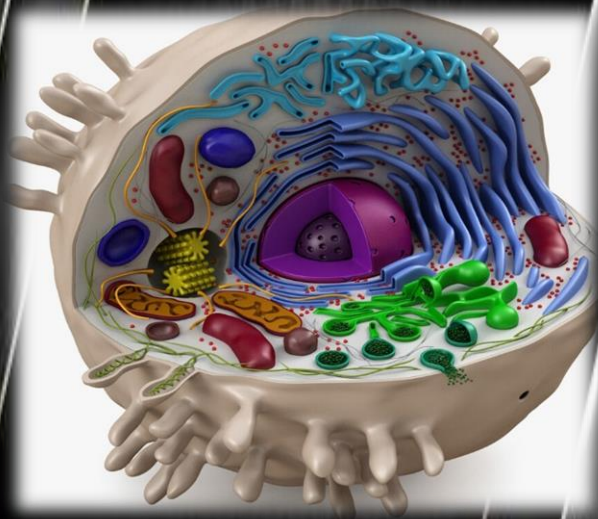
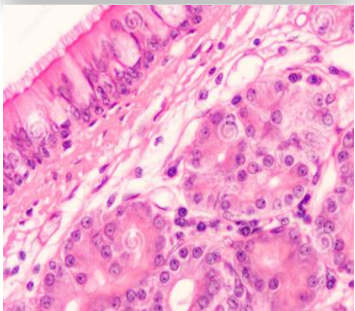


République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Larbi Ben M'hidi - Oum EL Bouaghi-
Institut des Sciences et Techniques Appliquées- ISTA-



Polycopié Edité

Biologie & physiologie cellulaire



Dr. Mosbah Camélia (MCA)

Destiné aux étudiants de 1^{ère} année licence
Filière sciences alimentaires
Spécialité : Valorisation et Qualité des Produits Agroalimentaires
(VQPA)

Février 2022



Plan Pédagogique du cours

Filière : Sciences Alimentaires

Spécialité : Valorisation et Qualité des Produits Agroalimentaires-VQPA-

Intitulé de la matière : Biologie et Physiologie Cellulaire

Niveau : 1^{ère} année Licence

Semestre : 1

Unité d'enseignement : UEF3 - Matière 2

Volume Horaire : 36 h Cours + Travaux dirigés

Coefficient de la matière : 3

Nombre de crédits : 3

Evaluation : Examen + Continu

Objectif général du cours

L'objectif général de ce cours est de permettre aux étudiants d'aborder la structure de la cellule végétale et animale, les fonctions des organites cellulaires, le fonctionnement des cellules et les principaux types de tissus.

Compétences visées

1. Identifier les organites des cellules eucaryotes et les principaux types de cellules et de tissus
2. Analyser l'organisation et le fonctionnement des cellules eucaryotes
3. Expliquer le principe des préparations courantes des échantillons destinés à l'examen microscopique des cellules et tissus et maîtriser l'utilisation d'un microscope optique.

Contenus de la matière

1. Cellule eucaryotes animale et végétale : structure et fonctions
2. Communication intercellulaire
3. Tissus animaux et végétaux : structure et fonctions
4. Tissus et cellules : technique analytiques courantes
5. La notion de base sur le cycle cellulaire et la différenciation cellulaire

Table des matières

Plan Pédagogique du cours

Objectif général du cours

Compétences visées

Contenus de la matière

Chapitre I : Généralités sur la biologie cellulaire

1.	Introduction	1
2.	La biologie cellulaire	2
3.	Notion du vivant	2

Chapitre II : Cellules procaryotes

1.	Les cellules procaryotes	5
2.	Caractéristiques des bactéries	5
2.1.	L'enveloppe	5
2.1.1.	La paroi	5
2.1.2.	La membrane cytoplasmique	6
2.1.3.	Cytoplasme	7
2.1.4.	Le chromosome	7
2.1.5.	Structures inconstantes	7

Chapitre III : Cellules eucaryotes animale et végétale

1.	Les cellules eucaryotes	10
1.1.	La membrane cytoplasmique	10
1.1.1.	Structure membranaire	10
1.1.2.	Organisation moléculaire de la membrane plasmique	11
1.1.3.	Composition chimique	11
1.1.4.	Fonctions de la membrane plasmique	14
1.1.5.	Perméabilité membranaire	14
1.1.6.	Echanges par endocytose et exocytose et phagocytose	19
1.3.	Le noyau	23
1.3.1.	Rôle du noyau	24
1.4.	Autres organites	25
2.	La cellule animale et la cellule végétale	28
3.	Comparaison structurale entre cellule animale et végétale	28

Chapitre IV : Communication intercellulaire

1.	Communication intercellulaire par des signaux chimiques	30
1.1.	Les quatre types de signalisation	30
1.1.1.	Endocrine	30
1.1.2.	Paracrine	31
1.1.3.	Dépendant du contact	32
1.1.4.	Neuronale	32
2.	Les molécules informatives et leurs récepteurs	34
2.1.	Les molécules informatives hydrosolubles	34
2.2.	Les molécules informatives liposolubles	34
2.3.	Les radicaux libres gazeux	34
3.	Les récepteurs membranaires des molécules hydrosolubles	35
3.1.	Récepteurs couplés aux protéines G (RCPG)	36
3.2.	Récepteurs enzymes (à activité enzymatique)	37
3.3.	Récepteurs canaux ioniques.	37
4.	Ponts cytoplasmiques entre cellules contiguës	38
4.1.	Les jonctions perméables (gap junctions)	39

Chapitre V : Les Tissus Animaux : Structure Et Fonction

1.	Les différents types tissulaires	43
1.1.	Le tissu épithélial	43
1.1.1.	Les épithéliums de revêtement	43
1.1.2.	Les épithéliums glandulaires	46
1.1.2.1.	Les glandes exocrines	50
1.1.2.2.	Glandes endocrines	51
1.1.2.3.	Glandes mixtes	52
1.2.	Le tissu conjonctif	52
1.2.1.	Les constituants élémentaires des tissus conjonctifs	52
1.2.1.1.	Substance fondamentale	53
1.2.1.2.	Fibres conjonctives	54
1.2.1.3.	Cellules du tissu conjonctif	55
1.2.2.	Les variétés des tissus conjonctifs	56
1.2.2.1.	Le tissu conjonctif lâche	57
1.2.2.2.	Le tissu conjonctif dense	57
1.2.2.3.	Le tissu conjonctif élastique	58
1.3.	Le tissu musculaire	58
1.3.1.	Caractéristiques fonctionnelles des muscles	58
1.3.2.	Fonctions des muscles	59
1.3.4.	Différences entre les trois types de tissu musculaire	60
1.3.4.1.	Muscle squelettique	62
1.3.4.1.1.	Mécanismes cellulaires et moléculaires de la contraction	63
1.3.4.2.	Muscle cardiaque	64
1.3.4.2.1.	Structure en microscopie	66
1.3.4.2.2.	Contraction musculaire	67
1.3.4.3.	Muscle lisse	67
1.3.4.3.1.	Fonction des muscles lisses	67
1.3.4.3.2.	Structure générale	69
1.3.4.3.3.	Mécanismes moléculaires de la contraction des cellules musculaires lisses	70
1.4	Le tissu nerveux	70
1.4.1.	Les types des cellules	70
1.4.2.	L'influx nerveux	75

Chapitre VI : Les tissus végétaux : Structure et Fonction

1.	Les tissus primaires	79
1.1.	Les méristèmes primaires	79
1.2.	Tissus de protection	82
1.3.	Les parenchymes : Tissus de remplissage	84
1.4.	Tissus de soutien	84
1.5.	Tissu conducteurs	87
2.	Tissus secondaires	92
2.1.	Méristèmes secondaires	92

Chapitre VII : Tissus et Cellules : Techniques Analytiques

I	Méthodes et techniques d'observations des cellules et les tissus	95
1.	La microscopie	95
1.1.	Les microscopes optiques (M.O)	95
1.1.1.	Types de microscopes optiques	96
1.2.	Les microscopes électroniques	97
1.2.1.	Microscope électronique à transmission (MET)	97
1.2.2.	Microscope électronique à balayage(MEB)	98
2.	Techniques de préparation des échantillons	99
2.1.	Techniques de préparation des coupes fines et ultrafine	99
2.2.	Techniques d'observation des formes et des surfaces cellulaires	101
2.2.1.	La coloration négative	101
2.2.2.	Les ombrages métalliques	102
2.2.3.	Cryofracture et cryodécapage	103
2.3.	Techniques d'observations externes de la cellule à l'échelle électronique	104
2.3.1.	Technique d'autoradiographie	104
2.4.	Techniques d'isolement des organites cellulaires	104
2.4.1.	L'homogénéisation	105
2.4.2.	Fractionnement cellulaire ou centrifugation différentielle	105
2.4.3.	La Centrifugation par gradient préformé	105
3.	L'histochimie	105
3.1.	Détection des groupes chimiques spécifiques	106
3.2.	Localisation des enzymes actives	106
3.3.	Marquage des molécules	106
4.	Les cultures cellulaires	107

Chapitre VIII : Le Cycle Cellulaire Et La Différentiation Cellulaire

1.	Rappels sur la réplication de l'ADN	110
1.1.	Les outils moléculaires de la réplication	110
1.2.	Caractéristiques de la réplication	110
2.	Le cycle cellulaire	112
2.1.	L'interphase	113
2.2.	La division cellulaire	114
2.2.1.	Mitose	115
2.2.2.	Meiose	117
3.	La différenciation cellulaire	120
3.1	La différenciation au cours du développement chez les mammifères	121

Chapitre I

Généralités sur la biologie cellulaire

1. Introduction

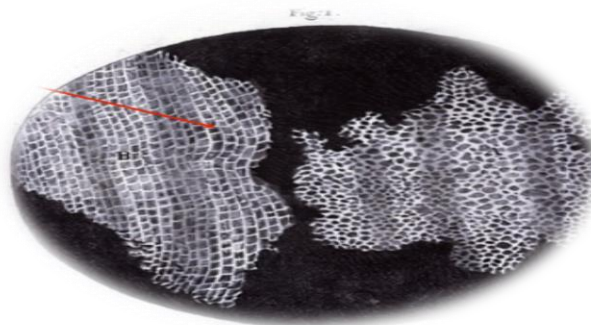
Les cellules ne peuvent pas être observées à l'œil nu en raison de leur très petite taille. Il était difficile pour les gens d'imaginer l'existence d'organismes vivants trop petits pour être vus ou de croire qu'ils pouvaient porter atteinte à des hôtes de grande taille. L'histoire de la biologie cellulaire est donc étroitement liée au perfectionnement d'un appareil optique agrandissant : le **microscope**. De manière générale, l'existence de microorganismes a été née jusqu'en 1677 lorsqu'ils furent vus et décrits par Antonie van Leeuwenhoek.



Microscope d'Antony Van Leeuwenhoek (G) et de Robert Van Hook (D)

Antony Van Leeuwenhoek (1636-1723).

Il réussit à obtenir de forts grossissements (300 X) grâce à un microscope simple composé d'une seule petite lentille presque sphérique. Il décrivait un tout nouveau monde, auparavant invisible, comprenant des "animalcules" (reconnus maintenant comme bactéries et protozoaires) dont la mobilité montrait qu'ils étaient vivants. A la même époque, en 1665, Robert Hooke, alors professeur de géométrie à Gresham collège, perfectionne un microscope inventé vraisemblablement par van Leeuwenhoek pour observer pour la première fois les cellules sur un échantillon de liège.



Robert Hooke (1635-1703).

L'étude des microorganismes (dont les bactéries) ne devint réellement accessible qu'avec le développement d'un microscope optique composé efficace vers les années 1825.

La microscopie, née avec les travaux de Hookke et de Van Leeuwenhoek s'impose progressivement pour devenir une des principales techniques d'étude de la matière vivante et permettre, trois siècles plus tard à la naissance de la biologie cellulaire en (1955).

2. La biologie cellulaire

De la théorie cellulaire est née la Biologie cellulaire. La biologie (bios== vivant et logos= étude, science) a pour objet l'étude des **êtres vivants**. Pour la biologie cellulaire ou cytologie, mot composé de deux racines étymologiques différentes ; (cyto = cellule) et (logos = étude), est définie comme **l'étude des cellules et des organites** qu'elles renferment. Il s'agit d'étudier la morphologie, la biochimie et la physiologie des cellules, autrement dit, il s'agit de comprendre les phénomènes et les mécanismes qui assurent la vie et sa pérennité.

3. Notion du vivant

C'est en 1838 et à partir de leurs observations du matériel vivant que Matthias Jakob Schleiden et Theodor Schwann vont énoncer pour la première fois le terme de cellules vivantes. Ces observations vont les conduire à émettre ce premier axome de la théorie cellulaire : « tous les organismes sont faits de petites unités : les cellules ».

Le résumé des axiomes de la théorie cellulaire était comme suit : la cellule est la plus petite portion de matière vivante qui puisse vivre isolée et aussi représente l'unité structurale et fonctionnelle commune à l'organisation de tous les êtres vivants. Comme le dit François Jacob, « avec la cellule, la biologie a trouvé son atome ».

L'organisation d'un être pluricellulaire repose sur une hiérarchie de niveaux structuraux, chacun s'édifie à partir du niveau inférieur. Les atomes s'agencent en molécules complexes qui à leur tour forment des structures fonctionnelles appelées organites, qui sont les composants **des cellules**. Chez les organismes pluricellulaires, des cellules semblables se regroupent en tissus dont les arrangements particuliers forment les organes. Ces organes s'associent en systèmes pour assurer une fonction précise afin de permettre la survie d'un organisme. Le monde vivant actuel est le résultat de processus évolutifs qui ont débutés il y a quelques milliards d'années, par la formation de molécules organiques à partir de quelques atomes de carbone, d'hydrogène et d'oxygènes. Mais une cellule n'existe pas seule : elle est indépendante de son environnement avec lequel elle interagit continuellement.

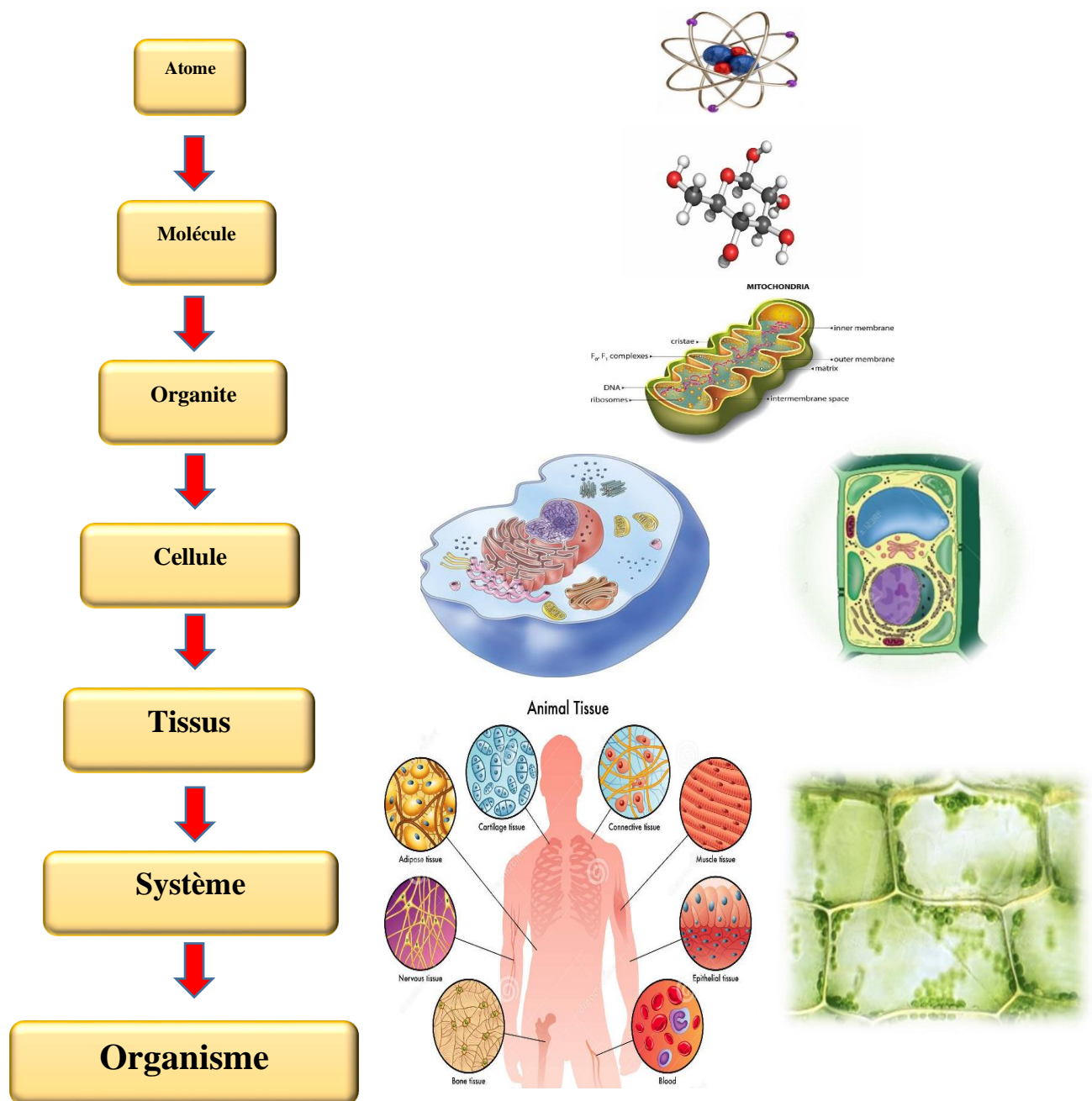


Fig.1: L'organisation du corps humain.

Chapitre II

Cellules procaryotes



1. Les cellules procaryotes

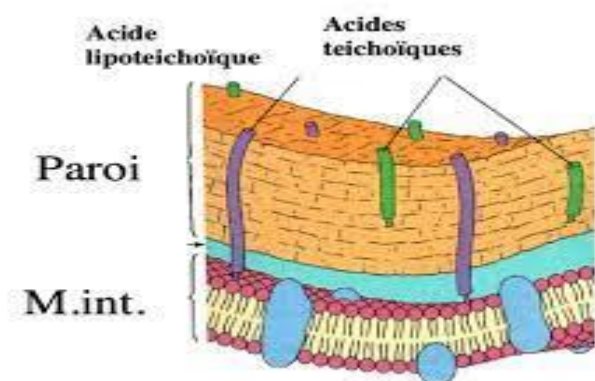
Les cellules procaryotes (pro = primitif; caryon = noyau): cellules **sans vrai noyau** c'est-à-dire que le matériel génétique **n'est pas enfermé dans une enveloppe nucléaire** et sans organites à part des replis de la membrane plasmique dits mesosomes. Les cellules procaryotes correspondent essentiellement à des organismes unicellulaires, il s'agit essentiellement des bactéries et on distingue les bactéries et les cyanobactéries.

2. Caractéristiques des bactéries

2.1. L'enveloppe

2.1.1. La paroi

C'est une enveloppe rigide assurant l'intégrité de la bactérie, donc responsable de la forme des cellules. Elle protège des variations de pression osmotique (5-20 atmosphères). Elle est absente chez les Mollicutes (Mycoplasma). En dehors des bactéries halophiles et thermophiles, la partie commune à toutes les parois bactériennes est le peptidoglycane (ou muréine), enveloppe la plus interne.



Parmi les éléments connus de la paroi il y a le peptidoglycane, c'est un hétéropolymère formé de 3 éléments :

1. une épine dorsale alternant des chaînons N-Acétyl Glucosamine - Acide N-Acétyl Muramique.
2. des chaînes latérales peptidiques formées au minimum de quatre aminoacides (par exemple L-Alanine - D-Glycine - L-Lysine - D-Alanine) toujours fixées sur l'acide muramique. L'enchaînement des aminoacides des séries D et L est une constante.
3. des ponts inter-peptidiques.

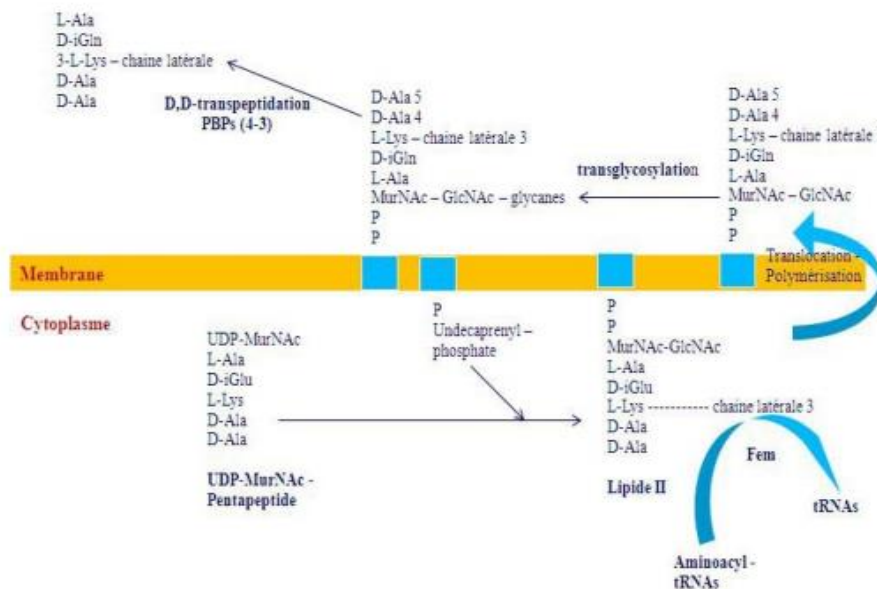


Fig.2: Le peptidoglycane

La composition variant selon l'espèce ou le groupe bactérien, il a été possible de distinguer des affinités tinctoriales différentes par la coloration : Gram + et Gram -.

2.1.2. La membrane cytoplasmique

Structure et rôle

C'est une structure interne à l'interface entre le cytoplasme et les structures externes. C'est une membrane trilamellaire dépourvue de cholestérol, formée d'une double couche de phospholipides dont les pôles hydrophobes sont face à face, associés à des protéines. Certaines protéines, les perméases, ont un rôle important dans les échanges. D'autres ont un rôle dans la synthèse du peptidoglycane et sont des protéines de liaison aux pénicillines (PLP ou PBP). D'autres protéines sont des enzymes respiratoires ou impliquées dans la production d'énergie (ATPase). La membrane cytoplasmique ne possède pas de stérols (différent des eucaryotes).

La membrane a un rôle métabolique majeur :

1. **Perméabilité sélective et transport des substances** solubles vers l'intérieur de la bactérie et le rôle de barrière osmotique et de transport grâce aux perméases.
2. Fonction **respiratoire** par transport d'électrons et de phosphorylation oxydative pour les bactéries aérobies.
3. **Excrétion d'enzymes hydrolytiques**

2.1.3. Cytoplasme

Le contenu de la cellule est diffus et granulaire, du fait des ribosomes (complexe macromoléculaire responsable de la synthèse des protéines), d'environ 15.000 ribosomes (40% du poids de la bactérie, 90% de l'ARN). Présence d'ARN solubles (ARN messager et ARN de transfert), et ARN ribosomal.

2.1.4. Le chromosome

Le chromosome des procaryotes se compose d'une molécule circulaire super enroulée occupe le centre de la bactérie. Cet emplacement porte le nom de nucléoïde (appareil nucléaire). C'est le support de l'information génétique. Il s'agit d'une formation en double hélice circulaire (parfois linéaire), surenroulée grâce aux topo-isomérases. Longueur 1 mm. Il est composé d'ADN (60%), d'ARN (30%) et de protéines (10%).

- a. ADN extra-chromosomique : il est Non indispensable à la vie de la bactérie.
- b. Plasmides : Ce sont des molécules d'ADN double brin qui se répliquent indépendamment du chromosome, qui peuvent s'intégrer à celui-ci et qui sont transmissibles. Ils sont porteurs de caractères de fertilité (Facteur F), de résistance aux antibiotiques (Facteur R), de bactériocines (plasmides Col), de virulence, de résistance aux antiseptiques, de caractères métaboliques, entre autres
- c. Eléments transposables : Ce sont des fragments d'ADN qui se déplacent dans le génome de la bactérie par transposition, d'où le nom de transposon. Le transposon est incapable de se répliquer. Les éléments transposables les plus simples sont les séquences d'insertion (IS) ayant une courte séquence d'ADN.
- d. Ribosomes : Ils sont constitués d'ARN et de protéines. Les ribosomes bactériens comprennent deux sous-unités (30S, 50S).

2.1.5. Structures inconstantes

- a. Capsules : Ce constituant inconstant est le plus superficiel. Sa mise en évidence s'effectue par coloration négative (le colorant, encre de Chine ou Nigrosine est repoussé par la capsule et apparaît en clair sur fond noir). Constitué de polysaccharides acides (sucres sous forme d'acides uroniques tel l'acide galacturonique, l'acide glucuronique, mais aussi sous forme de sucres phosphorés), ce composant est lié à certains pouvoirs pathogènes, car il empêche la phagocytose. Les polymères capsulaires purifiés sont la base de certains vaccins (*Streptococcus pneumoniae*, *Haemophilus influenzae*).

- b. Glycocalyx : Ce sont des polymères de nature polysaccharidique extrêmement fréquents entourant la bactérie et difficiles à visualiser, sauf en microscopie électronique. Le glycocalyx est aussi appelé slime car il engluie les cellules. Il est responsable de l'attachement des bactéries aux cellules (cellules buccales, respiratoires, par exemple), à des supports inertes (plaque dentaire sur l'émail dentaire, biofilms sur les cathéters, ou les prothèses dans le cas de bactéries d'intérêt médical). Il protège les bactéries du biofilm de la dessiccation, sert à concentrer ou à modifier les éléments nutritifs exogènes et rend les bactéries résistantes : antiseptiques, désinfectants, antibiotiques.
- c. Flagelles. Ce sont des structures inconstantes. Ils sont de nature protéique (flagelline), long de 6-15 μm . Ils sont ancrés dans le cytoplasme par une structure complexe. Ils ont un rôle dans la mobilité de la bactérie (implantation monotriche/polaire ou péritriche) et antigénique (utilisé) pour la différenciation des espèces bactériennes.
- d. Pili ou fimbriae : Chez les bactéries à Gram négatif (exceptionnellement à Gram positif) peuvent exister des structures fibrillaire et rigide situées à la surface, plus fines que des flagelles : les pili ou fimbriae. Il s'agit de la polymérisation d'une sous-unité polypeptidique (piline) assemblée à des polypeptides mineurs comme l'adhésine. Il existe des **Pili communs** (Ils peuvent attacher spécifiquement des bactéries à la surface de cellules eucaryotes) et **Pili sexuels** (Ils ont un rôle dans l'attachement des bactéries entre elles (conjugaison) et sont le récepteur de virus bactériens ou bactériophages spécifiques).
- e. Spore bactérienne : Certaines bactéries, entre autres d'intérêt médical (genre *Clostridium* et *Bacillus*), ont la propriété de se différencier en formes de survie appelées spores. Elles se présentent sous une forme végétative métaboliquement active et potentiellement pathogène ou métaboliquement inactive et non pathogène (forme sporulée). La transformation de la forme végétative en spore est la sporulation.

Chapitre III

Cellules eucaryotes

Animale et végétale



animal cell



plant cell

1. Les cellules eucaryotes

La Eucaryote (eu =vrai, caryon= noyau) : dont le noyau est délimité par une enveloppe nucléaire. Les Eucaryotes sont les cellules pluricellulaires des **plantes, les animaux et champignons** (leur métabolisme est aérobie) ainsi que diverses espèces unicellulaires tels que **levures, les amibes ou les paramécies**. Ils sont caractérisés par la présence d'organites intracellulaires.

Toutes les cellules eucaryotes comportent deux compartiments : Le noyau (caractérise le règne eucaryote) et le cytoplasme. Elles sont séparées du milieu extracellulaire par la membrane plasmique.

1.1. La membrane cytoplasmique

C'est une frontière entre le cytoplasme et l'environnement extracellulaire. Elle permet et régule les échanges entre les milieux intra et extracellulaires. Elle permet ainsi à la cellule d'interagir avec son environnement, son épaisseur est de 75 Å.

1.1.1. Structure membranaire

Au microscope électronique à transmission: la membrane est impossible à observer au microscope optique. Le microscope électronique à transmission permet de découvrir à faible grossissement (environ 40000 à 50000 fois), une structure simple, dense et noire.

Un grossissement plus fort ($>150000\times$) révèle une structure trilaminaire avec: deux feuillets denses (20\AA) de nature protéique entourant un feuillet clair (35\AA) de nature lipidique: Modèle de Davson et Danielli (1954). Cette structure trilaminaire s'observe aussi dans membranes internes (membrane de la mitochondrie, des plastes, du reticulum endoplasmique).

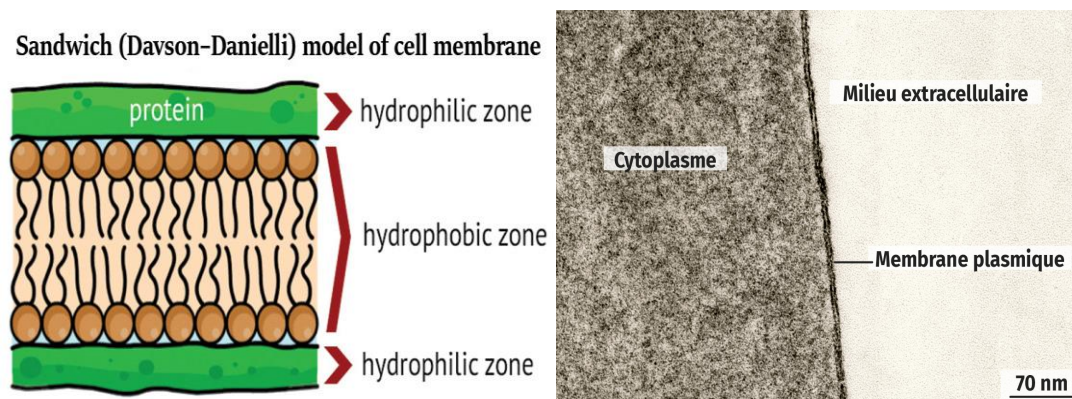


Fig.3 : structure de la membrane

1.1.2. Organisation moléculaire de la membrane plasmique

Cette **membrane** est constituée d'une bicouche lipidique et de protéines. La **structure** membranaire est stabilisée par le caractère hydrophile ou lipophile de certaines parties des molécules constitutives. La membrane plasmique se compose principalement de lipides, particulièrement de phospholipides et de cholestérol, formée d'une bicouche lipidique dans laquelle baignent des protéines intrinsèques comme le décrit le modèle de la **mosaïque fluide** établi en 1972 par Singer et Nicholson.

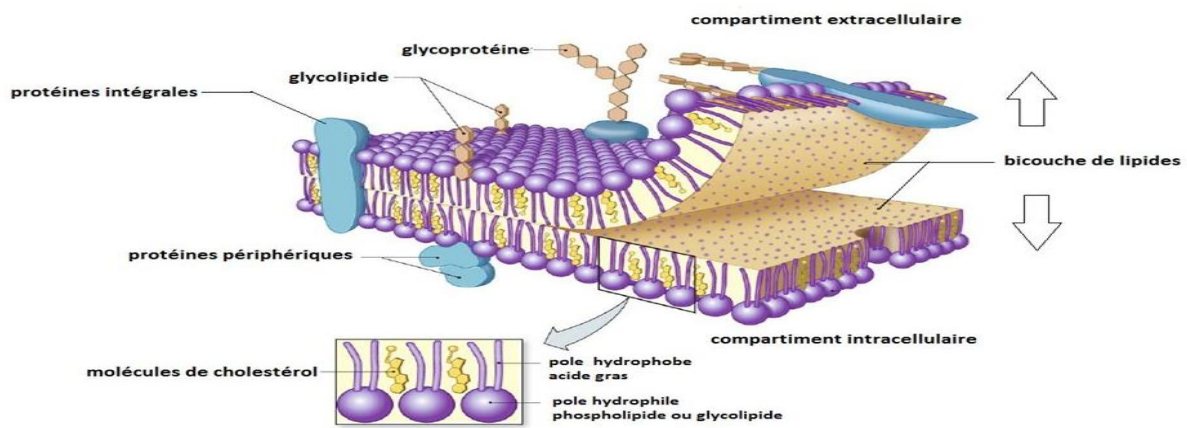


Fig.4: Organisation moléculaire de la membrane

1.1.3. Composition chimique

L'analyse chimique de la membrane plasmique montre qu'elle est formée de 60% de protéines et glycoprotéines et 40% de lipides (surtout des phospholipides). Il y a trois catégories principales de lipides membranaires : les phospholipides, les glycolipides et les stérols. Tous ces lipides sont amphiphiles : ils présentent deux pôles ; un pôle **hydrophile ou lipophile** et un pôle **hydrophobe ou lipophile**

- **Les lipides** : Les phospholipides sont des molécules amphipathiques ou amphiphiles, c'est-à-dire qu'elles manifestent un comportement ambivalent à l'égard de l'eau. En effet leurs queues, formées de glycérol et d'acides gras, sont hydrophobes. Par contre, le groupement phosphate et les molécules qui s'y rattachent forment une tête hydrophile. Parmi les phospholipides, on trouve une famille de composés appelés « lécithines » ou « phosphatidylcholines », lipides de la classe des phosphoglycérides.

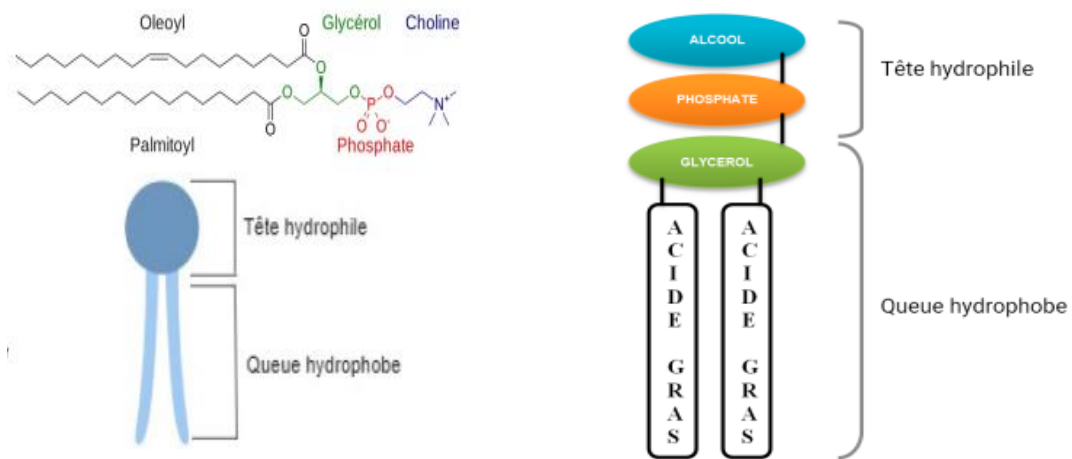


Fig.5 : Représentations schématiques de la molécule d'un phosphoglycéride.

Auto-assemblage des lipides

Les phospholipides, dus à leurs propriétés physico-chimiques, s'assemblent de manière automatique en différentes sortes de structures suivant l'environnement :

- Les **monocouches** sont des couches mono-moléculaires dont les têtes hydrophiles sont dirigées vers le milieu aqueux et les queues hydrophobes vers le milieu lipidiques.
- Les **micelles** sont des formations sous la forme de gouttelettes rondes, où dans un milieu aqueux les têtes hydrophiles sont dirigées vers l'extérieur de la sphère et les queues hydrophobes sont dirigées vers l'intérieur (dans un milieu lipidique la conformation est inverse).
- Les **bicouches phospholipidiques** permettent la formation de vésicules sphériques appelées **liposomes**. Les bicouches phospholipides rentrent dans la formation des bicouches membranaires. Pour information, les liposomes sont actuellement utilisés en thérapeutique pour encapsuler des substances médicamenteuses.

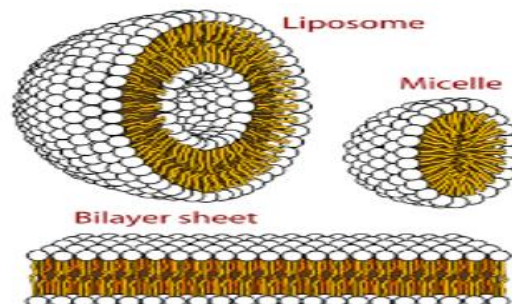


Fig.6: Différents formes de phospholipide.

- Le **cholestérol** est un lipide de la famille des stérols qui joue un rôle central dans de nombreux processus biochimiques. La molécule de cholestérol est constituée d'un squelette carboné à quatre cycles rigides et plans ayant un groupe hydroxyle – OH qui constitue la partie polaire donc hydrophile de la molécule. Cette caractéristique permet également d'avoir une molécule avec un caractère amphiphile.
- **Les protéines et les glucides membranaires**

Les protéines possèdent aussi une partie hydrophobe et une autre partie hydrophile. Les protéines membranaires sont dispersées et insérées individuellement dans la bicouche de phospholipides. Selon leur disposition on distingue :

- les protéines transmembranaires qui possèdent deux parties hydrophiles (une à l'extérieur de la cellule et l'autre à l'intérieur) et une partie hydrophobe enchâssée dans la bicouche de phospholipides.
- les protéines extra membranaires qui sont entièrement situées en dehors de la bicouche lipidique, mais unies par des liaisons faibles à un lipide qui fait partie de la bicouche.

Les protéines membranaires ont des rôles bien spécifiques au sein de la double couche phospholipidique : récepteurs de stimuli chimiques, transporteurs de substances, adhérence cellulaire, activité enzymatique, reconnaissance intercellulaire, et fixation au cytosquelette et à la matrice extracellulaire.

La grande majorité des glucides membranaires sont sous forme de **glycoprotéines** et une petite partie sous forme de glycolipides. Au niveau de la membrane³ les glucides n'existent pas à l'état libre, ils sont liés à des protéines, par des **liaisons N-glycosidiques** (le plus souvent) et des **liaisons O-glycosidiques**, sous forme de petites glycoprotéines ou de protéoglycanes.

- Les **glycoprotéines** contiennent des polysaccharides courts, souvent ramifiés et n'excédant pas 50% du poids moléculaire de la glycoprotéine. Le sucre terminal est souvent de l'acide sialique chargé négativement.
- Les **protéoglycanes** sont également des glycoprotéines, mais qui contiennent des polysaccharides à chaîne longue composée d'unités disaccharidiques répétées à l'infini, représentant jusqu'à 90% du poids moléculaire globale. Souvent un des deux sucres de l'unité est aminé, on parle alors de **glyco-amino-glycane** (ou **GAG**) dont le plus simple est l'**acide hyaluronique**.

1.1.4. Fonctions de la membrane plasmique

1. La membrane plasmique a pour rôle essentiel de séparer le contenu cellulaire de l'extérieur, tout en maintenant des échanges et des communications, de façon contrôlée.
2. La membrane plasmique permet le passage de certaines substances chimiques tout en assurant la stabilité de la composition du milieu intracellulaire. Elle autorise ou non le passage de certaines molécules et ions et en contrôle les flux entrants et sortants. Les passages à travers la membrane se font soit par diffusion passive soit par transport actif (qui nécessite un transporteur protéique et de l'énergie).
3. La membrane plasmique participe aussi à la reconnaissance de signaux et de molécules comme les neurotransmetteurs ou des hormones provenant du milieu extracellulaire, par le biais de récepteurs moléculaires spécifiques qu'elle contient.
4. Les membranes plasmiques peuvent présenter des différenciations selon la fonction de la cellule. Le pôle apical des cellules peut présenter des microvillosités (bordures en brosses) qui permettent d'augmenter la surface d'échanges (cas des cellules épithéliales intestinales pour augmenter la surface d'absorption intestinale par exemple). D'autres cellules peuvent présenter sur le pôle basal des replis membranaires (intra-digitations), c'est le cas par exemple de cellules épithéliales rénales pour des échanges d'eau et de solutés.
5. La signalisation : réception et transduction des signaux du milieu extérieur (lumière, hormone,...) ou d'autres cellules (récepteurs hormonaux, jonctions gap).
6. Procure un site pour les réactions chimiques ne pouvant pas se produire dans un environnement aqueux.
7. Les mouvements cellulaires (pseudopodes ...).

1.1.5. Perméabilité membranaire

Il s'agit du passage de l'eau et des molécules dissoutes à travers la structure membranaire.

Il y a plusieurs fondamentaux de transport :

a. Transport de l'eau

L'eau se déplace, selon la loi de l'osmose, du compartiment le moins concentré (**hypotonique**) vers le compartiment le plus concentré (**hypertonique**). Des contraintes cellulaires empêchent parfois le passage d'eau.

- L'osmose, phénomène naturel.

L'**osmose** est le passage d'un solvant (généralement de l'eau) du milieu le moins concentré en sels dissous vers le plus concentré au travers d'une membrane semi-perméable et ce, jusqu'à trouver l'équilibre entre les deux solutions (équilibre osmotique).

- L'osmose inverse

Une pression hydrostatique supérieure à la pression osmotique de la solution est appliquée mécaniquement sur la solution très concentrée en sels dissous. Le solvant (en général de l'eau) diffuse au travers la membrane semi-perméable et les sels sont retenus dans le compartiment contenant la solution la plus concentrée. Ce processus s'effectue en sens inverse du phénomène naturel. C'est la raison pour laquelle il est appelé "**osmose inverse**".

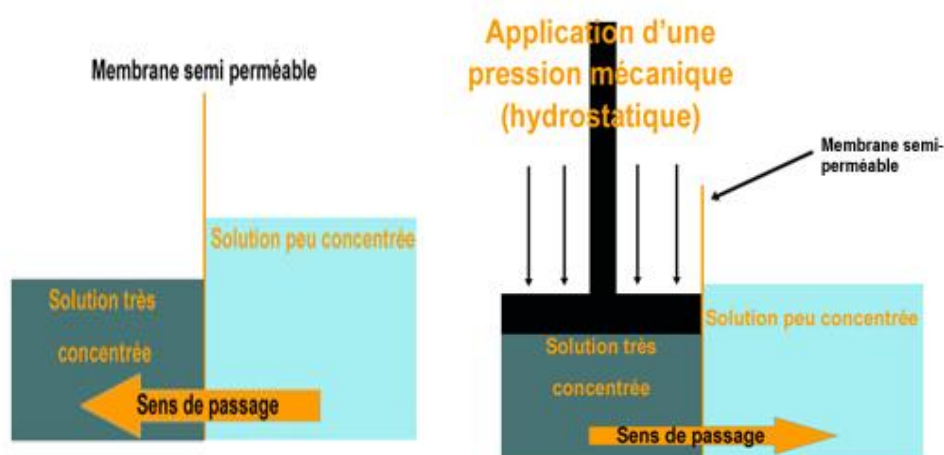


Fig.7 : Schéma d'osmose (à gauche) et osmose inverse (à droite).

b. La diffusion

La diffusion est le processus spontané au cours duquel une substance se déplace d'une région où une concentration est élevée vers une région de faible concentration c'est-à-dire selon la loi de l'osmose.

➤ La diffusion simple ou libre

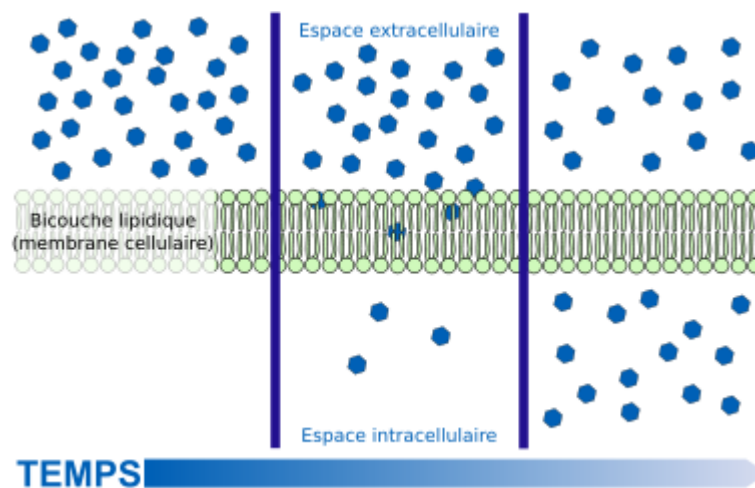
La diffusion simple est la diffusion à travers la membrane plasmique (dans le sens des concentrations fortes vers les concentrations faibles, jusqu'à l'équilibre des concentrations de part et d'autre de la membrane). La diffusion libre est un phénomène physique passif. Ce type de passage n'est possible que si la molécule est « soluble » dans la membrane phospholipidique,

C'est-à-dire qu'elle peut traverser directement la bicouche de phospholipides. La molécule doit donc être hydrophobe (apolaire) ou, si elle est hydrophile (polaire), sa charge globale doit-être nulle (en pratique : l'éthanol). La bicouche lipidique est imperméable à la diffusion simples de molécules chargées quelles que soient leurs tailles en raison de sa charge et de son haut degré d'hydratation.

Les caractéristiques de ce transport sont :

- une absence de saturation, la vitesse de diffusion dépend de la différence de concentration (gradient de concentration, ou électrochimique pour des ions) mais aussi de la taille de la protéine et de la température ;
- une absence de spécificité (il n'est pas régulé) ;
- et une certaine lenteur : les molécules doivent se dissoudre dans la double couche de phospholipides avant de passer de l'autre côté.

Ce mécanisme est lent par rapport à la diffusion facilitée.



➤ La diffusion facilitée

Il existe en biologie un transport dit de **diffusion facilitée**. Comme la diffusion libre, la différence de concentration est le moteur du transport. Cependant, la molécule ne traverse pas directement la membrane, elle doit utiliser une protéine transmembranaire de transport :

- ✓ Les protéines de canal (canaux ioniques): elles ne doivent pas changer de forme pour permettre le passage. Les protéines de canal sont très spécifique, elles ne laissent passer

qu'une ou que quelques sortes de molécules et pas d'autres, extrêmement rapide, et régulé, les protéines de canal ont la capacité de se fermer.

- ✓ Les transporteurs : ils changent de forme pour déplacer des molécules d'un côté à l'autre d'une membrane. Ce transport est similaire à celui des protéines canaux, si ce n'est qu'il est généralement moins rapide.

Ce type de transport est également saturable, et la vitesse est limitée par l'accessibilité au transporteur. La vitesse de passage est régie par l'équation de Michaelis Menten. Les perméases sont de ce type, mais aussi les transporteurs de glucose ainsi que beaucoup d'autres. Il ne dépend pas non plus de l'hydrophobicité des substances déplacées.

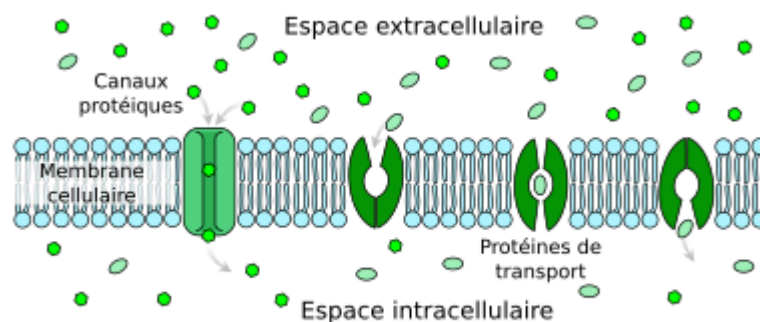


Fig.7: La diffusion par les canaux et les transporteurs

c. Transport actif

Le transport actif implique le transfert d'une molécule **contre le gradient de concentration** grâce à l'utilisation d'une protéine transmembranaire de type **pompe**. Il y a donc nécessité de fournir de **l'énergie** car ce transport n'est pas spontané.

Il est considéré comme primaire si l'énergie provient de l'hydrolyse d'un nucléotide triphosphate (Ex: ATP) ou secondaire lorsque l'énergie provient du gradient électrochimique d'un autre élément que celui transporté (on parle alors de couplage). L'énergie est fournie par le co-transport d'un soluté suivant son gradient de concentration.

Exemple: pompe Na^+/K^+ dans la cellule épithéliale de l'intestin

- Les ions Na^+ se fixent au niveau de 3 sites de la pompe ouverte vers l'intérieur de la cellule.
- L'ATP est ensuite fixée et dégradée par la pompe qui change de conformation pour s'ouvrir vers l'extérieur.
- Les Na^+ sont libérés vers l'extérieur et les K^+ occupent deux sites.
- Les 2 K^+ sont libérés à l'intérieur après le retour de la pompe à l'état de repos.

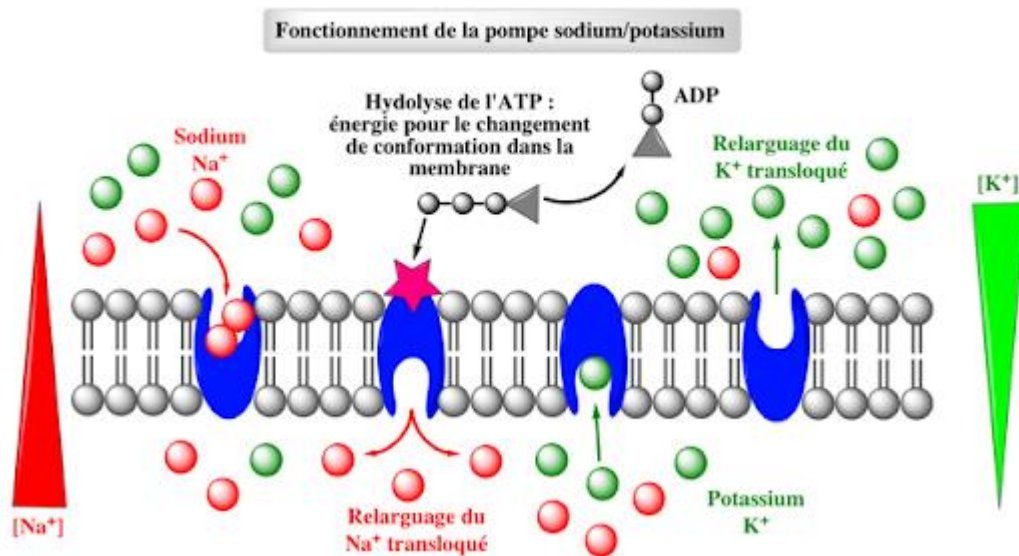
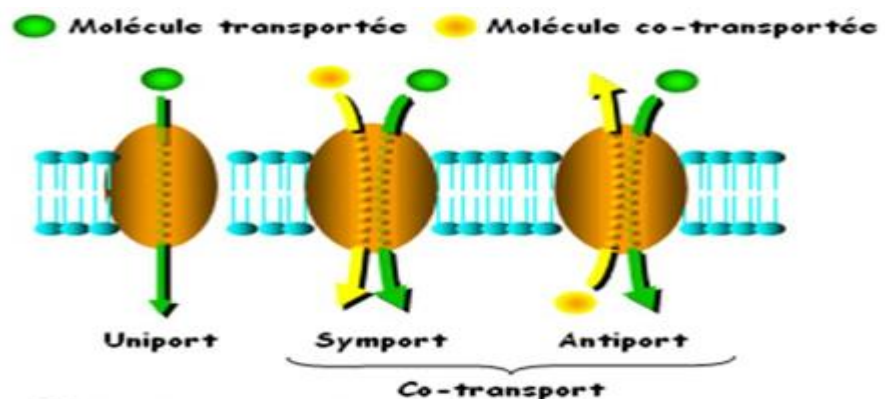


Fig.8 : Fonctionnement de la pompe sodium/potassium

Les transporteurs passifs et actifs fonctionnent selon trois système s:

- Système uniport – transport d'une molécule à travers la membrane à l'aide d'un transporteur
- Système symport – transport simultané de deux substances dans le même sens (ex. glucose et Na^+)
- Système antiport – transport simultané de deux substances dans des sens opposés (ex. Na^+/K^+).

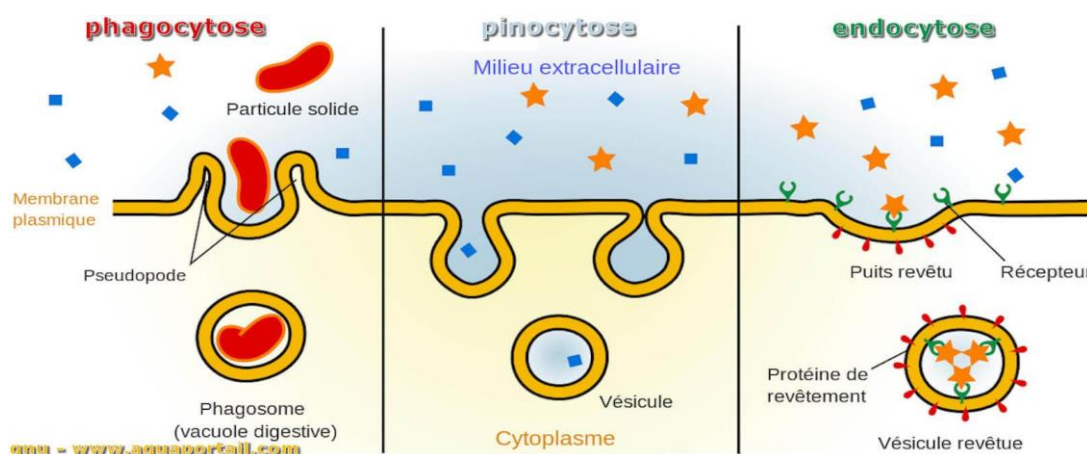


1.1.6. Echanges par endocytose et exocytose et phagocytose

Lorsque la cellule a besoin de très grosses molécules (appelée macro-molécules) et que celles-ci n'arrivent pas à passer au travers de la membrane, la cellule utilisera l'**endocytose**. À l'inverse, si la cellule doit évacuer des déchets, elle peut le faire grâce à des vésicules qui fusionnent à la membrane pour relâcher son contenu à l'extérieur de la cellule. Il s'agit là de l'**exocytose**, soit l'inverse de l'endocytose.

On distingue deux processus d'endocytoses :

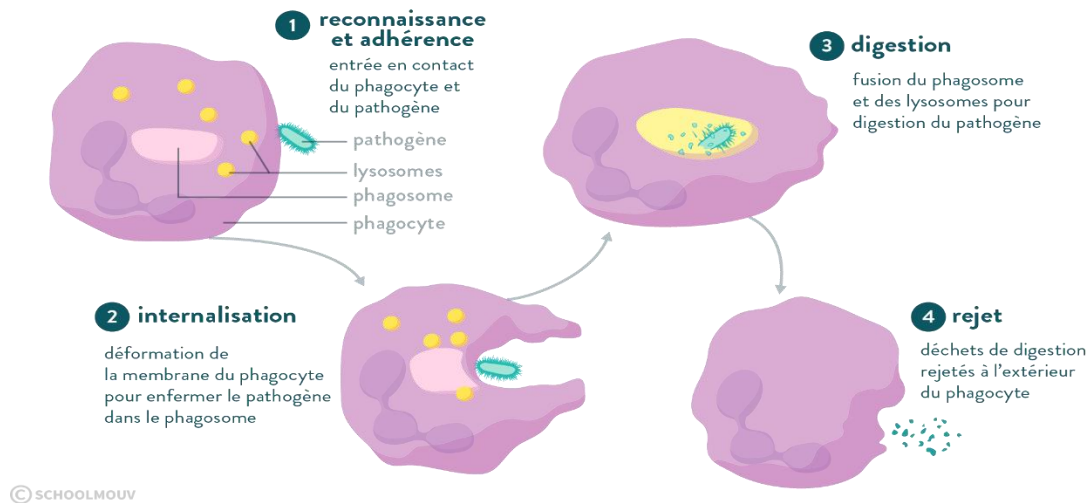
- **la pinocytose** (au sens étymologique, la «boisson» de la cellule), qui est l'ingestion de fluides ou de macromolécules, au moyen de petites vésicules de diamètre autour de 150 nm.
- **la phagocytose** est un processus mis en œuvre par des cellules immunitaires spécialisées (polynucléaires neutrophiles, macrophages, cellules dendritiques) pour internaliser des micro-organismes et des cellules apoptotiques. C'est l'absorption de grosses particules ou de cellules, au moyen de vésicules de diamètre toujours supérieur à 250 nm, et pouvant même atteindre plusieurs μm : les phagosomes (l'alimentation» de la cellule).



Il y a une forme de pinocytose non spécifique qui permet d'ingérer de l'eau et des solutés sans concentration: c'est la pinocytose en vrac ou pinocytose en phase liquide.

Par contre, la pinocytose dépendante de la clathrine (réseau de protéines hexagonales) commence par l'invagination de disques épaissis de la membrane plasmique appelés «puits recouverts». Ces zones sont recouvertes, sur leur face cytoplasmique par un clathrine. Les protéines formant ce réseau sont appelées triskelions.

Lors de la phagocytose d'une bactérie, par exemple, les anticorps se lient à la surface des bactéries infectieuses en laissant une région exposée à l'extérieur. Ces régions seront reconnues et liées aux récepteurs dans la membrane des macrophages et des neutrophiles. Cette liaison déclenche la formation de pseudopodes qui engouffrent la particule et fusionnent à leur extrémité (à la manière d'une fermeture éclair) pour former un phagosome.



9.Fig: le phénomène de la phagocytose

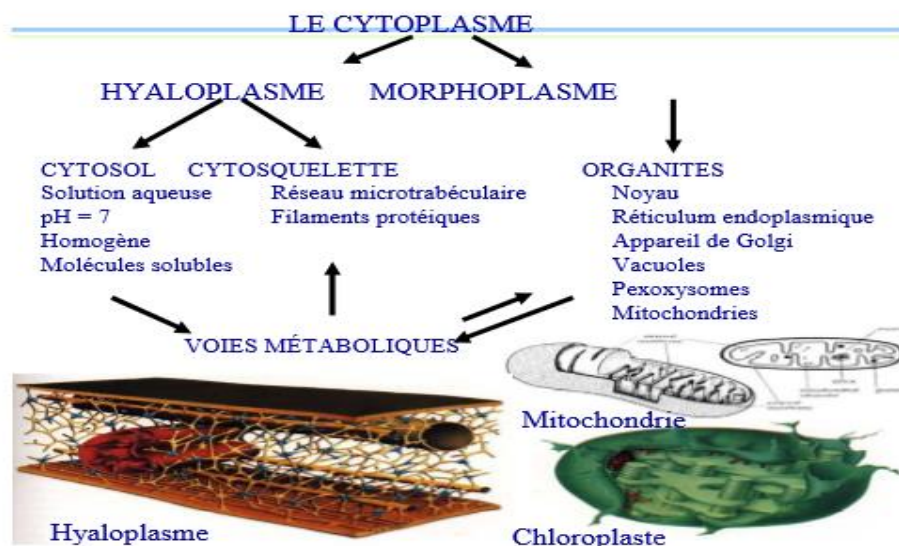
1.2. Le hyaloplasme

C'est la substance fondamentale de la cellule dans laquelle baignent les organites. Il représente 50 à 60% du volume cellulaire. Le hyaloplasme avec les organites (sans le noyau) constituent le cytoplasme. Il comprend une solution aqueuse complexe c'est le **cytosol** (Cyto: cellule, Sol: solution) qui représente la dernière fraction obtenue par ultracentrifugation différentielle et le **cytosquelette** (Un réseau de filaments protéiques).

L'**hyaloplasme** est constitué essentiellement d'eau (85%) et de protéines, on y trouve aussi des substances diverses qu'on peut classer en deux catégories :

- * Substances solubles dans l'eau : Protéines enzymatiques qui servent à l'édification des organites et ARNr, ARNm et ARNt (10 à 20% de l' ARN total) et les sucres ,acides aminées, nucléotides, composés métaboliques et des ions variés.

- * Substances insolubles dans l'eau: protéines de structure, et substances de réserves(triglycérides et glycogène).



Trois réseaux sont identifiables au microscope électronique et en immunofluorescence chez les cellules animales :

- Microfilaments d'actine (le soutien hyaloplasmique comme dans les microvillosités de la cellule intestinale, mouvements amiboïdes, cyclose dans la cellule végétale)
- Microtubules (Constitution des Centrioles, des cils et flagelles, Constitution des faisceaux de division, Orientation des mouvements cytoplasmiques).
- Filaments intermédiaires (ont un rôle de soutien cytoplasmique, en particulier au niveau des jonctions intercellulaires comme les desmosomes). Les cellules végétales sont dépourvues de filaments intermédiaires.

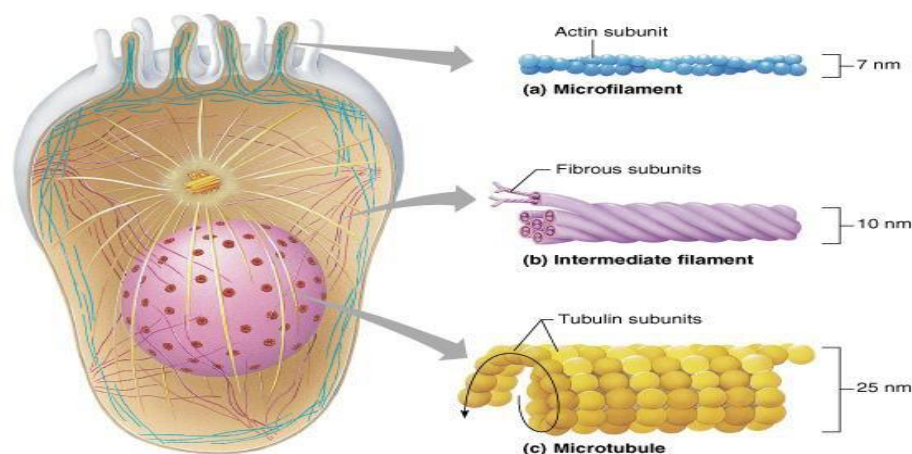


Fig.10 : Différents réseaux de hyaloplasme

Le cytosol est un milieu aqueux riche en enzymes et des millions de substrats, ces derniers subissent des modifications en chaîne constituant des **voies métaboliques**.

1.3. Le noyau

Organite central et vital de toute cellule vivante, séparé du reste de la cellule par une membrane nucléaire qui ne s'efface que pendant les **mitoses**. C'est le noyau qui contient les chromosomes, porteurs des caractères héréditaires, et sa présence est indispensable à la survie prolongée de la cellule. Le noyau cellulaire se compose de la chromatine mais aussi du nucléole, du nucléoplasme et enfin d'une membrane nucléaire qui le sépare du reste de la cellule.

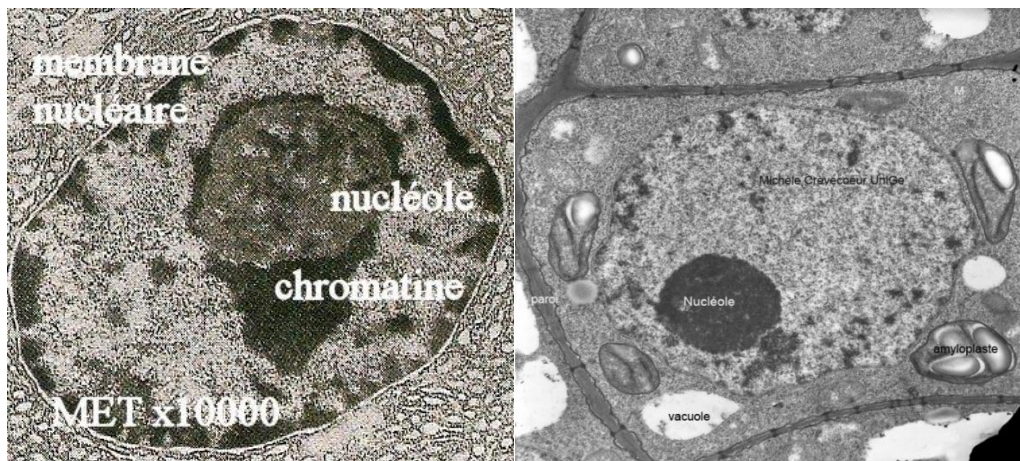


Fig.11: Observation d'un noyau de cellule animale au microscope électronique (à gauche) et de micrographies de cellules végétales au microscope électronique à transmission (à droite)

Les principales structures du noyau interphasique sont :

- a. **L'enveloppe nucléaire** : c'est une double membrane en continuité avec le réticulum endoplasmique. Elle est interrompue par endroits par des passages appelés pores nucléaires. Les pores ne sont pas de simples trous. C'est une structure organisée comprenant environ 500 protéines disposées selon une symétrie d'ordre 8. Elle comprend un anneau cytoplasmique lié à des filaments, un anneau intermédiaire et un anneau nucléaire associé à un panier. Ces pores servent à réguler les échanges entre le cytoplasme et le noyau. La face interne de l'enveloppe nucléaire est tapissée par une couche protéique filamenteuse de 10 à 20 nm d'épaisseur : la lamina. Elle donne au noyau sa forme et sert aussi à reconstituer l'enveloppe nucléaire après la mitose.
- b. **Le nucléoplasme** : c'est la substance fondamentale du noyau formée par une matrice gélatineuse contenant des ions, des protéines, des enzymes et des nucléotides. Elle assure une continuité entre les divers constituants moléculaires du noyau.

- c. **La chromatine** : c'est la forme sous laquelle se présente le matériel génétique pendant l'interphase. Elle comprend une forme très condensée inactive appelée hétérochromatine et une forme lâche et diffuse appelée euchromatine. La structure et l'organisation de la chromatine sera développée dans le chapitre du cycle cellulaire
- d. **Le nucléole** : est une structure dense, bien individualisée et de forme sphérique. Il n'est pas entouré d'une membrane lipidique. Au microscope électronique, le nucléole montre plusieurs structures formées de 3 zones :
- un centre fibrillaire correspondant aux organisateurs nucléolaires qui expriment les ARNr
 - une zone fibrillaire dense qui correspond à la partie active du nucléole contenant les ARN.
 - Une zone granulaire constituée de particules de 15 à 25 nm. C'est la zone de stockage des pré-ribosomes.

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

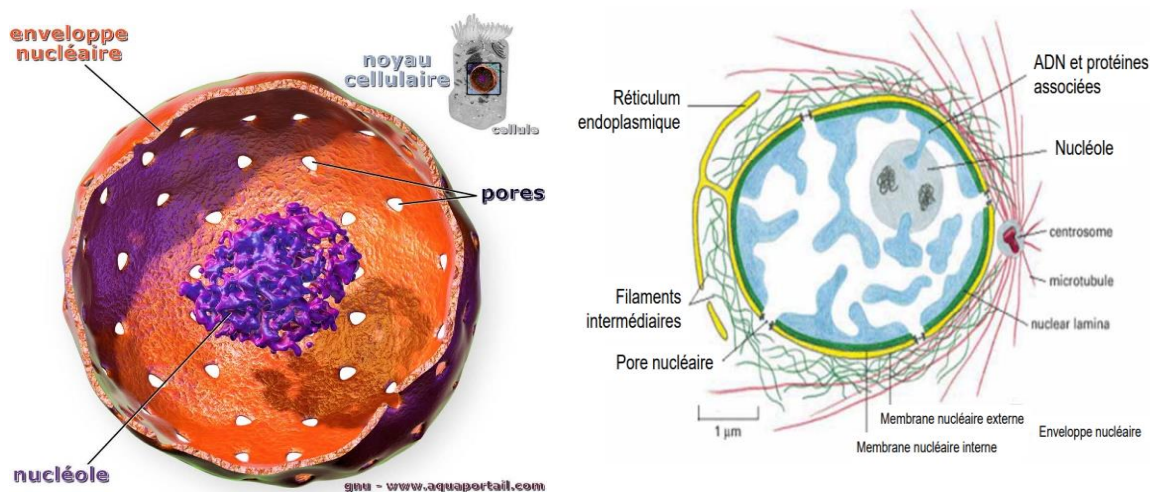


Fig. 12: Différentes structures du noyau.

1.3.1. Rôle du noyau

➤ Un rôle de soutien

Le noyau sert de support à l'enveloppe nucléaire. En effet, les lamines (protéines organisées en maille perpendiculaire) forment une structure qui soutient la membrane nucléaire en périphérie du noyau. La membrane nucléaire sépare la cellule du noyau, berceau de notre génome.

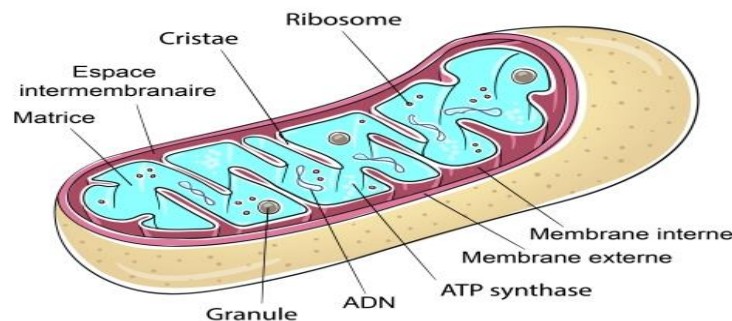
➤ **Le noyau, siège du programme génétique**

Le noyau est le lieu de la synthèse d'ADN (réalisée au cours de la réplication pour la division cellulaire) et d'ARN (pour la transcription). Le noyau détient également le nucléole, lieu de la transcription des ARN ribosomiques.

1.4. Autres organites

1.4.1. Les mitochondries

Les mitochondries sont des organites cellulaires dont l'ensemble constitue le chondriome, et qui sont impliqués dans les conversions énergétiques résultant de la respiration cellulaire. Au cours de ce phénomène, l'énergie libérée par l'oxydation des substrats organiques est mise en réserve sous forme d'un composé à potentiel énergétique élevé, l'ATP, par phosphorylation de l'ADP. La phosphorylation est couplée à l'oxydation, le phénomène est donc décrit sous le nom de phosphorylation oxydative.



➤ **Origine évolutive des mitochondries**

Les mitochondries sont des organites cytoplasmique limité par deux membranes. On en compte environ 1000 par cellule chez l'Homme. Ses fonctions principales sont :

- la production d'énergie
- le stockage d'énergie (sous forme d'ATP) C'est le fruit d'une coopération biologique performante entre la cellule eucaryote et ses mitochondries qui apportent l'énergie nécessaire aux biosynthèses.

➤ **Fonctions et activités**

La mitochondrie joue un rôle de la production d'énergie sous forme d'ATP, la synthèse d'hormones stéroïdes, l'apoptose, l'homéostasie calcique et la thermorégulation.

➤ **Structure et constitution**

Les mitochondries constituent généralement de 65% H₂O, 20% Protéines, Lipides à 10%, Nucléotides à 1%, Cations, Vitamines A et C. Elles sont délimitées par deux membranes:

externe (relativement plane et lisse) et interne (fortement plissée). Elles sont formées d'une bicouche lipidique et de protéines. Entre les deux, l'espace intermembranaire (ou chambre externe) de 6 à 8 nm d'épaisseur. L'espace circonscrit par la membrane interne constitue l'espace matriciel (ou chambre interne) renfermant la matrice.

a. La membrane externe

Est une bicouche lipidique de 5 à 7nm d'épaisseur, elle a une composition proche de celle de la membrane plasmique, comporte 60% de protéines et 40% de lipides (principalement phospholipides insaturés et un peu de cholestérol). Elle possède des protéines de transport mais également des enzymes et des récepteurs protéiques (pour la reconnaissance et l'importation de protéines dans les mitochondries). Cette membrane est assez proche, dans sa composition, des membranes du réticulum endoplasmique (en particulier elle contient des enzymes impliquées dans le métabolisme des lipides).

La membrane mitochondriale externe se caractérise par une forte perméabilité due à la présence de protéines à plusieurs domaines transmembranaires, les porines (appartenant à la catégorie des "conductines" ou "protéines tunnel". Chaque porine définit un canal aqueux traversant la bicouche lipidique et laissant passer toutes les molécules de masse moléculaire égale ou inférieure à 7KDa.

b. La membrane interne

Est une bicouche lipidique de 5 à 6 nm, possède une organisation très différente de celle de la membrane externe, Elle émet des invaginations qu'on appelle les crêtes mitochondriales qui augmentent la surface d'échange entre le milieu extérieur et l'intérieur de la mitochondrie (la matrice). La forme de ces crêtes peut varier suivant l'espèce, les crêtes tubulaires étant les plus répandues, il existe aussi des crêtes vésiculaires. Elle comporte 75% de protéines pour seulement 25% de lipides. On trouve des protéines de trois types : les protéines de transport de molécules (comme les perméases), des protéines de

transport d'électrons (pour oxydoréduction de la chaîne respiratoire), et des enzymes et complexes enzymatiques (en particulier l'ATP Synthétase). Contient aussi des translocases (Translocase of the Inner Membrane, TIM),

impliquées dans l'import des protéines. Comporte également des protéines de découplage ou UCP (UnCoupling Protein) qui assurent le transport des protons H^+ de l'espace inter membranaire vers la matrice. A une Faible fluidité (passage actif).

c. La chambre interne (espace matriciel)

Elle occupe la chambre interne, et est finement granuleuse et légèrement dense en microscopie électronique. Fluide dense contenant des polynucléotides (ADN et ARN) et des nucléotides phosphates (ADP, ATP). On trouve également de petits ribosomes qu'on appelle mitoribosomes. On trouve des réserves sous formes de granules (les phosphates calciques). On y met aussi en évidence de très nombreuses protéines (la concentration en protéines est de 500 mg/ml dans la matrice) dont une centaine d'enzymes et coenzymes :

Des enzymes d'oxydation, des enzymes intervenant dans les phénomènes de réplication, de transcription, et de traduction du matériel génétique, le coenzyme A, une petite molécule (dérivée d'une vitamine du groupe B) qui intervient dans le transfert enzymatique des groupements acyle (A signifie "acétylation"). Enfin, des ions Mg^{++} et Ca^{++} (20 à 50% du calcium cellulaire est stocké dans les mitochondries).

d. La chambre externe (espace intermembranaire)

C'est un espace d'une épaisseur de 4 à 7 nm dense, il contient des protons H^+ jouant rôle dans la phosphorylation. On y met en évidence des enzymes de type kinases, qui catalysent la phosphorylation de diverses molécules. On note en particulier la présence d'adényl-kinases qui catalysent la phosphorylation de l'AMP en ADP suivant la réaction : $AMP + ATP \Rightarrow 2 ADP$. Possède également des molécules de cytochrome c jouant rôle dans l'apoptose et des molécules inférieures à 10 Kda et des composants impliqués dans l'apoptose.

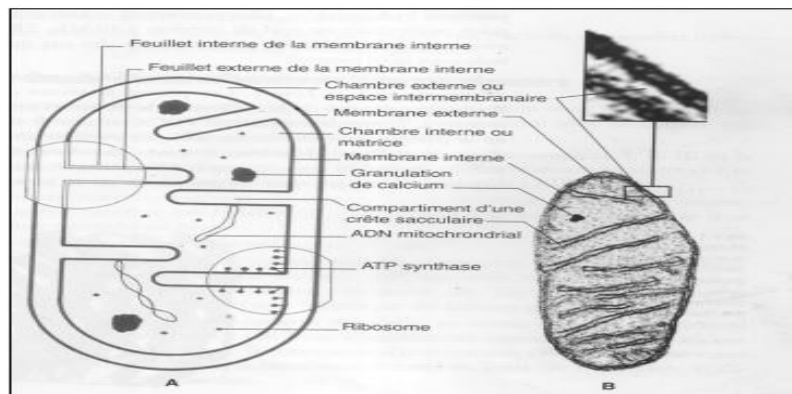


Fig.13 : Représentation schématique de la mitochondrie.

2. La cellule animale et la cellule végétale

Il existe plusieurs sortes de cellules animales (les gamètes, les globules blancs, les globules rouges, les neurones, les cellules musculaires, les cellules épithéliales ...). On attribue à ces cellules des noms différents selon la fonction qu'elles assurent dans l'organisme. Voici quelques exemples de cellules animales.

La cellule végétale est à la base de tous les organismes végétaux. Elle se distingue de la cellule animale par quelques caractéristiques.

3. Comparaison structurale entre cellule animale et végétale :

La cellule végétale et la cellule animale peuvent être différenciées par la présence d'organites en elles. Bien que les deux soient classés comme eucaryotes, la présence de **la paroi cellulaire**, **des vacuoles** et **des chloroplastes** sont les composants les plus remarquables et les plus distinctifs des cellules végétales qui sont absentes dans les cellules animales.

La taille de la cellule animale est plus petite que celle de la cellule végétale. Les cellules existent dans une étonnante variété de tailles et de formes. De même, chez les êtres vivants, les cellules individuelles qui forment le corps peuvent croître, se reproduire, traiter l'information et répondre aux stimuli. Malgré les différences entre les différents types de cellules, qu'il s'agisse de cellules végétales ou animales, unicellulaires ou pluricellulaires, elles partagent toutes certaines caractéristiques communes et exécutent des processus différents et complexes de la même manière.

Critères	Cellule animale	Cellule végétale
Taille	Petite : 20-50 μm	Grande : 50-100 μm
Aspect	Circulaire	Rectangulaire
Paroi cellulaire	Non	Paroi cellulosique
Vacuole	Une ou plusieurs mais petites	Une seule, centrale et grande

Centriole	Oui	Non
Chloroplaste	Non	Oui
Plasmodesme	Non	Oui
Glyoxysome	Non	Oui
Nutrition	Hétérotrophe	Autotrophe
Lysosome	Oui	Non

Chapitre IV

Communication intercellulaire

1. Communication intercellulaire par des signaux chimiques

La communication intercellulaire est l'une des caractéristiques des organismes pluricellulaires. Généralement, la cellule qui envoie **le message** produit un type particulier de **molécule de signalisation** qui est détectée par **la cellule cible**. Les cellules cibles possèdent des protéines réceptrices qui reconnaissent la molécule de signalisation et y répondent de manière spécifique. **La transduction du signal** commence quand la cellule cible reçoit un signal extracellulaire et le convertit en signaux intracellulaires qui modifient le comportement de la cellule.

1.1. Les quatre types de signalisation

On peut classer ces modes de communication en fonction de la distance qui sépare la cellule émettrice du signal de la cellule cible. De la distance la plus longue à la plus courte on trouve:

1.1.1. Endocrine

- **Les molécules de signalisation** peuvent être : des protéines, des peptides, des acides aminés, des nucléotides, des stéroïdes, des dérivés d'acides gras et même des gaz dissous – mais elles s'appuient seulement sur un petit nombre de mécanismes de base pour faire passer le message.
- Dans les organismes pluricellulaires, le système de communication le plus utilisé consiste à envoyer des signaux dans tout le corps en les sécrétant dans **le courant sanguin** (pour les animaux) ou **la sève** (pour les plantes). Les molécules de signalisation utilisées de cette manière sont appelées **hormones** et, chez les animaux, les cellules qui les produisent sont appelées **cellules endocrines**. Le meilleur exemple est la régulation glucidique, une glande endocrine qui sécrète l'insuline, une hormone qui assure la captation du glucose par les cellules dans tout l'organisme.

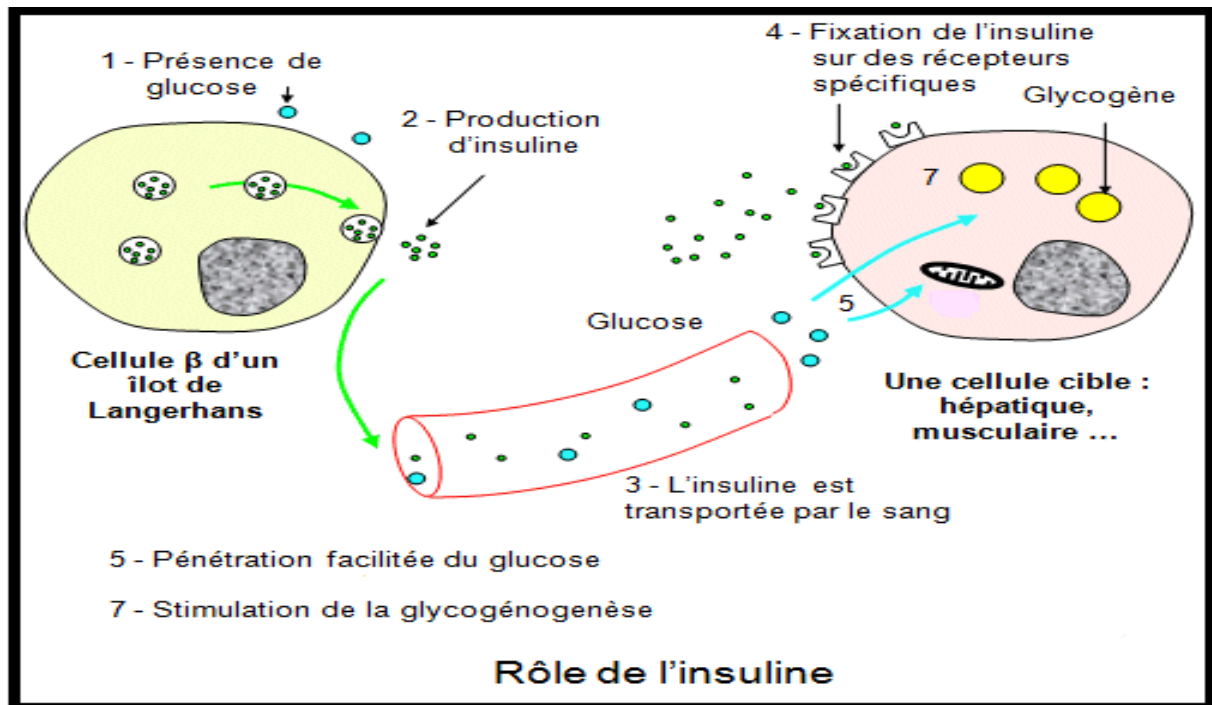


Fig.14: Signalisation endocrinienne : cas de l'insuline

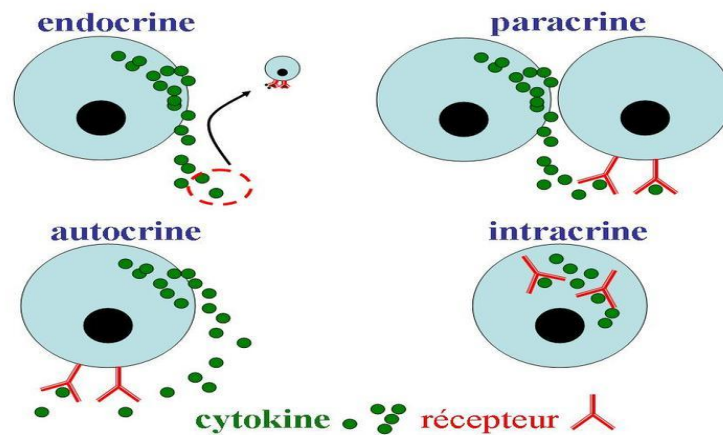
1.1.2. Paracrine

Les molécules de signalisation **n'entrent pas dans le courant sanguin**, mais diffusent localement, à travers le milieu extracellulaire, restant au voisinage des cellules qui les ont sécrétées. Elles agissent comme **des médiateurs locaux** sur les cellules voisines. Parmi les molécules de signalisation qui contrôlent **l'inflammation sur le site d'une infection**, ou contrôlent **la prolifération cellulaire d'une blessure en train de cicatriser**, beaucoup agissent de cette manière.

Dans certains cas, les cellules peuvent répondre à des médiateurs locaux qu'elles produisent elles-mêmes, c'est une forme de **communication paracrine appelée signalisation autocrine**. De cette manière, les cellules cancéreuses favorisent parfois leur propre survie ou leur prolifération.

La communication **intracrine** est un mode de signalisation cellulaire impliquant des messagers chimiques (hormones, cytokines) qui agissent à l'intérieur même de la cellule où ils ont été synthétisés et non à travers des récepteurs situés à la surface de la cellule.

Les hormones stéroïdiennes agissent ainsi à travers des récepteurs intracellulaires (essentiellement nucléaires) et peuvent ainsi être considérés comme des messagers intracrines.



1.1.3. Dépendant du contact

Dans la signalisation dépendant du contact, une molécule de signalisation à la surface d'une cellule se lie à un récepteur protéique sur la cellule adjacente (juxtacrine = par contact direct). Les mêmes types de molécules de signalisation peuvent être utilisés pour la signalisation endocrine, paracrine et neuronale. Les principales différences tiennent à la vitesse et la sélectivité avec laquelle elles délivrent leur message à leurs cibles.

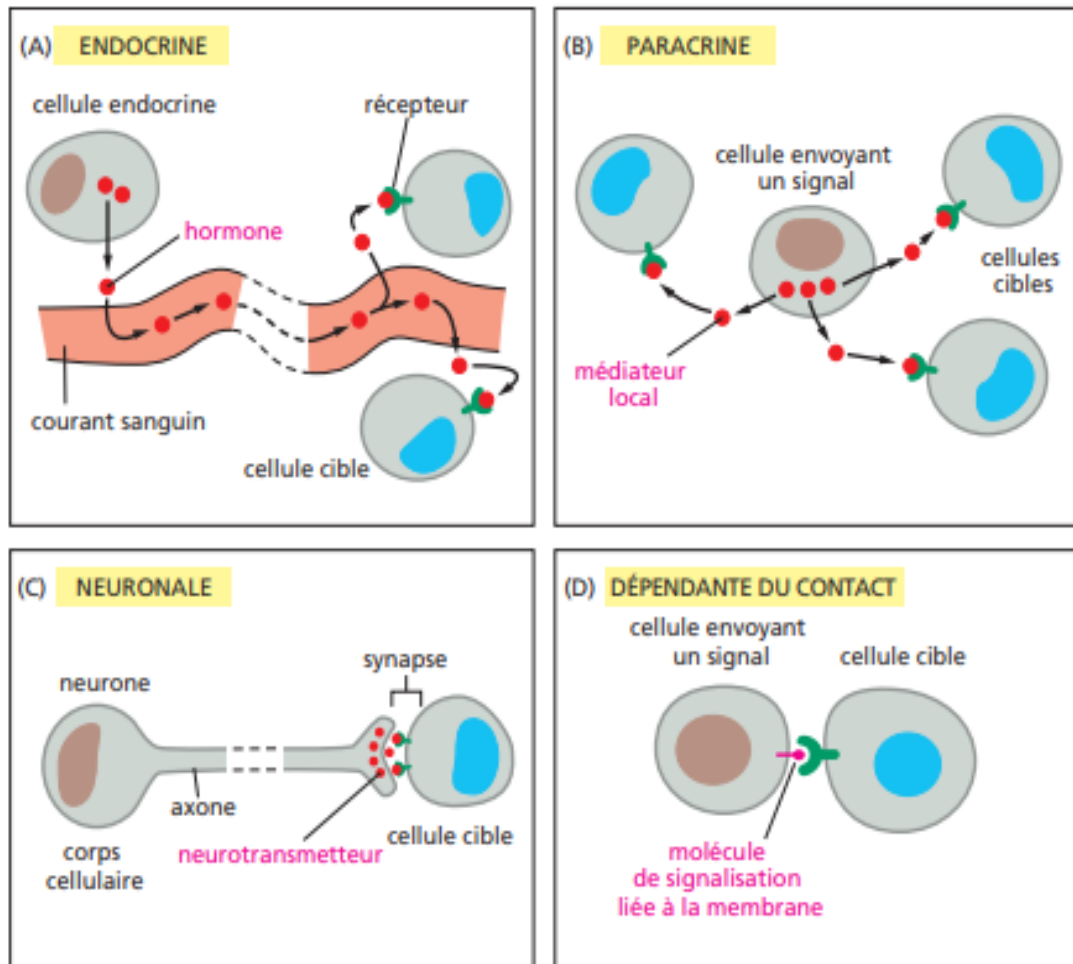
Le plus discret et celui qui voyage **le moins loin**, ne nécessite pas la libération d'une molécule sécrétée. Au contraire, les cellules entrent **directement** en contact par l'intermédiaire de **molécules de signalisation qui font partie de la membrane plasmique de la cellule émettrice et de récepteurs protéiques inclus dans la membrane plasmique de la cellule cible**. Au cours du développement embryonnaire, par exemple, ce type de signalisation par contact permet à des cellules adjacentes, initialement semblables, de se spécialiser pour donner des types cellulaires différents.

1.1.4. Neuronale

Dans le cas de la signalisation neuronale, le message n'est pas diffusé très largement, mais délivré **très rapidement** et de manière spécifique par une ligne privée, à **une cellule cible particulière** : l'axone d'un neurone se termine au niveau de jonctions spécialisées (**synapses**), sur des cellules cibles qui se trouvent loin du corps cellulaire du neurone.

Les axones qui relient la moelle épinière d'un individu et son gros orteil, par exemple, peuvent avoir plus de 1 m de long. Quand il est activé par des signaux provenant de l'environnement ou d'autres cellules nerveuses, un neurone envoie des signaux électriques qui courent le long de son axone à une vitesse qui peut atteindre 100 m/s. Quand ils atteignent l'extrémité de l'axone, ces signaux sont convertis en une forme chimique : chaque impulsion électrique stimule la

libération pulsatile, par la terminaison nerveuse, d'un signal chimique extracellulaire, appelé **neurotransmetteur**. Ces neurotransmetteurs diffusent ensuite entre la membrane terminale de l'axone et la membrane de la cellule cible.



2. Les molécules informatives et leurs récepteurs

Une molécule informative est une molécule chimique synthétisée et sécrétée par une cellule dite sécrétrice et qui agit sur une autre cellule dite réceptrice (cible) en interagissant avec des molécules spécifiques. La communication intercellulaire fait intervenir trois principaux types de signaux chimiques :

2.1. Les molécules informatives hydrosolubles : Elles agissent grâce à des récepteurs spécifiques situés au niveau de la membrane plasmique de la cellule cible. C'est le cas des neurotransmetteurs, des cytokines, des hormones peptidiques (facteur de croissance).

Caractéristiques :

- Elles ne peuvent pas traverser la bicouche lipidique de la membrane plasmique.
- Elles agissent grâce à des récepteurs spécifiques situés sur la membrane plasmique de la cellule cible.
- Leur durée de vie très courte (ms, s pour les neurotransmetteurs ou quelques min pour les hormones).
- Elles induisent des réponses rapides et de courte durée. Ces réponses correspondent à une régulation et activation de protéines pré-existantes dans la cellule cible (enzymes, canaux ioniques, facteurs de régulation de la transcription).

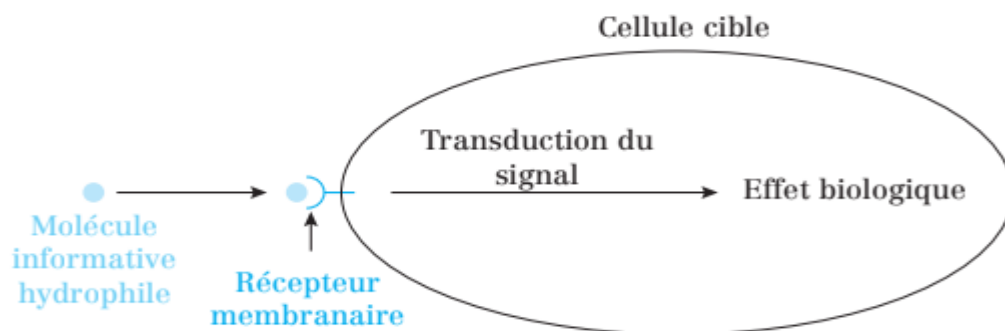


Fig.14: Signalisation par des molécules hydrosolubles à refaire à main

2.2. Les molécules informatives liposolubles: Ces molécules franchissent la bicouche lipidique de la cellule cible par diffusion simple et agissent sur des récepteurs intracellulaires. Elles induisent des réponses plus tardives et de plus longue durée. Elles n'agissent pas sur des protéines pré-existantes. C'est le cas des hormones stéroïdes

(cortisol et hormones sexuelles Ex : cortisol, œstradiol, testostérone, progestérone...) et l'hormone thyroïdienne (T3 et T4). Ces molécules sont transportées dans le sang (cas des hormones liposolubles) grâce à des transporteurs protéiques spécifiques avant d'être libérées au contact de la membrane plasmique des cellules cibles.

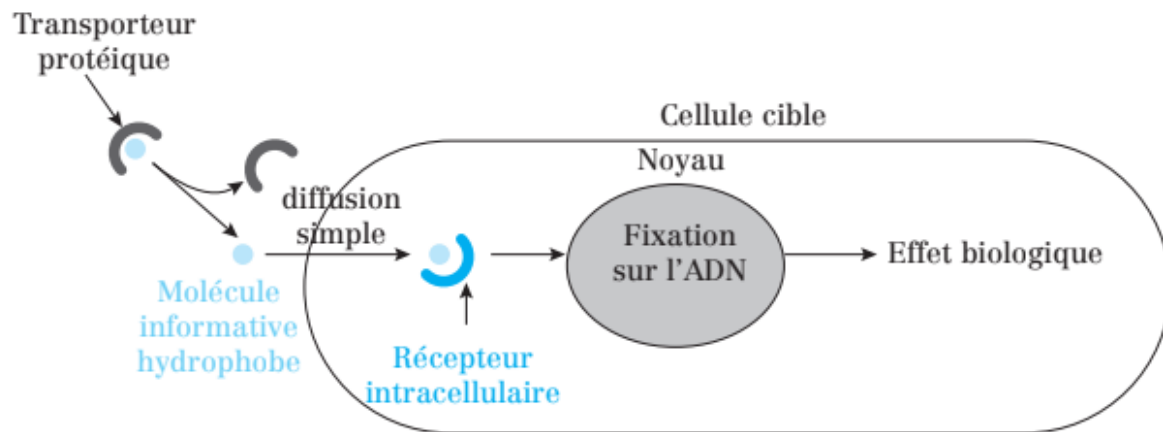


Fig. 15: Signalisation par des molécules liposolubles

2.3. Les radicaux libres gazeux: Les mieux connus sont CO (monoxyde de carbone) et NO (monoxyde d'azote). Leur particularité est de diffuser librement au travers la membrane plasmique et d'agir directement sur des enzymes cytosoliques, sans intervention de récepteurs membranaires ou intracellulaires. Ils sont toxiques à forte concentration.

3. Les récepteurs membranaires des molécules hydrosolubles

Un récepteur membranaire peut être défini comme une structure moléculaire (protéine, souvent une glycoprotéine) qui interagit spécifiquement avec un «messenger» (hormone, facteur de croissance, neurotransmetteurs...). Cette interaction crée une modification du récepteur qui conduit à une réponse cellulaire (transduction du signal). Il comporte une partie extra cellulaire (séquence hydrophile) où se trouve le site de reconnaissance et de fixation de la molécule informative, une partie transmembranaire (séquence hydrophobe) et une partie intracellulaire impliquée dans la fonction effectrice (transduction du signal).

On distingue trois grands types de récepteurs membranaires.

3.1. Récepteurs couplés aux protéines G (RCPG)

Ils appartiennent à une superfamille de protéines qui possèdent sept domaines transmembranaires. Leur extrémité N-terminale est extracellulaire et ils fonctionnent souvent sous forme d'homo- ou d'hétérodimère.

La voie de signalisation par les RCPG fait intervenir six partenaires :

- Le premier messenger qui est un ligand extracellulaire. Ex : noradrénaline, glucagon.
- Les RCPG.
- Les protéines G hétérotrimériques (= transducteurs).
- Des effecteurs primaires qui sont des canaux ioniques ou des enzymes. Ex : adénylate cyclase, phospholipase C...
- Des seconds messagers dont la concentration intracellulaire est contrôlée par les effecteurs primaires. Ex : AMPc, Ca^{2+} ...
- Des effecteurs secondaires activés par les seconds messagers. Ex. : protéine kinase A activée par AMPc.

La fixation du premier messenger sur le RCPG aboutit après un très important phénomène d'amplification, à la modification de nombreuses activités cellulaires.

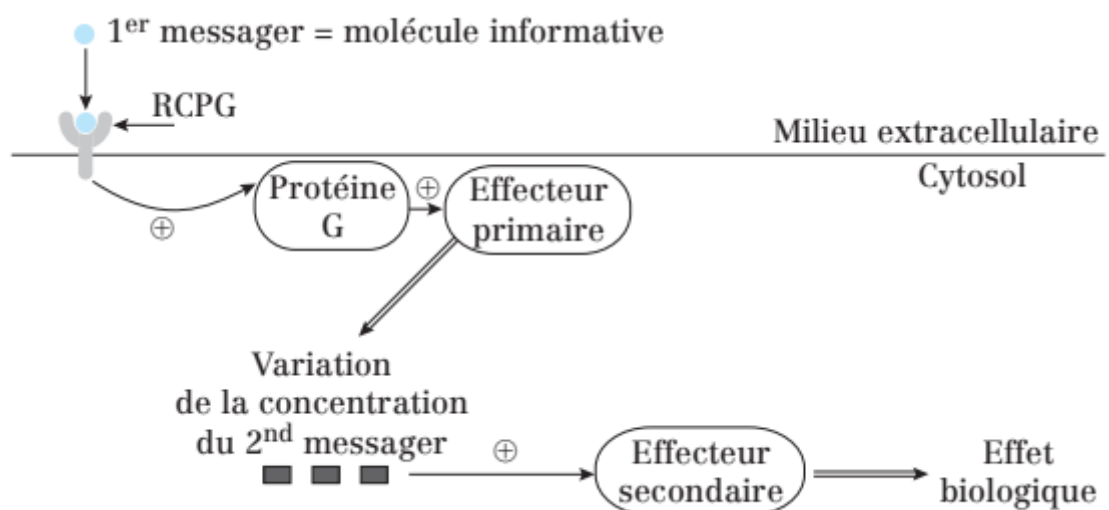


Fig. 16: Événements consécutifs à la fixation d'une molécule informative hydrosoluble sur un RCPG

3.2. Récepteurs enzymes (à activité enzymatique)

Protéines transmembranaires monomériques ayant un seul domaine transmembranaire, un domaine extracellulaire N-terminal glycosylé qui fixe le ligand et une extrémité cytoplasmique C-terminale qui porte l'activité enzymatique intrinsèque ou est directement associée à une enzyme. En outre, les récepteurs enzymes sont inactifs à l'état de monomère et agissent pour la plupart sous forme de dimère. Il existe plusieurs classes de récepteurs enzymes, les plus répandus sont les récepteurs à activité tyrosine-kinase. Ils jouent un rôle déterminant dans l'action des facteurs de croissance (PDGF, EGF...) et de l'insuline.

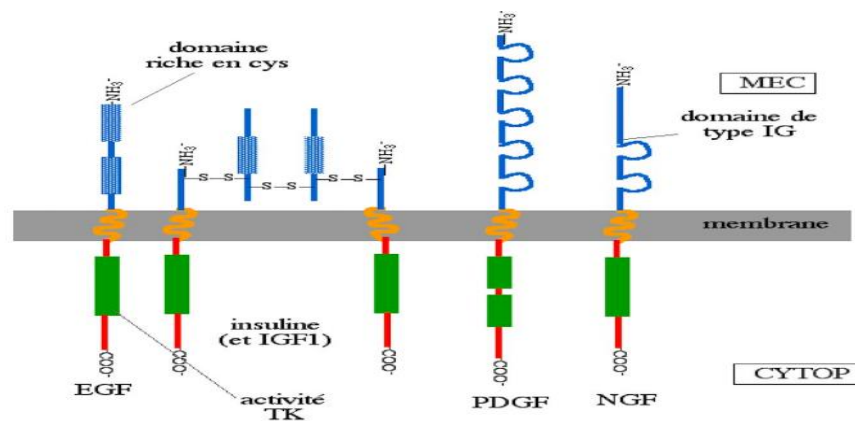


Fig. 17 : Structure des récepteurs membranaires à activité tyrosine kinase.

3.3. Récepteurs canaux ioniques.

C'est une superfamille de récepteurs multimériques, leur ouverture est déclenchée par la fixation de leur ligand spécifique. Se sont des canaux ioniques ligand-dépendant, dont chaque monomère possède quatre domaines transmembranaires. Exemple : récepteur nicotinique de P acétylcholine.

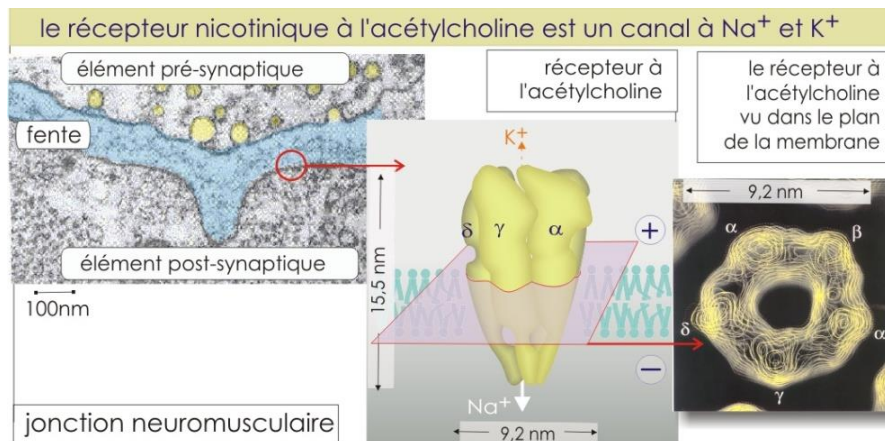
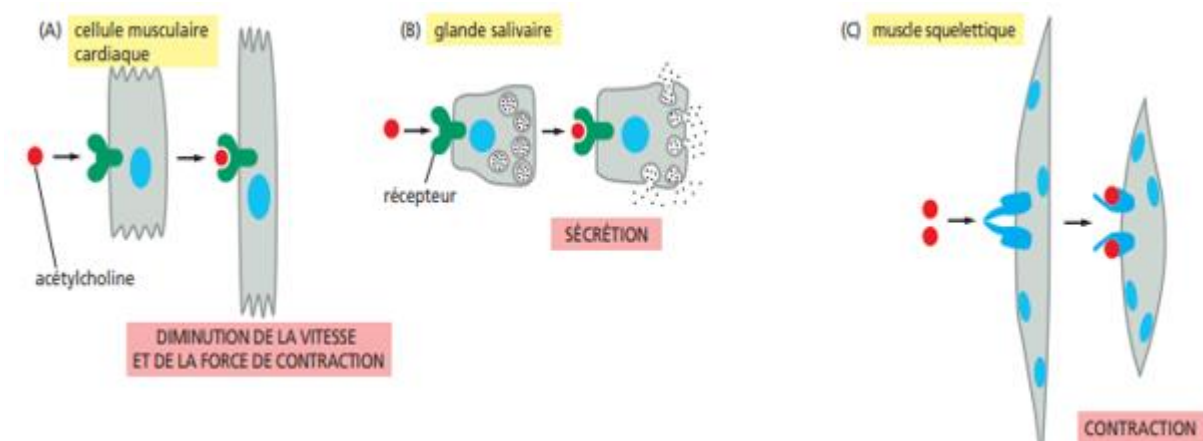


Fig. 18: Structure du récepteur nicotinique à l'acétylcholine

Pour qu'une cellule réponde à une molécule de signalisation, la première condition est qu'elle possède une **protéine réceptrice** ou **récepteur**, pour ce signal. Chaque récepteur est généralement activé par un seul type de signal.

La même molécule de signalisation peut induire des réponses différentes dans des cellules cibles différentes.

Par exemple : quand une cellule de muscle cardiaque est exposée au neurotransmetteur acétylcholine, la vitesse et la force de ses contractions diminuent. Quand une glande salivaire est exposée au même signal, elle sécrète les composants de la salive, bien que les récepteurs soient les mêmes dans les deux types cellulaires. Dans le muscle squelettique, l'acétylcholine provoque la contraction en se liant à un récepteur différent.



4. Ponts cytoplasmiques entre cellules contiguës

Dans un organe, les cellules sont accolées les unes aux autres. Leur individualisation par leur membrane plasmique est bien visible au microscope, et encore plus chez les végétaux du fait de la présence d'une paroi rigide externe.

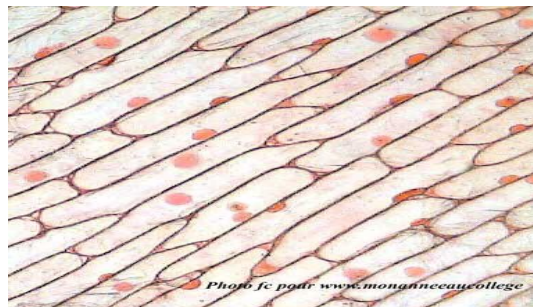
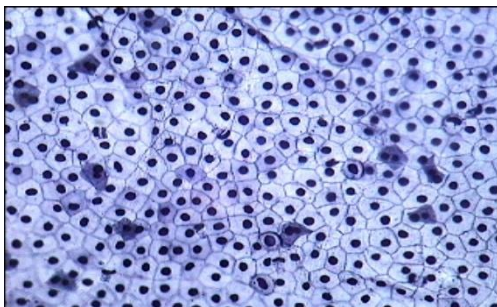


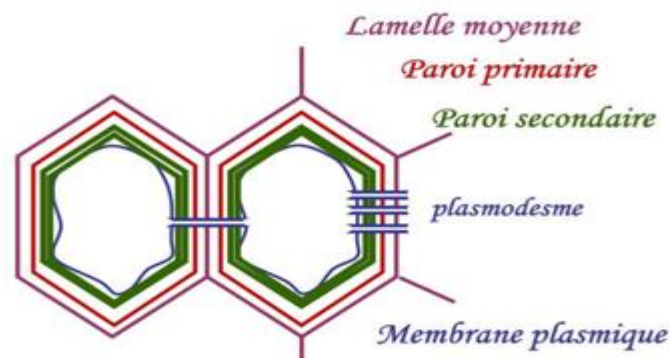
Fig.19: Cellules animales et végétales jointées

Les cellules voisines des organismes multicellulaires possèdent différents types de jonctions membranaires. Les principales sont :

1. les jonctions serrées (tight junctions) participent à la constitution de barrières au niveau de nombreux épithéliums séparant ainsi des milieux de compositions différentes.
2. les jonctions perméables (gap junctions).

4.1. Les jonctions perméables (gap junctions)

Chez les végétaux, des structures appelées **plasmodesmes** sont des ponts établis entre cellules au travers à la fois des membranes plasmiques qui les limitent et des parois qui les séparent. Ces ponts sont suffisamment larges pour permettre le passage, non seulement de composants hydrosolubles des cytoplasmes, mais également de prolongements de leur réticulum endoplasmique (lieu de synthèse, en particulier des protéines sécrétées et membranaires) formant alors un « desmotube ». Celui-ci permet le passage de molécules (lipides, protéines) de poids moléculaire assez élevé – jusqu'à 10 kilodaltons (kDa) environ.



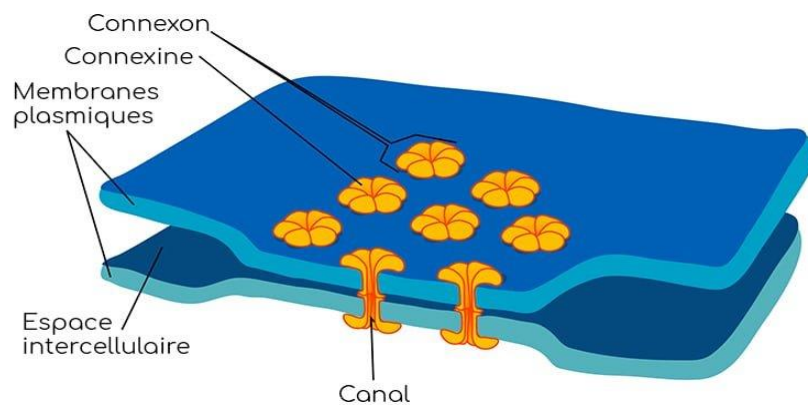
Chez les animaux, Les jonctions communicantes, aussi appelées jonctions gap ou macula communicants ou nexus ou jonctions lacunaires ou encore jonctions perméables, Elles sont abondantes dans la majorité des tissus animaux de toutes espèces, Chez l'être humain, les jonctions communicantes elles se situent principalement dans le système nerveux central (SNC), le cœur, le foie, la rétine, les vaisseaux sanguins et les muscles lisses. Elles sont des jonctions intercellulaires mettant en relation le cytoplasme de deux cellules voisines.

Ces jonctions permet la communication entre les cellules, la compartimentation cellulaire lors du développement, le maintien de l'homéostasie tissulaire, le maintien des concentrations et du pH intracellulaire, le comportement synchronisé des cellules, l'amplification de la réponse hormonale (couplage métabolique) et la transmission de signaux (couplage électrique)

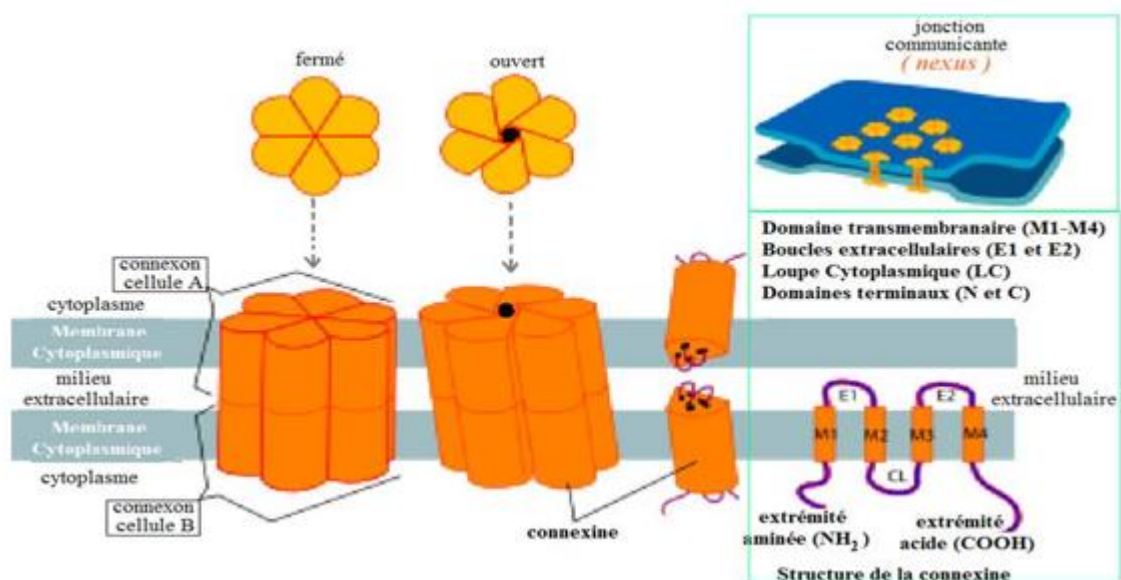
-

Structure

Chaque canal est formé de deux connexons, un par membrane cellulaire. Un connexon est un hexamère de 6 protéines transmembranaires appelées connexines ménageant entre elles un canal (axe creux formant un pore central qui fait communiquer deux cellules adjacentes.) hydrophile de 2 nm de diamètre. Toutes les molécules solubles dans l'eau inférieure à cette taille peuvent donc le traverser.



Les connexines possèdent 4 domaines transmembranaires, dont le 3e, le plus hydrophile, constitue l'intérieur du pore. L'extrémité COOH (ou extrémité C-terminale, voir la structure des protéines), possède de nombreux domaines de phosphorylation. Cette phosphorylation provoque un changement de conformation de la protéine, ce qui peut amener à la fermeture du canal ou bien à sa perméabilité spécifique : rôle clé dans la régulation fonctionnelle des connexines.



CHAPITRE V

Les Tissus Animaux

Structure Et Fonction

Introduction

Tous les êtres pluricellulaires sont formés de la juxtaposition d'un grand nombre de cellules issues des divisions de la cellule œuf initiale. Au cours du développement, ces cellules s'orientent vers des fonctions différentes et spécifiques par la régulation de l'expression de leur génome, définissant des tissus constitutifs des organes.

Les tissus s'associent pour former des ensembles fonctionnels où leurs propriétés s'intègrent de manières diverses, constituant les « tuniques » des organes creux ou le « parenchyme » des organes pleins. Ces complexes pluritissulaires représentent un palier dimensionnel intermédiaire entre les tissus et les unités fonctionnelles plus importantes.

Les grandes fonctions s'assurent en effet au sein d'appareils, pour l'organisme entier (appareils digestif, locomoteur, reproducteur, etc.). Ces appareils regroupent en nombre variable les organes qui en sont des sous-unités. Toutes ces formations sont donc constituées par des tissus diversement combinés.

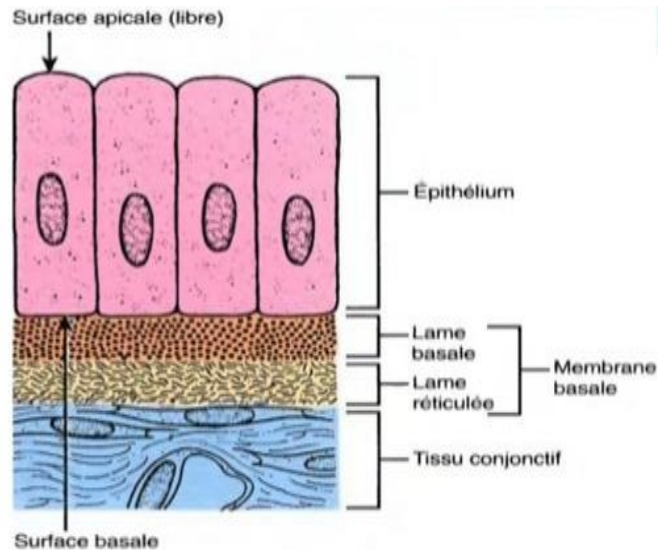
Les tissus représentent en définitive des ensembles coopératifs de cellules ; ils sont le premier niveau dimensionnel d'organisation supracellulaire. S'ils sont fonctionnellement différenciés, ce sont aussi des unités biologiques où s'organise spécifiquement la vie cellulaire individuelle (voir chapitre I).

On distingue habituellement, quatre catégories de tissus : les épithéliums, les tissus conjonctifs, les tissus musculaires et le tissu nerveux. Leur combinaison en proportions variables et leur agencement topographique donnent à chaque organe son individualité. Certains tissus (conjonctif lâche, musculaire lisse) sont des matériaux de base très répandus et se retrouvent sensiblement identiques dans des organes fort différents. Cependant, les organes doivent leurs propriétés spécifiques non seulement au type de combinaison pluritissulaire qu'ils représentent, mais surtout à la très grande spécialisation de certaines cellules et par conséquent des tissus qui les renferment (par exemple, épithéliums sensoriels).

1. Les différents types tissulaires

1.1. Le tissu épithélial

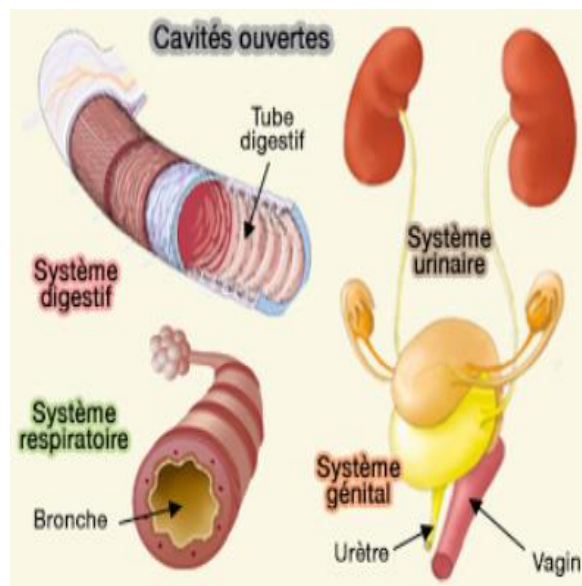
Sont des tissus constitués de cellules solidement unies les unes aux autres de façon à former une couche continue (étroitement juxtaposées ou jointives), sans interposition de fibre ou de substance fondamentale. Les épithéliums établissent une barrière entre deux milieux de nature différente, il repose sur du tissu conjonctif dont il est séparé par une lame très mince appelée membrane basale. Celle-ci est formée d'une lame basale d'origine épithéliale et d'un réseau de fibres de réticuline d'origine conjonctive.



Il existe deux variétés d'épithélium :

1.1.1. Les épithéliums de revêtement

Les épithéliums de revêtement sont toujours en contact avec un espace libre par leur face externe : ce sont des **tissus de surface**, forment la surface du corps ainsi que le revêtement des cavités de l'organisme ainsi que les organes creux. Le corps par exemple, est entièrement recouvert par un épithélium : c'est l'**épiderme** de la peau, lequel se continue dans les cavités ouvertes à l'extérieur comme la bouche, l'intestin, le vagin, etc...

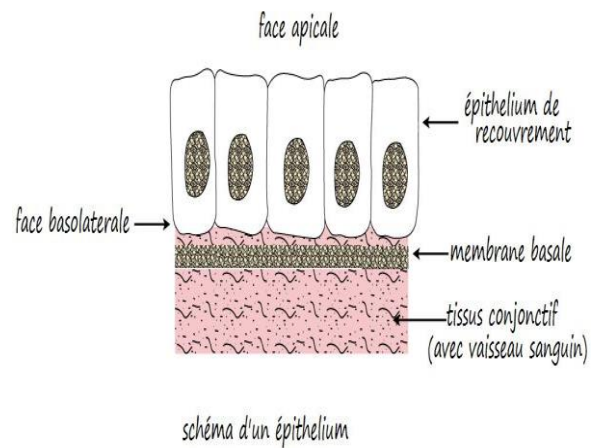


En fonction de leurs localisations, ils rempliront différentes fonctions telles que: Protection mécanique vis à vis du milieu extérieur par exemple contre la chaleur, le froid, les radiations et les chocs. Ils sont dépourvus de capillaire sanguin et de vaisseau lymphatique : les cellules puisent leur nourriture dans le tissu sous-jacent qui est toujours du tissu conjonctif richement vascularisé.

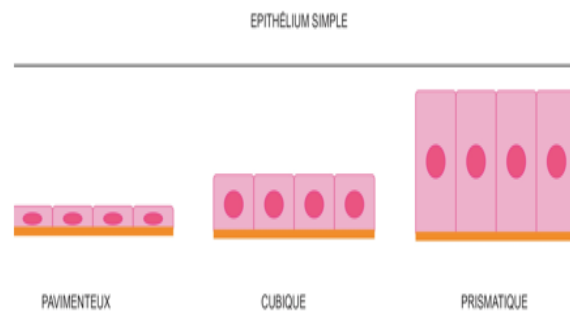
Selon le nombre d'assises ou couches cellulaires comprises entre la lumière et le tissu conjonctif sous-jacent, on distingue:

a. les épithéliums de revêtement unistratifiés ou simples

Constitués d'une seule couche de cellules, on distingue le pôle apical (ou apex) au contact de la lumière et le pôle basal en contact avec la lame basale qui se situe dans le tissu conjonctif sous-jacent véhiculant des capillaires sanguins.



Suivant la forme des cellules, on caractérise plusieurs types. l'épithélium pavimenteux simple, cubique et prismatique



b. Les épithéliums de revêtement pluristratifiés ou stratifiés

Ils présentent deux ou plusieurs couches de cellules, le nombre pouvant être parfois très important avec des caractéristiques cellulaires très variables d'une assise à l'autre.

L'exemple de référence est l'épithélium de la peau offrant en surface un nombre de couches de cellules cornées d'aspect aplati : c'est donc un épithélium de revêtement pluristratifié pavimenteux.

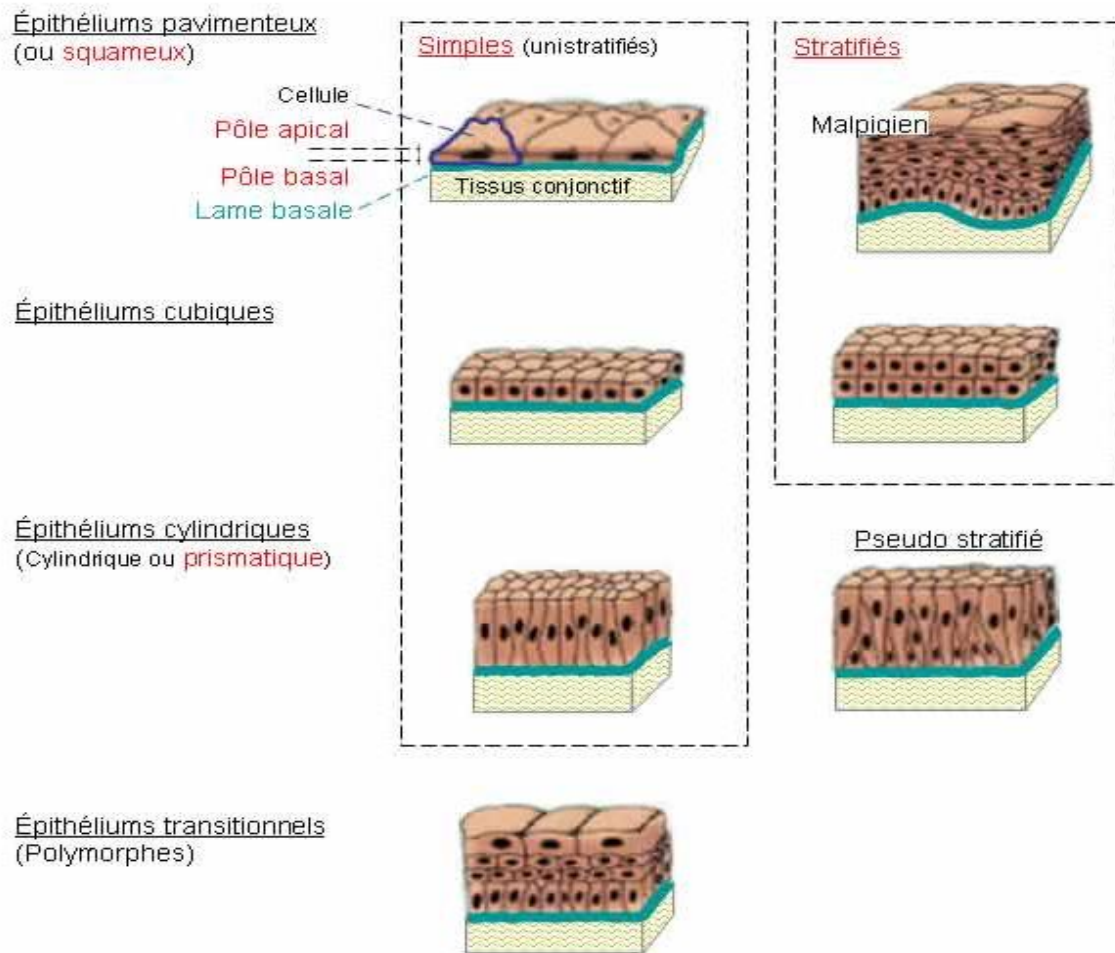


Fig.20 : Les épithéliums de revêtement selon la forme et les couches

Le rôle des épithéliums de revêtement

En fonction de leurs localisations, ils rempliront différentes fonctions telles que:

1. Protection mécanique vis à vis du milieu extérieur par exemple contre la chaleur, le froid, les radiations et les chocs ex: épidermes
2. Protection chimique par exemple contre les enzymes, les substances toxiques et l'HCl ex: épithélium gastrique. Estomac
3. Absorption/résorption ex: cellules épithéliales prismatiques du canal intestinal (microvillosités).
4. Excrétion ex: cellules des tubes contournés proximaux des reins ou cellules de l'estomac, Duodénum
5. Transport / mouvement ex: épithélium cilié du tractus respiratoire ou de la trompe utérine
6. Echange ex air / sang ; urine / sang

1.1.2. Les épithéliums glandulaires

Les épithéliums glandulaires contiennent des cellules glandulaires souvent organisées en unités fonctionnelles ou unités sécrétantes. Ils sont formés de cellules qui sécrètent un produit qu'elles n'utilisent pas, qu'elles peuvent provisoirement stocker et qu'elles rejettent.

Ils sont soit :

- Regroupés en organes : foie, glandes salivaires, glandes endocrines
- Associés à un épithélium de revêtement : glandes de la muqueuse respiratoire ou digestive
- Eléments unicellulaires dans un épithélium de revêtement : cellules caliciformes
- Eléments pluricellulaires dans un épithélium de revêtement : cavité nasale

Les tissus glandulaires peuvent être classés selon plusieurs critères, et le **mode d'excrétion** glandulaire permet de distinguer les glandes endocrines et les glandes exocrines.

1.1.2.1. Les glandes exocrines:

Dont le produit de sécrétion est acheminé vers l'extérieur ou dans un organe creux par un ou des canaux excréteurs.

Selon le nombre des éléments glandulaires on distingue :

- a. **Glandes unicellulaires** : Elles peuvent être situées au sein d'un épithélium de revêtement (exemple des cellules muqueuses caliciformes : épithélium respiratoire).

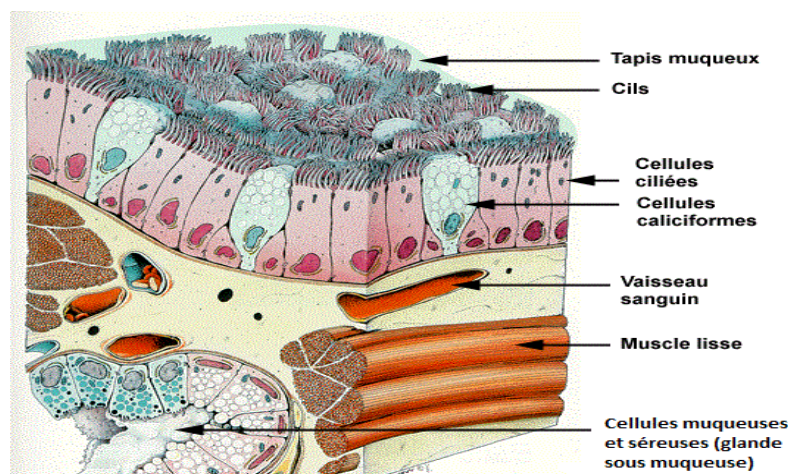


Fig .21: Cellule caliciforme à pôle muqueux ouvert

- b. Glandes intra épithéliales :** Il s'agit de petits groupements de cellules glandulaires noyés au sein d'un épithélium de revêtement.
- c. Organes glandulaires :** Le plus souvent, les cellules glandulaires sont groupées en organes microscopiquement ou anatomiquement individualisées.

Sur le plan histologique on peut caractériser les glandes selon leur organisation :

- a. Glandes tubuleuses :** sont organisées en tubes étroits et profonds: exemple de l'épithélium glandulaire de l'intestin.



Fig.22 : Observation microscopique de glandes tubuleuses au niveau du colon

- b. Glandes alvéolaires :** sont organisées en larges poches : exemple des glandes alvéolaires simples sous la peau de Batracien qui sont responsables de l'émission de mucus à la surface du corps de l'animal.

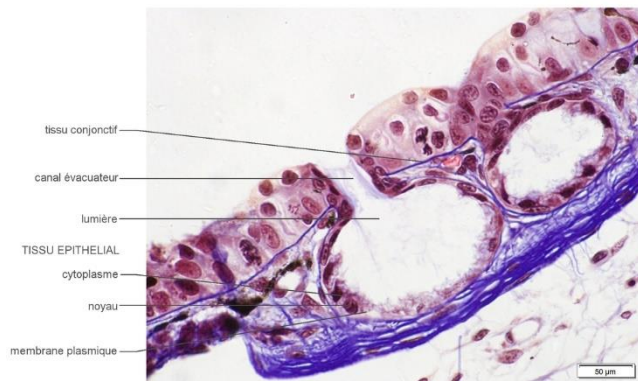


Fig.23: Observation microscopique de glandes alvéolaires situées sous l'épithélium de peau de batracien.

- c. Glandes acineuses :** sont organisées en sorte de grains de raisin : exemple des glandes salivaires.

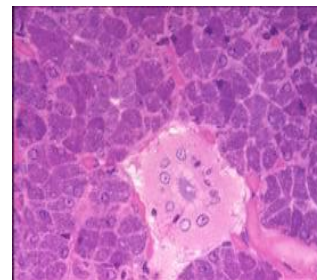


Fig.24: Observation microscopique d'une glande exocrine composée acineuse séreuse

Sur le plan histologique on peut caractériser les glandes selon la modalité de sécrétion:

a. Excrétion mérocrine

C'est le mode le plus courant. Le produit de sécrétion est relâché par exocytose. La membrane des vésicules fusionne avec la membrane plasmatique apicale et ainsi les vésicules contenant le produit de sécrétion s'ouvrent à la surface. La membrane fusionnée retourne dans le cytoplasme par endocytose. Elle est recyclée et réutilisée pour d'autres vésicules.

Cette modalité de sécrétion est observée par exemple dans les glandes salivaires, le pancréas exocrine (granules de zymogène) et au niveau de la glande mammaire pour la sécrétion de protéine (caséine).

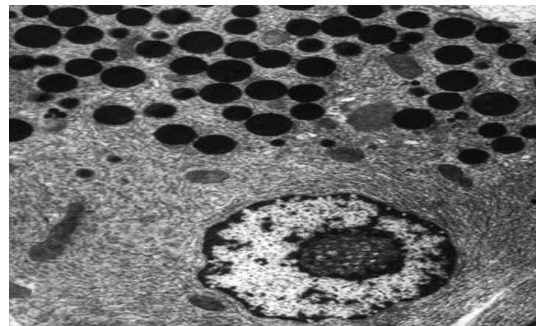
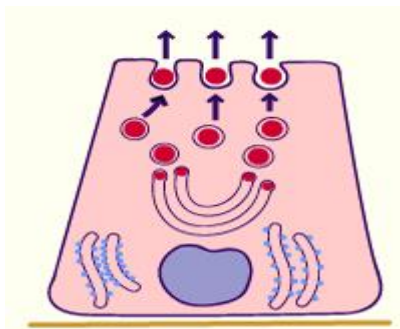


Fig.26 : Observation microscopique d'une cellule d'un acinus exocrine du pancréas (à gauche).

b. Excrétion apocrine

Le produit de sécrétion accumulé au pôle apical est éliminé par apocytose. La membrane apicale se détache lors de l'extrusion et entoure le produit de sécrétion. La cellule glandulaire conserve cependant son noyau et ses organites. Elle peut ainsi reprendre un cycle sécrétoire. Cette modalité de sécrétion est observée par exemple dans certaines glandes sudoripares et au niveau de la glande mammaire pour la sécrétion de produit lipidique.

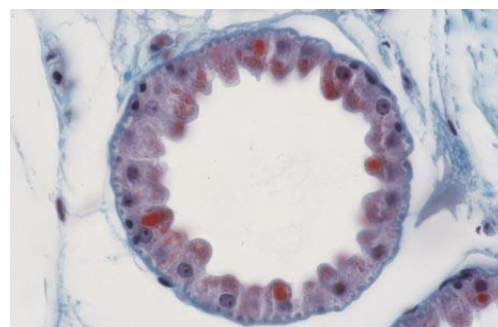
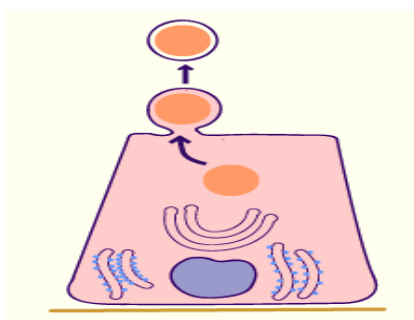


Fig.27 : Observation microscopique d'une glande sudoripare apocrine (à gauche)

c. Excrétion holocrine:

Lors du cycle sécrétoire, le cytoplasme de la cellule se charge d'une quantité considérable de produit de sécrétion et ensuite se désintègre. En d'autres termes la cellule en mourant devient elle-même le produit de sécrétion. Cette modalité de sécrétion est observée par exemple au niveau des glandes sébacées

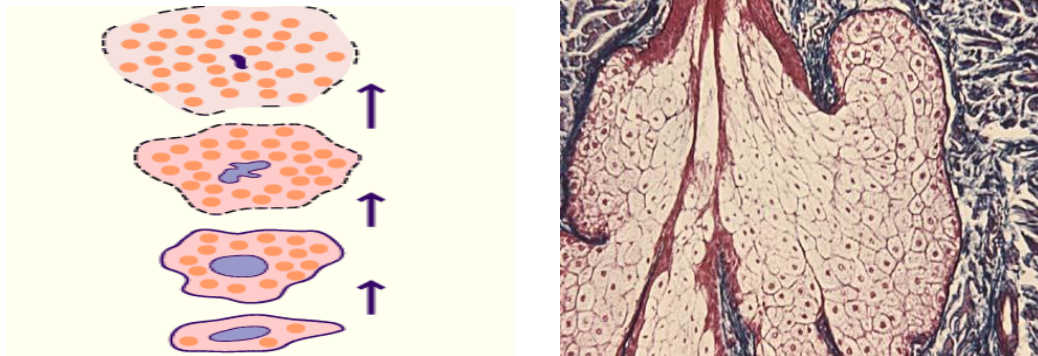


Fig.28: Observation microscopique d'une glande sébacée (à gauche).

1.1.2.2. Glandes endocrines

Elles déversent leur produit de sécrétion (ou hormone) dans le sang et sont donc richement vascularisées. Chaque cellule glandulaire est au contact d'un capillaire sanguin. Par contre, les glandes endocrines sont dépourvues de canaux excréteurs.

- a) **Glandes unicellulaires:** Elles sont groupées en noyaux. Ex.: Noyaux magnocellulaires de l'hypothalamus.
- b) **Glandes pluricellulaires :** Elles présentent plusieurs aspects :
 - Glandes endocrines de type diffus Ex. : Pancréas endocrine.
 - Glandes endocrines d'architecture vésiculaire: C'est le cas de la thyroïde, où les cellules se disposent en une seule couche pour constituer de petites sphères ou vésicules. Cette disposition permet un stockage extracellulaire du produit de sécrétion lors de la phase de mise en charge. En périphérie des vésicules, les cellules glandulaires sont séparées par une lame basale d'un tissu conjonctif richement vascularisé.

- **Glandes endocrines d'architecture trabéculaire:** Où les cellules glandulaires se groupent en travées entre lesquelles cheminent de nombreux capillaires sanguins (ici encore en contact étroit avec les éléments excréteurs). Ex: corticosurrénale.

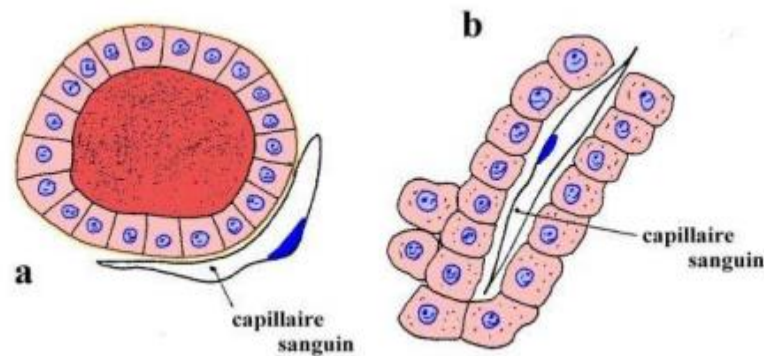


Fig.29 : Organisation des glandes endocriniennes (a: architecture vésiculaire, b: architecture trabéculaire)

1.1.2.3. Glandes mixtes

Certaines glandes anatomiquement individualisées possèdent à la fois des structures endocrines et des structures exocrines. Ces glandes peuvent être :

- Hétérotypiques: Il s'agit de glandes où coexistent deux types de cellules glandulaires ayant des fonctions distinctes (Ex.: Pancréas). En effet, le pancréas est une glande exocrine élaborant le suc pancréatique déversé dans la lumière du tube digestif par des canaux excréteurs. À côté de cette fonction, il contient également des formations glandulaires endocrines, responsables de l'excrétion dans le sang circulant d'hormones comme l'insuline et le glucagon.

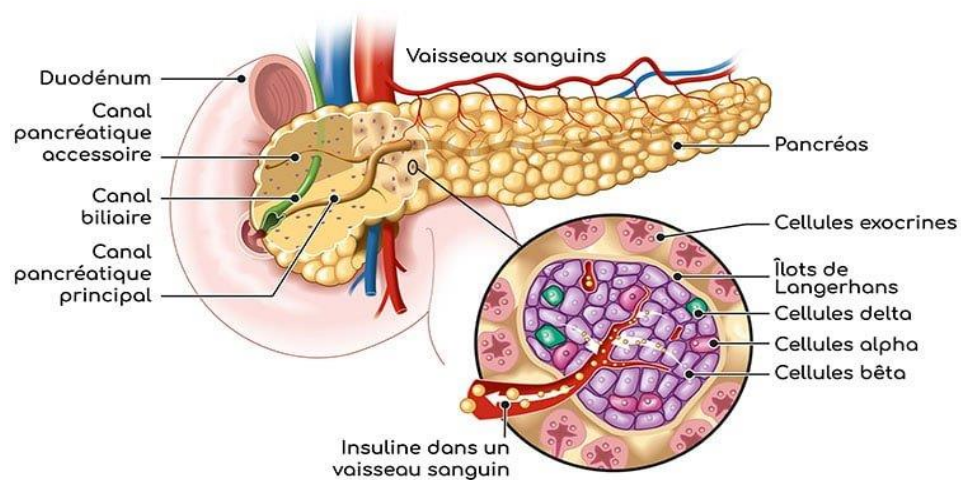


Fig.30: Schémas d'une coupe histologique du pancréas

- b) Homotypiques : Dans ce cas, les glandes sont faites de cellules douées d'une double fonction (Ex.: Cellules hépatiques).

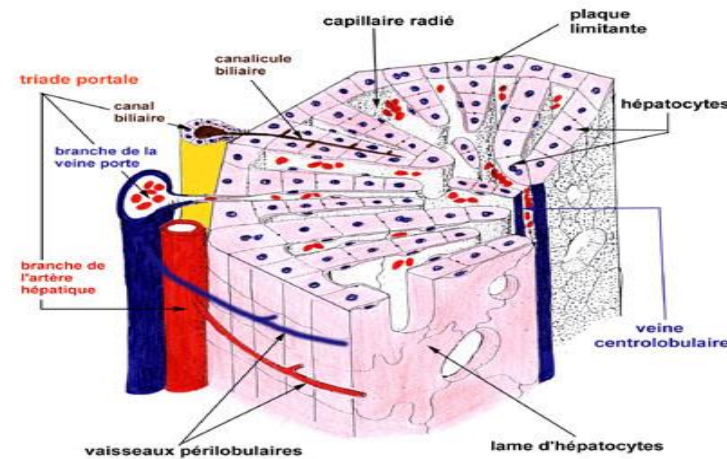


Fig.31 : Aspect tridimensionnel du lobule hépatique

1.2. Le tissu conjonctif

1.2.1. Les constituants élémentaires des tissus conjonctifs

Les tissus conjonctifs sont des tissus d'origine mésenchymateuse. Le tissu conjonctif est un tissu de liaison qui entoure, protège et réunit des organes et des structures anatomiques. ex : tissu adipeux, tendons, cartilage, os, sang, l'encéphale et la moelle épinière, mis à part le sang et la lymphe, les tissus conjonctifs possèdent trois principaux constituants : **les fibres** (élastiques et collagèneuses), **la substance fondamentale (les deux constituent la matrice extra-cellulaire : MEC) et la cellule**. Les cellules représentent la partie vivante, les fibres la partie structurée et la substance fondamentale amorphe (SFA) la partie non structurée de la matrice extracellulaire. Ces trois constituants existent en proportions variables dans les différents types de tissu conjonctif.

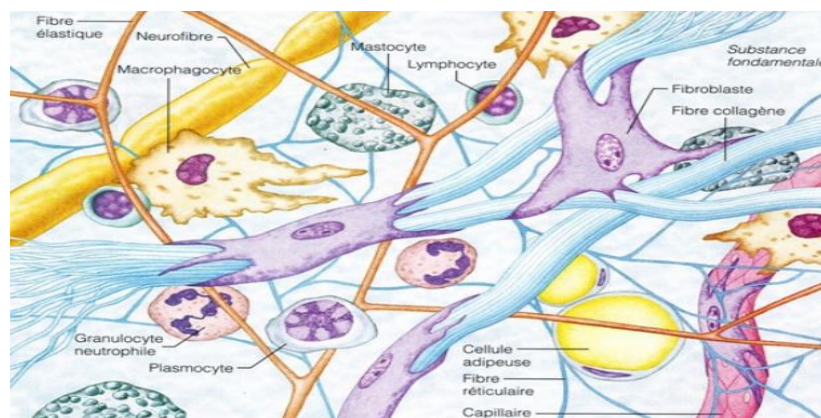


Fig.32 : Un prototype de tissu conjonctif

1.2.1.1.Substance fondamentale

Il s'agit d'un matériau amorphe dans lequel baignent les cellules et les fibres conjonctives. Elle est composée de :

Eau : présente en quantité plus ou moins importante, elle détermine la viscosité de la substance fondamentale. Elle est associée à des sels minéraux (Na, Cl, etc.).

Mucopolysaccharides (ou protéoglycanes) : Il s'agit de polysaccharides (**glycosaminoglycanes : GAG**) liés à des protéines. Colorés par le PAS, ils contrôlent l'état d'hydratation de la substance fondamentale du tissu conjonctif en formant une sorte de tamis qui réglera les flux liquidiens mais également la circulation des cellules.

Les glycosaminoglycanes sont de longues chaînes polysaccharidiques composées d'unités disaccharidiques répétitives. On en distingue plusieurs types (sulfatés ou non sulfatés) :

- Acide hyaluronique (GAG non sulfaté) se trouve dans tous les types de tissus conjonctifs (peau, cartilage).
- Chondroïtine sulfate : On le trouve dans le cartilage, l'os, les valves cardiaques, les disques intervertébraux.
- Dermatan sulfate : On le trouve dans les tendons, les veines où il donne des structures un peu moins rigides que le chondroïtine sulfate.
- Héparane sulfate : On le voit associé à des fibres de collagène fines (des fibres de réticuline).
- Kératane sulfate : Présent dans le cartilage et la cornée.

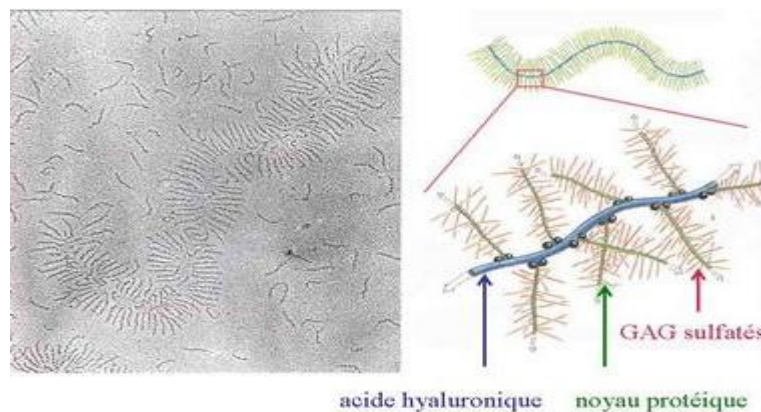
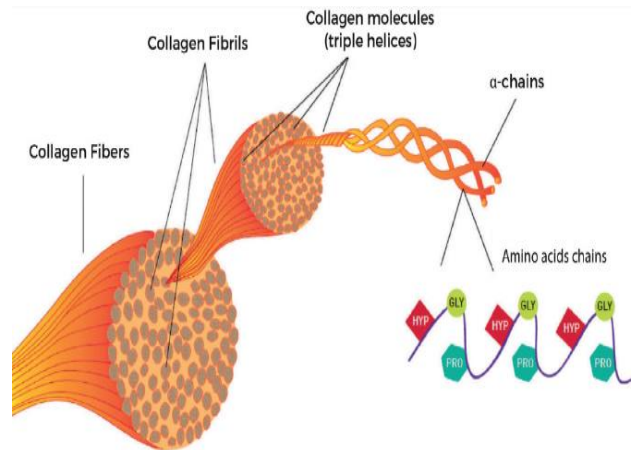


Fig.33: Agrégats de protéoglycanes

1.2.1.2. Fibres conjonctives

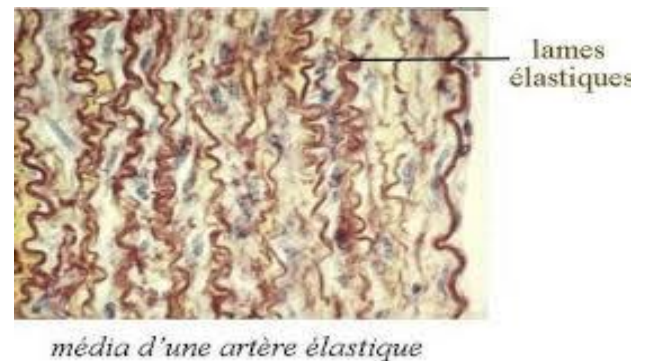
a. Fibres de collagène

Le collagène est une hétéroprotéine abondante (25% des protéines totales de l'organisme) qui, par ébullition, donne de la gélatine (étymologiquement, le terme collagène signifie "qui engendre la colle"). Doué également d'une capacité à se polymériser et à s'organiser donc sous forme de fibres (d'un diamètre de 5 μm).



b. Fibres élastiques

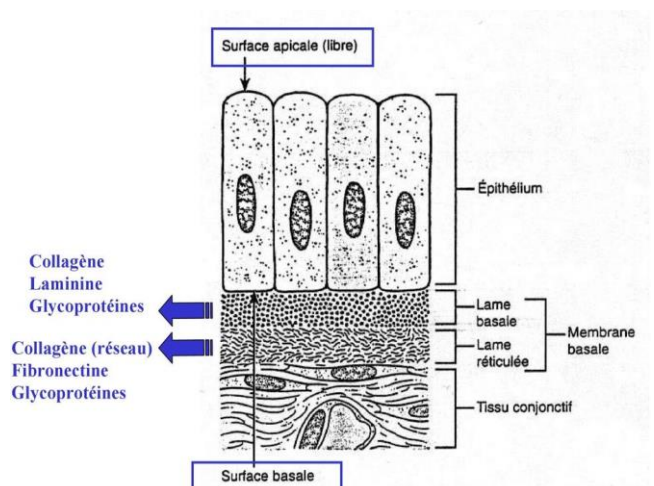
L'élastine également protéine fibreuse, est une protéine riche en proline et en lysine. Par ailleurs : Elle ne donne pas de gélatine par coction; elle est soluble aux solvants habituels des protéines; elle résiste à l'action des acides et des alcalins dilués ainsi qu'aux enzymes protéolytiques et enfin, elle est dégradée par l'élastase d'origine pancréatique.



c. Protéines fibreuses adhésive

Fibronectine : glycoprotéine extracellulaire ubiquitaire, qui présente un rôle clés dans l'adhérence des cellules à la MEC.

Laminine : complexe protéique flexible, est un constituant majeur des membranes basales, possède plusieurs sites d'interaction avec les cellules et les autres composants de la MEC.



1.2.1.3. Cellules du tissu conjonctif

Ces cellules, d'origine mésenchymateuse, se classent en deux groupes :

1. Cellules autochtones : qui vivent et meurent sur place (dans le tissu conjonctif); tel que les fibroblastes et fibrocytes, les adipocytes, les cellules pigmentaires ou Mélanocytes.
2. Cellules immigrées ou allogènes : qui proviennent du sang et qui migrent dans le tissu conjonctif ; comme Histiocytes et les Macrophages, les mastocytes, les plasmocytes, les Polynucléaires ou granulocytes et les lymphocytes.

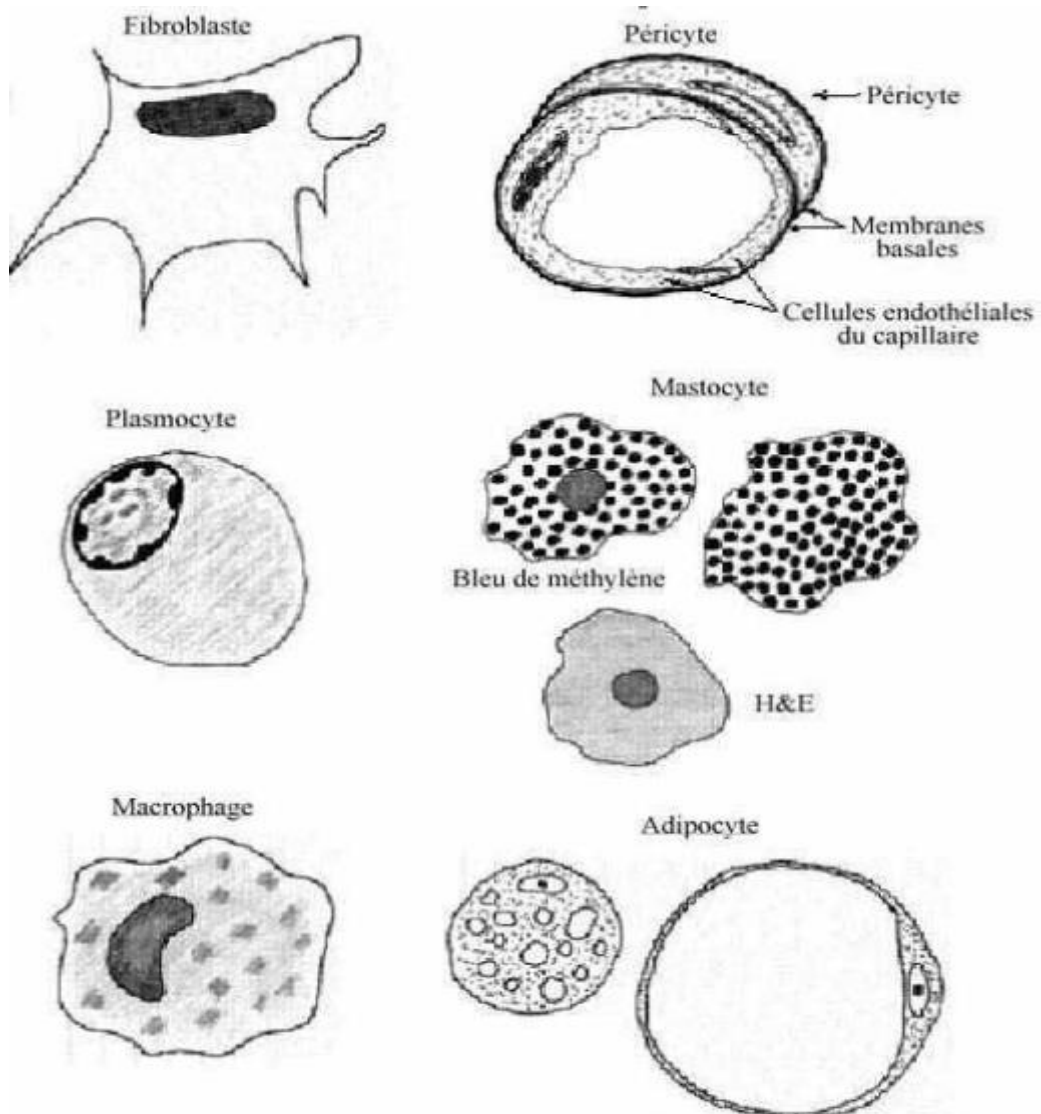


Fig.34 : Elément cellulaire du tissu conjonctif ordinaire

1.2.2. Les variétés des tissus conjonctifs

1.2.2.1. Le tissu conjonctif lâche

Très répandu dans l'organisme (tissu conjonctif sous-cutané, chorion du tube digestif, tissu conjonctif entre les organes). On y trouve une répartition harmonieuse des cellules (fibroblastes), des fibres de collagène, des fibres élastiques (en proportions faibles) et de la substance fondamentale. Selon l'élément constitutif qui prédomine, on décrit plusieurs types de tissu conjonctif : Tissu conjonctif "muqueux" ou mocoïdes, aréolaire, réticulé.

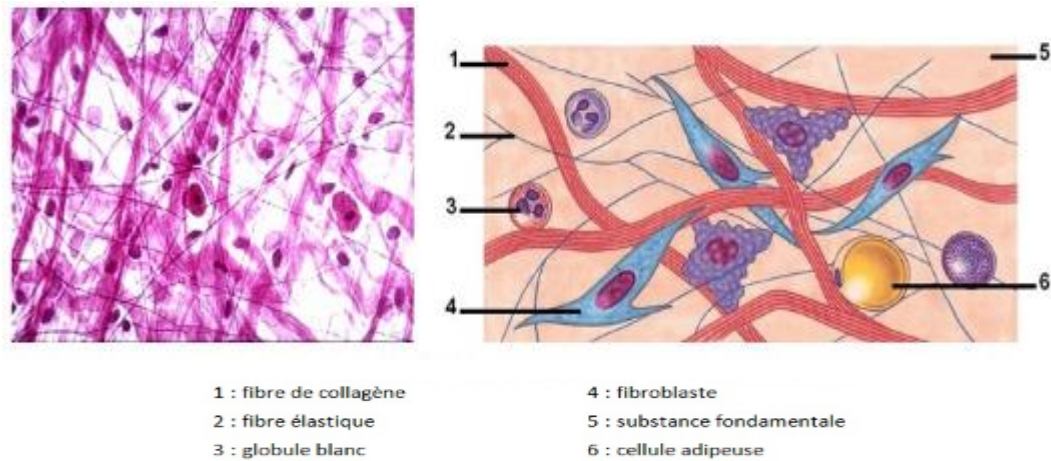


Fig.35 : Coupe histologique au niveau d'un tissu conjonctif lâche

1.2.2.2. Le tissu conjonctif dense

Cette variété est caractérisée par une prédominance très nette des fibres de collagène au détriment des autres constituants. On distingue ainsi les tissus conjonctifs denses non orientés (irrégulier) et orientés (régulier).

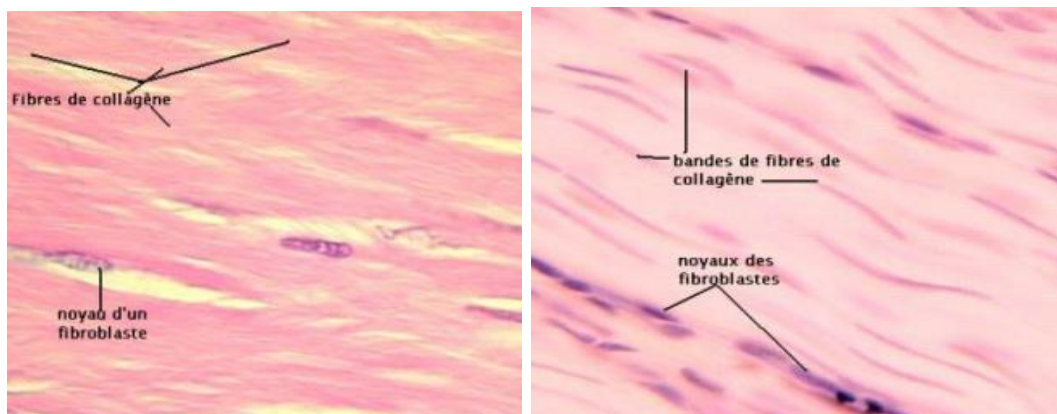
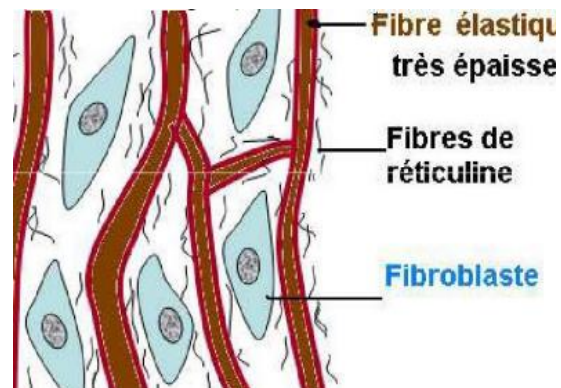


Fig.36 : Tissu conjonctif irrégulier (à gauche) et régulier (à droite)

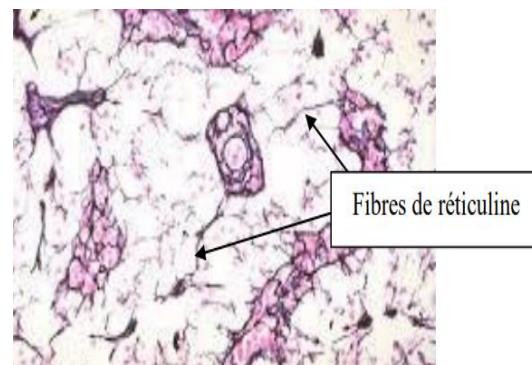
1.2.2.3. Le tissu conjonctif élastique

Il s'agit d'un tissu conjonctif formé essentiellement de fibres élastiques parallèles avec quelques fibres de collagène (comme dans le ligament jaune). Parfois, ces fibres élastiques forment de grosses lames où passent les fibres de collagène (artères élastiques).



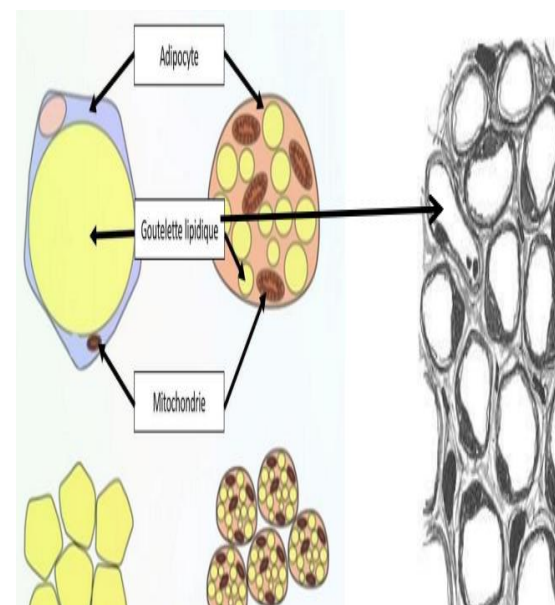
1.2.2.4. Le tissu conjonctif réticulaire

Il est caractérisé par la prédominance des fibres de réticuline. Il constitue la trame de soutien des organes lymphoïdes : moelle osseuse, ganglions lymphatiques, rate...



1.2.2.5. Le tissu conjonctif adipeux

Est un tissu conjonctif lâche à prédominance cellulaire, spécialisé dans la mise en réserve des graisses. Constitué de cellules adipeuses séparées par une mince couche de matrice extracellulaire. Comprenant des fibres de réticuline, des vaisseaux et des nerfs. Ce sont des cellules volumineuses arrondies, comportant une vacuole centrale qui prend toute la place et refoule les autres éléments du cytoplasme à la périphérie avec un noyau excentré.



1.3. Le tissu musculaire

Le tissu musculaire représente presque la moitié de notre masse corporelle, il est constitué par des cellules spécialisées : les cellules musculaires ou **myocytes**, dont la fonction principale est la contraction. La principale caractéristique du tissu musculaire, du point de vue fonctionnel, est son aptitude à transformer une énergie chimique (sous forme d'ATP) en énergie mécanique. On peut considérer les muscles comme les moteurs de l'organisme. La mobilité du corps dans son ensemble résulte de l'activité des muscles squelettiques qui se distinguent des muscles des organes internes dont la plupart font circuler des liquides dans les canaux de notre organisme.

1.3.1. Caractéristiques fonctionnelles des muscles

1. L'excitabilité : est la capacité de percevoir un stimulus et d'y répondre. Le stimulus peut être un neurotransmetteur libéré par une cellule nerveuse, la réponse est la production le long du sarcolemme, d'un signal électrique qui est à l'origine de la contraction musculaire.
2. La contractilité : est la capacité de se contracter avec force en présence de la stimulation appropriée.
3. L'extensibilité : est la faculté d'étirement ; lorsqu'elles se contractent, les fibres musculaires se raccourcissent, mais lorsqu'elles sont détendues, on peut les étirer au-delà de leur longueur de repos.
4. L'élasticité : est la possibilité qu'ont les fibres musculaires de reprendre leur longueur de repos lorsqu'on les relâche.

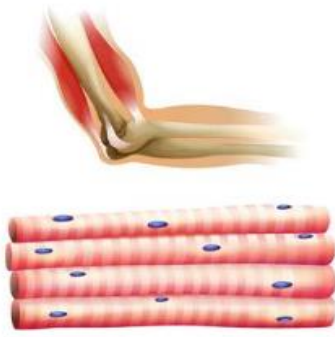
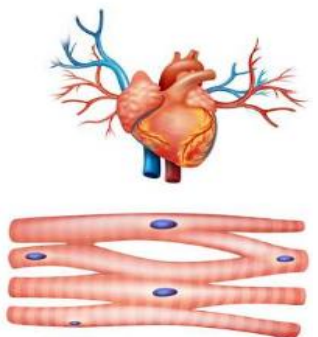
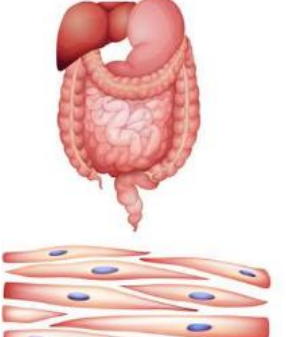
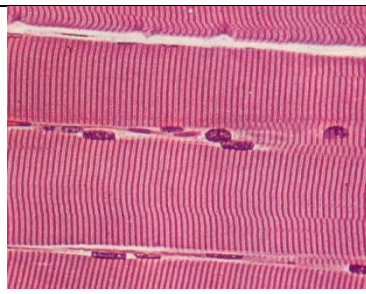
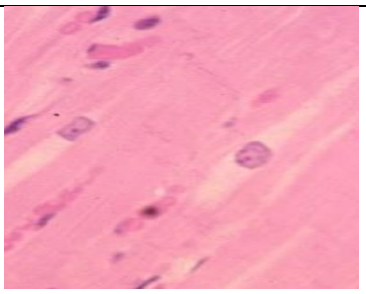
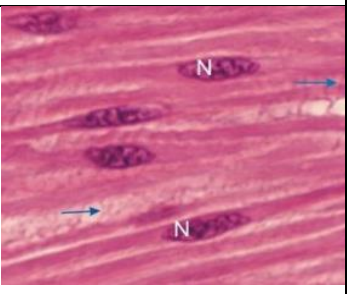
1.3.2. Fonctions des muscles

1. Production des mouvements
2. Maintien de la posture
3. Stabilisation des articulations
4. Dégagement de la chaleur

1.3.4. Différences entre les trois types de tissu musculaire

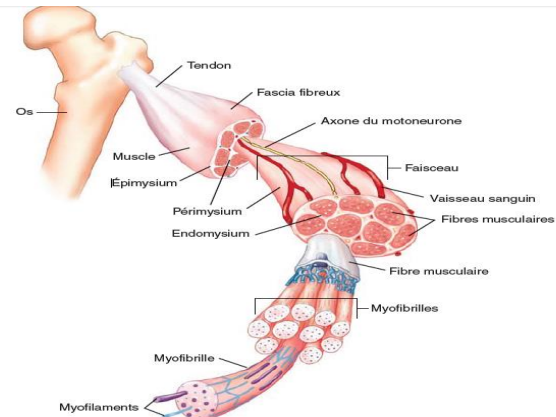
Il existe trois types de muscles : squelettique, lisse et cardiaque, ces trois types diffèrent par : la structure de leurs cellules, leurs situation dans le corps, leurs fonction et par le mode de déclenchement de leur contraction.

Tableau 1 : Différences entre les trois types de tissu musculaire

	Muscle squelettique	Muscle cardiaque (myocarde)	Muscle lisse
Aspect			
Localisation	Recouvre le Squelette osseux et s'y attache	Coeur	Dans les parois des organes viscérs (estomac, vessie, utérus), les voies respiratoires et les vaisseaux sanguins
Volontaire ou involontaire	Volontaire	Involontaire	Involontaire
Strié	Oui	Oui	Non
Contraction	Contraction Peut se contracter rapidement mais se fatigue facilement	Se contracte à un rythme relativement constant	Contractions lentes et continues(ne se fatigue pas)
Tissus			

1.3.4.1. Muscle squelettique (Muscle strié volontaire)

Le muscle squelettique est un organe bien délimité, il renferme des vaisseaux sanguins, des neurofibres et une grande quantité de tissu conjonctif, dont la fonction est de se contracter ou de se relâcher.



Anatomie microscopique d'une fibre musculaire squelettique a montré qu'il est composé de :

a. Fibre Musculaire

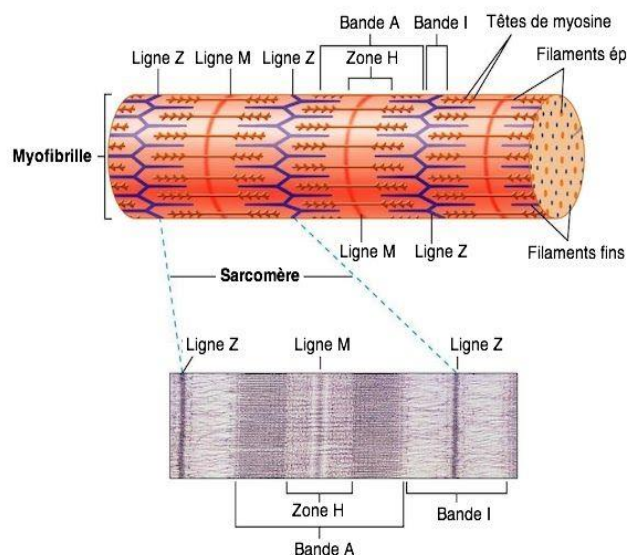
Chaque fibre musculaire est une longue cellule cylindrique renfermant de nombreux noyaux. Elle est entourée par une membrane : le sarcolemme. Le sarcoplasme d'une fibre musculaire est comparable au cytoplasme des autres cellules, mais il contient des réserves importantes de glycogènes ainsi que de la myoglobine, une protéine qui se lie à l'oxygène et n'existe dans aucun autre type de cellule.

b. Myofibrilles:

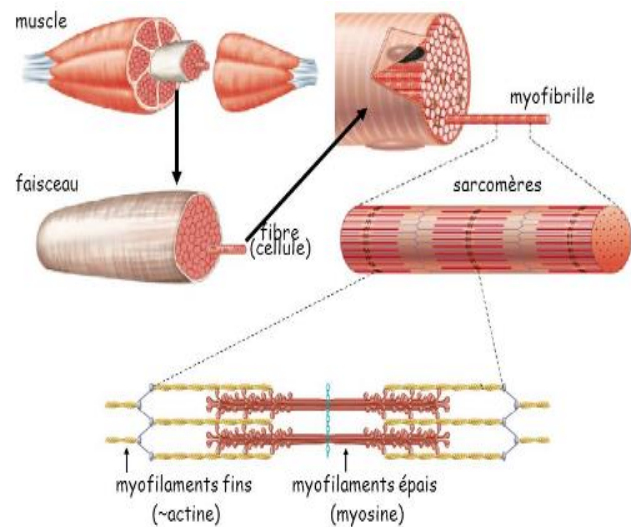
Chaque fibre musculaire comporte un grand nombre de myofibrilles parallèles qui parcourent toute la longueur de la cellule.

c. Myofilaments :

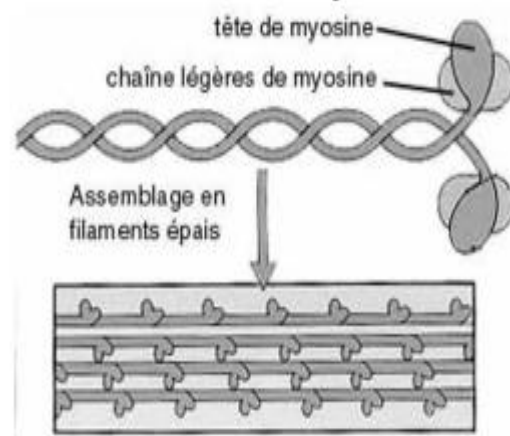
Sur la longueur de chaque myofibrille, on remarque une alternance de bandes sombres et claires appelées bande ou stries (stries A, stries I, stries H) et il y a également des zones appelées zone M et Z.



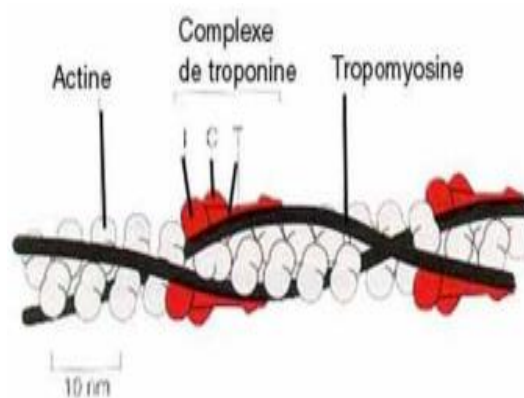
Au niveau moléculaire chaque myofibrille est formée de filaments disposés de façon très régulière : filaments fins et épais.



Les filaments épais de myosine sont constitués par l'association de 200 à 300 molécules de **myosine** native (présents dans les bandes A, au centre du sarcomère). Chaque molécule est composée de deux chaînes lourdes en forme de club de golf dont les queues s'enroulent l'une autour de l'autre et de quatre chaînes légères fixées sur les têtes des chaînes lourdes. Plusieurs molécules se rassemblent en rangées régulières pour former le filament.



Les myofilaments fins ont un diamètre de 8 nm et sont composés principalement d'**actine** (présent dans les bandes I): chaque filament (actine F) est formé par la polymérisation de nombreuses molécules d'actine globulaire (actine G)⁴

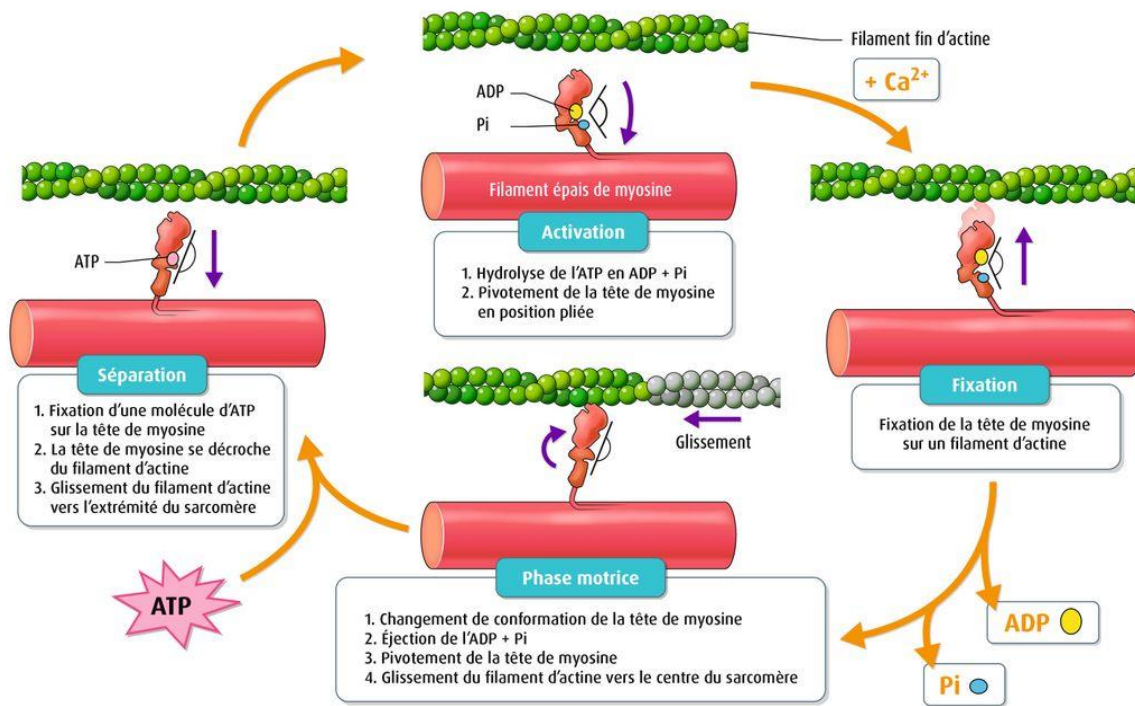


1.3.4.1.1. Mécanismes cellulaires et moléculaires de la contraction

La contraction du muscle strié squelettique est liée à l'excitation préalable des fibres musculaires par les motoneurones a. Cette excitation conduit in fine au glissement des filaments fins et épais les uns contre les autres. Les phénomènes qui se produisent entre l'excitation et la contraction sont désignés par le couplage excitation-contraction.

Durant la contraction, les filaments minces (actines) glissent le long des filaments épais (myosine), de telle sorte que les filaments d'actine et de myosine se chevauchent davantage ». Au repos les filaments épais et minces ne chevauchent que sur une petite partie de leurs longueurs, mais quand les cellules musculaires sont stimulées, les têtes de myosine s'accrochent aux sites de liaison de l'actine et le glissement s'amorce. Les têtes de myosine tirent les filaments minces vers le centre du sarcomère : C'est le **raccourcissement** du sarcomère. La longueur des bandes A ne change pas durant le raccourcissement mais celle des bandes I et H diminue (La théorie de Hugh Huxley en 1954).

Lors de la contraction musculaire, les myofilaments d'actine glissent entre les myofilaments de myosine. Ce mouvement est commandé par les têtes des molécules de myosine qui se lient puis se détachent de la molécule d'actine et "marchent" ainsi sur les filaments d'actine 4. Le déplacement de la myosine sur l'actine est possible grâce à l'hydrolyse de molécules d'ATP. La régulation de la contraction musculaire est réalisée par les molécules associées à la molécule d'actine : la tropomyosine, au repos masque le site de la liaison actine - myosine ; la libération de ce site est sous l'influence des ions Ca^{++} initialement contenus dans les citernes du réticulum sarcoplasmique. L'influx nerveux, provoque une dépolarisation de la membrane plasmique qui s'étend le long des membranes du système T puis est transférée au réticulum par l'intermédiaire des triades. La dépolarisation du réticulum provoque la libération du Ca^{++} qui active la contraction musculaire.



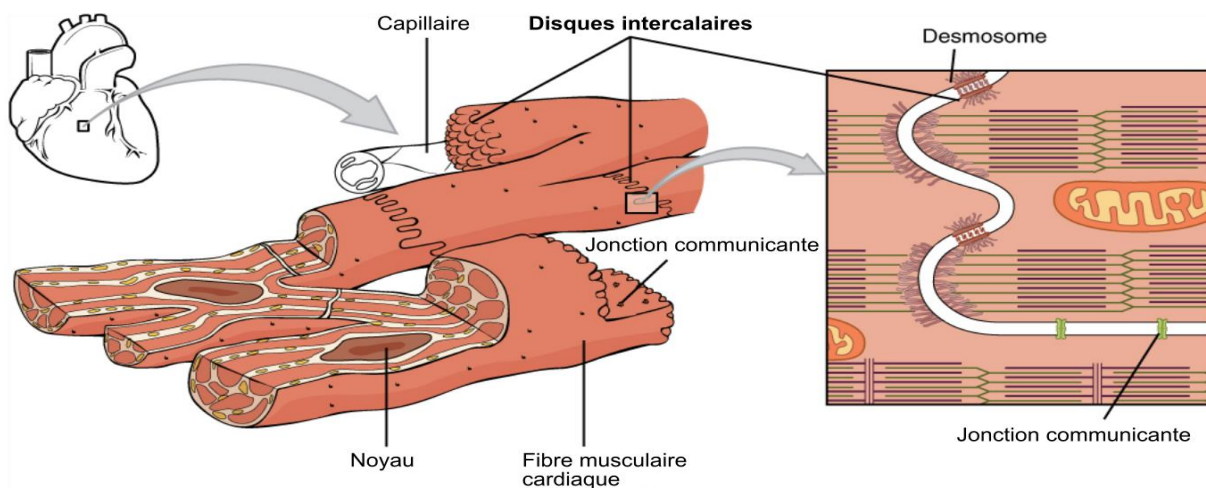
© Belin Éducation/Humensis, 2020 Manuel SVT Terminale spécialité
© Thomas HAESSIG

Fig.37: Modélisation des mécanismes à l'origine de la contraction des cellules musculaires.

1.3.4.2. Muscle cardiaque

Comme les cellules musculaires striées, les cellules du muscle cardiaque (ou cellules myocardiques) possèdent des myofilaments d'actine et de myosine mais elles diffèrent des précédentes par différents points :

- Les cellules musculaires cardiaques sont mononucléées
- Elles sont beaucoup plus courtes systèmes de jonction
- Les cellules satellites n'existent pas et de ce fait, la régénérescence impossible



Généralement, le myocarde est formé de cellules musculaires : les cardiomyocytes, qui s'associent bout à bout en fibres cardiaques par des jonctions scalariformes (aspect en marches d'escalier), tissu conjonctif situé entre les fibres cardiaques, un riche réseau capillaire et lymphatique et des fibres nerveuses sympathiques et parasympathiques.

Bien que toutes les cellules musculaires du myocarde puissent se contracter et transmettre l'excitation, on distingue :

1. les cellules myocardiques dites de travail ;
2. les cellules cardionectrices (nodales et de conduction) : elles génèrent et conduisent l'onde d'excitation cardiaque à partir du nœud sinusal.
3. Les cellules myoendocrines (auriculaires et ventriculaires : qui secrètent le facteur atrial natriurique)

1.3.4.2.1. Structure en microscopie

Les cellules myocardiques sont allongées s'associent les unes aux autres pour former des travées anastomosées séparées les unes des autres par du tissu conjonctif très vascularisé. Sur ces travées, on retrouve :

a. Fibre myocardique

Elle est composée de plusieurs cellules myocardiques alignées, séparées par des stries, de 2 μm d'épaisseur, disposées à intervalles réguliers et sur toute la largeur des cellules : les stries scalariformes.

b. Cellule myocardique

Elle est grossièrement cylindrique ($D = 5 - 20 \mu\text{m}$) avec des extrémités souvent ramifiées et offre à décrire :

- une striation transversale : identique à celle de la cellule musculaire striée.
- seulement un noyau central, pauvre en hétéro chromatine et incapable de se diviser dans les fibres musculaires adultes.
- un sarcoplasme axial abondant et renfermant divers organites (appareil de Golgi, mitochondries), du glycogène, de la myoglobine et un pigment jaune ou brunâtre : la lipofuschine.
- des myofibrilles : identiques à celles du muscle squelettique.

En microscope MET, la cellule musculaire cardiaque mesure 15 à 20 μm de diamètre et environ 100 μm de longueur. Elle possède un noyau central et est entourée d'un sarcolemme.

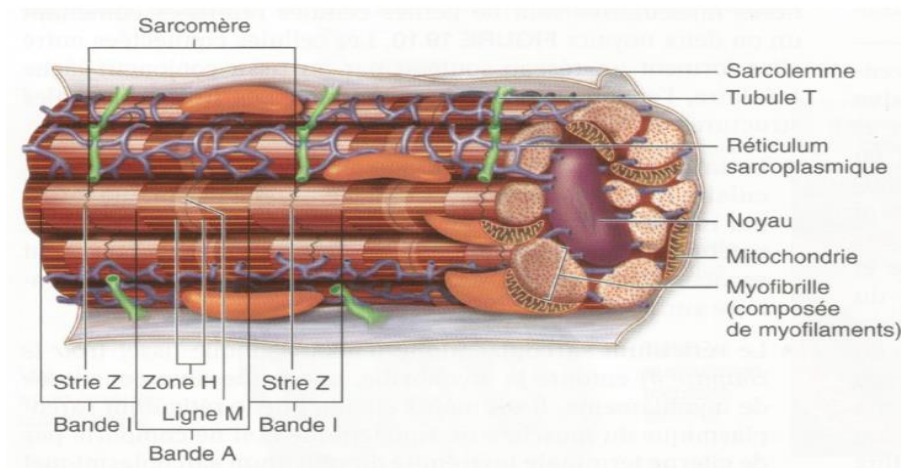


Fig.38 : La structure de cardiomyocyte

Les trois grandes structures d'un cardiomyocyte sont:

1. **Les myofibrilles**, très nombreuses et parallèles entre-elles, s'étendent sur toute la longueur de la cellule. Chaque myofibrille est constituée d'une succession d'unités structurales répétitives: **les sarcomères** qui s'étendent d'une strie Z à la strie Z suivante.

Le sarcolemme est la membrane plasmique de la cellule musculaire. Elle se creuse pour former des tubules T qui rejoignent le réticulum sarcoplasmique.

2. **Les sarcomères** sont constitués de deux filaments qui donnent l'aspect strié aux cellules musculaires. Des filaments épais de myosine localisés dans la partie centrale du sarcomère (bande A). Des filaments fins d'actine, rattachés au stries Z, localisés aux extrémités du sarcomère (bande I). Dans le muscle cardiaque, la position de repos des filaments est étirée, lorsqu'une cavité se remplit de sang. La contraction consiste à faire se chevaucher les myofilaments provoquant un raccourcissement des sarcomères, ce qui referme la cavité et expulse le sang.
3. **Le réticulum sarcoplasmique** entoure la myofibrille. Il intervient notamment dans la régulation de la contraction musculaire. C'est un réservoir intracellulaire d'ions Ca^{2+} .

Les myocytes cardiaques se rejoignent les uns aux autres par de nombreux plis du sarcolemme. Cela permet une forte interconnexion entre les cellules par augmentation de la surface de contact. Elle accroît la stabilité structurale du muscle cardiaque et facilite la communication

entre les cellules. La jonction de deux fibres musculaires est caractérisée par une structure particulière : **le disque intercalaire**.

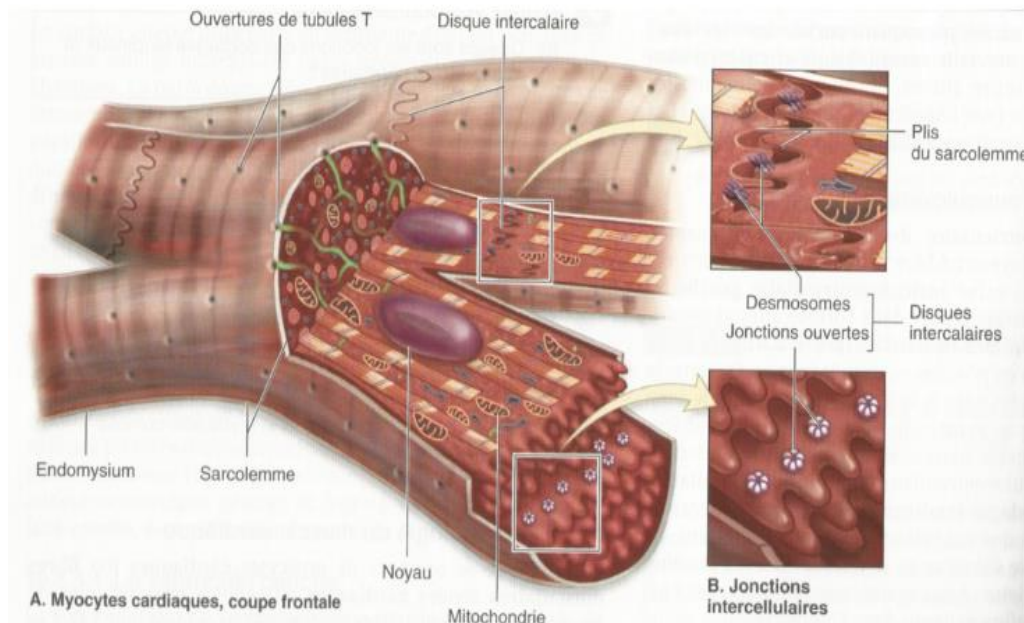


Fig.39 : Les éléments d'une cellule cardiaque

1.3.4.2.2. Contraction musculaire

Le muscle cardiaque se contracte en réponse aux signaux issus du système de conduction cardiaque. Cette contraction est contrôlée par la concentration en ions Ca^{++} d'une façon identique à celle de la cellule musculaire striée mais :

- Le système T est formé d'invaginations plus volumineuses
- Le réticulum sarcoplasmique est moins régulier et moins bien organisé
- Les diades sont en regard des stries Z et non pas en regard de la jonction A-I
- La propagation de l'onde de contraction dans l'ensemble du myocarde est assurée par les jonctions de type nexus des traits scalariformes. L'activité contractile permanente nécessite un besoin énorme d'énergie et donc une vascularisation importante. Celle-ci est apportée par les artères coronaires droite et gauche : A gauche, l'artère coronaire se divise en deux branches principales qui irriguent la face antérieure du cœur. L'artère coronaire droite irrigue la face postérieure.

1.3.4.3. Muscle lisse

Les muscles lisses sont composés de cellules à un seul noyau appelées léiomyocytes ou CML (cellule musculaire lisse). À l'inverse des muscles striés, les muscles lisses se contractent de manière involontaire et de façon rythmée. Ils sont sous le contrôle du système nerveux parasympathique et sont stimulés par des neuromédiateurs axonaux.

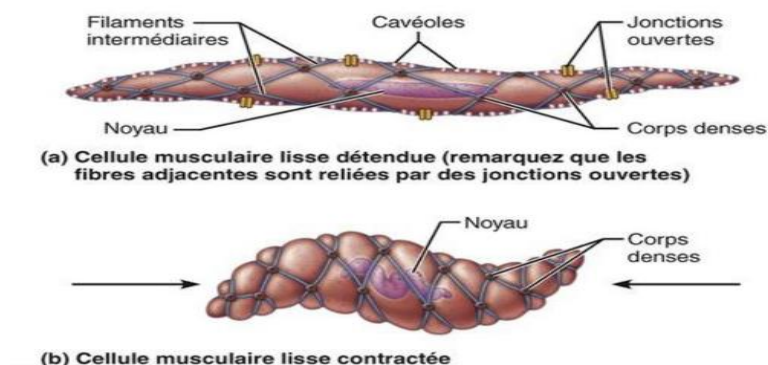
1.3.4.3.1. Fonction des muscles lisses

Les muscles lisses sont présents dans la paroi de la plupart des organes creux. Ils ont pour fonction de faire circuler les substances dans le corps.

- Tube digestif (péristaltisme)
- Poumons (dilatation et contraction des bronches)
- Vaisseaux sanguins (pression artérielle, irrigation des muscles et des organes)
- Pancréas (stimulation des sécrétions)
- Vessie (contraction et relaxation de la vessie)
- Muscles arrecteurs des poils («chair de poule»)
- Muscles constricteur et dilatateur de l'iris (réglage du diamètre de la pupille)
- Muscles ciliaires (accommodation dans la vision de près)

1.3.4.3.2. Structure générale

La cellule musculaire lisse est **fusiforme** avec un corps cellulaire renflé et deux extrémités effilées. Sa longueur varie de 15 (au niveau des petits vaisseaux sanguins) à 500 μm (au niveau de l'utérus). Chaque cellule possède **un noyau central** de forme elliptique situé dans un fuseau sarcoplasmique axial dépourvu de myofibrilles et où se trouvent les organites de la cellule notamment de nombreuses mitochondries. Chaque cellule est entourée du sarcolemme formé de la membrane sarcoplasmique et de la lame basale et contient des myofilaments orientés selon le grand axe de la cellule.



En microscope électronique, la cellule musculaire lisse ne présente pas de myofilaments hautement organisés comme dans la cellule musculaire striée mais elle possède un ensemble de faisceaux irréguliers de protéines contractiles (myofilaments fins et épais) qui s'entrecroisent dans le sarcoplasme et s'insèrent sur des points d'ancrage (corps denses) situés soit au niveau de la membrane plasmique, où ils sont comparables à des systèmes de jonctions adhérentes, soit au sein du sarcoplasme. Les cellules musculaires lisses communiquent entre elles par des jonctions communicantes (appelées aussi nexus) qui permettent notamment la diffusion de l'excitation entre les cellules.

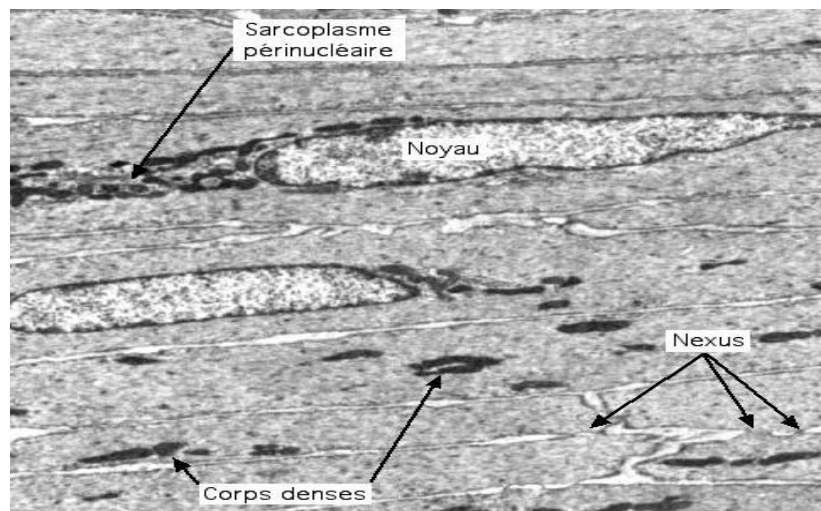


Fig.40: Tissu musculaire lisse en faible grossissement par microscope électronique.

1.3.4.3.3. Mécanismes moléculaires de la contraction des cellules musculaires lisses

- La contraction produit un raccourcissement de la cellule qui prend une forme globulaire, contrastant avec sa forme allongée au repos. En phase de contraction maximale le noyau est souvent replié sur lui-même.
- Par rapport à la fibre striée, le raccourcissement peut être beaucoup plus considérable (contrairement à la fibre striée où le raccourcissement est limité au déplacement possible dans le sarcomère, dans la fibre lisse les filaments de myosine peuvent "courir" sur une plus grande distance le long des filaments d'actine ancrés sur le réseau intermédiaire).
- Si les forces produites sont moins importantes, par contre la contraction peut être beaucoup plus soutenue.
- Les myofilaments épais sont composés de myosine, mais d'un type différent de celui du muscle strié.

- Les myofilaments fins d'actine (isoforme spécifique du muscle lisse) sont liés à de la tropomyosine, mais, au contraire du muscle strié, il n'y a pas de troponine. D'autres molécules sont présentes et en particulier la calponine et la caldesmone.
- La calponine est une molécule apparentée à la troponine. La calponine se lie à l'actine F dont elle modifie la conformation, stoppant la possibilité de glissement entre filament fin d'actine et de myosine. En outre la calponine inhibe l'activité Mg-ATPasique de la Myosine.

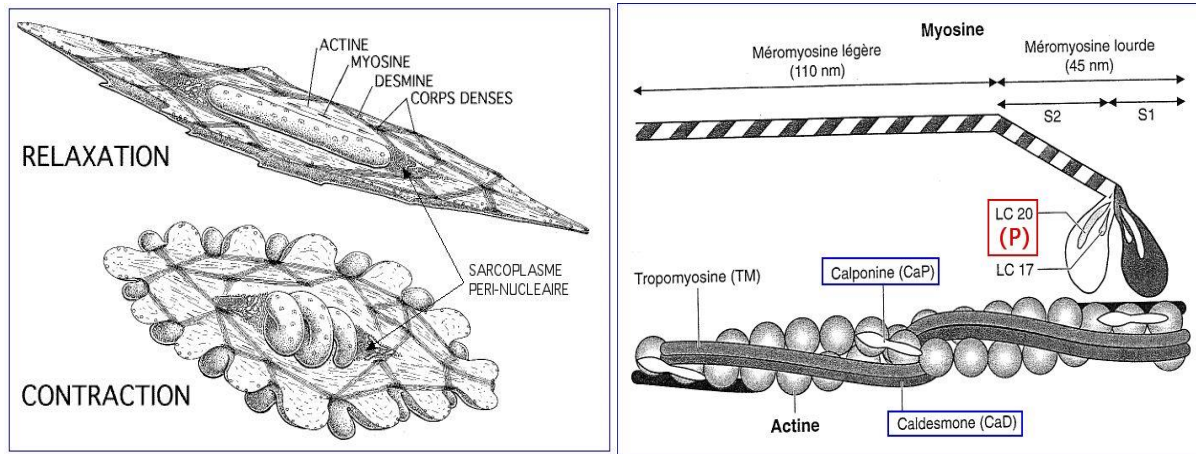


Fig.41: Mécanisme de contraction et de relaxation.

1.4. Tissus nerveux

Tissu nerveux est un ensemble des cellules se trouvent dans presque toutes l'organisme, c'est un substratum histologique du système nerveux (SN), est spécialisé dans la conduction, la transmission, le traitement des informations et d'assurer une bonne communication de l'organisme. Il en lien avec le système hormonal, lui permettant ainsi de réguler le fonctionnement de l'ensemble des organes notamment face aux changements de l'environnement extérieur. Ils s'articulent les uns avec les autres au moyen des synapses pour former des chaînes de neurones chez l'adulte, les neurones matures ne se nouvelles pas.

Selon sa structure, le SN est divisé en

1. Système nerveux central (cerveau, cervelet, tronc cérébral et moelle épinière)
2. Système nerveux périphérique (nerfs, ganglions, terminaisons nerveuses).

Selon leur fonction et leur mode de commande, on distingue:

1. Le système nerveux volontaire (somatique) : il dirige tous les processus sous le contrôle de la conscience et de la volonté
2. Le système nerveux végétatif (autonome): il dirige les fonctions des organes internes et est peu influencé par la volonté.

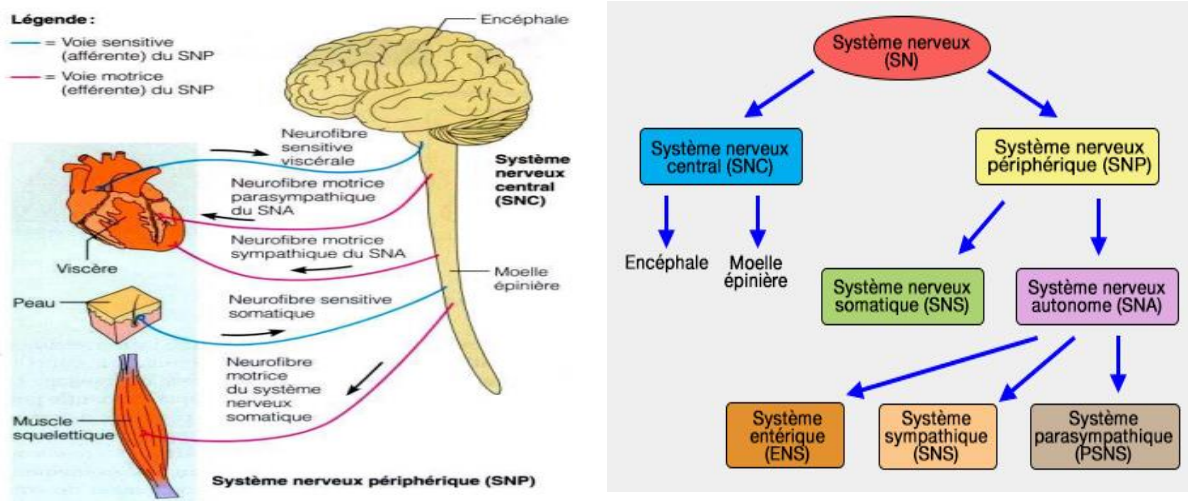


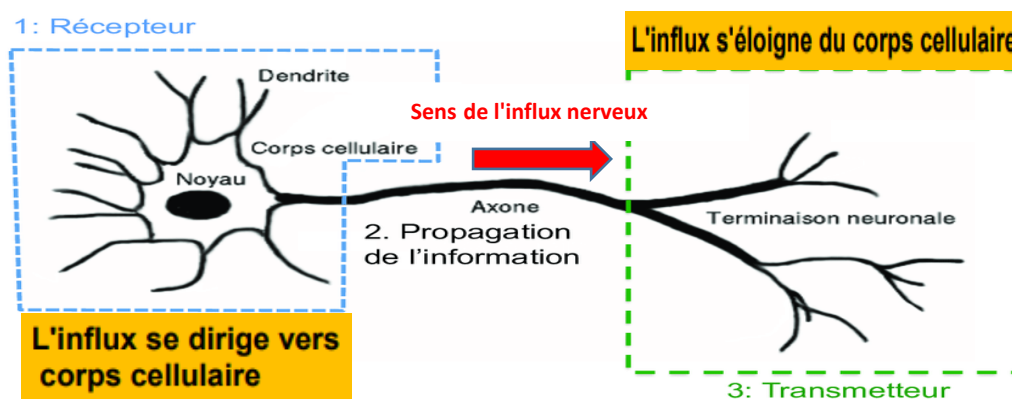
Fig.42: Organisation du système nerveux

Le tissu nerveux est composé de deux types de cellules:

1.4.1. Les types de cellules

a. Les neurones (cellules nerveuses)

Les neurones (d'une taille de 3 à 120µm) représentent la partie excitable du tissu nerveux et comportent : Un corps cellulaire (ou soma) qui comprend : le noyau et le péricaryon (cytoplasme) et Des prolongements cellulaires : les dendrites et l'axone et terminaisons axonales.



Grâce à des récepteurs spécifiques, le SN perçoit les modifications de l'organisme et ou de l'environnement. Il les transmet alors aux fibres nerveuses afférentes vers les centres nerveux supérieurs, où elles vont être traitées et une réponse va alors partir par les fibres nerveuses efférentes déclenchant alors une réaction adaptée à la situation.

Les neurones possèdent deux propriétés fondamentale ;l'excitabilité (capacité à réagir à un stimulus et à le convertir en influx nerveux) et la conductivité (capacité de propager et transmettre cet influx nerveux).

➤ **Le corps cellulaire**

Il est caractérisé par la présence de neurofibrilles dans le cytoplasme, et d'amas de RE réunis en un organite spécial appelé corps de Nissl.

➤ **Les dendrites**

Ce sont des prolongements du corps cellulaire avec les mêmes organites exceptés le noyau et l'appareil de Golgi. Elles augmentent la surface membranaire disponible pour l'arrivée des signaux provenant des autres neurones.

➤ **L'axone**

C'est un prolongement unique de corps cellulaire qui ne contient que des microtubules et des mitochondries. Sur son trajet il peut donner naissance à des collatérales. Il se termine par de petits renflements appelés **terminaisons axonales**. L'espace entre deux cellules nerveuses se nomme l'**espace synaptique**. L'ensemble des membranes et l'espace synaptique constitue **la synapse**, lieu de transmission de l'influx d'un neurone à un autre.

➤ **Les fibres nerveuses**

Les fibres nerveuses qui partent du système nerveux central vers la périphérie sont appelées **fibres nerveuses efférentes**. Si elles alimentent un muscle squelettique, elles se nomment **fibres nerveuses motrices**. Si les fibres se dirigent vers le système nerveux central, elles s'appellent **fibres nerveuses afférentes**. Si elles transmettent des informations en provenance de cellules ou d'organes sensoriels elles se nomment **fibres nerveuses sensorielles ou sensitives**. Un axone et sa gaine de myéline forment la fibre nerveuse.

La myéline est une substance isolante formée à partir de prolongements des membranes plasmiques des cellules spécialisées que sont les cellules de Schwann dans le système nerveux

périphérique et les oligodendrocytes dans le système nerveux central. Les fibres nerveuses sont de deux types:

- **La fibre myélinisée** (couverte de gaine de myéline, la **cellule de Schwann** s'entoure autour de l'axone de la fibre du système nerveux périphérique laissant contre celle-ci une partie de sa membrane et les cellules formatrices de myéline sont séparées les unes des autres par des espaces appelés **nœud de Ranvier**).
- **La fibre amyélinique**

Elle est dépourvue de gaine de myéline, mais possède une gaine de Schwann constituée de cellules de Schwann non déroulées. A noter que les cellules de Schwann et les oligodendrocytes servent aussi à nourrir l'ensemble des fibres nerveuses.

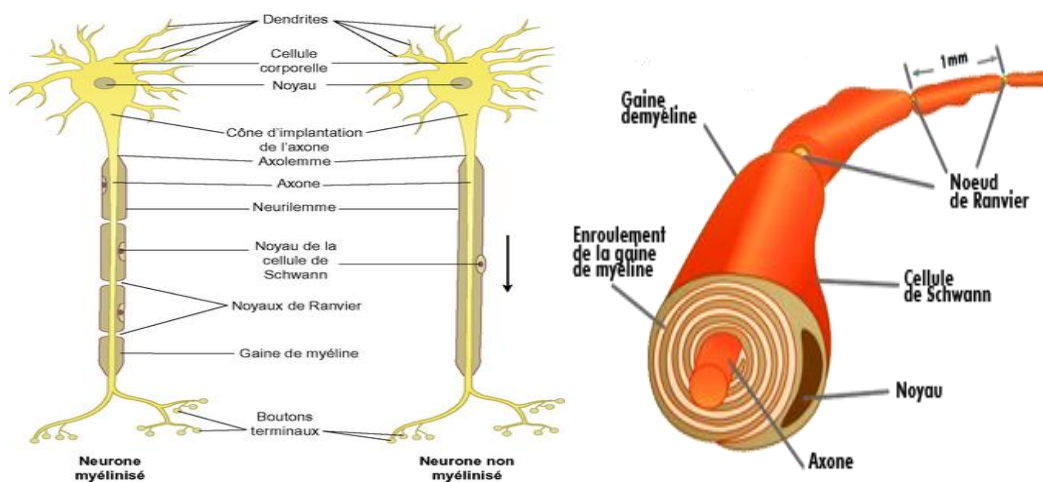


Fig.43: Structure de fibre myélinique et amyélinique

➤ Le nerf

Un paquet de fibres nerveuses parallèles enveloppées dans une gaine de tissu conjonctif forme un nerf. Un nerf peut se diviser plusieurs fois au cours de son cheminement ou bien s'unir avec d'autres nerfs. Il peut contenir aussi bien des fibres motrices que des fibres sensibles (= nerf mixte).

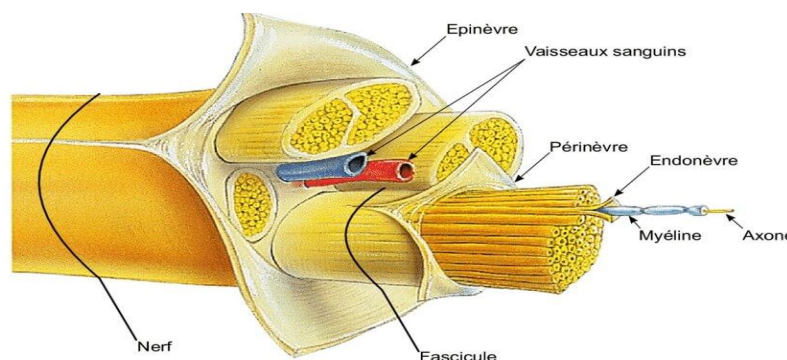
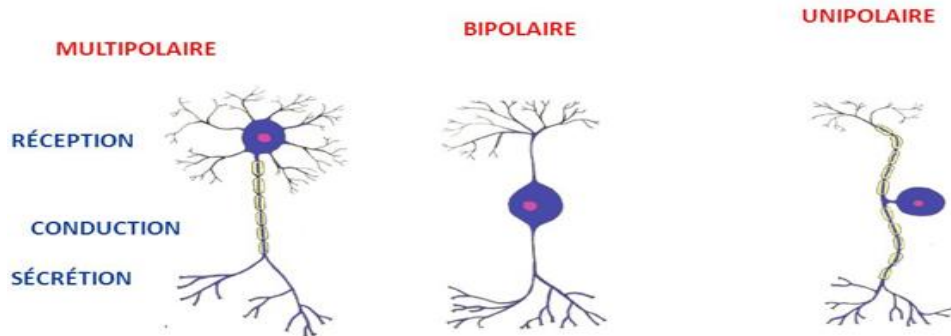


Fig.44: Structure d'un nerf

➤ **Classification des neurones**

L'aspect des prolongements permet de distinguer des neurones : cellules multipolaires ; cellules bipolaires ; cellules unipolaires.



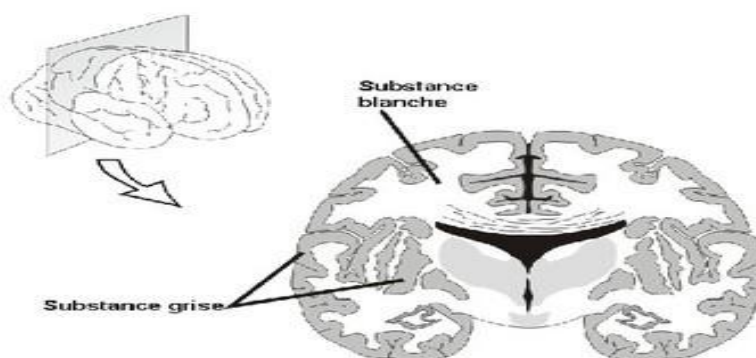
➤ **Substance grise et substance blanche**

- **La substance blanche**

La substance blanche contient les axones qui sont les prolongements des neurones. Ces prolongements particulièrement étirés et longs sont entourés d'une gaine de myéline et de la névroglie. Le rôle de la substance blanche est d'assurer la conduction de l'influx nerveux entre deux centres nerveux consécutifs ou entre un centre nerveux et un nerf.

- **La substance grise**

Tissu appartenant au système nerveux central (encéphale et moelle épinière) de coloration grise. La substance grise constitue la partie noble du système nerveux, contient les corps des neurones. Elle est située en surface du cerveau et du cervelet ou en profondeur de ceux-ci, sous forme de noyaux gris. La substance grise se trouve également à l'intérieur, au centre de la moelle épinière. Elle est constituée essentiellement des corps cellulaires des cellules nerveuses et d'autres cellules non nerveuses formant la névroglie. La substance grise a pour rôle de réceptionner les messages et d'analyser les informations afin d'élaborer les réponses.



b. Les cellules gliales (cellules de protection)

Ce sont des cellules de soutien et forment la névroglie. La névroglie ou tissu glial est formée de cellules d'origine ectodermique (sauf la microglie) appelées : gliocytes.

Contrairement aux neurones, les cellules gliales ne peuvent pas déclencher ou transmettre l'influx nerveux, mais, remplissent des fonctions de protection, d'alimentation et immunologique pour le neurone. Elles peuvent, en outre, proliférer, combler les trous laissés par les neurones détruits et même donner des tumeurs.

Elle assure à la fois :

- Un rôle de soutien des organes nerveux.
- Un rôle de nutrition des cellules nerveuses.
- Un rôle d'isolement des éléments nerveux des tissus qui les entourent.

Classification

- **Glyocytes du système nerveux central** : Astrocytes ont distingué: Astrocytes fibrillaires (SB) et Astrocytes protoplasmiques (SG), Microgliocytes, Ependymocytes, Oligodendrocytes
- **Glyocytes du système nerveux périphérique** : Cellules de Schwann (Elles entourent les fibres nerveuses dans les nerfs périphériques) et Cellules satellites (Elles forment une couronne entourant le corps cellulaire des neurones pseudounipolaires du ganglion spinal).

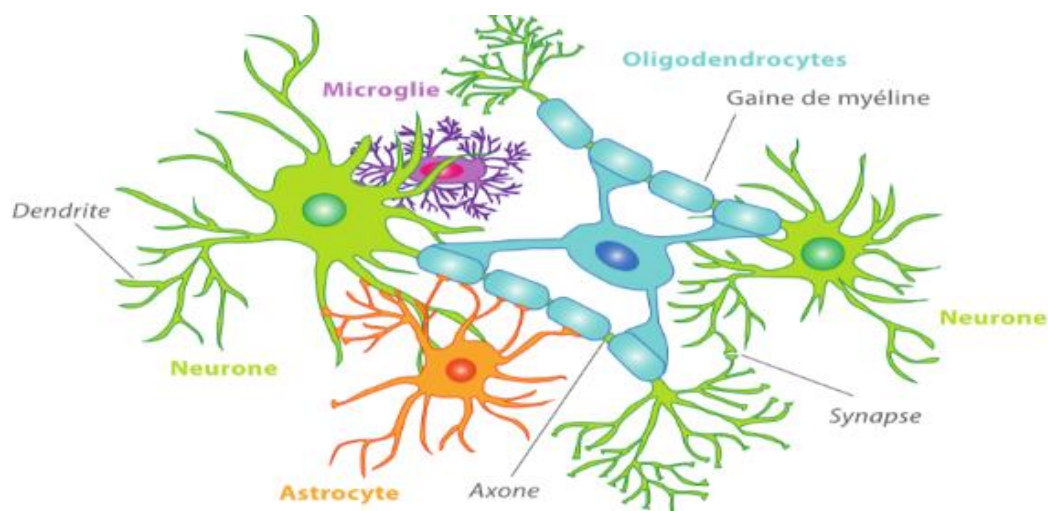


Fig. 45: Les cellules gliales dans le cerveau

1.4.2. L'influx nerveux

L'influx nerveux est également appelé potentiel d'action. Il désigne le signal électrique produit par un neurone lorsqu'il est stimulé. Ce signal est ensuite transmis par des synapses, ou connexions entre les cellules

Si le neurone sert de messagerie, les messages donnés ou reçus sont transportés par l'influx nerveux. L'influx nerveux est un potentiel électrique se déplaçant sur un axone après que le neurone ait été stimulé. Il existe un état de repos (potentiel de repos) et un état actif (potentiel d'action).

Structure d'une synapse

Une synapse est formée de trois parties:

- Le **neurone pré-synaptique** : extrémité ramifiée d'un axone formée d'un bouton présynaptique contenant des vésicules remplies de neurotransmetteurs.
- La **cellule post-synaptique** avec la membrane post-synaptique qui comprend les récepteurs pour les neurotransmetteurs.
- La **fente synaptique** entre les cellules pré et post-synaptique. Elle est remplie de liquide extra cellulaire.

Les synapses relient les neurones entre eux, entre neurones et cellules musculaires (plaque motrice) ou entre neurones et cellules glandulaires.

Fonctionnement d'une synapse

L'influx nerveux arrive au niveau de la synapse provoquant la libération dans la fente synaptique de la substance chimique (neurotransmetteur) contenue dans les vésicules du bouton synaptique. En effet l'influx nerveux arrivant au niveau de la fente présynaptique entraîne l'ouverture des canaux de calcium. Ce sont les ions calcium qui permettent la libération des vésicules dans la fente synaptique. Les molécules de neurotransmetteur libéré se lient alors avec les récepteurs spécifiques de la membrane postsynaptique. Pour éviter une action prolongée du neurotransmetteur, il est ensuite transformé en une substance chimique inactive qui retourne dans l'axone terminale qui l'a libéré.

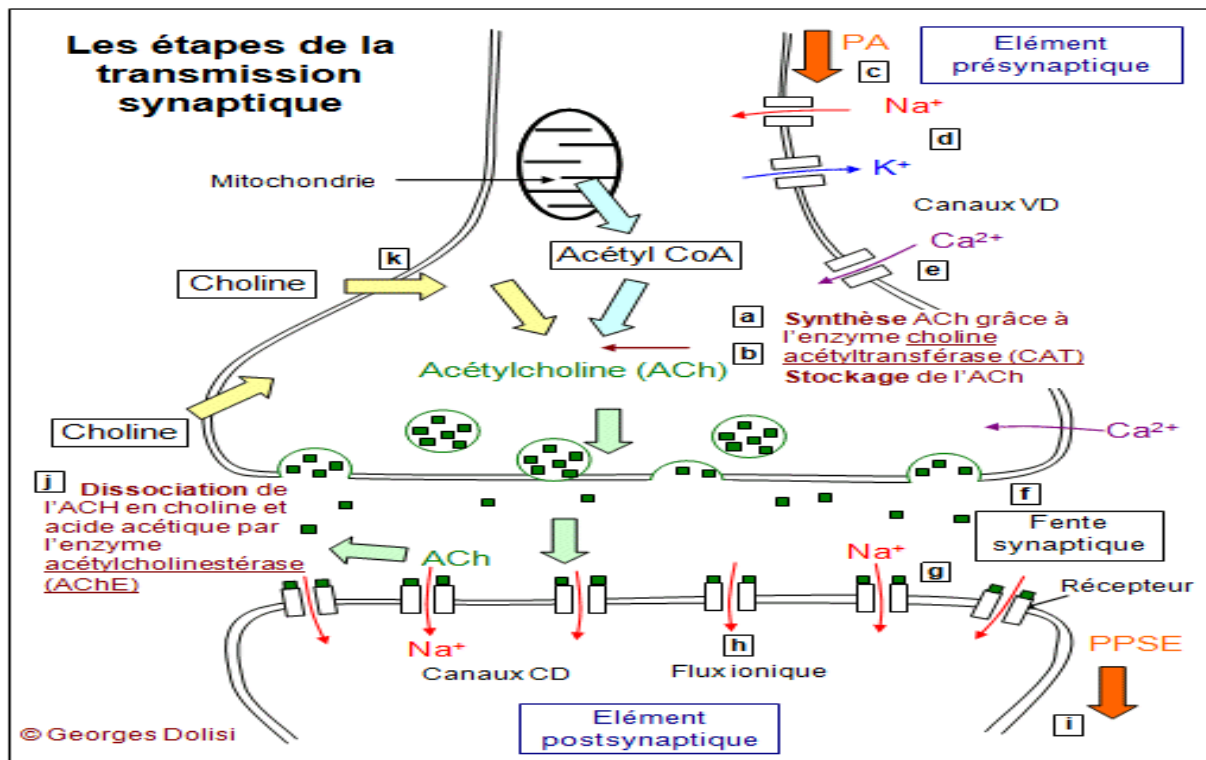


Fig.46: Mécanisme de la transmission synaptique

Les deux types de synapses

Selon les effets que le neurotransmetteur a sur la membrane post synaptique, les synapses peuvent être **excitatrices** ou **inhibitrices**.

Les neurotransmetteurs

Les neurotransmetteurs sont des substances chimiques qui sont libérées par les neurones présynaptiques et qui agissent ensuite sur les neurones postsynaptique ou sur d'autres cellules.

- L'acétylcholine présente dans les synapses cholinergiques. Elle est un neurotransmetteur majeur dans le système nerveux périphérique. Elle agit surtout sur la plaque motrice.
- Les monoamines regroupent la dopamine, la noradrénaline et l'adrénaline.
- La sérotonine joue un rôle dans les états de conscience et l'humeur.
- Les peptides (endorphines).
- Le GABA (gamma-aminobutyrique).

Ils participent à la commande de nos sensations et de nos comportements en ayant une action sur la membrane post-synaptique soit excitatrice ou inhibitrice.

CHAPITRE VI

Les Tissus Végétaux

Structure Et Fonction

Introduction:

Un tissu végétal est un ensemble de cellules végétales ayant une même origine embryologique et qui se sont semblablement différenciées dans le but de remplir une fonction déterminée. Dans les organes des plantes, comme dans ceux des animaux, les cellules sont réparties en populations spécialisées, ou tissus. Il s'agit donc d'un ensemble fonctionnel qui réalise une division du travail physiologique.

Les tissus peuvent se diviser en plusieurs catégories structurales ou fonctionnelles :

1. Les tissus primaires

1.1. Les méristèmes primaires

Ces méristèmes sont localisés à l'extrémité des tiges (méristème caulinaire) et des racines (méristème racinaire) et ils assurent la croissance en longueur. L'embryon des Angiospermes comporte déjà les ébauches des futurs méristèmes caulinaires et racinaires. Le fonctionnement des méristèmes primaires aboutit à l'obtention des différents tissus. Ils sont dénommés tissus primaires pour les différencier des tissus secondaires qui apparaissent chez certaines plantes ultérieurement. Les cellules du méristème primaire sont petites et isodiamétriques. Elles sont parfaitement jointives (pas de méats). Elles possèdent un noyau central occupant une partie importante du volume cellulaire. L'appareil vacuolaire est réduit et il est constitué par de très petites vacuoles qui sont soit sphériques soit disposés en un très fin réseau. Les mitochondries sont nombreuses et il n'existe pas de plastides différenciés.

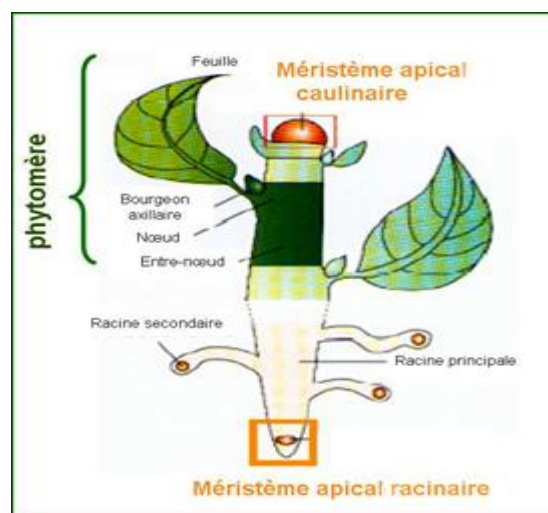


Fig.47 : Localisation des méristèmes

Méristème racinaire

L'allongement des racines se fait par son extrémité au niveau du méristème racinaire, ce dernier il est uniquement histogène. Il ne produit pas d'organes latéraux donc il n'est pas organogène.

A l'extrémité des racines, on distingue :

- **La coiffe:** L'extrémité des racines est recouverte d'une coiffe, dont la fonction est de protéger le méristème contre la rugosité du sol.
- **La zone de multiplication ou division:** La zone de division juste au-dessus de la coiffe, comprend le méristème apical et les méristèmes primaires qui en dérivent. C'est à cet endroit que se fait l'absorption des sels minéraux.
- **La zone d'élongation:** Au-dessus de la zone de division cellulaire, les cellules du méristèmes deviennent environ 10 fois plus longue et permettent à la racine de s'enfoncer dans le sol.
- **La zone de différenciation:** Avant d'avoir terminer leur croissance, les cellules commencent à se spécialiser.

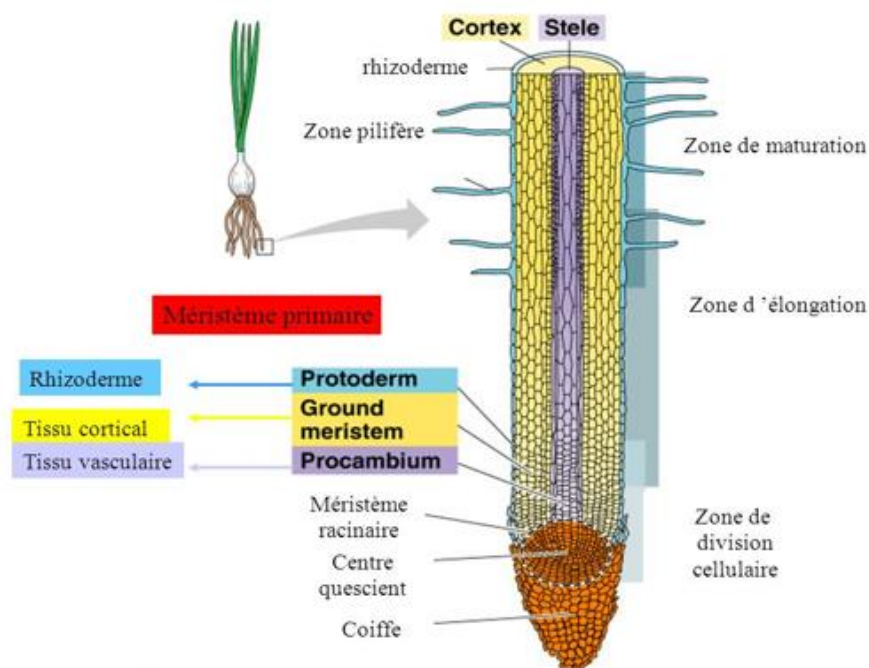


Fig.48: Différentes zone à l'extrémité d'une racine

Méristème caulinaire

Il est histogène et organogène car il est le responsable de l'édification et la multiplication de la partie aérienne de la plante, en se différenciant donneront les tiges, les feuilles, les bourgeons axillaires et les bourgeons floraux. Une coupe longitudinale d'un méristème végétatif caulinaire sous forme d'un dôme de 0.5 à 3 mm, montre l'existence de trois zones essentielles :

- **Une zone axiale (Za):** avec deux couches superficielles, les tunicas T1 et T2 et le corpus C.
- **Une zone latérale (ZL):** entourant la zone axiale (Za), la partie à droite correspond à l'apparition d'une feuille (ZLF). On distingue des divisions périclines (cloisons parallèles à la surface).
- **Un méristème médullaire (Mm):** aux mitoses peu fréquentes formant des files empilés de cellules à l'origine de la moelle centrale M

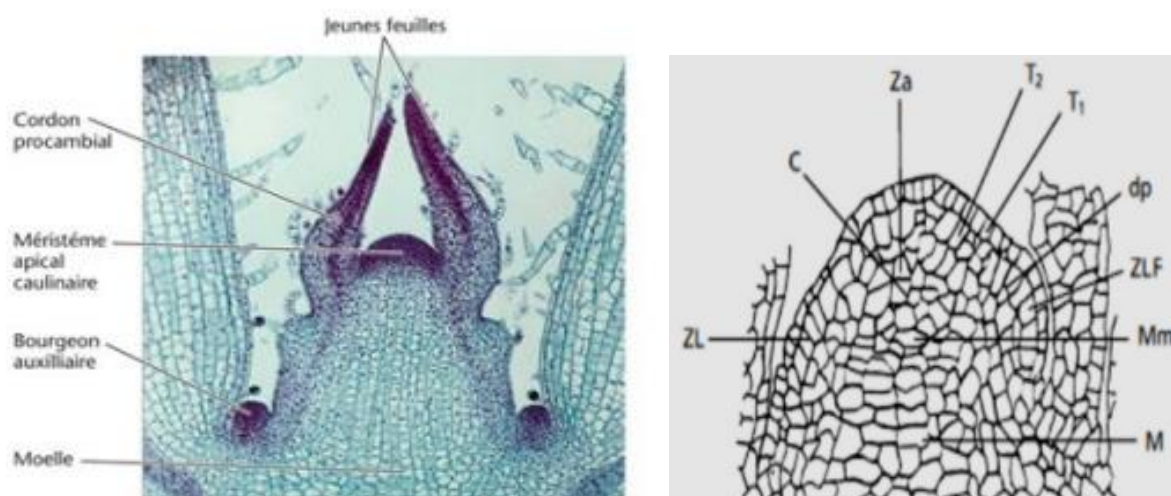


Fig.49: Méristème apical caulinaire.

1.2. Tissus de protection

L'épiderme (assise épidermique)

L'épiderme est un tissu végétal superficiel formant une assise continue de cellules qui recouvre les parties aériennes d'une plante et fournit une protection contre la dessiccation et les agressions extérieures tout en permettant les échanges gazeux avec l'atmosphère.

L'épiderme est interrompu par des cellules stomatiques. La paroi externe des cellules épidermiques est épaissie par un dépôt de cutine (matière cireuse de nature lipidique) constituant la cuticule.

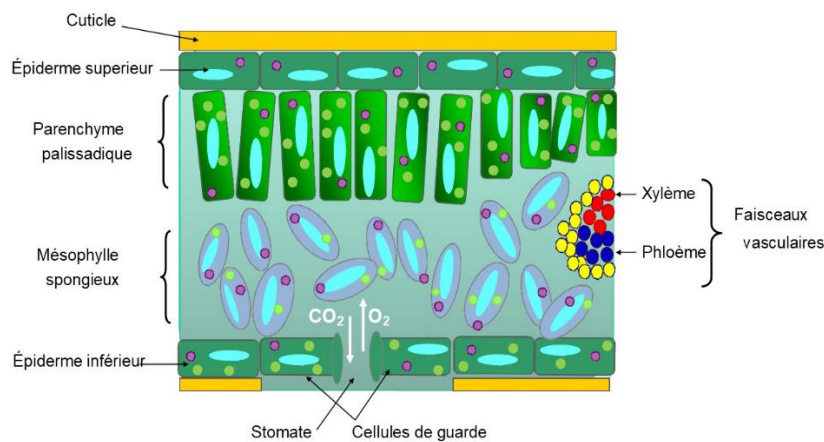


Fig.50: Cellules épidermiques.

Rhizoderme (assise pilifère)

Est un tissu superficiel des racines d'une plante, équivalent de l'épiderme des parties aériennes, parfois appelé épiderme racinaire. A la différence de l'épiderme, il est dépourvu de cuticule et de stomate. Dans la toute jeune racine, de nombreuses cellules du rhizoderme forment des poils absorbants (cellules hypertrophiées) spécialisés dans la collecte de l'eau et des sels minéraux présents dans le sol.

Endoderme

L'endoderme correspond à la partie la plus interne d'écorce végétale dans les jeunes tiges et les jeunes racines, souvent constituée d'une seule assise de cellule. Plus la plante va devenir âgée, plus l'endoderme va se lignifier en formant ainsi les cadres de Caspary qui assurent ainsi une

sélectivité des substances assimilées via l'empêchement des voies de transports apoplasmiques et l'obligation des voies de transport symplasmique.

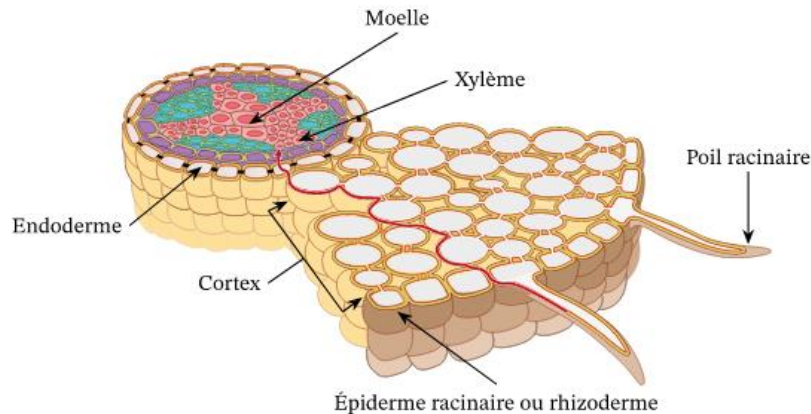


Fig.51: Poils absorbants chez le rhizoderme et Endoderme .

1.3. Les parenchymes : Tissus de remplissage

Les parenchymes, nés du fonctionnement des méristèmes primaires, sont formés de cellules vivantes. Les cellules parenchymateuses sont volumineuses, isodiamétriques ou allongées. Leurs vacuoles sont très développées mais leurs parois pectocellulosiques sont minces et flexibles à cause de l'absence de paroi secondaire. Le parenchyme se localise dans le cortex (parenchyme cortical) ou bien dans la moelle (parenchyme médullaire) des tiges et des racines, dans le mésophylle des feuilles et dans la chair des fruits. On classe ces tissus d'après leurs fonctions en : parenchymes chlorophylliens qui assurent la photosynthèse, les parenchymes de réserve, plus internes, qui accumulent des composés organiques (sucres, lipides, protéines) et autres comme l'eau et l'air. La structure des parenchymes est plus ou moins compacte. Aussi, le parenchyme lacuneux qui est très poreux, a un rôle dédié aux échanges gazeux avec le milieu.

a. Parenchymes chlorophylliens (Chlorenchyme)

Les parenchymes sont des tissus peu différenciés qui sont le siège des fonctions élaboratrices de la plante (photosynthèse et stockage des réserves). Ils sont caractérisés par la présence de nombreux chloroplastes dans leurs cellules. Les cellules du parenchyme chlorophyllien laissent entre elles des méats et prennent une forme arrondie. Elles peuvent être aussi séparées par de grandes lacunes assurant la circulation des gaz. Les parenchymes chlorophylliens sont abondants dans les organes aériens notamment dans les feuilles qui renferment deux types de chlorenchyme :

- **Parenchyme chlorophyllien palissadique** : cellules allongées et accolées les unes aux autres, sans méats. Les cellules situées du côté de la face foliaire supérieure des feuilles présentent un nombre important en chloroplastes en assurant ainsi la photosynthèse.
- **Parenchyme chlorophyllien lacuneux** : cellules plus ou moins arrondies ou étoilées, caractérisées par un nombre réduit de chloroplastes, entre lesquelles se trouve de grandes lacunes afin d'assurer les échanges gazeux par les stomates et qui se trouvent dans la face foliaire inférieure.

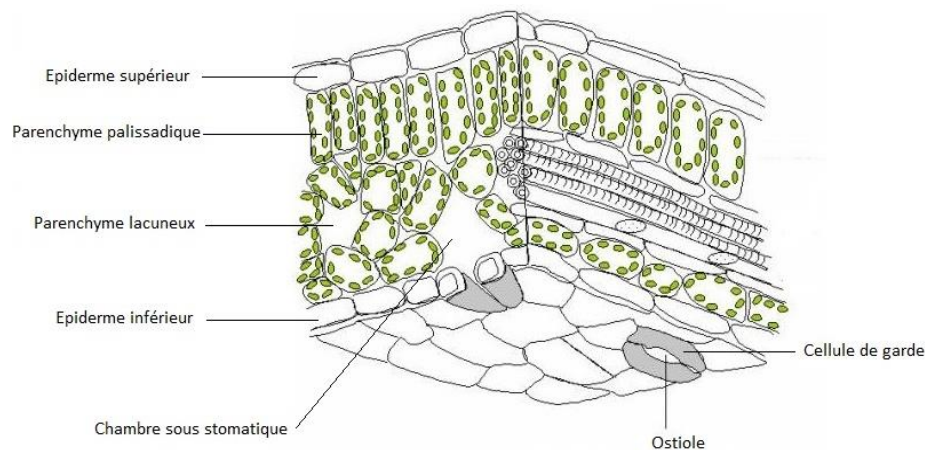


Fig.52: Parenchyme chlorophyllien et lacuneux dans une feuille

b. Parenchymes de réserve

Ils sont abondants dans les organes souterrains. La moelle des tiges est en général constituée par un parenchyme amylicifère. On les trouve aussi dans les fruits et les graines. Les parenchymes de réserve sont constitués de cellules vivantes avec des plastides non pigmentés. Ils élaborent de volumineux grains d'amidons dans leurs stromas à partir des produits de la photosynthèse des organes aériens, ils mobilisent et restituent ces réserves ultérieurement lors des reprises de la végétation. Les réserves peuvent être aussi sous forme de glucides (betterave à sucre), de lipides (graines d'arachides) et de protides (graines de céréales).

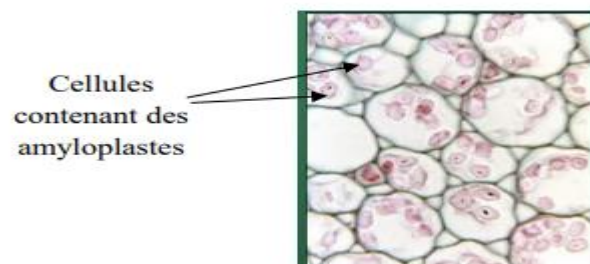


Fig.53: parenchyme de réserves nutritives (amidon).

c. Parenchymes aquifères

Parenchymes qui mettent en réserve de l'eau dans de grandes vacuoles. Les cellules sont grandes à méats. Ces parenchymes sont abondants dans les tiges et les feuilles des plantes succulentes (plantes grasses). Certains végétaux utilisent l'eau mise en réserve pendant la période de sécheresse.

d. Parenchyme aérifères

Fréquent chez les plantes aquatiques, se sont des parenchymes lacuneux, où les grandes lacunes emmagasinent de l'air : CO₂ et O₂ pour les échanges gazeux.

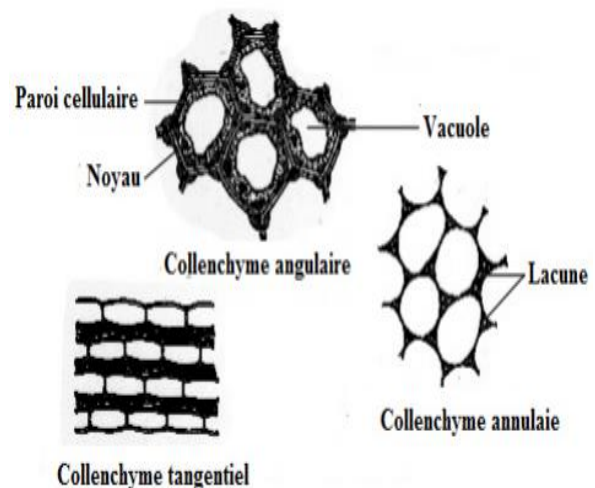
1.4. Tissus de soutien

Ils sont constitués de cellules à paroi épaisse lui donnant une certaine rigidité, ils assurent la souplesse et la rigidité en particulier chez les plantes herbacées. Ce sont **le collenchyme et le sclérenchyme**.

a. Collenchyme

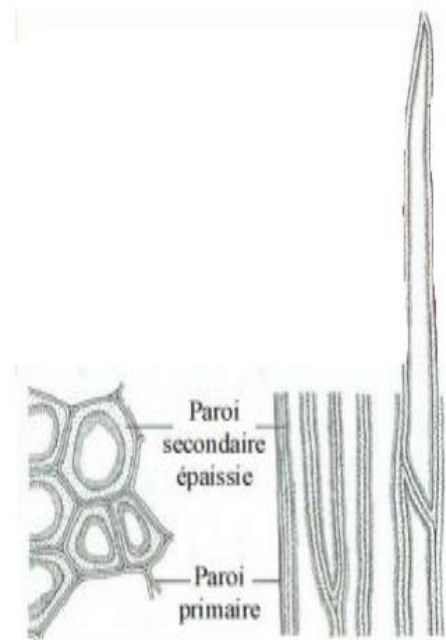
C'est un tissu primaire qui se trouve sous l'épiderme. Le collenchyme se forme dans les organes jeunes en croissance, aériens essentiellement. C'est un tissu vivant dont les parois sont épaissies par un dépôt de cellulose, ce qui confère à la plante une grande résistance à la flexion et à la traction, une élasticité et une certaine souplesse. Il est généralement situé sous l'épiderme des tiges et des pétioles, On peut distinguer trois types d'épaississement :

- ✓ Le collenchyme annulaire: dont les dépôts de la cellulose de la paroi sont uniformes.
- ✓ Le collenchyme angulaire: où l'épaississement cellulosique est concentré sur les angles de la paroi.
- ✓ Le collenchyme tangentiel ou lamellaire: où seules les parois tangentielles, c'est-à-dire parallèles à la surface externe, sont épaissies.



a. Sclérenchyme

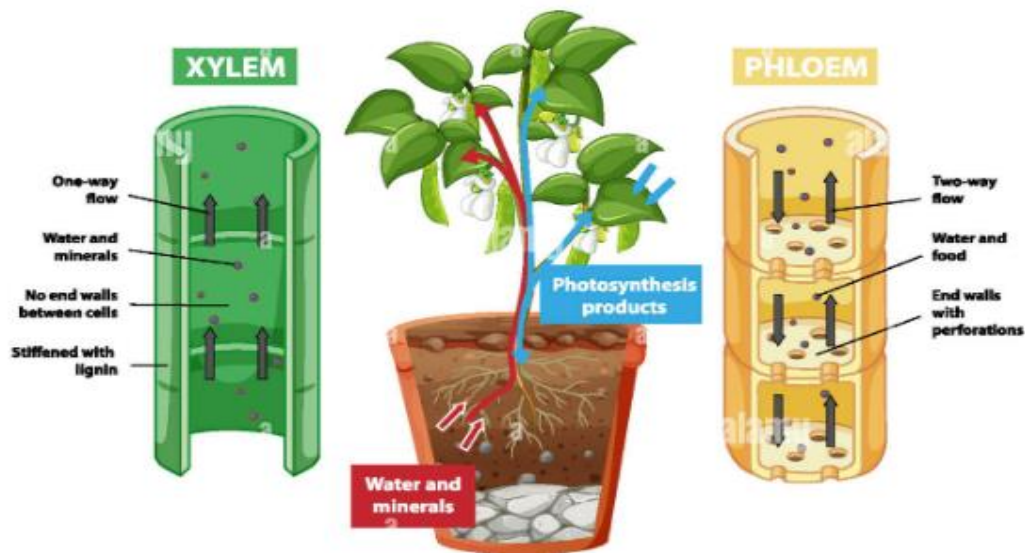
Le sclérenchyme est un tissu de soutien des organes dont l'allongement est achevé (parties de la plante qui ne sont plus en croissance). C'est un tissu constitué de cellules mortes dont les parois sont épaissies par un dépôt de lignine qui confère la dureté et la rigidité à la plante. Les cellules de sclérenchyme sont regroupées en fibres scléreuses sous forme de faisceaux ou bien en sclérites sous formes des cellules présentant des formes irrégulières. Chez les végétaux pourvus d'importants tissus secondaires, le rôle de soutien est plutôt assuré par les tissus conducteurs secondaires plutôt que le collenchyme et le sclérenchyme.



1.5. Tissu conducteurs

Plus une plante grandit, plus les apports en eau sont indispensables et les transports de l'eau au sein de la plante difficile à mettre en œuvre. Les tissus conducteurs des Angiospermes sont le xylème et le phloème. **Le xylème** conduit **la sève brute** (eau+sel minéraux) minéraux puisés dans le sol par les racines, **le phloème** conduit **la sève élaborée** (substances organiques provenant de la photosynthèse) vers tous les organes de la plante.

Le xylème et le phloème sont étroitement associés et forment le système vasculaire qui assure les corrélations entre les différentes parties de la plante. Une zone génératrice appelée cambium libéro-ligneux se met entre le xylème primaire et le phloème primaire, sa différenciation donne naissance à des tissus conducteurs secondaires appelés xylème secondaire (le bois) et phloème secondaire (le liber).



Le xylème est formé de deux types de cellules :

- Les trachéides sont des cellules mortes allongées, moins riches en lignines, les extrémités sont en biseau où la sève circule via les perforations et les ponctuations.
- Vaisseaux (Trachés), constitué de cellules mortes, assez larges et plus courtes que celles des trachéides. Leurs extrémités sont ouvertes est la sève y circule librement.

Le phloème est aussi formé par deux types de cellules :

- Les cellules criblées, ce sont des cellules vivantes allongées ayant conservé leur paroi cellulosique et leur cytoplasme mais dépourvus de noyau. Leurs parois transversales sont perforées et appelées des cribles, permettant le passage de la sève élaborée.
- Les cellules compagnes, sont des cellules vivantes associées aux cellules criblées et qui communiquent avec elles par des plasmodesmes en assurant ainsi toutes les fonctions nécessaires que les tubes criblés ne peuvent plus remplir.

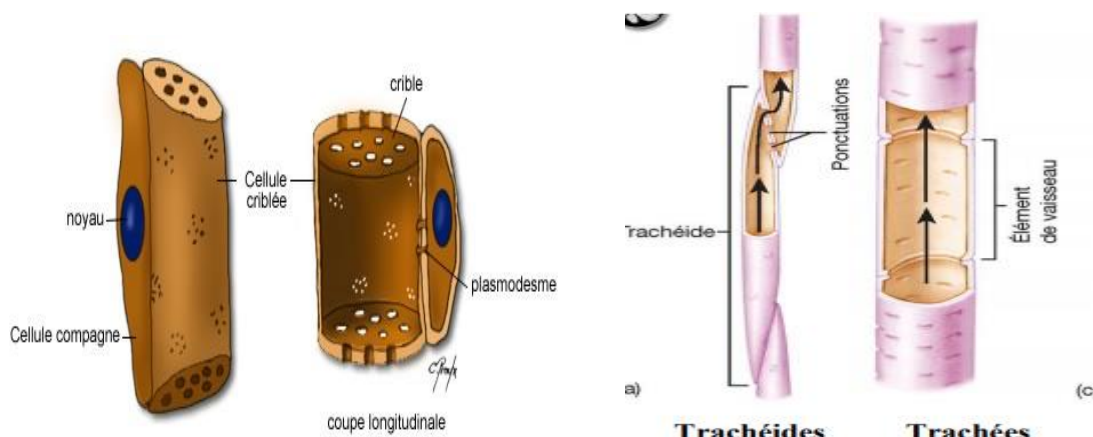


Fig. 54: Les éléments de xylème à gauche et de phloème (ou liber) à droite

1.6. Tissus sécréteurs

La sécrétion consiste en la fabrication de substances du métabolisme secondaire, non constantes dans tout le règne végétale, qui seront éliminées à l'extérieur du végétal par des appareils sécréteurs ou être accumulés au sein de leurs cellules.

Les tissus sécréteurs sont des tissus spécialisés dans la synthèse et la sécrétion de certaines substances (essences, latex...ect). Ils correspondent à des canaux ou poils sécréteurs, cellules sécrétrices, poches ou parenchymes de stockage, ils sont très variés aussi bien dans la forme que dans le mode de libération et peuvent se localiser dans tous les tissus.

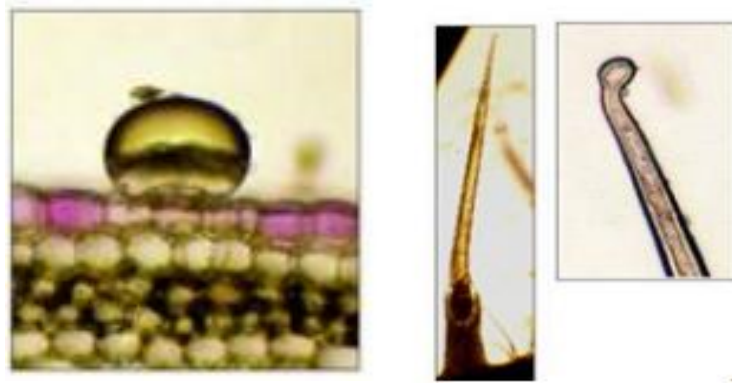


Fig.55: Poil épidermique de la sauge (à gauche) et poil épidermique de l'ortie (à droite)

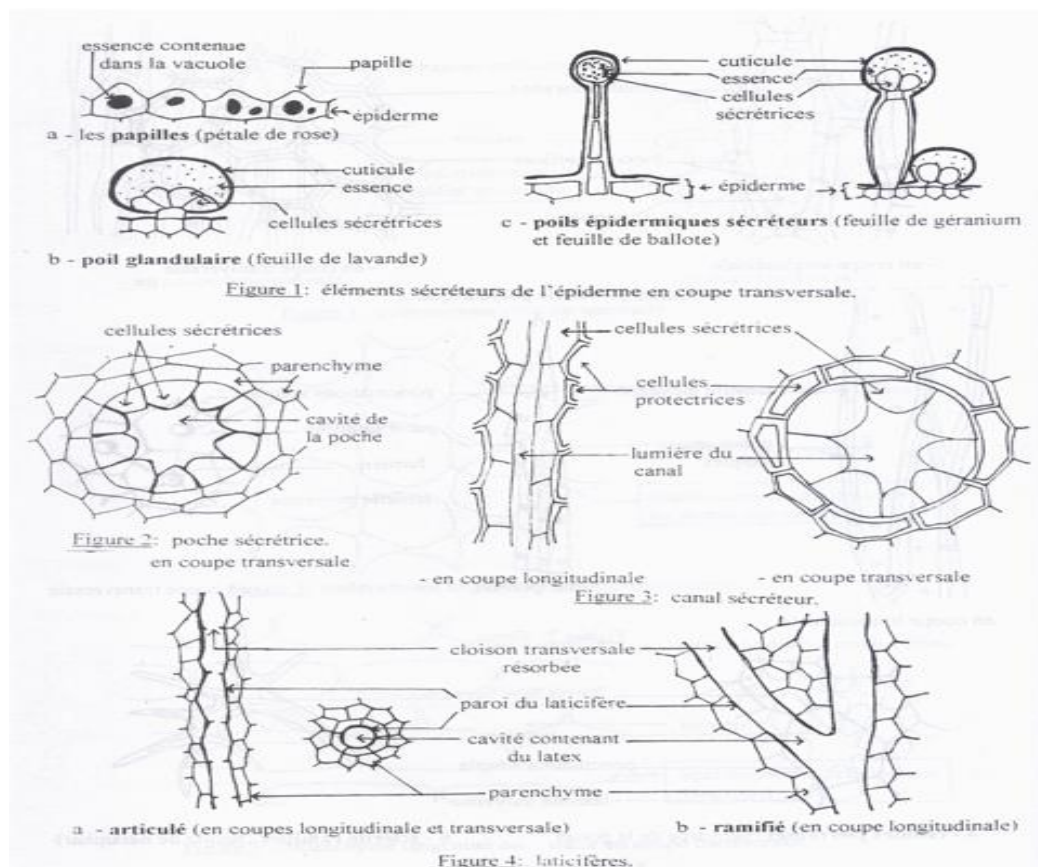
On peut distinguer deux catégories de tissus sécréteurs :

Tissus sécréteurs externes

- **Cellules d'épidermes** : Peuvent élaborer et accumuler dans leur cytoplasme des essences volatiles, qui en se vaporisant au travers de la cuticule mince, produisent des parfums agréables ou non de certaines plantes (Planche 12 – Fig. 1a)
- **Poils épidermiques (les poils sécréteurs)** : Ou bien poils glandulaires (Planche 12 – Fig. 1b) ou poils sécréteurs (Planche 12 – Fig. 1c). Ce sont des poils composés ou pluricellulaires, dont la ou les cellules terminales accumulent des essences volatiles. L'essence sécrétée est accumulée entre la paroi des cellules et la cuticule. La déchirure de cette cuticule libère l'essence qui se volatilise.

Tissus sécréteurs internes :

- **Cellules sécrétrices isolées** : Se trouve au sein des parenchymes, des cellules isolées accumulant dans les vacuoles, les produits qu'elles ont synthétisés. Exemple : cellules à tannins.
- **Poches sécrétrices** : Cavités sphériques situées dans les parenchymes des feuilles, tiges et fruits chez certaines espèces. Ces poches sont bordées de cellules qui sécrètent et excrètent leurs produits (Planche – Fig. 2). Exemples : péricarpe de l'orange, mandarine, citron et résines des feuilles et tiges de Pin.
- **Canaux sécréteurs** : Forme allongés en coupe longitudinale (Planche – Fig. 3a) et circulaires en coupe transversale (Planche – Fig. 3b)
- **Laticifères** : Des éléments allongés, ramifiés ou non, renfermant un liquide ressemble le lait = latex. Le latex est un liquide visqueux parfois coloré. Ils renferment de l'eau, glucose, acides organiques, sels minéraux, alcaloïdes, tannins, mucilages, enzymes, terpènes et amidon. Exemple : caoutchouc (terpènes). Suivant leur mode de formation, on distingue deux catégories de laticifères : **laticifères vrais** (Planche – Fig. 4b) et **laticifères articulés** (Planche – Fig. 4a).



4. Tissus secondaires

Après l'achèvement de la croissance primaire, cette dernière peut être suivie d'une croissance toute différence. Elle est due au fonctionnement des méristèmes secondaires ou zones génératrices qui se divisent régulièrement de façon périclines ou tangentielles.

4.1. Méristèmes secondaires

Ils n'existent que chez les Gymnospermes et les Angiospermes dicotylédones, ils sont constitués de cellules à contour rectangulaires disposées en rangées régulières. La vacuole est très développée, le noyau est localisé à la périphérie des cellules. Les méristèmes secondaires assurent la croissance des organes en largeur, ils sont constitués de deux assises génératrices :

- L'assise génératrice subéro-phellodermique (phéllogène) (ASP):

C'est l'assise secondaire la plus externe. Elle se met en place dans l'épaisseur du parenchyme cortical. Le phellogène donne naissance vers l'intérieur à un parenchyme secondaire, le phelloderme, et vers l'extérieur à un tissu protecteur le suber ou le liège.

- L'assise génératrice libéroligneuse (cambium) (ALL)

C'est l'assise secondaire la plus interne, elle se met en place selon une ligne passant entre le xylème et le phloème primaires. Par des divisions tangentielles, le cambium donne naissance à de nouvelles cellules alignées radialement. Celles qui sont situées vers l'intérieur se différencient en bois ou en xylème secondaire, celles qui sont situées vers l'extérieur se différencient en liber ou phloème secondaire.

4.2. Tissus conducteurs secondaires

Ce sont des tissus conducteurs des sèves brute et élaborée dans le végétal. Ils proviennent du fonctionnement des méristèmes secondaires **libéro-ligneux ou cambium**, et donc présents dans les organes âgés des Angiospermes dicotylédones (tige, feuille et racine). La zone génératrice donne naissance à deux tissus conducteurs secondaires : **Le liber (phloème secondaire)** dirigé vers l'extérieur et **le bois (xylème secondaire)** dirigé vers l'intérieur.

4.3. Tissus protecteurs secondaires

Ce genre de tissus sont formés à partir d'une zone subéro-phellodermique (phellogène) qui est un méristème secondaire cortical mis en place par dédifférenciation de cellules de parenchyme cortical sous épidermique et parfois de l'épiderme, destiné à produire :

Vers l'extérieur, du suber (liège), un tissu de protection constitué par un manchon de cellules mortes imperméables contenant de la subérine. Vers l'intérieur, il forme un tissu vivant, le phelloderme qui joue un rôle assimilateur ou de réserve. L'association suber-phelloderme-phellogène s'appelle périderme. Il n'existe pas de phellogène au sens strict chez les Monocotylédones mais il est bien présent chez les Angiospermes Dicotylédones.

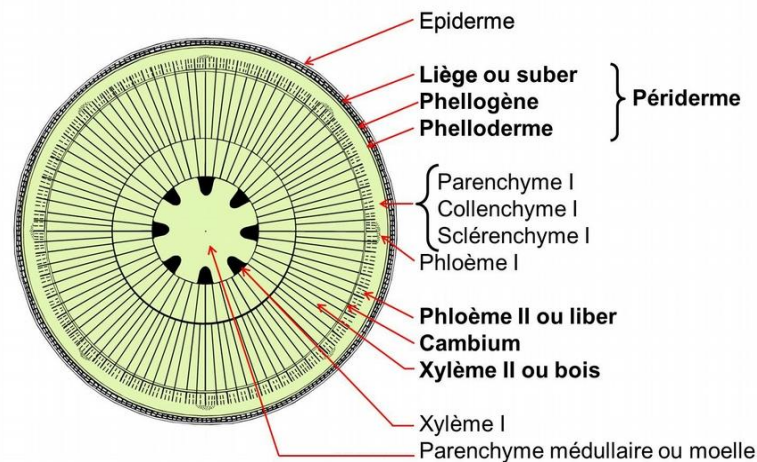


Fig.56: Exemple d'une structure secondaire des tiges

CHAPITRE VII

Tissus et Cellules

Techniques Analytiques

I. Méthodes et techniques d'observations des cellules et les tissus

La cellule est l'unité structurale et fonctionnelle fondamentales des organismes vivants et du fait de leurs petites tailles (10 à 100 μm), la biologie cellulaire à, tout d'abord, besoin d'en obtenir une image agrandie de bonne qualité, cela nécessite en premier lieu la microscopie.

1. La microscopie

Les cellules qui ont été fixées et colorées sont étudiées avec un **microscope optique** conventionnel, tandis que le **microscope à fluorescence** permet de localiser dans les cellules des molécules particulières qui ont été marquées par des anticorps couplés à des colorants fluorescents. L'observation de cellules vivantes peut s'effectuer avec des **microscopes à contraste de phase**. La **microscopie confocale** fournit de fines coupes optiques en excluant la lumière située hors du champ de focalisation et est utilisée pour reconstruire les images à trois dimensions.

Alors que la détermination des structures détaillées des membranes et des organites dans les cellules nécessite la forte résolution que l'on peut atteindre avec le **microscope électronique à transmission**. Des images tridimensionnelles de la surface des cellules et des tissus sont obtenues par la **microscopie électronique à balayage**.

1.1. Les microscopes optiques (M.O)

Les microscopes optiques (à lumière transmise ou photoniques) permettent l'observation de cellules vivantes ou mortes, grâce à des coupes très fines de préparations fixées. L'échantillon est éclairé en lumière transmise, et est examiné à travers un système optique qui comprend : **Un objectif** qui donne une image grossie de la structure étudiée et **un oculaire** qui permet l'examen de l'image. **Le pouvoir séparateur ou de résolution** : Est la capacité d'une lentille ou d'un microscope à permettre la vision de deux points extrêmement rapprochés comme deux points distincts. L'image de l'échantillon est agrandie jusqu'à 1000 fois, avec un pouvoir séparateur de 1/10 de micromètres.

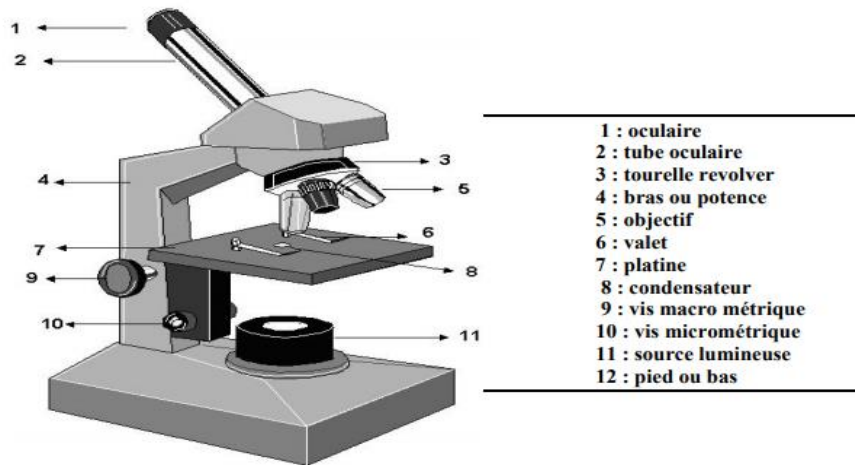


Schéma d'un microscope optique monocular

1.1.1. Types de microscopes optiques

On distingue plusieurs types de microscopes :

- a. Microscope à contraste de phase : Sert à observer des cellules vivantes, non colorées. Il permet de voir les déplacements cellulaires (ex : suivre les étapes de la division cellulaire).
- b. Microscope à fond noir : Permet d'observer des cellules vivantes en action (déplacement, division, phagocytose, etc.)
- c. Microscopie de fluorescence : Permet d'observer des éléments fluorescents dans une cellule. Le plus souvent utilisé pour détecter les protéines spécifiques ou d'autres molécules rendues fluorescentes par couplage à un fluochrome.
- d. Microscope inversé : À l'inverse de la microscopie optique classique où la lumière arrive sur l'échantillon par le bas et où l'observation se fait par le dessus, pour le microscope inversé, la source de lumière est placée au-dessus de l'échantillon et les objectifs en dessous. Ce microscope est beaucoup utilisé pour l'observation de cellules en culture *in vitro*.
- e. Microscope à lumière polarisée : Il permet d'étudier les composants cellulaires qui se caractérisent par la libération de la lumière polarisée. Il est utilisé dans le domaine de l'observation pétrographique et l'identification des minéraux dans les roches.

1.2. Les microscopes électroniques

Ils nous permettent à l'intérieur de la cellule d'étudier des objets extrêmement petits, jusqu'à l'échelle d'une macromolécule. Le principe de fonctionnement est basé sur le remplacement des photons par des électrons, les lentilles de verre sont remplacées par des lentilles électromagnétiques et la limite de résolution du ME est plus élevée à celle du MO, elle est de 2 nm et donc on obtient un grossissement jusqu'à $\times 100\,000$ (c'est-à-dire 1000 fois plus élevé que le MO). L'agrandissement du ME peut atteindre jusqu'à 500.000 contre 2000 pour un MO. Les microscopes électroniques nécessitent la déshydratation de l'échantillon et donc la mort des cellules et du fait du faible pouvoir pénétrant des électrons les échantillons doivent être sous forme de coupes ultra fines et donc soumis à des inclusions. Le microscope électronique donne des photos en noir et blanc.

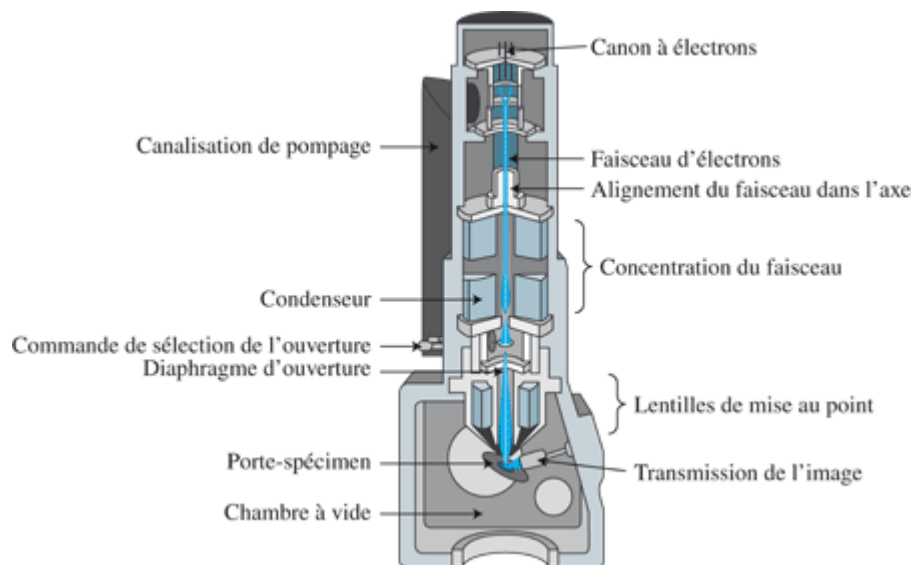


Fig. 57: Microscope électronique

1.2.1. Microscope électronique à transmission (MET)

Utilise un faisceau d'électron à haute tension, émis par un canon à électrons. Les électrons traversent l'échantillon traité par des métaux lourds. Sur l'écran du MET apparaît une image claire et agrandie. L'image est due à l'absorption différentielle des électrons par les différentes structures de l'échantillon. Le MET se compose essentiellement de :

- une source des électrons (fil métallique chauffé à un degré très élevé sous vide). Sous vide, les électrons vont être accélérés en appliquant une différence de potentiel de 10 à 100 kV - Espace tubulaire sous vide

- Des lentilles électromagnétiques (Bobines) permettent la diffraction du trajet des électrons.

1.2.2. Microscope électronique à balayage (MEB)

Ce microscope permet l'observation des surfaces et permet d'obtenir une image en relief de la surface de l'échantillon en trois dimensions (en pseudo 3D...). Il est utilisé dans l'étude des surfaces des objets massifs après leur traitement par des substances métalliques réfléchissantes telles que le platine, l'argent et l'or. Le flux d'électrons balaye la surface de l'objet. Ce sont les électrons secondaires, renvoyés par la surface métallique, qui sont utilisés pour fournir une image.

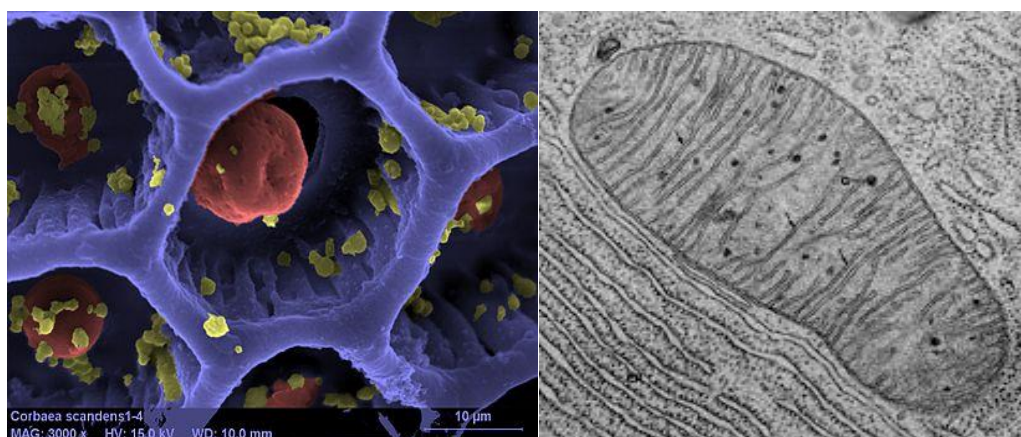


Fig. 58: Le microscope électronique à balayage fournit des images en relief des objets observés (ici, un pollen d'une fleur (à gauche). Mitochondrie / REG par microscope électronique de transmission (à droite).

1.3. Différence entre MO et ME

Les microscopes optiques	Les microscopes électroniques
Faisceau lumineux (photons)	Faisceau d'électrons
Lentilles en verre	Lentilles électromagnétiques (champs)
Grossissement x 2 000 fois	Grossissement x 2 000 000 fois
Résolution (0,2 μm)	Résolution (peut atteindre 0.05 nm)
L'image : est observée directement par les oculaires.	L'image : est reçue sur un écran fluorescent.
les coupes au microtome : 2 à 10 μm	les coupes à l'ultramicrotome : 0,05 μm

2. Techniques de préparation des échantillons

Afin d'observer et étudier les cellules et les tissus on utilise un certain nombre de techniques :

2.1. Techniques de préparation des coupes fines et ultrafine

La préparation des coupes fines se fait en plusieurs étapes :

- a. Préparation de l'observation : la préparation à observer est placée sur la platine et centrée pour que la lumière traverse le tube optique donnant un rond lumineux dans l'oculaire.
- b. La mise au point : le petit objectif (faible grossissement) est placé dans l'axe du tube optique. Il faut ensuite regarder dans l'oculaire et, à l'aide de la vis macrométrique de mise au point, remonter le tube jusqu'à l'obtention d'une image nette.
- c. Exploration de la préparation : la préparation est déplacée délicatement jusqu'à trouver l'objet recherché (échantillon).
- d. Changement de grossissement : il faut placer la zone à agrandir au centre de la platine, puis changer d'objectif en tournant le barillet, sans toucher au réglage précédent. Le changement d'objectif se fait toujours du plus faible au plus fort grossissement. La nouvelle mise au point se fait seulement par la petite vis.
- e. Toujours commencer l'observation avec l'objectif le plus faible.
- f. N'utiliser la vis macrométrique (la grosse) qu'à faible grossissement.
- g. Fixer la lame avec les valets : si l'un d'eux est manquant, ne pas incliner le microscope.
- h. Ne jamais descendre le tube sans surveiller la platine et la lame en regardant sur le côté.
- i. Aux grossissements supérieurs, n'utiliser que la vis micrométrique.
- j. Si la vis semble bloquée, il faut s'assurer que l'objectif n'appuie pas sur la lame.

Pour la préparation des coupes ultrafine, les tranches doivent être coupées en très fines (50 à 100 nm) pour permettre aux électrons de les traverser, pour cela :

- a. Les cellules sont tuées par des fixateurs (glutaraldéhyde, tétroxyde d'osmium) qui préservent les structures cellulaires.
- b. Les échantillons fixés sont lavés dans l'eau, puis déshydratés par des solvants organiques (acétone).
- c. Les échantillons sont inclus dans une résine (araldite).

- d. Les blocs de résine renfermant l'échantillon sont coupés à l'aide d'un ultra microtome muni d'un couteau de verre ou de diamant.

Les coupes cellulaires sont recueillies sur une grille en cuivre. La grille est trempée dans une solution de métaux lourds (uranium, plomb) pour noircir les structures cellulaires et augmenter le contraste. La grille est ensuite introduite dans le MET pour l'observation.

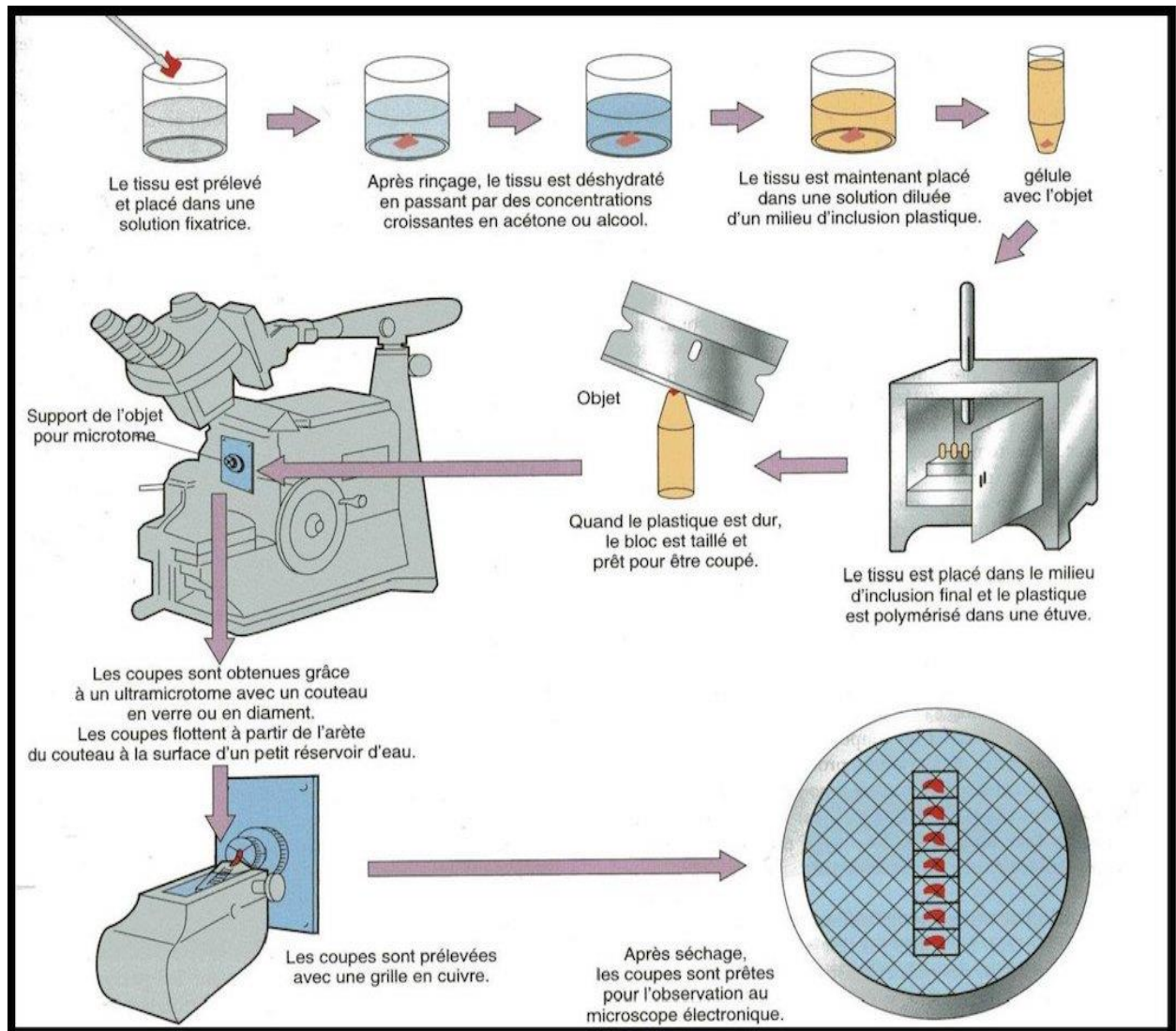


Fig.59: Résumé de la méthode de préparation des coupes.

2.2. Techniques d'observation des formes et des surfaces cellulaires

2.2.1. La coloration négative

La coloration négative est une technique très utile en microscopie électronique. Elle permet de caractériser la morphologie des particules isolées comme les bactéries, virus, protéines, nanoparticules, liposomes, exosomes l'ADN, etc. Le principe est basé sur :

- L'objet biologique est déposé sur une grille
- Préparation de la solution constituée par l'échantillon et l'acide phosphotungstique (2%).
- Dépôt d'une goutte de ce mélange sur la grille porte objet recouverte d'une membrane ayant de l'affinité avec l'acide phosphotungstique
- Laisser sécher de manière à ce que l'acide/ phosphotungstique ne se retrouve que sur la surface de la membrane, autour de l'échantillon mais pas au dessus de ce dernier.
- À l'observation, les électrons vont traverser l'échantillon et poursuivre leur trajet vers l'écran luminescent.
- Les électrons qui arrivent sur la surface de la membrane recouverte d'acide phosphotungstique seront retenus ; par conséquent, l'échantillon aura un aspect clair sur un fond très dense.

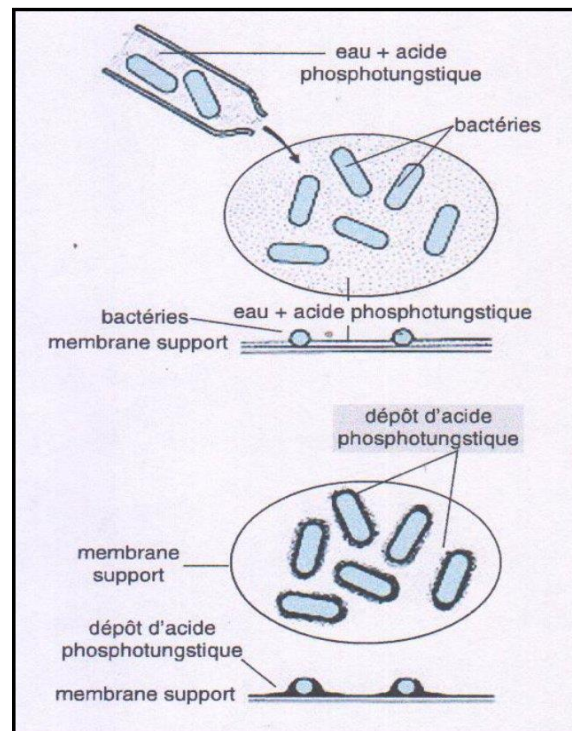


Fig.60: Principe de la coloration négative Après évaporation du solvant contenant le «colorant» et accumulation de ce dernier autour des particules ou des cellules déposées sur une membrane-support, on obtient un effet de halo permettant de voir ces particules en négatif, en microscopie électronique

2.2.2. Les ombrages métalliques

Le consiste à déposer l'objet à étudier sur un support, puis à exposer l'ensemble à des vapeurs métalliques (obtenue en vaporisant sous vide une électrode métallique) et ceci sous incidence pour avoir une ombre formée. C'est pour rendre visible de très petites particules isolées et également visualiser l'ADN et l'ARN et dans l'étude des surfaces (cryofracture).

Les ombrages métalliques permettent d'accentuer les reliefs d'un objet en vaporisant sous vide une très fine couche métallique avec un certain angle d'incidence entraînant la formation d'ombre portée. Les molécules ou les particules, dissoutes ou suspendues dans l'eau, sont directement étalées à la surface d'une grille carbonée pour la microscopie électronique. Vaporisation d'une très fine couche métallique (or ou platine), à la surface de la préparation. La projection de métal est réalisée sous un angle assez incliné par rapport au plan de la grille celle-ci conduit à une accumulation localisée de métal qui donne un effet «d'ombre portée» lors de l'examen en microscopie électronique à balayage

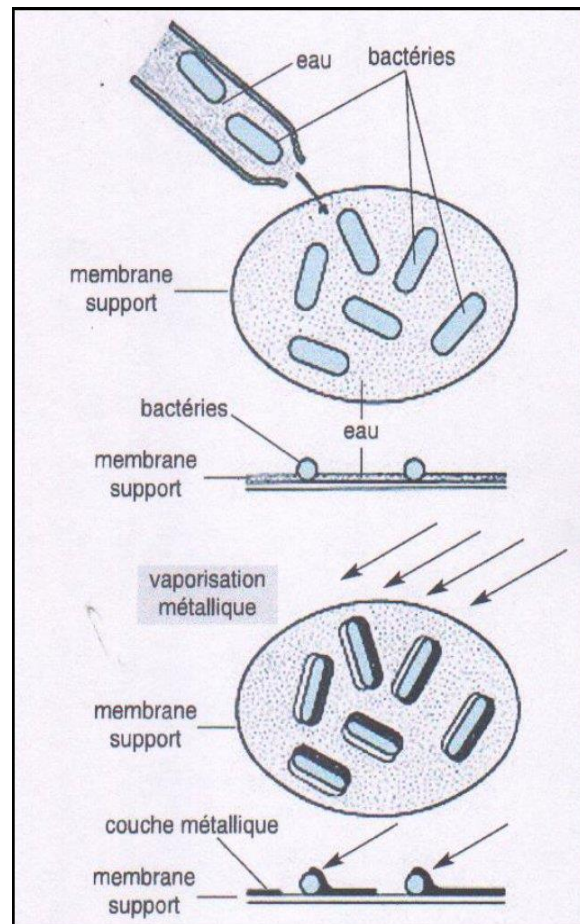


Fig.61: Principe de l'ombrage métallique Après évaporation du solvant contenant les particules ou les cellules en suspension, celles-ci sont déposées sur une membrane-support. On procède ensuite à une opération de vaporisation métallique latérale sous vide ; celle-ci conduit à une accumulation localisée de métal qui créera un effet «d'ombre portée» lors de l'examen en microscopie électronique.

2.2.3. Cryofracture et cryodécapage

Cette technique constitue un développement de la technique dite d'ombrage métallique mise au point dix ans plus tôt, elle est d'abord basée sur la congélation très rapide d'un tout petit échantillon biologique (moins de 1 mm³), dans de l'azote liquide (- 196 °C). L'étape cruciale du protocole est la fracture, et non la coupure, de l'échantillon congelé, et ceci à très basse température. Cette cryofracture dégage une surface irrégulière à travers l'échantillon, et c'est cette surface qui sera observée.

On réalise ensuite le décapage de la surface de l'échantillon en sublimant, sous vide et à basse température, une fine pellicule de glace superficielle; ce qui a pour effet d'augmenter très légèrement les reliefs des structures (cryodécapage).

On enchaîne avec un ombrage métallique, sous vide et à froid, pour renforcer les reliefs). Un film de carbone uniforme et très fin est ensuite vaporisé par dessus la surface métallisée pour la renforcer et couvrir les zones non atteintes par le métal. On a ainsi réalisé un vrai moulage extrêmement précis de la surface fracturée de l'échantillon: la réplique; c'est elle qui est observée au microscope électronique à transmission. Avant l'observation, il faudra la décoller de l'échantillon par décongélation, la rincer et enfin la déposer sur une grille de microscopie électronique.

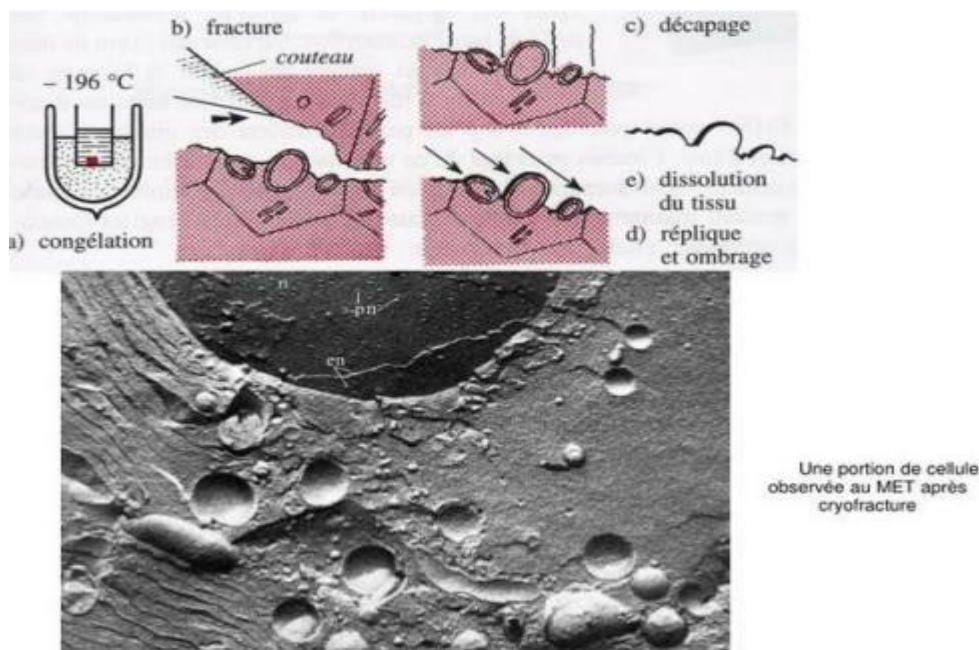


Fig.62: technique de cryo-fracture et cryo-décapage

2.3. Techniques d'observations externe de la cellule à l'échelle électronique

2.3.1. Technique d'autoradiographie

Est une technique d'enregistrement du lieu d'émission de radiations ionisantes émises par une source radioactive incorporée dans un tissu sur un support sensible tel qu'un film photographique ou une émulsion sensible. Cette technique permet :

- La localisation précise ainsi que l'étude du métabolisme de la substance marquée au niveau cellulaire et subcellulaire.
- La localisation de sources de très faible activité (exemple : 1 désintégration par jour) ; dans ces conditions, le temps d'exposition peut dépasser 6 mois pour l'étude des mécanismes de réparation de l'ADN.
- La quantification : la correction de l'autoabsorption des émissions β de faible énergie du tritium doit être prise en compte.

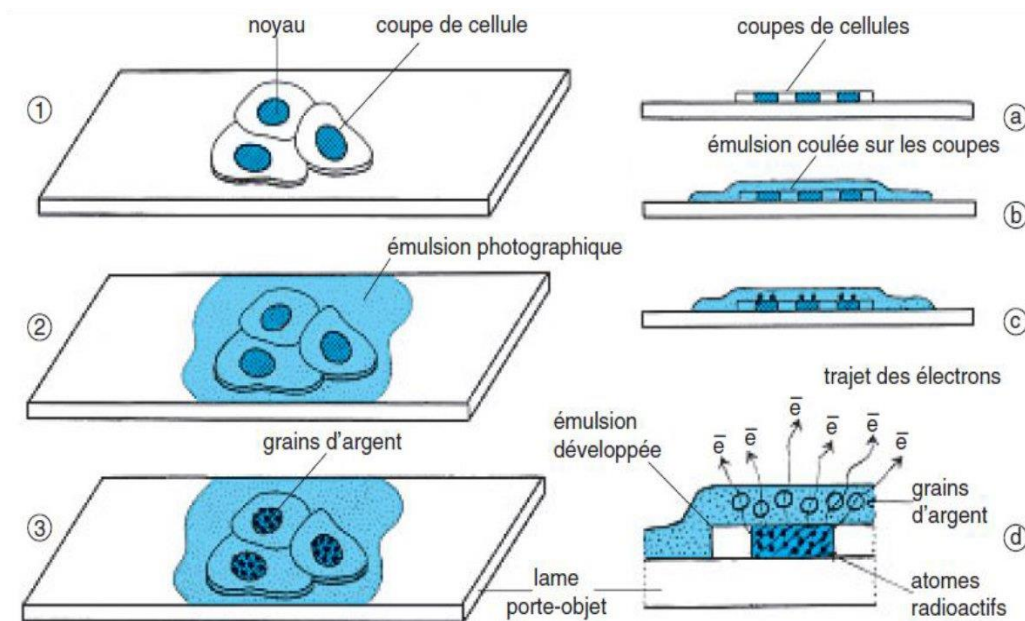


Fig.64: Principe de l'autoradiographie

2.4. Techniques d'isolement des organites cellulaires

2.4.1. L'homogénéisation

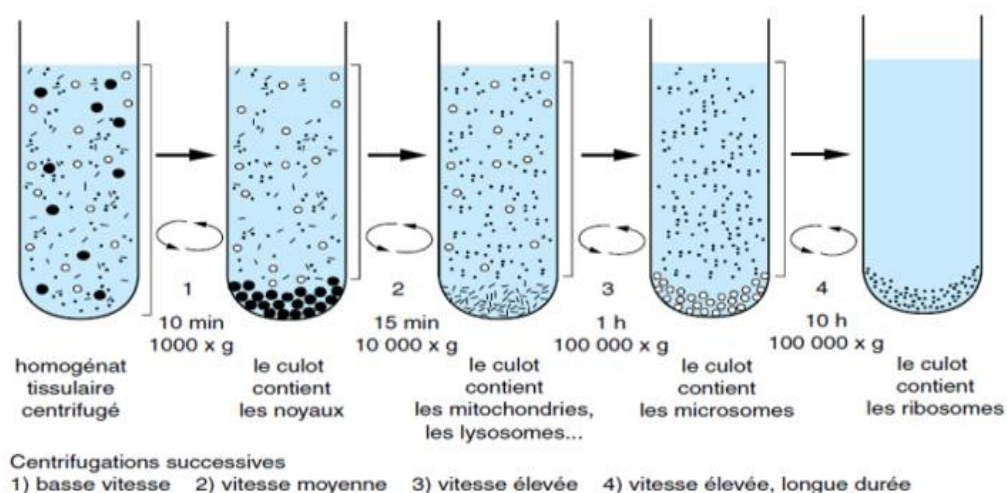
Cette technique consiste à provoquer l'éclatement de la cellule, et la rupture de la membrane plasmique, en mettant la cellule dans un homogénéisateur. On obtient un homogénat avec tous les constituants de la cellule. La plupart des organites restent intacts, mais sans précaution particulière l'appareil de Golgi et le réticulum endoplasmique vont être fragmentés sous forme de vésicules appelées **microsomes**.

2.4.2. Fractionnement cellulaire ou centrifugation différentielle

Le fractionnement cellulaire est une technique d'isolement, ou purification, d'organites en préservant leurs fonctions individuelles. Les différentes classes d'organites se distinguent par leur taille, leur forme et leur densité.

Dans le champ de gravité terrestre, ces organites restent en suspension au sein de l'homogénat et on n'obtient aucune séparation en fractions distinctes. Si l'on augmente artificiellement la valeur de ce champ par centrifugation, ces particules se sédimentent avec une vitesse accrue et différente selon leurs caractéristiques hydrodynamiques, de sorte que l'on peut fractionner l'homogénat.

La vitesse de sédimentation est déterminée par masse, de sorte que les particules les plus grosses et les plus denses de l'homogénat forment le premier sédiment (ou culot) rassemblé au fond du tube à centrifuger, le liquide surnageant contenant les plus petites et les plus légères. Le surnageant et le culot sont séparés par décantation.



2.4.3. La Centrifugation par gradient préformé

Elle consiste à déposer une mince couche d'homogénat au dessus de la solution de saccharose dont la concentration varie de façon régulière et décroissante du bas vers le haut. Les différents constituants de l'homogénat sédimentent tous à des vitesses différentes, on obtient ainsi différentes bandes (la couche la plus dense étant au fond) que l'on séparera. La vitesse de sédimentation dépend de la taille des molécules, de la forme des particules et de la densité. La vitesse de sédimentation est définie par le coefficient de sédimentation en unité Svedberg (S).

3. L'histochimie

L'histochimie est l'étude de la composition chimique des cellules, des divers tissus vivants et des réactions chimiques cellulaires et tissulaires au cours des processus métaboliques.

Les techniques histochimiques permettent de reconnaître spécifiquement des groupes chimiques ou des substances et de les localiser d'une manière précise. Elles offrent la possibilité d'étudier et de reconnaître la répartition des acides nucléiques, des lipides, des glucides, des protéines dans la cellule, de localiser des enzymes.

3.1.Détection des groupes chimiques spécifiques

L'utilisation de colorants liposolubles permet de localiser les lipides dans les cellules. Le tissu est congelé puis coupé à l'aide d'un microtome à congélation puis les coupes sont plongées dans des colorants liposolubles (exemple: rouge Soudan...).

3.2.Localisation des enzymes actives

L'étude de la distribution d'une enzyme (phosphatases acides, ATPases...) se fait sur des coupes de tissus frais préparées au microtome à congélation. Ces coupes sont placées dans un milieu contenant le substrat de l'enzyme. L'enzyme réagit avec le substrat et il se forme un produit de réaction primaire insoluble qui peut être mis en évidence par coloration.

3.3. Marquage des molécules

Le marquage des molécules est la fixation sur une molécule, d'un signe de reconnaissance facilement identifiable qui autorise le suivi d'un composé dans un organisme, un organe, un tissu ou dans une cellule. Le marquage utilise soit les isotopes radioactifs (autohistoradiographie), soit des substances fluorescentes.

4. Les cultures cellulaires

Est un procédé qui permet aux cellules de se reproduire en dehors de leur milieu de vie naturel ou de l'organisme dont elles proviennent. La culture cellulaire désigne donc l'ensemble des techniques utilisées pour faire vivre et multiplier des cellules dans un milieu de culture différent de celui d'origine. Ces modèles *in vitro* peuvent être des bactéries, des levures, ou des cellules d'origine animale. Dans un milieu approprié, dans une boîte pour culture cellulaire, la plupart des cellules peuvent. Les cellules peuvent être observées en continu au microscope ou analysées biochimiquement et les effets de l'addition ou de retrait de molécules particulières peuvent être explorés.

La culture cellulaire permet :

- a. Aux chercheurs de mieux comprendre le fonctionnement des cellules.
- b. De comprendre le fonctionnement cellulaire et de poursuivre des expérimentations De tester des médicaments, des produits de beauté ou encore de vérifier la toxicité de certains produits chimiques et ainsi éviter des tests sur les animaux.
- c. La production de certains antibiotiques et vaccins dont les virus se développent à l'intérieur des cellules.
- d. De produire des tissus tels que de la nouvelle peau pour les grands brûlés.

La culture cellulaire se fait en plusieurs étapes :

- a. Obtention des cellules diffère selon qu'elles proviennent d'êtres vivants unicellulaires (levure, bactérie) ou pluricellulaires, dans ce cas les spécialistes peuvent utiliser des cellules isolées, par exemple celles du sang.
- b. Trouver un support et un milieu de culture appropriés afin de reproduire les conditions de vie que connaissait la cellule dans son milieu d'origine.
- c. Reproduire les conditions du milieu de vie d'origine des cellules, pour ce faire, on doit contrôler la température, la pression, le taux d'humidité, le pH, la composition en nutriments et en minéraux, etc.

Il faut prendre en considération que toutes les procédures nécessitent un travail en milieu stérile. Lorsque la phase stationnaire est atteinte de la croissance, il peut être utile d'arrêter la culture et de la conserver par la congélation à des fins d'analyse ou d'utilisation ultérieure, ou la conserver par le repiquage les cellules (les transférer) dans un nouveau milieu de culture.

Exemple de la culture des cellules souches

Notre corps contient deux types de cellules: **les cellules spécialisées** et **les cellules souches**. Les cellules spécialisées remplissent des rôles particuliers dans notre organisme. Lorsqu'on met un tel type de cellule en culture, on obtient des cellules qui ont exactement la même spécialisation que la cellule initiale. Ainsi, une cellule musculaire ne produira que des cellules musculaires. Pour contourner ce fait, on peut utiliser des cellules souches.

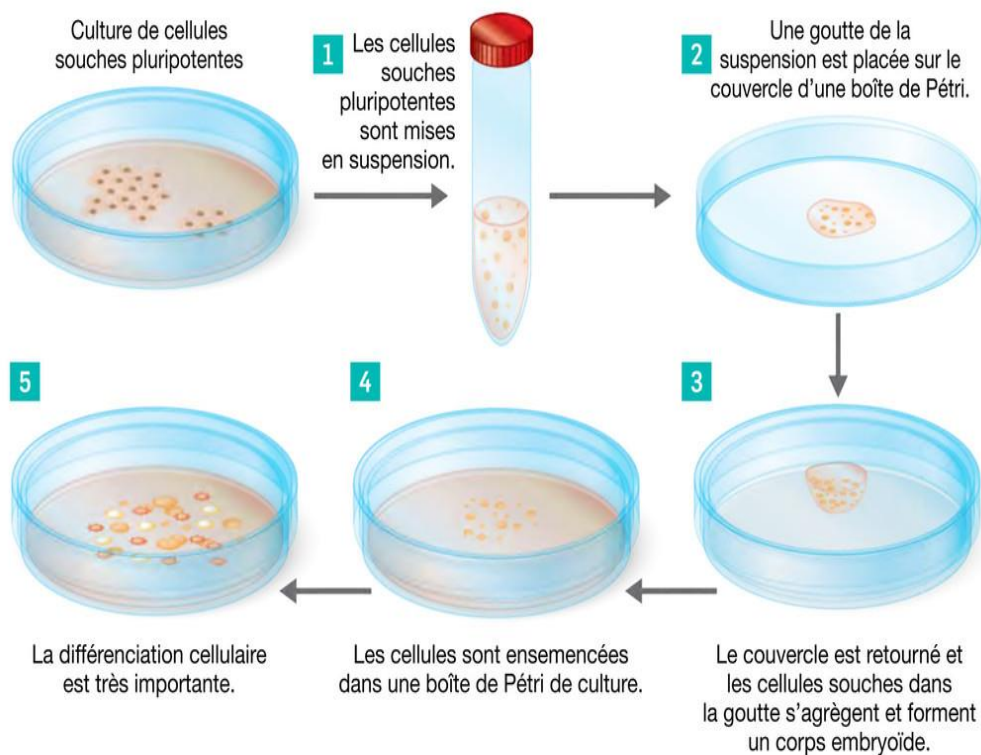


Fig. 65: Principe de production d'un embryotaire à partir de cellules souches

Chapitre VIII

Le Cycle Cellulaire Et La Différentiation Cellulaire

1. Rappels sur la réplication de l'ADN

La réplication est le processus par lequel la cellule copie son ADN avant de se diviser. Lorsqu'une cellule se reproduit (mitose ou méiose), elle doit produire deux copies de son ADN, c'est ce qu'on appelle la réplication.

1.1. Les outils moléculaires de la réplication

- Les ADN polymérases: les enzymes fondamentales à la réplication responsables de la polymérisation des nucléotides lors de la réplication de l'ADN.
- Les primases : sont des ARN polymérases capables de synthétiser l'amorce d'ARN.
- Les protéines DnaA, DnaB et DnaC : ouvrent la double hélice (l'œil de la réplication).
- Les hélicases: sont des enzymes qui nécessitent l'énergie fournie par l'hydrolyse de l'ATP pour briser les liaisons hydrogènes entre les deux brins d'ADN.
- Les protéines de liaison au single brin SSB (Single Strand Binding) : stabilisent la conformation ouverte de la double hélice
- Les topoisomérases: suppriment les superenroulement en amont de la fourche de réplication et relâchent les tensions en présence d'ATP.

1.2. Caractéristiques de la réplication

- Semi-conservatrice** L'ADN se réplique selon un mode semi conservatif. Chaque cellule synthétisée présente un brin parental et un brin néo synthétisé
- Orientée** : Chaque brin parental est lu dans le sens $3' \rightarrow 5'$ sert de matrice à la synthèse d'un brin complémentaire et antiparallèle, appelé brin fils ou brins néosynthétisé, synthétisé dans le sens $5' \rightarrow 3'$.
- Bidirectionnelle** : Les deux brins d'ADN sont déroulées dans deux directions opposées et servent de matrice.
- Semi discontinue** : avec la synthèse d'un brin précoce et d'un brin tardif, la synthèse de l'ADN se fait toujours dans le sens $5' \rightarrow 3'$ et le brin lu dans le sens inverse de la fourche et qui est dit brin discontinu.

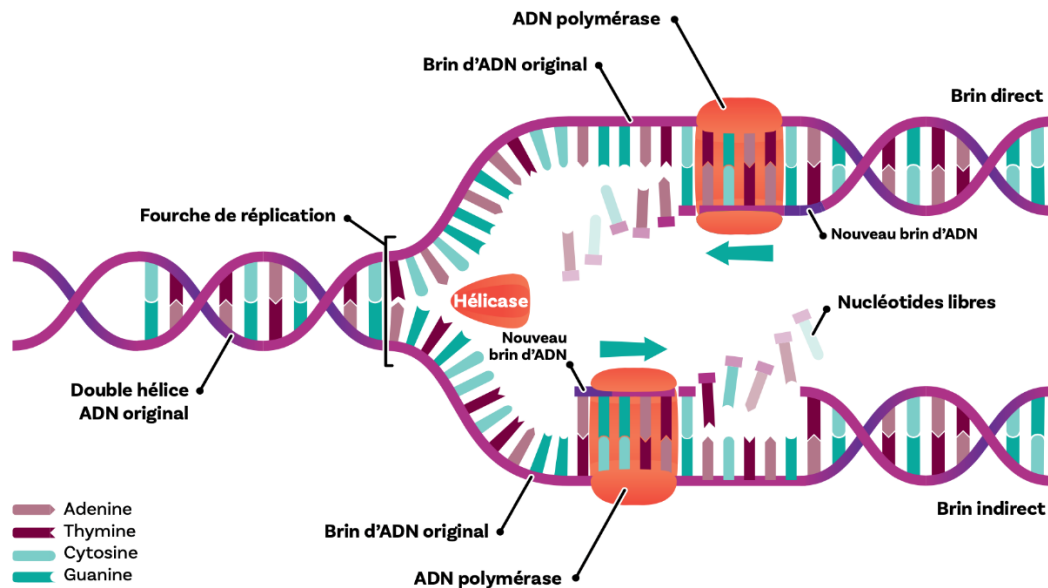


Fig.66 : Réplication de l'ADN

2. Le cycle cellulaire

Le cycle cellulaire est une série d'événements organisés et contrôlés au cours desquels deux cellules filles identiques à la cellule mère sont générées, ayant les mêmes caractères morphologiques et physiologiques de la cellule mère. Toutes les cellules se divisent, à l'exception des hématies, des neurones et des cellules musculaires squelettiques. Le cycle cellulaire concerne les cellules somatiques mais aussi les cellules germinales avant la gamétogenèse, il assure la prolifération cellulaire, la croissance des tissus et/ou remplacer les cellules mortes (mort naturelle ou accidentelle).

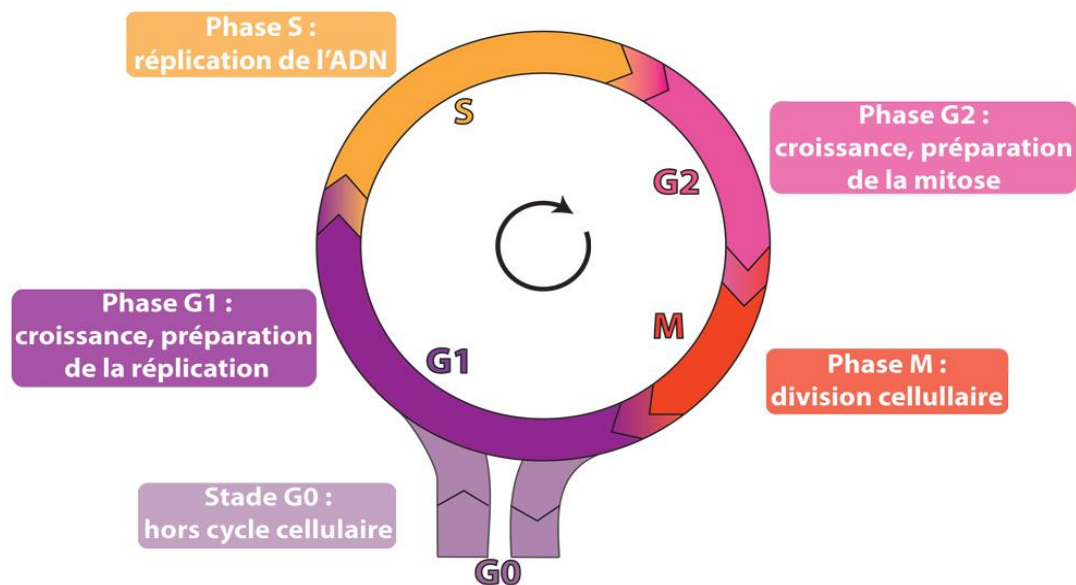
Le cycle cellulaire présente deux étapes : **L'interphase et la division cellulaire.**

2.1. L'interphase : est la plus longue période du cycle, elle correspond à la période comprise entre la fin d'une division et le début de la suivante. Sa durée varie en fonction de la nature et des conditions physiologiques de la cellule. Ex : les cellules intestinales se divisent deux fois par jour, les cellules hépatiques une à deux fois par an. L'interphase se décompose en trois phases successives : la phase G1, la phase S et la phase G2. (G : initiale de Gap, intervalle).

Phase G1 : est une phase de présynthèse au cours de laquelle la cellule se prépare à la réplication (synthèse d'enzymes) et accumule des réserves pour la division cellulaire et synthétise les molécules d'ARN (messagers, ribosomaux et de transfert) et les protéines nécessaires à l'accroissement cellulaire. Le passage de la phase G1 à S est décisif car la cellule s'engage de façon irréversible dans le cycle. Cependant, la cellule peut interrompre sa progression dans le cycle et entrer en phase G0 de quiescence ou elle reste des jours, des semaines ou même des années sans se multiplier.

Phase S : c'est la phase de synthèse caractérisée par la duplication de l'ADN (semi-conservative : la formation de deux molécules d'ADN : un brin ancien (= brin parent) et un brin nouveau), c'est également la phase de la synthèse des histones et la duplication du centriole.

Phase G2 : c'est la phase prémitotique. Un certain nombre de facteurs y sont synthétisés, en particulier les facteurs de condensation de la chromatine. Comme la phase G1, elle représente une phase de croissance cytoplasmique.



La durée du cycle cellulaire est très variable, elle est de 12 h pour les cellules intestinales ; 1 an pour les cellules hépatiques... Dans une cellule humaine en culture, l'interphase dure en moyenne 23 h. Les durées des phases S (10-12 h) et M (1 h) sont relativement constantes. Les durées des phases G2 et surtout G1 sont très variables.

2.2. La division cellulaire

La division cellulaire est un processus qui permet à une cellule mère de produire deux nouvelles cellules. Chez l'humain, il existe deux types de division cellulaire : **la mitose et la méiose** qui sont responsables de la croissance, la régénération des cellules ou de la formation des cellules sexuelles.

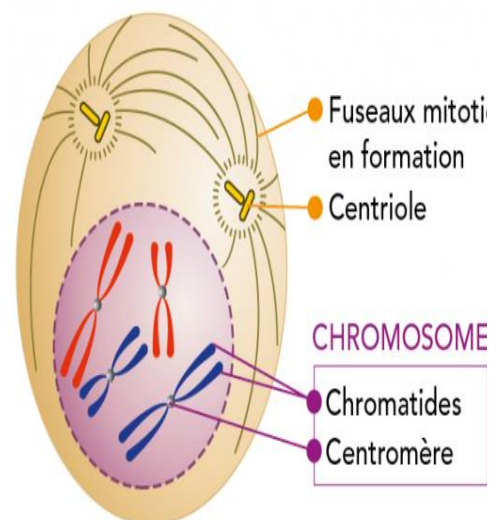
2.2.1. Mitose :

La mitose est le type de division cellulaire le plus répandu chez les eucaryotes. Il permet à une cellule mère de se scinder en deux pour donner deux cellules filles génétiquement identiques à la cellule mère, les deux sont dites **diploïdes**.

La mitose se déroule en quatre étapes caractéristiques qui sont **la prophase, la métaphase, l'anaphase et la télophase**. La mitose dure entre 1 et 3 heures.

1. Prophase : la durée est de 20 à 30 minutes, et est caractérisée par :

- La condensation de la chromatine en structures très ordonnées et individualisées appelées chromosomes..
- le centrosome s'est dupliqué avant le début de la prophase, durant la phase S en 4 centrioles qui se séparent durant la prophase, formant deux centrosomes qui migrent chacun vers un pôle de la cellule.
- Le nucléole diminue de taille et disparaît.
Le cytosquelette de microtubules se réorganise pour former le fuseau mitotique, structure bipolaire qui s'étend entre les deux centrosomes.

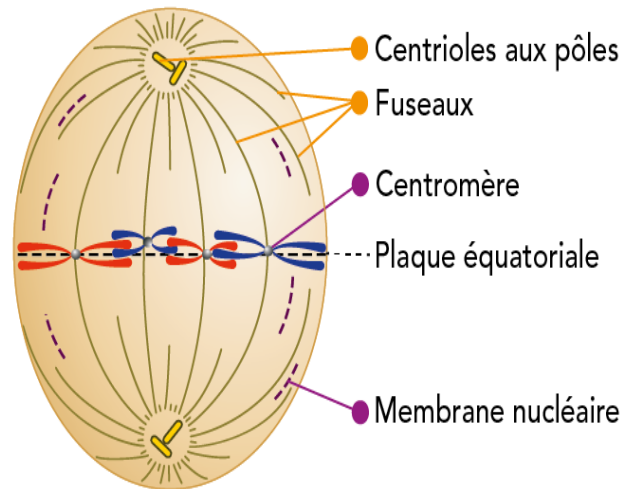


La prométaphase

Elle est caractérisée par la rupture de l'enveloppe nucléaire qui se disperse sous forme de vésicules dans le cytoplasme. Cette rupture permet la formation des complexes protéiques spécialisés : les kinétochores, se forment au niveau des centromères. Certains auteurs considèrent la prométaphase comme une partie de la prophase, plutôt que comme une phase distincte. Elle dure 5 à 10 minutes.

2. **Métaphase** : elle dure 20 à 30 minutes, caractérisée par :

- Tous les chromosomes sont attachés de façon bipolaire disposés sur le plan équatorial pour former la plaque métaphasique fixés par leurs kinétochores, à distance égale des deux pôles.
- Les chromosomes sont maintenus au niveau du fuseau mitotique qui est composé de trois sortes de microtubules : les microtubules polaires ; les microtubules astériens (ou astraux) et les microtubules kinétochoriens.

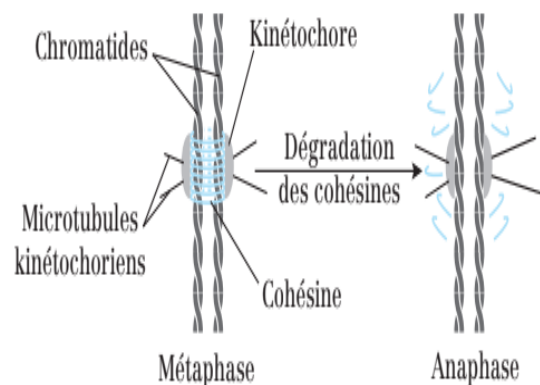


3. **Anaphase** : dure 5 à 8 minutes.

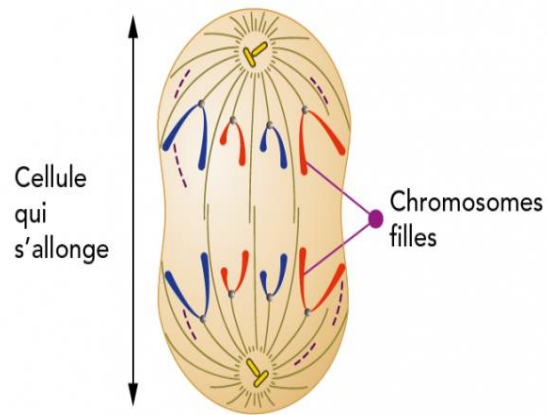
Le but de l'anaphase est de séparer les chromatides sœurs de chaque chromosome et cela se fait par la dégradation des cohésines qui maintiennent les deux chromatides sœurs associées. La cohésine est dégradée par la séparation.

L'anaphase est caractérisée par :

- Clivage du centromère, les chromatides deviennent indépendants.
- Raccourcissement des microtubules kinétochoriens, et ascension polaire des chromatides qui deviennent des chromosomes indépendants, partagés en deux lots identiques dans chaque pôle.

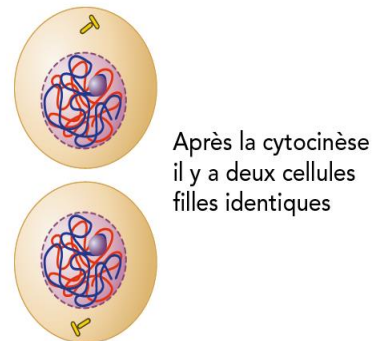
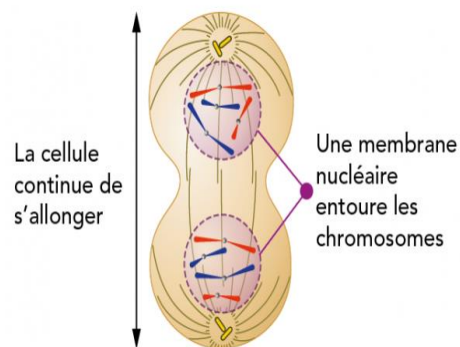


- Elongation des microtubules polaires entraînant un allongement de la cellule.
- La **cytocinèse** commence également au cours de l'anaphase. le **cytoplasme** débute sa séparation lorsque deux nouvelles cellules se forment.



4. **Télophase** : Dure 20 minutes. Elle est caractérisé par:

- Les chromosomes filles atteignent les pôles opposés de la cellule et commencent à se décondenser.
- Reconstitution de l'enveloppe nucléaire une à chaque pôle, et réapparition du nucléole.
- La cellule continue de s'allonger et se rétrécit au centre formant le sillon de division.
- La cytokinèse ou cytotidérèse : division du cytoplasme.



2.2.2. MÉIOSE

La méiose est un processus plus complexe que la mitose par son nombre d'étapes et le passage des cellules **diploïdes** ($2n$) à des cellules **haploïdes** (n). Ce type de division cellulaire a pour principale fonction la reproduction sexuée: la formation gamètes.

Les étapes de la méiose se subdivisent en deux grandes étapes:

A. Méiose I : Division réductionnelle

1. Prophase I

Cette étape peut occuper 90 % ou plus de la durée totale de la méiose. La prophase I, plus complexe qu'une prophase de mitose, est subdivisée en 5 sous-phases qui sont : Leptotène, Zygotène, Pachytène, Diplotène et Diacinèse.

- a) Leptotène : Début de condensation des chromosomes
- b) Zygotène : Les chromosomes homologues s'apparient et la mise en place du complexe synaptonémal.
- c) c) Pachytène : Les chromosomes homologues forment une structure appelée bivalent ou tétrade responsable du phénomène de la recombinaison génétique (ou crossing-over).
- d) Diplotène : Le complexe synaptonémal se dissocie et permet la visualisation des chromatides individualisées et des chiasmas.
- e) Diacinèse : Ressemble à une prométaphase de mitose.

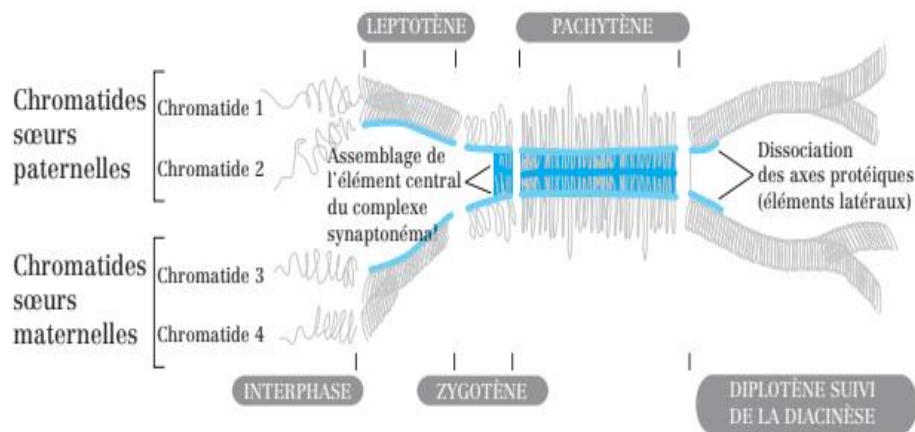


Fig. 67: Appariements et séparations des chromosomes au cours des 5 sous-phases de la méiose.

2. Métaphase I

La condensation des chromosomes est maximale. Les paires d'homologues s'alignent sur la plaque équatoriale. De plus, les faisceaux de microtubules partant des centrioles se fixent à chacune des paires de chromosomes ce qui permettra de séparer chacune des tétrades.

3. Anaphase I

Les paires de chromosomes homologues se séparent et chaque homologue se déplace vers un pôle différent.

4. Télophase I et cytokinèse

Les chromosomes atteignent les pôles pour former deux lots haploïdes 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.

B. Méiose II : Division équationnelle

Cette division, dans son principe, se rapproche d'une mitose. Il faut signaler que l'interphase II ou intercinèse est une phase facultative où, chez certaines espèces, un intervalle de temps s'écoule entre les deux divisions et l'enveloppe nucléaire se reforme. Chez d'autres, les cellules passent directement de méiose I en méiose II (ex : il n'y a pas de reformation de l'enveloppe pendant l'ovogenèse).

1. Prophase II

- L'enveloppe nucléaire se fragmente, dans le cas où elle s'était reformée.
- Un nouveau fuseau se forme.
- Les microtubules s'accrochent aux kinétochores.

2. Métaphase II

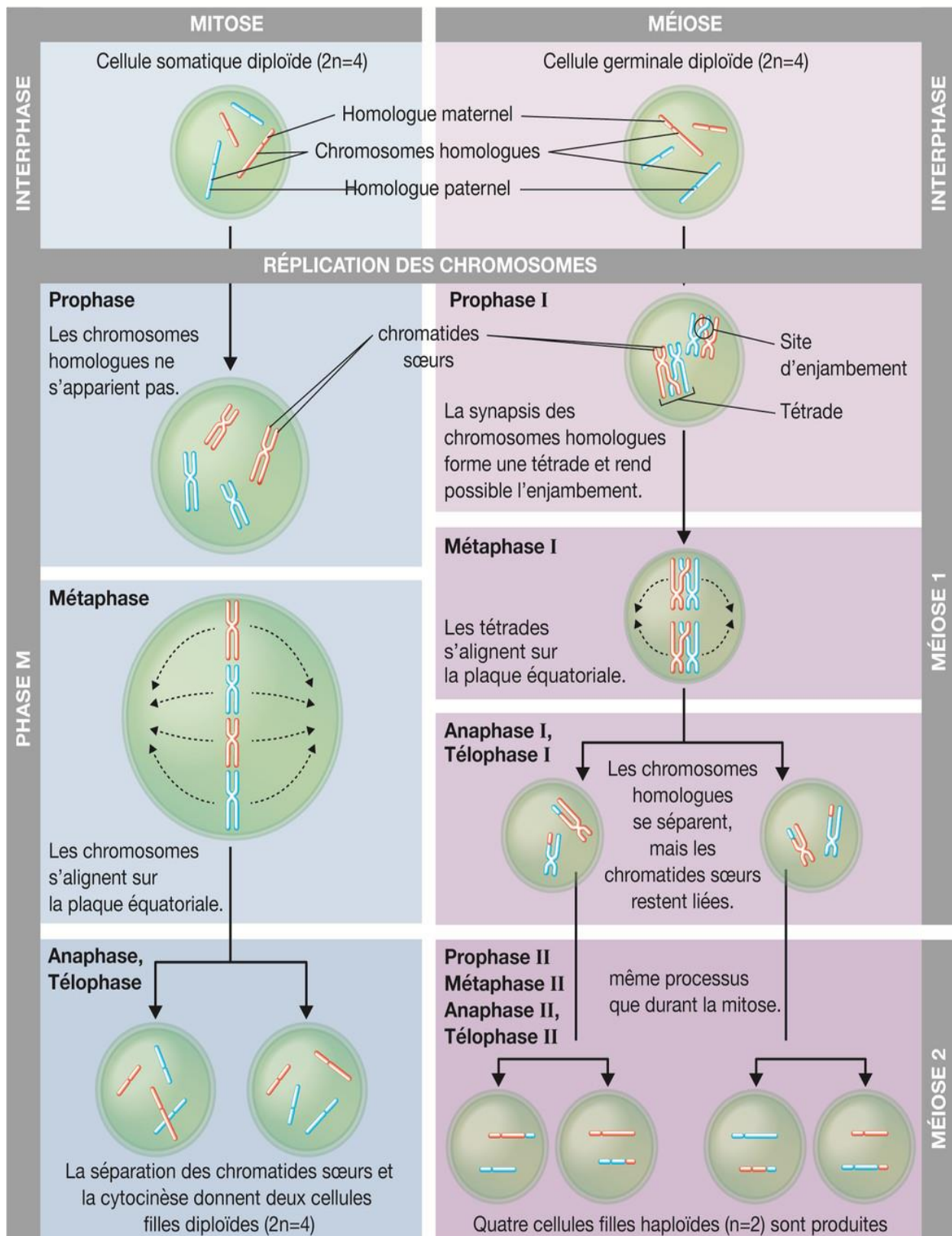
Les chromosomes s'alignent sur la plaque équatoriale.

3. Anaphase II

- Les chromatides sœurs de chaque chromosome se séparent et se dirigent vers les pôles opposés.
- A la fin de l'anaphase II, un chromosome est donc composé d'une seule chromatide.

4. Télophase II et cytokinèse

- Les chromosomes atteignent les pôles pour former deux lots haploïdes de chromosomes.
- 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 quatre cellules filles haploïdes (n).



3. La différenciation cellulaire

Chez la plupart des organismes multicellulaires, toutes les cellules ne sont pas identiques. Elles présentent des différences importantes au niveau de leur morphologie et de leur fonction. Par exemple, les cellules composant la peau chez l'homme sont différentes des cellules composant les organes internes. Cependant, tous les différents types cellulaires sont dérivés d'une seule cellule-œuf fécondée et ce, grâce à la différenciation.

La différenciation est un mécanisme par lequel une cellule non-spécialisée : **Cellule souche** qui se spécialise en un des nombreux types cellulaires composant le corps comme les myocytes (cellules musculaires), les cellules hépatiques (du foie) ou encore les neurones (cellules du système nerveux).

Selon leur origine et leur potentiel de différenciation, on distingue plusieurs types de cellules souches : Les cellules souches totipotentes, pluripotentes, multipotentes et unipotentes.

Les cellules embryonnaires sont totipotentes : capables de former tous les types cellulaires de l'organisme par différenciation

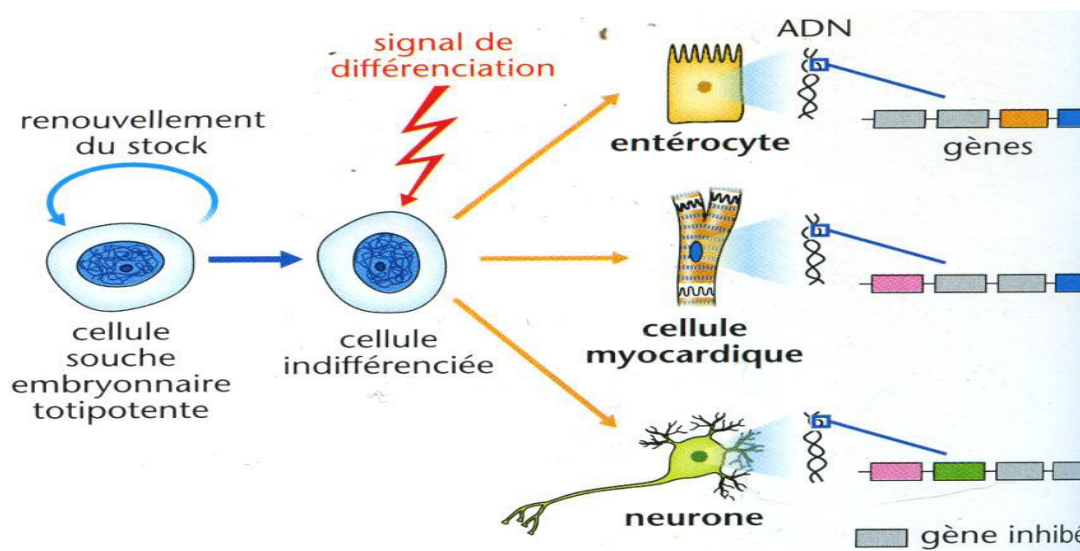


Fig.68: La différenciation cellulaire

3.1. La différenciation au cours du développement chez les mammifères

Chez les mammifères le développement commence lorsqu'un spermatozoïde féconde un ovule et crée une seule cellule. Les premières cellules, les blastomères, forment un embryon complet : ce sont des **cellules totipotentes**. Une cellule totipotente peut former un être vivant multicellulaire et se différencier en n'importe quelle cellule spécialisée. Puis, les cellules deviennent **pluripotentes** qui ne peuvent plus produire un organisme entier comme les cellules totipotentes, mais, elles sont capables de se diviser indéfiniment et de se multiplier sans se différencier, ce qui permet de garder un pool de cellules intact,

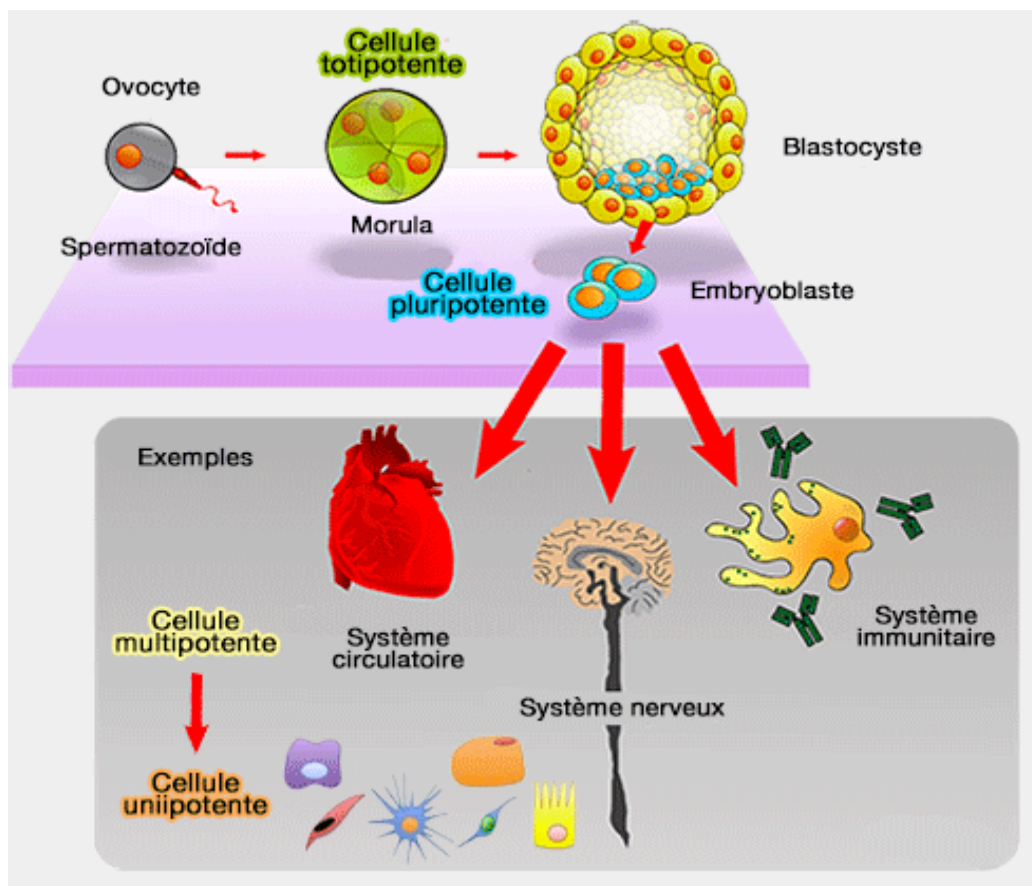


Fig. 69: Différenciation cellulaire au cours du développement.

Exemple : Hématopoïèse

C'est un phénomène physiologique, dynamique qui assure une production quotidienne de 440 milliards de cellules sanguines, l'équivalent de plus de 200 milliards d'hématies, d'environ 200 milliards de plaquettes et de 40 milliards de polynucléaires. Ce mécanisme est régulé par des facteurs de croissance appartenant à la superfamille des cytokines. Il assure la régénération continu et régulé des différentes cellules sanguines ayant une durée de vie limitée :

- Un à trois jour pour les polynucléaires (globules blancs)
- Une semaine pour les plaquettes
- Quatre mois pour les hématies
- Quelques mois pour les monocytes
- Quelques mois à plusieurs années pour les lymphocytes

Le siège de l'hématopoïèse varie au cours de la vie. Chez le fœtus, elle s'effectue au niveau du tissu conjonctif embryonnaire jusqu'au 2ème mois. Elle est localisée dans le foie et la rate du 2ème au 6ème mois. Elle devient médullaire (dans les os) à partir du 4ème mois ce qui coïncide avec le développement des ébauches des os.

Après la naissance l'hématopoïèse est localisée exclusivement dans la moelle osseuse qui se divise en moelle jaune, adipeuse et involuée, et en moelle rouge, siège préférentiel de l'hématopoïèse. Toutes les cellules sanguines : de la lignée myéloïde (monocytes et macrophages, neutrophiles, basophiles, éosinophiles, érythrocytes, plaquettes, cellules dendritiques) et de la lignée lymphoïde (lymphocytes T, lymphocytes B, cellules tueuses naturelles) sont des cellules souches **multipotentes**.

La cellule souche hématopoïétique multipotente, en se divisant, produit une cellule fille, qui est la réplique de la cellule mère, et une autre qui se différencie, dans les microenvironnements du tissu médullaire ou sous l'influence de médiateurs chimiques, pour se spécialiser dans la production de un certain type de cellule sanguine.

Hématopoïèse (leucocytes)

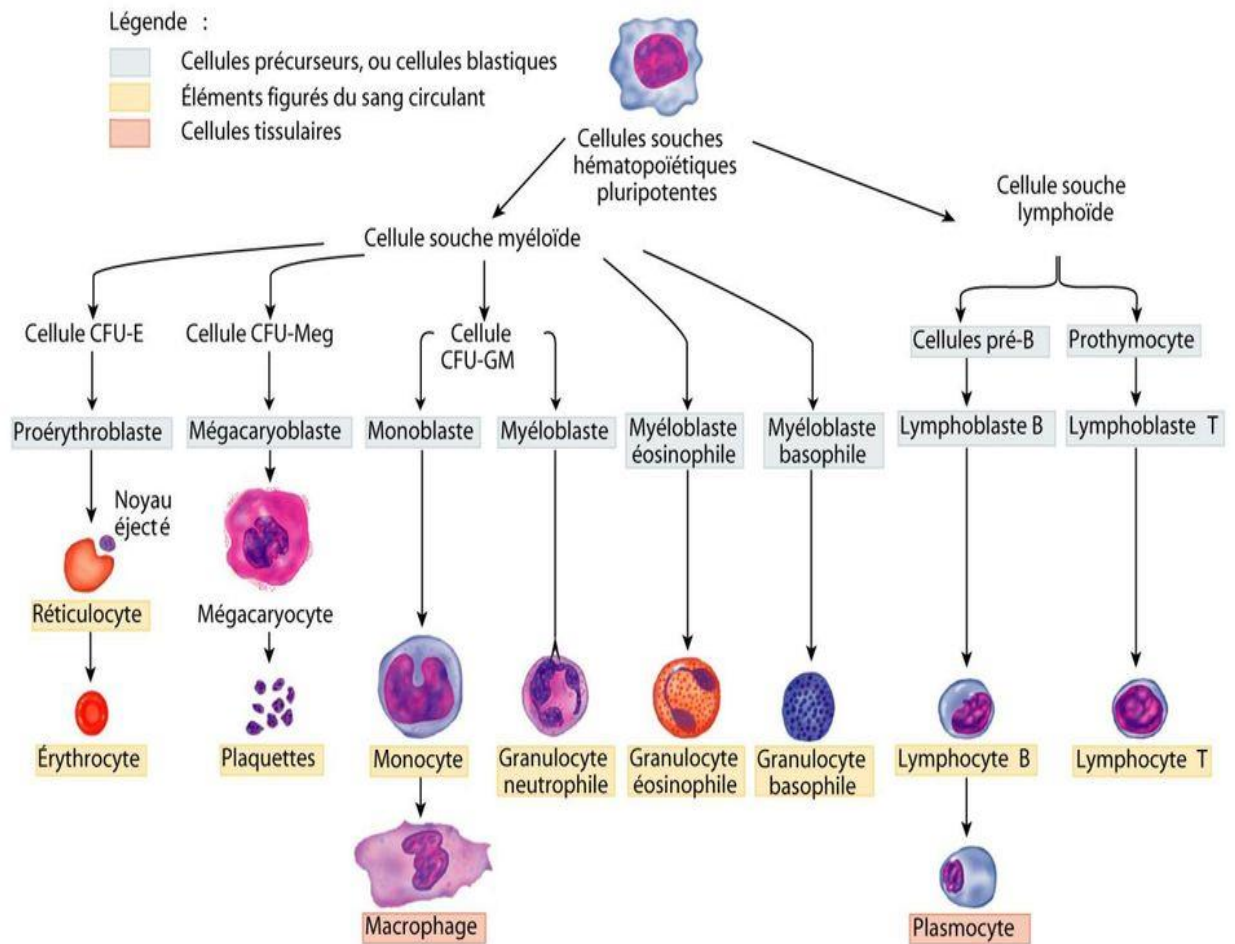


Fig.70: Cellule souche hématopoïétique

Les cellules souches hématopoïétiques de la moelle osseuse ou du sang du cordon ombilical (sang placentaire) sont utilisées dans le traitement de la leucémie pour la greffe de moelle osseuse ou la greffe de cellules souches si les cellules souches sont prélevées directement dans le sang. En outre, des recherches sont à l'étude afin d'utiliser des cellules souches en remplacement de tissu nécrose non renouvelable : **thérapie cellulaire** cas de l'infarctus du myocarde.

Modèles d'examens

UNIVERSITE D'OUM EL BOUAGHI
Institut des Sciences et des Techniques Appliquées – ISTA –
Contrôle de Biologie et physiologie cellulaire

Note :

Durée : 01:30 h.

Nom et prénom :, Groupe :

Exercice 01 (04 pts) : Cocher la/les bonnes réponses :

1. Les eucaryotes sont caractérisées par :

- ☐ L'absence des plasmides.
- ☐ Le réticulum endoplasmique qui est le site de la synthèse protéique.
- ☐ Les mitochondries qui sont responsables de la photosynthèse.
- ☐ La présence des enzymes hydrolytiques (Lysosomes ou Peroxysomes).

2. La cellule végétale est caractérisé par :

- ☐ Présence d'une paroi pecto-cellulosique
- ☐ Présence de chloroplastes
- ☐ Présence de peroxysome
- ☐ Absence du complexe centriolaire

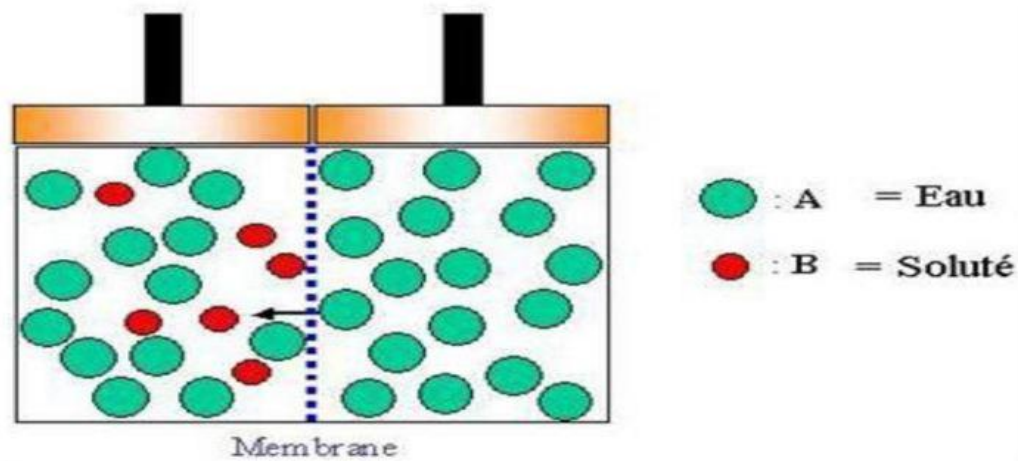
3. La Communication intercellulaire

- ☐ La cellule qui envoie la molécule de signalisation est la cellule cible
- ☐ Les signaux sécrétant dans le courant sanguin déterminent le mode paracrine.
- ☐ Dans la transmission nerveuse, le signal chimique extracellulaire, appelé neurotransmetteur
- ☐ Dans la signalisation dépendant du contact, la molécule de signalisation à la surface d'une cellule se lie à un récepteur protéique sur la cellule adjacente.

4. Techniques utilisées pour d'isolement des organites cellulaires sont :

- ☐ L'homogénéisation
- ☐ Fractionnement cellulaire ou centrifugation différentielle
- ☐ La Centrifugation par gradient préformé
- ☐ La microscopie

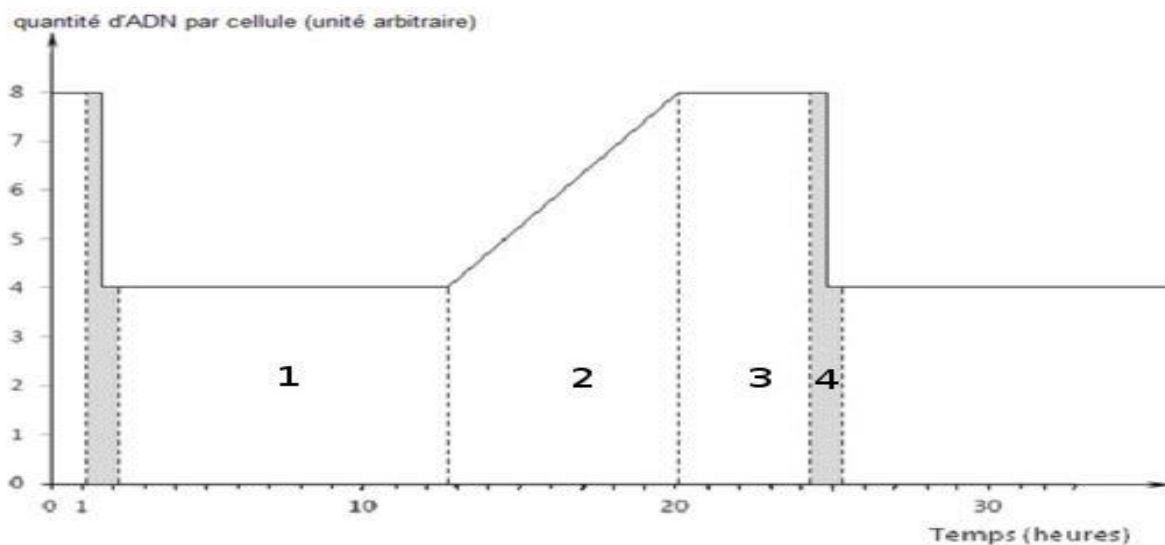
Exercice 02 (08 pts) : L'expérience ci-dessous représente deux compartiments contenant des boules d'eau et de solutés.



1. Préciser le milieu hypertonique et hypotonique dans les deux compartiments (gauche et droite)?
2. Que signifie la flèche ? Qu'appel-t-on ce phénomène ?
3. Citez les différents modes de transport de substances dissoutes à travers la membrane de la cellule vivante ?

Exercice 03 (08 pts) :

Le diagramme ci-dessous représente l'évolution de la quantité d'ADN dans le cycle cellulaire.



1. Délimitez sur le document, un cycle cellulaire et repérer ses différentes phases ?
2. Schématisez l'aspect de l'ADN dans la phase 2 ? que représente ?
3. Combien de mitoses dans le graphe ?
4. Décrivez brièvement les différentes phases de la mitose, soit par un paragraphe (ne dépasse pas les 04 lignes) ou par des schémas avec une légende claire.

UNIVERSITE D'OUOM EL BOUAGHI
Institut des Sciences et des Techniques Appliquées – ISTA –
Contrôle de Biologie et physiologie cellulaire

Note :

Durée : 01:30 h.

Nom et prénom :, Groupe :

Exercice 01 (04 pts) : Cocher la/les bonnes réponses :

5. Les lysosomes :

- ☐ Sont des microorganismes unicellulaires.
- ☐ Ont un pH proche de celui du cytosol.
- ☐ Sont des organites formés par bourgeonnement du réticulum endoplasmique.
- ☐ Contiennent des enzymes hydrolytiques (hydrolases).

6. La cellule animale est caractérisé par :

- ☐ Présence de mitochondrie
- ☐ Présence de chloroplastes
- ☐ Présence de lysosome
- ☐ Absence du complexe centriolaire

7. La Communication intercellulaire

- ☐ La cellule qui envoie la molécule de signalisation est la cellule cible
- ☐ Les signaux sécrétant dans le courant sanguin déterminent le mode paracrine.
- ☐ Dans la transmission nerveuse, le signal chimique extracellulaire, appelé neurotransmetteur
- ☐ Dans la signalisation dépendant du contact, la molécule de signalisation à la surface d'une cellule se lie à un récepteur protéique sur la cellule adjacente.

8. La mitochondrie :

- ☐ Des organites semi-autonomes.
- ☐ Contient un réseau membraneux nommés thylakoïdes.
- ☐ Contient plusieurs copies d'ADN circulaire
- ☐ Est capable de synthétiser la totalité de ses propres protéines

Exercice 02 (08 pts) :

On laisse séjourner les cellules épidermiques d'oignon violet dans des solutions de saccharose C12H22O11 de concentrations différentes :

- Solution 1 de saccharose 50g/l
- Solution 2 de saccharose 100g/l
- Solution 3 de saccharose 200g/l

On monte ensuite ces cellules entre lame et lamelle et on les observe au microscope.

Résultats :

- Dans la solution 2 : cellule normale
 - Dans la solution 3 : vacuole très rétractée, membrane cytoplasmique se détache de la membrane
1. Préciser le milieu hypertonique, hypotonique et l'isotonique dans l'expérience ?
 2. Décrire l'état de la cellule dans les solutions 1 et 3.
 3. Représenter schématiquement côte à côte ces 3 cellules et donner un titre à chacune.
 4. Interpréter brièvement ces résultats (pas plus de trois lignes).

Exercice 03 (08 pts) :

Compléter le tableau suivant par la comparaison entre la mitose et la méiose :

	MITOSE	MÉIOSE
1. Nombre de divisions		
2. Nombre de cellule filles produites		
3. Quel type de cellules sont produits ?		
4. Cellules-filles sont identiques à leur cellule-mère (oui ou non)		
5. Les tétrades s'alignent (crossing-over) (oui ou non)		
6. Cellules-filles sont haploïdes ou diploïdes ?		
7. Caractériser par la plaque équatoriale (oui ou non)		
8. Le centromère est brisé (oui ou non)		

Questions à Réponse Ouverte Courte

1. Quels sont les différents types de la perméabilité membranaire ?
2. Citer les éléments constitutifs et la fonction du tissu conjonctif ?
3. Quel est le rôle des parenchymes chlorophylliens ?
4. Décrivez la structure et le fonctionnement d'une synapse ?
5. Quelles sont les techniques d'observations externes de la cellule à l'échelle électronique ?
6. Faire une comparaison entre la mitose et la méiose ?
7. Nommer les populations cellulaires issues de l'Hématopoïèse avec un diagramme explicatif ?
8. Comment préparer des échantillons pour une observation microscopique ?
9. Schématiser une cellule végétale une légende complète ?
10. Quels sont les types des tissus végétaux primaires ?

Questions à choix multiple

1. L'épithélium glandulaire :

- A) est un tissu d'origine mésenchymateuse
- B) a pour origine l'invagination d'un épithélium primitif
- C) dérive uniquement de l'ectoblaste
- D) peut être homotypique

2. On distingue selon la forme des éléments glandulaires :

- A) les glandes en tubes
- B) les glandes acineuses
- C) les glandes alvéolaires
- D) les glandes acineux-alvéolaires
- E) aucune des réponses précédentes n'est juste

4. Dans la glande endocrine :

- A) le produit de synthèse est déversé dans le milieu extérieur
- B) les canaux excréteurs se dirigent vers une cavité
- C) les cellules sont toujours éloignées des capillaires sanguins
- D) le produit de synthèse est déversé dans le sang
- E) elle est richement vascularisée

5. Le tissu conjonctif :

- A) est formé de cellules jointives reposant sur une membrane basale
- B) est par définition avasculaire
- C) dérive de l'ectoblaste
- D) porte, de par un de ses rôles, le nom de tissu connectif
- E) présente une substance fondamentale amorphe

6. Le bon enchaînement dans les échelles d'organisation d'un être humain est :

- A. l'atome/la molécule/l'organite/le tissu/ la cellule/l'organe/l'appareil ou système/l'organisme
- B. l'atome/la molécule/l'organite/la cellule/le tissu/ l'appareil ou système/l'organe/l'organisme
- C. l'atome/la molécule/l'organite/la cellule/le tissu/l'organe/l'appareil ou système/l'organisme
- D. l'atome/ l'organite/la molécule/ la cellule/le tissu/l'organe/l'appareil ou système/l'organisme
- E. l'atome/la molécule/l'organite/la cellule/le tissu/l'organe/l'organisme/ l'appareil ou système

7. L'histologie est la discipline qui :

- A. permet de comprendre le fonctionnement normal et pathologique des tissus
- B. étudie l'anatomie macroscopique de l'Homme
- C. étudie l'anatomie microscopique de l'Homme
- D. étudie la structure des tissus
- E. est pratiquée par un anatomopathologiste

8. Un tissu est :

- A. un ensemble de cellules présentant une même structure
- B. un ensemble de cellules ayant la même origine embryonnaire
- C. un ensemble de cellules remplissant une fonction commune
- D. simple, s'il est une combinaison de plusieurs tissus composés
- E. le niveau d'organisation intermédiaire entre la cellule et l'organe

BIBLIOGRAPHIE

- 1) Abdelali M., Benzine-Challam H, Madoui A. Cytologie et Physiologie cellulaire. Office des Publications Universitaires : 2008.
- 2) Alberts B, Hopkin J, Lewis R, Roberts W. L'essentiel de la biologie cellulaire. Médecine Sciences Publications.Lavoisier 3e éd.
- 3) Ayad W. Cours de Cytologie. Département de Médecine Faculté de Médecine -.Année Universitaire 2016/2017
- 4) Bassaglia Y. Biologie Cellulaire. Maloine : 2001.
- 5) Bendjelloul M. La cellule et sa physiologie. Office des Publications Universitaires 2011.
- 6) Bouzid Salha. Cours de biologie vegetale : Université de Constantine1.2018.
- 7) Dadoune JP, Hatt PY. Le muscle. In : Coujard R, Poirier J, Racadot J. Précis d'Histologie humaine. Paris : Masson ; 1980.
- 8) Daniel B, Bruno A, Christophe C. Biologie cellulaire et moléculaire. 3e éd. Paris: Dunod; 2015.
- 9) Dscamps MC. Biologie cellulaire. PCEM1. Ediscience .2007.
- 10) Grignon G. : Tissus musculaires. Cours d'Histologie. Paris : Ellipses ; 1996
- 11) Krstic RV. : Atlas d'Histologie Générale. Paris : Masson ; 1988.
- 12) Kühnel W, Roos J (trad.). Atlas de poche d'Histologie. Paris : Flammarion Médecine Sciences ; 1991.
- 13) Marc M. Biologie Cellulaire. Abrégés.9ème édition, Masson : 2002.
- 14) Pierre C, Raymond S. Cours de Biologie Cellulaire : Edition ellipses.1999.
- 15) Poirier J, Ribadeau-Dumas JL, Catala M, Gherardi RK, Bernaudin JF. La contractilité cellulaire. Histologie moléculaire. 5e éd. Paris : Masson ; 1997.
- 16) Poirier J, Ribadeau-Dumas JL, Catala M, Gherardi RK, Bernaudin JF. La contractilité cellulaire. Histologie moléculaire. 5e éd. Paris : Masson ; 1997.
- 17) Poirier J, Ribadeau-Dumas JL. : Les tissus musculaires. Histologie. Paris : Masson; 1993.
- 18) Stevens A, Lowe J, Copin H (trad.), Collet A (trad.), Validire P (trad.) : Cellules contractiles. Histologie. Paris : Éditions Pradel, 1993.

Biologie et physiologie cellulaire est un support scientifique idéale pour acquérir les bases fondamentales de la biologie cellulaire, comprendre le monde de la cellule vivante. Il s'adresse à un public varié aux connaissances diverses et spécialement aux étudiants en biologie, agroalimentaire, biochimie, médecine, pharmacie, ainsi qu'aux enseignants.

Cet opusculé édité est divisé en 08 chapitres, il présente un aperçu sur la différence entre les procaryotes et eucaryotes, l'organisation interne des cellules, la membrane cellulaire et la majorité des organites intracellulaire, le mode et le moyen de communication intercellulaire, la structure et la fonction des tissus végétales et animaux, les compartiments cellulaires, le mode de transport cellulaire, techniques d'étude de la cellule, la division cellulaire, et enfin les cellules souches et la différenciation cellulaire.

Les chapitres sont illustrés de plusieurs façons en couleurs par des photos microscopiques, des schémas et des diagrammes afin de bien décrire les **structures** et les processus qui se produisent à l'intérieur ou à l'extérieur de la cellule, apportant un complément d'information clair et didactique et contribuent à la valeur pédagogique de l'ouvrage.

À la fin de cet ouvrage, des modèles d'examens et des questions brèves ont été proposés, permettant une révision des principales notions qui viennent d'être présentées.

Février 2022