères du **phénotype** : les **ressemblances morphologiques** et les **préférences nutritionnelles**.
- ◆ *La classification moderne (phylogénétique)* prend en compte tous les **caractères héréditaires**, depuis ce qui est visible (anatomie et morphologie, base de la classification traditionnelle) jusqu'aux séquences d'ADN et d'ARN, les protéines et les données de la paléontologie (discipline qui étudie les restes fossiles des êtres vivants du passé).

Ainsi ils distinguent actuellement **cinq** grands règnes :

1.6.1. Règne des végétaux

Ce règne comprend les organismes **eucaryotes pluricellulaires** qui réalisent le processus de **photosynthèse**. Au travers de ce mécanisme, les plantes produisent leurs propres matières organiques, donc ce sont des organismes **autotrophes**. Les organismes que nous pouvons trouver dans ce royaume sont, par exemple, les mousses, les fougères et les plantes à fleurs (Figure 1.9).

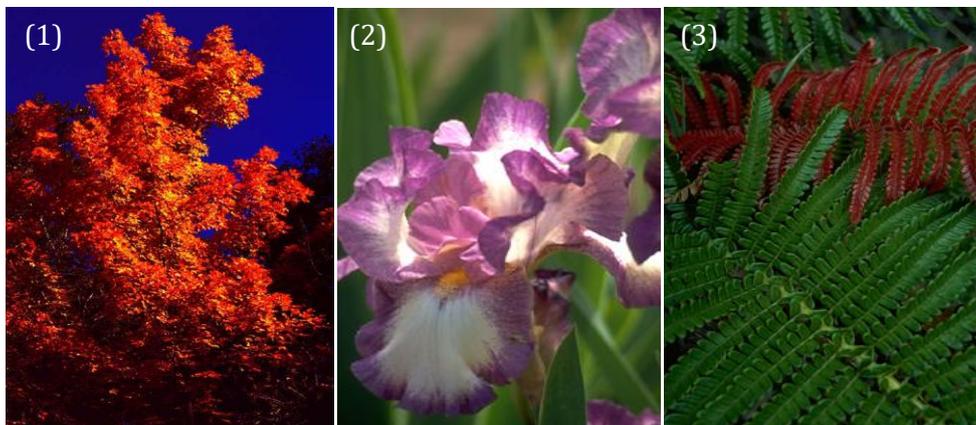


Figure 1.9. Érable (1) Iris (2) Fougère (3).

1.6.2. Règne des animaux

Ce règne est composé des organismes **eucaryotes pluricellulaires**. Ils s'alimentent au travers de l'**ingestion de nourriture**. La caractéristique principale des animaux est qu'ils possèdent la capacité de se **déplacer** d'un endroit à un autre de manière plus ou moins volontaire. Tous les animaux de la terre appartiennent à ce groupe, des éponges aux chiens et aux êtres humains (Figure 1.10).



Figure 1.10. Cerfs de Virginie (1) Poisson rouge (2) Mante religieuse (3).

1.6.3. Règne des champignons (Fungi, Mycota ou Mycètes)

Le règne des champignons (Figure 1.11) est composé d'organismes **eucaryotes pluricellulaires**. Ils adoptent différents modes de nutrition :

- a. **Saprophytisme** : les champignons peuvent se nourrir de matière organique morte ou en décomposition.
- b. **Symbiose** : les champignons peuvent vivre en symbiose avec d'autres êtres vivants autotrophes. Par exemple, le champignon offre sa protection et au retour, ils reçoivent des nutriments.
- c. **Parasitisme** : les champignons peuvent vivre aux dépens d'un être vivant à leur propre compte.



Figure 1.11. Hyphes (1) Amanite tue-mouches (2) Hyphes de moisissures (3).

1.6.4. Règne des protistes

Le règne des protistes est constitué d'organismes **eucaryotes unicellulaires** ainsi que certains organismes **pluricellulaires simples** (Figure 1.12). Au sein du règne des protistes, on retrouve trois « sous-règnes » :

- a. **Algues** : organismes aquatiques unicellulaires ou pluricellulaires qui réalisent la photosynthèse.
- b. **Protozoaires** : organismes unicellulaires principalement mobiles, à affinités animales, et qui s'alimentent au moyen de l'absorption (comme les amibes).
- c. **Protophytes** : protistes, à affinités végétales qui absorbent leurs aliments de la matière organique morte.

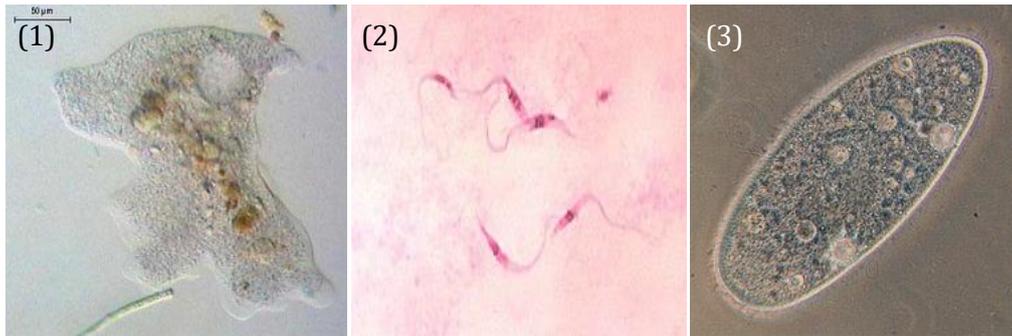


Figure 1.12. Amibe (1) Trypanosome (2) Paramécie (3).

1.6.5. Règne des procaryotes (Monères)

Le règne des Monères est constitué d'organismes **procaryotes unicellulaires**. Au sein de ce règne on retrouve deux « sous-règnes », celui des **archéobactéries** qui sont des microbes qui vivent dans des environnements extrêmes comme par exemple des lieux aux températures très élevées. On retrouve aussi le sous-règne des **eubactéries** appelées aussi les bactéries vraies. Les **cyanobactéries** (algue bleue) sont capables de se nourrir au travers de la photosynthèse.

1.6.6. Cas des virus (acaryotes)

Les virus sont des structures **acellulaires, infectieux**, constitués au minimum d'un acide nucléique (ADN ou ARN) et de protéines. Ils dépendent de cellules vivantes pour se répliquer. Pour cela, ils sont capables de perturber profondément et/ou durablement l'information génétique des cellules qu'ils infectent. Ce sont des parasites intracellulaires obligatoires. On distingue les virus des vertébrés ; les virus de bactéries ou bactériophages ; et les virus d'algues, d'invertébrés, de plantes ...

1.6.6.1. Classification des virus

Hormis la classification des virus en fonction de la nature de l'hôte, les virus sont surtout classés selon les critères suivants :

- a. Nature de l'acide nucléique** : virus à ADN et à ARN ;
- b. Type de symétrie** : cubique, hélicoïdale ou combinée ;
- c. Existence d'une enveloppe** : virus nus ou enveloppés.

1.6.6.2. Structure des virus

Leur taille se situe entre 10 et 100 nm, ils sont donc invisibles au microscope optique (Figure 1.13). Les plus petits sont un peu plus grands que les ribosomes, les plus grands sont un peu plus petits que les bactéries. Les virus sont essentiellement composés de trois éléments :

- un **génom**e ou matériel génétique ou acide nucléique ;
- une **capside protéique** (pas toujours présente selon les virus) ;
- une **enveloppe lipidique** (pas toujours présente selon les virus).

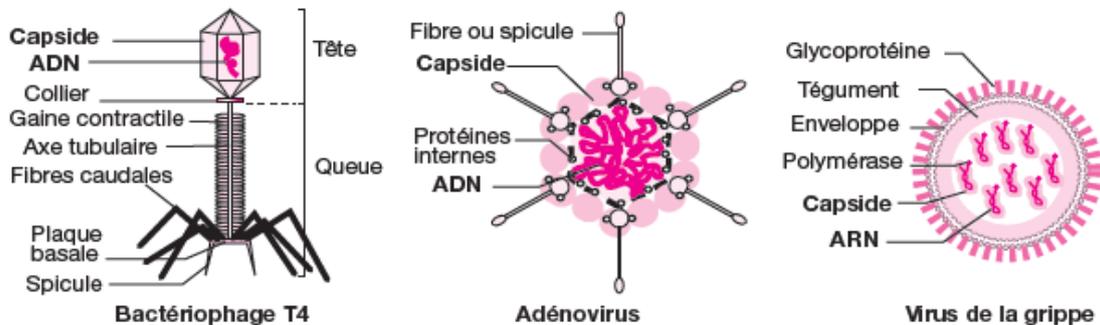


Figure 1.13. Structure d'un virus enveloppé et non enveloppé.

Exemples de virus : virus de la grippe (influenza virus), VIH (Virus de l'Immunodéficience Humaine ou le sida) et SARS-CoV-2 (à l'origine de l'épidémie de Covid-19).

1.6.6.3. Cycle de multiplication du virus (cycle viral)

Ce sont toutes les étapes que doit subir un virus pour aboutir à la production de nouvelles particules virales (virions). La multiplication d'un virus consiste en l'introduction du génome viral dans une cellule et c'est elle qui va fabriquer de nouveaux virus (Figure 1.14).

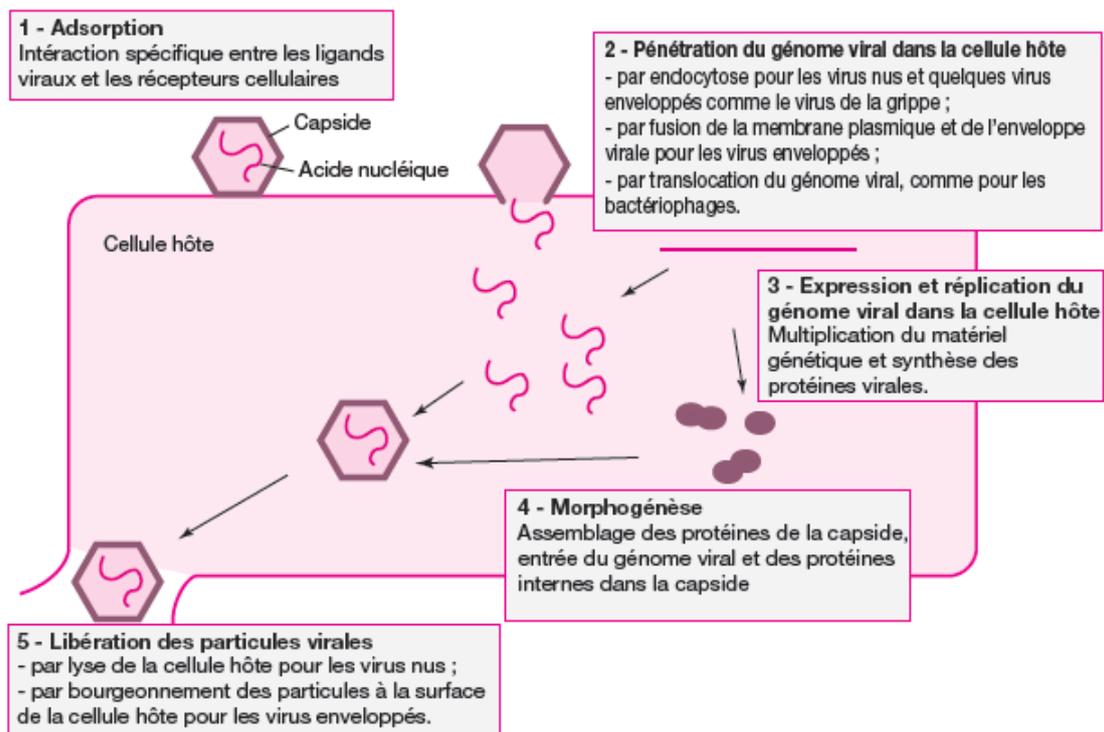
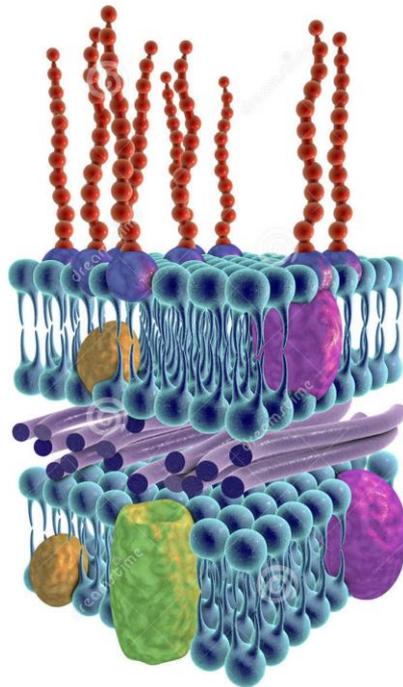


Figure 1.14. Cycle lytique d'un virus.

Chapitre 2.

MEMBRANE PLASMIQUE



Chapitre 2. Membrane plasmique et transports membranaires

2.1. Membrane plasmique

Présentes chez tous les organismes vivants, les **membranes biologiques** sont des structures qui **limitent** les cellules ou les compartiments cellulaires et **régulent** les échanges de matière entre l'intérieur et l'extérieur de la cellule, ou entre deux compartiments cellulaires par des transporteurs, bourgeonnement de vésicules, ... etc. Parmi elles, la membrane qui limite les cellules, appelée **membrane plasmique**, tient un rôle particulier puisqu'elle constitue à la fois la frontière d'une cellule et son interface d'interactions avec l'environnement. Les membranes des organites sont appelées par le nom de l'organite concerné : membrane nucléaire, membrane mitochondriale ... etc.

2.1.1. Définition

La **membrane plasmique**, aussi appelée **membrane cytoplasmique**, **membrane cellulaire** ou **plasmalemme**, est une structure **fluide**, **dynamique** et **asymétrique** séparant le milieu intracellulaire du milieu extracellulaire. Elle contrôle les échanges entre la cellule et son environnement.

2.1.2. Rôles de la membrane plasmique

La membrane plasmique a des rôles variés, notamment :

- ◆ Constituer des limites, des barrières qui contrôlent la composition des cellules ;
- ◆ Régulation des échanges : il s'agit d'autoriser, tout en les maîtrisant, des échanges de matière, d'énergie ou d'informations entre cellule et extérieur de la cellule ;
- ◆ Participe aux mouvements cellulaires du muscle ou le flagelle du spermatozoïde, ...

2.1.3. Structure de la membrane plasmique

- ◆ La membrane plasmique est formée de **trois feuillets** (couches). **Deux feuillets denses hydrophiles**, l'un externe et l'autre interne, de 20 à 25 Å d'épaisseur, intercalés par un **feuillet clair hydrophobe** de 35 Å d'épaisseur. Ainsi l'épaisseur moyenne de la membrane est de 7,5 nm.
- ◆ Cette structure est appelée **structure trilaminaire** ou **tri-stratifiée**. En microscopie optique, la membrane est quasi invisible, elle apparaît comme un trait qui délimite la cellule. En microscopie électronique, on peut observer directement sa structure (Figure 2.1).

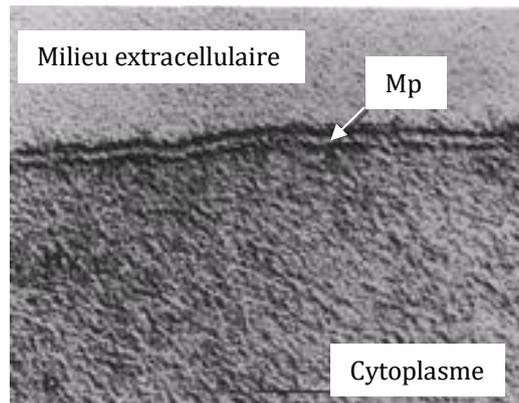


Figure 2.1. Allure d'une membrane plasmique au MET.

Le modèle actuellement retenu de structure et d'organisation des membranes est celui de la « **mosaïque fluide** » proposé par SINGER & NICHOLSON en 1972 (Figure 2.2). Fluide car les phospholipides et les protéines membranaires peuvent se mouvoir dans le plan de la membrane. De plus, la membrane est un corps parfaitement déformable dans les 3 directions de l'espace.

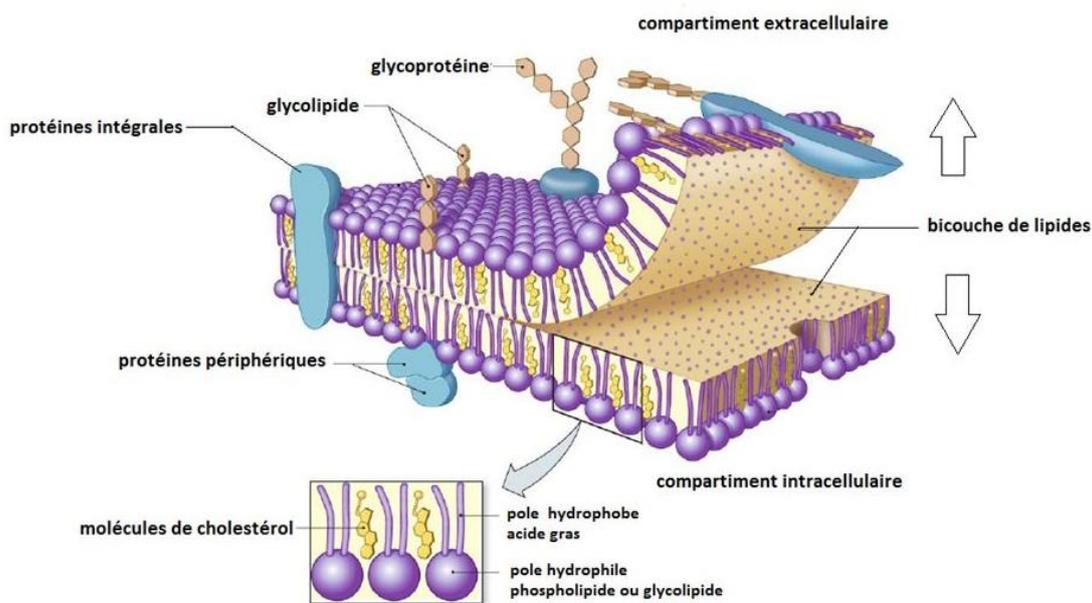


Figure 2.2. Structure de la membrane plasmique.

2.1.4. Perméabilité de la membrane plasmique

La membrane plasmique présente une **perméabilité sélective**, autrement dit, elle se laisse traverser par certaines substances plus facilement que par d'autres (Figure 2.3).

- ◆ **Les substances hydrophobes** traversent rapidement la membrane, car elles se dissolvent dans la double couche lipidique.
- ◆ **Les petites molécules polaires** (comme H_2O et CO_2) grâce à leur petite taille, ces molécules polaires franchissent aussi la double couche lipidique.
- ◆ **Les grosses molécules et les ions** passent à travers la membrane grâce à des protéines de transport spécifiques.

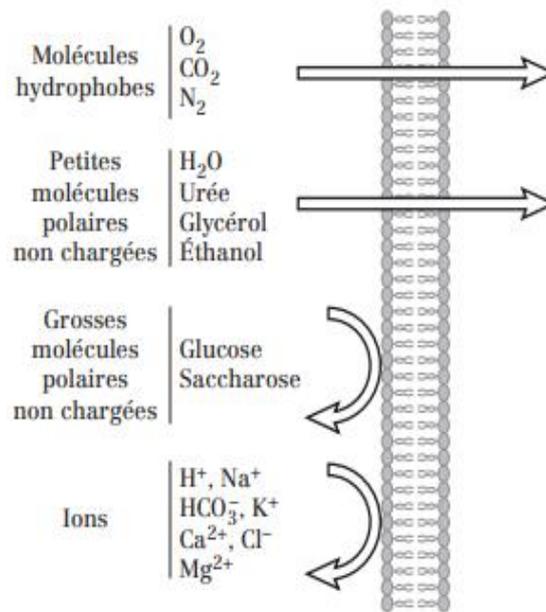


Figure 2.3. Perméabilité sélective de la membrane plasmique.

2.1.5. Composition chimique

La membrane plasmique est une **bicouche phospholipidique** composée principalement de **lipides** (environ 43%) et de **protéines** (environ 49%). On y trouve également des **glucides** (environ 8%) du côté extracellulaire, associés à des lipides (glycolipides) ou à des protéines (glycoprotéines) formant le **glycocalyx** (= cell coat). Sa composition chimique est **hétérogène**, elle varie d'un type cellulaire à un autre ou bien entre deux régions différentes de la cellule.

2.1.5.1. Les lipides

Les lipides forment la **structure** de la membrane plasmique. Ils sont de trois types :

A. Les phospholipides : présentent une **tête hydrophile polaire** (phosphate et groupement spécialisé) qui ont une forte affinité pour l'eau, et une queue **hydrophobe apolaire** (glycérol et acides gras) qui fuient l'eau. Ils sont ainsi appelés **amphiphiles**. Ils dérivent soit du glycérol (glycérophospholipides) ou de la sphingosine (sphingolipides).

Les mouvements des lipides dans la bicouche

Dans la membrane plasmique les lipides sont animés de mouvements permanents (Figure 2.4) :

- 1. Diffusion latérale** : mouvements de déplacement latéraux.
- 2. Mouvements de rotation** : Les lipides tournent fréquemment sur eux-mêmes.
- 3. Mouvements de bascule ou flip-flop** : Les lipides passent d'une couche à l'autre.

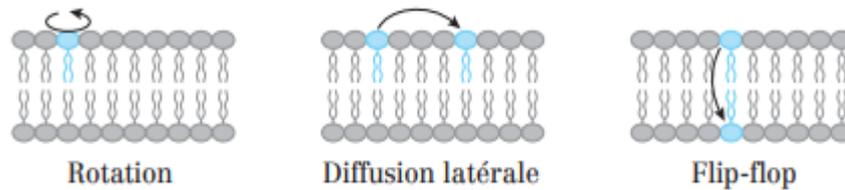


Figure 2.4. Les trois types de mouvements des lipides membranaires.

B. Le cholestérol : régule la **fluidité** de la membrane (plus il est présent, moins la membrane est fluide) et contribue à la **stabilité** et au **maintien** de sa structure en s'intercalant entre les phospholipides (il est absent chez les végétaux, on trouve le **phytostérol**).

C. Les glycolipides : sont de deux types, les **glycéroglycolipides** et les **sphingoglycolipides**. Ils ressemblent aux phospholipides dans leur composition bien qu'ils soient dépourvus de phosphate.

2.1.5.2. Les protéines membranaires

Les protéines membranaires assurent la plus grande partie des **fonctions** spécialisées de la cellule *vis-à-vis* de son environnement. Leur classification repose sur la façon dont elles sont disposées dans la membrane. On distingue trois types :

- A. Les protéines transmembranaires (intégrale) :** protéines qui s'intègrent dans la membrane en la traversant une ou plusieurs fois.
- B. Les protéines ancrées :** protéines traversant un seul feuillet, interne ou externe, de la membrane plasmique.
- C. Les protéines périphériques :** protéines qui sont situées sur un côté de la membrane ou l'autre, sans la traverser.

2.1.5.3. Les glucides membranaires

Tous les eucaryotes portent des glucides sur le **feuillet externe** de leur membrane. On appelle **glycocalyx** ou **cell-coat** l'ensemble des petites chaînes glucidiques (oligosaccharides) portées par des protéines (cela forme des glycoprotéines) ou parfois des lipides (cela forme des glycolipides).

2.2. Transports membranaires

Pour vivre, la cellule a besoin de **prélever** des **aliments** dans le milieu extérieur et d'y **rejeter** les **déchets**. Ces substances pour être échangées entre l'hyaloplasme et le milieu extracellulaire doivent traverser la **membrane plasmique**. On appelle **perméabilité (sélective ou différentielle)** de la membrane, la propriété qu'elle possède de laisser passer des substances du milieu extracellulaire vers l'hyaloplasme ou inversement.

2.2.1. Définition

Le transport membranaire est le **passage** d'une **molécule**, d'un **ion** ou d'une **particule** à travers la **membrane plasmique**.

2.2.2. Types de transports membranaires

On peut distinguer deux types de transports membranaires selon l'utilisation ou non de l'énergie : le **transport passif** et le **transport actif** (Figure 2.5).

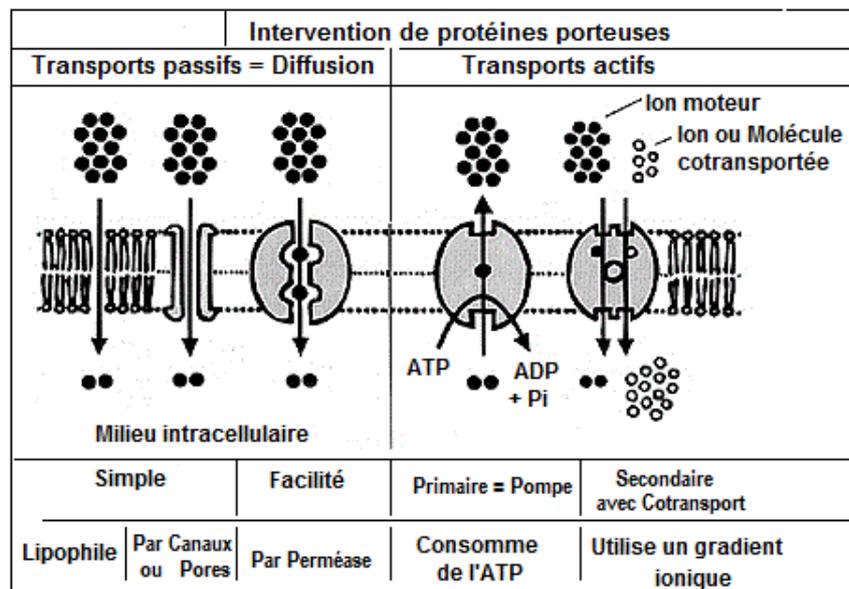


Figure 2.5. Illustration schématique des types de transports transmembranaires.

2.2.2.1. Le transport passif

Le transport passif se fait **sans consommation d'énergie, en fonction des gradients de concentration** de la molécule transportée (du milieu le plus concentré vers le milieu le moins concentré). Il peut être réalisé par :

A. Diffusion simple : Se fait à travers la partie lipidique de la membrane plasmique (pas d'intervention des protéines membranaires). Cette diffusion se fait dans le sens du gradient. Elle intéresse les **molécules liposolubles**, les **molécules apolaires** et les **molécules de petite taille** (AG, les stéroïdes, O₂, CO₂).

B. Diffusion facilitée : Il est toujours passif mais il fait intervenir des **protéines**, c'est un phénomène qui est spécifique et régulé. On distingue deux types : La diffusion à travers les **pores ioniques** et la diffusion à travers les **perméases**.

B1. Diffusion à travers les pores ioniques : Concerne des substances **non liposolubles** comme l'eau, électrolytes, hydrates de carbone. Les pores qui permettent le passage d'ions spécifiques sont appelés **canaux ioniques** dont le transport se fait **selon leur gradient électrochimique** et **ne réclame pas d'énergie**. Néanmoins, l'eau, molécule polaire, peut traverser librement dans les deux sens en empruntant des canaux spécifiques transmembranaires appelés : les **aquaporines**.

B2. Diffusion à travers les perméases : Se sont des protéines transmembranaires qui vont lier d'une manière spécifique la molécule à transporter qui va changer de conformation et qui va libérer la molécule à transporter de l'autre côté de la membrane (Figure 2.6).

- ◆ Le transporteur ou le canal transmembranaire peut assurer le passage d'une seule molécule à la fois, il s'agit d'un transport **uniport**.
- ◆ Lorsque le transporteur entraîne deux molécules il s'agit d'un co-transport,
 - ✓ Si les molécules sont transportées dans le même sens le co-transport est dit **symport**.
 - ✓ Si elles sont entraînées en sens inverse, c'est-à-dire si une molécule entre dans la cellule alors que l'autre en sort alors c'est un co-transport **antiport**.

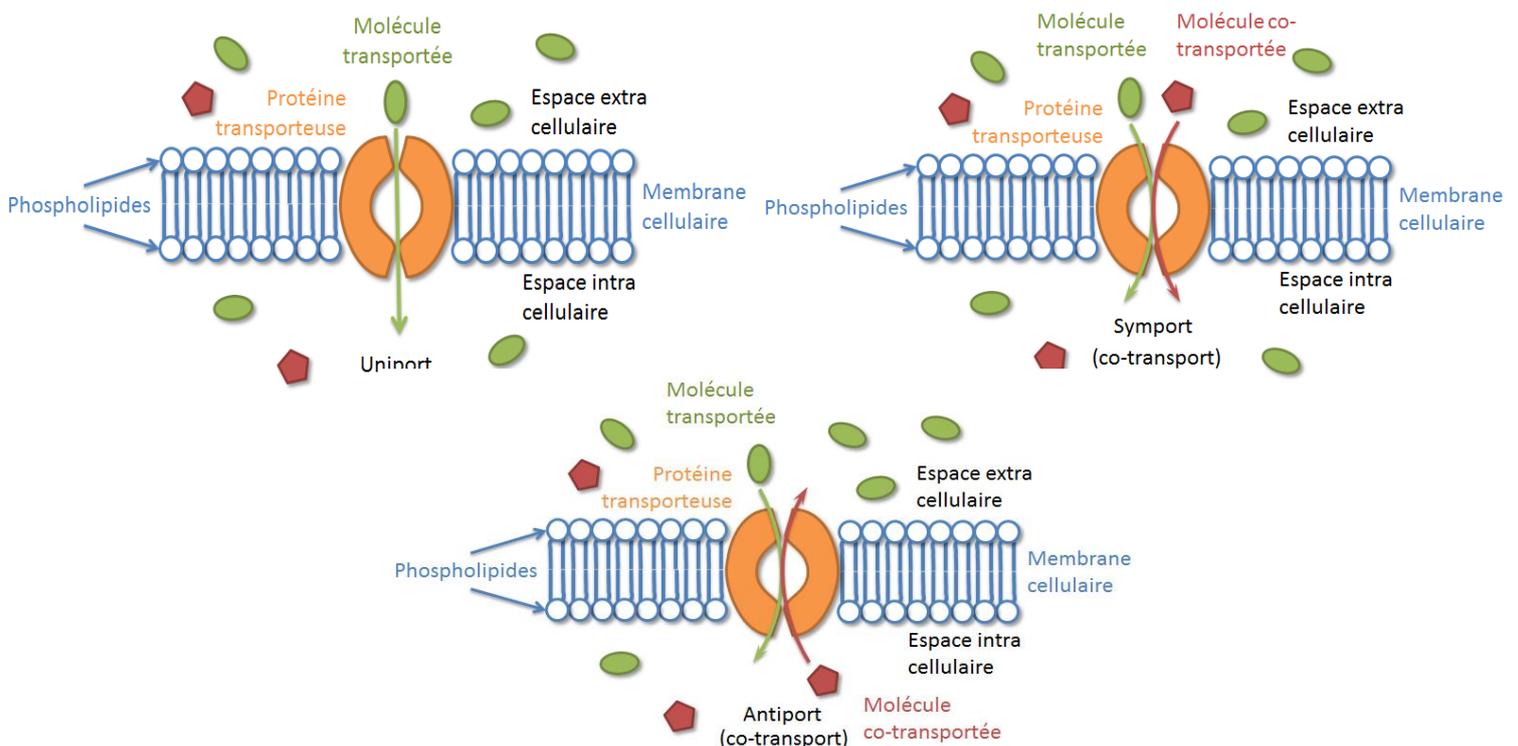


Figure 2.6. Les modes de diffusion à travers les perméases.

Osmose

C'est la **diffusion des molécules d'eau** à travers une membrane semi perméable en deux compartiments de concentration différente en solutés. Cette diffusion se fait de la **solution hypotonique** (la moins concentrée) vers la **solution hypertonique** (solution la plus concentrée) jusqu'à ce que les solutions soient **isotoniques** (de même concentrations). L'eau diffuse pour tenter un équilibre entre les deux milieux.

2.2.2.1. Les transports actifs

Le transport actif se fait **avec consommation d'énergie, contre le gradient de concentration** de la molécule transportée (du milieu le **moins concentré** vers le milieu le **plus concentré**). Il fait intervenir des **protéines spécifiques**. Il existe deux types :

A. Transport primaire (les pompes) : Utilisent l'énergie de l'hydrolyse de l'ATP pour faire traverser la membrane plasmique à la molécule (ATPases).

B. Transport secondaire (les co-transporteurs) : Sont des protéines transmembranaires qui couplent le passage de la **molécule** avec celui d'un **ion** (généralement H^+ et Na^+) : l'énergie, qui provient du déplacement de l'ion selon son gradient électrochimique, provoque le passage de l'autre substance contre son gradient propre (l'ATP n'est pas utilisée).

- ◆ **Les symports** les déplacent dans le même sens (co-transporteur Na^+ /glucose dans les entérocytes ou les tubules proximaux des néphrons par exemple).
- ◆ **Les antiports** les déplacent dans les sens inverse (échangeurs anioniques HCO_3^-/Cl^-).

2.2.2.3. Le transport vésiculaire

Certaines molécules et particules sont **trop grosses** pour franchir les membranes par des transporteurs membranaires. Leur transport va donc nécessiter des **mouvements** de la membrane plasmique pour **évacuer/ingérer** ces molécules.

Les **vésicules de transport** sont des structures **sphériques** formées à partir de la bicouche lipidique refermée sur elle-même. Ces vésicules peuvent contenir des molécules et de nombreuses protéines transmembranaires ou associées à la membrane qui assurent leur **formation**, leur **maintien**, leurs **déplacements** et leur **adressage** à travers la cellule.

On en distingue les types suivants : (1) **Endocytose** et (2) **Exocytose** (Figure 2.7).

A. Endocytose : Processus par lequel une cellule **absorbe** des **particules** ou des **solutés** en les englobant dans des **vésicules** par **invagination** de la **membrane plasmique**. On distingue plusieurs types d'endocytose selon les substances ingérées et leur taille.

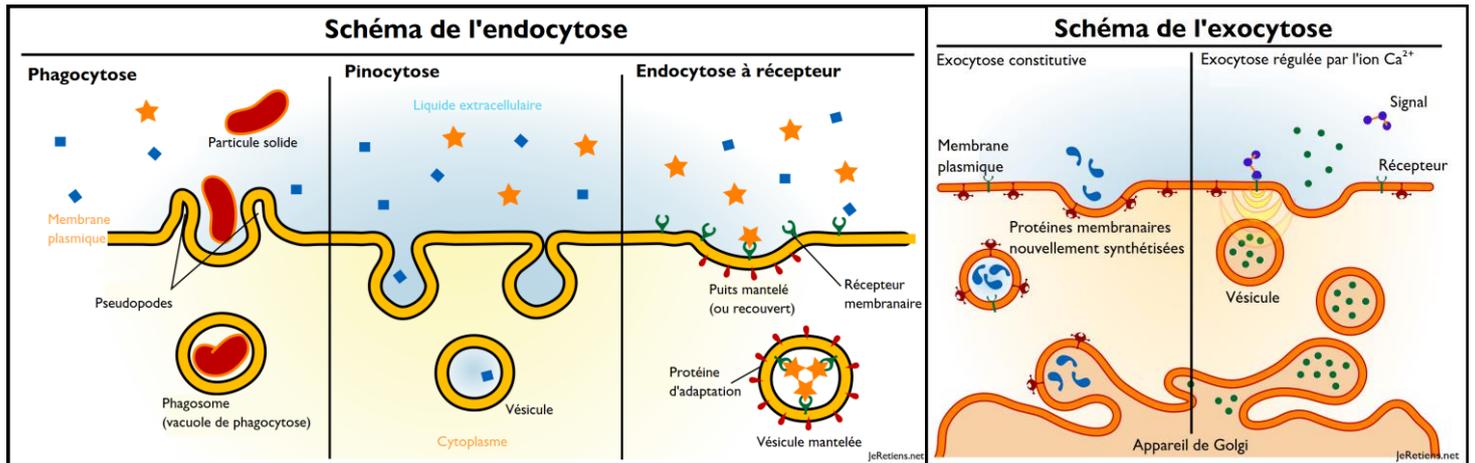


Figure 2.7. Illustration de l'endocytose et de l'exocytose.

A1. Phagocytose : Lors de la phagocytose (grec *phagein=manger*), des portions de la membrane plasmique et du cytoplasme s'**étendent** pour entourer un objet relativement gros ou **solide**, tel un amas de **bactéries** ou de **débris cellulaires**.

A2. Pinocytose : Lors de la pinocytose (grec *pinein=boire*), un petit repli de membrane plasmique englobe une **gouttelette de liquide** extracellulaire contenant des molécules dissoutes. La gouttelette entre dans la cellule à l'intérieur d'une minuscule **vésicule pinocytaire**.

A3. L'endocytose par récepteurs : Hautement **spécifique** et **très sélective**. Les récepteurs sont des protéines de la membrane plasmique qui ne se lient qu'à certaines substances. Les récepteurs et les substances qui y sont fixées entrent ensemble dans la cellule à l'intérieur d'une petite vésicule appelée **vésicule tapissée** ou **vésicule à manteau**.

B. Exocytose

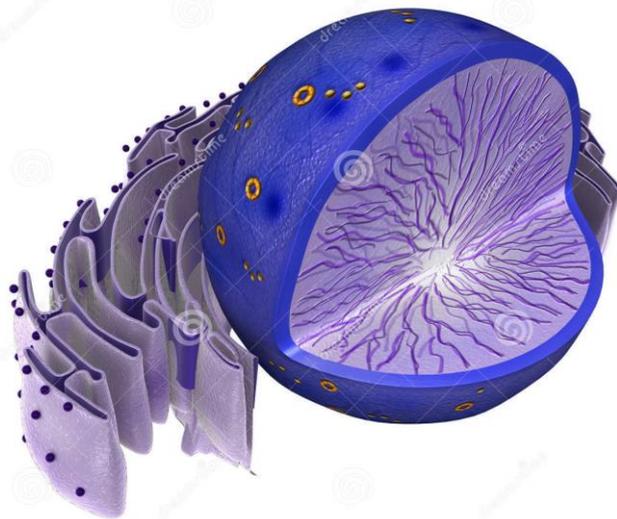
Il s'agit d'une **sécrétion/élimination** de molécules présentes dans la cellule. Les substances sont **enfermées** dans des **vésicules** qui **fusionnent** avec la membrane et **déversent** leur contenu dans le milieu extracellulaire (*exemple* : déchets, neuromédiateurs, hormones ...). La formation et le transport des vésicules sont des processus **consommateur d'énergie**.

Il existe deux types d'exocytose :

1. L'exocytose **constitutive** permet l'incorporation des protéines membranaires nouvellement synthétisées dans la membrane cellulaire lorsqu'il y a fusion de la vésicule pour le transport.
2. L'exocytose **régulée par l'ion Ca^{2+}** a lieu dans les synapses et permet la signalisation intraneuronale.

Chapitre 3.

NOYAU INTERPHASIQUE



Chapitre 3. Noyau interphasique

3.1. Généralités

- ◆ Le **noyau** est un **organite**, présent dans les cellules eucaryotes, contenant le **matériel génétique** (l'ADN) de la cellule. Il est limité par une enveloppe nucléaire au cours de l'**interphase**.
- ◆ Il a un diamètre variant de 5 à 7 μm , ce qui fait de lui le plus grand des organites. Il se retrouve généralement dans le **centre** de la cellule (**animale**).
- ◆ Il a trois fonctions principales :
 1. **Contrôle** des réactions chimiques du cytoplasme par le **transport sélectif** des molécules à travers les **pores nucléaires** ;
 2. **Stockage** des informations nécessaires à la division cellulaire ;
 3. **Responsable** de la **synthèse** des ARNm, des ARNt, et des ARN ribosomiaux.

3.2. Structure

Le noyau est limité par une **enveloppe nucléaire** formée de deux membranes séparées par un **espace périnucléaire**. Il contient le **nucléoplasme**, la **chromatine** et les **nucléoles** (Figure 3.1).

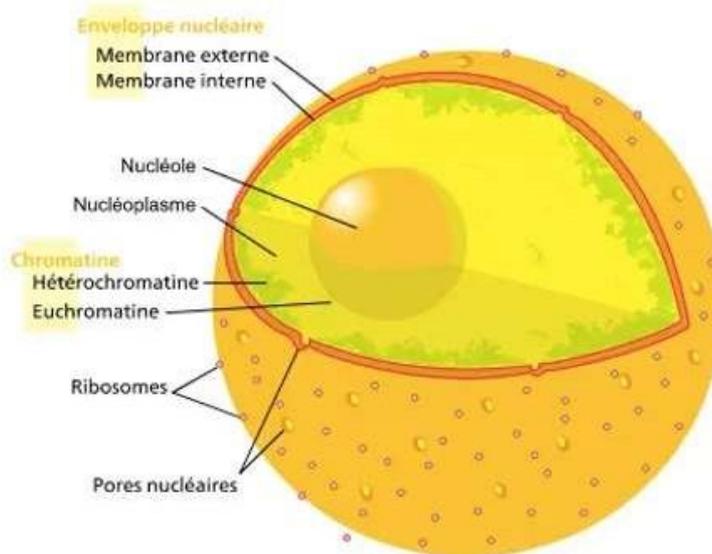


Figure 3.1. Représentation du noyau de la cellule

3.2.1. Enveloppe nucléaire

- ◆ L'**enveloppe nucléaire** est une bicouche lipidique caractéristique des cellules eucaryotes qui **sépare** et **contrôle** les échanges entre le noyau et l'hyaloplasme.

- ◆ Elle apparaît formée de **deux membranes tri stratifiée** de 75 Å d'épaisseur chacune. Du côté interne, un réseau protéique fibreux appelé la **lamina nucléaire**, et du côté externe garnie des **ribosomes**.
- ◆ Ces deux membranes sont séparées par un espace **péri-nucléaire** large de 200 à 400 Å, traversée par des **pores nucléaires**.

3.2.2. Pores nucléaires

Les **pores nucléaires** sont des structures **circulaires**, constituées par des zones d'interruption de l'enveloppe nucléaire (Figure 3.2). Formés par un assemblage de protéines chargées positivement appelées **nucléoporines** intervenant dans le contrôle des **échanges** et du **transport** entre le noyau et le cytoplasme.

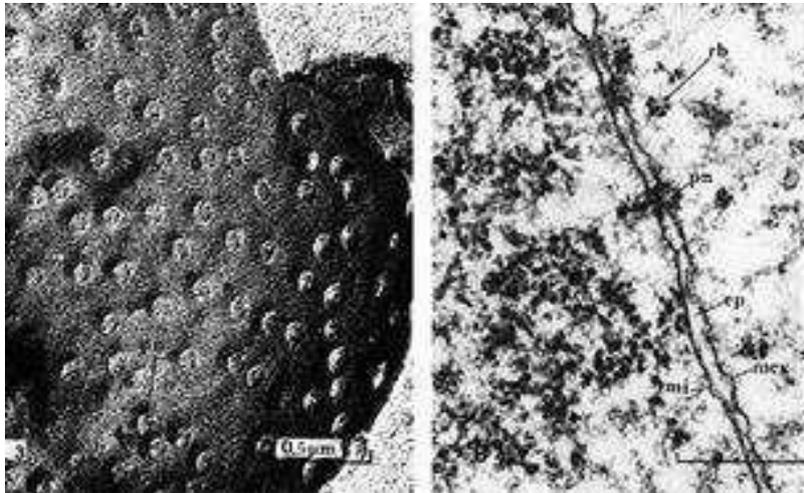


Figure 3.2. Ultrastructure des pores nucléaires.

3.2.3. Nucléoplasme

Le **nucléoplasme** est un liquide de consistance gélatineuse (qui apparaît grisâtre ponctué de noir en microscopie électronique) contenu dans le noyau délimité par l'enveloppe nucléaire. Il contient en moyenne entre **70 et 90%** d'eau, des **nucléotides**, des **enzymes**, des **protéines** et des **facteurs de transcription**. Il renferme la quasi-totalité de l'information génétique.

3.2.4. Nucléole

- ◆ Considéré comme un organite nucléaire, visible en microscopie optique et électronique (Figure 3. 3).
- ◆ Est une structure dynamique, présente au cours de l'**interphase** et disparaît au cours de la mitose.
- ◆ Le nombre peut aller de un à plusieurs par cellule.
- ◆ Sa principale fonction est la **biogenèse des ribosomes**.

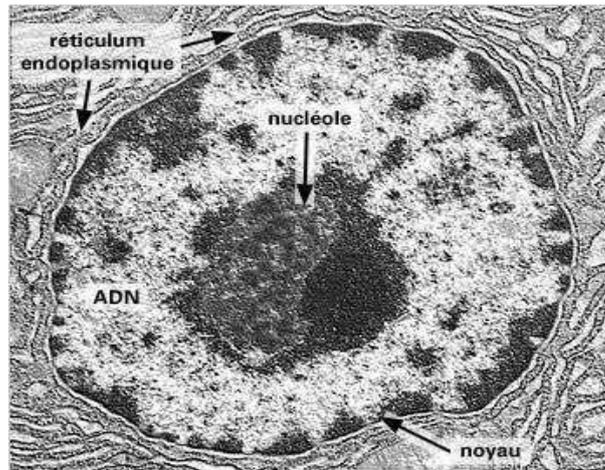


Figure 3.3. Ultrastructure du nucléole.

3.2.5. Chromatine

3.2.5.1. Définition

- ◆ La **chromatine** est la forme sous laquelle se présente l'**ADN** dans le **noyau**. C'est la substance de base des chromosomes eucaryotes, elle correspond à l'association : **ADN + ARN + Protéines** ;
- ◆ Les protéines sont de deux types, protéines **histones** (protéines très riches en acides aminés basiques) et protéines **non-histones**, non liées à l'ADN ;
- ◆ Il y a deux types de chromatine : l'**euchromatine** et l'**hétérochromatine**.

3.2.5.2. Niveaux de compaction de la chromatine

Le niveau de compaction de la chromatine (Figure 3.4) permet de réguler l'accessibilité à l'ADN enzymes et aux protéines de la transcription.

- a. Le **nucléosome** constitue le **premier niveau de compaction de l'ADN** dans le noyau. Cette structure est ensuite régulièrement répétée pour former le **nucléofilament (fibre de chromatine)** qui peut, lui-même adopter des niveaux d'organisation plus compacts.
- b. Le **deuxième niveau de compaction de la chromatine** est assuré par l'empilement des nucléosomes en un **solénoïde**, constitué par l'**association de six nucléosomes/tour** grâce à l'histone **H1**.
- c. Les solénoïdes sont eux même organisés en **boucles de chromatine** fixées sur un squelette protéique, formant une hélice une fibre de **30 nm** de diamètre. L'association des nucléosomes n'est pas suffisante pour emballer 1 à 2 mètres d'ADN dans un noyau de 5 à 10 μm de diamètre. Des repliements en boucles sont nécessaires, les boucles sont maintenues compactes par un support protéique jouant le rôle d'échafaudage.

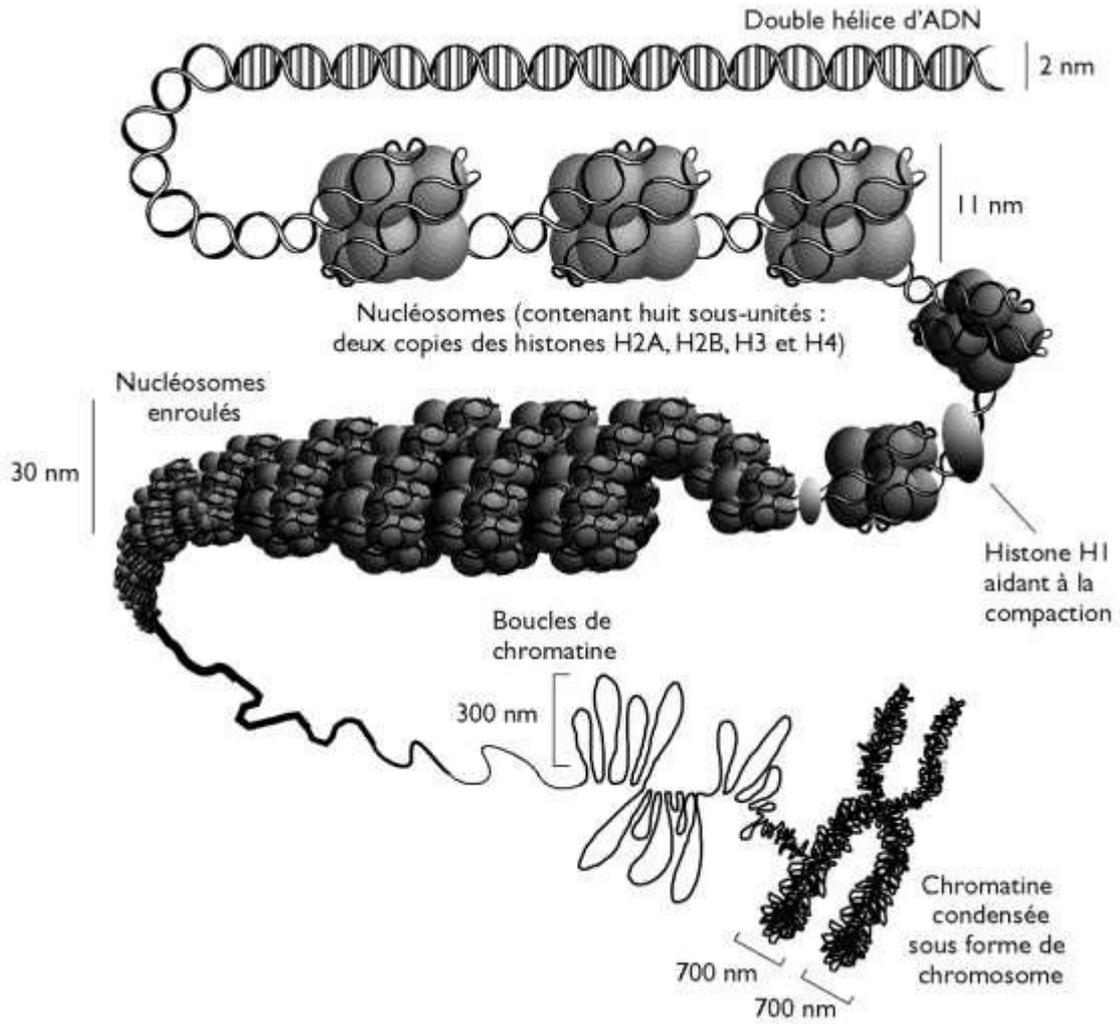
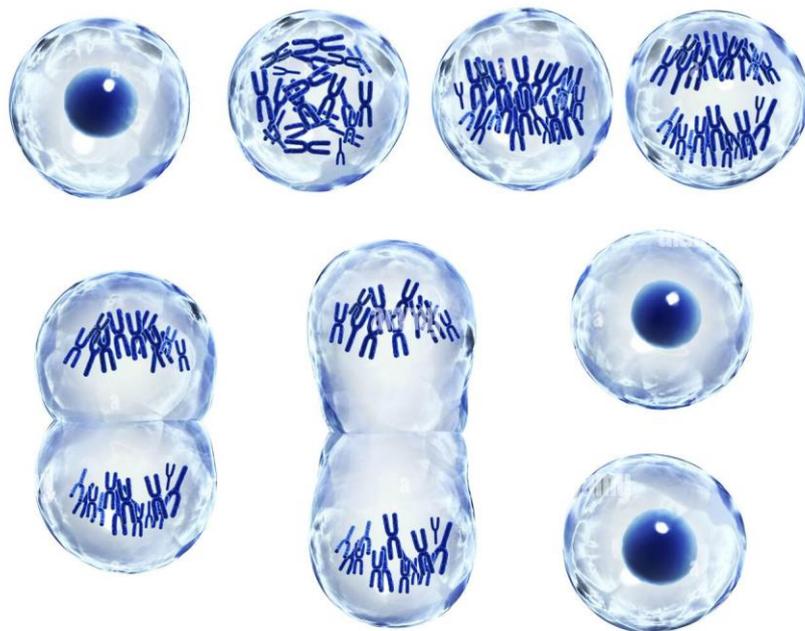


Figure 3.4. Les niveaux de compaction de la chromatine.

Chapitre 4.

DIVISIONS CELLULAIRES



Chapitre 4. Divisions cellulaires

La **reproduction** constitue l'une des caractéristiques des **êtres vivants** qui permet de les différencier des **non vivants**. Elle comprend la **réplication** du **matériel génétique** (l'ADN) (**interphase**) suivie d'une **division cellulaire**. La **division cellulaire** est un processus qui permet à une cellule mère de produire de nouvelles cellules (Figure 4.1). Il existe deux types de division cellulaire dans le corps humain : la **mitose** et la **méiose**.

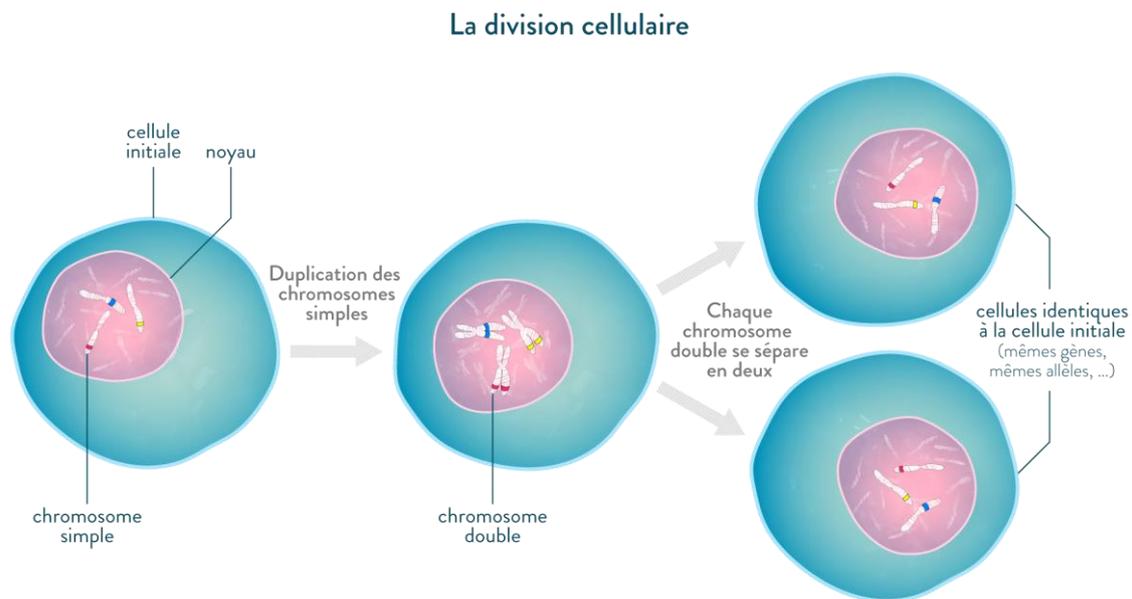


Figure 4.1. La division cellulaire.

4.1. Cycle cellulaire et mitose : chez les eucaryotes

4.1.1. Cycle cellulaire

Le **cycle cellulaire** est l'ensemble des modifications qu'une cellule subit depuis sa formation, après la division d'**une cellule mère** en **deux cellules filles** identiques à la cellule mère. Il comprend deux grandes étapes :

- ◆ **Interphase** : en 3 phases : G1, S et G2 ;
- ◆ **Mitose** : en 6 phases : prophase, prométaphase, métaphase, anaphase, télophase et cytokinèse.

But du cycle cellulaire

- ◆ Reproduction cellulaire **asexuée** des organismes unicellulaires et pluricellulaires ;
- ◆ Développement embryonnaire des organismes à reproduction **sexuée** à partir d'un œuf fécondé ou zygote ;
- ◆ **Remplacer** les cellules mortes (mort naturelle **apoptose** ou accidentelle **nécrose**) ;
- ◆ **Réparer** les tissus endommagés.

4.1.1.1. L'interphase

L'interphase se décompose en 3 phases (Figure 4.2) :

1. **Phase G1** : Phase de **croissance** et de **reconstitution** des **réserves** pendant laquelle la cellule synthétise de l'ARN (**transcription**) et des protéines (**traduction**) nécessaires à l'accroissement cellulaire.
2. **Phase S** : Phase essentiellement caractérisée par la **duplication de l'ADN**, la **synthèse des histones** et la **duplication du centriole**. La réplication de l'ADN est semi-conservative : elle aboutit à la formation de deux molécules d'ADN contenant chacune un brin ancien (= brin parent) et un brin nouveau (= brin fils = brin néoformé).
3. **Phase G2** : C'est une phase d'**attente** et de **contrôle** avant de lancer la mitose. Un certain nombre de facteurs y sont synthétisés, en particulier les facteurs de condensation de la chromatine.

Remarque :

- ◆ La cellule peut interrompre sa progression dans le cycle et entrer en **phase G0** de **quiescence** où elle reste des jours, des semaines ou même des années sans se multiplier.
- ◆ A la fin de l'interphase (en phase G2), le génome (ADN) est **dupliqué** mais **décondensé** et se présente sous forme de **chromatine**. Cette chromatine sera par la suite **compactée** (condensée) en phase mitose pour former des **chromosomes**.

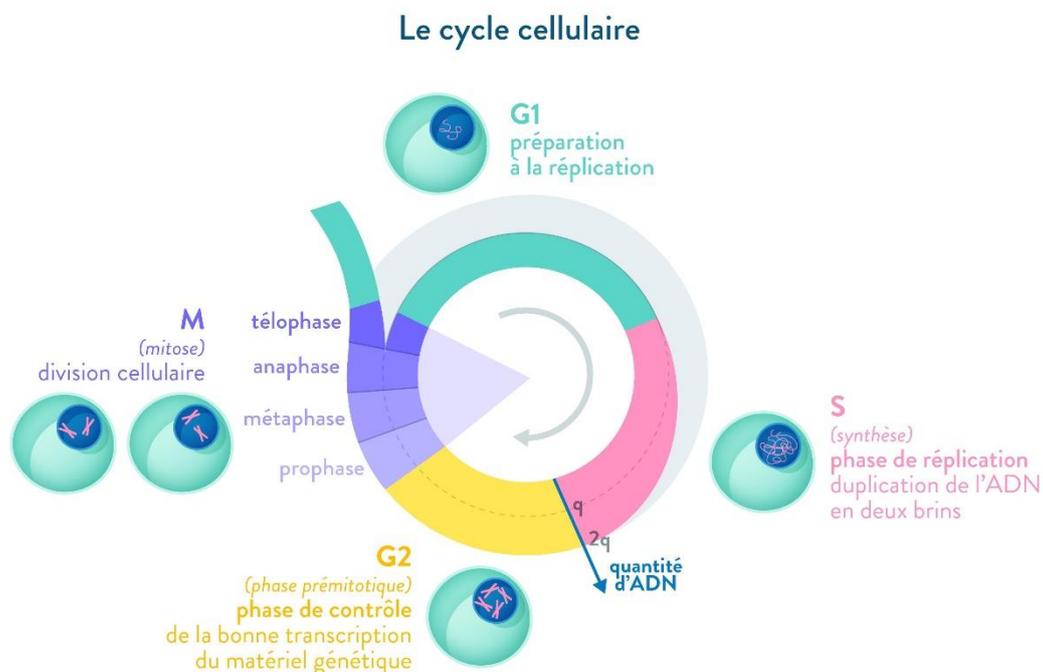


Figure 4.2. Les différentes phases du cycle cellulaire.

4.1.1.2. Mitose

La **mitose** est une étape bien particulière du cycle de vie des cellules eucaryotes, qui désigne la division des **cellules somatiques** (les cellules musculaires, épithéliales, rénales, neurones,...) qui produit **2 cellules filles diploïdes** ($2n$ chromosomes) génétiquement identiques → **2 clones**, **reproduction asexuée** (Figure 4.3).

Conséquences

- ◆ **La caryocinèse** : division du noyau.
- ◆ **La cytokinèse** : division du cytoplasme.

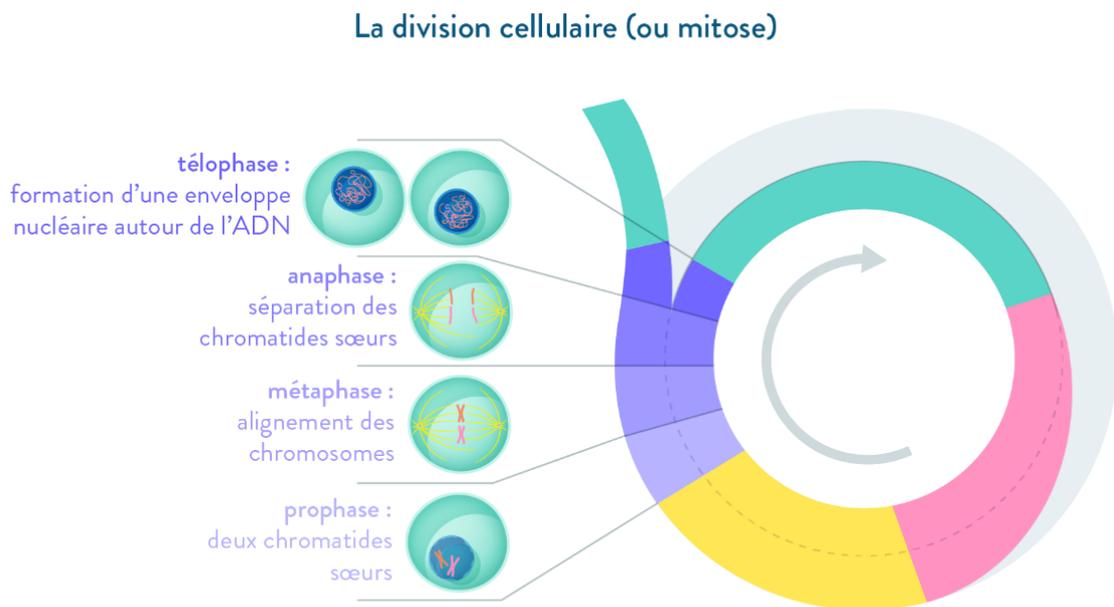


Figure 4.3. Division cellulaire (Mitose).

a. Prophase : Elle est caractérisée par (Figure 4.4) :

- ◆ La condensation de la **chromatine** en **chromosomes**, suite à une **compaction** de la fibre chromatinienne ;
- ◆ Les **4 centrioles** se séparent formant **2 centrosomes** ;
- ◆ La disparition du nucléole ;
- ◆ La formation des **fuseaux de division** (microtubules) ;
- ◆ La formation des **kinétochores** au niveau des centromères.

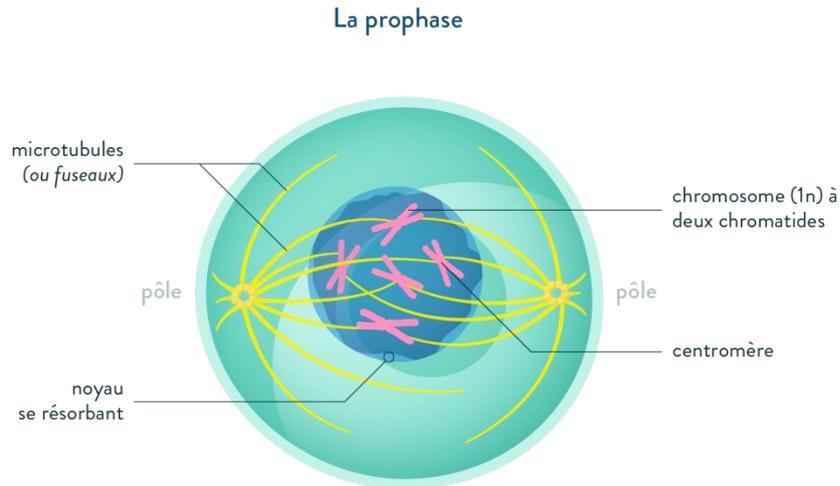


Figure 4.4. Prophase.

b. Prométaphase : Elle est caractérisée par :

- ◆ La rupture de l'enveloppe nucléaire ;
- ◆ Le fuseau mitotique entre en contact avec les chromosomes, qui se fixent sur les microtubules par l'intermédiaire du kinétochore.

c. Métaphase : Elle est caractérisée par (Figure 4.5) :

- ◆ Un rassemblement de tous les chromosomes sur la **plaque équatoriale** (plaque métaphasique) ;
- ◆ Une condensation maximale des chromosomes.

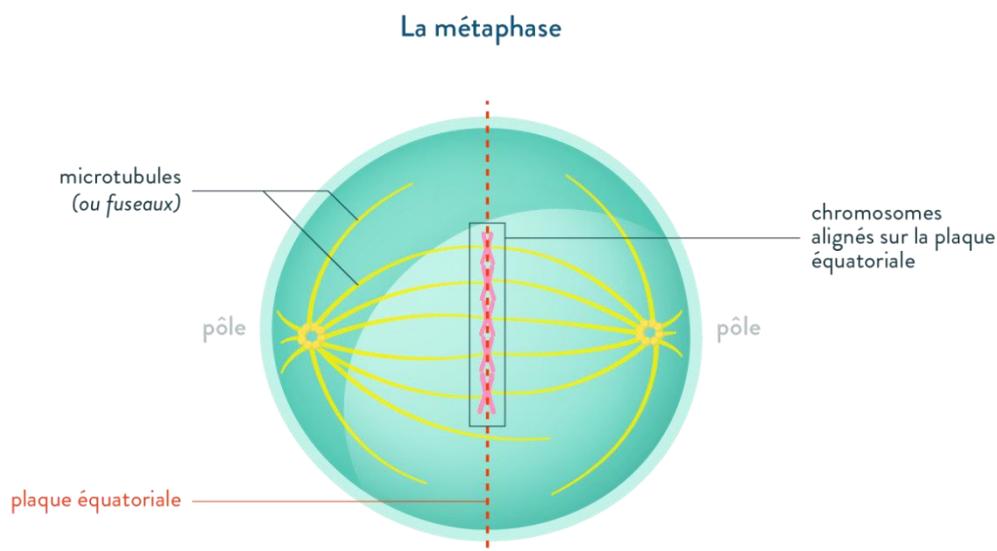


Figure 4.5. Métaphase.

Le **chromosome métaphasique** est au maximum de sa condensation. Il est constitué de **deux chromatides** reliés par un **centromère**.

d. Anaphase : Elle est caractérisée par (Figure 4.6) :

- ◆ La séparation des chromatides sœurs ;
- ◆ Le déplacement des chromosomes fils vers les pôles.

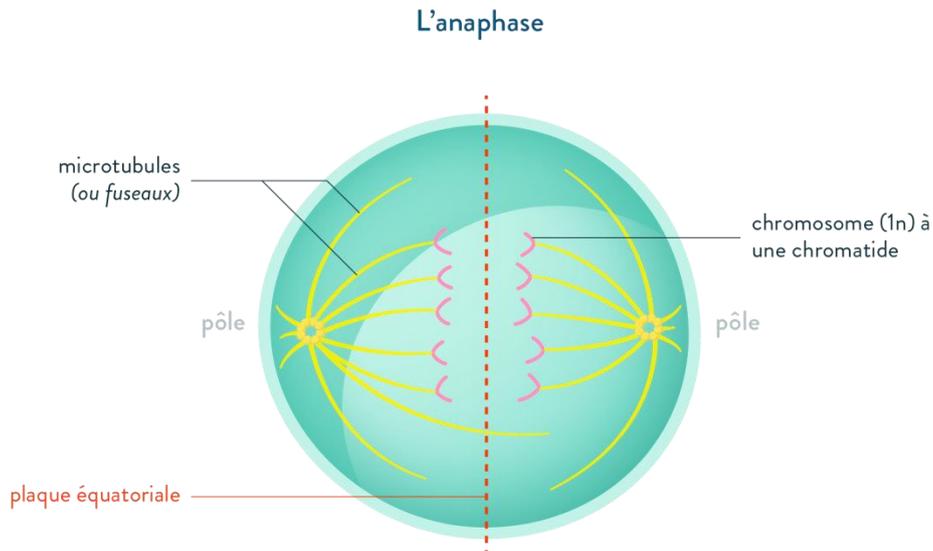


Figure 4.6. Anaphase.

e. Télaphase : Elle est caractérisée par (Figure 4.7) :

- ◆ L'arrivée des chromosomes fils aux pôles ;
- ◆ La reconstitution de l'enveloppe nucléaire ;
- ◆ La décondensation des chromosomes ;
- ◆ La mise en place de l'**anneau contractile**.

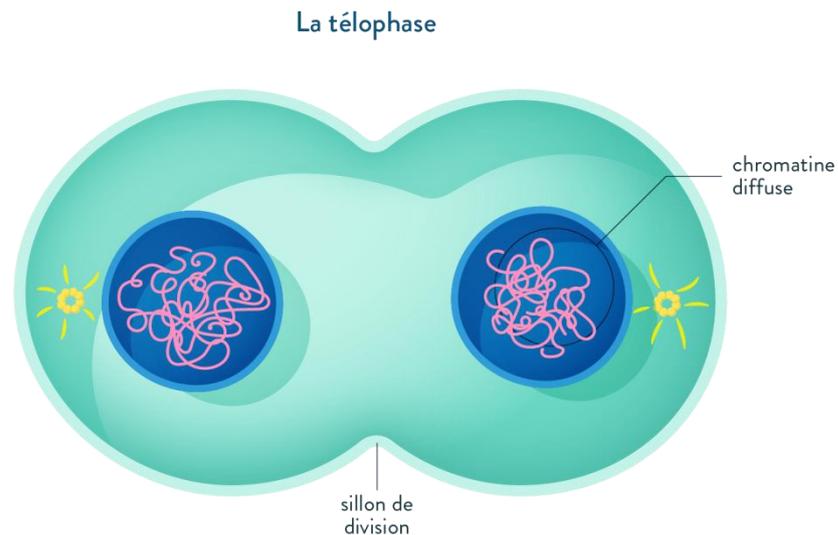


Figure 4.7. Télaphase.

f. Cytocinèse (cytodiérèse ou cytokinèse) : Elle est caractérisée par :

- ◆ La différenciation de l'anneau contractile, constitué de **microfilaments d'actine** et de **myosine** qui resserre la cellule et l'**étrangle** en deux ;
- ◆ La séparation des deux cytoplasmes ;
- ◆ La reconstitution du noyau.

4.1.3. La mitose végétale

Les principales différences entre la **mitose végétale** et la **mitose animale** sont l'absence de **centrioles** chez les plantes et la présence d'une **plaque cellulaire** qui conduit à une cytokinèse particulière (Figure 4.8). Contrairement aux cellules végétales, les cellules animales n'ont pas de plaque cellulaire, et la division est marquée par un **étranglement** de la membrane cellulaire.

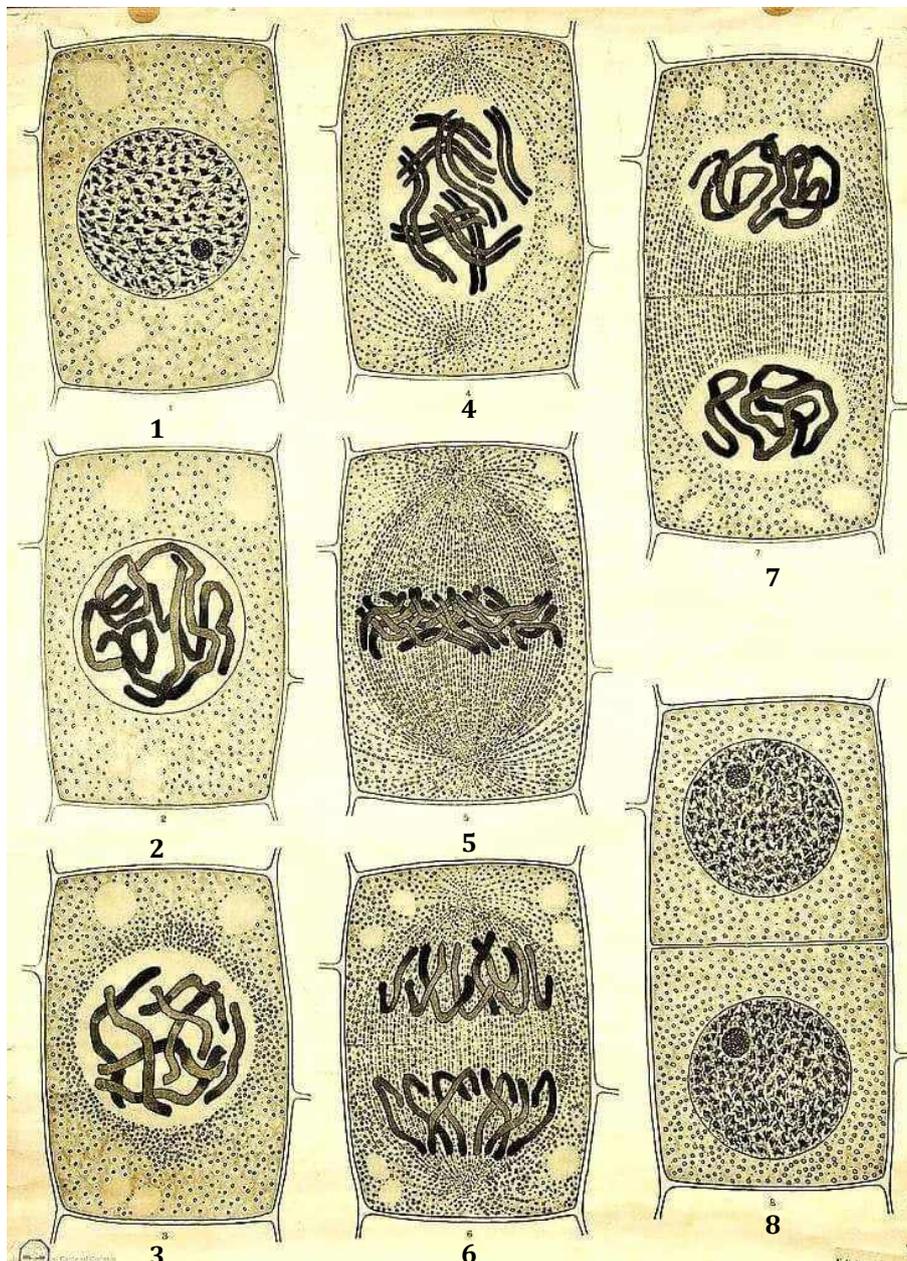


Figure 4.8. Les étapes d'une mitose végétale.

4.1.4. La scissiparité

La scissiparité est un mode de division asexué des procaryotes, consistant à doubler de longueur, puis à se séparer en deux cellules identiques, comme le font de nombreuses bactéries (Figure 4.9).

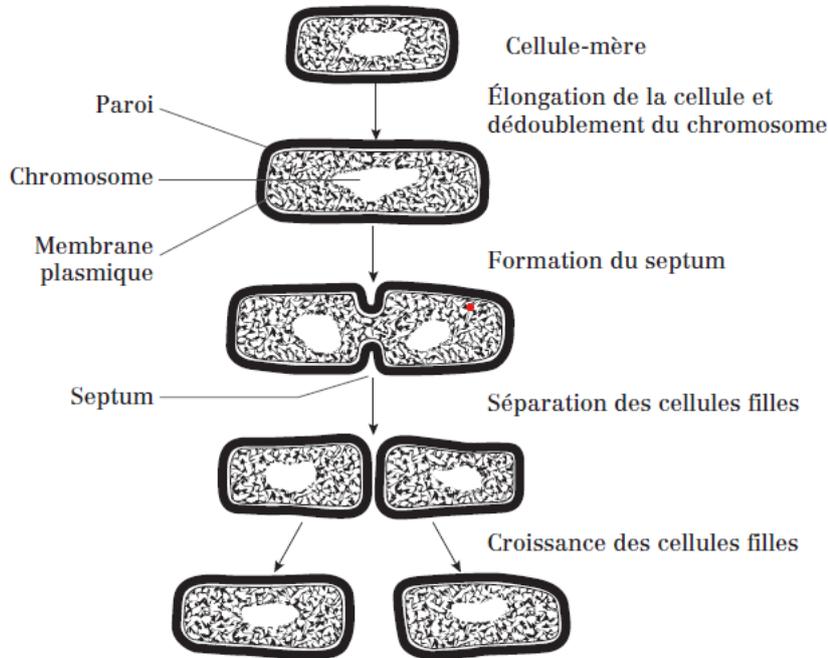


Figure 4.9. Fission binaire chez une bactérie

Les étapes de la scissiparité

- ◆ Réplication de l'ADN ;
- ◆ Allongement de la cellule ;
- ◆ Etranglement de la membrane cellulaire ;
- ◆ Séparation des cellules filles (clones).

4.1.5. Variation de la quantité d'ADN au cours du cycle cellulaire

Au cours d'un cycle cellulaire, la quantité d'ADN d'une cellule **double** lors de la **réplication** (phase S : les chromosomes passent de 1 à 2 chromatides) et est **divisée par deux** lors de la **mitose** (Figure 4.10).

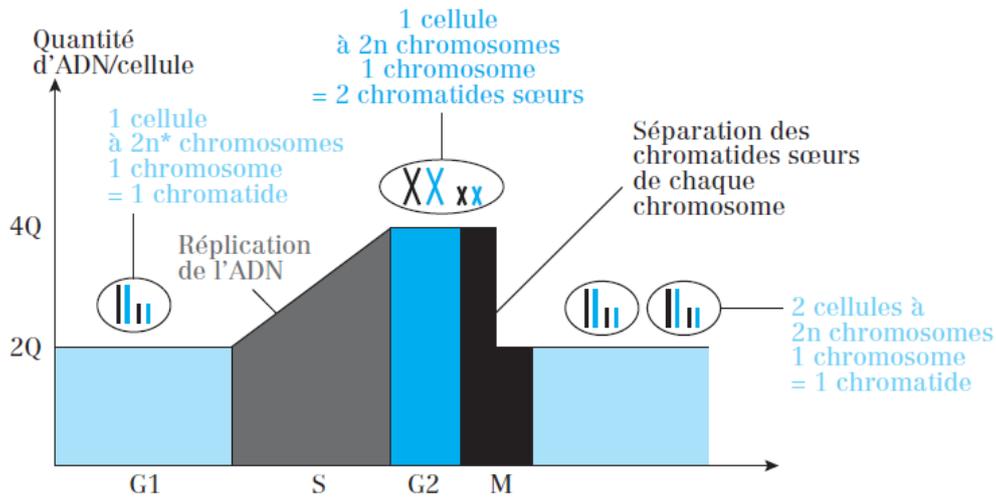


Figure 4.10. Variation de la quantité d'ADN au cours du cycle cellulaire.

***Dans cet exemple :**

- ◆ $n = 2$ paires.
- ◆ Le chromosome noir est d'origine paternelle.
- ◆ Le chromosome bleu est d'origine maternelle.

4.1.6. La durée du cycle cellulaire

C'est la période comprise entre deux divisions cellulaires. Elle comprend les phases **G1**, **S**, **G2** et **M**. La durée du cycle cellulaire dépend de la **nature** de la cellule et aussi de son **âge** :

- ◆ **Cellules épithéliales** : renouvellement de la peau, 10h pour le cycle ;
- ◆ **Cellules hépatiques** : 1 an pour se répliquer ;
- ◆ **Les neurones** : cellules extrêmement différenciées donc pas de renouvellement (max de neurones à 15-18 ans).
- ◆ Les cellules les plus rapides sont **cellules de l'embryon**, 1h (car ici que de la mitose).

Durée relative moyenne : 90% pour l'interphase et 10% pour la mitose et la cytokinèse.

Durée absolue moyenne : Cellule animale : 18 à 24h / Cellule végétale : 10 à 30h.

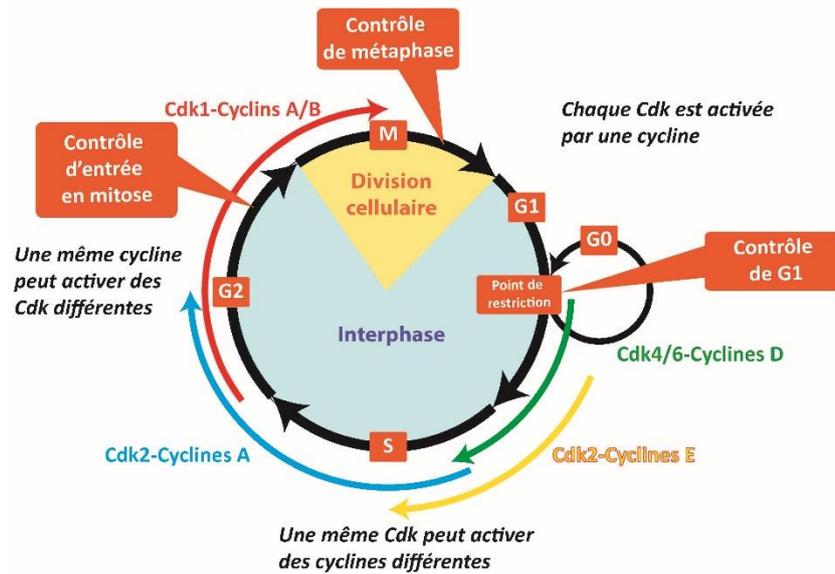
4.1.7. Contrôle du cycle cellulaire

Le bon déroulement du cycle cellulaire dépend des 3 points de contrôle (tableau 4.1). Aux points de contrôle (G1, G2 et M), le génome est vérifié et réparé au besoin avant l'étape suivante. Si le dommage est trop grand, la cellule se suicide (**apoptose**) (Figure 4.11). Le franchissement des **3 points de contrôle** est sous la dépendance de trois familles de protéines :

1. Les **cyclines**.
2. Les **Cdk** (kinases cycline dépendante).
3. Les **protéines inhibitrices**.

Tableau 4.1. Les trois points de contrôle du cycle cellulaire.

G1	G2	M
Point de départ G1 : Contrôle de la présence de conditions favorables à la croissance.	Point G2 (entrée en mitose) : Contrôle de la qualité de l'ADN obtenu par réplication qui a eu lieu en phase S.	Point M : Contrôle de la séparation correcte des chromatides des chromosomes.

**Figure 4.11.** Les trois points de contrôle du cycle cellulaire.

4.1.8. Les erreurs mitotiques

Lors de la réplication et de la mitose, il y a une reproduction conforme de la cellule. Mais au sein de la molécule d'ADN des erreurs peuvent survenir donnant lieu à des **mutations génétiques** qui affectent l'individu et aussi l'espèce. Les **tumeurs** se composent de cellules qui n'obéissent pas aux mécanismes de régulation (tumeur maligne et tumeur bénigne) (Figure 4.12).

**Figure 4.12.** Exemple de tumeur.

4.2. La méiose

La **méiose** est une division des **cellules reproductrices** (ovocytes et spermatocytes) qui produit **4 cellules filles haploïdes** (n chromosomes) génétiquement réduites de moitié → **4 gamètes** (ovules et spermatozoïdes), *reproduction sexuée*.

La fécondation est l'union de deux gamètes haploïdes issus d'une **méiose**. Elle aboutit à la formation d'un zygote qui se divisera par **mitoses successives** pour aboutir à la formation d'un organisme pluricellulaire diploïde ($2n = 46$ chromosomes).

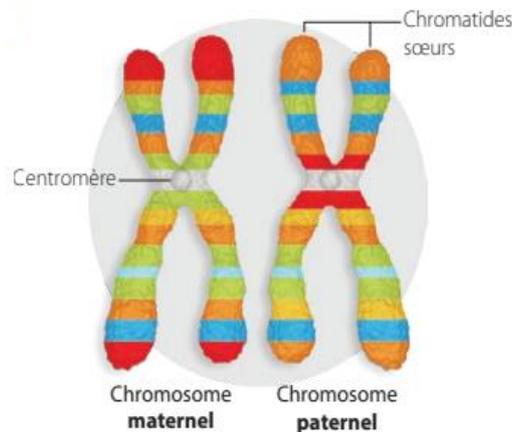


Figure 4.13. Une paire de chromosomes homologues.

4.2.1. Les étapes de la méiose

La méiose et la mitose se ressemblent beaucoup. La principale différence est que, dans la méiose, la cellule subit deux divisions subséquentes :

1. La **méiose I**, ou **division réductionnelle** : sépare les paires de chromosomes homologues, ce qui réduit de moitié le nombre de chromosomes (Figure 4.14) ;
2. La **méiose II**, ou **division équationnelle** : consiste à scinder les chromosomes en deux à partir de leur point d'attache. Il en résulte donc quatre cellules filles haploïdes (Figure 4.15).

Interphase : La méiose est précédée par une phase de **réplication** :

- ◆ En phase **G1** : il y a $2n$ chromosomes (1 chromosome est formé d'une seule chromatide) ;
- ◆ En phase **S** : les chromosomes et le centrosome se dupliquent ;
- ◆ En phase **G2** : il y a $2n$ chromosomes (1 chromosome est formé de 2 chromatides).

À cette étape, la chromatine se réarrange, et chaque chromosome se **réplique**. Le résultat est deux chromatides sœurs identiques génétiquement, et ce, pour chaque chromosome. Il y aura aussi un **dédoublage** de la **paire de centrioles** pour former deux paires.

4.2.1.1. Méiose I (division réductionnelle)

a. Prophase I

- ◆ Disparition de l'**enveloppe nucléaire** et du **nucléole** ;
- ◆ Les paires de chromosomes se séparent pour former des **tétrades (4 chromatides)** qui vont s'associer par paire de **chromosomes homologues (synapsis)** ;
- ◆ Les chromatides homologues se croisent (**chiasmata**) puis échangent des gènes (**enjambements**) ;
- ◆ Les centrosomes se séparent en générant des **fuseaux de fibres**.

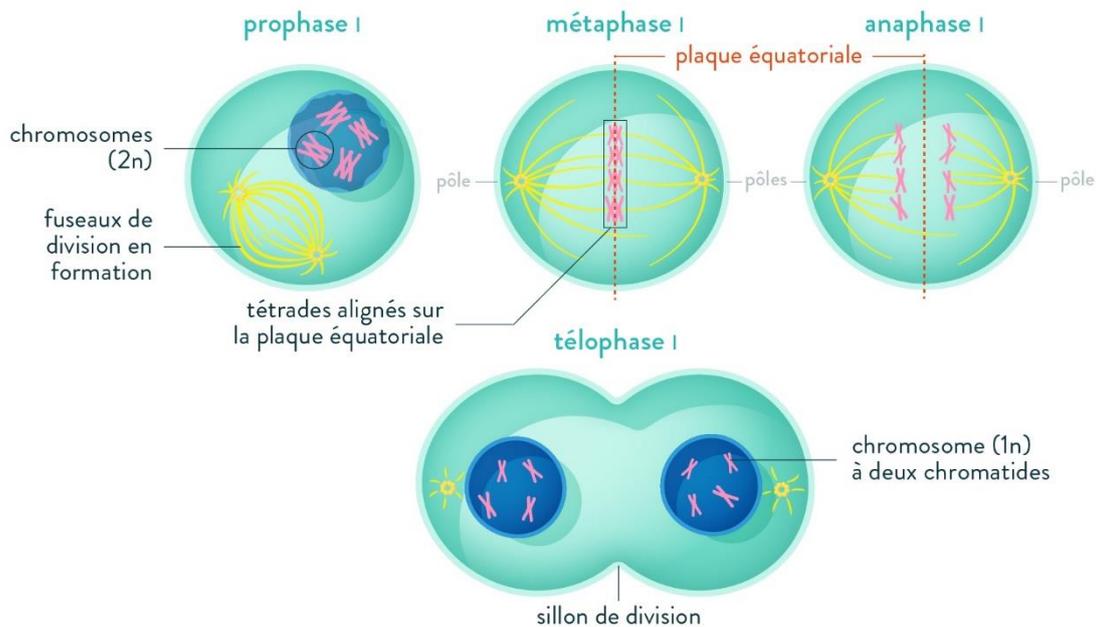


Figure 4.14. Les étapes de la méiose I.

b. Métaphase I

- ◆ La **condensation** des **chromosomes** est **maximale** ;
- ◆ Les paires de chromosomes homologues **s'alignent** sur la **plaque équatoriale**.

c. Anaphase I

- ◆ Les paires de chromosomes homologues se **séparent** et chaque homologue se déplace vers un pôle différent ;
- ◆ À la fin de l'anaphase, chaque extrémité possède un nombre **haploïde** de chromosomes à l'état répliqué.

d. Télophase I et cytokinèse

- ◆ Les chromosomes atteignent les pôles pour former **deux lots haploïdes (n)** de chromosomes ;
- ◆ La **cytokinèse** est la division des cytoplasmes des deux cellules filles ;
- ◆ Elle s'effectue grâce à l'**anneau contractile**, comme dans le cas de la mitose : un **sillon de division** (cellules animales) et une **plaque cellulaire** (cellules végétales).

4.2.2.2. Méiose II (division équationnelle)

a. Prophase II : Les chromosomes débutent leur **migration** vers l'équateur, et ce, suite à la formation des nouveaux faisceaux de microtubules.

b. Métaphase II : Les chromosomes s'alignent sur la **plaque équatoriale**.

c. Anaphase II

- ◆ Les **chromatides sœurs** de chaque chromosome se **séparent** et se dirigent vers les pôles opposés ;
- ◆ En fin d'anaphase II, un chromosome est donc composé d'une **seule chromatide (n)**.

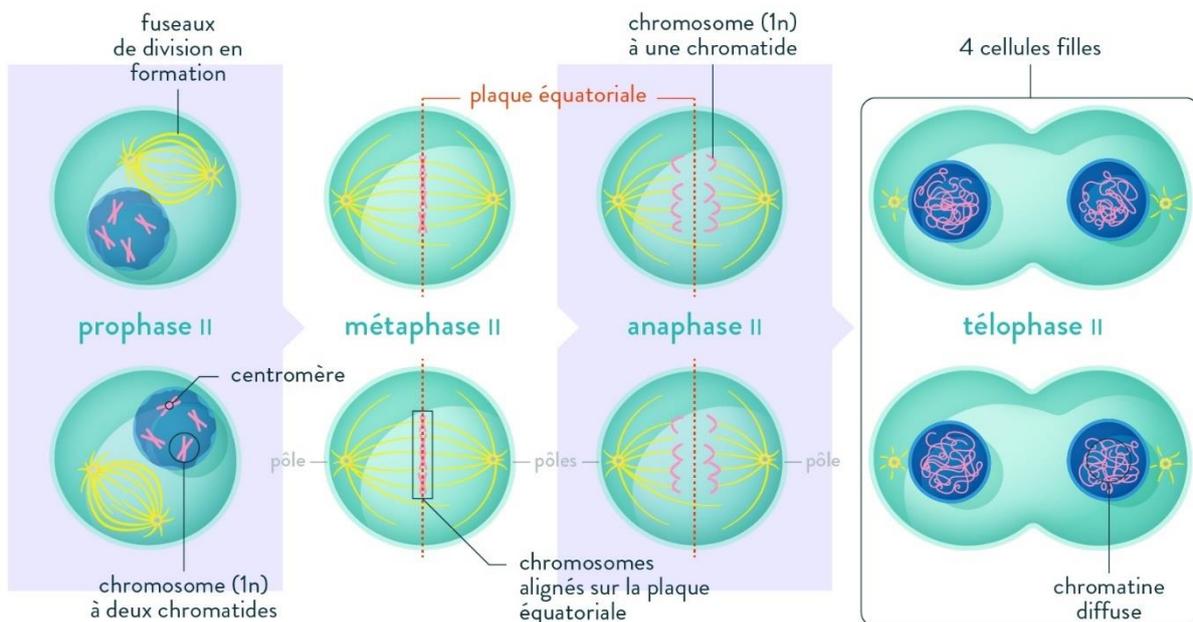


Figure 4.15. Les étapes de la méiose II.

d. Télophase II et cytokinèse

- ◆ Les chromosomes atteignent les pôles pour former deux lots **haploïdes** de chromosomes autour desquels l'**enveloppe nucléaire se reforme**.
- ◆ Les chromosomes commencent à se décondenser.
- ◆ La **cytokinèse** permet l'obtention de **quatre cellules filles haploïdes**.

Bilan de la méiose : une cellule diploïde (2n) a permis l'obtention de 4 cellules filles haploïdes (n).

4.2.3. Variation de la quantité d'ADN au cours de la méiose

Lors de la reproduction sexuée, la **quantité d'ADN** change. Elle double lors de la réplication. Elle est divisée par deux lors de la première méiose et de nouveau par deux lors de la deuxième méiose (Figure 4.16).

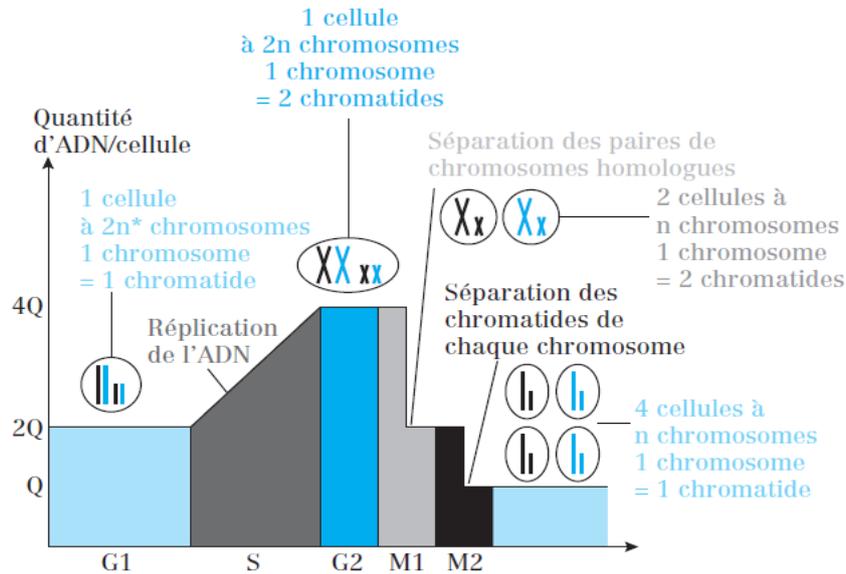


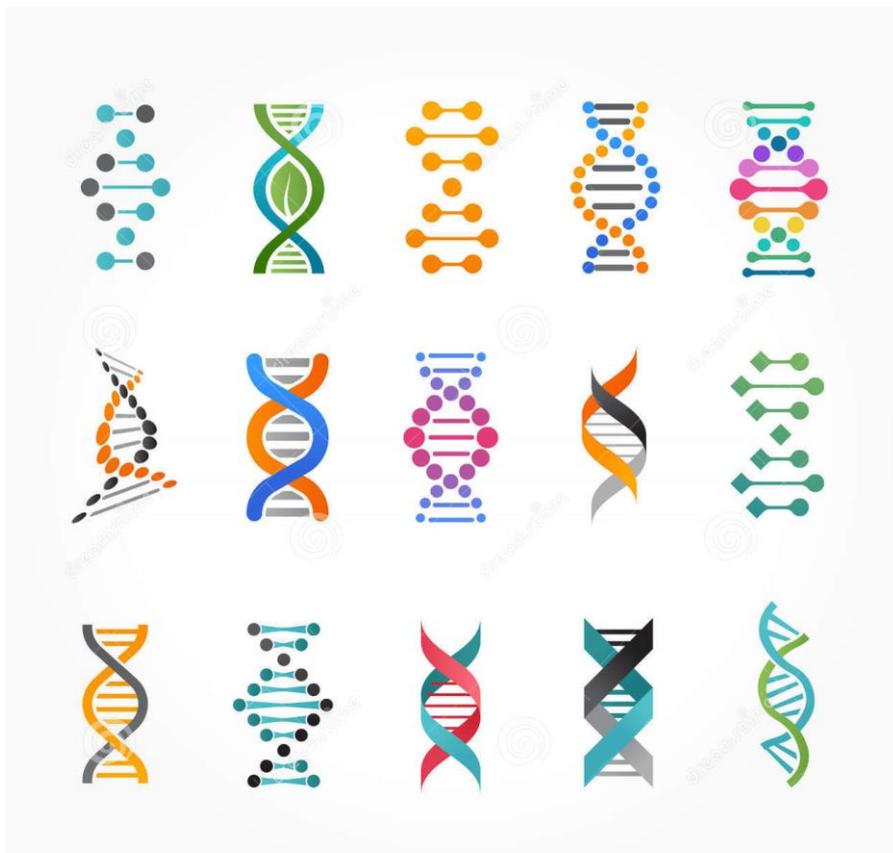
Figure 4.16. Variation de la quantité d'ADN au cours de la méiose.

*Dans cet exemple :

- ◆ $n = 2$ paires : la cellule mère contient 2 paires de chromosomes (1 paire de grands chromosomes et 1 paire de petits chromosomes).
- ◆ Le chromosome noir est d'origine paternelle.
- ◆ Le chromosome bleu est d'origine maternelle.

Chapitre 5.

SYNTHÈSE DES PROTÉINES



Chapitre 5. Synthèse des protéines

5.1. Ribosomes

5.1.1. Généralités

- ◆ Les **ribosomes** sont des **organites cellulaires** présentes dans toutes les cellules. Leur nombre varie en fonction de la nature de la cellule ;
- ◆ Ce sont des **complexes ribonucléoprotéiques** majeurs de la cellule aussi bien procaryote qu'eucaryote ;
- ◆ Se retrouvent également dans les **mitochondries** et quelques **plastés**, de structure procaryote ;
- ◆ Les ribosomes sont soit **libres** dans l'hyaloplasme, soit **attachés** aux membranes du **réticulum endoplasmique** ;
- ◆ L'association des ribosomes en **chapelets** de 5 à 20 ribosomes a reçu le nom de **polysome** ou **polyribosomes** ;
- ◆ Responsables de la **synthèse des protéines** en assemblant les acides aminés (AA) dans un ordre prédéterminé.

5.1.2. Structure des ribosomes

- ◆ Le ribosome se divise en deux sous unités ribosomales : (1) la **grande sous unité** ribosomale et (2) la **petite sous unité** ribosomale (Figure 5.1) ;
- ◆ Les **procaryotes** possèdent un ribosome de **70S** (**50S** pour la grande sous unité et **30S** pour la petite). Trois **ARNr** sont impliqués dans sa structure (**23S**, **16S** et **5S**) ainsi que **55 protéines**.
- ◆ Les **eucaryotes** possèdent un ribosome de **80S** (**60S** pour la grande sous unité et **40S** pour la petite). Quatre **ARNr** (**28S**, **18S**, **5,8S** et **5S**) constituent sa structure avec plus de **80 protéines**.

Avec : S : correspond à l'unité de sédimentation de **Sverdberg** et **ARNr :** ARN ribosomique.

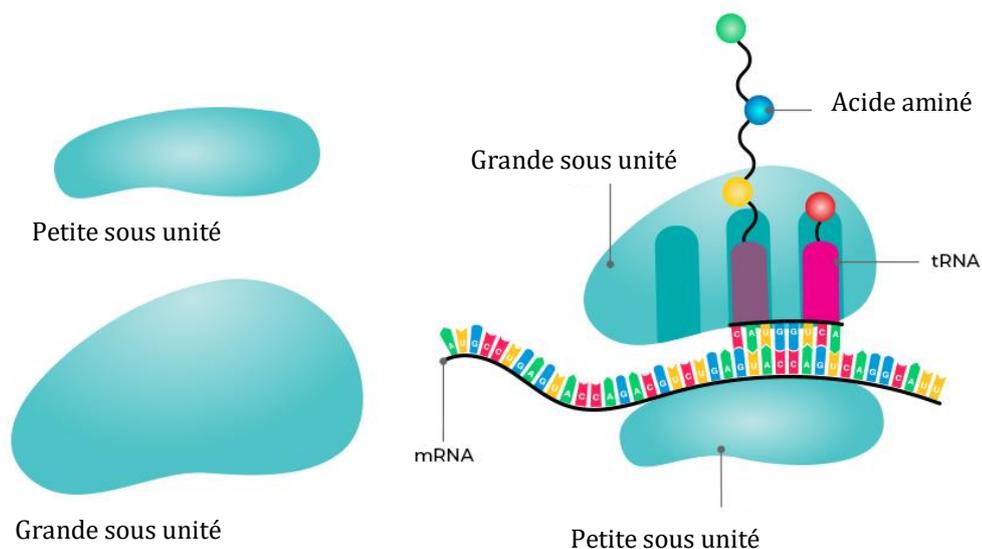


Figure 5.1. Organisation structurale des ribosomes.

Le ribosome possède quatre sites de liaisons (Figure 5.2) :

- ◆ Un site de liaison pour l'ARN messager (ARNm) ;
- ◆ Un **site P** qui intervient dans la liaison du peptidyl-ARNt ;
- ◆ Un **site A** intervient dans la liaison de l'aminoacyl-ARNt ;
- ◆ Un **site E** de sortie de l'amino-acyl-ARNt.

Les sites A, P et E sont voisins.

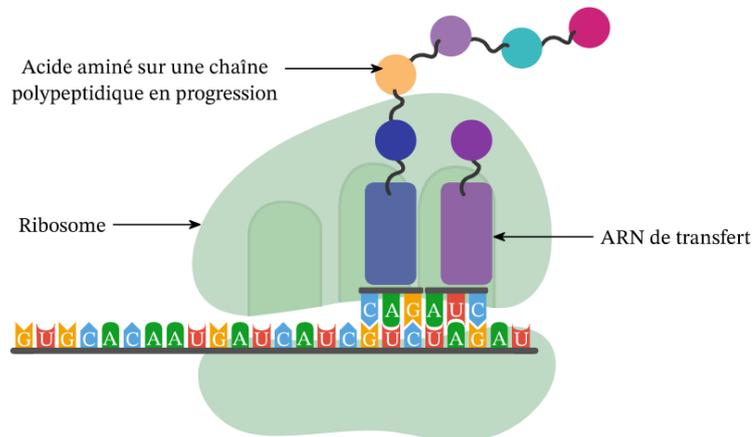


Figure 5.2. Les quatre sites de liaisons des ribosomes.

5.1.3. Biogenèse des ribosomes

La biogenèse des ribosomes a lieu dans le **nucléole** (l'appareil de production des ribosomes) et se poursuit dans le **cytoplasme**. Les sous-unités 60 et 40S formées sont **exportées** dans un état **dissocié** vers le cytoplasme à travers les **pores nucléaires** (Figure 5.3).

- ◆ La synthèse des ARN ribosomiaux 28, 18 et 5,8S se fait à partir de l'**ADN nucléolaire**.
- ◆ La synthèse de l'ARN ribosomal 5S se fait à partir de l'**ADN nucléaire**.

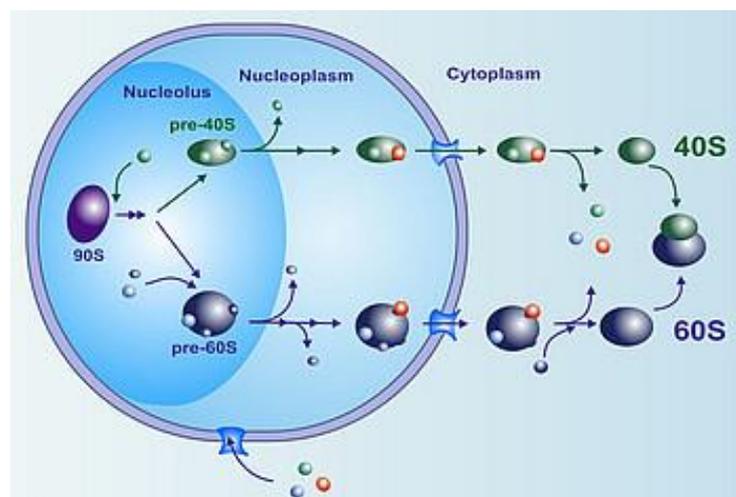


Figure 5.3. Nucléole et synthèse des ARN ribosomiaux.

Remarque : le rôle du nucléole est de permettre l'association des **ARNr** à des **protéines** importées du cytoplasme.

5.1.4. Fonction des ribosomes

- ◆ Lecture du **code génétique** sur l'ARNm ;
- ◆ Synthèse de la **chaîne protéique** à partir d'acides aminés chargés sur les ARNt.

5.2. Acides nucléiques

Les acides nucléiques sont des macromolécules présentes dans toutes les cellules vivantes et également chez les virus. On distingue les 2 types : l'**ADN** et les **ARN**.

5.2.1. Acide désoxyribonucléique (ADN)

C'est le support de l'information génétique. Il est présent essentiellement dans le noyau des cellules eucaryotes, associés à des protéines pour former les **chromosomes**. L'ADN a la forme d'une échelle enroulée (**double hélice**) (Figure 5.4). Elle est composée de séquences de **nucléotides** (unité de base de l'ADN).

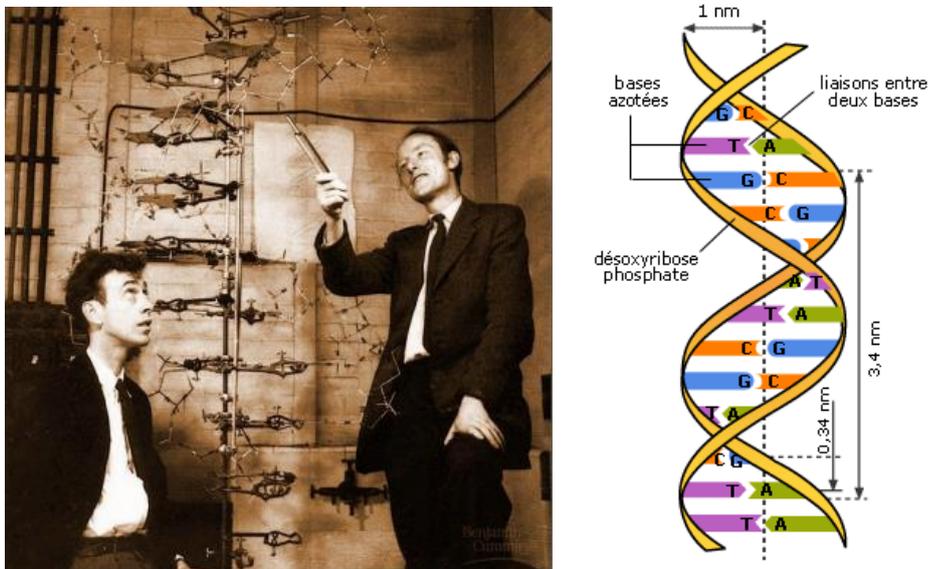


Figure 5.4. Structure en double hélice proposée par Watson et Crick.

Chaque **nucléotide** est constitué de trois éléments liés entre eux (Figure 5.5) :

- ◆ Un groupement phosphate (H_3PO_4).
- ◆ Un sucre : le désoxyribose.
- ◆ Une base azotée (adénine (A), thymine (T), guanine (G), cytosine (C)).

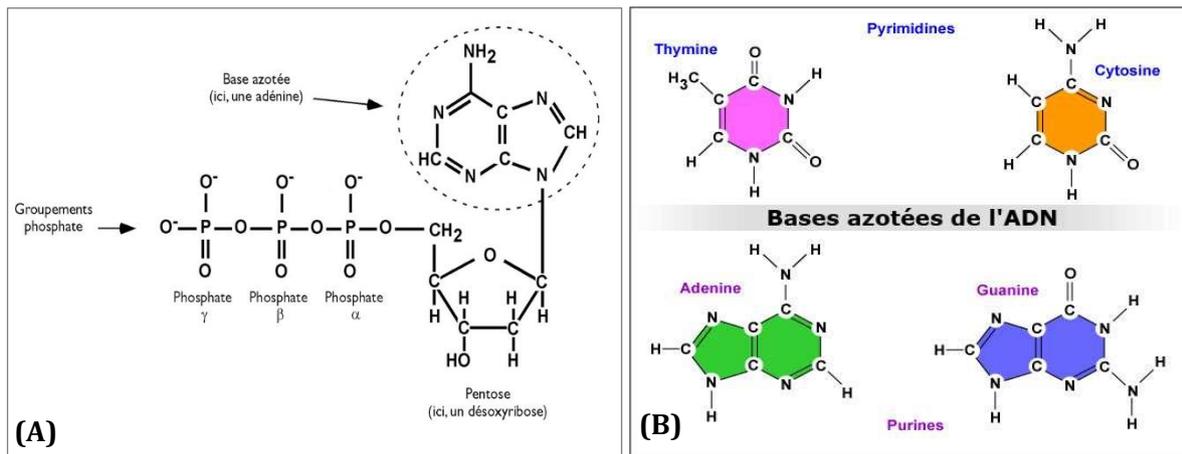


Figure 5.5. Structure d'un nucléotide (A) et des bases azotées (B).

Appariement des bases azotées complémentaires : A-T / G-C

5.2.2. Acides ribonucléiques (ARN)

Les **ARN** ou **acide ribonucléique** ont soit un rôle de support de l'information génétique, afin d'être traduit en protéines (**ARN messager**), ou bien un rôle structural (**ARN ribosomiques**, **ARN de transferts** et autres petits ARN).

5.3. La synthèse des protéines

- ◆ Les **protéines** sont des grosses molécules constituées d'**acides aminés**. Elles sont responsables de plusieurs fonctions essentielles à la vie des cellules et des organismes vivants entiers, à savoir, la structure, le mouvement, le transport et la communication.
- ◆ La **synthèse des protéines** est un processus cellulaire qui se fait en deux étapes : **transcription** et **traduction**.
- ◆ La **transcription** de l'ADN produit **trois** sortes d'**ARN** (Figure 5.6), tous nécessaires à la synthèse des protéines :
 - a. L'ARN messenger — ARNm
 - b. L'ARN de transfert — ARNt
 - c. L'ARN ribosomique — ARNr
- ◆ La **traduction** est la **synthèse d'un polypeptide (protéine)**, elle se fait à partir de l'**ARNm**.

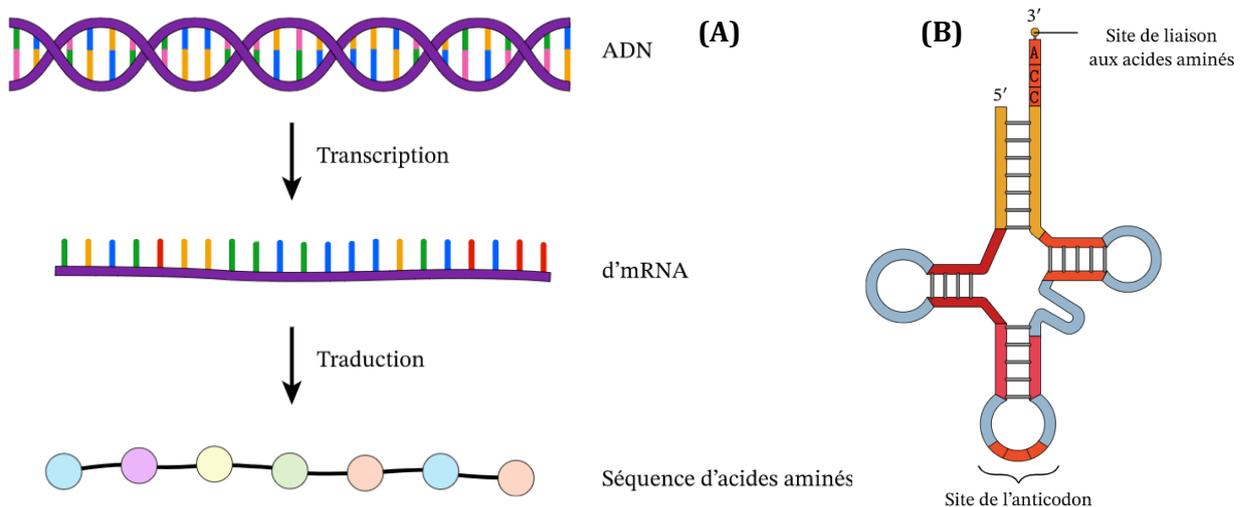


Figure 5.6. Schéma illustrant les étapes de la synthèse des protéines (A) et la forme en trèfle d'une molécule d'ARNt (B).

- ◆ Les instructions nécessaires pour fabriquer une protéine sont codées dans un **gène** de l'**ADN**.
- ◆ Le **gène** est une portion d'ADN produisant l'**ARN messenger** nécessaire à la fabrication d'une **protéine** particulière. Il est constitué d'un ensemble de **génons (codon)** : des triplets de nucléotides ADN. Le gène est délimité des gènes voisins : des **génons de départ** et d'**arrêt**.
- ◆ Seule une **chaîne du gène** sert de matrice pour la production d'un ARN messenger (**le brin codant**).
- ◆ Chaque génon du **brin codant** détermine la mise en place d'un **acide aminé** dans la chaîne polypeptidique (sauf le **génon d'arrêt** ou le **codant stop**) (Figure 5.7).

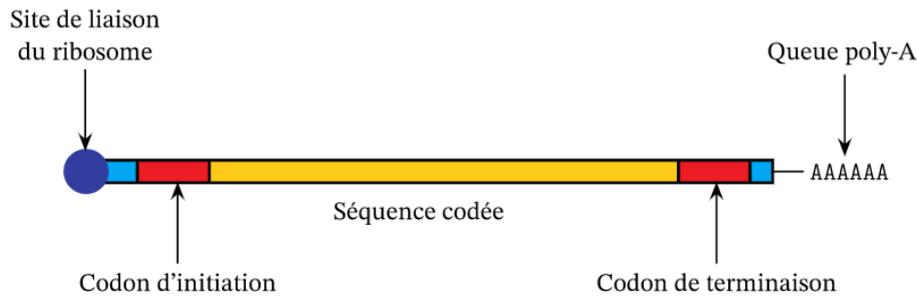


Figure 5.7. Schéma illustrant la structure type d'un transcrit d'ARN.

5.3.1. Transcription : chez les eucaryotes

- ◆ La **transcription** est la lecture d'un gène par une **ARN-polymérase** qui synthétise l'**acide ribonucléique messager** (ARNm) dont la structure primaire reproduit celle du **brin d'ADN**.
- ◆ Le **brin d'ADN matrice** est nommé brin (transcrit, anti-sens, non-sens, non codant ou brin-), le brin qui n'est pas transcrit et nommé brin (sens, codant ou brin+).

5.3.1.1. Les phases de la transcription

La transcription des gènes se déroule en trois phases principales : **initiation**, **élongation** et **terminaison** (Figure 5.8).

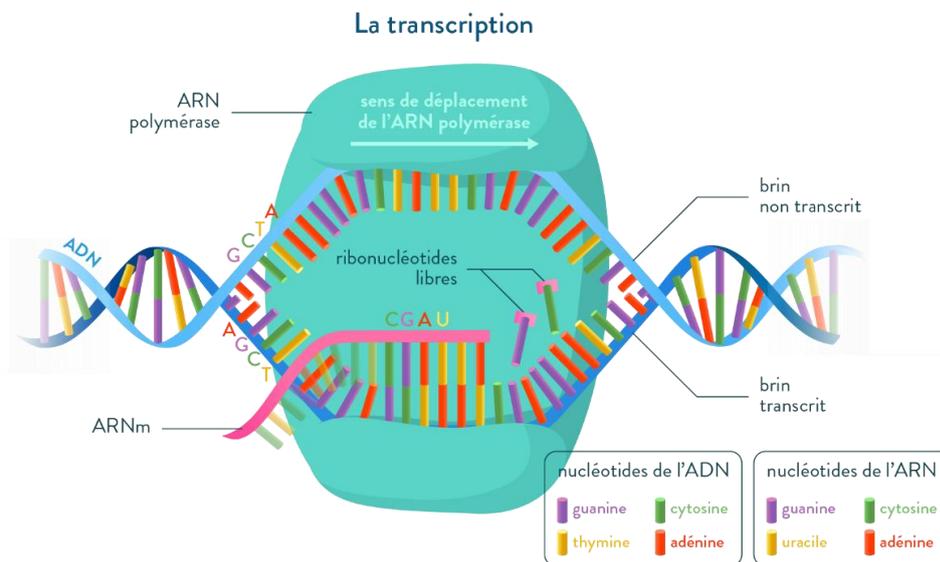


Figure 5.8. La transcription d'ADN.

a. Phase d'initiation

- ◆ L'initiation de la transcription par l'**ARN polymérase II** est assurée par des **facteurs de transcription** (protéines) (Figure 5.9) ;
- ◆ Ces facteurs s'assemblent sur une région située en amont de l'ADN à transcrire qui porte le nom du **site promoteur** (la boîte TATA) ;

- ◆ Cet assemblage entraîne la formation du complexe d'**initiation de la transcription** ;
- ◆ L'ARN polymérase II se déplace ensuite le long de l'ADN en ouvrant une partie de la molécule d'ADN formant une **boucle de transcription**.

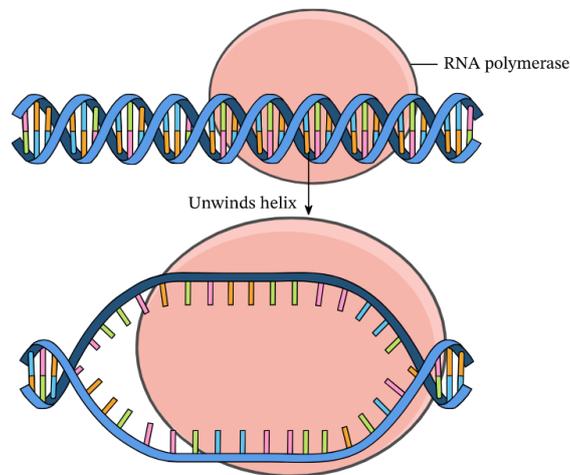


Figure 5.9. Phase d'initiation de la transcription.

b. Phase d'élongation

- ◆ La **boucle de transcription** se déplace dans le sens **3'-5'** du brin d'ADN et la **chaîne d'ARNm** s'allonge dans le sens **5'-3'** (Figure 5.10) ;
- ◆ L'élongation de la molécule d'ARNm se fait par l'appariement des **bases complémentaires** et par l'addition successive de **nucléotides** ;
- ◆ L'ADN lu se **rembobine** immédiatement après la lecture.

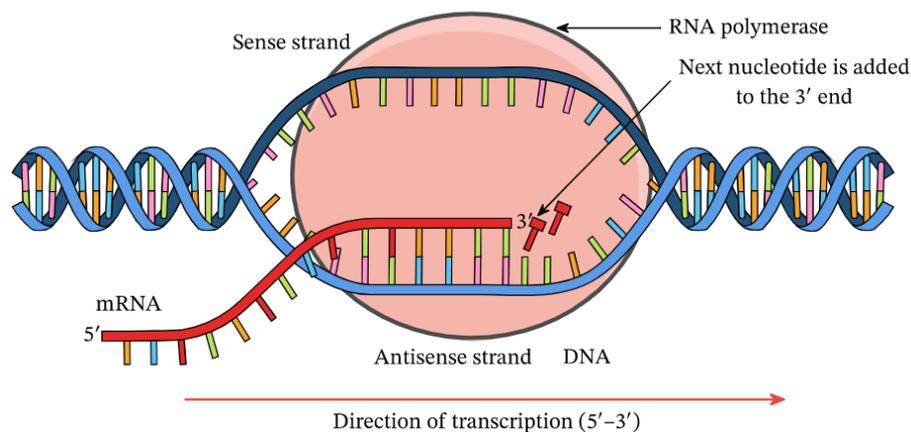


Figure 5.10. Phase d'élongation de la transcription.

c. Phase de terminaison

L'**ARN polymérase II** continue à transcrire jusqu'à plus de 1000pb (non traduit), jusqu'à ce qu'elle rencontre le **site de terminaison (AATAAA)** et libère un pré ARNm (immature).

d. Phase de maturation des ARNm

- ◆ La maturation des ARNm se fait par l'ajout de la **coiffe (capping)** du côté 5' des ARN naissants (une spécificité des eucaryotes) et d'une queue poly A du côté 3'.
- ◆ L'**épissage** de l'ARN pré messager est catalysée par un complexe enzymatique (**snRNP**), qui assure l'excision des **introns**, les **exons** restants sont reliés entre eux ;
- ◆ Les **exons** sont des régions de l'ADN contenant l'information génétique (**régions traduites**) ;
- ◆ Les **introns** sont des régions de l'ADN qui seront éliminés lors de la maturation des ARNm (**régions non traduites**) ;
- ◆ L'ARN raccourci passe dans le cytoplasme à travers les pores nucléaires pour être traduit.

5.3.2. Traduction : chez les eucaryotes

L'ARN messenger produit dans le noyau passe dans le **cytoplasme** après maturation pour y être **traduit**.

5.3.2.1. Les phases de la traduction

La traduction se déroule en trois étapes : (a) **Initiation** (b) **Élongation** (c) **Terminaison**.

a. Phase d'initiation

La petite sous unité du ribosome se fixe à l'ARNm à un endroit de la molécule appelé **codon de départ (AUG)**. Puis, l'**ARNt—aa** se fixe au codon de départ (après **activation des acides aminés**), et la grande sous unité du ribosome se fixe à son tour grâce à l'énergie de la GTP. Le ribosome est prêt pour l'élongation (Figure 5.11).

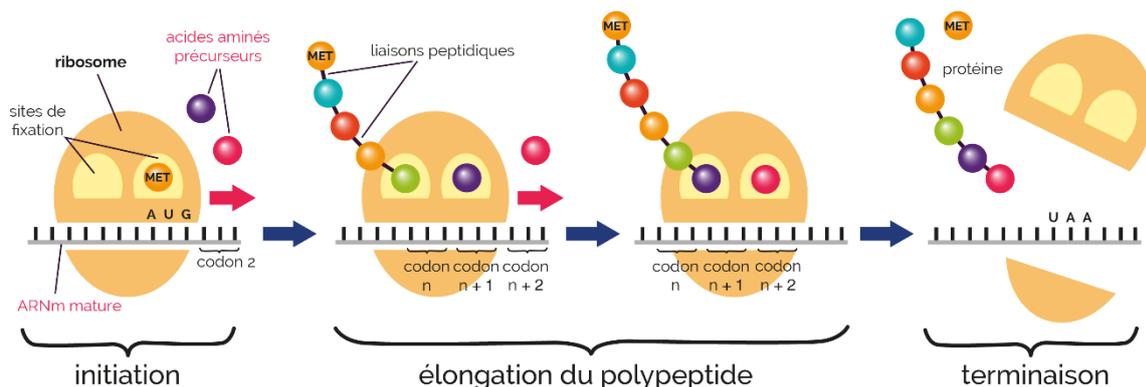


Figure 5.11 : La traduction de l'ARNm.

b. Phase d'élongation

- ◆ Un ARNt—aa s'ajoute au site A ;
- ◆ Formation du lien peptidique et transfert du polypeptide sur l'ARNt du site A ;
- ◆ L'ARNt—vide passe du site P au site E et l'ARNt—polypeptide passe du site A au site P (en tirant l'ARNm avec lui) ;
- ◆ L'ARNt libre est libéré ;
- ◆ Le ribosome est prêt pour l'ajout d'un autre ARNt—aa.

Le déplacement relatif du ribosome et de l'ARN messenger s'accompagne de l'**allongement progressif** de la chaîne polypeptidique. À chaque triplet de nucléotides de l'ARN messenger correspond un acide aminé précis qui s'incorpore à la chaîne polypeptidique en formation. La correspondance entre les triplets de nucléotides de l'ARN messenger et les acides aminés s'effectue selon les principes du **code génétique** (Tableau 5.1).

Tableau 5.1. Le code génétique.

		deuxième nucléotide											
		U		C		A		G					
premier nucléotide	U	UUU	phénylalanine (phe)	UCU	sérine (ser)	UAU	tyrosine (tyr)	UGU	cystéine (cys)	U	troisième nucléotide		
		UUC		UCC			UAC		UGC			C	
		UUA	leucine (leu)	UCA			UAA	codons STOP	UGA	codon STOP		A	
		UUG		UCG			UAG		UGG	tryptophane (try)		G	
	C	CUU	leucine (leu)	CCU	proline (pro)	CAU	histidine (his)	CGU	arginine (arg)	U			
		CUC				CCC		CAC				CGC	C
		CUA				CCA		CAA		glutamine (gln)		CGA	A
		CUG				CCG		CAG				CGG	G
	A	AUU	isoleucine (ile)	ACU	thréonine (thr)	AAU	asparagine (asn)	AGU	sérine (ser)	U			
		AUC				ACC		AAC		AGC		C	
		AUA				ACA		AAA	lysine (lys)	AGA		arginine (arg)	A
		AUG	méthionine (met)	ACG			AAG		AGG			G	
	G	GUU	valine (val)	GCU	alanine (ala)	GAU	acide aspartique (asp)	GGU	glycine (gly)	U			
		GUC				GCC		GAC				GGC	C
		GUA				GCA		GAA		acide glutamique (glu)		GGA	A
		GUG				GCG		GAG				GGG	G

(64) codons d'ARNm ont été identifiés par les chercheurs.

1 codon : 3 bases / Acide aminé spécifique.

- ◆ Chaque triplet de nucléotides sur l'ADN correspond à un codon de l'ARN messenger ;
- ◆ Chaque codon de l'ARNm correspond à un anticodon spécifique de l'ARN transfert ;
- ◆ Chaque anti-codon correspond à un acide aminé spécifique.

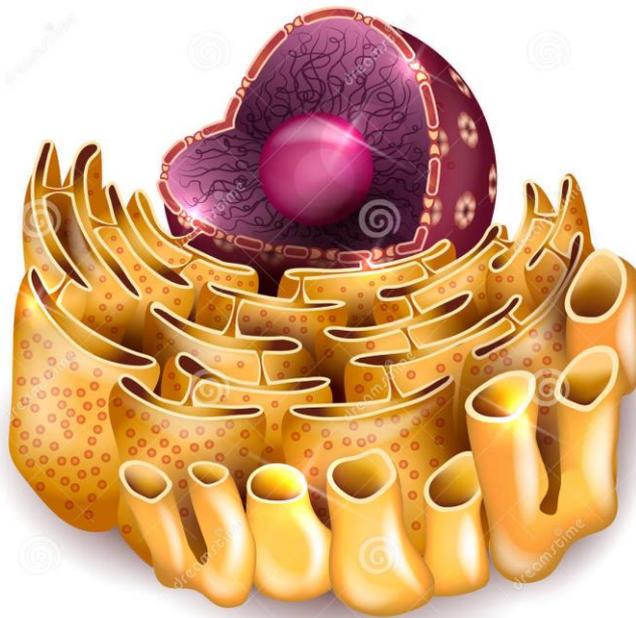
c. Phase de terminaison

- ◆ Le ribosome parvient sur un des trois codons « stop » ou « non-sens », auquel ne correspond aucun acide aminé ;
- ◆ Une protéine de terminaison se lie au site A ;
- ◆ Le facteur de terminaison hydrolyse le lien qui relie le polypeptide à l'ARNt ;
- ◆ Le polypeptide se détache ainsi que l'ARNt du site P ;
- ◆ Les sous-unités du ribosome sont libérées.

5.3.3. Transcription et traduction : chez les procaryotes

Chez les **procaryotes**, la transcription et la traduction sont **simultanées** (couplées) : l'ARN messenger est traduit en polypeptide au fur et à mesure de sa synthèse. Par contre, chez les **eucaryotes**, l'ARN messenger, transcrit et mûri dans le noyau, est transféré dans le cytoplasme pour être traduit.

Chapitre 6.
SYSTÈME ENDOMEMBRANAIRE



Chapitre 6. Système endomembranaire

6.1. Présentation du système endomembranaire

Le système endomembranaire (SE) regroupe des **compartiments intracellulaires** d'une cellule **eucaryote** limités chacun par une seule membrane. Il est particulièrement **dynamique**, assurant la production de molécules, leur transport vers une destination spécifique, leur stockage, la sécrétion de molécules d'origine biologique, la dégradation de substances toxiques ... etc.

6.1.1. Caractéristiques

- ◆ Le système endomembranaire (SE) existe uniquement chez les **cellules eucaryotes** ;
- ◆ C'est un système complexe, fait de **cavités** communiquant entre elles par l'intermédiaire de **vésicules** et de **canalicules** ;
- ◆ Ces cavités possèdent **2 faces** : l'une **cytosolique** (extérieur vésicule rencontrant du cytosol) et l'autre **luminale** (intérieur de la vésicule).

6.1.2. Compartiments

Les compartiments faisant partie du système endomembranaire (Figure 6.1) sont :

- ◆ **Enveloppe nucléaire** ;
- ◆ **Réticulum endoplasmique (RE)** ;
- ◆ **Appareil de Golgi (AG)** ;
- ◆ **Endosomes (phagosomes)** ;
- ◆ **Lysosomes** ;
- ◆ Toutes les **vésicules**, **canicules** et **vacuoles** permettant la communication des compartiments entre eux et avec la membrane plasmique.

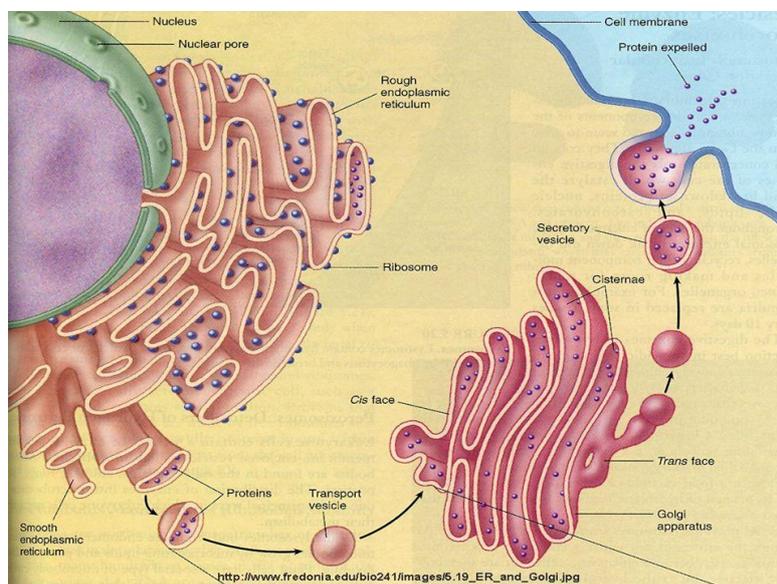


Figure 6.1. Vue d'ensemble du système endomembranaire.

6.2. Le réticulum endoplasmique

6.2.1. Définition et description

Le **réticulum endoplasmique (RE)** est un réseau de membranes internes interconnectées en forme de tubules et saccules (cisternae ou citernes) issues de la membrane nucléaire (Figure 6.2). Deux types de réticulum sont définis :

1. **Réticulum endoplasmique lisse (REL)** : Dépourvu de ribosomes. Il est généralement tubulaire.
2. **Réticulum endoplasmique granuleux (REG) ou rugueux** : Recouvert de ribosomes sur la face cytosolique. Il forme un réseau serré de citernes aplaties et parallèles.

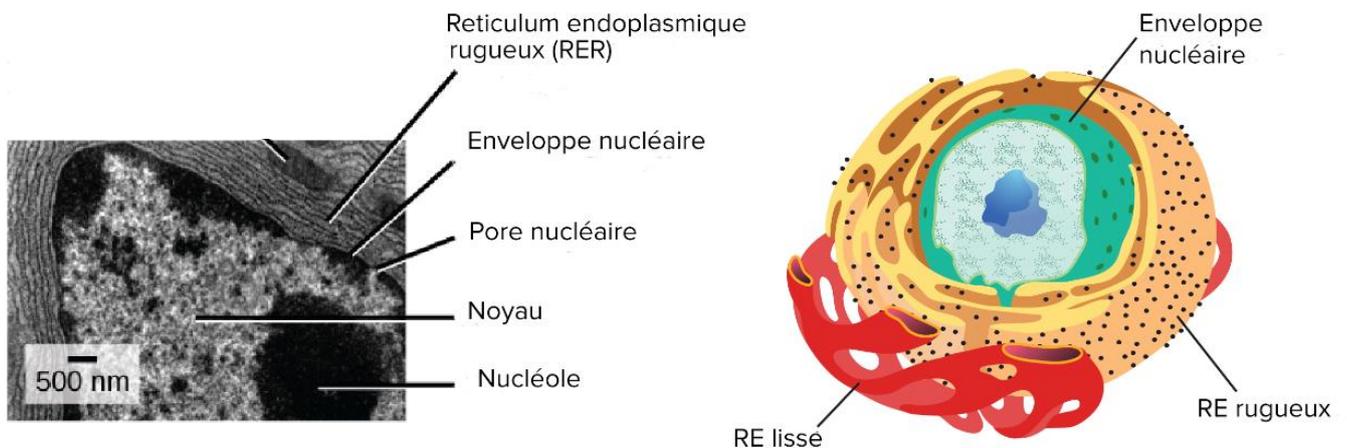


Figure 6.2. Réticulums endoplasmiques.

6.2.2. Fonctions du réticulum endoplasmique

6.2.2.1. Fonctions du RE rugueux

- ◆ **Synthèse** et **translocation** de protéines sécrétées, membranaires et résidentes des vésicules.
- ◆ **N-glycosylation** des protéines et élagage de leur arborisation sucrée.
- ◆ Conformation spatiale des protéines et contrôle qualité avant leur **exportation** vers l'appareil de Golgi.

a. Synthèse et translocation des protéines

La synthèse de toutes les protéines commence toujours dans le cytosol, au niveau des ribosomes associés en polysomes par un ARN messager (ARNm). Une fois la synthèse commencée, la protéine peut avoir deux destinations (Figure 6.3) :

1. **Soit elle reste dans le cytosol** pour la suite et la fin de la synthèse : c'est le cas des protéines solubles cytosoliques, nucléaires, mitochondriales et peroxysomales. Ces protéines sont synthétisées par les ribosomes libres du cytosol.
2. **Soit elle est adressée à la membrane du RE** qu'elle va traverser pendant que la biosynthèse se poursuit. On parle de translocation à travers la membrane du RE. C'est le cas des protéines

membranaires, résidentes (des endosomes par exemple) ou sécrétées. Ces protéines sont synthétisées par les ribosomes du RE et vont pour cela faire appel au peptide signal.

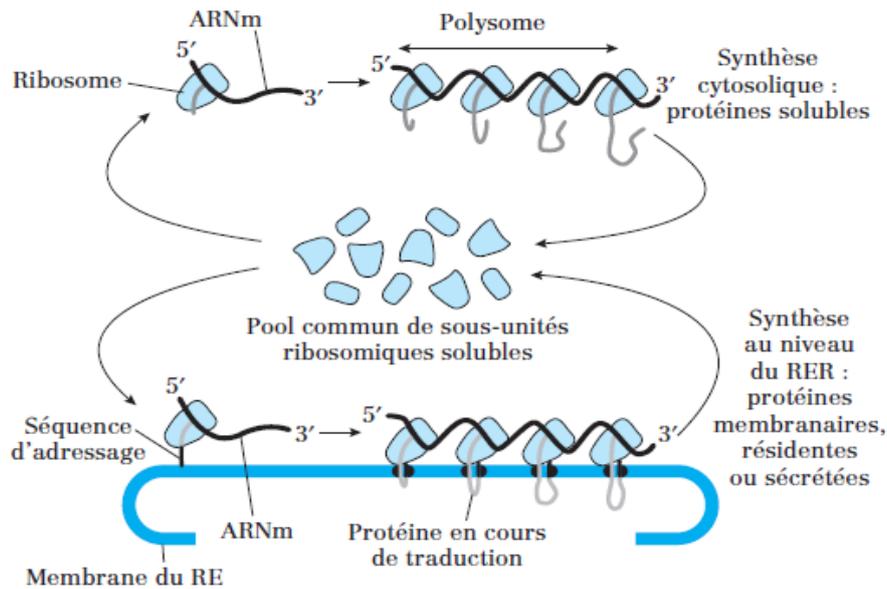


Figure 6.3. Les deux voies de la synthèse protéique.

Les protéines transloquées vers le RE auront à terme **trois** destinations possibles :

- ◆ La **membrane plasmique** (cas des protéines intrinsèques et extrinsèques localisées du côté extracellulaire) ;
- ◆ Le **milieu extracellulaire** (cas des protéines sécrétées) ;
- ◆ Les **autres compartiments** du système endomembranaire (cas des protéines résidentes de l'appareil de Golgi, des endosomes et lysosomes).

b. N-glycosylation des protéines

La synthèse de la séquence protéique uniquement ne suffit pas pour donner à celle-ci ses capacités fonctionnelles. De nombreuses modifications **co-** et **post-traductionnelles** sont nécessaires. La **glycosylation** est l'ensemble des réactions enzymatiques qui conduisent à l'**accrochage** de manière covalente de **résidus glucidiques** (un bloc de 14 oses) à des protéines (Figure 6.4). On distingue la :

- a. N-glycosylation** (accrochage de glucides sur l'azote porté par l'Asn (= acide aminé Asparagine) de la protéine cible).
- b. O-glycosylation** (accrochage de glucides sur l'oxygène de la **Ser** (= Sérine) ou la **Thr** (= Thréonine) de la protéine cible).

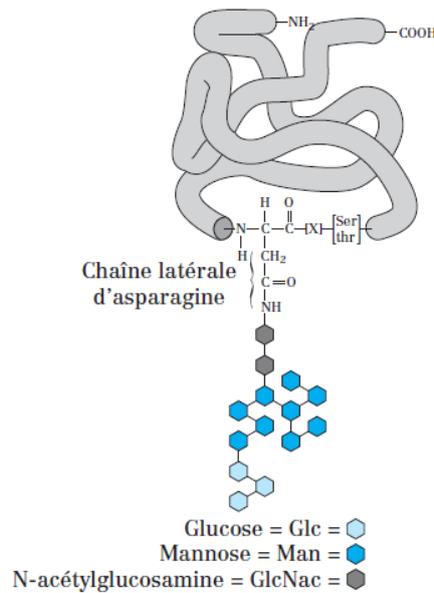


Figure 6.4. Précurseur oligosaccharidique (14 résidus ou motifs glucidiques) lié à l'asparagine par liaison N-osidique et ajouté à la plupart des protéines dans la membrane du REG.

c. Sortie du REG par un transport vésiculaire

Le transport vésiculaire constitue un des exemples les plus remarquables de la **dynamique cellulaire**. Il montre à quel point les nombreux organites, ici du système endomembranaire en l'occurrence, **interagissent** et **communiquent** les uns avec les autres et avec l'extérieur de la cellule par les **vésicules de transport**. Le transport vésiculaire se déroule en six étapes (Figure 6.5)

1. Tri moléculaire.
2. Bourgeonnement des vésicules à partir du compartiment donneur.
3. Fission ou détachement des vésicules. Ces vésicules se « déshabillent » permettant ainsi l'interaction avec les protéines motrices du cytosquelette.
4. Vectorisation et transport des vésicules entre le compartiment donneur et le compartiment receveur.
5. Ancrage des vésicules.
6. Fusion des vésicules avec le compartiment accepteur (ou receveur).

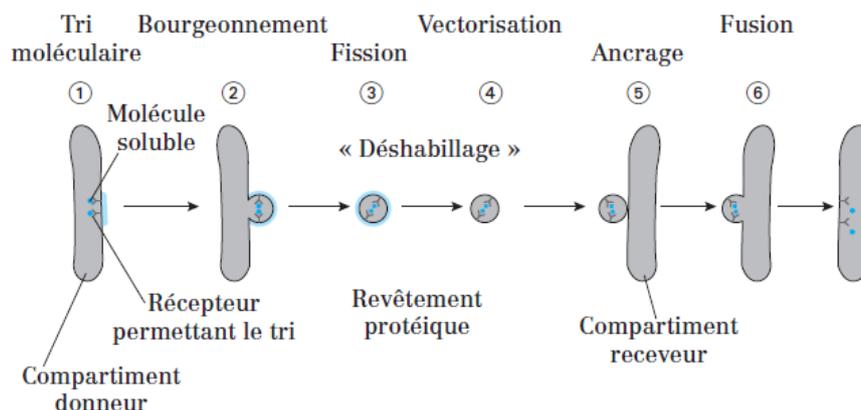


Figure 6.5. Les étapes du transport vésiculaire.

6.2.2.1. Fonctions du RE lisse

- ◆ Synthèse des phospholipides membranaires et cytosoliques.
- ◆ Synthèse de cholestérol, d'hormones stéroïdiennes.
- ◆ Stockage et libération du calcium (Ca^{++}).
- ◆ Siège des phénomènes de détoxification (détoxification des xénobiotiques par le cytochrome P450).

6.3. Appareil de Golgi

6.3.1. Définition et description

- ◆ L'appareil de Golgi est un organite cellulaire polymorphe localisé entre le réticulum endoplasmique et la membrane plasmique. Il est constitué d'un ou plusieurs **dictyosomes** (Figure 6.6).
- ◆ Un dictyosome est formé d'un empilement de **4 à 8 saccules membranaires incurvés** (une pile de saccules), entourés de **vésicules** qui assurent la communication entre ses différents saccules, et aussi entre l'appareil de Golgi et le reste du système endomembranaire ou la membrane plasmique.

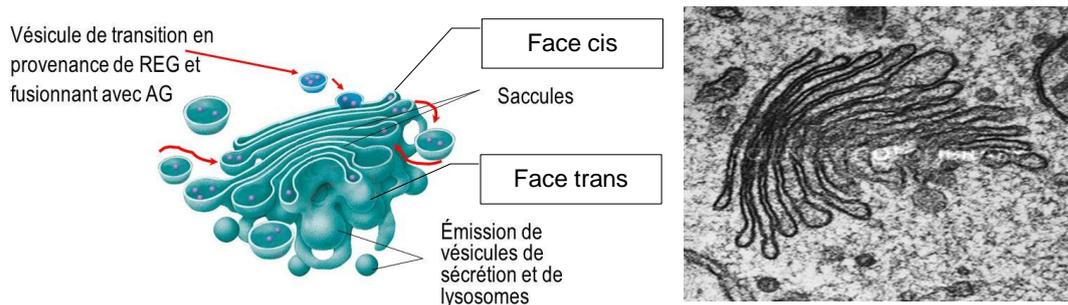


Figure 6.6. Organisation de l'appareil de Golgi.

- ◆ Chaque dictyosome peut être divisé en trois régions fonctionnelles différentes :
 1. **La face cis ou face d'entrée** : tournée vers le RE et le noyau. Elle établit une relation avec le RE par l'intermédiaire d'un ensemble de vésicules ;
 2. **Le compartiment médian** : est composé de plusieurs saccules situés entre les deux faces ;
 3. **La face trans ou face de sortie** : tournée vers la membrane plasmique. Elle est en continuité avec un réseau de canalicules constituant le réseau transgolgien.

6.3.2. Fonctions

L'appareil de Golgi **reçoit** les protéines en provenance du RE, les **modifie** (**O-glycosylation, sulfatation, clivage de précurseurs ...**), les **trie** puis les **exporte** vers d'autres compartiments (membrane plasmique, endosomes, lysosomes ...) ou vers le milieu extracellulaire (sécrétion, par exocytose, constitutive et régulée).

L'appareil de Golgi est le point de passage obligatoire du **trafic vésiculaire**. Il régule le nombre de vésicules allant à la membrane et participe ainsi au renouvellement membranaire. Ainsi, les modifications post-traductionnelles effectuées dans l'appareil de Golgi sont essentielles à l'adressage correct des protéines dans la cellule.

Exemples :

1. **Dans le cis-Golgi** : phosphorylation de certains résidus mannose de chaînes oligosaccharidiques liées en N- sur les protéines (cas des hydrolases lysosomales, enzymes lytiques destinées aux lysosomes) qui aboutit à la présence de mannose-6-phosphate ;
2. **Dans le trans-Golgi** : des récepteurs au mannose-6-phosphate concentrent les protéines à mannose-6-phosphate dans des vésicules spécifiques qui sont ensuite adressées aux lysosomes.

6.4. Les endosomes

6.4.1. Définition et description

Un endosome est une petite **structure sphérique** (une vésicule) délimitée par une membrane lipidique, située dans le cytoplasme des cellules eucaryotes, proche de la membrane plasmique. Les endosomes ont plusieurs origines. Ils proviennent des :

- ◆ **Vésicules d'endocytose** : issues de la membrane plasmique. Ces vésicules sont lisses ou revêtues et transportent des molécules prélevées dans le milieu extracellulaire ;
- ◆ **Vésicules de transport** : ayant bourgeonné du Golgi *trans*. Elles leur apportent notamment des hydrolases acides et des pompes à protons (ATPase H⁺). Grâce à cet apport, les endosomes se transforment progressivement en **lysosomes**.

6.4.2. Classification

- ◆ On distingue deux classes d'endosomes en fonction de leur pH :
 1. Les **endosomes précoces** sont directement alimentés par l'**endocytose**. Ils présentent un pH proche de celui du milieu extracellulaire (7,4).
 2. Les **endosomes tardifs** présentent un pH plus acide (6,5) intermédiaire entre le pH des endosomes précoces et celui des lysosomes (5).
- ◆ La **maturation** qui transforme les endosomes précoces en endosomes tardifs se produit par la formation de **corps multivésiculaires (CMV)** qui contiennent de grandes quantités de membranes invaginées et de vésicules internes.
- ◆ Les **CMV** se transforment graduellement en **endosomes tardifs**, soit en fusionnant les uns avec les autres, soit en fusionnant avec des **endosomes tardifs préexistants**.
- ◆ Les endosomes tardifs communiquent avec le réseau trans-golgien via des vésicules de transport qui délivrent les protéines qui transformeront les **endosomes tardifs** en **lysosomes**.

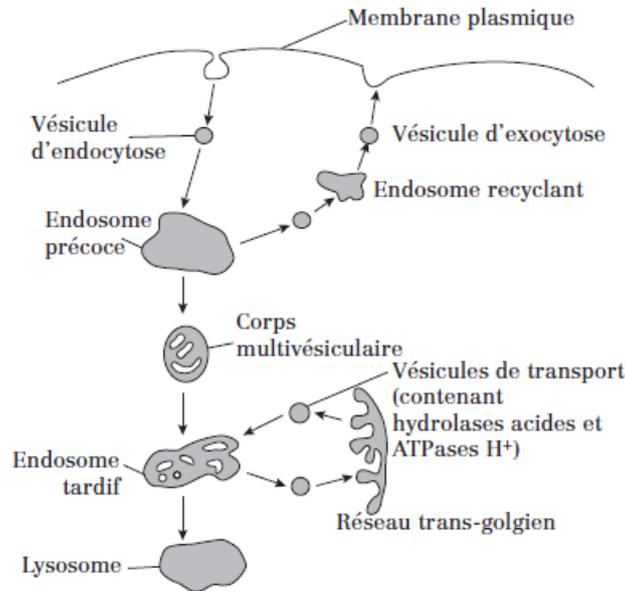


Figure 6.7. La voie de l'endocytose depuis la membrane plasmique jusqu'aux lysosomes.

6.4.3. Rôle des endosomes

- ◆ L'endosome a pour rôle de **fusionner** avec des vésicules d'endocytose en provenance de l'espace extracellulaire, et de **véhiculer** leur contenu vers la région subcellulaire la plus pertinente (lysosome pour la dégradation, appareil de Golgi ...)
- ◆ Exportation de protéines membranaires (recyclage) ;
- ◆ Présentation de l'antigène ;
- ◆ Apport de matériel au cytosol (métabolites issus de l'hydrolyse) ;
- ◆ Échange de matériel avec Golgi trans (\leftrightarrow) :
 1. **Golgi vers endosomes** : formation des lysosomes = [endosomes tardifs + vésicules de transport (*hydrolases*)] ;
 2. **Endosomes vers Golgi** ;
 3. Apport de matériel endocyté aux **lysosomes**.

6.4.4. Endosomes et pathogènes

6.4.4.1. Cas des virus

Exemple du virus de la grippe

- ◆ Acidification nécessaire pour fusion virus-endosome tardif et libération de la nucléocapside dans le cytosol.
- ◆ Blocage ATPase- H^+ : pas de libération des virus (lysosomes) car pas d'acidification.

6.4.4.2. Cas des toxines

Exemple des toxines du bacille du chardon

L'acidification permet l'insertion de l'heptamère de PA (*Protective Antigen*) dans la membrane endosomale (forme un pore).

6.5. Les lysosomes

6.5.1. Définition et description

- ◆ Les lysosomes sont des sacs membraneux présents dans le cytoplasme des cellules eucaryotes mise à part les hématies (cellules sanguines) (Figure 6.8).
- ◆ Ce sont des vésicules contenant une très haute concentration d'**enzymes digestives (hydrolases acides)** à pH acide (3,5 et 5).
- ◆ Les hydrolases acides sont des enzymes capables d'hydrolyser l'ensemble des familles de molécules biologiques. On distingue des :
 - Nucléases (dégradent ADN, ARN) ;
 - Protéases (dégradent protéines) ;
 - Glycosidases (dégradent les glucides) ;
 - Phosphatases (coupent les phosphates) ;
 - Lipases (dégradent les lipides) ;
 - Sulfatases (coupent les groupements sulfates).

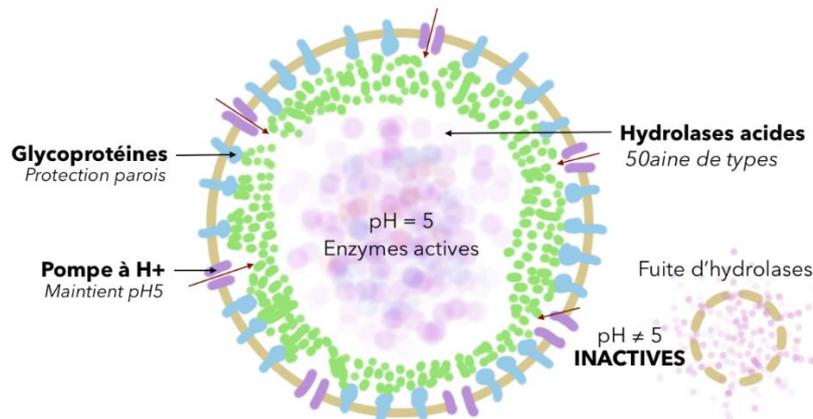


Figure 6.8. Représentation schématique d'un lysosome et de son contenu enzymatique.

6.5.2. Caractéristiques des lysosomes

6.5.2.1. La membrane lysosomale

La membrane des lysosomes a les caractéristiques suivantes :

1. Elle maintient le système **clos** et empêche la **fuite** des enzymes lysosomales dans le cytosol.
2. Elle porte une **ATPase à protons** qui transporte des ions H⁺ du cytosol vers la lumière lysosomale, ce qui conduit à son acidification.
3. Elle porte des **perméases** qui permettent :
 - ◆ L'entrée directe de matériaux à hydrolyser depuis le cytosol vers la lumière lysosomale ;
 - ◆ La sortie des produits de l'hydrolyse lysosomale depuis la lumière vers le cytosol.
4. Elle est protégée contre son **autodigestion** par un revêtement glycoprotéique interne.

6.5.2.2. La matrice lysosomale

La matrice lysosomale maintient un environnement **acide** (avec un pH moyen environ 5), mais l'environnement neutre du cytosol rend la plupart des enzymes inopérants. La synthèse lytique de la cellule est polymorphe :

1. **Lysosomes primaires** (lysosomes néoformés).
2. **Lysosomes secondaires** : ceux-ci sont fonctionnels. Ils sont classés en deux catégories :
 - a. *Les phagocytomes*
 - b. *Les cytolysomes*

Les **corps résiduels** : représentent l'étape finale de la dégradation du matériel séquestré dans les phagocytomes ou les cytolysomes.

6.5.3. Origine des lysosomes

- ◆ Les **lysosomes** résultent de la fusion d'une ou plusieurs vésicules de transport et d'une vésicule (endosome tardif, phagosome) renfermant des matériaux à dégrader.
- ◆ Les vésicules de transport bourgeonnent depuis l'appareil de Golgi et contiennent, entre autres, les **hydrolases acides** et les **ATPases à protons**.

La formation des lysosomes comprend les étapes suivantes :

1. Synthèse des enzymes lysosomales (hydrolases) au niveau du réticulum endoplasmique granulaire.
2. Transfert de ces enzymes aux saccules cis golgiennes où elles subissent une phosphorylation de leur résidu mannose (m6p).
3. Liaison des hydrolases aux récepteurs m6p au niveau des saccules trans.
4. Bourgeonnement au niveau saccules trans de vésicules, adressée par la suite au compartiment endosomal.
5. Acidification progressive du contenu vésiculaire, entraînant une dissociation du complexe enzyme récepteur.
6. Recyclage des récepteurs m6p et maturation des enzymes lysosomales.

6.5.4. Fonctions des lysosomes

Les lysosomes ont pour fonction d'effectuer la **digestion intracellulaire**. Les molécules à digérer dans les lysosomes y arrivent par **quatre voies** :

1. **L'endocytose** : les vésicules d'endocytose apportent au compartiment endosomal puis lysosomal les molécules prélevées dans le milieu extracellulaire.
2. **La phagocytose** : le phagosome (= vésicule de phagocytose) fusionne avec des vésicules provenant de l'appareil de Golgi (= vésicules transportant les hydrolases acides et les pompes à protons) et se transforme progressivement en lysosome : formation du phagolysosome.

3. **L'entrée directe depuis le cytosol** : ce phénomène concerne les peptides et utilise des perméases.
4. **L'autophagie** : c'est un mécanisme qui permet aux cellules de dégrader leurs propres organites et molécules afin d'assurer leur renouvellement (Figure 6.9).

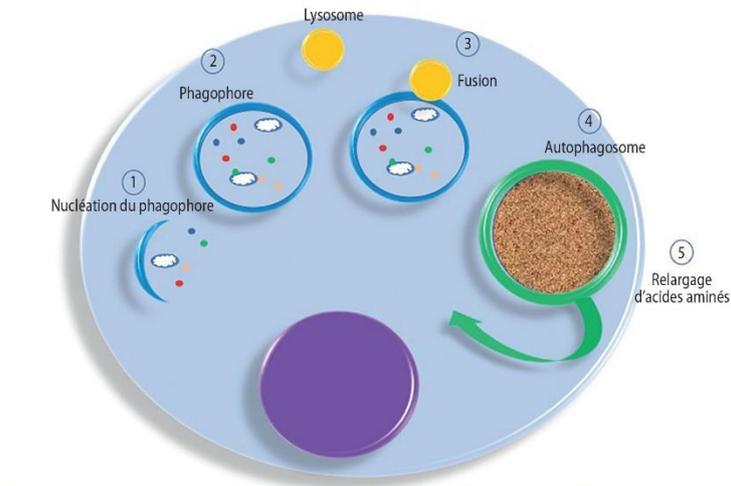


Figure 6.9. Autophagie des hépatocytes pendant le jeûne prolongé.

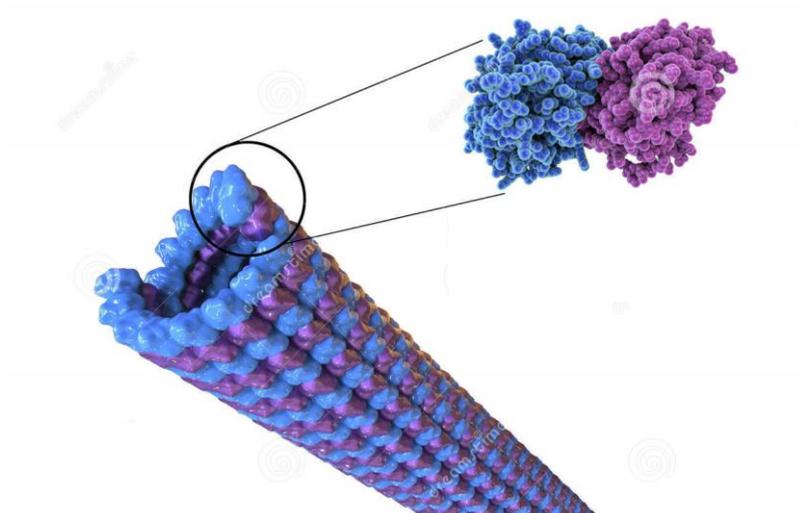
6.5.5. Pathologies lysosomales

Les maladies lysosomales peuvent être dues à une anomalie :

1. Soit de la **membrane lysosomale**.
 2. Soit du **contenu enzymatique**.
- ◆ Destruction de la membrane lysosomale par de nombreux facteurs tels que : les toxines bactériennes (streptocoques), les médicaments (corticoïdes), la chaleur...
 - ◆ Modifications génétiques de la perméabilité et des propriétés de la membrane lysosomale : la maladie de **Chadiak-Streinbrink-Higashi** est la seule maladie génétique de la membrane lysosomale, la perméabilité de la membrane est anormalement augmentée, entraînant la formation de lysosomes géants.
 - ◆ Déficit enzymatique en hydrolases lysosomales : il s'agit de maladies de surcharge.
 - ◆ La destruction des lysosomes par certaines substances.

Chapitre 7.

CYTOSQUELETTE



Chapitre 7. Cytosquelette

Le cytosol de toutes les cellules eucaryotes est parcouru d'un réseau de fibres protéiques qui assurent la forme de la cellule. Ce réseau, appelé **cytosquelette**, est un système dynamique, s'assemblant et se désassemblant constamment.

7.1. Définition

Le cytosquelette est une structure filamenteuse de soutien de la cellule qui traverse tout le cytoplasme formant un véritable squelette intracellulaire (Figure 7.1). Il confère à la cellule sa forme caractéristique et la dote de motilité.

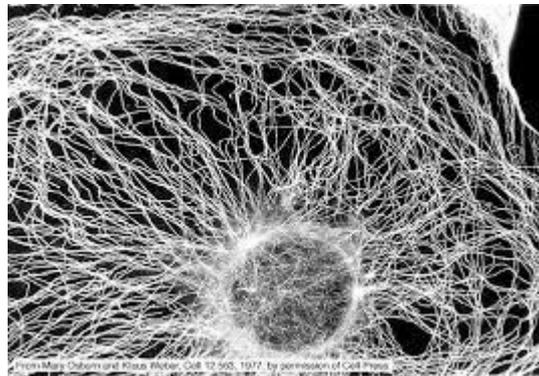


Figure 7.1. Le cytosquelette observé sous microscope électronique à transmission (MET).

7.2. Fonctions du cytosquelette

- ◆ Maintien de la forme des cellules et de la cohésion des tissus ;
- ◆ Mobilité de la cellule : les déformations et déplacements cellulaires ;
- ◆ Déplacements des organites dans la cellule ;
- ◆ Transport vésiculaire ;
- ◆ Intervention dans les divisions cellulaires (mitose, méiose).

7.3. Constituants du cytosquelette

Le cytosquelette est constitué de trois classes de filaments protéiques (Figure 7.2) :

- a. Les **microfilaments d'actine** (MFA = 8 nm)
- b. Les **filaments intermédiaires** (FI = 10 nm)
- c. Les **microtubules** (MT = 25 nm)

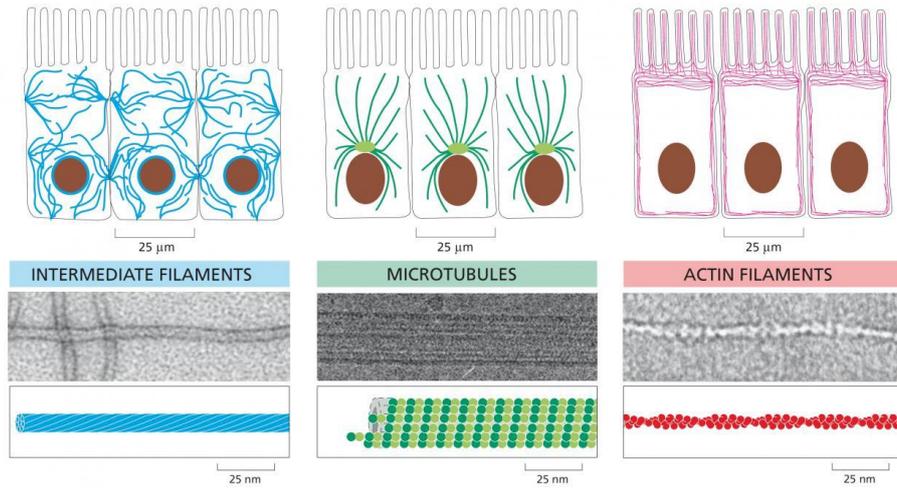


Figure 7.2. Les trois types de filaments protéiques du cytosquelette.

Ces trois types se différencient par leur **diamètre** et leur **localisation** dans la cellule. Les éléments du cytosquelette se localisent dans les trois compartiments cellulaires suivants : le **cytosol**, le **nucléoplasme** et la **périphérie de la cellule** (Figure 7.3).

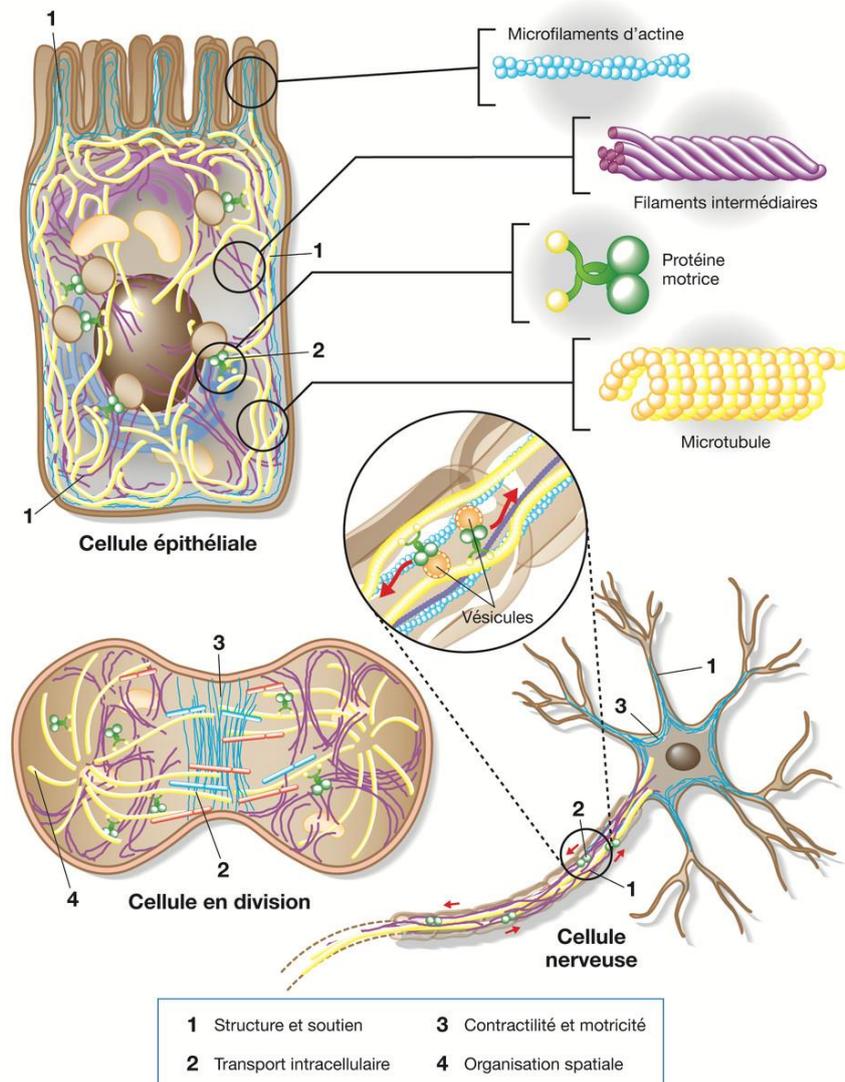


Figure 7.3. Répartition des filaments protéiques du cytosquelette dans quelques cellules.

a. Les microfilaments

- ◆ Les microfilaments sont de longues fibres d'un diamètre d'environ 8 nm ;
- ◆ Ils sont constitués de deux chaînes torsadées, constituées chacune d'un chapelet (cordons de perles) d'une protéine globulaire, l'**actine** ;
- ◆ Les microfilaments sont responsables de **mouvements** cellulaires tels que contraction, **étranglement** lors de la division des cellules ou formation de **pseudopodes**.

b. Les filaments intermédiaires

- ◆ Les filaments intermédiaires constituent un réseau qui occupe tout l'espace cytoplasmique (la **lamina**). D'un diamètre de 8 à 10 nm, situé entre celui des microfilaments et celui des microtubules, d'où leur dénomination de filaments intermédiaires.
- ◆ Ils sont composés de tétramères imbriqués et décalés de protéines. Cette disposition confère une force mécanique énorme à la cellule.
- ◆ Ce sont les composants les plus stables (moins dynamiques) du cytosquelette. Ils sont très importants pour la structure du noyau et ils permettent l'**ancrage des organites**.
- ◆ Les filaments intermédiaires sont ainsi classés en 3 catégories :
 1. **Filaments à kératine** : se trouve dans les cellules épithéliales (cellules bordant les organes et les cavités de l'organisme) ainsi que dans des structures qui y sont associées, tels les cheveux, les ongles et autres ;
 2. **Filaments à desmine** : se retrouve dans les cellules musculaires des muscles lisses, striés et dans le muscle cardiaque ;
 3. **Lamina nucléaire** : présente dans le noyau appliqué contre la membrane interne du noyau ; c'est une couche protéique fibrillaire dont les protéines sont des lamines.

c. Les microtubules

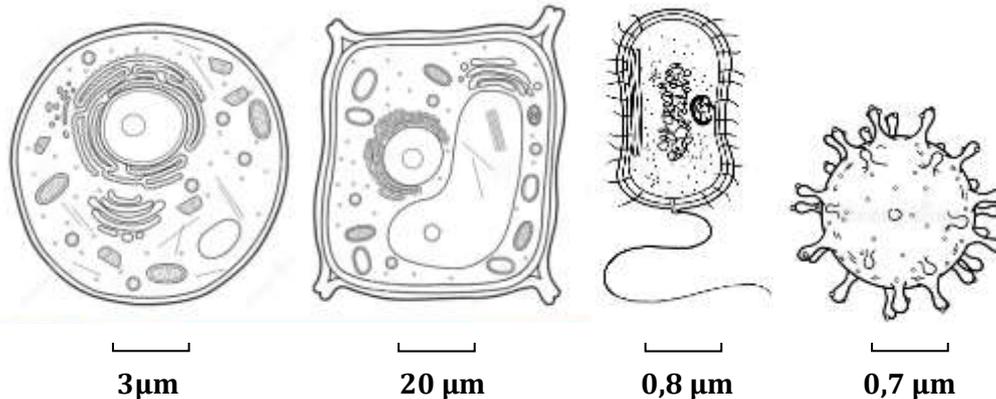
- ◆ Les microtubules sont des tubes cylindriques creux, d'un diamètre d'environ 25 nm, de longueur variable et sont en général rectilignes,
- ◆ Formés de 13 protofilaments protéiques disposés en **couronne**. Chaque protofilament est constitué de dimères de protéines globulaires constitués d' α et de β **tubuline**, protéines disposées côte à côte pour former un tube.
- ◆ Les microtubules constituent un réseau dont le centre est situé au niveau du centrosome.
- ◆ Les microtubules sont généralement associés en structures complexes dont : le centriole et les axonèmes des cils et des flagelles.
- ◆ Il s'agit d'éléments relativement rigides du cytosquelette, impliqués dans des fonctions majeures telles que : la **séparation des chromosomes pendant la mitose**, le **transport intracellulaire** et les **mouvements cellulaires**.

TD N°1 DE BIOLOGIE CELLULAIRE

TYPES CELLULAIRES

EXERCICE 1

Voici ci-dessous des schémas de différents types de cellules :



1. Avec l'aide des barres d'échelle, calculez leurs dimensions exactes.
2. Identifiez celles que vous considérez comme procaryotiques, eucaryotiques ou acaryotiques. Justifiez votre réponse.
3. Distinguez les cellules animales des cellules végétales. Justifiez votre réponse.

EXERCICE 2

Voici des mots : Paramécie, chloroplaste, amibe, neurone, sang, cœur, os, centrosome, foie, mitochondrie.

1. Rangez les dans le tableau suivant :

Cellule	Organite cellulaire	Tissu	Organe

2. Donnez les rôles des organites cellulaires rangés dans ce tableau.
3. Décrivez les deux types de mouvements cellulaires rencontrés chez la paramécie.

EXERCICE 3

Pour avoir une idée de la taille des cellules, considérez les données suivantes : le cerveau humain pèse environ 1 kg et contient environ 10^{12} cellules.

1. Calculez la taille moyenne d'une cellule de cerveau (bien que nous sachions que leurs tailles sont très variables), en faisant l'hypothèse que chaque cellule est entièrement remplie d'eau (1 cm³ d'eau pèse 1 g).
2. Quelle serait la longueur d'un des côtés de cette cellule moyenne, en supposant que ce soit un simple cube ?
3. Si les cellules étaient étalées en une fine couche d'une seule cellule d'épaisseur, combien de pages de ce livre couvriraient-elles ?

EXERCICE 4

Une cellule bactérienne de type « coque », une cellule animale de type hépatocyte (cellule du foie) et une cellule de parenchyme végétal sont comparées du point de vue de leurs volumes. Toutes les trois sont sphériques, et leurs diamètres respectifs sont les suivants : 2 μm , 20 μm et 100 μm .

1. Calculer le volume de la cellule bactérienne et prévoir, sans faire les calculs directs, les rapports existants entre les volumes des deux autres cellules et celui de cette bactérie.
2. Prévoir également, sans faire les calculs directs, l'évolution du rapport Surface cellulaire/Volume cellulaire quand on passe d'un type de cellule à l'autre, et en tirer les conséquences physiologiques concernant les liens entre échanges avec le milieu et métabolisme cellulaire.

On donne : surface d'une sphère = $4\pi r^2$; volume d'une sphère = $4/3\pi r^3$.

TD N°2 DE BIOLOGIE CELLULAIRE

MÉTHODES D'ÉTUDE DE LA CELLULE

EXERCICE 1

Deux schémas de l'organisation générale des cellules, eucaryote et procaryote, observées en microscopie électronique vous sont proposés. Complétez les légendes.

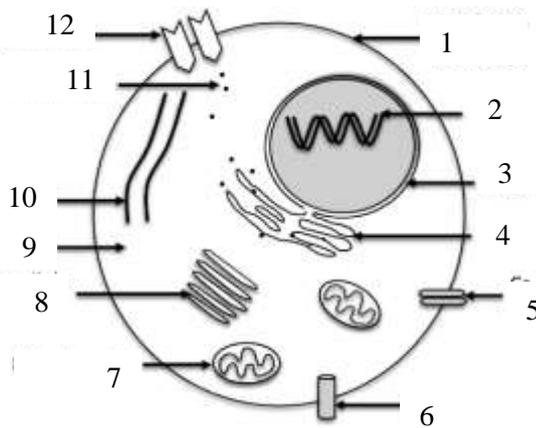


Schéma 1

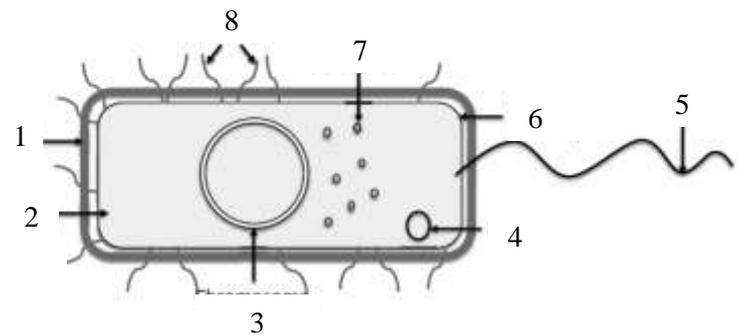


Schéma 2

EXERCICE 2

1. Décrivez ce que vous voyez sur ces trois images en dessous.
2. Quels sont les arguments qui vous amènent à conclure sur le type de microscopie ?
3. Quels organites de la cellule sont observés sur chaque image ?
4. Discutez les avantages et les inconvénients du microscope optique et du microscope électronique.
5. Comment peut-on voir dans les meilleures conditions : **a.** une cellule vivante **b.** une mitochondrie **c.** une bactérie ?



Image 1

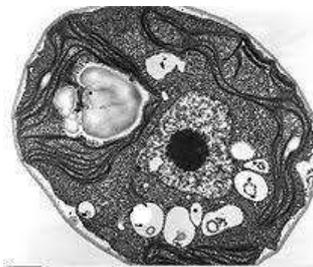


Image 2

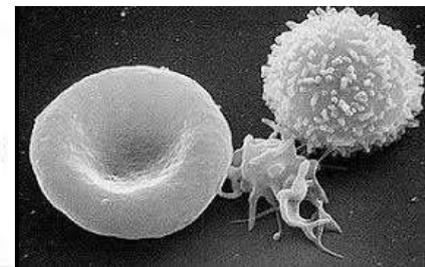


Image 3

EXERCICE 3

Des chercheurs ont réalisé un fractionnement cellulaire à partir d'un foie entier. Le foie d'un animal est récupéré et broyé dans un milieu isotonique. L'extrait de broyage est filtré et le filtrat obtenu est soumis à une première centrifugation de 1000 g. Le culot contenant essentiellement des noyaux est récupéré et le surnageant est centrifugé à 10000g. L'opération est répétée quatre fois afin d'isoler les différents composants cellulaires.

1. Pourquoi le broyage était-il effectué dans un milieu isotonique ?
2. Comment s'appelle ce type de centrifugation ?
3. Pourquoi les composants cellulaires ne sont pas tous retrouvés dans le premier culot ?
4. Connaissez-vous une autre méthode pour séparer les organites cellulaires par centrifugation ? Expliquez son principe.

EXERCICE 4

A propos de la préparation des coupes au microscope optique :

1. Remettez dans l'ordre les différentes étapes :
 - a. Inclusion
 - b. Fixation
 - c. Déshydratation
 - d. Coloration
 - e. Coupe
 - f. Réhydratation.
2. Pourquoi la déshydratation de l'échantillon se fait avant l'inclusion dans la paraffine ?
3. Après la réalisation des coupes, comment déparaffiner les échantillons ?
4. Quel est le rôle de chacune des étapes suivantes :
 - a. Inclusion
 - b. Fixation
 - c. Déshydratation.

EXERCICE 5

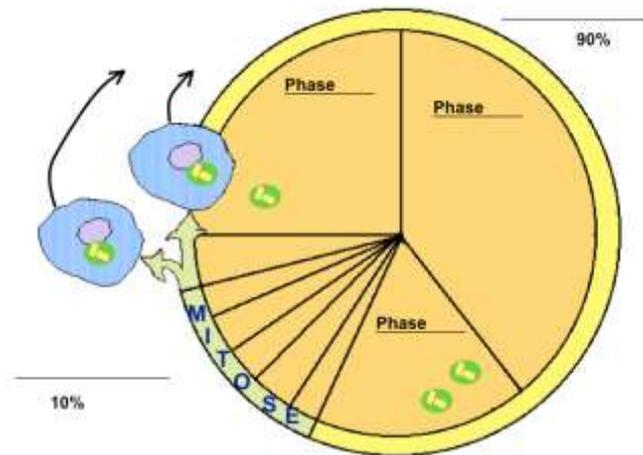
Calculez la puissance d'un microscope photonique dont le grandissement de son objectif est de 10 X et la puissance de l'oculaire est de 100 X.

TD N°3 DE BIOLOGIE CELLULAIRE

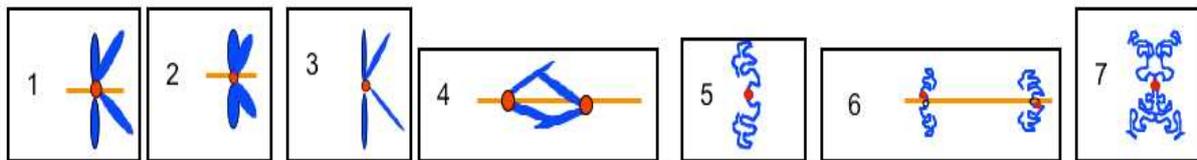
LE CYCLE CELLULAIRE ET LA DIVISION

EXERCICE 1

1. Nommez les étapes du cycle cellulaire.



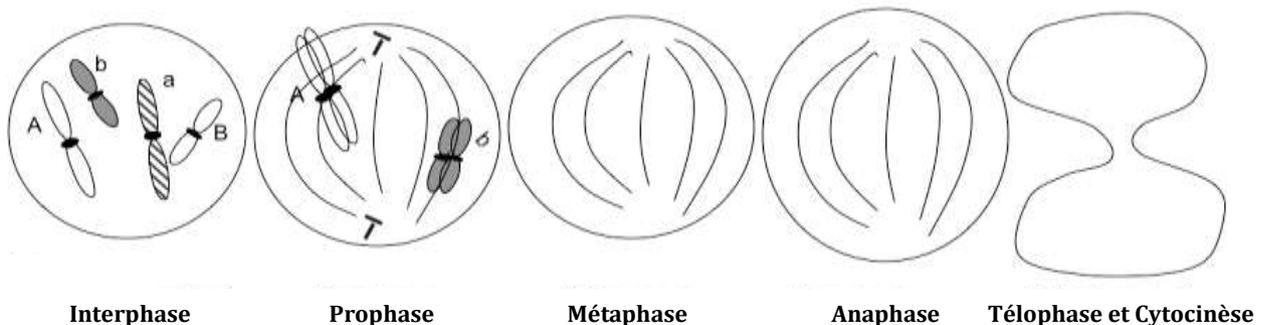
2. Servez-vous des numéros des schémas pour illustrer l'état de condensation des chromosomes à chacune des étapes. Le même numéro peut revenir.



3. Indiquez sur le schéma, le moment où une cellule peut sortir du cycle (entrer en latence).

EXERCICE 3

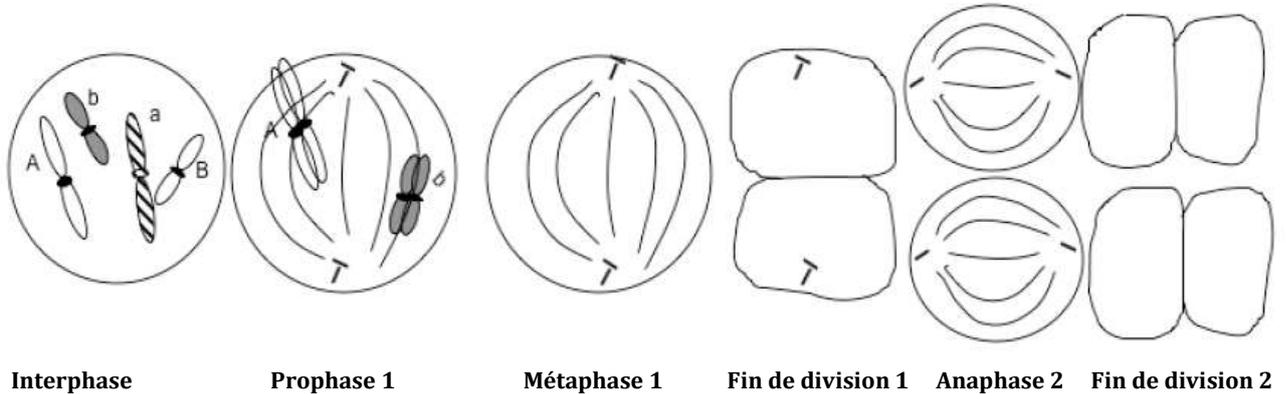
La cellule représentée ci-dessous est en division mitotique. Chaque lettre correspond à une paire de chromosomes homologues et l'emploi de la majuscule ou de la minuscule distingue les deux chromosomes de la paire :



1. Quelle est la formule chromosomique de la cellule en prophase ?
2. Complétez les chromosomes dans la cellule en prophase. Les chromosomes sont-ils dupliqués ?
3. Dessinez les chromosomes dans les autres phases.
4. Quelle est la formule chromosomique d'une des cellules filles ?
5. S'agit-il d'une cellule végétale ou animale ? Justifiez ?
6. Quelle serait la conséquence d'une mitose sans cytokinèse ou cytokinèse ? (Dédution)

EXERCICE 3

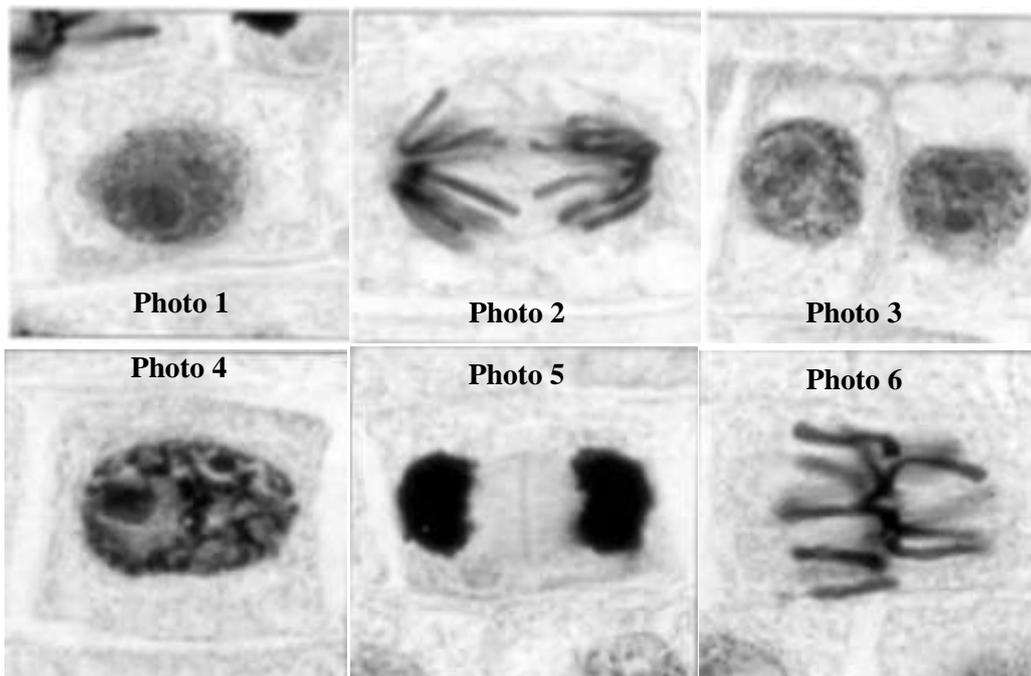
Voici la représentation schématique d'une cellule en division méiotique.



1. Complétez la prophase I en dessinant les chromosomes après leur appariement. Utilisez les lettres majuscules et minuscules pour distinguer les chromosomes.
2. Complétez la métaphase I en dessinant les deux plaques équatoriales possibles.
3. Dessinez les chromosomes dans les cellules à la fin de la division I et à la fin de la division II.

EXERCICE 4

L'observation d'une extrémité de racine au microscope optique (x 420) met en évidence des cellules d'aspects très différents (photos ci- contre).



Remplacez les photos dans l'ordre chronologique et complétez le tableau ci-dessous. (On schématisera pour $2n = 4$)

Q_{ADN} = en nombre de molécules d'ADN/cellule

On considèrera que la photo 1 est prise avant la phase S

Etape	Photo n°	Q ADN	Etapes + Justification	Schéma

Références

Références bibliographiques

1.	Daniel Robert, Brigitte Vian, 2013. Éléments de la biologie cellulaire. Ed. Doin, 448p. ISBN : 2-4070-1169-9
2.	Favro Nicole, 2011. Biologie cellulaire UE2. Ed. Hachette Supérieur, 226p. ISBN : 978-2-01-181916-1
3.	Helen Matthews , Cosetta Bertoli and Robertus de Bruin, 2022. Cell cycle control in cancer Nature Reviews Molecular Cell.
4.	Orengo, D. 2013. Fundamentos de biología molecular. Barcelona: Ed. UOC, 246p. ISBN : 9788490292402
5.	Pierre Rigo and Sandra Racano, 2021. Biologie cellulaire, Ed Dunod, 348p. ISBN 978-2-10-081915-7

Références webographiques

1.	https://www.dunod.com/sites/default/files/atoms/files/Feuilletage_34.pdf
2.	http://www.fsr.ac.ma/DOC/cours/biologie/Lahlimi%20Alami%20Qamar/COURS%20%20BC%20S1%202018.pdf
3.	https://spr.c2su.org/download/fichiers/PolyBiocell.pdf
4.	https://iast.univ-setif.dz/documents/Cours/BIOLOGIEII-CoursRattrapage-L1S1.pdf
5.	https://dspace.univguelma.dz/jspui/bitstream/123456789/628/1/COURS%20DE%20BIOLOGIE%20ELLULAIRE.pdf