



## كلية علوم الطبيعة والحياة

### دروس السنة أولى ليسانس

## Faculté des sciences de la nature et de la vie

### Polycopié pédagogique

### 01<sup>ème</sup> Année Licence

للاطلاع على إحدى هذه الدروس انقر على العناوين في الجدول

N° : De Classement	Titre De Polycopié	Enseignant	Année De Dépôt
550-01-P	<u>Polycopie Du Cours De Géologie</u>	DALI NAOUEL	2018-2019
571.6-01-P	<u>Polycopié de biologie cellulaire</u>	MAAMAR HICHEM	2019
581-01-P	<u>BIOLOGIE VEGETALE</u>	FERCHA AZZEDINE	2021-2022
591-01-P	<u>Polycopie Biologie Animale Générale</u>	DJEMIL RANDA	2019-2020

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Université Abess Laghrour Khenchela  
Faculté des sciences de la nature et de la vie

# POLYCOPIE DU COURS DE GEOLOGIE

**Socle commun**

1<sup>ère</sup> année - Semestre 1

Domaine

**Sciences de la nature et de la vie**

**DALI NAOUEL**

Année universitaire 2018-2019

## **Avant-propos**

Ce polycopie du cours de géologie a pour objectif de permettre aux étudiants en 1<sup>ère</sup> année du Domaine des Sciences de la Nature et de la Vie (DO4 – SNV, de comprendre la structure interne de la terre, les interactions entre les constituants ainsi que la dynamique externe et interne de la terre. Ce document est réalisé dans le respect du programme fixé par le ministère de l'enseignement supérieur et la recherche scientifique.

## Table des matières

### CHAPITRE 1 : GEOLOGIE GENERAL

1.1	Introduction .....	1
1.2.	La planète terre.....	1
1.3.	La structure interne de la terre.....	2

### CHAPITRE 2 : GEODYNAMIQUE EXTERNE

2.1.	Erosion.....	5
2.1.1.	Action de l'eau .....	5
2.1.2.	Action du vent .....	9
2.2.	Dépôts.....	11
2.2.1.	Les roches sédimentaires .....	12
2.2.2.	Notion de stratigraphie .....	14
2.2.3.	Notion de paléontologie .....	23

### CHAPITRE 3 : GEODYNAMIQUE INTERNE

3.1.	Sismologie.....	24
3.1.1.	Etude de séismes.....	24
3.1.2.	Origine et répartition des séismes.....	28
3.1.3.	Tectonique souple et cassante (plis et failles) .....	29
3.2.	Volcanologie .....	33
3.2.1	Les volcans .....	33
3.2.2.	Les roches magmatiques.....	38
3.3.	La tectonique des plaques.....	40
3.3.1.	Types de frontière entre les plaques .....	41

# CHAPITRE 1 : GEOLOGIE GENERALE

## 1.1 Introduction

La Géologie (de *ge*, terre et *logos*, discours) est la science qui traite de la constitution physique du globe terrestre. Elle en étudie les différentes couches, examine les changements qui s'y sont produits et cherche les causes qui ont pu agir.

La géologie a pour objectif la reconstitution de l'histoire de la terre depuis ces origines (l'âge des plus anciennes roches connues approche les 4 milliards d'années) jusqu'à nos jours par le biais de l'étude des matériaux constitutifs accessibles à l'observation.

## 1.2. La planète terre

La planète Terre appartient au système solaire (Fig.1) qui comporte huit autres planètes, une cinquantaine de Satellites naturels quelques centaine de comètes et plusieurs milliers d'astéroïdes et une étoile qui est « le Soleil ».

La Terre est une planète tellurique, c'est-à-dire une planète essentiellement rocheuse à noyau métallique, contrairement aux géantes gazeuses, telles que Jupiter, essentiellement constituées de gaz légers (hydrogène et hélium). Il s'agit de la plus grande des quatre planètes telluriques du Système solaire, que ce soit par la taille ou la masse. De ces quatre planètes, la Terre a aussi la masse volumique globale la plus élevée, la plus forte gravité de surface, le plus puissant champ magnétique global, la vitesse de rotation la plus élevée.

La Terre s'est formée il y a 4,54 milliards d'années environ et la vie y est apparue moins d'un milliard d'années plus tard. La planète abrite des millions d'espèces vivantes, dont les humains.

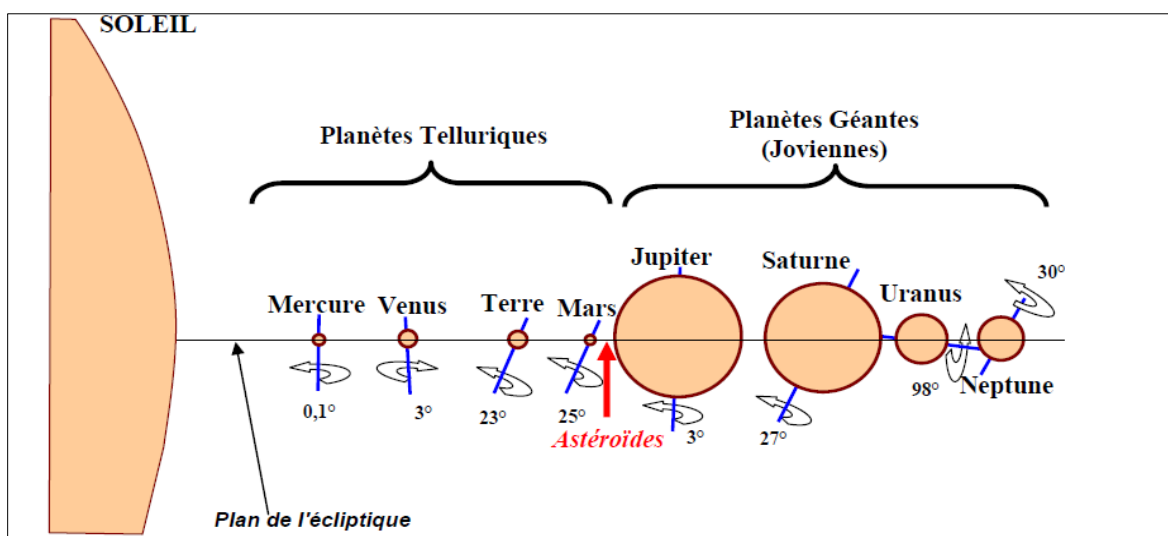


Figure 1. Système Solaire

La distance Terre-Soleil varie au cours de l'année entre  $1,47 \times 10^8$  et  $1,53 \times 10^8$  km. Pour définir la forme de la Terre, on assimile sa surface à la surface équipotentielle du champ de pesanteur coïncidant au mieux avec la surface des océans supposés au repos et prolongée sous les continents. Cette surface, le géoïde, est proche d'une surface mathématique simple, l'ellipsoïde de révolution. L'ellipsoïde terrestre étant peu aplati, la Terre est pratiquement une sphère de rayon égal à 6 370 km.

Les autres caractéristiques de la Terre sont :

- masse :  $5,976 \times 10^{24}$  kg ;
- masse volumique moyenne :  $5,517 \times 10^3$  kg.m<sup>-3</sup> ;
- densité moyenne : 5,515.

La densité des roches voisines de la surface variant entre 2,5 et 3,3, des matériaux beaucoup plus denses se trouvent en profondeur : le noyau interne a pour densité 14 et le noyau externe liquide 10.

- Période de révolution autour du soleil : 365,25 jours.
- Période de rotation de la Terre autour de son axe : 23 heures 56 minutes.

La Terre est la seule planète du système solaire dont la température de surface permet à l'eau de s'y trouver sous les trois phases : solide, liquide et gazeuse.

### **1.3. La structure interne de la terre**

La connaissance de la structure profonde de la Terre a été révélée - surtout d'une manière indirecte - grâce à l'apport de plusieurs disciplines des sciences de la Terre parmi lesquelles on cite :

- L'étude des forages mais elle est insuffisante car le forage le plus profond ne dépassent pas 12 km, alors que le rayon de la Terre = 6370 km. L'intérieur du globe ne peut donc être connu que de manière indirecte,

- La sismologie = étude des séismes naturels et artificiels,
- La gravimétrie = étude des variations de g, accélération de la pesanteur,
- La volcanologie = étude des volcans et des activités volcaniques,
- Le géomagnétisme = étude du champ magnétique terrestre,
- La géothermie = étude des répartitions des températures à l'intérieur de la Terre, et des phénomènes physiques et géologiques qui leur sont liés,
- La géochimie = étude de la composition et des propriétés chimiques des roches,

- La minéralogie = étude de la composition et des propriétés minéralogiques des roches,
- Les études de laboratoire en créant les conditions thermodynamiques régnant à l'intérieur de la Terre = étude des géomatériaux,
- Les études des météorites et des astéroïdes qui se sont formés en même temps que la Terre.
- Ne pouvant pas traiter, dans le détail, de l'apport de chacune de ces disciplines nous nous limiterons ici à évoquer brièvement le principe de ces méthodes en donnant leurs principaux résultats.

Sur la base des discontinuités majeures des vitesses des ondes sismiques, on distingue du haut vers le bas (Fig.2) :

- Croûte continentale solide essentiellement granitique surmontée par endroit de roches sédimentaires. Elle est plus épaisse que la croûte océanique (de 30 km à 100 km. Elle était anciennement appelée SIAL (silicium + aluminium).
- Croûte océanique solide essentiellement composée de roches basaltiques. Relativement fine (environ 5km). Elle est également appelée SIMA (silicium + magnésium).
- Manteau supérieur qui est moins visqueux (plus "ductile") que le manteau inférieur car les contraintes physiques qui y règnent le rendent liquide en partie.
- Manteau inférieur aux propriétés d'un solide élastique. Le manteau n'est pas liquide mais il est moins "rigide" que les autres couches. Il représente 84 % du volume terrestre.
- Noyau externe liquide essentiellement composé de fer (environ 80 %) et de nickel plus quelques éléments plus légers. Sa viscosité est proche de celle de l'eau, sa température moyenne atteint 4000 °C et sa densité 10.
- Noyau interne solide (ou graine) essentiellement métallique constitué par cristallisation progressive du noyau externe. La pression le maintient dans un état solide malgré une température supérieure à 5000 °C et une densité d'environ 13. Noyau interne et externe représentent 15 % du volume terrestre.
- Lithosphère : elle est constituée de la croûte (plaques tectoniques) et d'une partie du manteau supérieur. La limite inférieure de la lithosphère se trouve à une profondeur comprise entre 100 et 200 kilomètres
- Asthénosphère : c'est la zone inférieure du manteau supérieur (en dessous de la lithosphère)

- Discontinuité de Gutenberg : zone de transition manteau / noyau.
- Discontinuité de Mohorovicic : zone de transition croûte / manteau (elle est donc incluse dans la lithosphère).

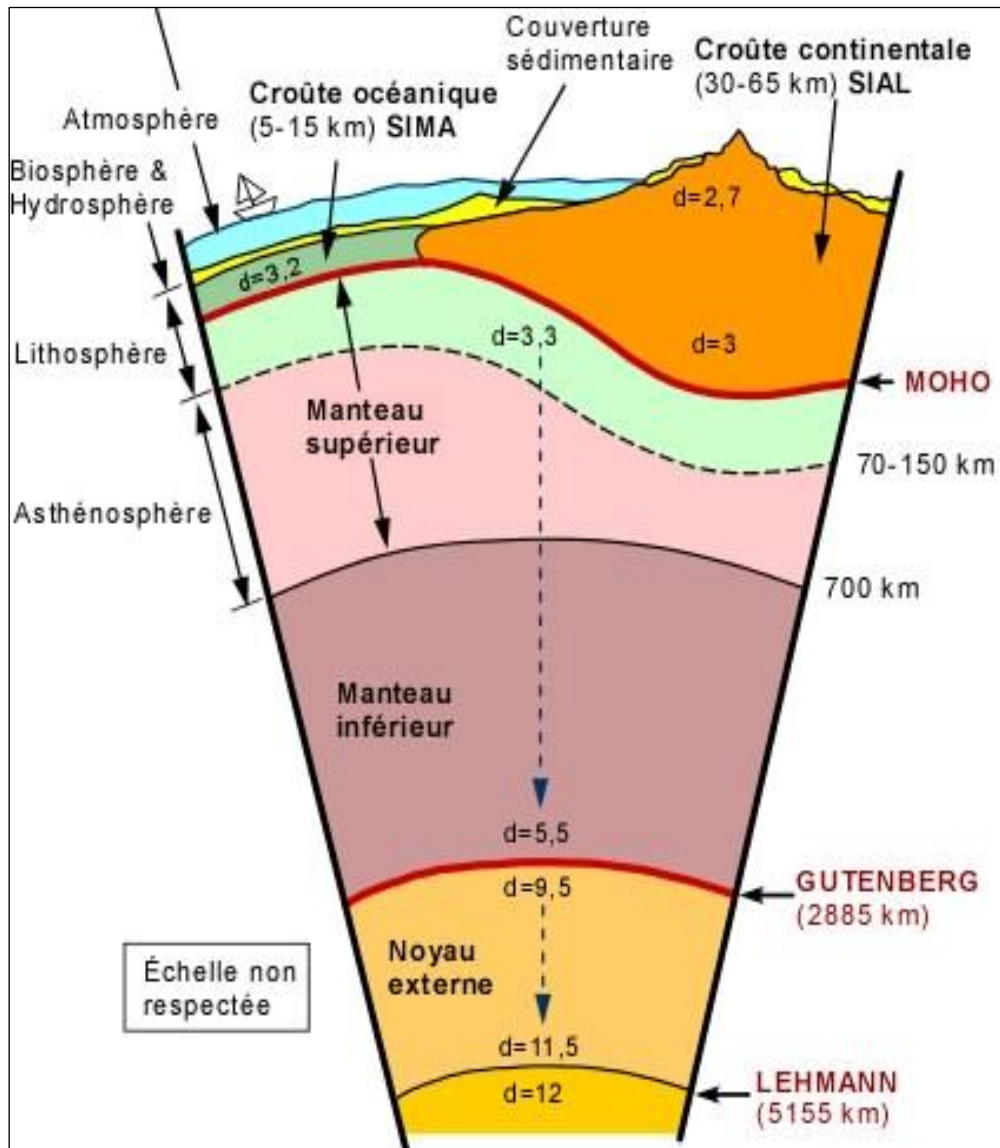


Figure 2. Structure interne de la terre

## CHAPITRE 2. GEODYNAMIQUE EXTERNE

### 2.1. Erosion

En géomorphologie, l'érosion est le processus de dégradation et de transformation du relief, et donc des roches, qui est causé par tout agent externe (donc autre que la tectonique).

Un relief dont le modelé s'explique principalement par l'érosion est dit « relief d'érosion ». Les facteurs d'érosion sont :

- le climat ;
- le relief ;
- la physique (dureté) et la chimie (solubilité par ex.) de la roche ;
- l'absence ou non de couverture végétale et la nature des végétaux ;
- l'histoire tectonique (fracturation par exemple) ;
- l'action de l'homme (pratiques agricoles, urbanisation).

#### 2.1.1. Action de l'eau

Les variations de température entraînent la dilatation ou la contraction des roches soumises à des variations de volumes incessants, une roche fissure puis éclate. L'eau qui pénètre dans les fissures puis gèle avec augmentation de volume ajoute son effet : les cristaux de glace s'accroissent perpendiculairement à la surface de la fente et augmente son ouverture. L'eau qui gèle dans une fissure exerce une pression de  $14 \text{ g/cm}^2$ . La roche finit par éclater sous l'action du gel : c'est la cryofracturation.

##### a) L'eau, un agent chimique d'altération

De par ses propriétés et son abondance relative, l'eau se trouve à la base de toutes les altérations exogènes des roches. Les molécules d'eau sont chargées électriquement et se comportent comme des dipôles (Fig.3). Les propriétés de l'eau vis-à-vis des minéraux s'expliquent essentiellement par cette propriété. Pure, elle se comporte comme un acide faible par les ions  $\text{H}^+$  libres qu'elle renferme.

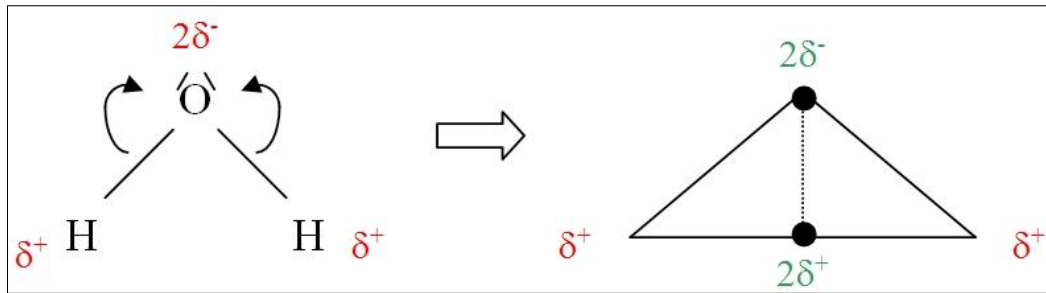


Figure 3. Structure et arrangement des molécules d'eau.

Les réactions mettant en jeu la molécule d'eau sont de différents types et ont lieu essentiellement en climat humide. Les éléments solubles qui en résultent sont lessivés et les parties insolubles restent sur place, se recombinaient pour former de nouveaux minéraux, principalement des argiles. Ces réactions sont :

#### - La dissolution

La dissolution est d'autant plus forte que la solubilité des minéraux est élevée, les plus vulnérables étant les minéraux des roches salines (sel gemme, potasse, gypse) (Fig.4).



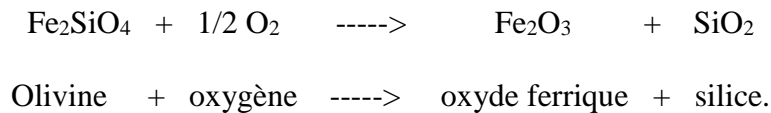
Figure 4. Dissolution des gypses.

Le gypse ( $\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$ ) est une roche exogène, une évaporite, relativement soluble dans l'eau. Dans les zones montagneuses, sa dissolution crée des reliefs particuliers sous forme "d'entonnoirs". L'eau, la neige s'accumulent dans de petites dépressions où la dissolution s'opère, donnant des paysages caractéristiques.

#### - Les oxydations / réductions

Les oxydations concernent surtout le fer qui passe de l'état ferreux à l'état ferrique.

*Exemple pour un minéral d'olivine :*



Les réductions sont plus rares : elles se déroulent dans les milieux hydromorphes (saturés d'eau de façon permanente ou périodique) et produisent en particulier du fer ferrique au fer ferreux soluble.

#### - L'hydratation

Il s'agit de l'incorporation de molécules d'eau à certains minéraux peu hydratés. Elle produit un gonflement du minéral et donc favorise la destruction de la roche. C'est le cas de la chloritisation ou de la transformation des ferro-magnésiens (pyroxènes, amphiboles) en serpentine, chlorite, épidote.

- Plagioclase + Pyroxène + Eau -----> Amphibole (Hornblende verte)

- Plagioclase + Hornblende + Eau -----> Chlorite + Actinote

#### - La décarbonatation

Elle produit la solubilisation des calcaires et des dolomies sous l'action du  $\text{CO}_2$  dissous dans l'eau (Fig.5).



Il en résulte des paysages particuliers, associés aux régions calcaires, c'est le cas, par exemple des reliefs karstiques.



Figure 5. La dissolution des carbonates de calcium d'une roche-mère est un phénomène de décarbonatation.

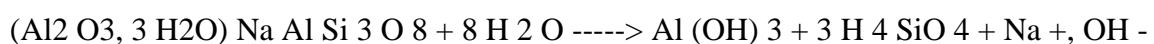
### – L'hydrolyse

Elle est définie comme étant la destruction d'un édifice moléculaire complexe en édifices moléculaires plus simples sous l'influence de l'eau. Les hydrolyses constituent les principales réactions d'altération.

Les hydrolyses, c'est à dire la destruction des minéraux par l'eau, sont les principales réactions d'altération.

L'hydrolyse est totale lorsque le minéral est détruit en plus petits composés possibles (hydroxydes, ions).

Cas d'un feldspath sodique, l'albite (Fig.6) :



Les corps résultants peuvent ensuite réagir entre eux et donner des minéraux argileux.

L'hydrolyse est partielle lorsque la dégradation est incomplète et donne directement des composés silicatés (argiles). Ces composés diffèrent selon les conditions de milieu. L'hydrolyse partielle de l'albite donne soit de la kaolinite, soit des smectites.

(1) Formation de kaolinite (Fig.7) :



Albite + eau -----> kaolinite + ac.silicique + ions

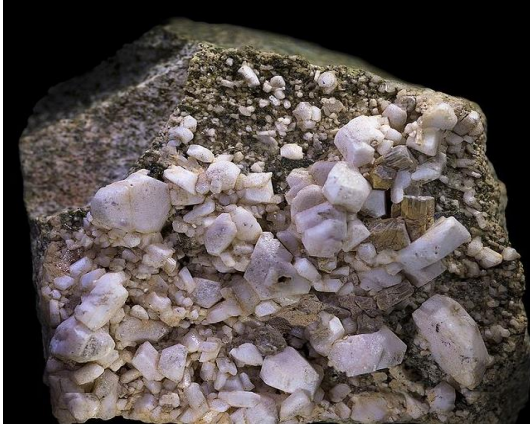


Figure 6. Albite.



Figure 7. Kaolinite.

## (2) Formation de smectite



Cette 2ème réaction reste assez théorique car d'autres ions y participent, en particulier le Fer (Fe 3+).

### 2.1.2. Action du vent

Le vent constitue un facteur important d'érosion et de transport des sédiments à la surface de la planète. Il agit par déflation (action de balayage) et par corrasion (abrasion éolienne). Il est particulièrement actif dans les régions sèches où la végétation est quasi-absente, comme les déserts. Les régions désertiques, qu'on définit comme les régions qui reçoivent moins de 20 cm de précipitations/an, couvrent près du tiers de la surface terrestre. Les grands déserts du monde (Sahara, Kalahari, Gobi, les déserts d'Australie) se trouvent entre les latitudes 10° et 30° de part et d'autre de l'équateur.

L'action érosive du vent est proportionnelle à la vitesse du flux et comprend deux processus : la déflation et la corrasion. La déflation correspond à l'action de balayage du vent qui emporte les particules fines et sèches en laissant sur place galets et cailloux. Ce processus contribue à la formation des déserts rocheux ou regs et, à plus grande échelle, au creusement des grandes dépressions fermées dans les régions désertiques (sebkhas).

### **2.1.2.1. Les mécanismes de mouvement à l'échelle des particules**

Il existe trois modes différents d'entraînement des particules : la saltation, la reptation en surface et la suspension (Fig.8).

#### **a) La saltation**

Le mouvement initial des particules du sol est une série de sauts. Le diamètre des particules en saltation est compris entre 0,5 et 1,1 mm. Après avoir sauté, les particules retombent sous l'action de la pesanteur. La partie descendante de la trajectoire est très inclinée vers le sol et pratiquement rectiligne. Peu de particules atteignent une altitude supérieure à 1 m et environ 90 % d'entre elles font des sauts inférieurs à 30 cm. L'amplitude horizontale d'un saut est généralement comprise entre 0,5 et 1 m.

Le phénomène de saltation est indispensable pour amorcer l'érosion éolienne. Il est la cause de deux autres modes de transport des éléments du sol par le vent : la reptation en surface et la suspension dans l'air.

#### **b) La reptation en surface**

Les particules de plus grande dimension roulent ou glissent à la surface du sol. Trop lourdes pour être soulevées, leur mouvement est déclenché par l'impact des particules en saltation plutôt que par l'action du vent. Les particules qui se meuvent ainsi ont des diamètres compris entre 0,5 et 2 mm suivant leur densité et la vitesse du vent.

#### **c) La suspension**

D'une façon générale les fines poussières ne peuvent être emportées que si elles ont été projetées dans l'air par l'impact des grains plus gros. Une fois parvenues dans la couche turbulente elles peuvent être soulevées à de grandes hauteurs par les courants d'air ascendants et former des nuages de poussière atteignant fréquemment des altitudes de 3 à 4.000 mètres. Même si leur aspect peut être impressionnant, le mécanisme essentiel de l'érosion éolienne demeure la saltation car sans elle de tels nuages ne pourraient se produire.

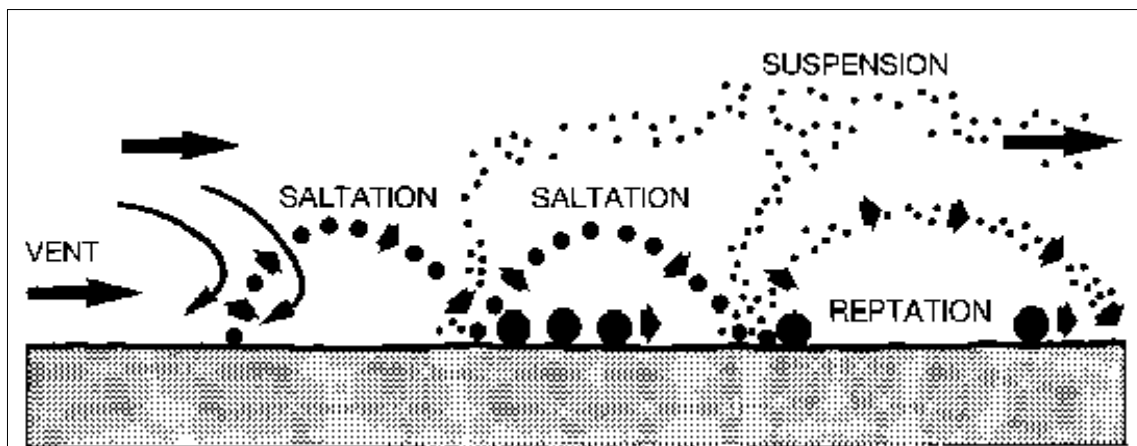


Figure 8. Différents modes d'entraînement des particules par le vent.

## 2.2. Dépôts

Le processus de dépôt est appelé sédimentation. La sédimentation aboutit à la formation des roches sédimentaires. La granulométrie des particules, la texture des sédiments, la géométrie des dépôts sont d'importants indices sur l'agent de transport, sa vitesse au moment du dépôt, sa direction, etc.

La sédimentation correspond à l'accumulation de sédiments après le transport. C'est encore le processus naturel de formation de dépôt de matières minérales, dû à l'action des eaux, des glaciers, du vent ou d'autres agents physiques.

Le dépôt des sédiments a lieu lorsque la vitesse de l'agent de transport diminue ou lorsque cet agent de transport disparaît (fonte de la glace). Les particules transportées par un fluide en mouvement (vent, rivière, courant marin) se déposent quand celui-ci ralentit ou s'arrête. Les sédiments charriés par les glaciers s'accumulent lorsque la glace fond. Le matériel déplacé en masse sous l'action principale de la gravité (éboulement, glissement) se sédimente quand un nouvel état d'équilibre est atteint. Les substances transportées en solution dans un lac ou dans une mer précipitent et s'accumulent sur le fond lorsque les conditions physico-chimiques sont favorables. Les sédiments déposés forment des couches (ou strates) d'épaisseur et d'extension variables au fond des bassins sédimentaires.

### 2.2.1. Les roches sédimentaires

Les roches sédimentaires sont les roches qui résultent de l'accumulation et du compactage de débris d'origine minérale (dégradation d'autres roches), organique (restes de végétaux ou d'animaux, fossiles), ou de précipitation chimique. Elles sont déposées par couches successives, parallèles entre elles : C'est la stratification.

Quelle que soit son origine, la formation des roches sédimentaires repose sur 3 principes (Fig.9) :

- Altération
- Transport
- Sédimentations
- Diagenèse

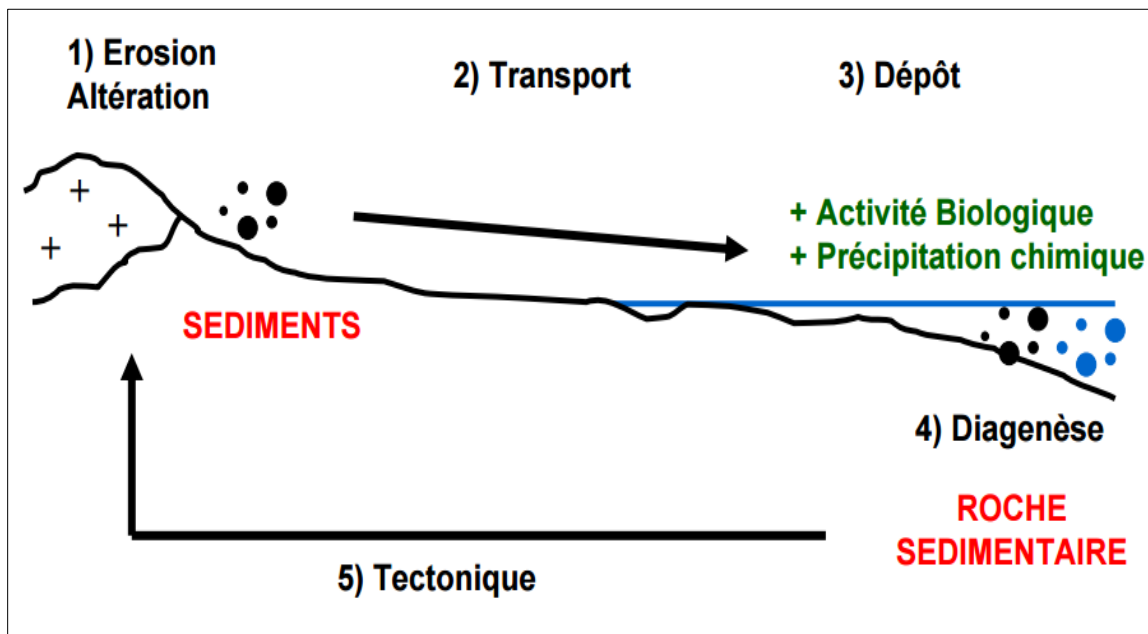


Figure 9. Formation des roches sédimentaires.

a) **L'altération** : Pour que les sédiments puissent être transportés, il faut qu'ils aient été libérés. L'ensemble des phénomènes qui libèrent les particules sera résumé sous le terme d'altération, on distinguera :

- L'altération physique :

Désagrégation sous l'effet des actions mécaniques : Eau / Vent / Gel / Dessiccation / Action des racines...

- L'altération chimique :

Souvent associée à l'altération physique. Elle constitue le processus essentiel de la formation des sols. La plus importante est l'hydrolyse, c'est-à-dire l'attaque des minéraux par des eaux pures ou chargées en CO<sub>2</sub>.

#### **b) Le transport**

En plus du vent et la glace, c'est surtout l'eau qui assure le transport des particules.

#### **c) La sédimentation**

Tout le matériel transporté s'accumule dans un bassin de sédimentation pour former un dépôt. Les sédiments se déposent en couches successives dont la composition, la taille des particules, la couleur, etc., varient dans le temps selon la nature des sédiments apportés.

#### **- Diagenèse**

Il s'agit de la phase ultime du phénomène sédimentaire (Fig.10) : La compaction et la transformation d'un sédiment en roche. Elle se fait par

- Etape 1 : Enfouissement et le compactage des grains. Ce processus se réalise au fur et à mesure que d'autres sédiments viennent recouvrir le dépôt.
- Etape 2 : Cimentation, des grains. Il s'agit d'un processus chimique relativement simple : l'eau qui circule entre les grains finit par être sursaturée en certains minéraux, elle précipite alors ces minéraux dans les pores des grains et ceux-ci viennent souder ensemble les particules ; on obtient alors une roche sédimentaire.

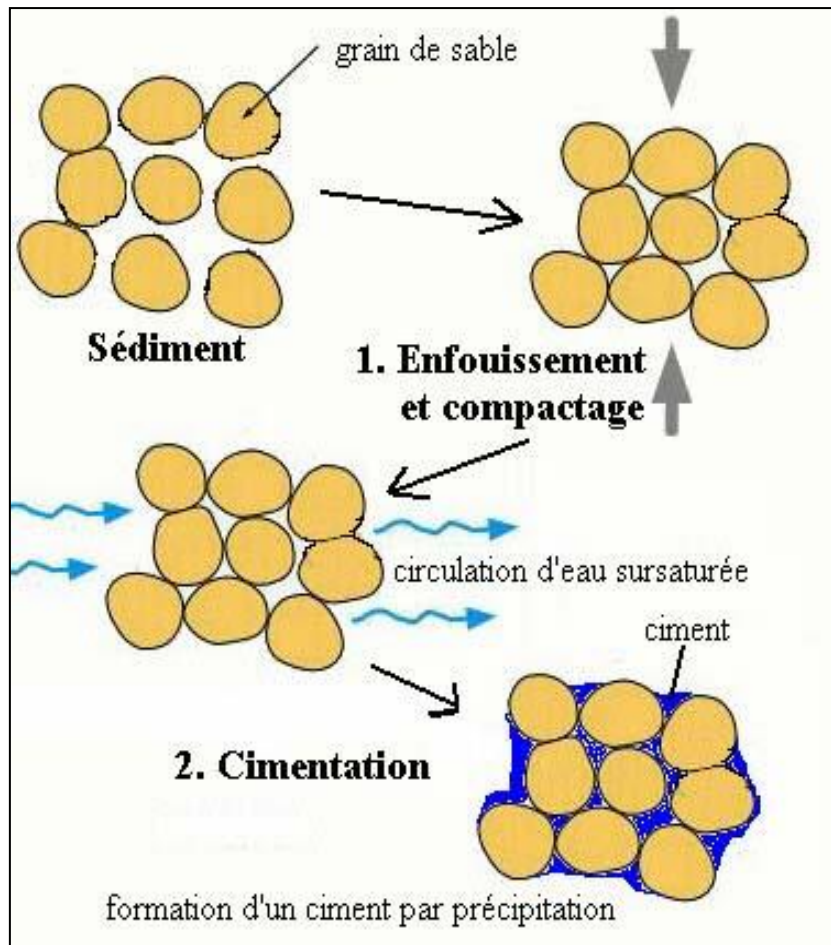


Figure 10. Processus de la diagenèse.

### 2.2.2. Notion de stratigraphie

La stratigraphie (du latin *stratum*, « couche », et du grec *graphein*, « écrire ») est la science qui étudie la succession, dans l'espace et dans le temps, des couches de terrains ou strates et des événements qu'elles ont enregistrés. Elle permet d'établir une chronologie stratigraphique relative et a pour objectif de retracer l'histoire de la Terre.

On appelle strate une couche de terrain homogène possédant une individualité nette. Son épaisseur peut varier de quelques centimètres à plusieurs dizaines de mètres. Les strates sont séparées par des joints de stratification horizontaux. La strate est l'unité de base de la stratigraphie.

La stratification désigne la disposition de dépôts successifs et horizontaux de sédiments en couches ou strates (Fig.11 et Fig.12).



Figure 11. Photo de roche sédimentaire avec stratification horizontale.

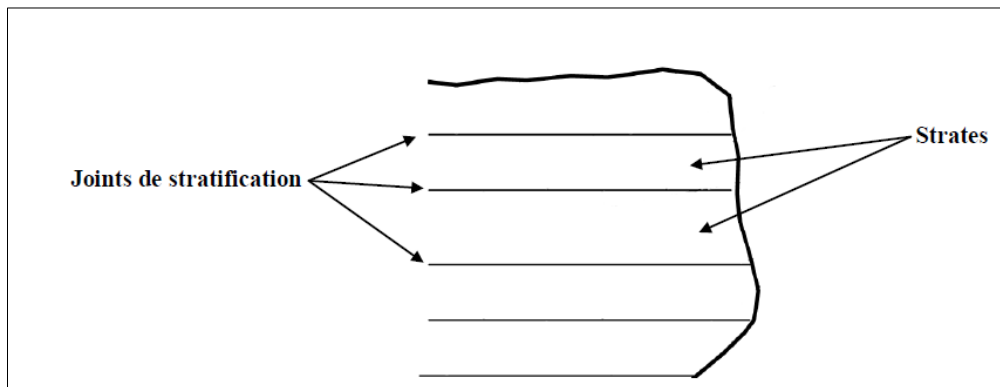


Figure 12. Schéma représentant des strates séparées par des joints de stratification horizontaux.

### a) Les principes de la stratigraphie

Les fondements de la stratigraphie et l'établissement de la datation ou chronologie relative se basent sur des principes simples, appelés principes de la stratigraphie.

- **Principe d'horizontalité de de superposition** : les couches sédimentaires se déposent horizontalement, une couche est plus récente que celle qu'elle recouvre et plus ancienne que celle qui la recouvre (Fig.13).

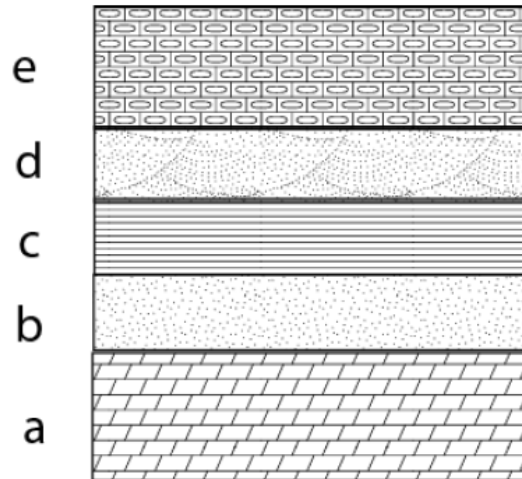


Figure 13.Schéma du principe de superposition. La couche a est la plus ancienne, la couche e la plus jeune.

- **Principe de recoupement** : lorsque l'on a une succession de couches qui sont coupées par une faille ou si une autre couche les recoupe (comme par exemple l'injection de magma au travers de dyke (Fig.14) ; le principe énonce que les couches sédimentaires sont plus anciennes que les failles ou les roches qui les recouperont ; Dans l'exemple de la figure 15, la faille recoupe la couche de calcaire et d'argile, mais ne recoupe pas le basalte. La faille est donc plus jeune que les couches de calcaire et d'argile, mais plus ancienne que le basalte.

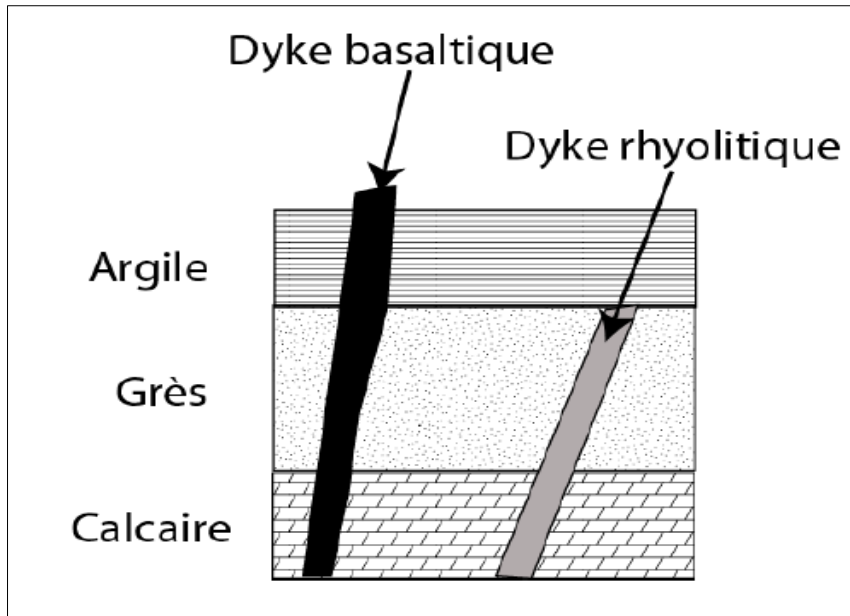


Figure 14. Premier schéma illustrant le principe de recouplement (cas de dykes).

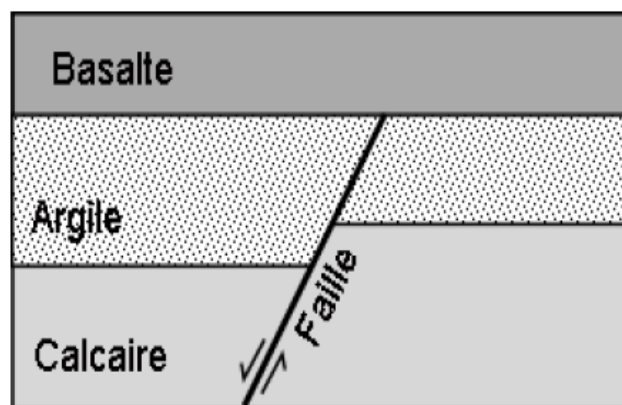


Figure 15. Second schéma illustrant le principe de recouplement (cas d'une faille).

- **Principe d'inclusion** (Fig.16) : Le principe d'inclusion indique que tout objet (roches, minéraux) inclus dans un autre est plus ancien que celui-ci

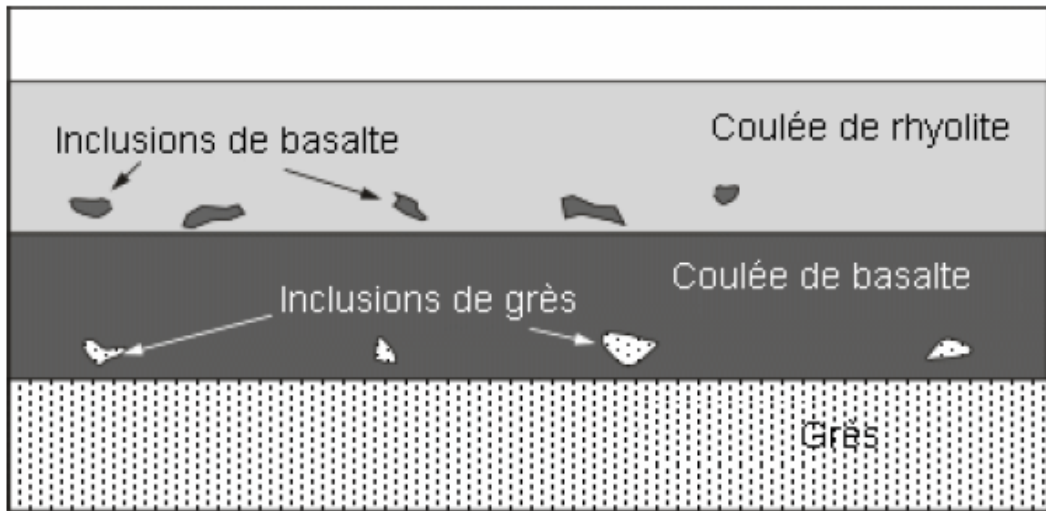


Figure 16.Schéma illustrant le principe de l'inclusion.

- **Principe de continuité** (Fig.17)

Une même couche a le même âge sur toute son étendue. Par exemple, les strates horizontales exposées de part et d'autre d'une vallée fluviale formaient des couches continues et ont ensuite été érodées par la rivière.

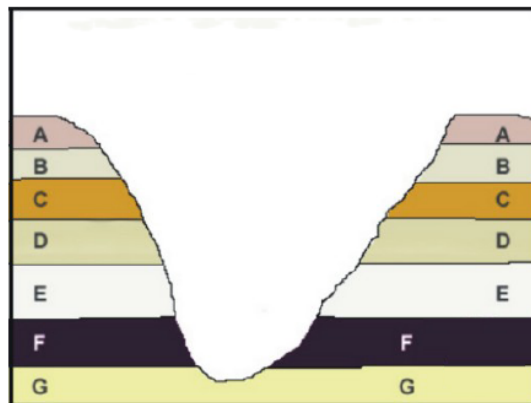


Figure 17.Schéma illustrant le principe de continuité. Les strates sont corrélées de part et d'autre de la vallée fluviale.

- **Principe d'identité paléontologique**

Ce principe stipule qu'un ensemble de strates de même contenu paléontologique (mêmes fossiles) est de même âge.

Pour l'application de ce principe, on définit la notion de « fossiles stratigraphiques » qui doivent avoir un certain nombre de caractères :

- Evolution rapide de l'espèce dans le temps (l'espèce doit avoir une courte période de vie sur Terre).
- Vaste répartition géographique.
- Grand nombre d'individus et grand potentiel de fossilisation.

### **b) L'échelle des temps géologiques**

La biostratigraphie et les méthodes de géochronologie permettent de reconstituer l'histoire géologique d'une région donnée. Les recoupements généralisés à l'échelle du globe ont permis d'établir un calendrier de référence appelée échelle stratigraphique internationale des temps géologiques (Fig. 18) qui comprend les subdivisions suivantes :

#### **- Les Eons (=Eonothèmes)**

Un *éon* représente l'intervalle de temps géologique le plus grand de plusieurs centaines de millions d'années. Il en existe quatre :

- Le *Hadéen* couvre le début de l'histoire de la Terre - 4600 millions d'années (Ma) à 3900 Ma. Il n'existe plus de roches de cet âge à cause de l'érosion et de la subduction. L'Hadéen est suivi par
- L'*Archéen* (3800 Ma à 2500 Ma) qui représente les roches les plus anciennes sur Terre - ces roches contiennent des traces d'organismes microscopiques (bactéries).
- Le *Protérozoïque* (2500 Ma à 570 Ma) suit l'Archéen et ses roches contiennent des traces de micro-organismes multicellulaires mais il y manque certains parties solides. La stratigraphie des roches archéennes et protérozoïques est moins connue que celle des roches plus jeunes parce que ces roches anciennes ont été déformées, métamorphisées et érodées.
- Le *Phanérozoïque* (570 Ma à aujourd'hui) est l'éon le plus récent. Les roches du Phanérozoïque contiennent beaucoup d'évidence de vie et les parties solides des organismes sont bien fossilisées.

#### **- Les Eres (= Erathèmes)**

Les éons sont subdivisés en *ères* dont les limites sont marquées par de grands bouleversements biologiques (grandes extinctions), paléogéographiques (Orogenèse) ...

Une ère géologique reprend l'intervalle de temps défini sur base des organismes présents dans ces roches. Il n'existe pas d'ères pour les roches Archéennes ou Protérozoïques, alors que l'éon Phanérozoïque est subdivisé en trois ères :

- *Paléozoïque* (vie ancienne - 570 Ma à 245 Ma),
- *Mésozoïque* (vie intermédiaire - 245 Ma à 66,4 Ma) et
- *Cénozoïque* (vie récente - 66,4 Ma à aujourd'hui).

Au Paléozoïque, les formes de vie incluent des invertébrés marins, des poissons, des amphibiens, et des reptiles. Certaines plantes y ont également apparu et évolué. Le Mésozoïque est l'ère des dinosaures qui sont devenus les vertébrés les plus importants. Des mammifères sont apparus vers la fin du Mésozoïque et dominent le Cénozoïque.

#### - **Les périodes (=Systèmes)**

Les dernières regroupent des étages sur des références lithologiques (Carbonifère, Crétacé), Paléontologiques (Nummulitique = Paléogène) ou autres. Les périodes du Phanérozoïque sont les suivants :

- Paléozoïque : *Cambrien, Ordovicien, Silurien, Dévonien, Carbonifère, Permien,*
- Mésozoïque : *Trias, Jurassique, Crétacé,*
- Cénozoïque : *Paléogène, Néogène, Quaternaire.*

Il a fallu plus de 100 ans pour définir ces périodes sur base de l'étude biostratigraphique des affleurements de l'Angleterre, de l'Allemagne, de la Suisse, de la Russie et des Etats-Unis. Leurs noms reflètent la géographie de l'endroit de leur découverte ou les caractéristiques de leurs strates.

#### - **Les époques (=Séries)**

Les *périodes* sont subdivisées en *époques* sur la base d'association de fossiles stratigraphiques spécifiques. Leur durée moyenne est d'environ 15 Ma (sauf pour le Quaternaire).

Leurs limites suivent les mêmes règles que pour les Périodes.

Désignation : adjectif inf., moyen, sup. (Crétacé inf., sup.) ou encore « -cène » (Eocène, Oligocène ....).

#### - **Les étages (=Ages)**

Les étages successifs sont désignés par un nom de lieu qui évoque le **stratotype** (formation géologique référencée mondialement qui a caractérisé cette période). Plusieurs étages forment

une *époque*. Le nom de l'étage est le plus souvent dérivé de celui d'un lieu géographique ou historique, actuel ou antique auquel on ajoute le suffixe *ien*.

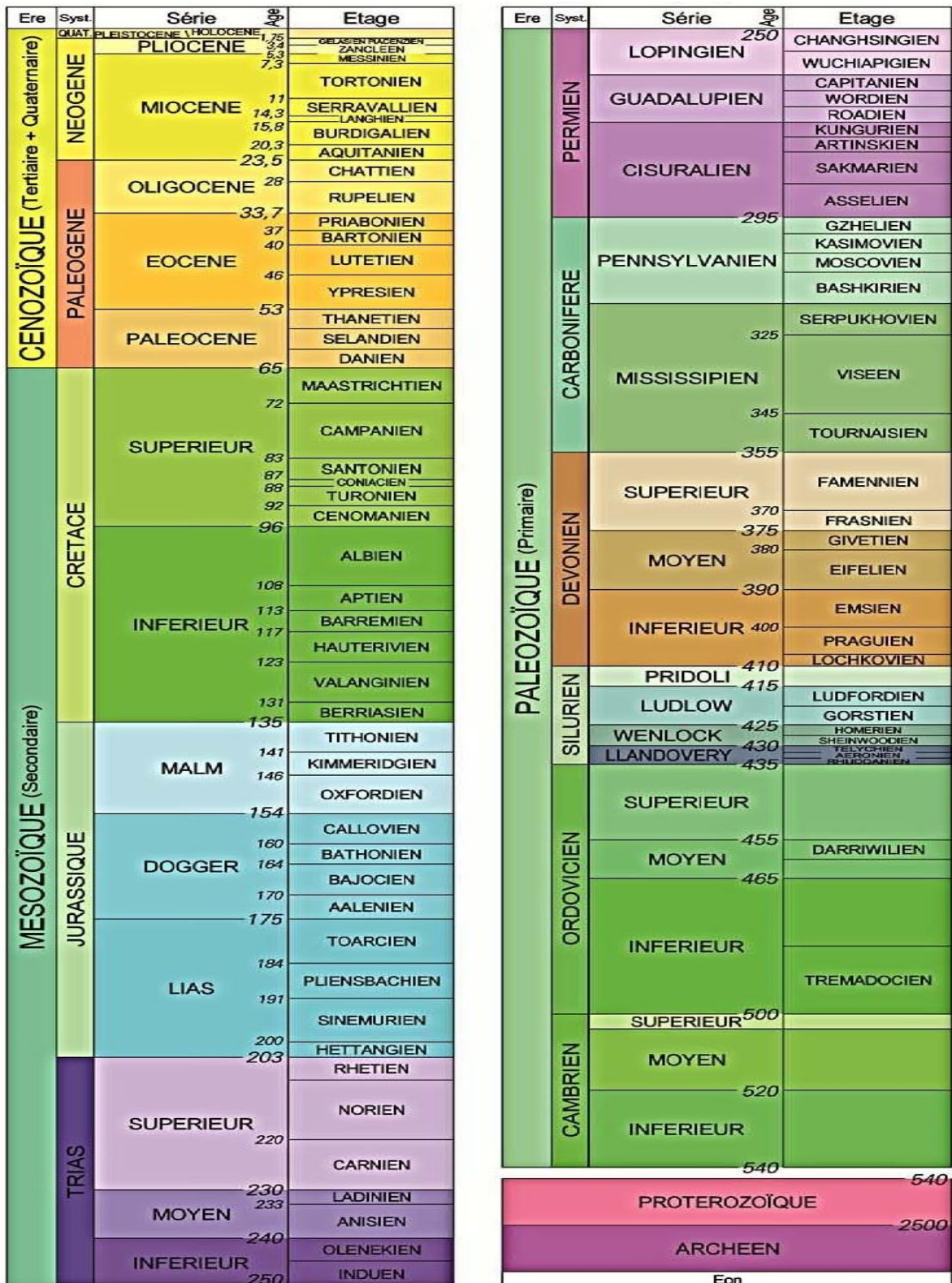


Figure 18. Echelle des temps géologiques simplifiée (© BRGM Editions).

### 2.2.3. Notion de paléontologie

La paléontologie est la discipline scientifique qui étudie les restes fossiles des êtres vivants du passé et les implications évolutives ressortant de l'étude de ces restes. Les fossiles sont des restes d'animaux (Fig.19) ou de plantes conservés (Fig.20) dans des roches sédimentaires. Cela peut être une coquille, un os, une dent, une graine, des feuilles ou même un simple moulage d'un être vivant qui a existé.

À l'aide des fossiles, que l'on retrouve essentiellement dans les roches sédimentaires, on tente de reconstituer les êtres vivants tels qu'ils étaient, leur environnement et de déterminer l'époque à laquelle ils ont vécu.



Figure 19. Fossile d'un poisson.



Figure 20. Fossile d'une plante.

## CHAPITRE 3. GEODYNAMIQUE INTERNE

### 3.1. Sismologie

Un séisme ou tremblement de terre est une déchirure dans les profondeurs de la terre. Cette déchirure provoque des secousses qui font trembler le sol. Les séismes se produisent le long des zones de contact des plaques tectoniques.

#### 3.1.1. Etude de séismes

##### a) Sismographe

Un sismographe est un instrument de mesure équipé d'un capteur des mouvements du sol, le sismomètre, capable de les enregistrer sur un support visuel, le sismogramme.

Pour obtenir le mouvement tridimensionnel de l'onde sismique, il est nécessaire d'enregistrer trois directions différentes formant un trièdre (en général, une direction verticale, et deux directions horizontales perpendiculaires). Les sismographes sont conçus pour enregistrer une seule composante verticale ou horizontale car la mécanique est différente. Les observatoires sismologiques sont donc équipés de différents sismographes.

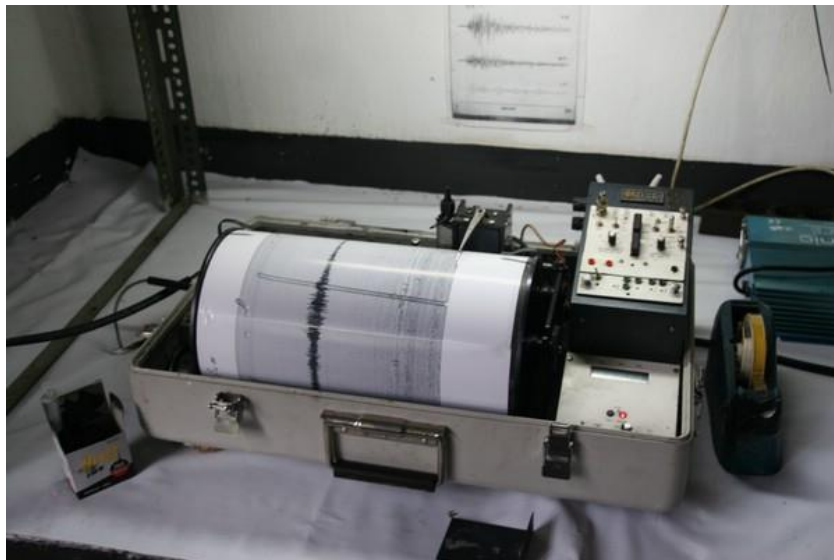


Figure 20.Simographe.

### b) Mesure de la magnitude d'un séisme (l'échelle de Richter)

L'échelle de Richter est un outil de mesure qui permet de définir la magnitude de moment d'un tremblement de terre (aussi appelé séisme), et non pas son intensité. Cette mesure a été mise au point par Charles Francis Richter (1900 - 1985), sismologue américain en 1935.

Tableau 1. Echelle de Richter

Magnitude	Effets engendrés
9	Destruction totale à l'épicentre, et possible sur plusieurs milliers de km
8	Dégâts majeurs à l'épicentre, et sur plusieurs centaines de km
7	Importants dégâts à l'épicentre, secousse ressentie à plusieurs centaines de km
6	Dégâts à l'épicentre dont l'ampleur dépend de la qualité des constructions
5	Tremblement fortement ressenti, dommages mineurs près de l'épicentre
4	Secousse sensible, mais pas de dégâts
3	Seuil à partir duquel la secousse devient sensible pour la plupart des gens
2	Secousse ressentie uniquement par des gens au repos
1	Secousse imperceptible

### c) Foyer et épicentre du séisme

Le lieu de la rupture des roches en profondeur se nomme le foyer, la projection du foyer à la surface est l'épicentre du séisme (Fig.21).

L'épicentre correspond à la verticale exacte du foyer. Ainsi, les ondes sismiques ont à parcourir le chemin le plus court pour atteindre l'épicentre à la surface du sol. Elles perdent, de ce fait,

très peu d'énergie en raison du peu de roches qu'elles traversent. Comme elles ont plus d'énergie à l'épicentre, les dégâts provoqués sont plus importants en cet endroit qu'ailleurs.

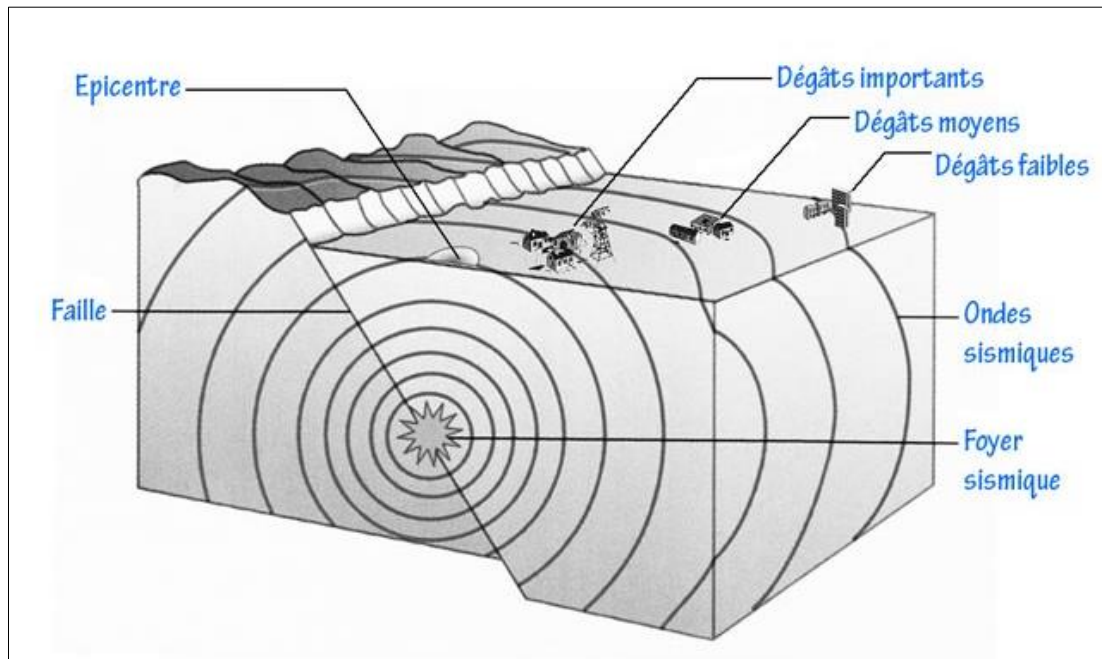


Figure 21. Mécanisme de formation et de propagation des ondes sismiques.

#### d) Les ondes sismiques

Les ondes sismiques sont des ondes élastiques. L'onde peut traverser un milieu sans modifier durablement ce milieu. On distingue (Fig.22) :

##### - Les ondes de volume

**Les ondes P** : Ce sont des ondes de compression. Ce sont elles qui sont responsables du premier type de déformation décrit plus haut pour les clôtures. Ce sont aussi les ondes les plus rapides, et donc les premières à être enregistrées lors d'un séisme (d'où le "P"). Elles peuvent circuler dans tous les types de matériaux, solides aussi bien que liquides.

**Les ondes S** (secondaires) : Ce sont des ondes de cisaillement. Elles sont responsables du second type de déformation. Moins rapides que les P, elles arrivent en second lors d'un enregistrement (d'où le "S"). Et contrairement aux ondes P elles ne peuvent pas se propager dans les milieux liquides.

- **Les ondes de love L**

Ce sont des ondes de surfaces uniquement, elles ne se propagent pas en profondeur. Ce sont elles qui transmettent la majorité de l'énergie et qui sont donc responsables des dégâts. Ce sont les ondes les plus lentes. On peut les assimiler aux vagues formées à la surface de l'eau après y avoir jeté un caillou. Pour le géologue, elles n'ont que peu d'importances car elles n'apportent guère d'informations sur la structure profonde du globe. Elles ne sont visibles que si le séisme est superficiel (moins de 100 km de profondeur).

- **Les ondes de Rayleigh (R)**

Le déplacement de cette onde résulte d'un mouvement horizontal et vertical à la fois. Elle résulte d'interférences constructives entre ondes P et S verticales.

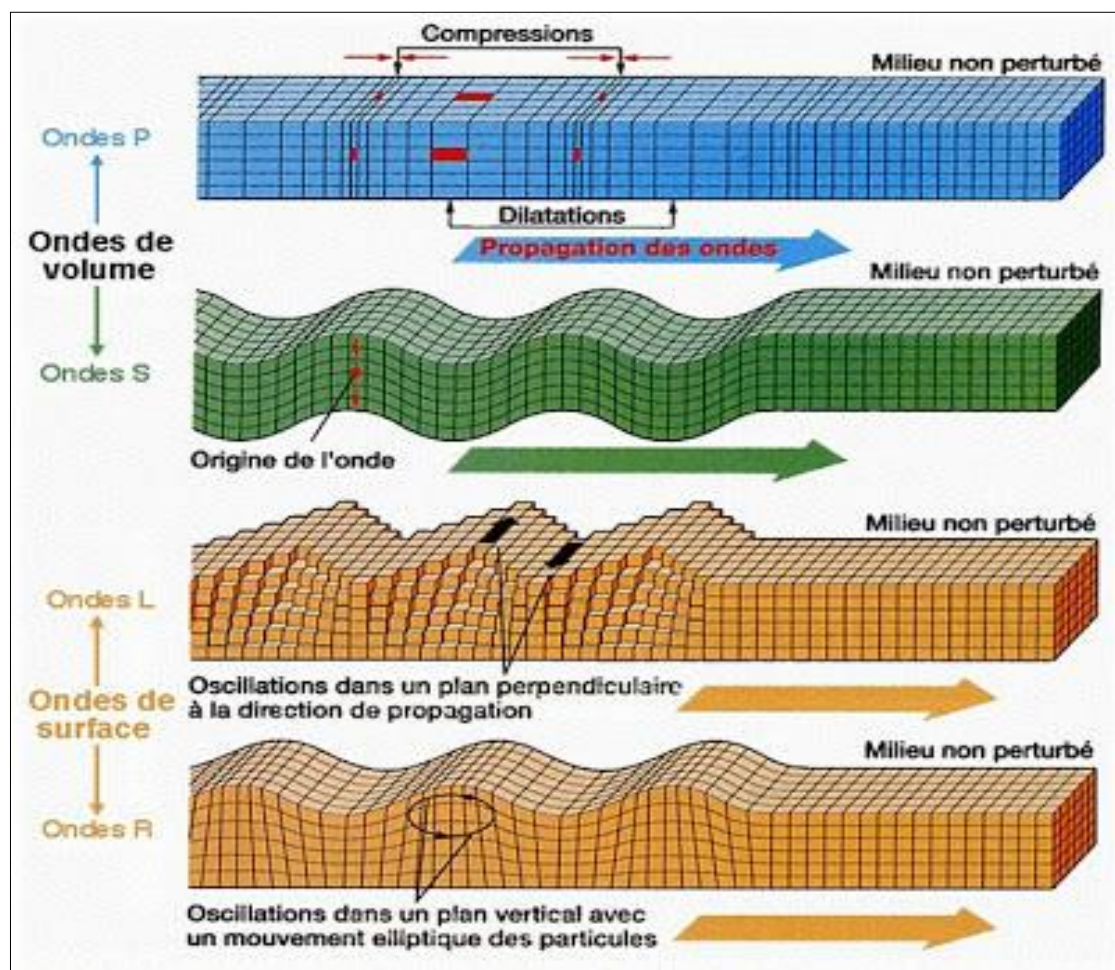


Figure 22. Les différents types d'ondes sismiques.

### 3.1.2. Origine et répartition des séismes

La cause des séismes : Jeux de failles : la relation entre activité sismique et faille est importante pour la prévision sismique. La déformation due à la tectonique augmente les contraintes sur la faille. Arriver à un certain seuil, une rupture se déclenche et la faille génère un séisme relâchant les contraintes accumulées. La faille est alors prête pour un nouveau cycle d'accumulation sur un système de faille où la charge en contrainte est homogène. La faille où le segment de faille n'ayant pas subi de fort tremblement de Terre depuis longtemps devient un bon candidat pour le prochain séisme.

La localisation des épicentres des séismes enregistrés par différentes stations sismiques est représentée sur la carte ci-dessous. Sur une carte du monde, on remarque que les séismes ne sont pas répartis au hasard sur la Terre (Fig.23) soit ils s'alignent :

- Au milieu des océans et se superposent avec les dorsales océaniques
- Près des côtes des continents et se superposent avec les fosses océaniques
- Dans les continents et coïncident avec les chaînes de montagnes.

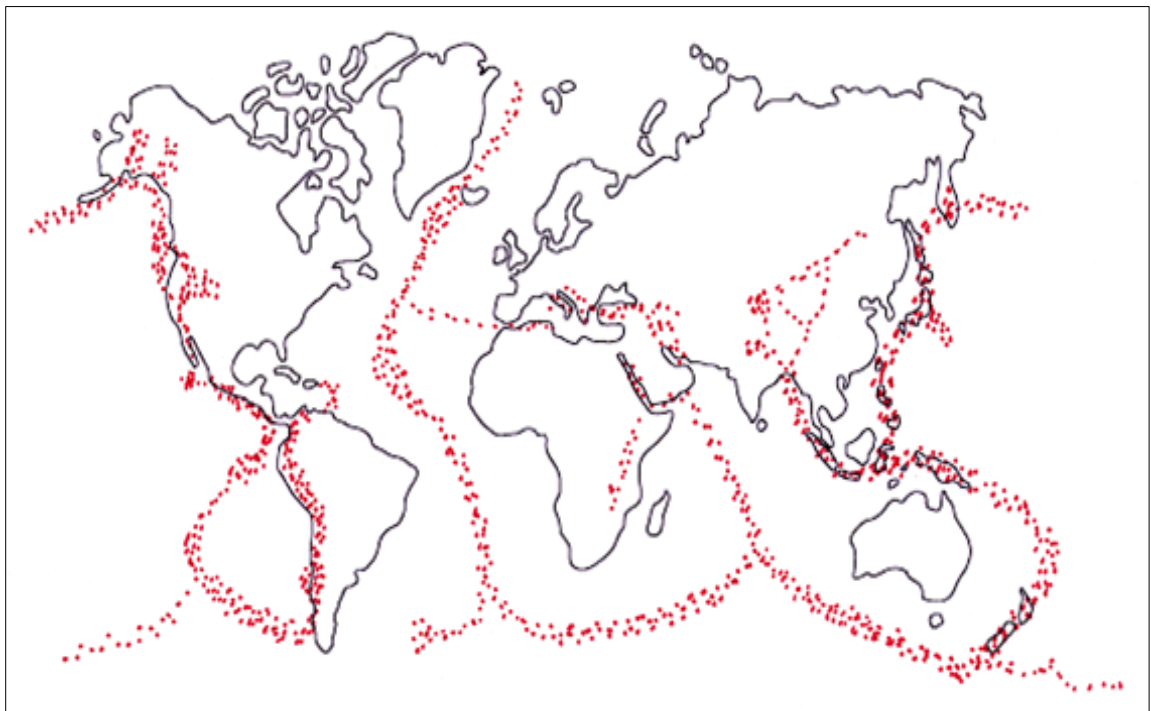


Figure 23. Localisation des épicentres des séismes dans le monde.

### **3.1.3. Tectonique souple et cassante (plis et failles)**

La tectonique correspond aux phénomènes qui sont responsables des déformations des roches après leur formation. Ces phénomènes font intervenir des forces physiques importantes de compression, cisaillement, écartement.

Le volcanisme et les tremblements de terre sont les deux principales manifestations de la tectonique à l'échelle humaine. La déformation des roches est une conséquence à plus long terme de ces manifestations.

La tectonique est l'étude des déformations de la croûte terrestre et des structures qui en sont l'expression.

#### **3.1.3.1. Plis**

Un pli est une déformation des roches sous l'effet des contraintes. La roche, sous l'effet des forces tectoniques, n'a pas cassée mais pliée. Ce comportement "plastique" peut être celui de roches très rigides, d'habitude cassantes. En effet l'application sur une longue période de forces de faible intensité permet une modification graduelle de la roche (son plissement) au lieu de sa fracturation.

##### **a) Élément d'un pli**

Un pli se définit par divers éléments (Fig. 24) :

- la charnière, région où la courbure est maximale ;
- l'axe, ligne passant par le milieu de la charnière. Dans le cas d'un pli dans une série sédimentaire, les charnières de chaque couche définissent un axe du pli sur une coupe. En volume, ces axes définissent un plan axial du pli. Dans un pli, le sens de la courbure est donné par la direction de sa convexité
- les flancs situés de part et d'autre de la charnière sont les régions où la courbure est minimale. Lorsque les deux flancs sont inclinés dans le même sens, on appelle flanc normal celui qui, pour un anticlinal ou antiforme, est situé au-dessus de la surface axiale, et en-dessous de cette surface pour un synclinal ou synforme. L'autre flanc s'appelle flanc inverse ;
- l'angle d'ouverture, angle dièdre que l'on peut mesurer si les flancs sont assez plats. Le pli est ouvert si l'angle est très important, serré si l'angle est faible et isoclinal si ses flancs sont parallèles

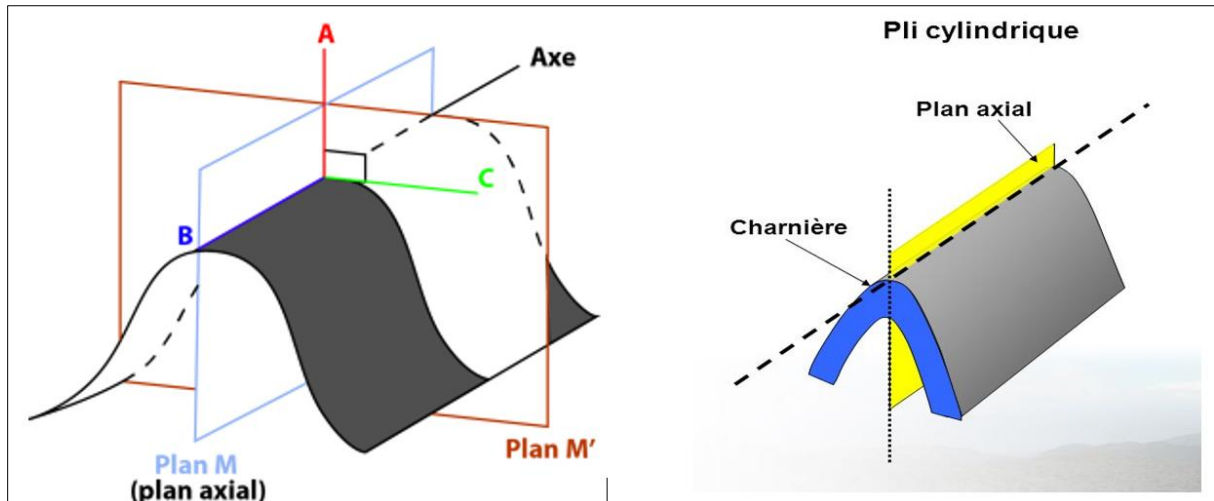


Figure 24. Elément d'un pli.

### b) Type de plis

Un pli peut être **droit, déjeté ou couché**, en fonction de son axe central (vertical pour un pli droit, devient de plus en plus horizontal).

Lorsque les contraintes provoquent une rupture des couches, on obtient un pli-faille, La couche de roche se trouve alors scindée en deux parties.

En fonction de l'angle formé par les flancs du pli, le pli se dit **ouvert, serré ou isoclinal** (angle de plus en plus aigu).

Les plis peuvent avoir différentes échelles (de quelques centimètres à plusieurs kilomètres). Dans les plis à plus grande échelle, on distingue principalement deux types de plis, le pli **synclinal** et le pli **anticlinal**.

- Synclinal : Lorsque des couches sédimentaires de roches forment des plis, la partie d'une couche plissée qui forme un creux se nomme Synclinal. La couche la plus récente est à l'intérieur du pli. La couche la plus ancienne se trouve à l'extérieur du pli.

- Anticlinal : Lorsque des couches sédimentaires de roches forment des plis, la partie d'une couche plissée qui forme une bosse se nomme Anticlinal. La couche la plus récente est à l'extérieur du pli. La couche la plus ancienne se trouve à l'intérieur du pli.

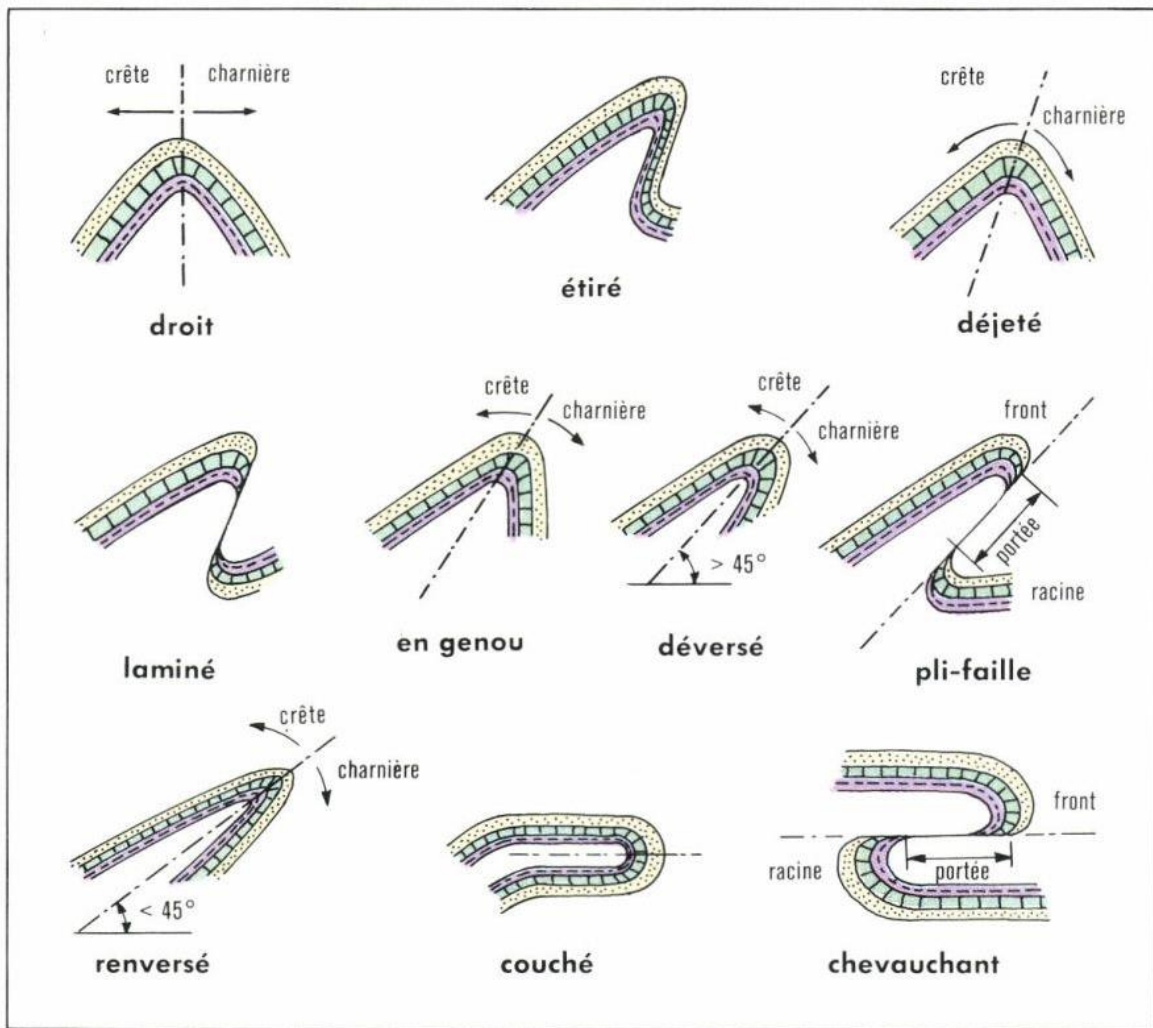


Figure 25. Les différents type de plis.

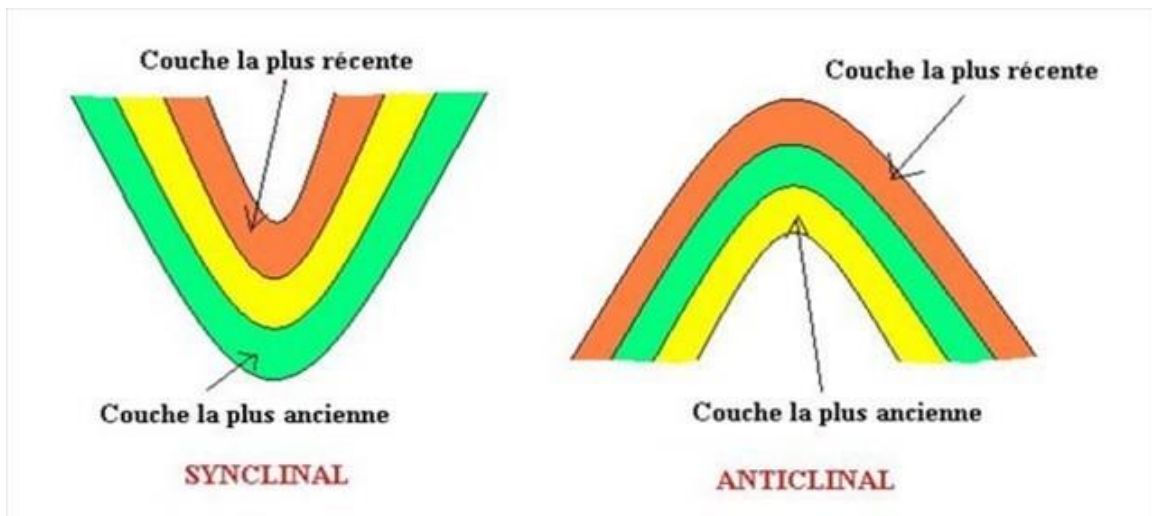


Figure 26. Synclinal et anticlinal.

### 3.1.3.2. Failles

Les failles sont des cassures accompagnées d'un déplacement relatif des deux compartiments. Ne sont pas confondu avec les diaclases (simples cassures sans déplacement). Les éléments d'une faille sont (Fig.25) :

- Plan de faille : surface le long de laquelle s'est fait le déplacement.
- Toit de la faille : compartiment situé au-dessus du plan de faille.
- Mur de la faille : compartiment situé sous le plan de faille.
- Rejet : distance qui sépare deux points situés de part et d'autre du plan de faille, et qui étaient en contact avant la cassure ; on en mesure surtout les composantes verticale et horizontale.

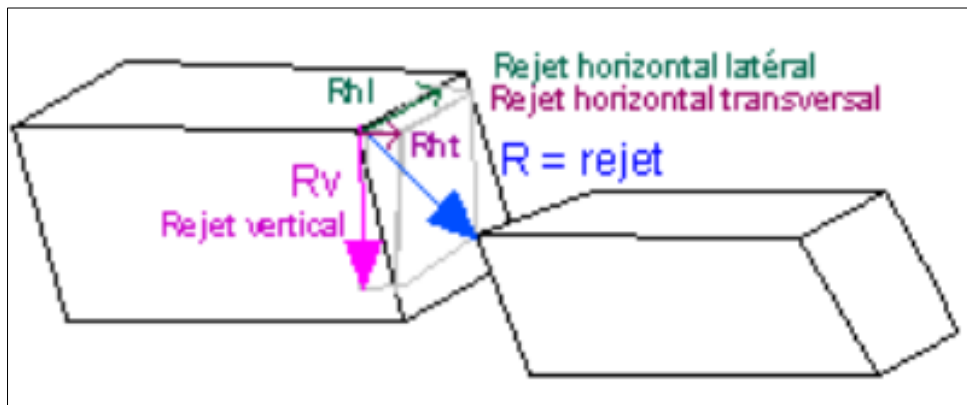


Figure 27. Les éléments d'une faille.

Il existe plusieurs types de failles :

#### a) Faille normale

Dans le cas d'une faille normale, le bloc au-dessus de la faille bouge vers le bas par rapport au bloc en dessous. Ce mouvement est créé par des forces en extension et provoque un allongement.

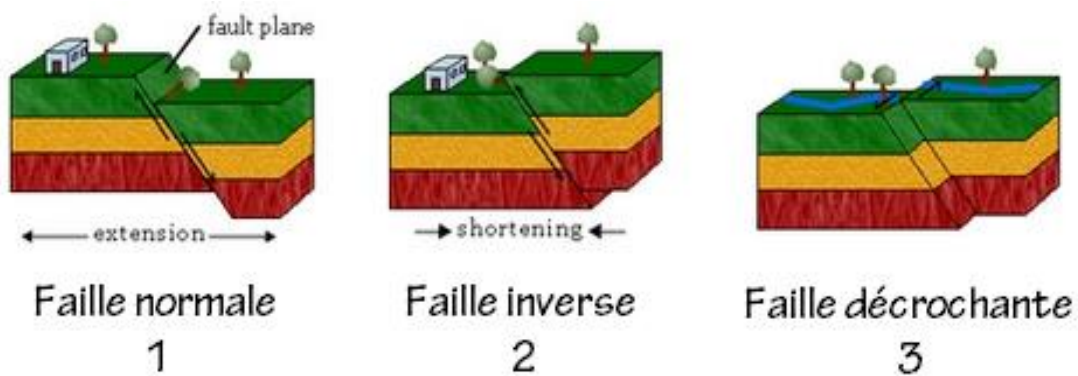
#### b) Faille inverse

Dans le cas d'une faille inverse, le bloc au-dessus de la faille bouge vers le haut par rapport au

bloc en dessous. Ce mouvement est créé par des forces en compression et provoque un raccourcissement.

### c) **Failles de décrochement (ou coulissantes)**

Déchirures le long desquelles les mouvements étaient des coulissements horizontaux. Les surfaces de cassures des failles de décrochement sont à peu près verticales. Les failles de décrochement ont un rejet uniquement horizontal.



## 3.2. **Volcanologie**

La volcanologie est la science qui étudie le volcanisme. Un volcan est également désigné comme "édifice volcanique", est un relief créé par la sortie de matériel magmatique à la surface de la croûte terrestre.

### 3.2.1 **Les volcans**

Un volcan est composé d'un cône formé par le matériel éjecté pendant les éruptions, d'un ou plusieurs cratères et d'une ou plusieurs cheminées connectées à un réservoir magmatique. Sa forme, sa taille et donc sa caractérisation dépendent du magma qui l'alimente et des éruptions qu'il a connu.

#### 3.2.1.1. **Structure d'un volcan**

Un volcan est formé de différentes structures que l'on retrouve en général chez chacun d'eux (Fig.29) :

- une chambre magmatique alimentée par du magma venant du manteau et jouant le rôle de réservoir et de lieu de différenciation du magma. Lorsque celle-ci se vide à la suite

d'une éruption, le volcan peut s'affaisser et donner naissance à une caldeira. Les chambres magmatiques se trouvent entre dix et cinquante kilomètres de profondeur dans la lithosphère ;

- une cheminée volcanique qui est le lieu de transit privilégié du magma de la chambre magmatique vers la surface ;
- un cratère ou une caldeira sommitale où débouche la cheminée volcanique ;
- une ou plusieurs cheminées volcaniques secondaires partant de la chambre magmatique ou de la cheminée volcanique principale et débouchant en général sur les flancs du volcan, parfois à sa base ; elles peuvent donner naissance à de petits cônes secondaires ;
- des fissures latérales qui sont des fractures longitudinales dans le flanc du volcan provoquées par son gonflement ou son dégonflement ; elles peuvent permettre l'émission de lave sous la forme d'une éruption fissurale.

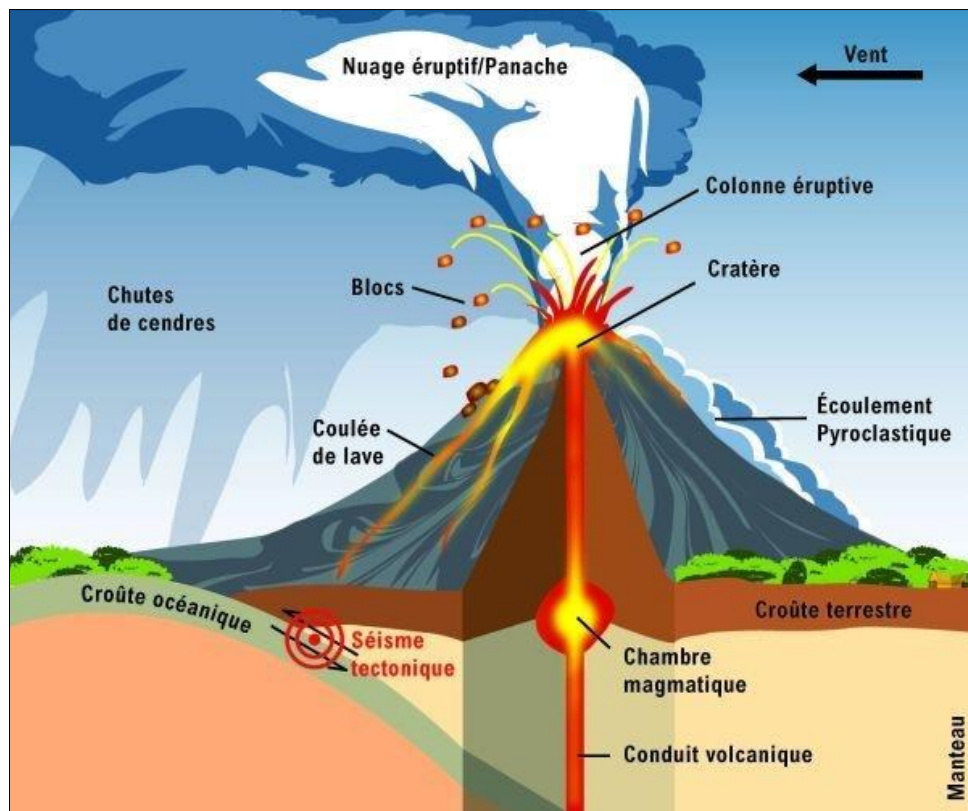


Figure 28. Schéma de la structure d'un volcan

Il est possible d'individualiser deux grandes familles de produits volcaniques du point de vue du faciès : Les coulées de lave et les projections pyroclastiques.

Les coulées de laves sont généralement produites par des volcans dont la lave est très fluide (basaltiques). Cette lave s'écoule facilement sur les flancs du volcan. Après refroidissement, ces coulées forment des roches volcaniques très compactes et très dures.

a) Les produits pyroclastiques sont générés lors d'éruptions volcaniques explosives par la détente brutale de gaz dans le conduit volcanique qui entraîne la fragmentation du magma. On distingue plusieurs types de projections pyroclastiques selon leur morphologie et leur taille. Il s'agit de :

- Les bombes volcaniques qui acquièrent une forme particulière lors de leur projection. Pour former ce type de bombe volcanique, le magma doit être peu visqueux et donc dans la plupart des cas basaltiques.
- Les bombes dites « en croûte de pain » se forment généralement à partir d'un magma visqueux. La croûte dure se refroidit très rapidement alors que le cœur de la bombe reste encore chaud et continu de dégazer. Les bulles continuent de grossir au cœur et cette augmentation de volume entraîne une fracturation caractéristique de la croûte figée.
- Les ponces sont des fragments de magmas qui ont emprisonnés une très grande quantité de bulles. Elles se forment généralement à partir de magmas acides très visqueux.
- Les scories basaltiques sont des fragments scoriacés sombres, riches en bulles émis par exemple lors d'éruptions de type Stromboliennes. En France on rencontre de nombreuses scories basaltiques au niveau des cônes stromboliens de la Chaîne des Puys
- Les cendres correspondent à la fraction la plus fine des projections émises lors d'une éruption volcanique. Le terme « cendre » peut porter à confusion car ce ne sont pas des cendres au sens de résidus de combustion mais uniquement des fragments de roches très fins. Au contact de l'air et de l'humidité ambiante, les cendres peuvent s'agglomérer en fines gouttelettes millimétrique que l'on appelle lapilli.

### **3.2.1.1. Eruption effusive ou explosive (Fig.30)**

Un magma basique va provoquer une éruption effusive (les fameux volcans "rouges") alors qu'un magma acide va provoquer une éruption explosive (les volcans "gris").

Dans le cas d'une éruption effusive, le magma basique et donc fluide, contient peu de gaz. L'éruption va donc être caractérisée surtout par des coulées de lave, et un dégazage calme avec seulement quelques projections.

Au contraire, dans le cas d'une éruption explosive, le magma acide et donc visqueux, contient beaucoup de gaz. Celui-ci va se fragmenter pendant l'ultime remontée à la surface, ce sont donc les explosions de gaz et les très nombreuses projections qui vont caractériser ce type d'éruption, la lave étant trop visqueuse pour remonter à la surface.

### **3.2.3. Etude des magmas**

On appelle magma un liquide généralement silicate, produit par la fusion des roches du manteau et/ou de la croûte terrestre. Les liquides magmatiques sont caractérisés par des propriétés physiques (température, viscosité) et chimiques (teneur en eau, en volatils, fugacité d'oxygène, concentrations élémentaires et compositions isotopiques), elles-mêmes dépendantes des environnements et conditions de formations.

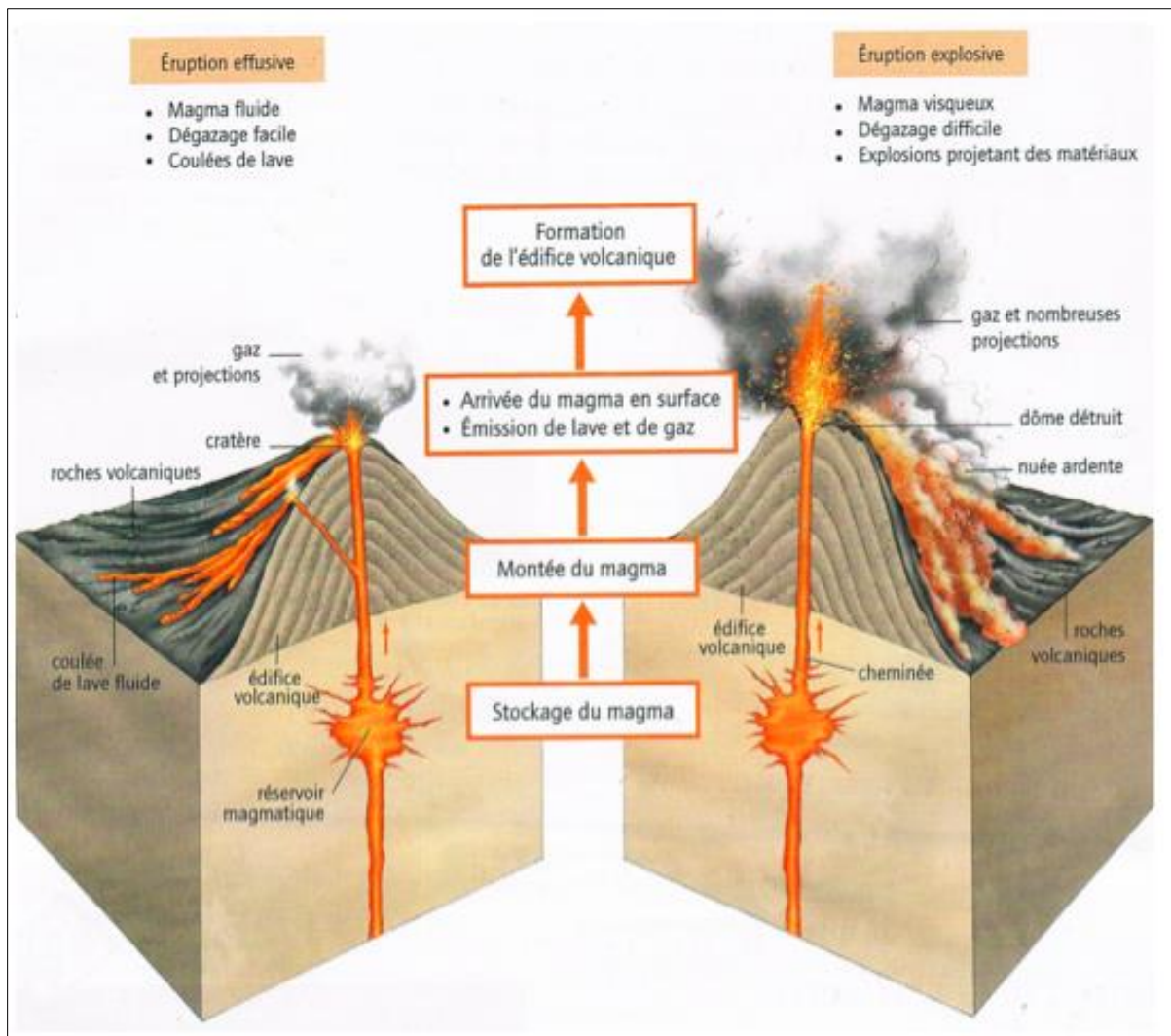


Figure 29. Schéma des deux types d'éruptions volcaniques

### 3.2.3.2. Les différents types de magma

Il existe, grossièrement deux grands types de magma : granitique et basaltique. Un magma granitique est un magma formé par la fusion de roches riches en silice, il est épais et visqueux. Un magma basaltique, moins riche en silice, sera lui beaucoup plus fluide. Quand un magma granitique remonte il existe, grossièrement deux grands types de magma : granitique et basaltique. Un magma granitique est un magma formé par la fusion de roches riches en silice, il est épais et visqueux. Un magma basaltique, moins riche en silice, sera lui beaucoup plus fluide. Quand un magma granitique remonte vers la surface il se solidifie généralement en profondeur car la température devient vite insuffisante pour le maintenir à l'état liquide. C'est pourquoi les granites se forment exclusivement en profondeur.

La température de solidification d'un magma basaltique étant beaucoup plus forte que celle des magmas granitiques (1200°C en surface contre 900°C) les magmas basaltiques arrivent le plus souvent à l'état liquide en surface. Ils donnent alors des éruptions. C'est un magma de ce type que l'on rencontre dans les volcans.

La viscosité d'un magma dépend de :

- sa température (plus c'est chaud, plus c'est fluide)
- la teneur en eau qui facilite l'hydrolyse de la silice et donc la fluidification du magma
- la teneur en gaz (plus il y a de gaz plus c'est fluide). Cette caractéristique est à l'origine de la nature explosive ou effusive des volcans.
- l'acidité du magma (plus le magma est basique, c'est dire de moins en moins riche en silice, plus il est fluide).
- la présence de Na, Ca, Mg, Fe qui permettent la formation de petites chaînes et renforcent donc la fluidité.

Lors de sa remontée vers la surface, le magma peut s'accumuler à certains endroits du manteau ou de la croûte. Ce sont les chambres magmatiques.

### **3.2.2. Les roches magmatiques**

Les roches magmatiques résultent de la solidification (cristallisation, refroidissement) d'un magma. Le magma est un bain silicaté fondu, constitué d'une phase liquide (la plus importante), d'une phase solide (cristaux) et d'une phase gazeuse (0,1- 3%). Selon le mode de refroidissement du magma, on distingue deux types de roches magmatiques :

- Les roches plutoniques : formées par le refroidissement lent du magma en profondeur. Le magma aura le temps de bien cristalliser, et la roche possédera de gros minéraux visibles à l'œil nu.

- Les roches volcaniques, formées par le refroidissement rapide du magma en surface. Les minéraux n'auront pas le temps de bien cristalliser. Les roches volcaniques sont donc caractérisées par la présence de minéraux invisibles à l'œil nu.

### 3.2.2.1. Texture des roches magmatiques

La dimension et l'arrangement des grains de minéraux dépendent des conditions de cristallisation : Plus le refroidissement est lent, plus les cristaux peuvent se développer.

Les principales textures sont les suivantes :

- a- Texture grenue (ou phanéritique) (Fig. 31 A) : concerne les roches magmatiques dont les minéraux sont visibles à l'œil nu (de grandes tailles). C'est le cas des roches plutoniques.
- b- Texture vitreuse (Fig.31 B) : concerne les roches magmatiques qui sont entièrement ou en grande partie constituées de verre. C'est le cas des roches magmatiques qui ont refroidi très rapidement (en général sous l'eau).
- c- Texture microlithiques (ou aphanitique) (Fig. 31 C) : concerne les roches magmatiques qui ne montrent pas de cristaux visibles à l'œil nu. C'est le cas des roches volcaniques.



-A-



-B-



-C-

Figure 30. Texture des roches magmatiques : A) Texture grenue ;B) Texture vitreuse C) Texture microlithiques.

### 3.3. La tectonique des plaques

La lithosphère n'est pas une enveloppe continue. Elle est fragmentée et divisée en calottes sphériques de vastes dimensions (plusieurs millions ou même dizaines de millions de kilomètres carrés) nommées «plaques», qui se déplacent les unes par rapport aux autres. Si l'on s'en tient aux plus grandes, il existe aujourd'hui une quinzaine de plaques (Fig.32), où les noms des principales plaques sont donnés) ; mais leur nombre a varié au cours de l'histoire géologique. Entre les plaques, trois mouvements relatifs sont possibles :

- la divergence (l'écartement, perpendiculaire ou oblique par rapport à la frontière commune de deux plaques) ;
- la convergence (elle aussi perpendiculaire ou oblique) ;
- le coulisement bord à bord (la frontière des plaques est alors parallèle à leur mouvement relatif)

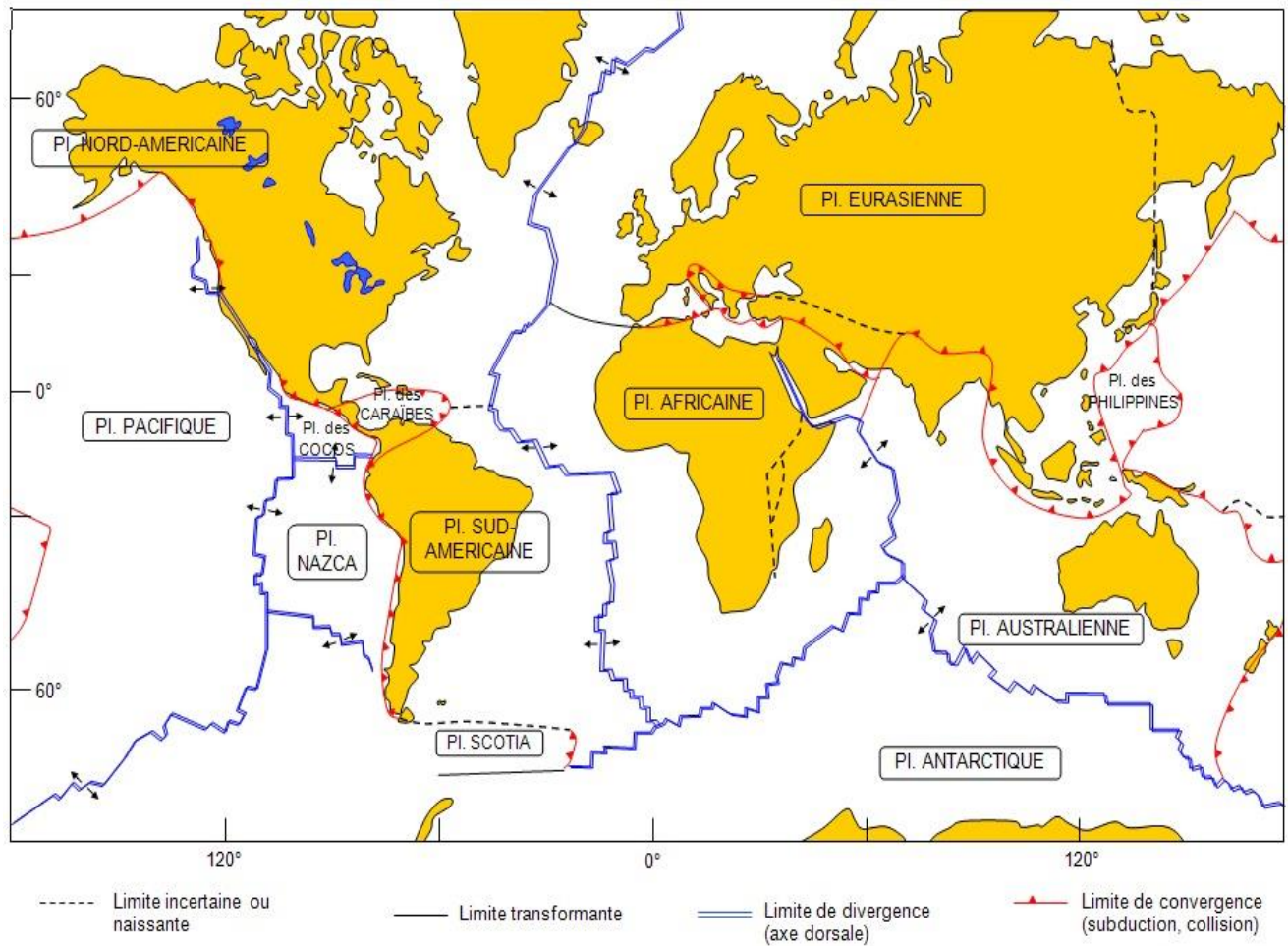


Figure 31. Les plaques lithosphériques.

### 3.3.1. Types de frontière entre les plaques

Les mouvements tectoniques entre les différentes plaques définissent trois types de frontières entre elles qui sont schématisé dans la figure ci-dessous.

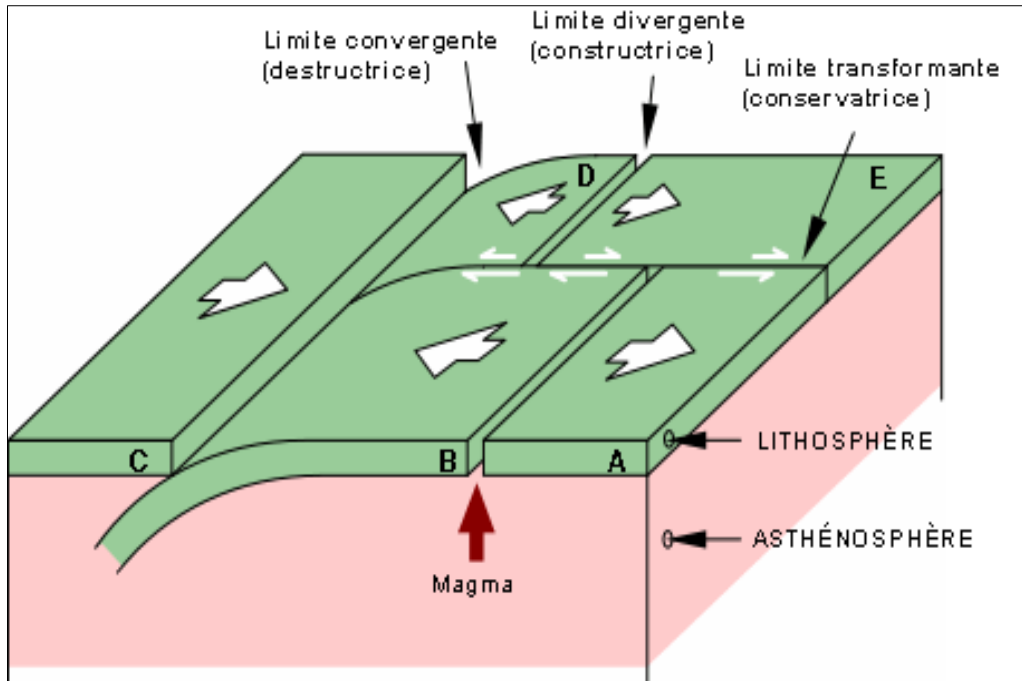


Figure 32. Schéma des trois types de frontières entre les plaques tectoniques.

- a) Quand une plaque s'éloigne d'une autre plaque on parle de frontière divergente. Le vide créé est rempli par le magma en vue de construire une nouvelle croûte océanique d'où le nom de frontières constructrice. (Exemple entre les plaques A et B, et D et E). La plupart de ce type de frontières se trouve creux au fond de l'océan (Fig.34). Entre ces deux plaques divergentes, la présence du magma crée de la nouvelle croûte océanique

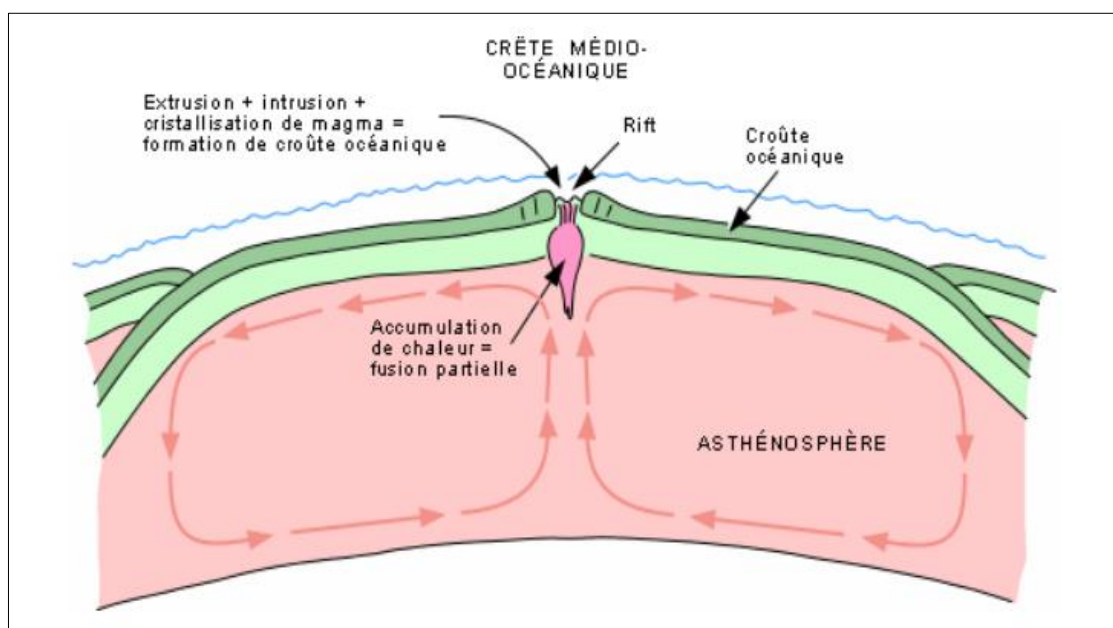


Figure 33.Processus de divergence entre plaques tectoniques.

b) Quand il y a deux plaques qui entre en collision, on parle alors de frontières convergentes. Cette collision entre les plaques détruit la matière des deux plaques d'où le non de frontière destructrice. (Exemple, entre les plaques B et C, et D et C). La surface terrestre de la croute est détruite aux frontières convergentes. On a trois types de collision :

- **Premier type de collision** : Quand deux plaque océanique convergent une des deux plaques (la plus denses, généralement la plus vielle) passe dessous de l'autre (Fig.35). On parle alors de zone de subduction et il y aura apparition de volcans

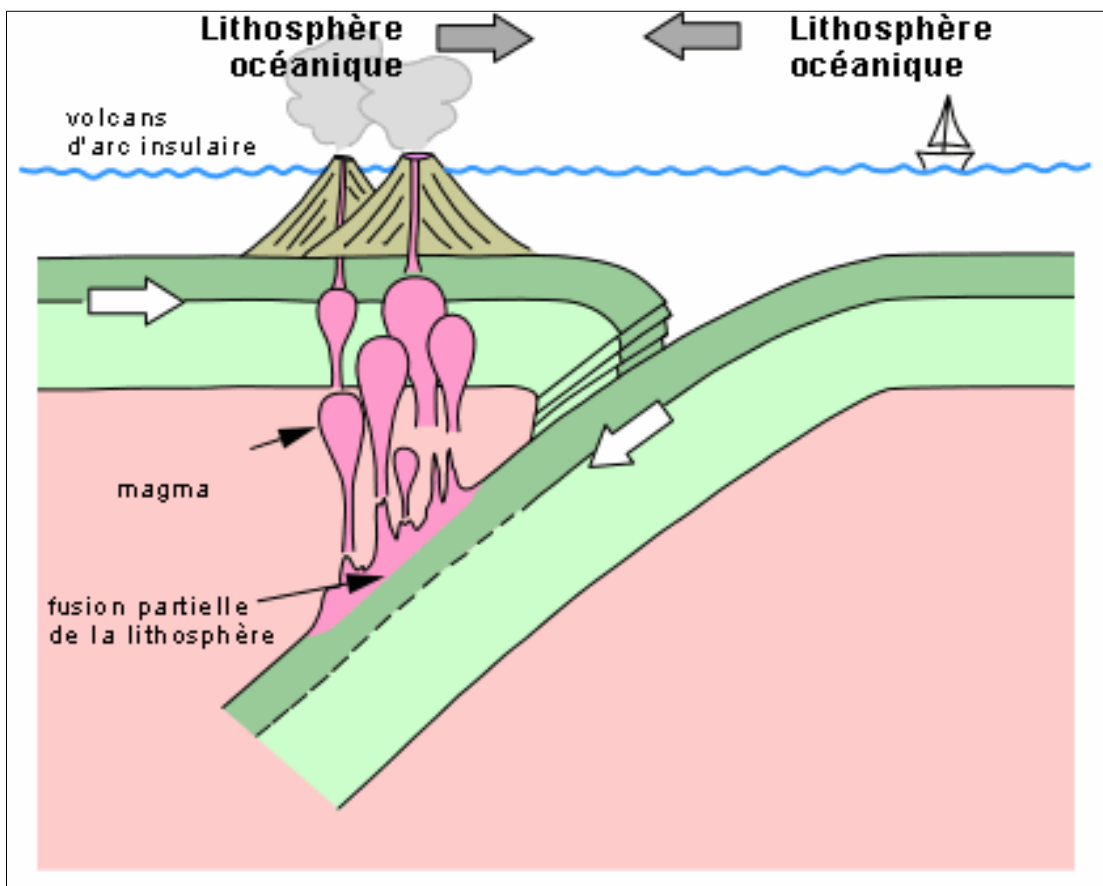


Figure 34.Convergence ou collision entre deux plaques océaniques.

- **Second type de collision** :

Quand une plaque océanique et une plaque continentale convergent (Fig.36), c'est toujours la plaque océanique qui passe en dessous car elle est la plus dense. Encore une fois, on parle de zone de subduction et il y aura apparition de volcans.

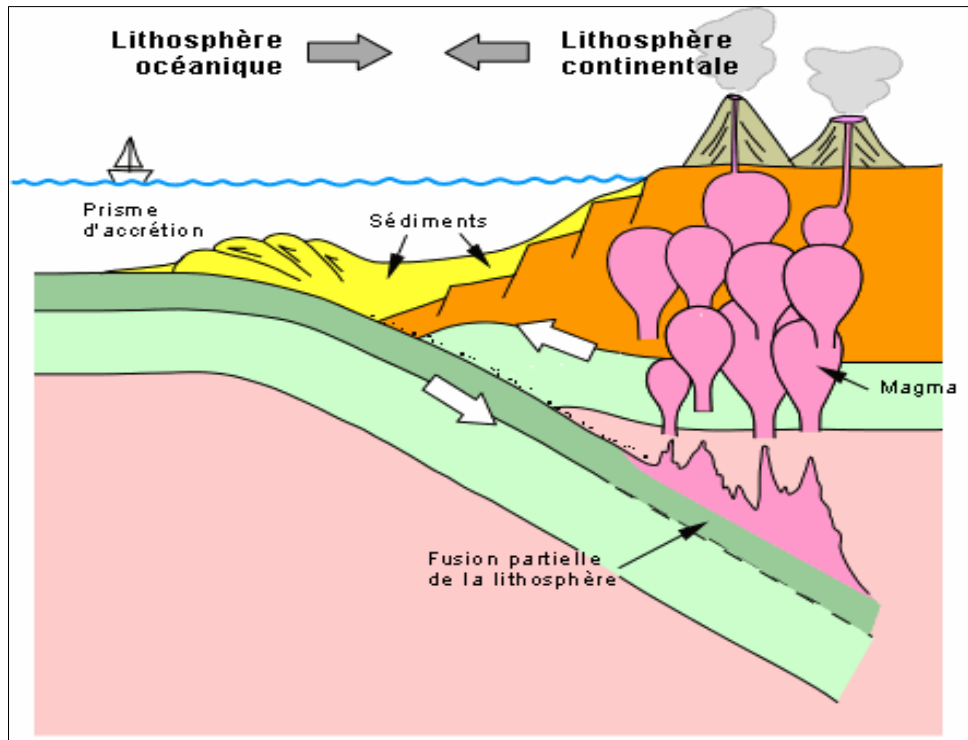


Figure 35. Convergence ou collision entre plaques océanique (gauche) et une plaque continentale (droite).

– **Troisième type de collision** : Quand deux plaques continentales convergent l'espace océanique qui se trouvait entre elles se referme sur le matériel sédimentaire du plancher océanique, au fur et à mesure de leur rapprochement (Fig.37). Il n'y a pas de zone de subduction ni d'activité volcanique car les deux croûtes sont presque aussi denses l'une que l'autre. Ce n'est que deux croûtes qui se frappent, causant une déformation de la frontière des deux plaques ce qu'on peut aussi appeler des chaînes de montagnes.

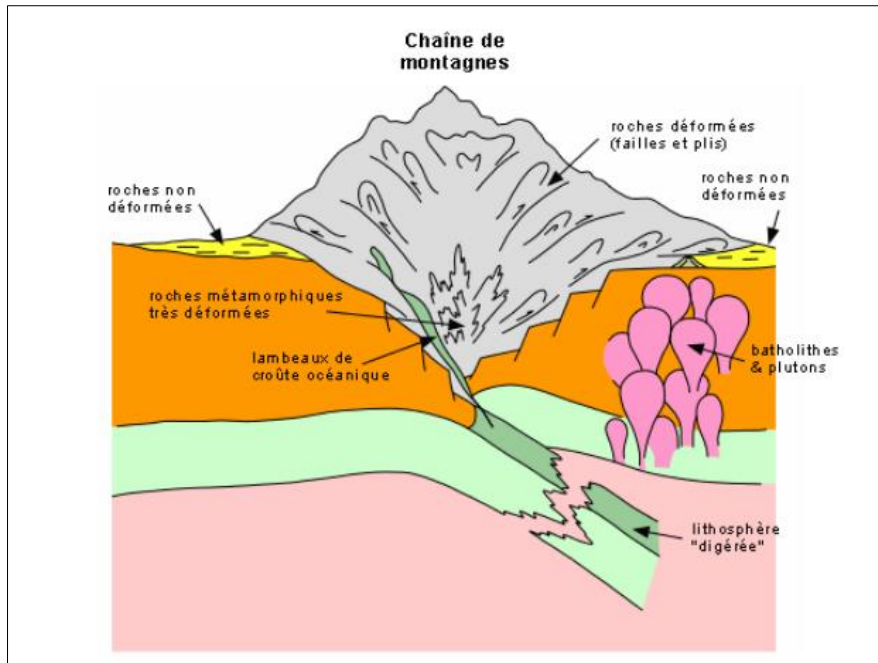


Figure 36. Convergence entre deux plaques continentales et formation des chaînes de montagnes.

- c) Les frontières transformantes correspondent aux régions où deux plaques coulissent l'une par rapport à l'autre. Les plaques glissent latéralement l'une par l'autre.
- Ces marges de glissements produisent de grandes fractures qui affectent toute l'épaisseur de la lithosphère ; on utilise plus souvent le terme de failles transformantes.
  - Elles se trouvent le plus souvent dans la lithosphère océanique, et se forment lors du décalage entre une même dorsale océanique du fait de différences de vitesses d'expansion (Fig.38).
  - Parfois ces failles font le relais entre des limites divergentes et convergentes (ces failles transforment le mouvement entre divergence et convergence, de là leur nom de failles transformantes).
  - La faille transformante la plus connue est celle de San Andreas en Californie : elle assure le relais du mouvement entre la limite divergente de la dorsale du Pacifique-Est, la limite convergente des plaques Juan de Fuca-Amérique du Nord et la limite divergente de la dorsale de Juan de Fuca (Fig.39).

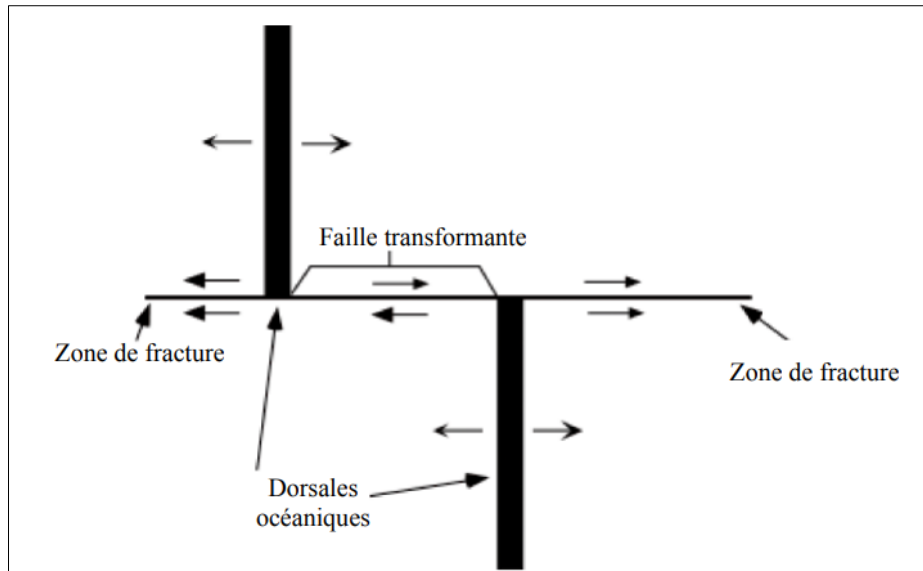


Figure 37. Schéma d'une faille transformante reliant deux dorsales océaniques.

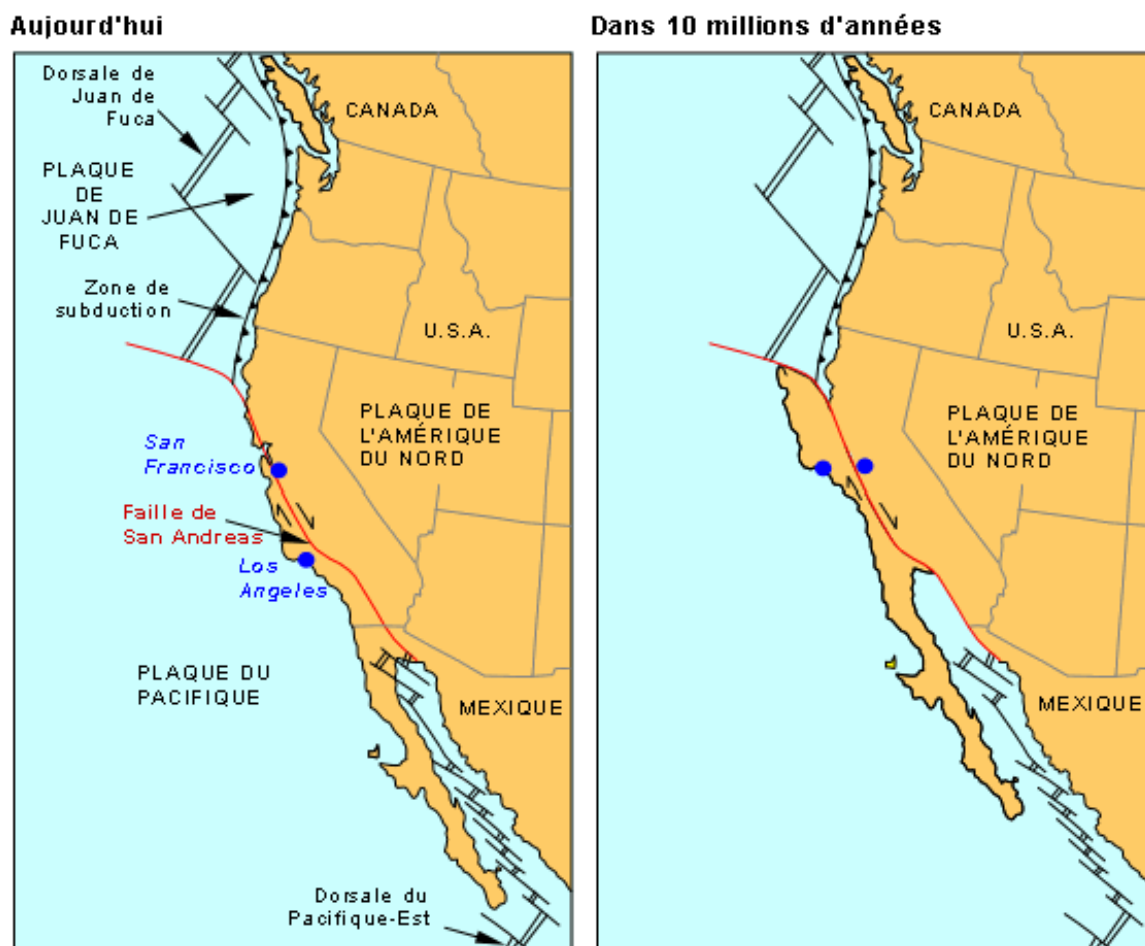


Figure 38. Faille de San Andreas en Californie.

## Références

- Beaux J., Fogelgesang J., Agard P., Boutin V., 2011. ATLAS de géologie pétrologie. Dunod, Paris, 213p.
- Boillot G., Huchon P., Lagabrielle Y., Boutler., Boillot G., 2013 Introduction à la géologie - 5e édition - La dynamique de la Terre, Dunod, 256p.
- Bordi C., 2018. Mémento Géologie BCPST 1ère et 2ème années Scolaire. Universitaire Vuibert, 72p.
- Campy M., Macaire J.J., 1989. Géologie des formations superficielles. Masson.
- Dercourt J., 1999 Géologie : cours et exercices. Ed. Dunod, Paris, 40p.
- Dom C., Dominique C., 2011 Bien débuté en géologie Glénât, 64p.
- Foucault A., Raoult J., Cecca F., Platevoet B., 2014. Dictionnaire de Géologie, 8 e éd. Dunod, 416p.
- Peycru P., Fogelgesang J., 2015 Géologie tout-en-un BCPST 1re et 2e années - 2e éd.
- Price M., Walsh K., 2014. Roches et minéraux Dictionnaire et encyclopédie. Larousse 224p.



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE

LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ABBES LAGHROUR – KHENCHELA –



FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE  
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE MOLECULAIRE ET CELLULAIRE

# **Polycopié de cours :**

# **Biologie cellulaire**

(1<sup>ère</sup> année tronc commun sciences de la nature et de la vie)

**Dr. MAAMAR Hichem**

Année 2019

## Table des matières

Avant-propos .....	
Généralités .....	1
Méthodes d'étude de la cellule.....	12
Membrane plasmique : structure et fonction .....	18
Cytosquelette et motilité cellulaire.....	25
Adhésion cellulaire et matrice extracellulaire.....	32
Chromatine, chromosomes et noyau cellulaire.....	41
Ribosome et synthèse des protéines .....	46
Le système réticulum endoplasmique-appareil de Golgi.....	52
Le noyau inter phasique.....	63
Le système endosomal : endocytose .....	69
La mitochondrie .....	71
Les chloroplastes.....	76
Peroxisomes.....	81
Matrice extracellulaire.....	84
Paroi végétale.....	89
Références bibliographiques.....	96

## **Avant-propos**

Ce polycopié s'adresse essentiellement aux étudiants de la première année tronc commun sciences biologiques (LMD). Il s'agit de la biologie cellulaire, dont l'objectif est de mettre à la disposition des étudiants un document de première nécessité qui peut apporter un appui non négligeable et leurs permettre une illustration de toutes les parties enseignées en matière.

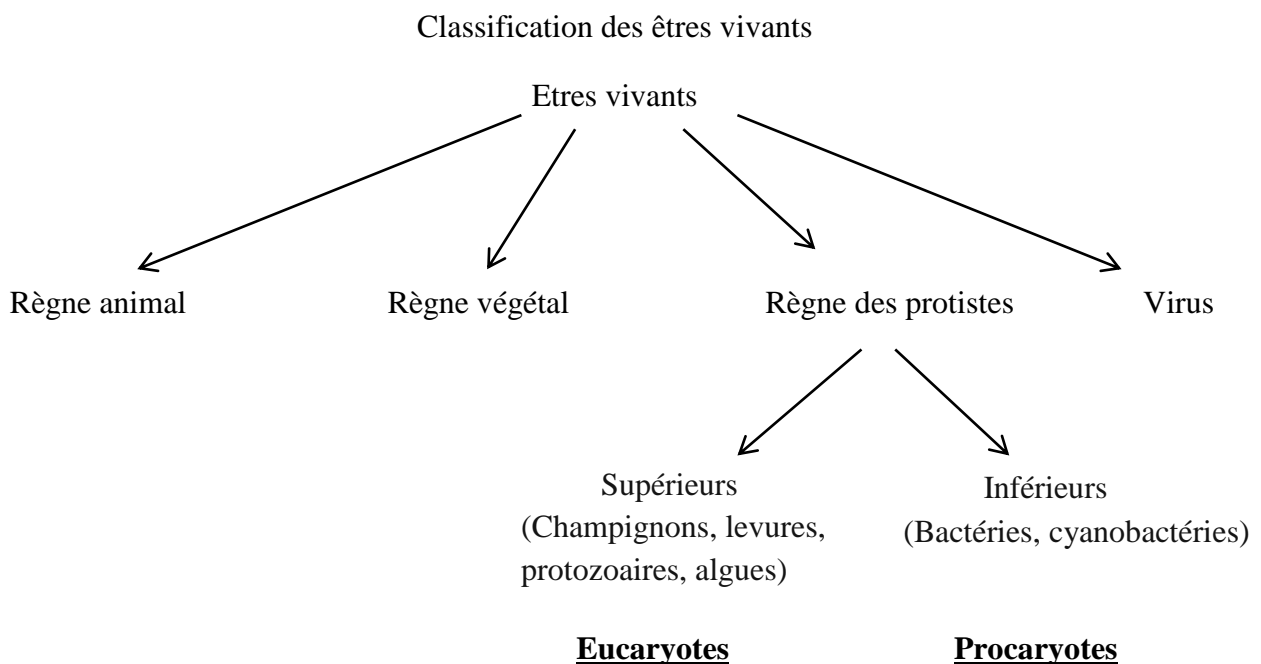
Le contenu de ce polycopié est structuré en quinze chapitres. Dans le premier chapitre sera présentées des généralités sur la classification des règnes et les types cellulaires (procaryote, eucaryote, acaryote). Le deuxième chapitre présentera les différentes méthodes utilisées pour l'étude de la cellule (méthode microscopique, méthodes histochimiques, méthodes enzymologiques...). Le troisième chapitre décrira la structure de la membrane plasmique ainsi que son rôle physiologique. La notion de cytosquelette sera élucidée dans le chapitre quatre en expliquant son rôle dans la motilité cellulaire. Dans le cinquième chapitre, nous allons définir l'adhésion cellulaire et les différents constituants de la matrice extracellulaire. Le chapitre six parlera du noyau cellulaire, ses différents composants (chromatine, chromosomes) et sa fonction physiologique. Les chapitres sept, huit, neuf, dix et onze présenteront les différents compartiments de la cellule : les ribosomes, le système réticulum endoplasmique, le noyau interphasique, le système endosomal et la mitochondrie, respectivement.

Dans le douzième chapitre sera abordé le principal constituant de la cellule végétale qui est le chloroplaste et sa régénération. Le treizième chapitre portera sur les molécules de persoxydes, leur structure ainsi que leur rôle dans la détoxification des radicaux générés principalement par la chaîne respiratoire au niveau de la mitochondrie. Pour le quatorzième chapitre nous allons illustrer la composition et la fonction de la matrice extracellulaire.

Dans le quinzième et le dernier chapitre nous allons voir la composition détaillée de la paroi végétale.

## Généralités

La biologie (*bios* = vivant et *logos* = étude) a pour objet l'étude des êtres vivants. Pour la biologie cellulaire ou Cytologie, mot composé de deux racines étymologiques différents ; (*cyto* = cellulaire) et (*logos* = étude), est définie comme l'étude des cellules et des organites qu'elles renferment. La cellule est l'unité de la vie, unité morphologique et physiologique. La cellule est l'élément de base commun à toutes les formes vivantes. C'est la plus petite unité viable sur le plan morphologique et fonctionnel. De plus, elle est caractérisée par son pouvoir d'assimilation et l'auto reproduction. C'est donc l'unité fondamentale de l'activité biologique et biochimique. C'est au 17<sup>ème</sup> siècle que débute la biologie cellulaire grâce à la microscopie. Robert Hooke, en 1665 a observé les parois cellulaires du liège et a utilisé pour la première fois le nom cellule. Van Leeuwenhoek Antoni, naturaliste néerlandais, décrit avec les microscopes qu'il fabriqua, les spermatozoïdes, de nombreux protistes, les globules du sang et beaucoup d'autres structures microscopiques. Plus tard, le microscope électronique a permis de mettre en évidence une membrane périphérique, le noyau central contenant l'ADN et le cytoplasme aqueux contenant les organites.



### I. Classification et importance relative des règnes

La classification des organismes a débuté il y a plus de 2000 ans avec le philosophe grec Aristote qui répartissait les êtres vivants entre *Végétaux* et *Animaux*, soit deux règnes biologiques (en plus d'un règne minéral). Mais ce n'est qu'au milieu du XVIII<sup>ème</sup> siècle que la reconnaissance formelle de ces deux règnes a fait son apparition dans la nomenclature avec Carl Von Linné et son système binomial. Cependant, au milieu du XIX<sup>ème</sup> siècle, il a été reconnu

que certains organismes (comme l'Euglène) ne pouvaient pas être rangés comme animal ni végétal. Haeckel proposa alors en 1866 de créer un troisième règne, celui des protistes, dans lequel il rassemblait les organismes inférieurs unicellulaires ne formant pas de tissus (Bactéries, Cyanophytes, Protozoaires, Algues unicellulaires, Champignons unicellulaires).

En 1937, Edouard Chatton propose une classification du monde du vivant en deux empires : les *Procaryotes* (organismes à cellules sans noyau) et les *Eucaryotes* (organismes à cellules avec noyau).

En 1956, Copeland plaide pour quatre règnes : les Plantes, les Animaux, les Protistes et les Monères.

En 1969, Robert Harding Whittaker propose une nomenclature à cinq règnes : les Monères, les Protistes (Eucaryotes unicellulaires), les *Plantes* (Eucaryotes pluricellulaires photosynthétiques), les *Mycètes* et les *Animaux* (Eucaryotes pluricellulaires hétérotrophes).

En 1981, Carl Woese propose de reconnaître le règne des Archéobactéries (organismes unicellulaires anaérobies producteurs de méthane) suite à ses études sur l'ARNr (ARNr car leurs gènes apparaissent dans toutes les cellules et organites et que ces gènes sont les plus grandes séquences les mieux conservées dans la nature). La classification phylogénétique commence à prendre le pas. Dix ans plus tard, il proposa de créer un nouveau plan d'organisation du monde du vivant basé sur un niveau supérieur au règne : le domaine. Création de 3 domaines : les Bactéries, les Archées et les Eucaryotes.

Enfin, en 1998, on a retenu le système de Cavalier-Smith. Il s'agit d'un système à deux empires (Procaryotes et Eucaryotes) réparti en six règnes : le règne des Bactéries dans l'empire des Procaryotes (les Archées sont regroupées dans le sous-règne des Unibactéries) et les règnes des Protozoaires, des Chromistes, des Animaux, des Plantes et des Champignons dans l'empire des Eucaryotes.

La classification de Woese en trois domaines (Bactéries, Archées et Eucaryotes) est privilégiée par les microbiologistes alors que les classifications en cinq règnes ou plus (Whittaker, Cavalier-Smith) ont généralement les faveurs des protozoologistes, des botanistes et des zoologistes.

## II. Cellule et théorie cellulaire

Les Recherches microscopiques sur la conformité de structure et de croissance des animaux et des plantes (Mikroskopische Untersuchungen über die Übereinstimmung in der Struktur und dem Wachstum der Tiere und Pflanzen) publiées en 1839 par Theodor Schwann (1810-1882) constituent l'acte de naissance de la théorie cellulaire. Le physiologiste allemand montre que la cellule est la structure élémentaire de tous les organismes vivants, qu'ils soient animaux ou

végétaux, simples ou complexes. Il substitue surtout au concept de cellule « creuse », de « boîte », hérité du XVII<sup>ème</sup> siècle, celui d'unité structurellement et fonctionnellement indépendante. Schwann identifie dans les cellules animales les mêmes éléments caractéristiques (membrane, noyau et nucléole) des cellules végétales. L'étude du développement de la cellule doit permettre, selon lui, de comprendre la morphogenèse des structures complexes. Par la suite, le cytologiste polonais Robert Remak (1815-1865), en 1855, puis l'Allemand Rudolf Virchow (1821-1902), en 1858, mettront en évidence que toute cellule provient d'une cellule préexistante par division de son noyau. Longtemps hostiles à la théorie cellulaire, les histologistes français attendront les premières années du XX<sup>e</sup> siècle pour admettre que la cellule est bien l'unité à la fois morphologique et physiologique de l'organisme.

### III. Origine et évolution

L'origine de la vie se situerait vers -3.8 milliards d'années. Il s'agissait probablement d'organismes procaryotes unicellulaires. On suppose un ancêtre unique à tous les êtres vivants (LUCA). A partir de cet ancêtre se sont diversifiées les différentes formes de Vie. Les premières cellules ayant laissé des fossiles sont-elles datées de 3,45 milliards d'années ? Ce sont les cyanobactéries des stromatolites d'Australie occidentale.

Les procaryotes ont joué un rôle fondamental dans l'évolution des eucaryotes. La plupart des biologistes adoptent la théorie de l'endosymbiose, qui propose que les mitochondries proviennent de bactéries symbiotiques aérobies. On pense que des bactéries aérobies sont devenues des mitochondries après avoir été ingérées par des cellules eucaryotes ancestrales. Depuis le milliard et demi d'années que les mitochondries sont des endosymbiontes dans les cellules eucaryotes, la plupart de leurs gènes ont été transférés aux chromosomes des cellules hôtes, mais pas tous : toutes les mitochondries possèdent encore leur propre génome, une molécule circulaire fermée d'ADN semblable à celle des bactéries, comprenant les gènes codant des protéines essentielles du métabolisme oxydatif.

Les cellules végétales auraient d'autre part acquis leur fonction de photosynthèse en ingérant des cellules cyanobactériennes, lesquelles ont ensuite évolué en chloroplastes.

### IV. Types cellulaires

Il existe une grande variété de cellules, parmi lesquelles :

#### 1. Les cellules procaryotes

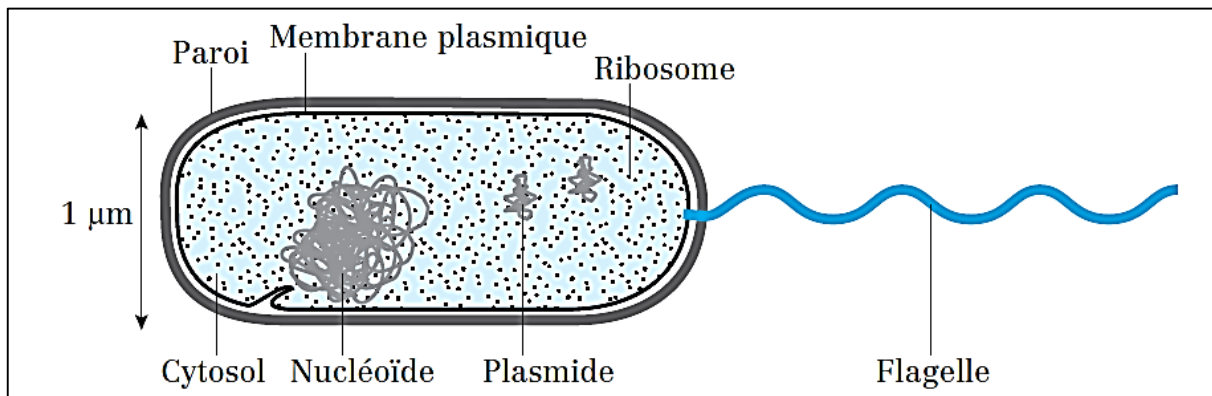
La cellule (en latin *cellula* signifie petite chambre) est l'unité structurale, fonctionnelle et reproductrice constituant tout ou partie d'un être vivant. Chaque cellule est un être vivant à part

entière. Les cellules proviennent de 3 lignées embryologiques distinctes : endoderme, mésoderme et ectoderme et plusieurs centaines de types de cellules existent à l'état adulte (environ 220 pour l'homme). On estime qu'il y a  $3 \times 10^{13}$  cellules dans le corps humain, subdivisés en 220 types différents, propres à autant de tissus. En effet, chaque type de cellule est propre au tissu dont il fait partie.

Les biologistes distinguent deux types fondamentaux de cellules selon qu'elles possèdent ou non un noyau : les eucaryotes et les procaryotes. Ces derniers ont l'ADN libre dans le cytoplasme. Les procaryotes sont des cellules plus primitives, qui sont apparues en premier au cours de l'évolution, il y a 3,5 milliards d'années.

### A. Définition

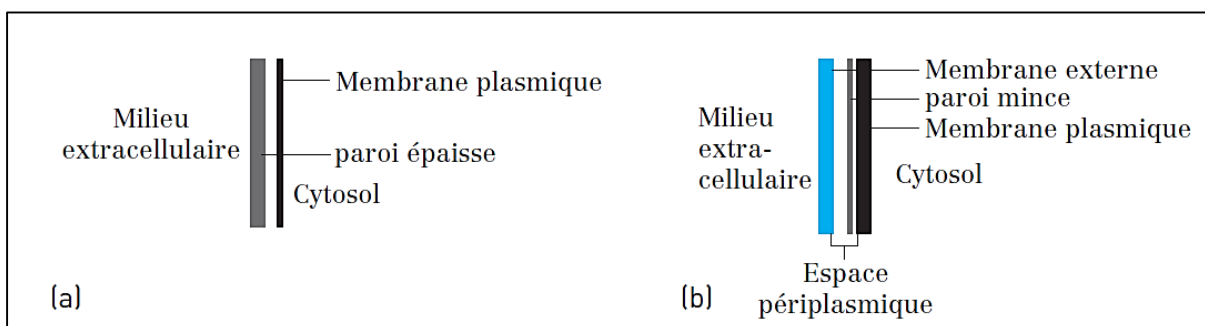
Les procaryotes sont les cellules sans noyau. Ces cellules sont de petites tailles et sans organites intracellulaires. Leur matériel est constitué d'un unique chromosome circulaire et de divers morceaux d'ADN également circulaires mais beaucoup plus petits, les plasmides. En effet, alors que le chromosome se duplique de façon synchronisée avec la division cellulaire, les plasmides se répliquent de façon indépendante et sont répartis au hasard entre les deux cellules filles lors d'une division. De plus, certains plasmides ont la capacité de s'intégrer provisoirement au chromosome. Enfin, toutes les bactéries sont entourées par une membrane plasmique recouverte le plus souvent d'une paroi cellulaire, d'épaisseur variable, qui donne sa forme à la bactérie et la rigidifie, sauf chez les plus petites espèces (les mycoplasmes). Ces cellules ne contiennent pas de cytosquelette. La structure des gènes diffère également de ceux des eucaryotes, chez les procaryotes, ils sont continus et plusieurs d'entre eux sont regroupés au sein d'un même ensemble fonctionnel, l'opéron. On distingue les eubactéries et les archaebactéries. Un exemple de bactérie très étudiée et utilisée couramment au laboratoire est celui d'*Escherichia coli* (*E. coli*). Les bactéries sont des organismes unicellulaires, aérobies ou anaérobies (ou les deux).



**Figure 1** : Structure d'une bactérie de type bacille flagellé.

En bactériologie médicale, on distingue essentiellement les bactéries Gram + et les bactéries Gram – grâce à la coloration de Gram :

- Les bactéries Gram – se colorent en rose : Elles ont une membrane lipidique externe et une paroi fine.
- Les bactéries Gram + se colorent en violet : Elles n'ont pas de membrane externe et ont une paroi épaisse.



**Figure 2 :** Parois d'une bactérie Gram + (a) et d'une bactérie Gram – (b).

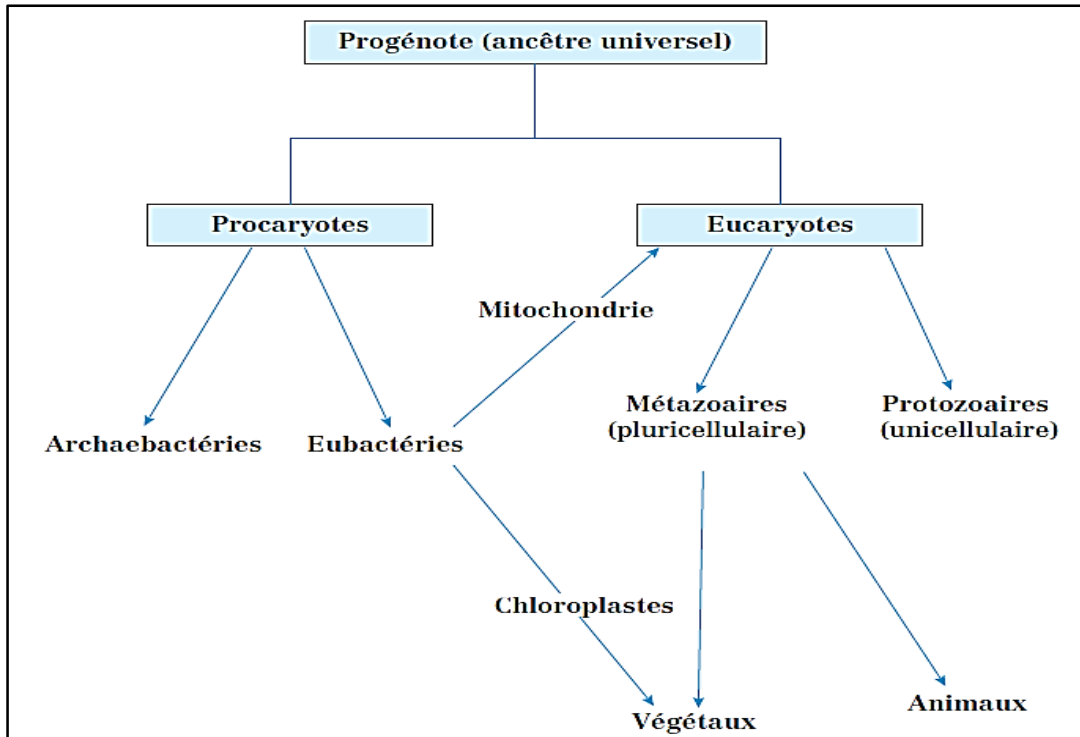
## B. Caractéristiques

- Le cytoplasme des procaryotes est diffus et granulaire, du fait des ribosomes. (Complexe macromoléculaire responsable de la synthèse des protéines).
- La membrane plasmique est constituée par une bicouche lipidique dépourvue de cholestérol. Cette membrane isole l'intérieur de la cellule de son environnement, et sert de filtre et de porte de communication.
- Il y a souvent une paroi cellulaire résistante. Elle est formée chez les eubactéries de peptidoglycane un complexe de lipides, de polysaccharides et de polypeptides, et joue le rôle de barrière supplémentaire contre les forces extérieures. Elle empêche également la cellule d'éclater sous la pression osmotique dans un environnement hypotonique.
- Le chromosome des procaryotes se compose d'une molécule circulaire super enroulée occupe le centre de la bactérie (nucléotide). Il n'est pas séparé du cytoplasme par une enveloppe. Les procaryotes peuvent posséder un ADN extra-chromosomal, organisé en molécules circulaires appelées plasmides. Ils peuvent avoir des fonctions supplémentaires, telles que la résistance aux antibiotiques.
- Certains procaryotes ont un flagelle leur permettant de se déplacer activement.

**Remarque :** Les archaebactéries sont des microorganismes qui ont longtemps été classés dans le groupe des bactéries. Elles sont qualifiées d'extrémophiles car elles vivent et se développent dans des conditions extrêmes, incompatibles avec la vie de tous les autres organismes

(ex. températures de 100 °C, pH = 1, milieux très salés, fortes pressions...etc.). Un exemple d'archaebactérie est celui de *Thermophilus aquaticus*.

On admet aujourd'hui que les bactéries, les archaebactéries et les eucaryotes ont un ancêtre commun, le progénote, dont sont issus successivement les bactéries, puis les archaebactéries et enfin les eucaryotes.



**Figure 3 :** Correspondance et évolution des cellules depuis le progénote.

## 2. Les cellules eucaryotes

Les cellules eucaryotes composent les champignons, les animaux et les végétaux. Leur métabolisme est aérobie. Ce sont des unicellulaires (levures) ou des pluricellulaires (mammifères). Toutes les cellules eucaryotes comportent deux compartiments : le noyau et le cytoplasme. Elles sont séparées du milieu extracellulaire par la membrane plasmique. Le noyau caractérise le règne eucaryote. Il est absent chez les cellules procaryotes.

### A. Définition

Les Eucaryotes sont les cellules qui constituent tout l'environnement que nous voyons, les plantes, les animaux et champignons ainsi que diverses espèces unicellulaires tels que les amibes ou les paramécies. Ils sont caractérisés par la présence d'organites. Parmi eux, un organite est toujours présent : le noyau, qui contient l'information génétique de la cellule. Il est d'ailleurs à l'origine du nom de ce type (eucaryote = vrai noyau en latin). La structure génétique

de ces cellules est constituée de plusieurs brins linéaires d'ADN (les chromosomes) et par des gènes en "mosaïque", c'est à dire que les zones codantes du gène sont découpées en morceaux qui sont séparés par des zones non codantes.

Les originalités des eucaryotes ne se limitent pas à des considérations génétiques. Celles-ci sont souvent de grande taille, ce qui les fragilise et diminue leur surface d'échange avec le milieu extérieur. Mais surtout, elles vont développer un cytosquelette, sorte de charpente intracellulaire mobile qui va permettre à la fois de se rigidifier, de compenser leur fragilité et de se déformer de façon contrôlée, phénomène qui est à l'origine du mouvement des animaux, mais aussi des cellules phagocytaires et qui est donc directement responsable de la grande variété des formes animales qui existent.

### **B. Caractéristiques des eucaryotes**

- Le cytoplasme des eucaryotes n'est pas aussi granulaire que celui des procaryotes, puisque la majeure partie de ses ribosomes sont rattachés au réticulum endoplasmique.
- La membrane plasmique ressemble, dans sa fonction, à celle des procaryotes, avec quelques différences mineures dans sa configuration : une double couche phospholipidique, au-dessus de laquelle se trouvent des protéines périphériques et dans laquelle sont enchâssées des protéines dites « intégrées ».
- La paroi cellulosique, quand elle existe (végétaux), est composée de polysaccharides, principalement la cellulose.
- L'ADN des eucaryotes est organisé en une ou plusieurs molécules linéaires. Ces molécules se condensent en s'enroulant autour d'histones lors de la division cellulaire. Tous les chromosomes (ADN) sont stockés dans le noyau, séparés du cytoplasme par une membrane. Les eucaryotes ne possèdent pas de plasmides : seuls quelques organites peuvent les contenir (mitochondries et chloroplastes).
- Le noyau est une structure sphérique ou ovoïde renfermant les chromosomes observés dans presque toutes les cellules dont il est un des éléments essentiels.
- Le nucléole est un petit corps sphérique du noyau cellulaire, contenant les acides nucléiques (ARN) et des protéines et qui est le lieu de la synthèse de l'ARN ribosomal.
- La chromatine est une substance basophile présente dans le noyau cellulaire au repos sous la forme de très fines fibres qui se condense en chromosomes lors de la division cellulaire.
- Certaines cellules eucaryotes peuvent devenir mobiles, en utilisant un cil ou un flagelle (spermatozoïde). Leur flagelle est plus évolué que celui des procaryotes.
- Le réticulum endoplasmique (RE) est une extension de la membrane du noyau. Il est divisé en RE lisse (REL) et RE rugueux (RER), en fonction de son apparence au microscope. Il est

formé de feuillettes ou de tubules. Il est aussi le site de la synthèse protéique et lipidique. Du RE, les protéines sont transportées vers l'appareil de Golgi grâce à des vésicules.

- L'appareil de Golgi est un empilement de vésicules membranaires où s'opère la glycosylation (ajout de chaînes glucidiques complexes) et l'encapsulation des protéines sécrétées. Il a pour équivalent « le dictyosome » chez les plantes.
- Les mitochondries jouent un rôle important dans le métabolisme de la cellule. Elles contiennent leur propre petite partie d'ADN (l'ADN mitochondrial). C'est là que se déroulent la respiration cellulaire et la fabrication de l'énergie, l'ATP.
- Le cytosquelette permet à la cellule de conserver sa forme et à se mouvoir. Il est également important lors de la division cellulaire, et dans le système de transport intracellulaire.
- Les chloroplastes sont présents dans les plantes et les algues (organismes photosynthétiques). Ils convertissent l'énergie lumineuse du soleil en énergie chimique utilisée pour fabriquer des sucres à partir de dioxyde de carbone (phase sombre de la photosynthèse). Ils contiennent également de l'ADN.
- Les lysosomes ou les peroxysomes, organites intracellulaires qui, renfermant des enzymes hydrolytiques, sont responsables de la lyse cellulaire c'est à dire la dissolution d'éléments organiques (tissus, cellules, micro-organismes).
- De nombreuses cellules animales comportent à un de leurs pôles une paire de centrioles (diplosome) généralement situés près du noyau. Ce sont des corpuscules cylindriques formés de tubules groupés par trois, ils jouent un rôle essentiel lors de la division cellulaire.
- Les vacuoles, enclaves inertes, parfois limitée par une membrane, présente à l'état physiologique ou pathologique dans le cytoplasme d'une cellule et pouvant contenir des substances diverses.

**Tableau 1** : Principales différences entre les cellules procaryotes et eucaryotes.

Caractère	Eucaryote	Procaryote
Espèces	Animaux, Végétaux, Protozoaires, Levures, Champignons, Algues	Bactéries, cyanobactéries
Taille	10-100 $\mu\text{m}$	2-10 $\mu\text{m}$
Noyau	Vrai	incomplet

<b>ADN</b>	Chromosomes paires	Dispersé
<b>ARN</b>	Synthétisé dans le noyau	Synthétisé dans le cytoplasme
<b>Respiration</b>	Aérobie	Aérobie ou anaérobie
<b>Division</b>	Mitose	Simple
<b>Durée de la division</b>	Relativement longue (10h et plus)	Courte (environ 20 min)
<b>Organites</b>	Nombreux	Rares
<b>Nombre de cellules</b>	Généralement pluricellulaire	Généralement unicellulaire

### 3. Les acaryotes

Ce terme est utilisé en biologie pour désigner les organismes acellulaires dépourvus de noyaux, d'organites et de métabolisme (les virus). Ils dépendent de cellules vivantes pour se répliquer. Pour cela, ils sont capables de perturber profondément et/ou durablement l'information génétique des cellules qu'ils infectent. Ce sont des parasites intracellulaires obligatoires qui possèdent une information génétique, sous forme d'ADN ou ARN et des transcriptases inverses. On distingue :

- ❖ Les virus des vertébrés, très nombreux, chez lesquels on retrouve de nombreux agents pathogènes (environ 200 espèces sont pathogènes pour l'homme).
- ❖ Les virus de bactéries ou bactériophages.
- ❖ Les virus d'algues, d'invertébrés, de plantes... La cellule acaryote.

#### A. Structure des virus

Leur taille se situe en général entre 10 et 100 nm, ils sont donc invisibles au microscope optique. On utilise donc le microscope électronique. Les plus petits sont un peu plus grands que des ribosomes, les plus grands sont un peu plus petits que des petites bactéries.

Les virus sont essentiellement composés de trois éléments :

- ❖ Un génome ou matériel génétique ou acide nucléique ;
- ❖ Une capsidie protéique (pas toujours présente selon les virus...);
- ❖ Une enveloppe lipidique (pas toujours présente selon les virus...).

**a) L'acide nucléique**

Sa nature et sa structure sont extrêmement variables. On distingue :

- ❖ Des virus à ARN double brin (bicaténaire) ou simple brin (monocaténaire).
- ❖ Des virus à ADN double brin ou simple brin, linéaire ou circulaire.

**b) La capsid**

La capsid est une coque protéique rigide. La capsid renferme et protège l'acide nucléique. L'ensemble acide nucléique + capsid est dit nucléocapsid.

On trouve des virus « nus », pour lesquels la nucléocapsid constitue le virus entier, et des virus enveloppés, pour lesquels la capsid est entourée d'une enveloppe lipidique.

**Remarque :** La structure de la capsid définit la forme du virus : on parle de symétrie de la capsid qui permet de distinguer deux principaux groupes : les virus à symétrie cubique (exemple du poliovirus) et les virus à symétrie hélicoïdale (exemple du virus de la mosaïque du tabac ou VMT).

Lorsque la symétrie n'est pas totalement hélicoïdale ou icosaédrique, on parle de virus complexe. Ils peuvent porter des queues ou d'autres structures (comme beaucoup de bactériophages), ou encore avoir des parois complexes, multicouches comme le virus de la vaccine (proche de la variole).

**c) L'enveloppe lipidique**

Les virus ayant une enveloppe sont qualifiés de virus enveloppés. Cette enveloppe est de type bicouche lipidique. Elle entoure la nucléocapsid. Dans cette enveloppe, sont enchâssées des protéines ou glycoprotéines.

Exemples de virus et de leur structure :

- ❖ Virus de la grippe (Influenza virus) : il est constitué de 8 fragments d'ARN inclus dans des capsides en hélice flexibles (contrairement à celle du VMT), le tout entouré d'une enveloppe.
- ❖ Le VIH est aussi un virus enveloppé.

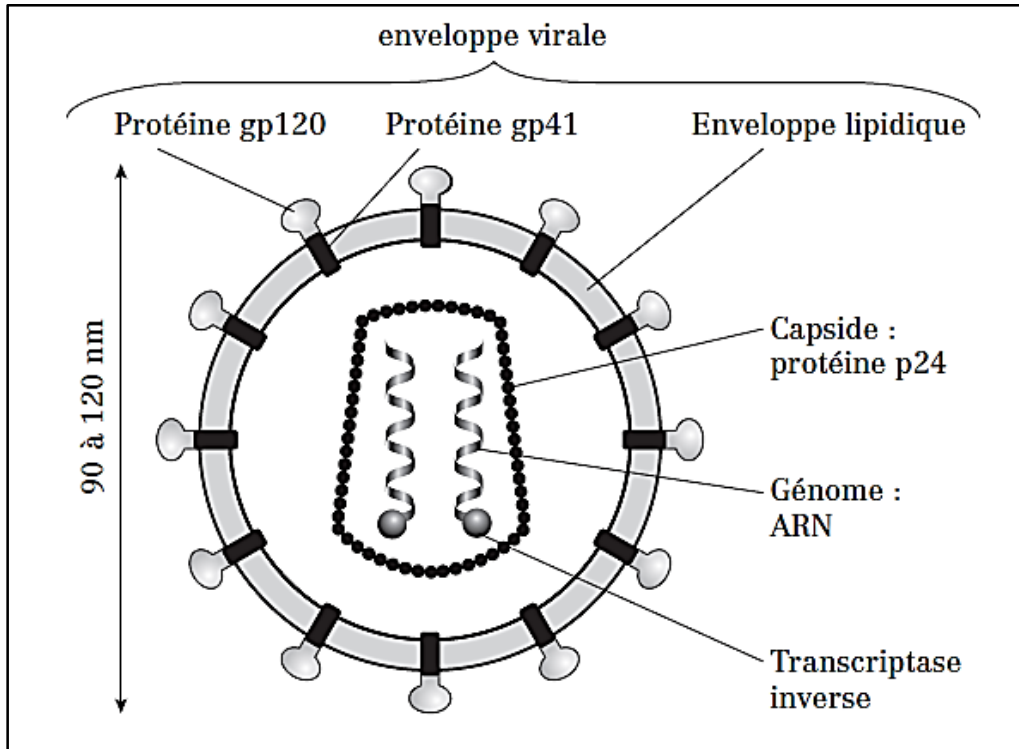
**B. Classification des virus**

Hormis la classification des virus en fonction de la nature de l'hôte (virus animaux, végétaux, bactériophages...), les virus sont surtout classés selon les critères suivants :

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

Ces trois critères définissent la famille.

**Remarque :** on trouve aussi une classification non officielle mais utilisée par les cliniciens qui tient compte de l'hôte, du mode de transmission, de la voie d'entrée du virus et de ses effets pathologiques (ex : virus entériques, respiratoires oncogènes...).



**Figure 4 :** Structure d'un virus enveloppé à ARN : le VIH.

## Méthodes d'étude de la cellule

### Introduction

Jusqu'en 1940 environ, l'étude de la cellule a été surtout descriptive, et ce n'est qu'à partir de cette date que l'introduction de techniques nouvelles, a permis de faire de nouvelles observations et d'expérimenter de nouvelles techniques. Parmi les différents moyens d'étude de la cellule, on peut citer : la microscopie optique et électronique, la cytochimie, la centrifugation, l'autohistoradiographie.

### I. La microscopie photonique

Le microscope photonique utilise la lumière naturelle ou électrique. La condition d'utilisation du microscope photonique est que les objets à observer soient assez fins pour se laisser traverser par la lumière : leur épaisseur doit être de 2 à 10  $\mu\text{m}$ .

Le microscope optique est constitué de :

- Un socle ;
- Une source lumineuse (naturelle ou électrique) ;
- Un condenseur qui concentre la lumière en un rayon assez puissant ;
- Un platine porte-objet ;
- Un objectif à lentilles interchangeables et à grossissement variable ;
- Une crémaillère permettant de lever ou de baisser la partie mobile à l'aide d'une vis macrométrique et d'une vis micrométrique pour faire la mise au point ;
- Un oculaire (lentille à grossissement fixe).

Le microscope possède deux caractéristiques principales :

- Ses possibilités de grossissement. Un microscope ordinaire grossit environ 1500 fois.
- Son pouvoir de séparation ou de résolution. Au-delà d'une certaine limite, le grandissement de l'image n'apporte aucun détail nouveau. Le pouvoir de résolution est la possibilité d'un microscope de séparer 2 points les plus rapprochés possibles. Au-delà du pouvoir de résolution, les 2 points apparaîtront confondus en un seul.

Le microscope optique se prête bien à l'étude des tissus et de leur organisation générale (histologie). De plus, on utilise souvent des colorants pour augmenter le contraste naturel des objets à observer.

Il existe 2 méthodes d'observation au microscope photonique : l'observation de cellules vivantes et l'observation de cellules mortes ou fixées.

## **I.1. Etude de la cellule vivante**

C'est l'observation vitale. C'est la plus ancienne technique cytologique, qui consiste à étudier les cellules vivantes. Les cellules doivent être placées dans un liquide physiologique. Pour l'observation, on les monte entre lame et lamelle, mais l'observation vitale montre mal les constituants cellulaires. Alors, pour les rendre plus distincts, il faut faire une coloration vitale. Cette coloration vitale consiste à utiliser des colorants sans tuer la cellule. Exemples : Rouge neutre, Bleu de méthylène, Vert Janus, Violet dahlia ...etc.

Pour conserver les cellules vivantes, on peut faire de la culture de tissus.

## **I.2. Etude de cellules mortes**

Cette étude passe par un ensemble d'opérations qui consistent à tuer les cellules, à les couper en tranches fines, les colorer et les monter entre lame et lamelles, puis à les observer.

### **a- Prélèvement de l'échantillon**

L'échantillon de tissu est prélevé sur un animal vivant (anesthésié) ou immédiatement après sa mort. Cela permet d'éviter les transformations post-mortem (après la mort) et l'attaque par les microorganismes.

### **b- Fixation**

La fixation consiste à tuer les cellules sans les modifier, et préserver le cytoplasme de toute altération. Le fixateur empêche l'autolyse des cellules et inhibe la croissance bactérienne. De plus, il coagule le cytoplasme. Les fixateurs : Formol, Alcool, Bouin alcoolique, Acide acétique, Acide osmique ...etc.

### **c- Inclusion dans la paraffine**

Avant l'inclusion, le tissu fixé est lavé pour retirer l'excès de fixateur. Puis on le déshydrate en le passant dans des solutions d'alcool de concentration croissante, jusqu'à l'alcool absolu (100°), puis l'échantillon est éclairci par un agent éclaircissant (ou agent intermédiaire). Cela veut dire que l'alcool est remplacé par un liquide miscible (qui se mélange) à la fois avec l'alcool, et à la fois avec la paraffine. L'agent éclaircissant peut-être le chloroforme ou le benzène. Après l'éclaircissage, le tissu est infiltré par de la paraffine fondue (liquide) à l'étuve pendant 24 heures.

### **d- Mise en bloc**

Le tissu inclus est placé sur un support métallique entre des barres de Leukart (en métal aussi).

On verse dessus de la paraffine liquide et on laisse refroidir. On obtient un bloc contenant le tissu.

### **e- Coupe**

Le bloc est coupé en tranches très fines (2 à 10  $\mu$ ). Pour cela, on utilise un microtome à rasoir en acier. Les coupes sont placées sur une lame sur laquelle on a mis de l'albumine d'œuf.

La coupe se colle au verre de la lame.

### **f- Coloration**

Son but est de renforcer le contraste naturel et de rendre plus visible les différents constituants cellulaires. La plupart des colorants étant utilisés en solution aqueuse, il faut d'abord éliminer la paraffine grâce à des solvants comme le Xylol ou le Toluène. Puis la coupe est réhydratée (bains d'alcool de concentration décroissante). Enfin, la coupe est colorée en tenant compte de la concentration du colorant et du temps de coloration.

### **g- Montage**

On lave l'excès de colorant à l'eau et la coupe est encore déshydratée ; à l'alcool. Puis on met sur la coupe une goutte d'un milieu de montage : le baume du Canada (il a le même indice de réfraction que le verre). On recouvre la coupe d'une lamelle et on laisse sécher pendant 24 heures. La coupe est ainsi prête à être observée au microscope.

## **II. La microscopie électronique à transmission**

Le principe de la microscopie électronique est de concentrer un faisceau d'électrons sur le spécimen biologique. Les électrons qui frappent le spécimen biologique sont plus ou moins diffractés par les diverses structures cellulaires selon leur densité. Les électrons qui ne sont pas diffractés sont dirigés sur un écran qui produit alors une image alors que les électrons diffractés n'atteignent pas l'écran ce qui va résulter en une zone sombre sur l'écran. Une lentille électromagnétique condenseur concentre le faisceau d'électron sur le spécimen biologique. Des lentilles « objectifs » et une lentille projecteur concentrent les électrons sur un écran.

## **III. Microscope électronique à balayage**

Le microscope électronique à balayage produit directement une image de la structure tridimensionnelle de la surface de l'échantillon. Le spécimen biologique est préalablement vaporisé avec un métal lourd avant d'être disposé dans le microscope électronique puis balayé par un faisceau d'électrons. Les molécules de métal recouvrant le spécimen sont alors excitées et émettent des électrons secondaires qui sont concentrés sur un détecteur à scintillation.

Le signal résultant est envoyé vers un tube cathodique et observé sur un écran. On peut obtenir une vue tridimensionnelle du spécimen biologique.

#### **IV. Microscope confocal**

La microscopie confocale permet de visualiser des molécules fluorescentes selon le même principe que la microscopie en fluorescence mais elle s'en distingue par le fait que la source lumineuse excitatrice est produite par un laser qui balaye rapidement le spécimen biologique dans toute son épaisseur et sa largeur. Les images produites par la fluorescence de ces différents points sont enregistrées par un ordinateur qui forme alors une image composite de l'ensemble de la cellule. La microscopie confocale permet donc une visualisation de l'aspect tridimensionnel de la cellule. Le microscope confocal a été utilisé pour obtenir la structure de nombreux objets tridimensionnels complexes, y compris les réseaux de fibres du cytosquelette du cytoplasme et la disposition des chromosomes et des gènes dans le noyau.

#### **V. Microscope à contraste de phase**

Ce type de microscopie est surtout utilisé pour observer les cellules vivantes en culture car il permet de voir nettement les mitochondries, le noyau et diverses autres structures cellulaires. Les structures biologiques sont capables d'induire des changements de phase de la lumière qui les traverse. La microscopie à contraste de phase met à profit cette propriété pour permettre l'observation de cellules vivantes non fixées et non colorées. Les petites différences dans l'indice de réfraction des différentes parties de la cellule ralentissent plus ou moins la lumière. Les régions de la cellule ayant un indice de réfraction élevé ralentissent davantage la lumière laquelle sera déphasée par rapport à la lumière traversant une région de la cellule dont l'indice de réfraction est peu élevé. Le degré de déphasage entre les différentes ondes lumineuses recombinaées va résulter en une lumière plus ou moins intense.

#### **VI. Microscope à fluorescence**

Cette méthode microscopique permet de visualiser des substances spontanément fluorescentes ou colorées par des molécules fluorescentes. Les molécules fluorescentes sont capables d'absorber une lumière de longueur d'onde spécifique et émettent une lumière de longueur d'onde différente qui fait partie de spectre visible. Un microscope optique à fluorescence va tout d'abord consister en une source de lumière de différentes longueurs d'ondes. Cette lumière traverse ensuite un filtre excitateur qui ne va laisser passer qu'une seule longueur d'onde. Celle-ci va être réfléchiée par un filtre dichromatique vers le spécimen biologique. Les molécules fluorescentes dans la cellule sont alors excitées et elles émettent une lumière visible qui va être

concentrée par une lentille objectif. Un filtre supplémentaire arrête toute lumière résiduelle qui possède la fréquence de l'onde lumineuse excitatrice. La seule lumière visible qui passe à travers la lentille oculaire est celle émise par le composé fluorescent. Les composés fluorescents exogènes les plus utilisés sont la rhodamine (qui produit une lumière rouge) et la fluorescéine (qui produit une lumière verte). L'image la plus commune de l'auto fluorescence est la fluorescence faible et bleutée du cytoplasme et la fluorescence jaune des granules cytoplasmiques.

## **VII. La cytochimie**

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.

## **VIII. La centrifugation**

Cette technique utilise une centrifugeuse. Il s'agit de faire tourner à très grande vitesse des tubes contenant des cellules. Les différents constituants cellulaires vont se déposer en couches successives, suivant leur densité : c'est la sédimentation. Cette vitesse de sédimentation dépend de la taille et de la masse des particules. Pour récupérer différentes fractions d'organites, on peut faire plusieurs centrifugations successives, de plus en plus rapides : c'est l'ultracentrifugation différentielle.

## **IX. L'autohistoradiographie**

L'étude du métabolisme bénéficie de l'utilisation des traceurs radioactifs et de leur détection par autohistoradiographie. Cette méthode consiste à marquer des éléments cellulaires à l'aide d'un composé radioactif et ensuite à suivre sa localisation grâce à la propriété des radiations émises d'impressionner une émulsion photographique. On utilise le Carbone 14, le Phosphore 32, l'iode 131 ...etc.

## **X. Les cultures cellulaires**

Les cellules en culture fournissent une population cellulaire à partir de laquelle on peut extraire des matériaux et sont pratique à manipuler au laboratoire. Dans un milieu approprié, dans une boîte pour culture cellulaire, la plupart des cellules peuvent vivre et se multiplier.

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. Les cultures cellulaires offrent la possibilité de comprendre le fonctionnement cellulaire et de poursuivre des expérimentations sur du matériel en dehors de l'organisme dont elles sont issues. Ces techniques permettent d'étudier les cellules vivantes soumises à des conditions variées.

## Membrane plasmique : structure et fonction

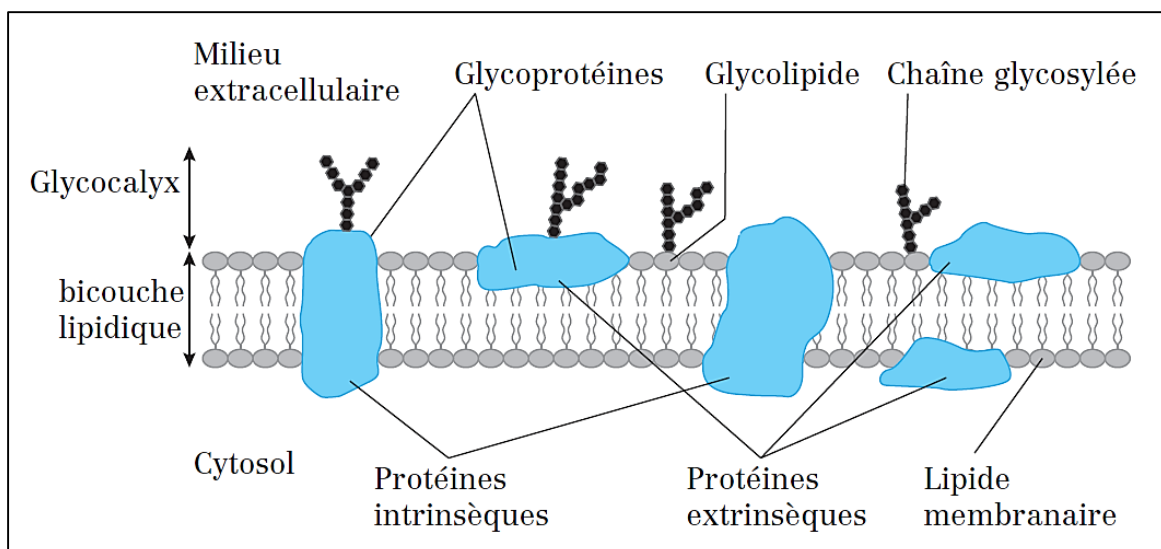
La membrane plasmique appartient aux membranes cellulaires. Elle sépare le milieu extracellulaire du milieu intracellulaire. On la distingue ainsi des membranes cellulaires des organites qui ont un rôle de compartimentation (séparation du compartiment intérieur, ou « lumière », du cytosol).

### I. Structure

La membrane plasmique a une épaisseur de 75 Å. Elle est dite tripartite, c'est-à-dire formée de trois feuillets : deux feuillets denses de 20 Å d'épaisseur, séparés par un feuillet clair de 35 Å. Les deux feuillets denses ont parfois une épaisseur différente, ce qui montre que les deux faces de la membrane ne sont pas identiques : on dit alors que la membrane plasmique est asymétrique. Cette asymétrie membranaire est due à l'existence d'un revêtement fibreux sur le feuillet dense externe de la membrane. Ce revêtement est appelé cell coat (manteau cellulaire) ou glycocalyx. Le cell coat est formé de fibrilles (de 15 Å de diamètre) de nature glycoprotéique. Il est résistant à certaines enzymes mucolytiques et protéolytiques.

Les fonctions du glycocalyx sont :

- La protection de la membrane plasmique ;
- Il participe à la perméabilité ;
- Il participe à l'adhésivité ;
- Il intervient dans la reconnaissance cellulaire : les glycoprotéines font partie du groupe des antigènes (antigènes de surface).



**Figure 5 :** Structure de la membrane plasmique.

## II. Composition chimique de la membrane plasmique

Les travaux d'Overton (1899) sont les premiers à donner des renseignements sur la composition chimique de la membrane plasmique. L'étude de la membrane s'effectue grâce à la microscopie électronique après fixation au tétr oxyde d'Osmium. Il apparaît donc que la membrane plasmique contient 49% de protéines, 43% de lipides et 8% de glucides.

### 1. Les lipides

Les lipides représentent 43% de la structure membranaire, généralement sous forme de phospholipides (55%) (Sphingolipides et glycérophospholipides). Ce sont des molécules amphiphiles qui ont un pôle hydrophile et un pôle hydrophobe, et ont la possibilité de s'orienter régulièrement dans l'eau. Chez les eucaryotes, on trouve aussi du cholestérol (45%).

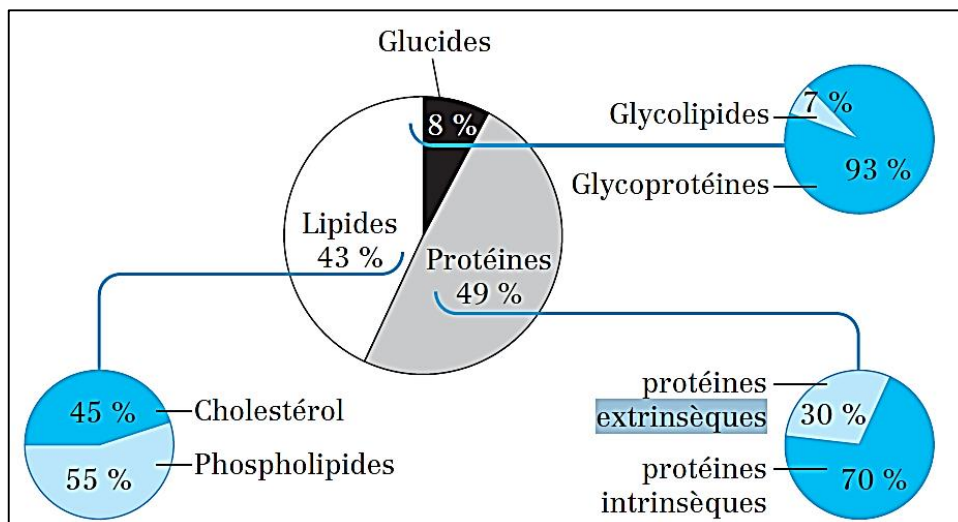
**Remarque :** le cholestérol a un rôle dans le maintien de la fluidité de la membrane plasmique.

### 2. Les protéines

Elles représentent 49% de la structure membranaire. Elles sont soit globulaires, soit filamenteuses et elles occupent des positions diverses dans les couches lipidiques. Les protéines membranaires sont des glycoprotéines, ou des enzymes de la glycolyse, ou bien des récepteurs hormonaux, ou encore des antigènes.

Il y a deux types de protéines membranaires :

- **Les protéines périphériques ou extrinsèques :** elles représentent 30% des protéines membranaires. Elles sont fixées à la surface externe ou interne de la membrane plasmique.
- **Les protéines intégrées ou intrinsèques :** elles ont une région hydrophobe (vers l'intérieur de la bicouche) et une région hydrophile (vers les surfaces de la membrane où elles interagissent avec l'eau). Elles représentent 70% des protéines membranaires.



**Figure 6 :** Répartition des composants de la membrane plasmique.

### III. Rôles physiologiques de la membrane plasmique

La membrane plasmique joue un rôle fondamental dans la vie cellulaire et assure différentes fonctions essentielles. En premier lieu, elle constitue une frontière physique entre le milieu intracellulaire et le milieu extracellulaire. De plus, elle assure également des transferts de substances ou d'informations de cellule à cellule.

Parmi ses rôles, la membrane plasmique :

- Isole la cellule du milieu extracellulaire ;
- Assure l'apport des éléments nutritifs et l'élimination des déchets ;
- Assure une perméabilité sélective ;
- Maintient les différences de concentration entre le milieu intracellulaire et le milieu extracellulaire.

La membrane intervient dans la vie cellulaire comme :

#### a) Barrière de diffusion

La membrane est capable de discrimination (c'est-à-dire de faire la différence) entre les molécules selon leur degré de :

- L'hydrophilie,
- L'ionisation,
- La taille et la forme.

#### b) Récepteur de messages extérieurs

La membrane contient des systèmes de reconnaissance de surface : reconnaissance de cellule à cellule (formation des tissus), reconnaissance par les anticorps de récepteurs membranaires spécifiques, récepteurs de virus...etc.

#### c) Transfert d'informations

Ce transfert d'informations au niveau de la membrane assure les corrélations nerveuses et humorales des organismes supérieurs :

- Corrélations nerveuses : conduction nerveuse (synapses chimiques grâce aux médiateurs chimiques comme l'acétylcholine).
- Corrélations humorales : influence de certaines hormones dans l'activité des protéines membranaires.

## IV. Les transports membranaires

La membrane est sélectivement perméable. Certaines molécules peuvent passer facilement, d'autres nécessitent des mécanismes spécifiques, d'autres nécessitent des déformations de la membrane : transport vésiculaire (endocytose et exocytose).

### 1. Le transport passif

C'est le déplacement des solutés selon leur gradient de concentration : du milieu le plus concentré en solutés vers le milieu le moins concentré en solutés, jusqu'à égalité de concentration entre les 2 milieux. Ce type de transport ne nécessite pas d'énergie.

On distingue la diffusion simple et la diffusion facilitée.

#### A. La diffusion simple

La membrane constitue une phase lipidique séparant deux phases aqueuses. Les échanges d'eau entre la cellule et le milieu extérieur sont très faciles et cela crée un phénomène d'entraînement des composés hydrosolubles. De plus, il existe des pores (aquaporines) dans la membrane (protéines intégrées) permettant ces échanges entre les deux phases en empêchant les ions de pénétrer dans la cellule. Ce transport ne demande pas d'énergie. La diffusion simple est donc le franchissement de la membrane par des molécules dissoutes (hydrosolubles). La diffusion est symétrique, et elle tend vers un état d'équilibre entre le milieu intracellulaire et le milieu extracellulaire, en maintenant une concentration égale des deux côtés de la membrane.

#### B. La diffusion facilitée

Il existe au niveau de la membrane plasmique des transporteurs membranaires : les perméases ou translocases. La substance perméante contracte avec le transporteur une liaison physico-chimique qui ne demande aucune dépense énergétique, ce qui facilite son passage. La quantité des transporteurs constitue un facteur limitant à la pénétration. On distingue 2 transports facilités :

- Diffusion facilitée par canal. Exemple : Canal ionique à  $\text{Na}^+$ , canal  $\text{K}^+$ , canal  $\text{H}_2\text{O}$ .
- Diffusion facilitée par protéine porteuse (Nécessité d'un changement de conformation du transporteur. Exemple : transport du glucose (GLUT) présent sur la membrane basale des entérocytes.

Le transport facilité s'effectue en 3 étapes :

- 1- Formation du complexe perméase-substrat.
- 2- translocation du transporteur (ping) ;

3- Dissociation du complexe et retour à la forme initiale (pong), ou d'un transport en sens inverse.

## 2. Le transport actif

C'est le transport du soluté réalisé contre son gradient de concentration et qui nécessite de l'énergie fournie par le métabolisme (respiration cellulaire). En fonction du type d'énergie fournie, on distingue les transports actifs primaire et secondaire. Il fait intervenir deux systèmes :

- Un système transporteur, assuré par les protéines ;
- Un système énergétique permettant le transport de la substance contre le gradient de concentration.

Le changement de conformation du transporteur, en présence d'énergie, permet le transfert de la substance à transporter du milieu extracellulaire vers le milieu intracellulaire et vice versa. L'énergie est obtenue par déphosphorylation de l'ATP :



### ➤ Le cotransport

Quand le transport actif est couplé au transport passif, on parle de cotransport. Si le transport actif se fait dans le même sens que le transport passif, il s'agit du symport (cas du transport du glucose (transport actif) et du  $\text{Na}^+$  (transport passif)). Par contre, si les deux transports se font dans le sens opposé, c'est l'antiport (cas de la pompe à sodium).

**Exemple :** La pompe à sodium dans les globules rouges. Le  $\text{Na}^+$  est abondant dans le milieu extracellulaire et le  $\text{K}^+$  dans le milieu intracellulaire. La membrane du globule rouge est perméable au  $\text{Na}^+$  (transport passif) : il y a entrée de  $\text{Na}^+$  et sortie de  $\text{K}^+$ . La pompe à sodium est un système qui assure la sortie des ions  $\text{Na}^+$  et la pénétration des ions  $\text{K}^+$ . A chaque cycle, la pompe rejette trois ions  $\text{Na}^+$  dans le milieu extracellulaire, pour la pénétration de deux ions  $\text{K}^+$ .

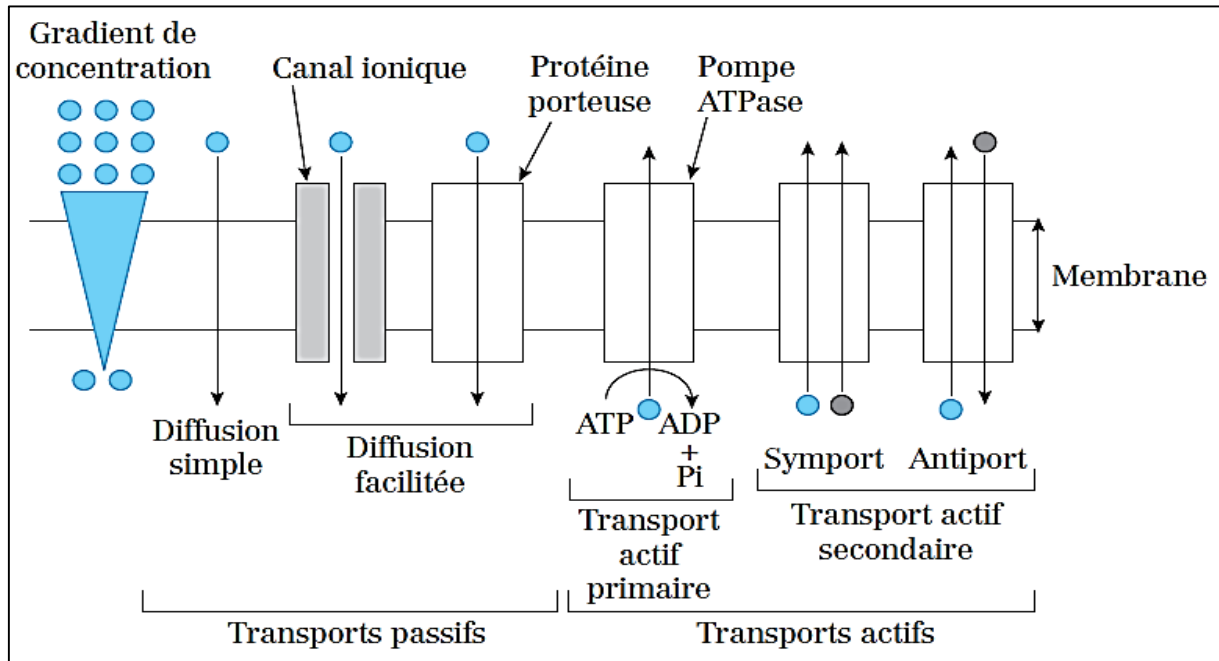


Figure 7 : Récapitulatif des transports membranaires.

### 3. Transports vésiculaire

Ce sont des transports qui font intervenir des vésicules qui permettent le passage de macromolécules (comme les protéines) ou de particules de grande taille (bactéries), du milieu intracellulaire vers le milieu extracellulaire ou l'inverse.

Ces transports donnent lieu à 2 types de mécanismes : l'endocytose et l'exocytose.

#### a. L'endocytose

C'est le phénomène qui aboutit à la capture et au passage de substances extracellulaires dans le cytoplasme. Suivant la taille des particules, on parle de pinocytose et de phagocytose.

- **La pinocytose** : Les particules qui doivent pénétrer dans la cellule sont de petite taille, et sont en solution. La membrane plasmique capture les particules, les concentre, puis elle s'invagine et forme de petites vésicules limitées, dont le contenu est extracellulaire.

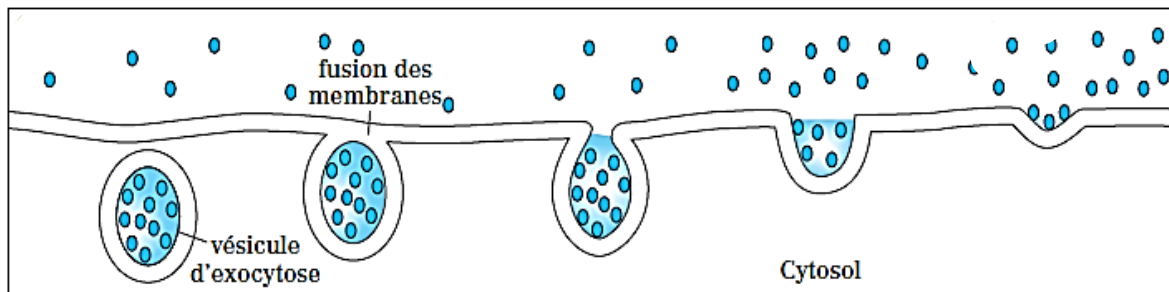
- **La phagocytose** : Elle concerne les particules solides et de grande taille, comme les bactéries. Elle se fait en plusieurs phases :

- Phase de contact entre la cellule et la bactérie ;
- Invagination et incorporation de la membrane plasmique et formation d'une vacuole de phagocytose ;
- Phase de digestion par les enzymes des lysosomes ;
- Phase d'élimination des déchets.

### b. L'exocytose

C'est le phénomène inverse de l'endocytose. La cellule exporte des substances synthétisées ou des déchets du métabolisme, vers l'extérieur. L'exocytose se déroule en plusieurs étapes :

- Les vésicules contenant les substances intracellulaires sont entraînées par des courants cytoplasmiques (cyclose) vers la périphérie : c'est la migration ;
- Il y a accollement de la membrane de la vésicule à la membrane plasmique : c'est l'apposition ;
- Il y a fusion de ces 2 membranes, ce qui donne à la formation d'une seule membrane : le diaphragme, qui est une unité instable.
- Fragmentation (destruction) du diaphragme et décharge des substances dans le milieu extracellulaire.



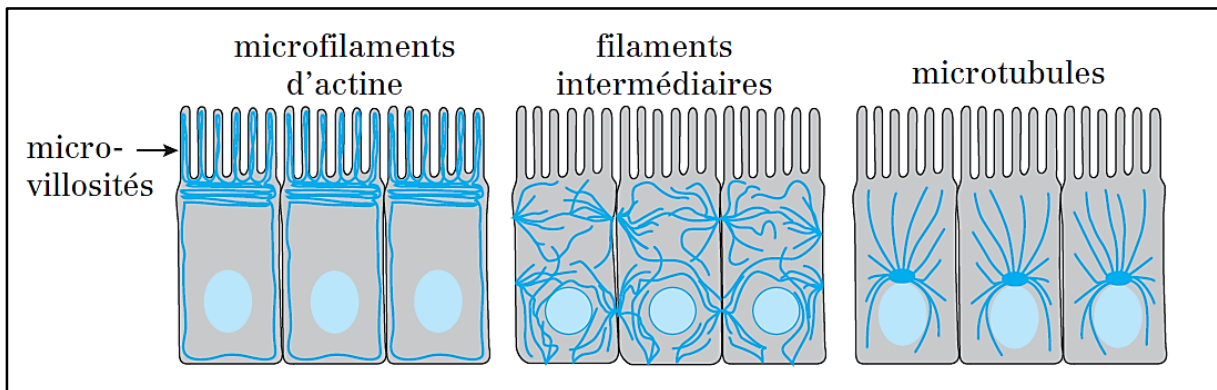
**Figure 8 :** Illustration de l'exocytose.

## Cytosquelette et motilité cellulaire

### I. Introduction

Le cytosquelette regroupe un ensemble de polymères fibreux (cytosoliques et nucléaires) et de protéines associées ; il joue le rôle d'un véritable « squelette cellulaire » en déterminant la forme des cellules, des organites, du noyau et en participant à la polarité des cellules. Le cytosquelette joue également le rôle d'une musculature cellulaire, responsable des mouvements des cellules elles-mêmes ou des composants cellulaires à l'intérieur des cellules.

- Le cytosquelette est constitué de trois classes de filaments non spécifiques et ubiquitaires :
  - Les microfilaments d'actine : MFA ( 8 nm de diamètre).
  - Les filaments intermédiaires : FI ( 10 nm de diamètre).
  - Les microtubules : MT ( 25 nm de diamètre)



**Figure 9** : Répartition des trois types de filaments protéiques du cytosquelette dans les cellules épithéliales

- Il existe deux types de monomères protéiques sont à la base des polymères fibreux du cytosquelette :
  - **Monomères globulaires** pour les MFA et les MT ;
  - **Monomères fibreux** pour les FI.
- Les éléments du cytosquelette existent sous trois formes en équilibre dans la cellule :
  - **Monomères libres** néosynthétisés ou issus de la dépolymérisation ;
  - **Polymères instables** car leur fréquence de polymérisation/dépolymérisation est élevée ;
  - **Polymères stabilisés** par des interactions avec des protéines associées.
- Les éléments du cytosquelette se localisent essentiellement dans :
  - Le cytosol

- Le nucléoplasme (en particulier, les lamines qui sont des FI)
- La périphérie de la cellule, sous la membrane plasmique, où ils forment « le cortex cellulaire ».

## II. Rôle du cytosquelette

Le cytosquelette a de nombreuses fonctions. C'est lui qui confère à la cellule sa forme caractéristique et la dote de motilité en lui donnant la possibilité d'accomplir des mouvements amiboïdes. Le cytosquelette permet en outre les déplacements des organites cellulaires et coordonne des fonctions biologiques fondamentales, comme la division cellulaire. Les cellules qui battent des cils, comme les cellules de la muqueuse respiratoire par exemple, ou encore celles qui se déplacent vers un endroit précis, comme le font les macrophages vers une zone endommagée, ainsi que les mouvements créés par des structures intracellulaires comme lors de la contraction musculaire ou du déplacement des chromosomes lors de la division cellulaire ont depuis longtemps fasciné les biologistes. Tous les détails moléculaires de ces processus ne sont pas encore connus mais il est évident que la responsabilité en revient aux fibres du cytosquelette.

L'organisation spatiale des faisceaux de fibrilles du cytosquelette n'est pas rigide. C'est cette organisation qui détermine la forme caractéristique de chaque cellule. En plus de donner forme et résistance à la cellule, ces faisceaux de fibrilles supportent aussi les différents organites cellulaires lesquels pourraient très bien se retrouver pêle-mêle dans le fond de la cellule si une structure de soutien ne les maintenait pas en place dans le cytoplasme de la cellule.

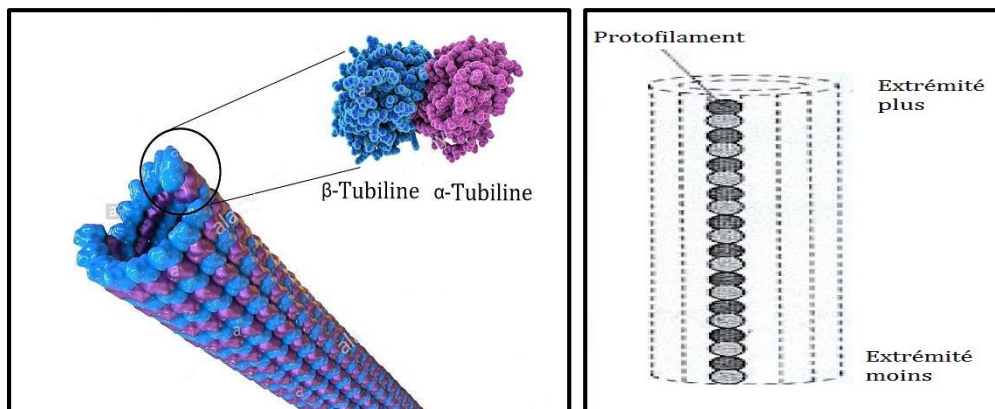
## III. Structure du cytosquelette

Grâce au perfectionnement des techniques de microscopie électronique et aux études biochimiques et immunologiques, il a été possible de mettre en évidence la structure de ce réseau interne constitué de trois types de fibres de protéines : les microtubules, les microfilaments et les filaments intermédiaires.

### 1) Les microtubules

Les microtubules sont les structures les plus volumineuses du cytosquelette. Ce sont des tubes creux, de 25 nm de diamètre, constitués de 13 protofilaments de tubuline, chaque molécule de tubuline étant un hétérodimère d' $\alpha$  et de  $\beta$ -tubuline, toutes les deux de diamètre 5 nm en alternance). Les microtubules sont des structures polaires caractérisées par une extrémité positive, à croissance rapide, et par une extrémité négative, à croissance lente ; ils se forment suivant un processus programmé. La cellule possède des centres d'organisation des

microtubules, qui en dirigent la formation : les centrioles, les corpuscules basaux des cils et les centromères.



**Figure 10 :** Structure des microtubules.

Les microtubules sont formés de molécules de tubulines associant 2 protéines tubulaires ( $\alpha$  et  $\beta$ ), et le cylindre est creux est fait 25nm de diamètre est constitué de 13 protofilaments linéaires. Ces protofilaments se forment par empilement de dimères de tubuline. Les microtubules sont des structures dynamiques qui se forment et sont détruites en permanence. Dans une cellule, il y a en permanence et à vitesse variable (quelques secondes ou quelques minutes) plusieurs centaines de microtubules en cours de polymérisation et de dépolymérisation, constituant un réseau dynamique (énergie fournie par le GTP). Les microtubules sont des structures polaires comme l'actine des microfilaments avec une extrémité (+) à croissance rapide dirigée vers la périphérie de la cellule et une extrémité (-) qui est associée au centrosome. Le centrosome est un complexe protéique situé près du noyau et il est constitué de deux centrioles eux-mêmes constitués de tubuline  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$  et  $\epsilon$ .

L'assemblage des dimères de tubuline en une structure microtubulaire se fait en plusieurs étapes :

- Polymérisation de dimères de tubuline  $\alpha$  et  $\beta$  (chargées de GTP). Les dimères s'associent tête bêche pour former un protofilament. Après polymérisation le GTP de la tubuline  $\beta$  est hydrolysé en GDP.
- Formation d'un fragment de microtubule par association latérale de 10 à 15 protofilaments et repliement du feuillet pour donner une structure rigide.
- Elongation du microtubule par polymérisation (ajout de dimères) à l'extrémité (+).

Il y a cependant des structures stables à base de tubuline qui sont représentées par :

- Les paires de centrioles (ensemble de microtubules rayonnants enchâssés dans cette zone).
- Les corpuscules basaux qui sont situés à la base des cils et des flagelles.

- Les cils et les flagelles. Les premières structures ont une longueur d'environ 5-10 $\mu$ m alors que les secondes peuvent atteindre 200 $\mu$ m.

#### **a) Fonction des microtubules**

Seuls les microtubules et les microfilaments sont impliqués dans les phénomènes de motilité.

Dans les deux cas, la motilité est assurée par les protéines motrices.

##### **➤ Transport des vésicules de sécrétion**

Il est assuré par les deux protéines motrices (dynéine et kinésine) spécifiquement associées aux microtubules (les myosines étant associées aux filaments d'actine). Elles possèdent une tête globulaire qui interagit avec les microtubules et une région terminale qui interagit avec les vésicules de sécrétion.

Le transport axonal de différents types de vésicules illustre cette fonction. La kinésine assure le transport antérograde vers l'extrémité (+) du microtubule (du corps cellulaire vers la synapse), alors que la dynéine assure le transport rétrograde, c'est à dire vers l'extrémité (-) des microtubules. Des organites entiers (mitochondries) sont aussi transportés par les microtubules. A noter que dans la partie terminale de l'axone c'est la myosine associée aux filaments d'actine qui prend le relais du transport vésiculaire.

##### **➤ Transport des vésicules d'endocytose, phagocytose, pinocytose.**

##### **➤ Transport des vésicules membranaires entre le réticulum endoplasmique et le Golgi.**

Si on inhibe la polymérisation des microtubules avec le nocadazole, les vésicules perdent leur forme et leurs fonctions et on prévient leur mouvement du réticulum vers le Golgi.

##### **➤ Tri et adressage des protéines dans les cellules polarisées (épithélium des tubules rénaux, intestin...)**

Les vésicules membranaires issues du Golgi et dans lesquelles sont enchâssées les protéines destinées au pôle apical ou baso-latéral sont transportées par les protéines motrices le long des microtubules.

##### **➤ Mouvement des organites**

Les microtubules, avec les protéines motrices qui leur sont associées, sont en grande partie responsables de l'organisation spatiale et des mouvements dirigés des organites dans le cytoplasme. Cette fonction est illustrée en particulier lors de la division cellulaire.

Les microtubules assurent le transport et la répartition en quantité à peu près équivalente des différents organites entre les deux cellules filles.

### ➤ **Transport viral**

Lors d'une infection virale, la particule virale est transportée de la périphérie vers le centre de la cellule (transport rétrograde) après s'être associée à la dynéine du réseau microtubulaire. A la sortie du noyau, elle est transportée vers la périphérie (transport antérograde) en s'associant à une kinésine des microtubules.

### **Mise en place du fuseau mitotique et migration des chromosomes**

Ils jouent également un rôle important dans les divisions cellulaires : ce sont eux qui permettent le déplacement des chromosomes en formant le fuseau. Les mouvements seraient dû ici à la polymérisation / dépolymérisation des microtubules sur leur extrémité positive et négative.

Au cours de la prophase chaque centrosome se place à un pôle de la cellule pour initier la polymérisation des microtubules et former le fuseau mitotique. C'est ce fuseau qui capture les chromosomes et les positionne sur la plaque équatoriale métaphasique et les sépare ensuite en deux jeux égaux. La migration des chromosomes est réalisée grâce à leur interaction avec de protéines apparentées aux kinésines, ainsi qu'à la dynamique de polymérisation/dépolymérisation des microtubules.

Les flagelles et les cils sont des expansions membranaires extracellulaires. Ces structures peuvent permettre le déplacement de la cellule par rapport au milieu (flagelle sur le spermatozoïde) ou le déplacement du milieu par rapport à la cellule (cils de la muqueuse trachéo-bronchique et de la trompe de Fallope).

Le mouvement du flagelle est une ondulation alors que celui du cil est un battement car il est de taille plus courte. Ces deux structures comportent un faisceau central de microtubules : l'axonème. Ce dernier est constitué de 9 doublets externes (un tubule complet de 13 tubulines + un tubule incomplet de 9) entourant une paire centrale de tubules complets. Chaque doublet est relié à son voisin par un bras de nexine (protéine d'amarrage) et par deux bras de dynéine ciliaire (protéine motrice) qui assure le glissement des microtubules les uns par rapport aux autres. Ce glissement exige de l'ATP. Des protéines radiales relient les microtubules périphériques à la paire centrale, elle-même rigidifiée par des protéines de liaison. La paire centrale assure la solidité de la structure et l'orientation du mouvement. Cils et flagelles sont insérés dans la cellule au niveau des corpuscules basaux dont la structure est faite de 9 triplets sans axe central. Deux des microtubules du triplet se prolongent dans les doublets du cil ou du

flagelle. Les corpuscules basaux se formeraient à partir des centrioles dont la structure est très semblable et s'insèrent dans le cytosquelette sous-cortical ; cils et flagelles naissent ou régénèrent à partir des corpuscules basaux.

### **b) Les filaments d'actine (microfilaments)**

L'actine est la protéine intracellulaire prépondérante dans la cellule eucaryote, et représente, selon les types cellulaires, de 1 à 10% de la quantité totale des protéines cellulaires. Cette protéine de taille moyenne (375 acides aminés) se présente dans la cellule soit sous forme de monomère globulaire (actine G) soit sous forme de polymère (actine F). Le microfilament d'actine F, d'un diamètre de 7 à 9 nm, est une structure polaire, avec une extrémité à croissance rapide (appelée "+") et une extrémité à croissance lente ("-"). La polymérisation de l'actine G en micro filaments d'actine F est amorcée par l'ajout d'ions  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$  ou  $Na^+$ , selon un processus réversible, l'actine F se dépolymérise quand on abaisse la force ionique de la solution. Dans la cellule, il existe un équilibre dynamique entre la forme monomérique (G) d'actine et la forme filamenteuse (F), le passage de l'actine G à l'actine F étant régulé par des protéines associées à l'actine, en réponse à différents stimuli.

Le réseau d'actine est localisé d'une part juste sous la membrane plasmique, où il constitue un maillage bidimensionnel associé à la membrane, et au sein de la cellule, où il constitue un réseau tridimensionnel conférant un aspect gélatineux au cytosol. De nombreuses protéines interagissant avec l'actine ont été identifiées : elles sont impliquées dans des fonctions aussi diverses que la consolidation des filaments (ex : tropomyosine), la formation de faisceaux de filaments ou "bundles" (ex : fimbrine), la fragmentation des filaments (ex : gelsoline), le mouvement des vésicules sur les filaments (ex : myosine II) ou encore l'ancrage des filaments à la membrane plasmique (ex : spectrine). Tous ces jeux de protéines liant l'actine peuvent agir de façon coopérative pour engendrer les mouvements de la surface cellulaire, la phagocytose et la locomotion cellulaire.

Les filaments d'actines ou microfilaments sont généralement associés à la myosine ce qui leur permet une certaine mobilité. Les myosines se déplacent le long des filaments d'actine en utilisant l'énergie fournie par l'hydrolyse de l'ATP (fonction ATPasique de la myosine favorisée par l'actine). Ce déplacement nécessite du calcium. La myosine I (une tête globulaire) est le moteur des mouvements du cytosol (pseudopodes, endocytose ou exocytose) ; la tête s'attache à l'actine ; la queue à la membrane plasmique ou à celle des vésicules. La myosine II (2 têtes globulaires) est responsable de la contraction musculaire (cf cours de physiologie) ; les

têtes réagissent avec l'actine ; les queues forment les filaments épais des cellules musculaires striées.

On retrouve ce système Actine/myosine dans :

- Les cellules musculaires : l'assemblage actine-myosine peut être très bien organisé (sous forme de sarcomère), on parle alors de muscle strié, ou plus aléatoire et on parle de muscle lisse.
- Les microvillosités. Il permet leur contraction et facilite ainsi le renouvellement du milieu extérieur dans lequel elles baignent.
- Les cellules en division où il permet la cytotéiérèse.
- Les pseudopodes où il permet la contraction et l'élongation de certaines parties du cytoplasme, permettant ainsi le déplacement de la cellule telle une chenille.

## Adhésion cellulaire et matrice extracellulaire

### Introduction

Le microenvironnement cellulaire est avant tout constitué d'une matrice extracellulaire (MEC) qui permet d'assurer le maintien des relations spatiales que certaines cellules peuvent établir. L'adhérence entre la membrane plasmique et la MEC se fait grâce à des récepteurs membranaires et grâce à la fibronectine, la laminine et le collagène.

### 1. Définition

La MEC est un terme collectif pour tous les composants matriciels dans l'espace extracellulaire. Elle se présente comme une trame (structure d'un réseau) extracellulaire, à laquelle les cellules peuvent s'ancrer.

La MEC peut prendre divers aspects :

- **Liquide** : riche en polysaccharides ;
- **Gélatineux** : riche en protéines fibreuses ;
- **Solide** : riche en phosphate de calcium ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ).

Chez les animaux, on obtient des morphologies tissulaires très variées :

- Si la trame est lâche, On obtient une structure mésenchymateuse (Exemple : Tissu conjonctif),
- Si la trame est serrée, On obtient une structure épithéliales (Exemple : L'épiderme) ce qui donne la lame basale.

La paroi des cellules végétales ou des bactéries peut être considérée comme une MEC.

### 2. Les constituants de la MEC

Les constituants de la MEC sont synthétisés et sécrétés par des cellules en contact avec celle-ci (Chondrocytes, Ostéocytes, Fibroblaste, etc.). Ils peuvent être décomposés par des enzymes appelées MMP (Matrix Metalloprotéinases).

#### 2.1 Les fibres

##### 2.1.1 Le collagène

Le collagène est une glycoprotéine fibreuse dont le rôle peut être comparé à une armature. Il représente 25 % des protéines totales. Il est sécrété par les cellules des tissus conjonctifs.

### ✓ La morphologie

En microscope optique les fibres de collagènes apparaissent comme des faisceaux épais (Plusieurs  $\mu\text{m}$  de long). En microscope électronique, chaque fibre est constituée de plusieurs fibrilles épaisses (de moins de  $0,1 \mu\text{m}$ ). L'unité élémentaire est un trimère rigide et linéaire, enroulés en super-hélice. Ces trimères s'associent en molécules de collagènes, puis en fibrilles, après en fibres de collagènes et en fin en faisceaux. Il existe douze (12) familles de collagène parmi elles :

- Le collagène I, II et III (Collagènes fibrillaires) derme, os, tendon...
- Le collagène IV (Collagène plus) forme l'armature des lames basales des épithéliums.

### ✓ La biosynthèse des fibres de collagènes de type I

- Elle est réalisée par les fibroblastes
- Sa durée de vie est estimée de deux mois environ dans le derme.

#### 2.1.2 Les fibres élastiques (L'élastine)

Elles sont abondantes dans les tissus élastiques (peau, poumon, artères).

### ✓ La morphologie

Elles apparaissent comme un réseau de fibres plus fines que le collagène. En microscope électronique elles possèdent des structures amorphes, dont le principal composant est une protéine glycosylée.

### ✓ La composition des fibres élastiques

Les microfibrilles sont composées de plusieurs glycoprotéines, comme la fibrilline.

### ✓ La biosynthèse et le renouvellement

Les fibres élastiques sont synthétisées par les fibroblastes et sont dégradées par une enzyme, l'élastase sécrétée dans la MEC. L'élastine est essentiellement sécrétée durant la période de croissance.

## 2.2 La substance fondamentale

C'est un gel amorphe très hydraté composé de protéoglycanes, de glycoprotéines et d'eau.

### 2.2.1. Les glycoprotéines

La MEC renferme plusieurs glycoprotéines qui jouent un rôle dans les phénomènes d'adhésion avec les deux constituants de la MEC (ensembles fibreux et polysaccharidiques) et avec les cellules.

**a) La fibronectine**

Elle est le maillon clé de l'adhérence des cellules à la MEC. Les fibronectines sont des molécules qui se joignent aux intégrines (récepteurs membranaires) et à l'attachement des cellules aux fibrilles collagènes. Les fibronectines sont des dimères, qui adoptent une forme en « V ». Elles sont synthétisées dans les tissus adultes par les cellules de la MEC et par les cellules reposant sur la lame basale. Une autre partie est synthétisée dans les cellules hépatiques. La fibronectine favorise la synthèse des composants de la membrane basale et elle permet aussi la migration cellulaire. Elle joue un rôle dans l'organisation de la MEC et dans l'adhésion des cellules à cette MEC.

**b) Les laminines**

Elles sont une famille de protéines adhésives, qui forment le constituant majeur de la lame basale. Les molécules de laminines sont sécrétées par les cellules épithéliales et par les cellules conjonctives. Elles assurent la migration cellulaire. En pathologie, les laminines non fonctionnelles génétiquement sont impliquées dans l'apparition de certaines formes de dystrophie musculaire.

**2.2.2. Les polysaccharides****a. Les glycosaminoglycanes ou GAGs**

Ils ont longtemps été désignés sous le terme de « l'acide mucopolysaccharides ». Il s'agit en effet de chaînes linéaires non ramifiées (disaccharides : acétylglucosamine ou acétylgalactosamine et un acide uronique). Les chaînes des GAGs peuvent être liées par covalence à une protéine pour former des protéoglycanes.

**a. Les différents types de GAGs**

- ❖ Le chondroïtine sulfate : présent dans le derme et dans le cartilage ;
- ❖ Le kératane sulfate : présent dans le cartilage et la cornée ;
- ❖ L'héparine (héparane sulfate) : présente dans le foie, les poumons ;
- ❖ L'acide hyaluronique : il contribue à l'hydratation.

**b. Les protéoglycanes**

Un protéoglycane est la combinaison d'une protéine et d'un GAG. La proportion de glucides des protéoglycanes peut atteindre 95 %. Les protéoglycanes peuvent être soit transportés à l'extérieur de la cellule, soit entrés dans la contribution de la membrane plasmique ou du glycocalyx. Ils peuvent jouer un rôle de récepteurs pour d'autres composants de la MEC. Dans la MEC, ils sont en interaction avec les fibres de collagènes et les glycoprotéines.

### 3. La lame basale

Elle constitue, autour de certaines cellules une région différenciée de la MEC. Elle est observée par exemple au contact des cellules épithéliales, endothéliales et autour des cellules musculaires. Elle permet l'adhérence de la cellule épithéliale au tissu conjonctif. Les molécules constitutives de la lame basale sont sécrétées par les cellules épithéliales et les fibroblastes. La lame basale est un mince feuillet de glycoprotéines sécrétées par les cellules épithéliales et un feuillet extracellulaire sécrété par les cellules du tissu conjonctif. L'épaisseur de ce réseau EC est typiquement de l'ordre de 50 – 200 nm.

#### ✓ L'Ultrastructure

##### a. La lamina lucida

La lamina lucida est constituée de mucopolysaccharides. Elle a une épaisseur qui varie entre 10 et 50 nm. Elle est claire au microscope électronique. Elle contient des laminines et d'autres molécules mal connues.

##### b. La lamina densa

Elle correspond à un feutrage de collagène IV et de glycoprotéines. La lamina densa est beaucoup plus dense, ce qui lui donne l'apparence d'une ligne d'épaisseur qui varie entre 20 et 300 nm et contient en majorité du collagène IV.

##### c. La lamina reticula (Sub-lamina densa)

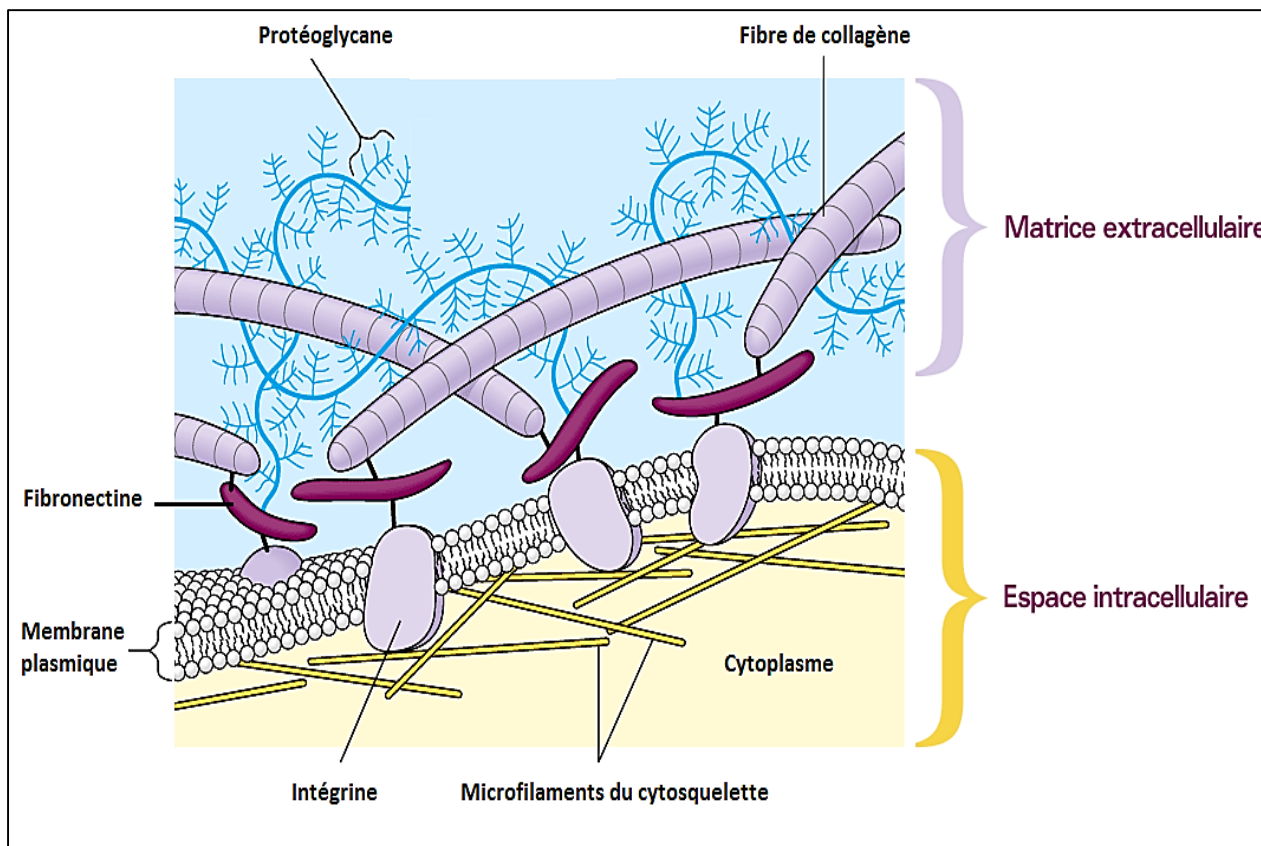
Elle constitue une zone fibreuse qui a une largeur de 200 - 500 nm.

### 4. Le rôle physiologique de la MEC

La matrice extracellulaire joue le rôle de :

- Soutien (principalement), ce qui assure la cohésion des cellules et des tissus.
- Résistance mécanique des tissus aux forces de compression (grâce aux glycosaminoglycanes) et de traction (grâce aux collagènes fibrillaires et aux fibres élastiques).
- Trame pour des dépôts minéraux (exemple : construction des os par accumulation de phosphate de calcium).

La MEC agit également sur le comportement des cellules qui entrent en contact avec elle et influence leur forme, leur migration mais aussi leur survie, leur prolifération et leur développement. Le fait qu'une cellule ait besoin d'adhérer à la matrice pour croître et proliférer, voire même simplement survivre, est appelé « dépendance d'ancrage ».



**Figure 11 :** La matrice extracellulaire.

## Molécules d'adhérences et jonctions intercellulaires

### 1) Les molécules d'adhérence

Parmi les molécules d'adhérence on trouve les CAM (pour *Cell Adhesion Molecules*) qui permettent l'interaction cellule-cellule et les SAM (pour *Substrate Adhesion Molecules*) qui permettent l'interaction cellule-matrice extracellulaire.

Ces interactions peuvent être homophile, c'est-à-dire qu'il y a interaction entre deux mêmes protéines, et hétérophile, c'est-à-dire qu'il y a interaction entre deux protéines différentes.

#### a) Immunoglobuline

Les immunoglobulines sont des monomères de la même superfamille que les anticorps, possédant également une chaîne lourde et une chaîne légère, avec des boucles fermées par des liaisons disulfures. Ce sont des glycoprotéines riches en acide sialique et possèdent une trentaine de membres, dont les N-CAM présentent au niveau du système nerveux.

Les immunoglobulines sont calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) indépendante, contrairement aux autres molécules d'adhérence, et sont exprimés de manière constitutive au niveau de la membrane plasmique,

autrement dit en permanence. Elles réalisent des liaisons homophiles mais qui peuvent se faire avec des membres différents, ainsi que des liaisons hétérophiles avec des protéoglycanes de la matrice extracellulaire et des intégrines.

### **b) Cadhérine**

Les cadhérines sont des glycoprotéines sous la forme de monomère, possédant une extrémité N-terminale extracellulaire et étant calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) dépendante. Les différents types de cadhérines sont spécifiques au tissu.

Ces molécules jouent un rôle principal dans les jonctions intercellulaires de type desmosomes. De cette manière leurs extrémités intracellulaires C-terminale interagiront avec les plaques denses ou directement avec les protéines du cytosquelette, et leurs extrémités extracellulaires N-terminale réaliseront des interactions homophiles et hétérophiles avec des autres cadhérines, des intégrines et des protéines de la matrice extracellulaire.

Dans les tissus, les cellules inhibent leurs propres croissances en interagissant les unes avec les autres et ceci grâce à la présence des cadhérines qui sont responsables de ce phénomène appelé inhibition de contact.

### **c) Sélectine**

Les sélectines sont des glycoprotéines sous forme de monomère possédant une extrémité N-terminale extracellulaire. Les sélectines sont des lectines calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) dépendante qui ont la spécificité de reconnaître les groupements glucidiques d'autres glycoprotéines.

Les sélectines permettent la formation de liaison brève et de très haute spécificité. Elles ne sont pas exprimées en permanence, mais nécessite une activation entraînant son endocytose. Elles interviennent dans des interactions hétérophiles lors de la diapédèse.

### **d) Intégrine**

Les intégrines sont des glycoprotéines sous forme de dimère ( $\alpha\beta$ ) présentant une extrémité extracellulaire N-terminale et étant elles aussi calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) dépendante.

Les intégrines interagissent avec les composants de la matrice extracellulaire et de la lame basale tels que les fibronectines, les laminines et le collagène. Elles interagissent également par des interactions hétérogènes avec des immunoglobulines et des cadhérines, et dans le milieu intracellulaire avec le cytosquelette.

## 2) Jonctions intercellulaires et jonctions cellules-matrice extracellulaire

Les jonctions intercellulaires sont des régions différenciées de la membrane plasmique responsable de l'adhérence intercellulaire et au niveau desquelles on distingue une concentration importante de molécules d'adhérence. Parmi elles on distingue les jonctions serrées (ou *Zonula Occludens*), les jonctions intermédiaires (ou *Zonula Adherens*), les desmosomes, les jonctions communicantes (de type nexus ou jonctions gap).

Les jonctions cellules matrice-extracellulaire sont des régions différenciées de la membrane plasmique responsable de l'adhérence entre les cellules et les éléments de la matrice extracellulaire. Elles sont également riches en molécules d'adhérence. Parmi elles on distingue les hémidesmosomes. Ces jonctions sont présentes chez les animaux, mais pas chez les végétaux et les bactéries qui sont uniquement liés par leurs parois. Elles permettent une solidité mécanique d'une part et une communication cellulaire d'autre part.

### a) Les jonctions serrées (ou *zonula-occludens*)

Les *zonula-occludens* sont des jonctions étanches qui ceinturent la cellule, d'où le terme de « *zonula* », au niveau du pôle apical et ceci notamment au niveau des épithéliums monocouches (endothélium et cellules polarisées par exemple au niveau des entérocytes et hépatocytes). Elles créent des occlusions qui interdisent entièrement la diffusion latérale des protéines ; l'espace intercellulaire est totalement obturé.

Elles sont composées d'occludines et de claudines qui sont des molécules calcium indépendantes et d'immunoglobulines dont les JAM (*Junctional Adhesion Molecule*).

Du côté cytoplasmique on trouve des protéines spécifiques appelées protéines ZO qui interagissent avec les molécules de la jonction d'une part, et permet l'ancrage des microfilaments d'actine (*cf. cytosquelette*) d'autre part, et ceci grâce à la cinguline qui joue le rôle d'adaptateur entre les protéines ZO et les microfilaments d'actine.

### b) Les jonctions intermédiaires (ou *zonula-adherens*)

Les *zonula-adherens* sont également des jonctions qui ceinturent la cellule au niveau du pôle apical, situées juste en dessous des *zonula-occludens*. Elles sont situées au niveau des cellules polarisées et laissent un espace intercellulaire plus important que les jonctions serrées.

Elles sont composées de cadhérines et de nectines qui sont des immunoglobulines spécifiques. Du côté cytoplasmique on trouve une plaque dense cytoplasmique où sont ancrées les cadhérines et les nectines :

- Les caténines permettent la jonction entre les microfilaments d'actines et les cadhérines.

- L'afadine et la ponsine permettent la jonction entre les microfilaments d'actines et les nectines.

### c) Les desmosomes

Les desmosomes ne sont cette fois-ci plus des zonulas, mais des macula-adherens qui sont des zones d'ancrage des filaments intermédiaires sous la forme de tâche, d'où le terme de « macula ». Ils permettent la formation de jonctions intercellulaires, contrairement aux hémidesmosomes qui créent des jonctions entre cellules et lame basale. On trouve les desmosomes principalement au niveau des épithéliums, mais pas exclusivement.

Ils sont composés de desmocolline et desmogléine qui sont des cadhérines (calcium dépendantes) spécifiques formant des interactions homophiles et hétérophiles entre elles, ainsi que des molécules de la superfamille des immunoglobulines.

La plaque dense a cette fois-ci une forme arrondie et est composée de desmoplakine, où se fixent les filaments intermédiaires de cytokératine. Il est important de noter que deux molécules font office d'intermédiaire entre les molécules transmembranaires (desmocolline et desmogléine), et les molécules de la plaque dense (desmoplakine) : la plakoglobine et la plakophiline. Les desmosomes permettent l'adhérence intercellulaire, le maintien de la forme des cellules et une résistance cytoplasmique.

### d) Les hémidesmosomes

Les hémidesmosomes sont présents au niveau du pôle basal et forment, comme dit précédemment, des jonctions avec la lame basale par interaction entre les intégrines des hémidesmosomes et les laminines de la lame basale.

Comme les desmosomes, les hémidesmosomes présentent une plaque dense qui permet d'ancrer les filaments intermédiaires de cytokératine. Ces derniers forment un réseau entre les plaques des desmosomes et hémidesmosomes permettant le maintien de la cohésion cellulaire.

### e) Les jonctions communicantes de type nexus (ou jonction gap)

Au niveau des nexus on observe un espace intercellulaire de 2 à 3 nm. On les trouve au niveau des faces latérales des cellules épithéliales et également des cellules non épithéliales (fibroblastes, cellules musculaires, cellules osseuses, neurones, etc.).

Ils sont composés de plusieurs centaines de canaux bidirectionnels par association de l'un à l'autre provenant d'une cellule et de l'autre. Chaque canal est un connexon formé de 6 sous-unités, dont chaque sous-unité est une connexine qui possède 4 segments transmembranaires. Les nexus permettent une coopérativité métabolique intercellulaire en fonction du gradient de

concentration (ions et petites molécules) et permet ainsi le transfert d'informations (second messagers tels que l'AMP cyclique, le calcium  $Ca^{2+}$  et certains enzymes).

Ces jonctions ne sont pas exprimées de manière constitutionnelle mais possèdent des demi-vies de l'ordre de 24 heures. La régulation de la perméabilité dépend donc de la concentration des nexus qui varie selon l'activité cellulaire.

## Chromatine, chromosomes et noyau cellulaire

### Généralités

Le noyau forme un compartiment volumineux (5 à 10  $\mu\text{m}$  du diamètre soit 20 à 25 % du volume cellulaire total selon les cellules), présent dans toutes les cellules eucaryotes sauf les hématies. L'intervalle de temps qui sépare deux divisions cellulaires (mitoses) successives est appelé interphase. Durant cette période, le noyau est dit « interphasique ». L'interphase est longue chez les organismes adultes, où les divisions sont rares. Par contre, chez l'embryon, l'interphase est courte, puisque les divisions se succèdent à un rythme rapide.

On dit que le noyau interphasique est un noyau au repos. Or ceci n'est pas totalement vrai, car c'est au cours de l'interphase que l'activité du noyau est la plus élevée, puisqu'il contrôle toute l'activité de la cellule.

### 1. Caractères généraux

#### a) Nombre de noyaux

La majorité des cellules possèdent un seul noyau centré. Cependant, il existe des cellules binucléées (à deux noyaux) comme les hépatocytes, et d'autres multi-nucléées comme les cellules musculaires (jusqu'à 100 noyaux).

#### b) Forme du noyau

Le noyau est généralement centré et de forme sphérique, mais il existe des noyaux aux formes irrégulières. Il peut être plurilobé (chez certains globules blancs ; comme les polynucléaires) ou macronucléé (en chapelet) chez certains protozoaires (comme le Stentor).

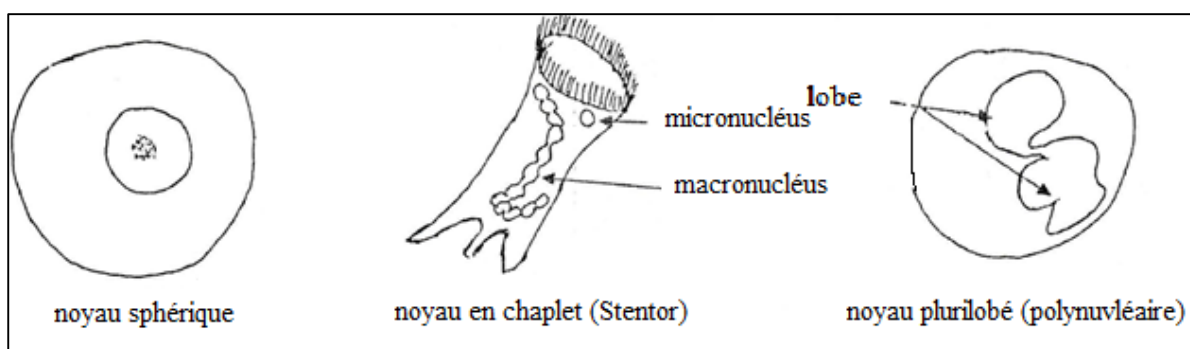


Figure 12 : les différentes formes du noyau.

#### c) Taille du noyau

La taille du noyau interphasique est proportionnelle à la taille de la cellule. De grosses cellules comme les ovocytes (cellules reproductrices femelles) ont un noyau volumineux. Il existe donc un rapport entre la masse cytoplasmique et la masse nucléaire totale.

Quand le volume cytoplasmique augmente, le noyau ne peut plus contrôler l'activité cellulaire, c'est pourquoi la cellule se divise.

## 2. Structure du noyau

Dans toutes les cellules, sauf les cellules procaryotes, le noyau est séparé du cytoplasme par une enveloppe nucléaire, qui est en réalité une différenciation du réticulum endoplasmique. Le noyau est constitué d'un nucléoplasme d'aspect homogène dans lequel baignent un ou plusieurs nucléoles. Dans le nucléoplasme, on distingue des masses plus denses : la chromatine, et apparaît sous forme de filaments reliant entre elle des masses plus denses.

### • L'enveloppe nucléaire

Elle est constituée de deux membranes, une externe et l'autre interne, renfermant un espace périnucléaire, qui est en continuité avec le réticulum endoplasmique par sa membrane externe qui porte des ribosomes. Chacune des deux membranes nucléaires a la structure d'une membrane unitaire. La membrane nucléaire présente de place en place des ouvertures circulaires : les pores nucléaires ; d'un diamètre de 500 à 1000 Å. Le nombre de pores varie selon l'état physiologique de la cellule. Ils sont nombreux dans les cellules actives (ovocytes).

### • La chromatine

L'unité fondamentale de la chromatine est appelée « le nucléosome » qui est composé d'ADN et d'histones. Elle se présente sous trois formes d'aspect morphologique et physiologique différent :

- Diffusée (euchromatine) : Cet état est observé pendant l'interphase et permet la transcription.
- Condensée (hétérochromatine) : Cet état est observé pendant l'interphase et ne permet pas la transcription.
- Hautement condensée (Chromosome métaphasique) : Cet état est observé pendant les divisions cellulaires et ne permet pas la transcription.

- L'hétérochromatine, liée à la membrane nucléaire et au nucléole, est formée de structures fibrillaires et de composés denses.

- L'euchromatine est formée d'un réseau très lâche de fibrilles baignant dans le nucléoplasme.

### • Le nucléole

C'est une structure intranucléaire de petite taille, très dense et sans membrane. Le nucléole est le site de biosynthèse des ribosomes. Il disparaît au début de la mitose et se reconstitue à la fin de cette dernière.

Le microscope électronique montre la présence de fibrilles de chromatine et des granules denses.

- **Le nucléoplasme**

Le nucléoplasme est au noyau ce que le cytosol (hyaloplasme) est au cytoplasme, mais il a une structure plus uniforme. Il renferme des granules chromatiniens de 200 Å de diamètre, un ou plusieurs nucléoles et une matrice nucléaire ou nucléosquelette qui comprend « la lamina nucléaire » : couche protéique de 0,2 µm d'épaisseur située au contact de la membrane nucléaire interne.

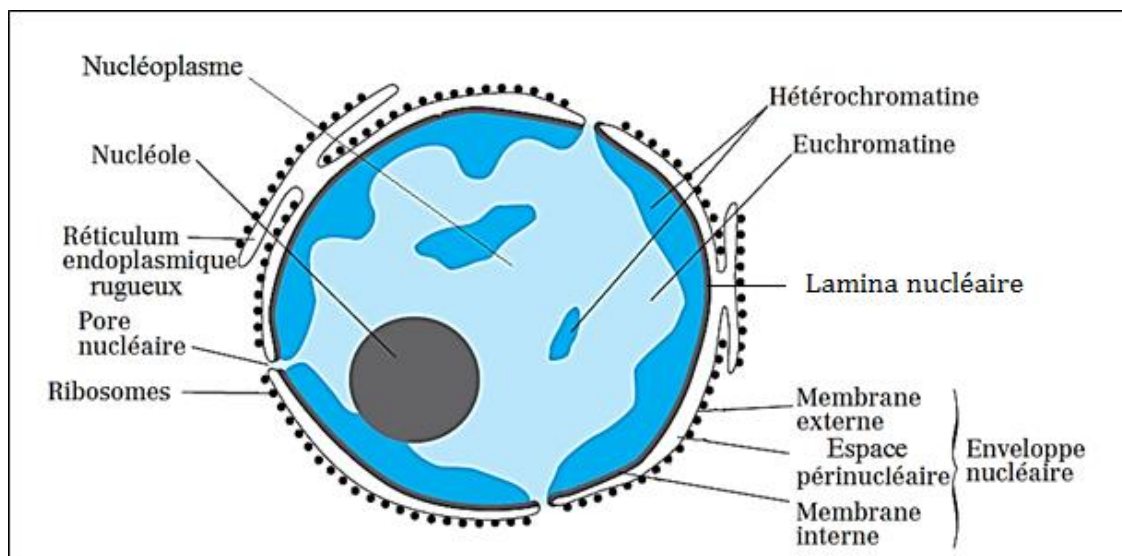


Figure 13 : Noyau en interphase.

### 3. Composition chimique du noyau

L'analyse du noyau montre les composants suivants :

- **L'ADN**

C'est l'acide désoxyribonucléique. C'est un polymère formé de deux chaînes de désoxyribonucléotides (presque deux mètres), torsadée en une double hélice. Du point de vue moléculaire, l'ADN se présente lié aux protéines basiques : les histones. Ce sont les histones qui imposent à la molécule d'ADN un repliement sur elle-même pour former la double hélice.

- **L'ARN**

Ou acide ribonucléique. Ce sont soit des macromolécules de haut poids moléculaire, ou bien sont de petite taille sous forme de molécules solubles.

- **Les protéines**

Elles représentent un groupe hétérogène.

### a) Les protéines basiques

Elles sont riches en acides aminés : arginine et lysine. Elles diffèrent par leur poids moléculaire et leur teneur en arginine et lysine. Quand on les rencontre dans les cellules somatiques, ce sont les histones, et dans les noyaux des spermatozoïdes, ce sont des protamines.

### b) Les protéines non histones

Elles représentent le reste des protéines nucléaires. Elles sont à caractère enzymatique, comme l'ADN-polymérase, l'ARN-polymérase et les nucléases.

- **Les lipides**

Ce sont principalement des lipides d'origine membranaire.

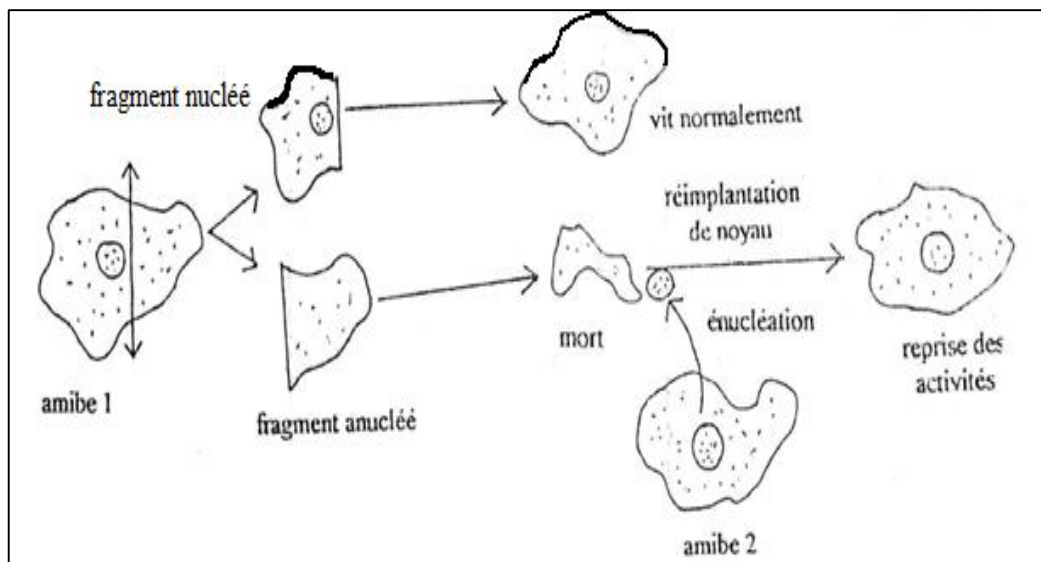
- **Les nucléotides**
- **Les sels minéraux**

$Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$  et  $Fe^{++}$ .

## 4. Rôles physiologiques

### a) Maintien de la vie cellulaire :

Expérience de la **mérotomie** (Figure 14).



**Figure 14** : Expérience de la mérotomie.

- Par section, on sépare une amibe en 2 fragments : un fragment nucléé et un fragment anucléé.
- Le fragment nucléé vit normalement, se développe et se divise.
- Le fragment anucléé survit pendant un certain temps, puis il meurt.

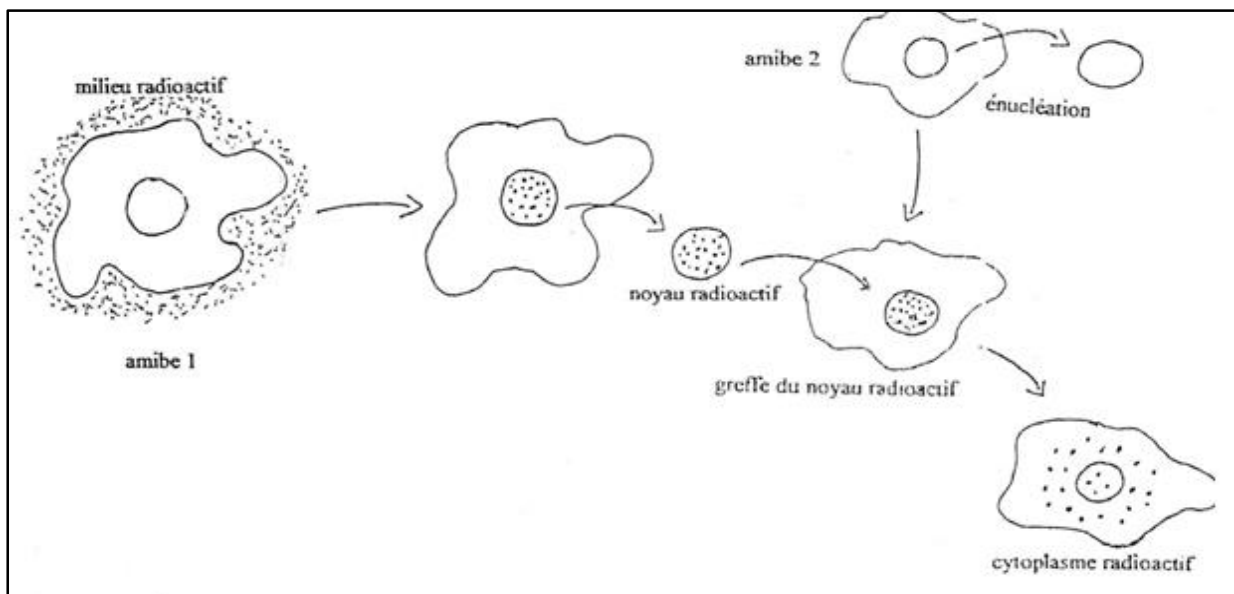
- Si on réimplante dans le fragment anucléé le noyau d'une autre amibe, il recommence à se déplacer normalement et à se nourrir.

Cette expérience montre bien le rôle essentiel du noyau dans le maintien de la vie cellulaire.

### b) Synthèse de l'ARN

On peut le démontrer grâce à l'expérience de **Goldeistein et Plant**.

- Une amibe est placée dans un milieu d'incubation contenant de la cytidine tritiée (marqueur radioactif).
- Après 2 heures d'incubation, on remarque que la radioactivité est incorporée dans l'ARN nucléaire.
- Le noyau de l'amibe dont l'ARN est radioactif, est alors greffé dans une amibe anucléée dont les synthèses protéiques sont bloquées (absence du noyau).
- Quelques heures après, on voit que la radioactivité a diminué dans le noyau et qu'elle est passée dans le cytoplasme. L'arrivée de l'ARN dans le cytoplasme provoque la reprise des synthèses protéiques.



**Figure 15** : Expérience Goldeistein et Plant.

## Ribosome et synthèse des protéines

### Généralités

Les ribosomes sont des organites qu'on peut rencontrer aussi bien chez les eucaryotes que chez les procaryotes. Ils ont été décrits pour la première fois par PALADE en 1953, comme des particules arrondies de 200 Å de diamètre.

### 1- Structure

Les ribosomes sont des particules globulaires de 150 à 200 Å de diamètre. Ils sont soit :

- Libres dans le cytosol ;
- Attachés du côté cytosolique aux membranes du REG ;
- Regroupés sous forme de chapelets de 5 à 20 ribosomes : polysomes (ou polyribosomes), attachés sur un ARN<sub>m</sub> (ARN messenger).

Chaque ribosome comporte 2 sous-unités de taille différente : une grande sous-unité et une petite sous-unité. Ils sont constitués de molécules d'acide ribonucléique ou ARN<sub>r</sub> (ARN ribosomal) et de molécules protéiques avec 80 % d'eau.

### 2- Constante de sédimentation

On ne peut étudier les ribosomes qu'après isolement. Les ribosomes sont caractérisés par un coefficient de sédimentation qui varie d'une espèce à une autre.

L'ultracentrifugation d'une suspension de ribosomes, provoque leur sédimentation (leur dépôt au fond du tube). Cette sédimentation permet de définir un coefficient de sédimentation (S) :

$$1 \text{ Svedberg (S)} = 1 \times 10^{-13} \text{ s}$$

Ceci veut dire que :

$$\text{Un ribosome } 70 \text{ S} = 70 \times 10^{-13} \text{ s}$$

### 3- Différents types de ribosomes

Il existe 4 grandes classes de ribosomes ; qui diffèrent par leur morphologie, leur coefficient de sédimentation et leur composition chimique.

#### 1) Les ribosomes des procaryotes (70 S)

Ces ribosomes ont un coefficient de sédimentation de 70 S. Les 2 sous-unités sont composées de :

##### ❖ Grande sous-unité (50 S)

Elle est formée de 2 chaînes d'ARN et de protéines :

- Une chaîne longue d'ARN<sub>r</sub> 23 S comportant 2900 nucléotides.

- Une chaîne courte d'ARN<sub>r</sub> 5 S avec 120 nucléotides.
- Des protéines ribosomales sont au nombre de 34 (de L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, L<sub>3</sub>,... à L<sub>34</sub>)

#### ❖ Petite sous-unité (30 S)

Elle ne contient qu'une longue chaîne d'ARN<sub>r</sub> 16 S et 1600 nucléotides. Les protéines sont au nombre de 21 (de S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, ..... à S<sub>21</sub>).

### 2) Les ribosomes des eucaryotes (80 S)

Leur coefficient de sédimentation est de 80 S.

#### ❖ Grande sous-unité (60 S)

Elle contient 3 chaînes :

- Une chaîne longue d'ARN<sub>r</sub> 28 S comportant 4700 nucléotides.
- Une chaîne courte d'ARN<sub>r</sub> 5,8 S avec 160 nucléotides.
- Une chaîne courte d'ARN<sub>r</sub> 5 S avec 120 nucléotides.

Les protéines sont au nombre de 49.

#### ❖ Petite sous-unité (40 S)

Elle renferme une seule longue chaîne d'ARN<sub>r</sub> 18 S composant de 1900 nucléotides. Les protéines ribosomales sont au nombre de 33.

### 3) Les mito-ribosomes

Ce sont les ribosomes des mitochondries. Ils sont différents des ribosomes du cytoplasme par leur constante de sédimentation qui est de 55 - 60 S, par celle de leurs sous-unités, et par leur taille.

### 4) Les plasto-ribosomes (70 S)

Ce sont les ribosomes des chloroplastes (qui renferment la chlorophylle). Ils sont de petite taille et sont soit attachés à la membrane du chloroplaste, soit groupés en polysomes (ou polyribosomes), ou libres. Les plasto-ribosomes sont formés de 2 sous-unités :

- Grande sous-unité (50 S) : elle est constituée de 2 ARN<sub>r</sub> 23 S et 5 S.
- Petite sous-unité (30 S) : elle est formée d'un ARN<sub>r</sub> 16 S

Les protéines sont au nombre de 50 environ.

### 4- Rôles physiologiques

Le rôle principal des ribosomes est la synthèse des protéines. Cette synthèse se fait en 2 phases :

- Une phase nucléaire : la transcription.
- Une phase cytosolique : la traduction.

Elle nécessite la présence d'ADN et d'ARN qui sont 2 types d'acides nucléiques qui diffèrent par :

- La nature du pentose (sucre en C<sub>5</sub>) : ribose pour l'ARN et désoxyribose pour l'ADN.
- Leurs bases azotées, où la Thymine est remplacée par l'Uracile dans l'ARN.

Les nucléotides sont formés de bases azotées :

- Pyrimidiques (elles dérivent de la pyrimidine) : Thymine, Uracile, Cytosine.
- Puriques (de la purine) : Adénine et Guanine.

L'ADN localisé dans le noyau, est formé de nucléotides. Un nucléotide comporte une molécule de sucre (pentose) le désoxyribose + une base azotée + une molécule d'acide phosphorique. C'est une double hélice formée de 2 brins enroulés sur eux-mêmes : l'ADN est bicaténaire. Les bases complémentaires sont reliées entre elles par des liaisons hydrogène (Thymine-Adénine et Guanine-Cytosine).

L'ARN est monocaténaire. Il existe différents types d'ARN selon leur site de synthèse, leur localisation et leur rôle : ARN<sub>m</sub> (ARN messenger), ARN<sub>r</sub> (ribosomal) et l'ARN<sub>t</sub> (de transfert).

### ➤ La synthèse des protéines

Elle ne se fait pas directement au niveau de l'ADN nucléaire, mais il existe un intermédiaire (qui a une certaine durée de vie) entre l'ADN et les protéines formées : c'est l'ARN. La synthèse des protéines se fait en 2 phases : une phase nucléaire : (la transcription), et une phase cytosolique (la traduction).

#### 1. La transcription

C'est la synthèse d'un polynucléotide complémentaire de l'un des 2 brins d'ADN : l'ARN<sub>m</sub>. C'est la phase nucléaire.

##### a) Mécanisme de la transcription

Certains éléments sont indispensables pour cette phase : l'ADN bicaténaire, l'ARN-polymérase, Mg<sup>++</sup>, Energie. L'ADN n'est qu'une sorte de « bande magnétique » où l'information contenue dans sa structure ne peut être exprimée que par un système de décodage. La transcription ne se fait que sur une seule chaîne : la chaîne informative.

Elle commence par la séparation des 2 brins d'ADN au niveau des liaisons faibles Hydrogène grâce à l'ARN-polymérase (enzyme de déroulement de l'hélice d'ADN) qui se fixe sur un site

de l'ADN et catalyse sa transcription en présence de  $Mg^{++}$ . Ce site de fixation de l'ARN-polymérase s'appelle « site initiateur » ou « promoteur » présent sur l'un des 2 brins d'ADN. Sous l'action de cette enzyme, les ribonucléotides complémentaires viennent se placer en face des désoxyribonucléotides, où l'Uracile se lie à l'Adénine. La transcription se fait dans le sens 5' → 3', jusqu'au codon stop. Il se forme ainsi l'ARN<sub>m</sub>, codon après codon. Un codon est un triplet de nucléotides déterminant un acide aminé précis.

### b) Maturation de l'ARN<sub>m</sub>

La maturation de l'ARN<sub>m</sub> comporte 2 phases :

- L'excision des introns qui n'ont aucun rapport avec la séquence des acides aminés de la protéine, mais sont importants dans la transformation de l'ARN pré-messager en ARN messenger.
- L'épissage ou la réunion des séquences appelées Exons qui constituent le message soumis à la traduction.

L'ARN<sub>m</sub> formé détient à son tour l'information génétique à coder.

## 2. La traduction

C'est la phase cytosolique. Les principaux éléments qui interviennent sont :

- L'ARN<sub>m</sub> qui détient l'information ;
- Les ribosomes : système de décodage. Ils ont 2 sites : A (Aminoacyl) et P (Peptidyl);
- Le stock cellulaire en acides aminés ;
- L'ARN<sub>t</sub> transporteur des acides aminés.

La synthèse d'une chaîne polypeptidique comporte 3 étapes : l'initiation, l'élongation et la terminaison.

### a. L'initiation

Elle commence par l'attachement, à une extrémité de l'ARN<sub>m</sub> de :

- La petite sous-unité ribosomale ;
- L'ARN<sub>t</sub> porteur du premier AA (AUG = Méthionine) et dont l'anticodon correspond au premier codon porté par l'ARN<sub>m</sub>. La liaison entre l'AA et l'ARN<sub>t</sub> se fait grâce à l'hydrolyse du GTP et une enzyme d'activation : l'Amino-acyl-ARN<sub>t</sub>-synthétase.
- La grande sous-unité ribosomale où l'AA lié au premier ARN<sub>t</sub> est associé au site P.

### b. L'élongation

L'allongement de la chaîne polypeptidique nécessite :

- La fixation des AA un à un et l'intervention d'un facteur d'élongation. La fixation se fait de l'extrémité N terminale à l'extrémité C terminale ;
- Un deuxième  $ARN_t$  porteur du deuxième AA vient se fixer sur le codon d' $ARN_m$  complémentaire au niveau du site A ;
- L' $ARN_t$  initial se détache du 1<sup>er</sup> AA et de l' $ARN_m$  et il est libéré dans le cytoplasme. Il y a donc formation d'une première liaison peptidique dans le site P, entre le groupement amine du deuxième aminoacyl- $ARN_t$  et le groupement carboxyl de la méthionine grâce à la peptidyl-transférase.

Ainsi, le ribosome se déplace de la longueur de 3 nucléotides, donc d'un codon et le 2<sup>ème</sup> aminoacyl- $ARN_t$  passe du site A au site P, et un nouveau cycle reprend. Il y a ensuite fixation du 3<sup>ème</sup> aminoacyl- $ARN_t$  sur le site A et il y a formation d'une 2<sup>ème</sup> liaison peptidique. L' $ARN_m$  est lu de cette manière d'un bout à l'autre, et à chaque codon un nouvel AA est fixé.

### c. La terminaison

La synthèse de la chaîne se termine quand le ribosome reconnaît un des 3 codons de terminaison ou codon de fin de lecture, ou codon Stop : UAA ou UAG ou UGA.

- La terminaison fait intervenir un facteur protéique de terminaison appelé RF ;
- Le dernier peptidyl- $ARN_t$  passe sur le site P. La peptidyl-transférase se comporte comme une hydrolase et elle rompt la liaison entre l' $ARN_t$  et la chaîne polypeptidique.
- La chaîne polypeptidique est libérée dans le cytosol.
- Le ribosome se détache de l' $ARN_m$  et les 2 sous-unités se dissocient et peuvent servir pour de nouvelles synthèses.

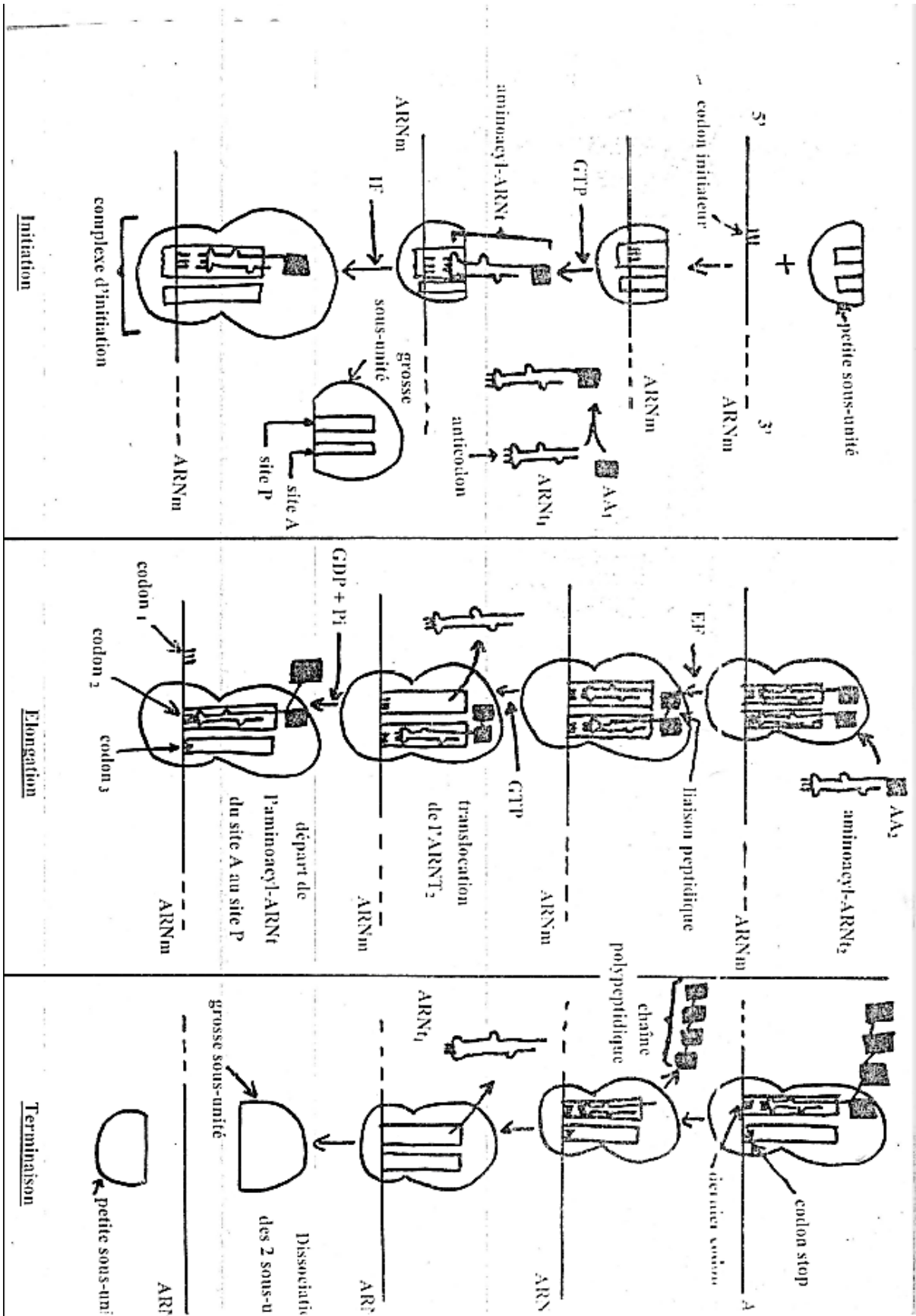


Figure 16 : Les différentes étapes de la traduction.

## Le système réticulum endoplasmique-appareil de Golgi

### Introduction

Le système endomembranaire est présent uniquement dans les cellules eucaryotes. C'est un système complexe fait de plusieurs cavités, de vésicules et de canalicules. Les cavités sont limitées par une membrane d'enveloppe et communiquent entre elles et avec la membrane plasmique, de manière transitoire, par l'intermédiaire des vésicules et des canalicules.

Le système endomembranaire comprend :

- le réticulum endoplasmique (RE) ;
- l'enveloppe nucléaire ;
- l'appareil de Golgi (AG) ;
- les endosomes ;
- les lysosomes ;
- les vésicules, les canalicules et les vacuoles.

### I. Le réticulum endoplasmique (RE)

Découvert en 1845 grâce aux techniques de microscopie optique, le réticulum endoplasmique forme un réseau de cavités dans le cytoplasme. Toutes les cellules eucaryotes possèdent un réticulum endoplasmique dont la membrane forme un feuillet continu entourant un espace interne appelé « lumière du réticulum endoplasmique ».

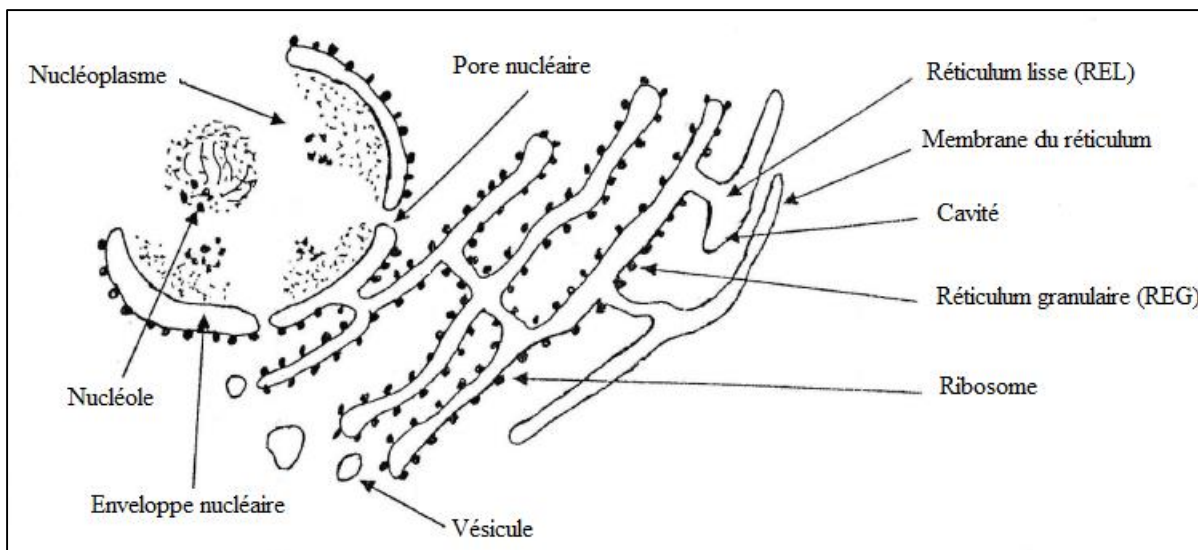
Selon que la membrane du réticulum porte ou non des ribosomes, on parle respectivement de réticulum endoplasmique granulaire (REG) ou rugueux (RER), et de réticulum endoplasmique lisse (REL). Le réticulum est en continuité avec l'enveloppe nucléaire et communique également avec l'appareil de Golgi et la membrane plasmique.

#### 1. Structure du réticulum endoplasmique

Le réticulum endoplasmique est constitué par un système de cavités intracytoplasmiques dont la forme est très variable : canaux, tubules, vésicules, vacuoles aplaties.

Les membranes qui délimitent le réticulum endoplasmique ont une face en contact avec le cytosol : c'est la face cytosolique, et une autre face dirigée vers la cavité interne : la face luminale.

Il existe un 3<sup>ème</sup> type de réticulum endoplasmique qui caractérise les cellules musculaires striées : le réticulum sarcoplasmique.



**Figure 17 :** Structure du réticulum endoplasmique.

## 2. Composition chimique

Diverses activités enzymatiques ont été montrées grâce aux méthodes cytochimiques, et en particulier la présence d'hydrolases et de peroxydases (qui catalysent les réactions d'oxydation).

La membrane du réticulum est constituée de lipides et de protéines. Les lipides, au taux de 30%, sont amphiphiles, et ce sont généralement des phospholipides. Les protéines sont essentiellement des enzymes, avec 70%. Elles sont nécessaires au métabolisme des lipides, aux phénomènes de détoxification et à la glycosylation.

## 3. Contenu des cavités

Le contenu des cavités du réticulum est une solution aqueuse où domine un mélange de protéines : holoprotéines, glycoprotéines, lipoprotéines ...etc. Ce contenu varie en fonction de chaque type cellulaire, de l'état physiologique des cellules, et de l'espèce.

Exemple : les cavités du réticulum des plasmocytes renferment les immunoglobulines (IG).

## 4. Rôles du réticulum endoplasmique

### ❖ Rôles du réticulum endoplasmique lisse (REL)

Le (REL) a un rôle très important dans la biosynthèse des lipides, vu la présence, au niveau de ses membranes, des enzymes qui interviennent dans le métabolisme des lipides (transférases, phosphatases et décarboxylases).

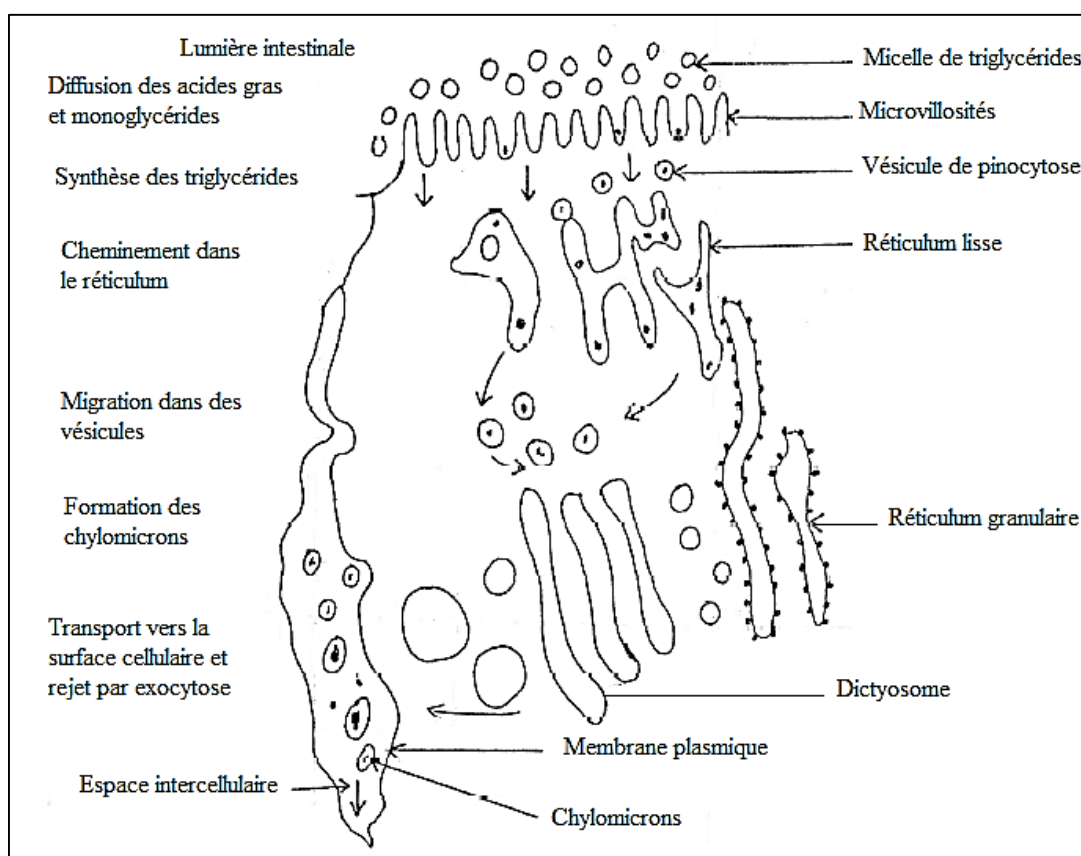
#### a. Métabolisme des lipides

La synthèse des phospholipides membranaires est assurée par le REL. Plusieurs enzymes catalysent ces réactions.

**Exemple :** Absorption des triglycérides.

Les triglycérides présents dans la lumière intestinale sont hydrolysés par la lipase pancréatique en acides gras libres et monoglycérides qui diffusent à travers la membrane plasmique des microvillosités intestinales et l'hyaloplasme apical.

Les acides gras et les monoglycérides parviennent jusqu' aux membranes du REL grâce aux enzymes membranaires du REL, les acides gras et les monoglycérides sont réassociés en triglycérides qui se regroupent à l'intérieur des cavités en gouttes lipidiques, et auxquelles sont associés des phospholipides, du cholestérol et des protéines : ce sont les micelles lipoprotéiques. Les micelles lipoprotéiques cheminent dans les cavités du REL puis migrent vers l'appareil de Golgi, dans des vésicules de transition. Ces vésicules fusionnent avec les vacuoles des dictyosomes. Les micelles lipoprotéiques riches en triglycérides, se transforment en chylomicrons après glycosylation. Ils sont transportés vers la surface cellulaire dans des vésicules de sécrétion et rejetés par exocytose.



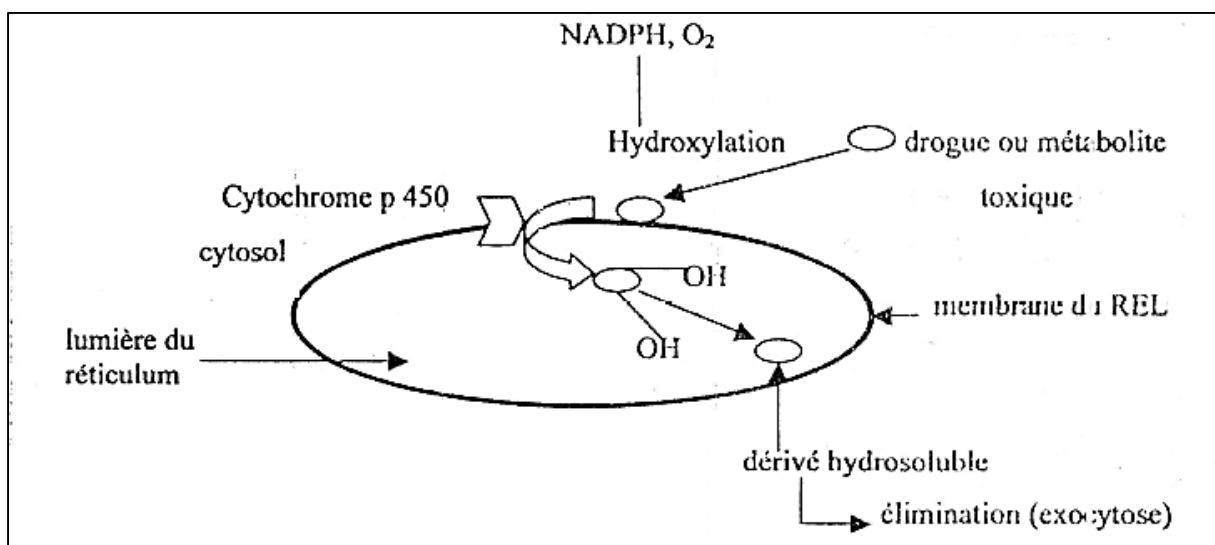
**Figure 18 :** Absorption des triglycérides par les entérocytes de rat.

### b. La détoxification

Le REL participe aux mécanismes de détoxification grâce au cytochrome p 450 (enzymes portées à la surface des membranes) qui utilise le NADPH et 1' O<sub>2</sub>.

Ce phénomène intéresse les drogues d'origine exogène et certains métabolites produits dans le cytosol.

- Les drogues, souvent liposolubles, sont insérées dans la bicouche lipidique de la membrane du REL.
- Les cytochromes p 450 hydroxylent ces molécules.
- Les substances toxiques hydroxylées deviennent hydrophiles et sont transloquées dans la lumière du REL.
- Les drogues ainsi solubilisées et neutralisées sont véhiculées vers la membrane plasmique où elles sont éliminées par exocytose.



**Figure 19 :** La détoxification par le REL.

### c. Stockage du calcium

Le REL est le site de stockage du Calcium. On le rencontre dans les cellules musculaires : c'est le réticulum sarcoplasmique.

Le stockage du calcium fait intervenir :

- La pompe à Calcium qui transporte le calcium du cytosol dans la lumière du REL.
- Une protéine contenue dans la lumière du REL qui fixe le calcium : la calséquestrine.
- Un canal de libération du calcium

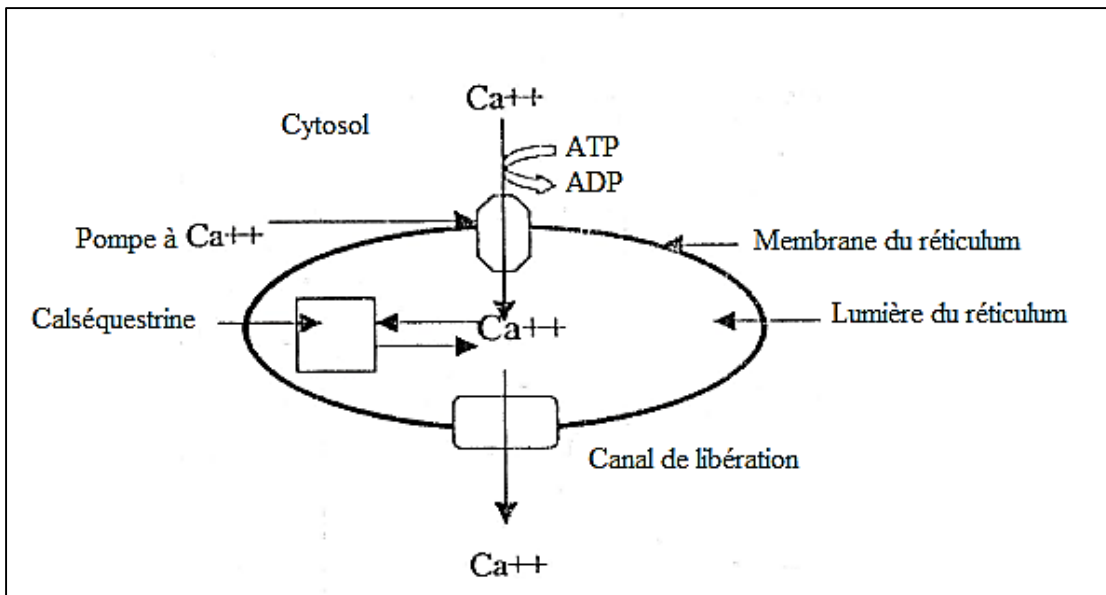


Figure 20 : Rôle du REL dans le stockage du calcium.

#### d. Biosynthèse des hormones stéroïdes

Dans le REL, sont synthétisées les hormones stéroïdes comme les hormones sexuelles : l'œstrogènes, la progestérone et la testostérone, ainsi que les hormones stéroïdes sécrétées par les glandes surrénales : la cortisone.

#### e. Transport et ségrégation

Le REL participe au transport et à la ségrégation de nombreuse substance dans la cellule.

#### ❖ Rôles du réticulum endoplasmique granulaire (REG)

##### a. La N-glycosylation

L'addition de glucides aux protéines est une des principales fonctions de biosynthèse du REG. En effet, la majorité des protéines qui sont enfermées dans la lumière du REG sont glycosylées avant d'être transportées vers l'appareil de Golgi, les lysosomes, la membrane plasmique ou le milieu extracellulaire, grâce aux glycosyltransférases. Les sucres sont accrochés sur l'Azote (le N-) de l'acide aminé (Asparagine), d'où le nom de N-glycosylation.

##### b. Biosynthèse des protéines par les ribosomes

La synthèse des protéines a lieu au niveau des ribosomes de la surface du REG. Ces protéines synthétisées sont soit des protéines membranaires, soit des protéines destinées à être excrétées. Au cours de leur biosynthèse, les protéines sont transloquées à travers la membrane du REG grâce à la présence de pores membranaires.

## II. L'appareil de Golgi

Il a été découvert en 1898 par le chercheur italien Golgi en examinant du tissu nerveux. Il fait partie du système endomembranaire. Il a l'aspect de petites écailles appelées dictyosomes, de 1 à 3  $\mu$  de diamètre chacune. Ces structures peuvent être liées entre elles par des tractus fins, ou bien elles peuvent être isolées les unes des autres.

### 1. Ultrastructure de l'appareil de Golgi

L'appareil de Golgi est constitué de différents éléments.

#### 1) Les saccules

Ce sont des structures ayant la forme d'un disque avec une face concave (creuse) et une face convexe (bombée).

- La face de l'appareil de Golgi située au voisinage du réticulum endoplasmique est appelée face externe ou proximale.
- La face éloignée du RE est appelée face interne ou distale.

Les saccules de la face externe sont plus aplatis que ceux de la face interne. Il apparaît au microscope électronique que les membranes délimitant les saccules sont perforées de place en place : on dit qu'elles sont fenestrées.

D'autre part, on distingue deux types de vésicules au voisinage des dictyosomes :

- Des petites vésicules de 200 Å de diamètre situées entre la face externe des dictyosomes et le réticulum endoplasmique : ce sont les vésicules de transition.
- Des vésicules de grande taille, dont le diamètre varie de 400 à 800 Å, situées à la périphérie de la face interne des dictyosomes : ce sont les vésicules de sécrétion. Ces vésicules de sécrétion seront déchargées dans le milieu extracellulaire, ce qui montre que l'appareil de Golgi joue un rôle dans la sécrétion.

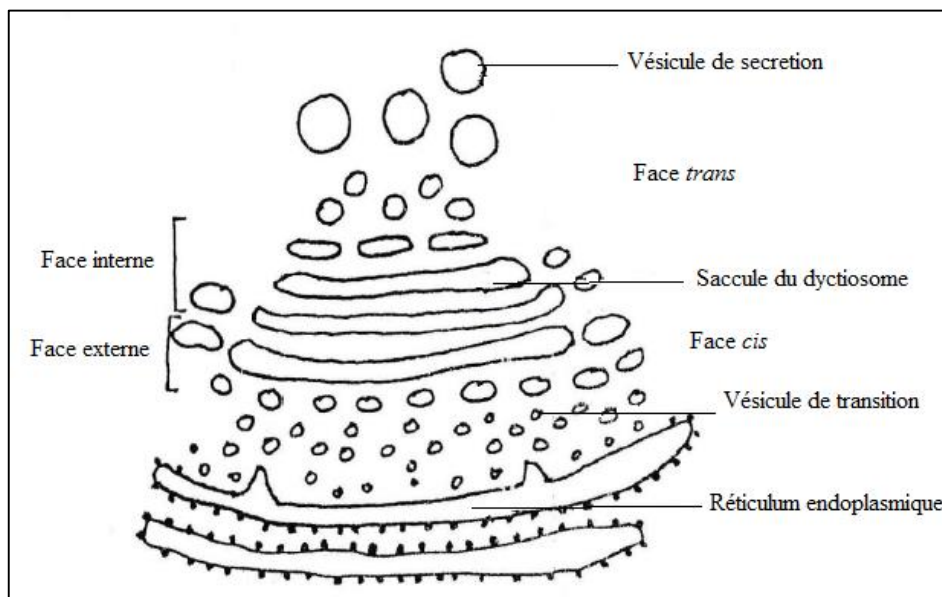
#### 2) Les dictyosomes

Ils sont composés de plusieurs saccules associés généralement de 3 à 12, parfois jusqu'à 20 saccules. L'ensemble des dictyosomes constitue l'appareil de Golgi.

Le nombre et la morphologie des dictyosomes varient d'un organisme à un autre, d'une cellule à une autre, et même dans la même cellule selon son état physiologique.

Les dictyosomes peuvent être dispersés dans le cytoplasme (cellules hépatiques, ovocytes) ou regroupés près du noyau, au voisinage du centriole (cellules pancréatiques et séminales).

Le nombre de dictyosomes d'une cellule est de 10 environ, mais certaines cellules en renferment plus de 1000 (glandes salivaires). Certains organismes possèdent un seul dictyosome.



**Figure 21** : Structure de l'appareil de Golgi.

## 2. Composition chimique

L'appareil de Golgi est riche en phospholipides (35%) et en protéines (65%) qui sont généralement des enzymes (phosphatases).

### ❖ Composition chimique de la membrane golgienne

La membrane golgienne a une structure et une composition chimique semblable à celle des membranes unitaires : 2 feuillets denses et un feuillet clair.

De plus, la membrane golgienne est plus riche en lipides que celle du réticulum endoplasmique, mais plus pauvre que la membrane plasmique :

- Réticulum endoplasmique : 30%
- Appareil de Golgi : 35%
- Membrane plasmique 40%

Elle possède aussi de grandes quantités d'enzymes, sous forme de protéines intégrées et enfoncées dans la bicouche lipidique.

## 3. Rôles physiologiques

L'appareil de Golgi assure plusieurs fonctions ; la glycosylation des protéines et des lipides; la sulfatation; l'emballage et le transfert des produits de sécrétion...etc.

### 1) La glycosylation

C'est l'O-glycosylation. L'appareil de Golgi représente le site où s'effectue le plus grand nombre de glycosylations, grâce aux glycosyl-transférases contenues dans les membranes golgiennes. C'est l'addition d'un ose aux lipides et aux protéines et aboutit à la formation de glycolipides et de glycoprotéines. On parle de l'O-glycosylation car le sucre est accroché sur l'Oxygène (O-) de l'acide aminé (sérine ou thréonine).

### 2) La sulfatation

Elle correspond à la fixation d'un ou plusieurs radicaux sulfates sur des glycoprotéines grâce à des sulfo-transférases localisés dans la membrane golgienne (comme les mucopolysaccharides sulfates).

### 3) Transfert et emballage des protéines

Ce rôle montre la relation qui existe entre l'appareil de Golgi et le réticulum endoplasmique. Les chaînes polypeptidiques synthétisées au niveau du réticulum endoplasmique granulaire (REG), sont transférées de la lumière du réticulum vers la face *cis* (entrée) de l'appareil de Golgi grâce aux vésicules de transition qui se forment par bourgeonnement des membranes du réticulum. Ces chaînes sont ensuite emballées dans la région golgienne dans les vésicules de sécrétion au niveau de la face *trans* (sortie). Les vésicules de sécrétion fusionnent pour donner des grains de sécrétion plus volumineux qui seront déchargés dans le milieu extracellulaire par exocytose. Pendant la décharge, les membranes des vésicules et des grains fusionnent avec la membrane plasmique.

### 4) Stockage

Les protéines (hormones et enzymes) passent dans des vésicules de sécrétion dans lesquelles elles sont concentrées et stockées jusqu'à leur sécrétion dans le milieu extracellulaire.

### 5) Biosynthèse des polysaccharides

Les polysaccharides (cellulose et glycogène) sont synthétisés dans l'appareil de Golgi. La cellulose va entrer dans la constitution de la paroi pectocellulosique (ou squelettique) des cellules végétales.

### III. Les lysosomes

Ce sont des organites cellulaires renfermant un mélange d'hydrolases acides dont l'activité optimale se situe à un pH de 3 à 6. La membrane des lysosomes empêche la cellule d'être digérée par ses propres enzymes lytiques.

Les lysosomes ont été découverts en 1951 par le biologiste belge De Duve. Tous les lysosomes sont limités par une membrane de 75 Å d'épaisseur. Leur nombre, leur taille et leur contenu enzymatique n'est pas le même suivant le type cellulaire et l'état physiologique.

#### 1. Types de lysosomes

Les lysosomes se trouvent sous 2 formes :

##### 1) Les lysosomes primaires

Ils renferment uniquement des enzymes lytiques : les hydrolases acides.

##### 2) Les lysosomes secondaires

Ils contiennent à la fois des hydrolases et des substrats en cours de digestion. Ils sont plus volumineux que les lysosomes primaires.

#### 2. Rôles physiologiques

Les lysosomes permettent la digestion de substrats très variés dans la cellule. Cette digestion est intracellulaire et se déroule à l'intérieur des lysosomes secondaires qui sont considérés comme étant un véritable estomac à l'échelle de la cellule.

- Quand le matériel digéré est d'origine exogène (extracellulaire), cette fonction est appelée hétérophagie.
- Quand les produits digérés sont d'origine endogène (intracellulaire), cette fonction est appelée autophagie.

Ces mécanismes interviennent dans la défense ou dans l'élimination de structures de l'organisme (par exemple, dans le cas du vieillissement).

Si les enzymes sont déchargées en dehors de la cellule, la digestion est dite extracellulaire (elle est fréquente dans le tissu conjonctif).

##### 1) Hétérophagie

Les substrats exogènes sont d'abord captés dans le milieu extracellulaire par endocytose dans des vésicules ou vacuoles d'endocytose. Les vésicules fusionnent alors avec des lysosomes primaires pour donner les lysosomes secondaires. La décharge des hydrolases enfermées dans

les lysosomes primaires se fait par fusion de la membrane lysosomiale avec la membrane des vésicules d'endocytose. Après la digestion, les petits substrats obtenus sont réabsorbés et réutilisés par la cellule. Il ne va rester dans les lysosomes secondaires que peu de substrats non digérés et les hydrolases qui se dénaturent : les lysosomes secondaires prennent alors le nom de corps résiduels. Les déchets non digérés sont rejetés dans le milieu extracellulaire par exocytose (c'est la défécation cellulaire), mais ils peuvent parfois rester à l'intérieur de la cellule.

## 2) Autophagie

C'est la digestion des substrats endogènes qui a lieu dans les lysosomes secondaires appelés vacuoles autophagiques, selon le processus suivant : une ou plusieurs lamelles du REL se détachent et se referment sur elles-mêmes pour isoler sous forme de vacuoles une portion de cytoplasme contenant des organites et des particules (ribosomes, mitochondries, particules de glycogène). Ces vacuoles fusionnent avec soit des lysosomes primaires, soit avec des lysosomes secondaires (corps résiduels) qui contiennent déjà des substances exogènes.

La digestion des vacuoles autophagiques donne des corps résiduels dont les déchets peuvent ou non être rejetés hors de la cellule par exocytose.

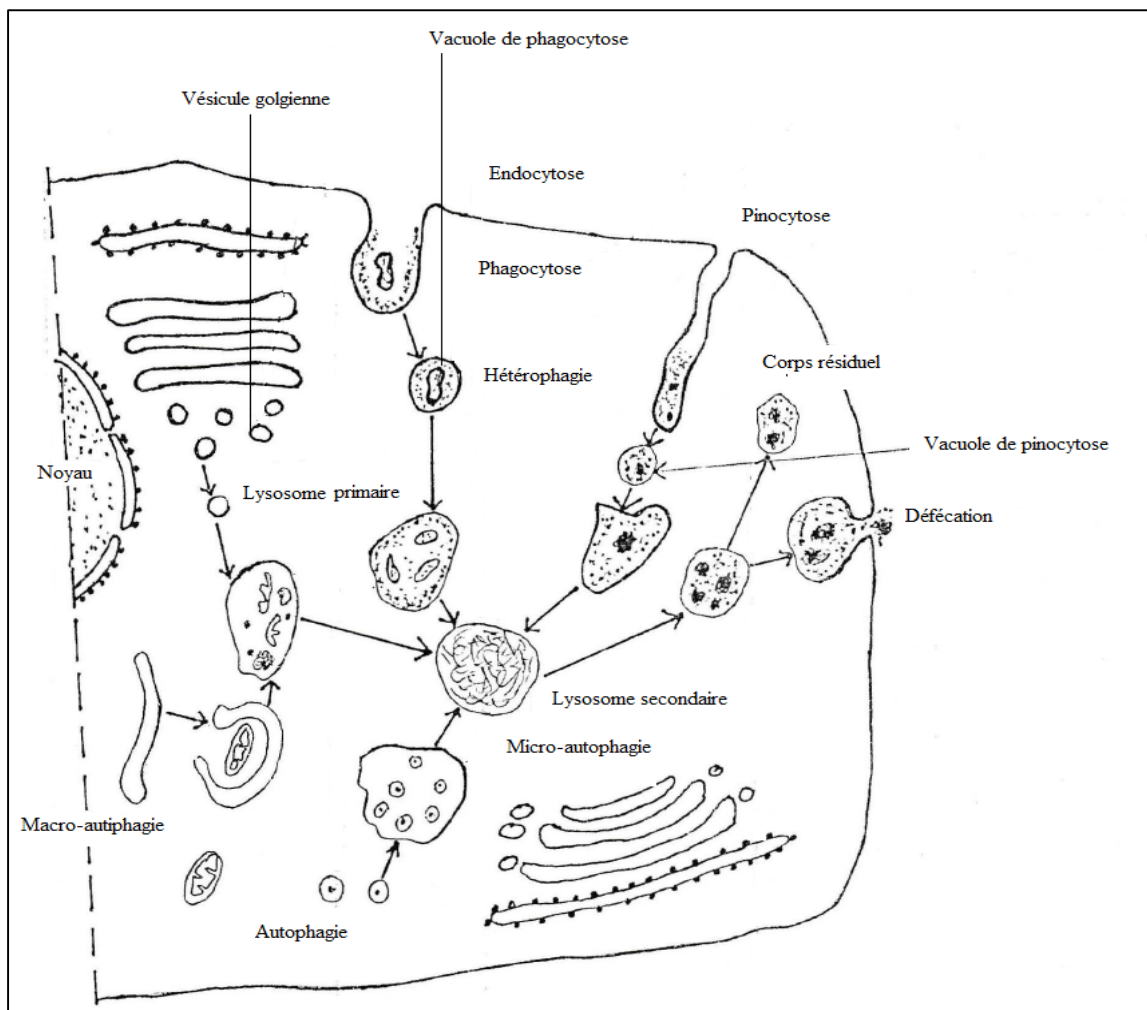


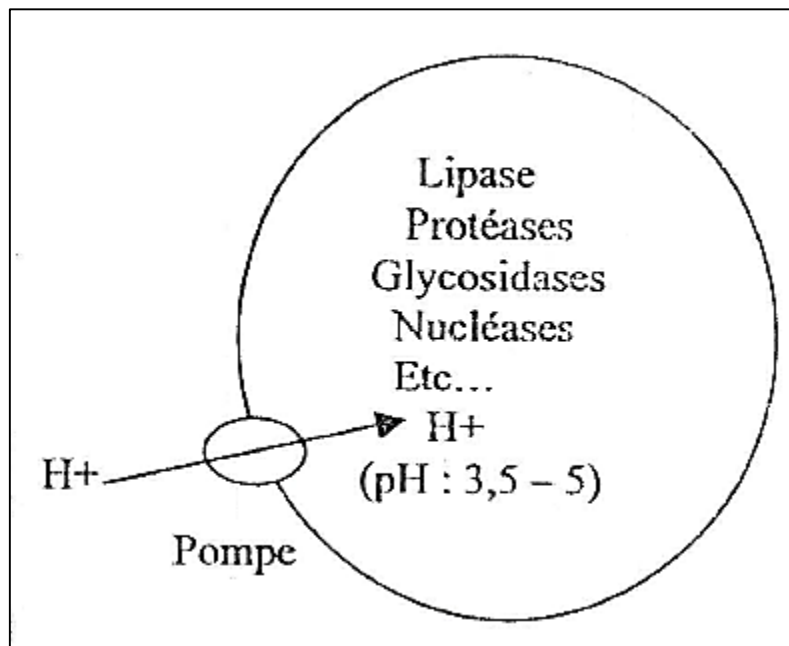
Figure 22 : Activité des lysosomes.

### 3. Maladies des lysosomes

Il existe plus de 50 maladies génétiques causées par un dysfonctionnement des lysosomes.

Les plus importantes sont :

- a. L'absence d'une enzyme dans les lysosomes. Exemple : absence de lipase, ce qui provoque l'accumulation de lipides dans la cellule. Si la maladie se produit dans le système nerveux, cela provoque un retard mental.
- b. Il y a parfois impossibilité aux produits de la digestion lysosomiale de passer dans le cytosol en raison de la mutation des protéines transporteurs membranaires.
- c. Présence de certaines substances non biologiques qui n'ont aucune enzyme de dégradation (comme les métaux). Exemple : l'aspiration chez certains travailleurs de poussières contenant de la silice. Celle-ci s'accumule dans les globules blancs des voies respiratoires, jusqu'à ce que la cellule éclate, ce qui provoque une inflammation avec sécrétion de mucus dans les poumons, et donc des difficultés respiratoires : la silicose.
- d. Absence de la protéine de la pompe à Hydrogène ou sa déformation par mutation. Le pH ne baisse pas assez (il n'atteint pas 3,5 - 5), et les hydrolases ne peuvent pas dégrader les substrats.



**Figure 23** : Les enzymes des lysosomes.

## Le noyau interphasique

### I. La chromatine

La chromatine, présente dans le noyau sous une forme plus ou moins compactée, est constituée d'ADN (le génome) et de protéines. Le génome est fragmenté en plusieurs molécules appelées chromosomes. Les cellules somatiques sont diploïdes : elles contiennent 46 chromosomes ( $2n$ ) chez l'Homme. Les gamètes (ovocytes ou spermatozoïdes) sont haploïdes : ils contiennent 23 chromosomes ( $n$ ).

La longueur totale des fragments d'ADN correspondant à ces 46 chromosomes mis bout à bout est de l'ordre de deux mètres ! La condensation de l'ADN est donc primordiale et indispensable pour que la totalité de l'ADN puisse rentrer dans le noyau.

La chromatine est plus ou moins spiralée et compactée selon l'état fonctionnel de l'ADN. Elle peut être :

- Dispersée (euchromatine).
- Condensée (hétérochromatine).
- Hautement condensée (chromosome métaphasique).

1. L'euchromatine = Fibres de type A = 11 nm de diamètre L'euchromatine correspond à de la chromatine décondensée. Elle est constituée de fibres nucléosomiques (11 nm). Elle est accessible aux ARN polymérase et est donc active d'un point de vue transcriptionnel.

2. L'hétérochromatine = Fibres de type B = 30 nm de diamètre

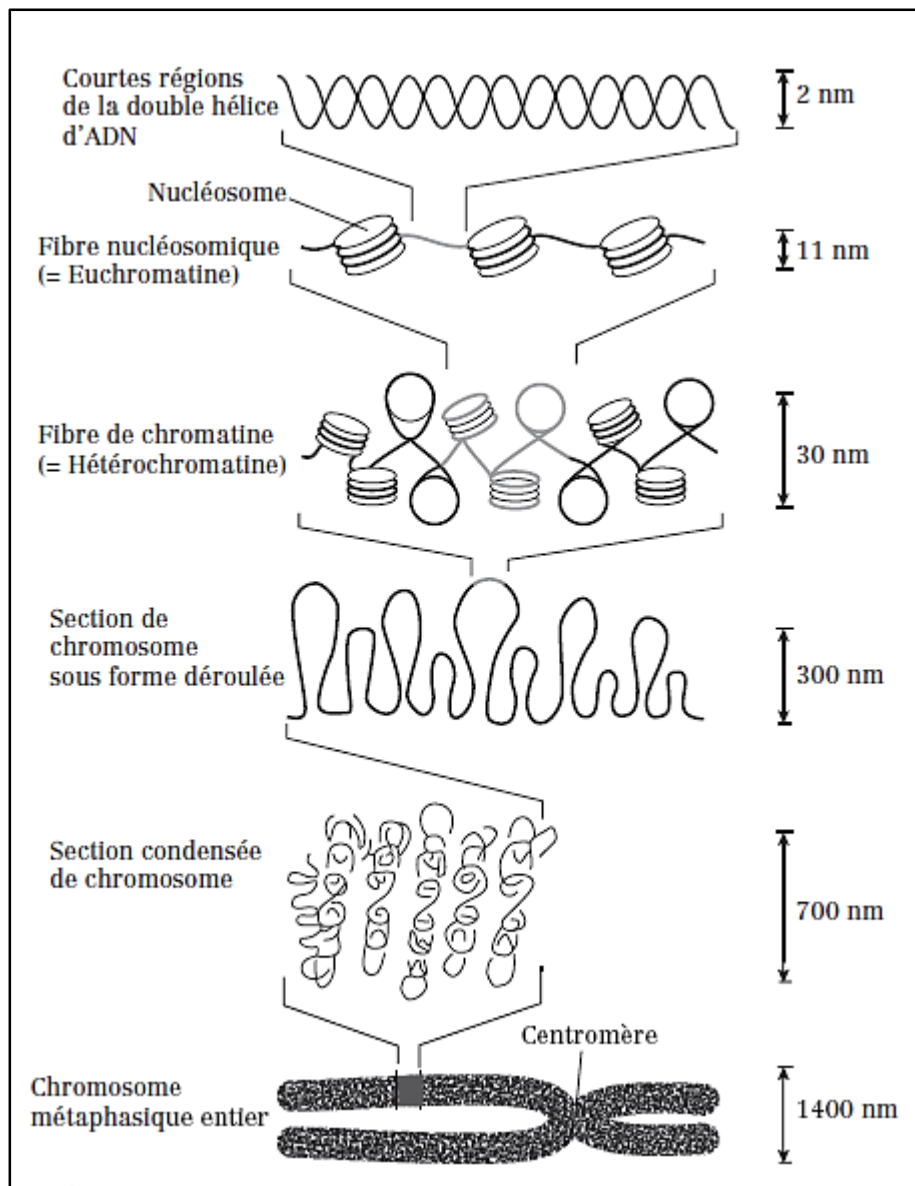
L'hétérochromatine est plus dense aux électrons que l'euchromatine. Elle est plus condensée et constituée de fibres de chromatine (30 nm).

Une partie est plus concentrée à la périphérie du noyau et autour des nucléoles.

80 à 90 % de l'ADN nucléaire est sous forme d'hétérochromatine.

Elle est inactive d'un point de vue transcriptionnel. Il en existe deux formes :

- L'hétérochromatine constitutive ;
- L'hétérochromatine facultative.



**Figure 24 :** Empaquetage de la chromatine.

Résultat net : chaque molécule d'ADN a été Empaquetée dans un chromosome mitotique qui est 10 000 fois plus court que sa longueur déroulée.

a) L'hétérochromatine constitutive : Elle correspond à des fragments d'ADN qui ne sont jamais transcrits. On la retrouve au niveau des centromères et des télomères des chromosomes et elle contient souvent des séquences répétitives.

b) L'hétérochromatine facultative : Elle correspond à des fragments d'ADN non transcrits dans la cellule où ils sont observés mais qui peuvent être transcrits dans d'autres types cellulaires (ou dans la même cellule dans un autre état de différenciation). Elle explique en partie les phénomènes de différenciation cellulaire.

## II. Nucléosome et compaction de l'ADN

### 1. Premier niveau de compaction de l'ADN : les nucléosomes

Les nucléosomes sont des structures ayant la forme d'un cylindre de 11 nm de diamètre, formées de petites protéines basiques appelées histones nucléosomiques qui sont chargées positivement (car riches en arginine et lysine), ce qui facilite leur fixation à l'ADN qui est chargé négativement car il porte des groupements phosphates. Il s'agit d'un octamère composé de 2 histones H2A, 2 histones H2B, 2 histones H3 et 2 histones H4.

**Remarque :** Les histones sont des molécules très conservées au cours de l'évolution qu'on ne retrouve pas chez les procaryotes.

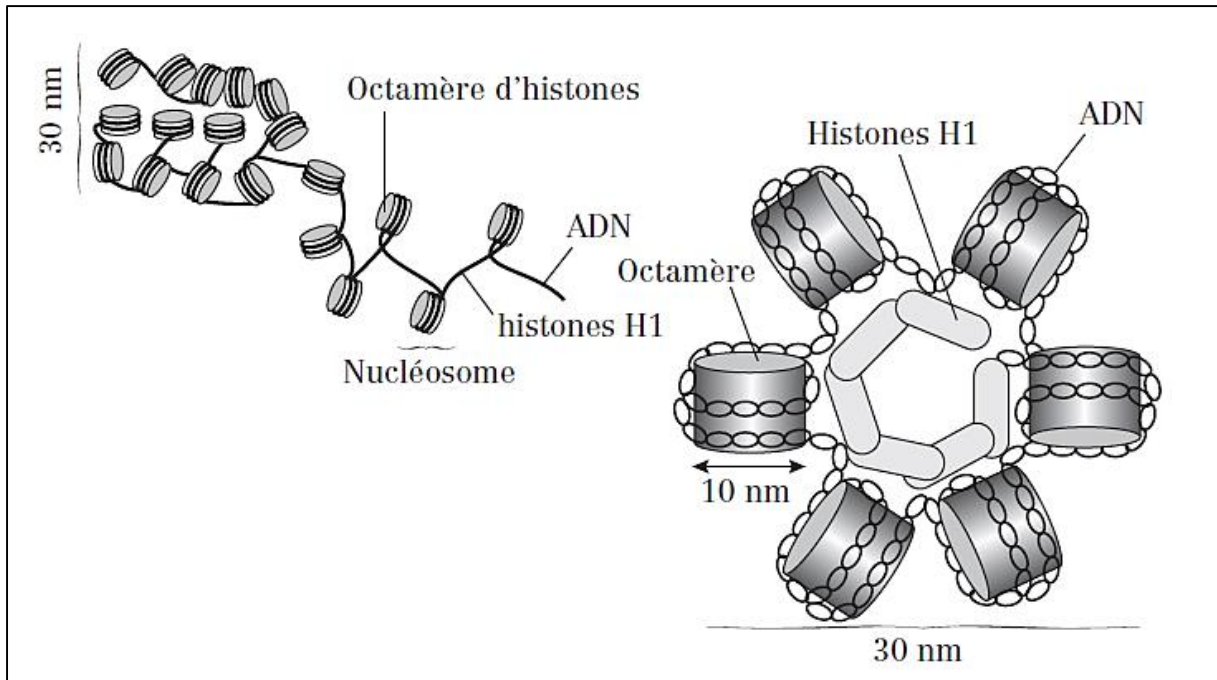
L'ADN fait 2 tours (=146 paires de bases) autour de chaque cylindre. Les nucléosomes sont séparés par un court segment d'ADN de taille variable (60-80 pb) appelé segment de liaison. L'ensemble constitué par l'octamère d'histones et les 146 paires de bases de l'ADN (enroulement de 1,8 fois) qui lui sont associées représente le « cœur » nucléosomique (ou « nucléosome » proprement dit). La chaîne d'ADN ressemble alors à un collier de perles.

### 2. Deuxième niveau de compaction : le solénoïde

Les nucléosomes sont associés par 6 par une autre histone, l'histone H1 ou histone de liaison, pour former des « solénoïdes ». L'histone H1 se lie à l'ADN à sa sortie du nucléosome. L'association du nucléosome avec l'histone H1 constitue le chromatosome. Les molécules d'histone H1 sont reliées entre elles par des liaisons peptidiques. Elles sont responsables de la constitution des fibres de chromatine de 30 nm de diamètre ou de type B.

**Remarque :**

- Des protéines non histones (PNH) sont également liées à l'ADN.
- Dans certaines zones (zones de régulation), l'ADN ne peut pas être associé à des histones. Les interactions entre les H1 déterminent une condensation de l'enchaînement des chromatosomes reliés entre eux par les histones H1, ce qui correspond aux fibres chromatiniennes de type A : 11 nm.



**Figure 25** : Niveau supérieur de condensation conduisant aux fibres chromatiennes de type B.

### Le chromosome métaphasique

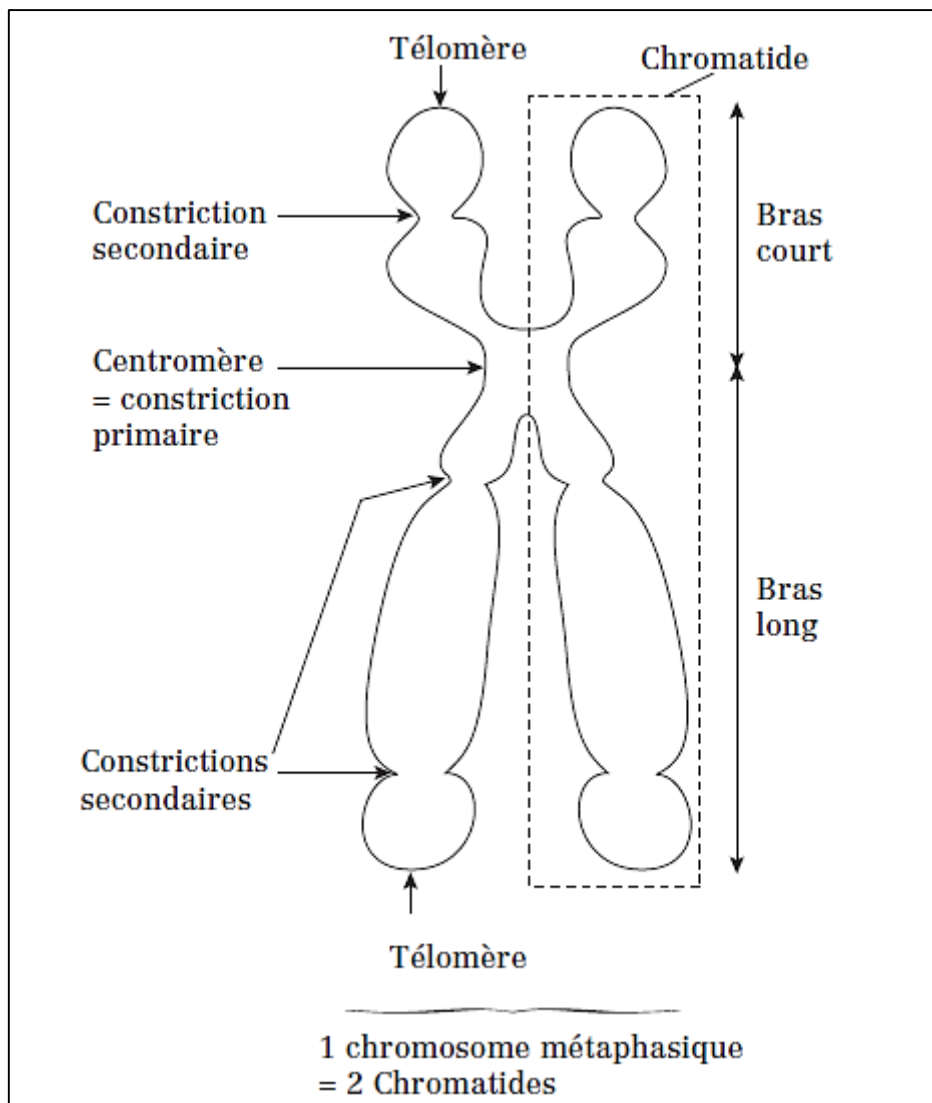
Le génome humain est composé de :

- 22 paires d'autosomes ;
- 1 paire de gonosomes (chromosomes sexuels) : XX ou XY.

C'est au cours de la métaphase de mitose qu'on peut le mieux observer les chromosomes au microscope optique.

Chaque chromosome métaphasique est composé de trois régions :

- Le centromère (= constriction primaire) ;
- Les télomères ;
- Les 2 chromatides.



**Figure 26 :** Schéma d'interprétation d'un chromosome métaphasique.

### 1. Le centromère

C'est une zone d'étranglement sur le chromosome qu'on appelle aussi la constriction primaire. Elle sépare les chromatides en 2 bras. Ce sont des zones d'hétérochromatine constitutive contenant des séquences répétitives non codantes. Ce sont les structures responsables de l'accrochage des chromosomes au fuseau mitotique.

### 2. Les télomères

Ils sont situés aux extrémités des chromosomes. Ils en assurent leur protection en évitant leur effilochement et leur soudure avec d'autres chromosomes. Les télomérases, qui sont des transcriptases inverses, assurent la réplication des télomères. Il existe une forte corrélation entre la longueur des télomères et la capacité des cellules à proliférer. Ainsi, les cellules ayant des télomères courts pourront assurer moins de divisions cellulaires que des cellules ayant de longs

télomères. La longueur des télomères est liée au vieillissement cellulaire : l'érosion des télomères observée au fil des divisions cellulaires est une cause importante de sénescence cellulaire. Chez l'Homme, ils sont composés d'une séquence de 6 pb (5'-TTAGGG-3') qui se répète sur 5 à 15 kb (hétérochromatine constitutive).

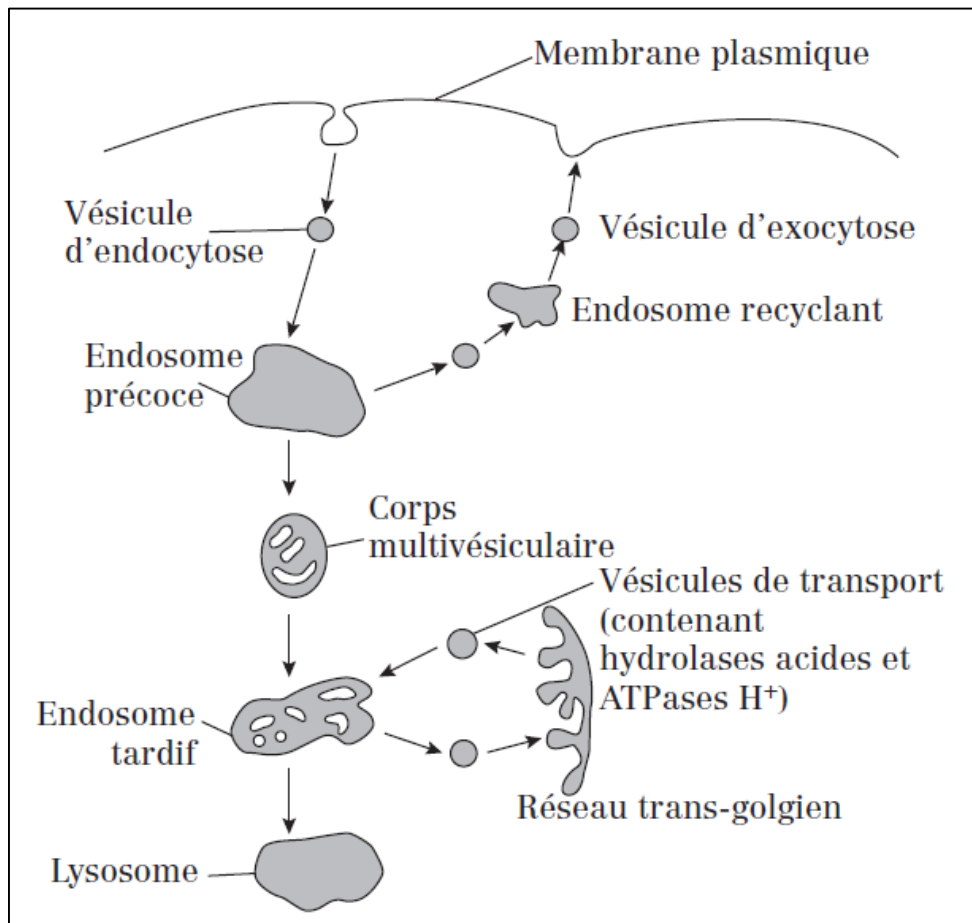
## Le système endosomal : endocytose

### I. Définition

Les endosomes sont un compartiment membranaire très hétérogène sur le plan morphologique. Les endosomes ont plusieurs origines. Ils proviennent :

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

Le matériel membranaire soluble des endosomes est transporté vers les lysosomes avec lesquels il peut fusionner.



**Figure 27** : La voie de l'endocytose depuis la membrane plasmique jusqu'aux lysosomes.

## II. Classification

On distingue deux classes d'endosomes en fonction de leur pH :

- a) **Les endosomes précoces** : sont directement alimentés par l'endocytose. Ils présentent un pH proche de celui du milieu extracellulaire (7,4).
- b) **Les endosomes tardifs** : présentent un pH plus acide (6,5) intermédiaire entre le pH des endosomes précoces et celui des lysosomes (5).

La maturation qui transforme les endosomes précoces en endosomes tardifs se produit par la formation de corps multivésiculaires (CMV) qui contiennent de grandes quantités de membranes invaginées et de vésicules internes.

Les CMV se transforment graduellement en endosomes tardifs, soit en fusionnant les uns avec les autres, soit en fusionnant avec des endosomes tardifs préexistants. Les endosomes tardifs communiquent avec le réseau *trans*-golgien via des vésicules de transport qui délivrent les protéines qui transformeront les endosomes tardifs en lysosomes.

Ainsi, le matériel endocyté se retrouve d'abord dans les endosomes précoces puis dans les endosomes tardifs.

Le phénomène d'acidification est très important pour deux raisons :

- 1) Il permet au matériel endocyté (ligand) de se décrocher de son récepteur, dans le cas où l'endocytose est spécifique. Dans ce cas, le récepteur est souvent recyclé vers la membrane plasmique par l'intermédiaire de vésicules bourgeonnant depuis les endosomes précoces.
- 2) Il permet le fonctionnement optimal des hydrolases qui commencent à digérer le matériel endocyté.

## La mitochondrie

### Introduction

Les mitochondries sont des organites cytoplasmiques de toutes les cellules eucaryotes. Elles sont de forme variable : sphères ou bâtonnets aux extrémités arrondies. Elles sont dispersées dans le cytoplasme et leur nombre varie d'une cellule à une autre : de quelques-unes dans les levures, à un millier dans les hépatocytes.

### I. Structure

Le microscope électronique montre que les mitochondries sont des organites à double membrane. La membrane externe (60 Å d'épaisseur) se trouve au contact du cytosol et a une structure de membrane unitaire. La membrane interne envoie à l'intérieur de la matrice des crêtes mitochondriales. Les deux membranes sont séparées par un espace inter-membranaire clair d'épaisseur variable. La membrane interne limite un espace intérieur appelé « matrice mitochondriale ».

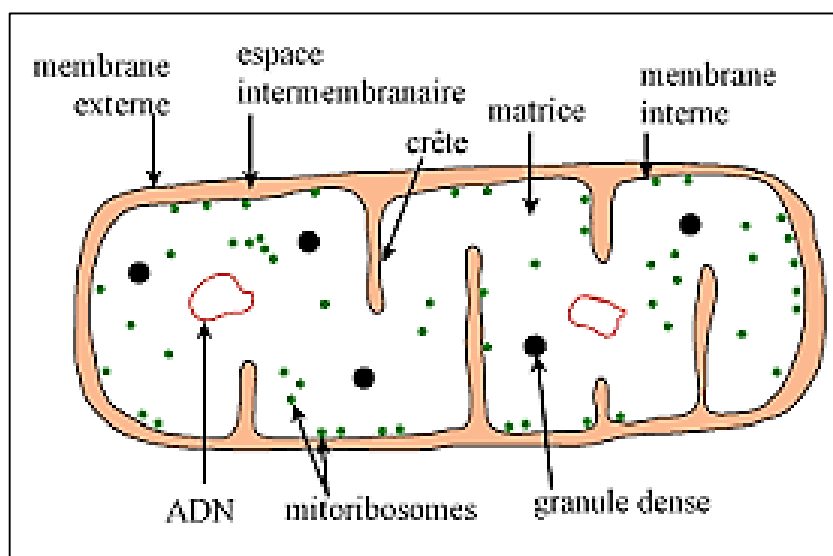


Figure 28 : Mitochondrie au microscope électronique.

### II. Composition chimique

#### 1. La membrane externe

Elle se compose de 40% de lipides et de 60% de protéines. Les lipides sont en majorité des phospholipides, et le cholestérol existe en faible quantité. Les protéines sont surtout des enzymes intervenant dans le métabolisme des lipides comme la thiokinase, et les enzymes de la chaîne des transporteurs d'électrons. Cette membrane est perméable à des métabolites et coenzymes.

## 2. La membrane mitochondriale interne

Sa surface est 5 fois plus grande que la membrane interne (grâce aux crêtes). Elle est formée de 20% de lipides et 80% de protéines. Elle ne contient pas de cholestérol. Les lipides sont essentiellement des phospholipides (Cardiolipides). Les protéines sont en majorité les constituants de la chaîne respiratoire : transporteurs d'électrons comme les cytochromes, les déshydrogénases et l'ubiquinone. La membrane interne présente des particules fixées grâce à leur pédoncule. Elles sont constituées d'une tête sphérique, portée par un pédoncule rattaché à une base.

La membrane mitochondriale interne est imperméable aux protons ; elle présente une perméabilité sélective grâce à des transporteurs spécifiques qui assurent des échanges par diffusion sans consommation d'énergie :

- ❖ Transporteur d'ADP/ATP : il couple le transport de l'ADP (entrée) avec sortie de l'ATP ;
- ❖ Transporteur d' $\text{H}_2\text{PO}_4/\text{OH}$  ;
- ❖ Transporteur de succinate/malate ;
- ❖ La carnitine enzyme qui permet le transport passif des acides gras.

On trouve aussi les constituants de la chaîne respiratoire : ce sont les transporteurs d'électrons : ils catalysent les réactions d'oxydo-réduction. Certains transportent simultanément des  $e^-$  et des protons  $\text{H}^+$  : ce sont les transporteurs d'hydrogène : déshydrogénases flavoprotéiques (NADH - déshydrogénase) et le coenzyme Q ou ubiquinone. Les autres transportent uniquement des  $e^-$  : les cytochromes (cyt.a ; cyt  $a_3$  ; cyt  $b$  ; cyt  $c$  ; cyt  $c_1$ ).

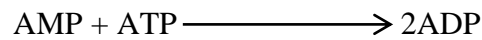
La NADH - déshydrogénase a un groupement prosthétique qui est la flavine mononucléotide ou FMN qui catalyse le transfert de 2  $e^-$  du NADH à un accepteur qui est réduit. Cet accepteur est le coenzyme Q (ubiquinone).

Les cytochromes sont des protéines dont le groupement prosthétique est l'hème. Le fer du cytochrome peut passer de l'état ferreux (réduit)  $\text{Fe}^{++}$ , à l'état ferrique (oxydé)  $\text{Fe}^{+++}$  par perte d'un électron. Les cytochromes ne peuvent transporter qu'un seul électron.

On trouve au niveau des particules pédonculées l'ATPase mitochondriale, responsable de la phosphorylation de l'ADP en ATP.

### 3. L'espace intermembranaire

Il contient des enzymes dont la plus importante est l'adényl-kinase qui convertit l'AMP (Adénosine monophosphate) en ATP. Dans un premier temps,



Puis l'ADP traverse la membrane mitochondriale grâce aux transporteurs spécifiques et il est phosphorylé en ATP.

### 4. La matrice mitochondriale

Elle contient des petites molécules comme les ions, minéraux, nucléotides, ...etc. et aussi des macromolécules comme les enzymes (protéines), classées en 2 catégories : les enzymes du cycle de Krebs, et les enzymes du catabolisme des acides gras (Hélice de Lynen). La matrice contient aussi de l'ADN et des ribosomes.

## III. Rôles physiologiques des mitochondries

Les mitochondries assurent plusieurs fonctions dans la cellule :

- 1- La respiration cellulaire ;
- 2- Le transport de molécules à travers les membranes mitochondriales ;
- 3- Le transport de cations bivalents :  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Mg}^{++}$  ;
- 4- Le transport de cations monovalents :  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  ;
- 5- Le transport d'anions et de petites molécules (acides gras) ;
- 6- La synthèse des constituants mitochondriaux.

### ❖ La respiration cellulaire

La synthèse de l'ATP est la fonction la plus importante de la mitochondrie. Elle se fait en 3 étapes :

- 1- Il y a oxydation de l'acide pyruvique et des acides gras en Acétyl-Coa dans la matrice. L'acide pyruvique provient de la glycolyse et les acides gras proviennent de l'hydrolyse des triglycérides, dans le cytoplasme. La protéolyse peut donner dans certains cas de l'acide pyruvique qui sera aussi oxydé en Acétyl-Coa.
- 2- Le cycle de Krebs se réalise dans la matrice. C'est la dégradation de l'Acétyl-Coa en  $\text{CO}_2$  et  $\text{H}_2\text{O}$  (décarboxylation et déshydrogénation).

3- Il y a la phosphorylation oxydative ou chaîne respiratoire. Les atomes d'Hydrogène arrachés aux différents substrats sont transportés jusqu'à l' $O_2$  moléculaire par la chaîne respiratoire (pour donner  $H_2O$ ). L'énergie perdue par les électrons est en partie récupérée par la phosphorylation de l'ADP en ATP.

**Remarque :** La dégradation des molécules d'acides gras en Acétyl-Coa est appelée la «  $\beta$ -oxydation ».

#### ❖ Cycle de Krebs

Le cycle de Krebs ou cycle du citrate a lieu dans la mitochondrie chez les eucaryotes. Il comporte huit réactions enzymatiques :

- Synthèse du citrate à partir de l'oxaloacétate et de l'acétyl-CoA (citrate synthase).
- Isomérisation du citrate qui permet l'obtention de l'isocitrate (Aconitase).
- Décarboxylation et déshydrogénation de l'isocitrate pour donner l'alpha-cétoglutarate (Isocitrate déshydrogénase).
- Décarboxylation et déshydrogénation de l'alpha-cétoglutarate. On obtient le succinylCOA ( $\alpha$ -cétoglutarate déshydrogénase).
- Formation d'une liaison phosphate donnant le succinate (Succinyl-CoA synthétase).
- Déshydrogénation du succinate qui donne le fumarate (Succinate déshydrogénase).
- Hydratation du fumarate donnant le malate (Fumarase).
- Déshydrogénation du malate et régénération de l'oxaloacétate (Malate déshydrogénase). L'oxaloacétate ainsi formé permet de retrouver le citrate présent au début du cycle de Krebs.

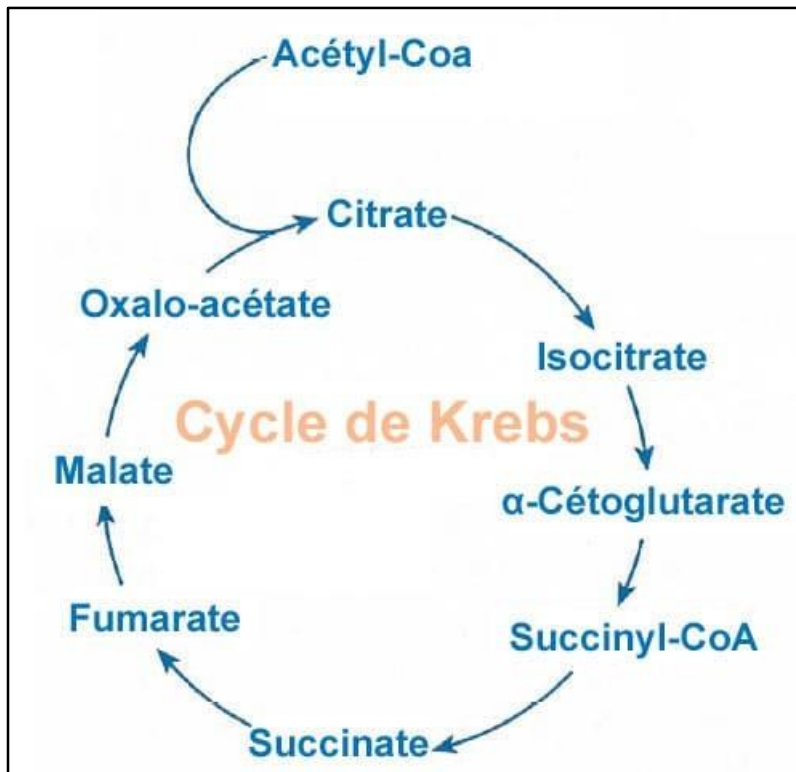


Figure 29 : Cycle de Krebs.

## Les chloroplastes

### I. Définition

Les chloroplastes sont des organites présents dans le cytoplasme des cellules végétales eucaryotes sous forme de disques aplatis de 2 à 10  $\mu\text{m}$  de diamètre sur environ 1  $\mu\text{m}$  d'épaisseur. L'ensemble des chloroplastes d'une cellule constitue « le plastidome ». Les chloroplastes sont caractérisés par leurs pigments, chlorophylles et caroténoïdes, qui assurent l'absorption de l'énergie solaire qu'ils transforment en énergie chimique au cours de la photosynthèse.

### II. Structure et ultrastructure

#### 1. Structure

Chez les végétaux supérieurs (*Plantae*), au microscope photonique les chloroplastes ont une forme ovoïde, de couleur verte due aux pigments chlorophylliens.

#### 2. Ultrastructure

##### a. MET faible grossissement

L'observation au MET montre que le chloroplaste se présente comme un disque ovoïde ou lenticulaire de 2 à 10  $\mu\text{m}$  de long et 1 à 2  $\mu\text{m}$  de diamètre. Il est constitué de trois compartiments qui coopèrent étroitement pour réaliser la photosynthèse :

- L'enveloppe : formée d'une double membrane, une membrane externe et une membrane interne, délimitant le chloroplaste.

- Les thylakoïdes : un réseau membranaire présentant une structure extrêmement ordonnée sous forme de citernes aplaties plus ou moins longues constituant les thylakoïdes.

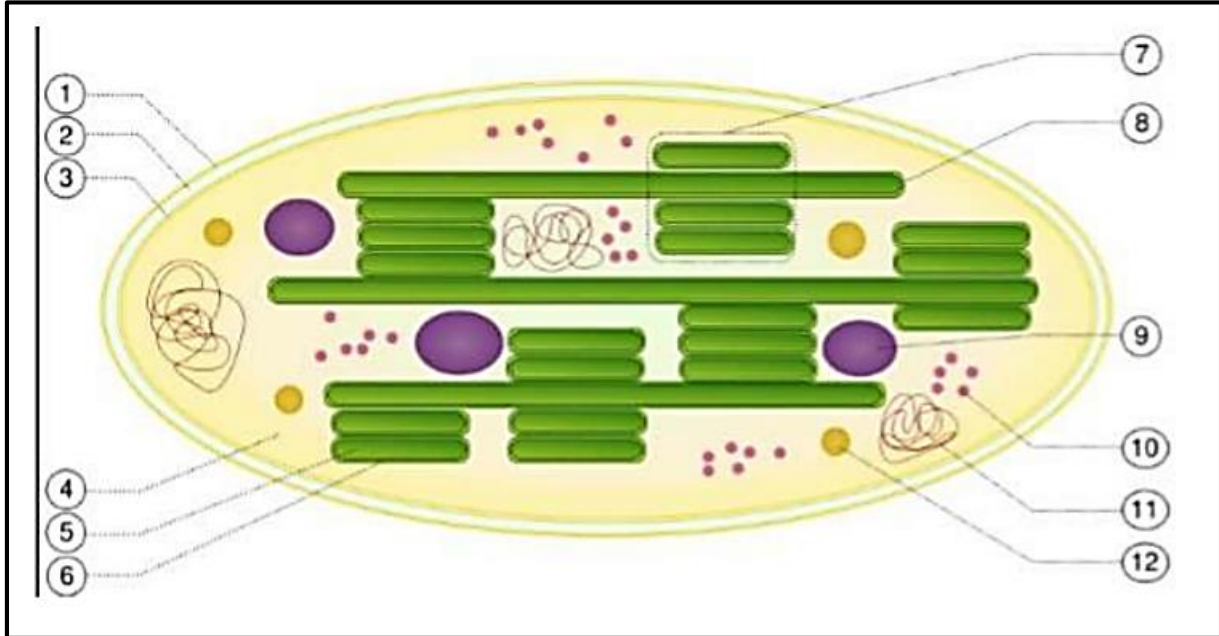
Les citernes les plus courtes sont empilées les unes sur les autres comme des pièces de monnaies pour former les granas (granum au singulier).

- Le stroma : milieu dans lequel baignent les thylakoïdes, riche en protéines solubles. Il présente un aspect granuleux au MET dû essentiellement à sa richesse en ribosomes.

##### b. MET et MEB : fort grossissement

Les membranes externe et interne de l'enveloppe (6nm d'épaisseur chacune) et les membranes des thylakoïdes (6 à 8nm d'épaisseur) présentent au MET une structure trilamellaire. Présence de particules globulaires au MEB dans les 3 types de membranes dont l'asymétrie est plus

importante au niveau des membranes thylakoïdales. L'application de la technique de coloration négative a permis de mettre en évidence dans les membranes des thylakoïdes la présence d'ATP synthétases (appelés anciennement ATPosomes ou  $CF_0$ - $CF_1$ ) dont les sphères, parties hydrophiles de 9nm de diamètre sont orientées vers le stroma (MET fort grossissement).



**Figure 30** : structure des chloroplastes

1. Membrane externe	7. Granum
2. Espace intermembranaire	8. Thylakoïde intergranaires
3. Membrane interne	9. Grain d'amidon
Les trois donne enveloppe chloroplastique.	
4. Stroma	10. Ribosome/ Plastoribosome
5. Lumen	11. ADN circulaire
6. Membrane thylakoidienne	12. Gouttelettes lipidiques
5 et 6 forment le thylakoïde.	

### III. Fonctions

#### 1. Photosynthèse

En présence d'eau et de dioxyde de carbone ( $CO_2$ ), les végétaux photosynthétiques convertissent l'énergie lumineuse en énergie chimique et produisent des sucres (amidon). Ce processus appelé photosynthèse s'accompagne d'une libération d'oxygène, elle comporte deux phases :



### 1.1 Phase claire

Appelée aussi phase primaire : absorption de la lumière par les pigments au niveau des PSI et PSII, formation de  $\text{NADPH}^+ \text{H}^+$ , dégagement d'oxygène et production d'ATP selon les étapes suivantes :

- L'énergie lumineuse est captée au niveau de la membrane des thylakoïdes par les photosystèmes II et I (PSII et PSI). Les chlorophylles des centres réactionnels (chl<sub>a</sub> 680 du PSII et Chl<sub>a</sub> 700 du PSI) s'oxydent par perte d' $e^-$ . La photolyse de l'eau libère de l' $\text{O}_2$  et  $2e^-$  qui permettent au PSII de revenir à son état initial. Les  $e^-$  et les  $\text{H}^+$  sont ensuite transportés par une succession de réactions d'oxydoréduction grâce à des transporteurs de la chaîne photosynthétique.
- Le PSI réduit le  $\text{NADP}^+$  en  $\text{NADPH}_2$ , grâce à la NADP-réductase, qui en fait partie. Les protons s'accumulent dans l'espace intrathylakoïdal ou lumen, créant un gradient électrochimique. Le retour des protons vers le stroma se fait par l'ATP synthétase entraînant la synthèse d'ATP : c'est « la photophosphorylation ».

### 1.2. Phase sombre

Elle aussi appelée phase secondaire, elle permet la fixation du  $\text{CO}_2$  grâce à la Rubisco (enzyme Ribulose 1,5 biphosphate carboxylase-oxygénase). L'ATP et le  $\text{NADPH}_2$  formés au cours de la phase claire sont utilisés dans le cycle de Calvin-Bassham-Bensson, pour former des molécules organiques (glucides à 3 carbones), qui seront soit transformées en glucose puis en amidon qui s'accumule, ou exportées vers le cytosol, directement après leur formation ou indirectement après dégradation de l'amidon. Dans le cytosol ils serviront alors de substrat pour les chaînes de biosynthèses d'autres sucres, de lipides, d'acides aminés, de nucléotides etc... Ces molécules peuvent aussi être oxydées dans les mitochondries et libérer leur énergie sous forme d'ATP.

## 2. Synthèse des protéines

En comparaison avec la mitochondrie, la présence de l'ADN permet de synthétiser une partie des protéines plastidiales (comme cela se passe chez les procaryotes).

Les plastoribosomes synthétisent une partie de certaines protéines du stroma (exemple : la grosse sous-unité de la Rubisco), quelques protéines de structure des plastoribosomes, une partie des PSI et PSII, du cytochrome b6-f, de l'ATP synthétase et des facteurs d'élongation.

### 3. Echanges entre hyaloplasme et chloroplastes

Ces échanges sont contrôlés par la membrane interne de l'enveloppe chloroplastidiale :

- Perméable aux petites molécules non chargées  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{O}_2$ .
- Imperméable aux ions chargés ( $\text{H}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ), aux nucléotides (ADP, ATP, Pi et NADP), aux produits du cycle Calvin-Bensson-Bassham. Ces éléments ne passent qu'à l'aide de transporteurs ou des navettes actives le plus souvent.

### IV. Biogenèse

❖ **Par division de chloroplastes préexistants** : il existe deux étapes :

- a. **Partition** : la membrane interne s'invagine perpendiculairement au grand axe et partage le stroma en deux puis étranglement de la surface du chloroplaste.
- b. **Segmentation** : étranglement de la région médiane.

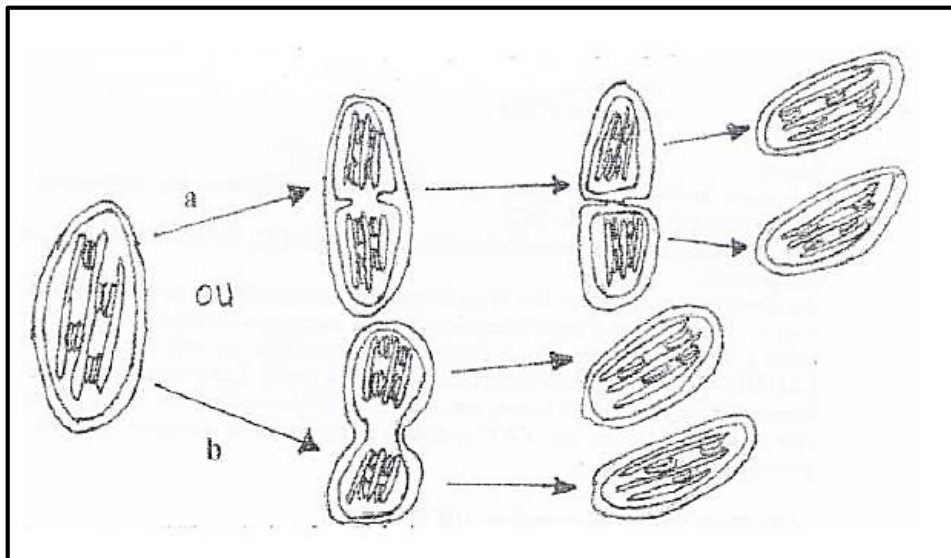


Figure 31 : la biogenèse des chloroplastes par division.

❖ **Par différenciation de proplast**

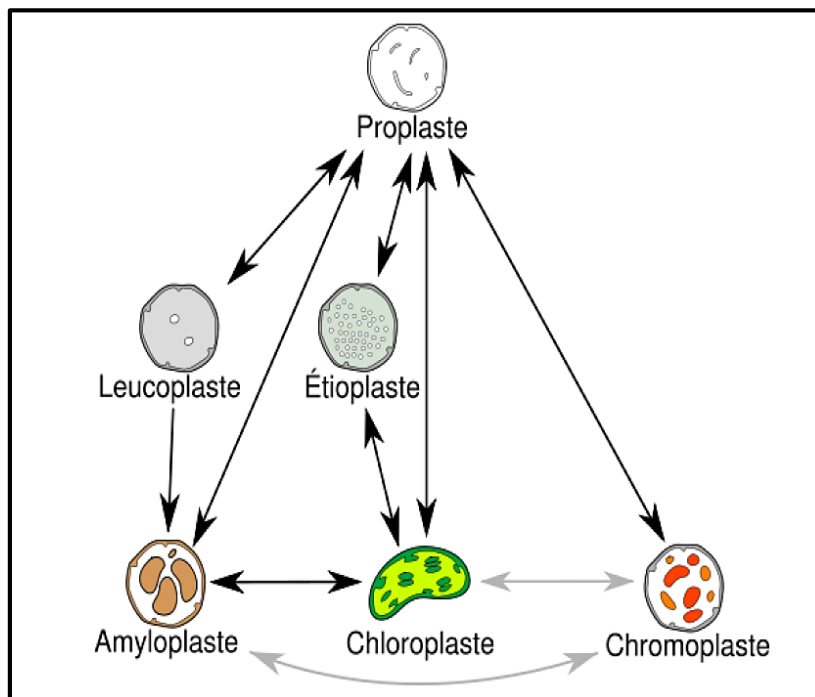
Les proplast sont des plastes indifférenciés présents dans les cellules embryonnaires méristématiques.



### ❖ Types de plastes

On distingue de nombreux types de plastes, dont 6 sont interconvertibles entre eux :

- Les proplastés se rencontrent dans les tissus méristématiques des racines et des tiges ainsi que dans les très jeunes plantules (embryons) des graines.
- Les chloroplastes donnent leur couleur verte aux feuilles et aux jeunes tiges.
- Les amyloplastés ou grains d'amidon, est un lieu de réserves glucidiques sous forme d'amidon, rencontrés dans les racines, les tiges, les graines, les fruits et les grains de pollen.
- Les chromoplastés sont riches en pigments caroténoïdes et donnent leurs couleurs aux fleurs et aux fruits.
- Les leucoplastés ; des plastés sans pigments, les
- Les leucoplastés ne sont pas verts, ce qui suggère une localisation dans les racines et dans les tissus non photosynthétiques. Ils peuvent se spécialiser pour stocker des réserves d'amidon, de lipides ou de protéines, ils sont alors respectivement appelés amyloplastés, oléoplastés, ou protéinoplastés.
- Les étioplastés ; sont soit des chloroplastés pas encore différenciés, soit des chloroplastés étiolés par manque de lumière. Ils sont généralement rencontrés dans les plantes ayant poussé à l'obscurité.



**Figure 32 :** Interconversions possibles entre les plastés.

## Peroxisomes

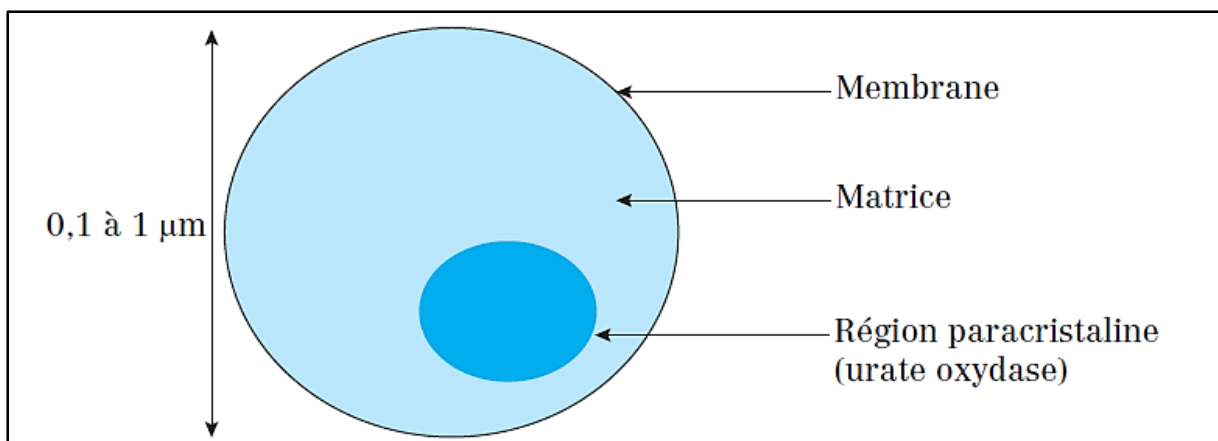
### I. Définition

Le peroxysome est un organe cellulaire entouré par une membrane simple et ne contenant pas de matériel génétique. Les peroxysomes sont chargés de la détoxification de la cellule.

### II. Caractéristiques des peroxysomes

- Des organites sphériques de 0,1 à 0,5  $\mu\text{m}$  (dans ce cas on parle de microperoxysomes ou microbodies) jusqu'à 1  $\mu\text{m}$  de diamètre chez les animaux. Ils peuvent atteindre 1,7  $\mu\text{m}$  chez les plantes.
- Sont présents dans toutes les cellules eucaryotes (sauf dans les réticulocytes et les hématies) ;
- Toutes les protéines qui les constituent sont codées par des gènes nucléaires et proviennent du cytosol.
- Ils possèdent le plus souvent un noyau cristallin protéique (urate-oxydase).
- Ils contiennent des enzymes oxydantes : D-amino-acide-oxydase, urateoxydase et catalase).

Comme la mitochondrie, les peroxysomes sont des sites essentiels pour l'utilisation du dioxygène. Ils utilisent de l' $\text{O}_2$  et du  $\text{H}_2\text{O}_2$  lors de réactions d'oxydations.



**Figure 33** : Peroxysome dans une cellule hépatique, examinée en microscopie électronique.

### III. Fonctions enzymatiques des peroxysomes

#### a) Les enzymes oxydases

Ces enzymes (D-amino-acide-oxydase, urate-oxydase) détoxifient des molécules organiques R, potentiellement toxiques pour la cellule, en leur enlevant des atomes d'hydrogène libres (réaction d'oxydation) :  $\text{RH}_2 + \text{O}_2 \longrightarrow \text{R} + \text{H}_2\text{O}_2$

#### b) La catalase

La catalase utilise le peroxyde d'hydrogène  $\text{H}_2\text{O}_2$  engendré par d'autres enzymes pour oxyder une variété d'autres substrats toxiques R (phénols, acide méthanoïque, alcool) : on parle de réaction de peroxydation :  $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{RH}_2 \longrightarrow \text{R} + 2 \text{H}_2\text{O}$ .

#### Remarque :

- Ce type de réaction est très important dans le foie et les cellules rénales, où les peroxysomes détoxifient certaines toxines passant dans le sang.
- $\text{H}_2\text{O}_2$  en quantité trop abondante est nocif pour la cellule. Ainsi, en cas d'excès d' $\text{H}_2\text{O}_2$ , la catalase le transforme directement en eau :  $2\text{H}_2\text{O}_2 \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$ .

#### c) Bêta-oxydation des acides gras à longue chaîne carbonée

Le mécanisme est similaire à celui de la mitochondrie. Les peroxysomes ont même l'exclusivité de cette voie chez les levures et les plantes. Néanmoins, le bilan énergétique est réduit à la production d'acétyl CoA car les électrons des coenzymes réduits ( $\text{NADH}_2$  et  $\text{FADH}_2$ ) aboutissent à la formation de peroxyde d'hydrogène, détoxifié sur place par la catalase.

#### d) Autres fonctions

- Synthèse des acides biliaires, du cholestérol.
- Catabolisme des purines (xanthine-oxydase).
- Chez les végétaux chlorophylliens, les peroxysomes interviennent lors de la photorespiration.
- Dans les cellules de graines en cours de germination, les peroxysomes sont associés aux corpuscules lipidiques à partir desquels ils permettent la formation de glucides nécessaires à la croissance de la plantule. Dans ce cas, le peroxysome prend le nom de glyoxysome.

#### IV. Origine des peroxysomes

Les peroxysomes ont deux origines :

- ✓ Soit ils résultent d'un phénomène de scission des peroxysomes parentaux ;
- ✓ Soit ils se forment à partir du RE.

Toutes les protéines nécessaires aux peroxysomes sont synthétisées dans le cytosol. Les protéines des membranes et de la lumière sont prélevées après traduction dans le cytosol. Les lipides nécessaires à la fabrication de nouvelles membranes peroxysomiales sont également importés du cytosol.

## Matrice extracellulaire

### Introduction

Le microenvironnement cellulaire est avant tout constitué d'une matrice extracellulaire (MEC) qui permet d'assurer le maintien des relations spatiales que certaines cellules peuvent établir. L'adhérence entre la membrane plasmique et la MEC se fait grâce à des récepteurs membranaires et grâce à la fibronectine, la laminine et le collagène.

### 1. Définition

La MEC est un terme collectif pour tous les composants matriciels dans l'espace extracellulaire. Elle se présente comme une trame (structure d'un réseau) extracellulaire, à laquelle les cellules peuvent s'ancrer.

La MEC peut prendre divers aspects :

- **Liquide** : riche en polysaccharides ;
- **Gélatineux** : riche en protéines fibreuses ;
- **Solide** : riche en phosphate de calcium ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ).

Chez les animaux, on obtient des morphologies tissulaires très variées :

- Si la trame est lâche, On obtient une structure mésenchymateuse (Exemple : Tissu conjonctif),
- Si la trame est serrée, On obtient une structure épithéliales (Exemple : L'épiderme) ce qui donne la lame basale.

La paroi des cellules végétales ou des bactéries peut être considérée comme une MEC.

### 2. Les constituants de la MEC

Les constituants de la MEC sont synthétisés et sécrétés par des cellules en contact avec celle-ci (Chondrocytes, Ostéocytes, Fibroblaste...etc.). Ils peuvent être décomposés par des enzymes appelées MMP (Matrix Metalloprotéinases).

#### 2.1 Les fibres

##### 2.1.1 Le collagène

Le collagène est une glycoprotéine fibreuse dont le rôle peut être comparé à une armature. Il représente 25 % des protéines totales. Il est sécrété par les cellules des tissus conjonctifs.

### ✓ La morphologie

En microscope optique les fibres de collagènes apparaissent comme des faisceaux épais (Plusieurs  $\mu\text{m}$  de long). En microscope électronique, chaque fibre est constituée de plusieurs fibrilles épaisses (de moins de  $0,1 \mu\text{m}$ ). L'unité élémentaire est un trimère rigide et linéaire, enroulés en super-hélice. Ces trimères s'associent en molécules de collagènes, puis en fibrilles, après en fibres de collagènes et en fin en faisceaux. Il existe douze (12) familles de collagène parmi elles :

- Le collagène I, II et III (Collagènes fibrillaires) derme, os, tendon...
- Le collagène IV (Collagène plus) forme l'armature des lames basales des épithéliums.

### ✓ La biosynthèse des fibres de collagènes de type I

- Elle est réalisée par les fibroblastes
- Sa durée de vie est estimée de deux mois environ dans le derme.

#### 2.1.2 Les fibres élastiques (L'élastine)

Elles sont abondantes dans les tissus élastiques (peau, poumon, artères).

### ✓ La morphologie

Elles apparaissent comme un réseau de fibres plus fines que le collagène. En microscope électronique elles possèdent des structures amorphes, dont le principal composant est une protéine glycosylée.

### ✓ La composition des fibres élastiques :

Les microfibrilles sont composées de plusieurs glycoprotéines, comme la fibrilline.

### ✓ La biosynthèse et le renouvellement

Les fibres élastiques sont synthétisées par les fibroblastes et sont dégradées par une enzyme, l'élastase sécrétée dans la MEC. L'élastine est essentiellement sécrétée durant la période de croissance.

## 2.2 La substance fondamentale

C'est un gel amorphe très hydraté composé de protéoglycanes, de glycoprotéines et d'eau.

### 2.2.1. Les glycoprotéines

La MEC renferme plusieurs glycoprotéines qui jouent un rôle dans les phénomènes d'adhésion avec les deux constituants de la MEC (ensembles fibreux et polysaccharidiques) et avec les cellules.

#### a) La fibronectine

Elle est le maillon clé de l'adhérence des cellules à la MEC. Les fibronectines sont des molécules qui se joignent aux intégrines (récepteurs membranaires) et à l'attachement des cellules aux fibrilles collagènes. Les fibronectines sont des dimères, qui adoptent une forme en « V ». Elles sont synthétisées dans les tissus adultes par les cellules de la MEC et par les cellules reposant sur la lame basale. Une autre partie est synthétisée dans les cellules hépatiques. La fibronectine favorise la synthèse des composants de la membrane basale et elle permet aussi la migration cellulaire. Elle joue un rôle dans l'organisation de la MEC et dans l'adhésion des cellules à cette MEC.

#### b) Les laminines

Elles sont une famille de protéines adhésives, qui forment le constituant majeur de la lame basale. Les molécules de laminines sont sécrétées par les cellules épithéliales et par les cellules conjonctives. Elles assurent la migration cellulaire. En pathologie, les laminines non fonctionnelles génétiquement sont impliquées dans l'apparition de certaines formes de dystrophie musculaire.

### 2.2.2. Les polysaccharides

#### a. Les glycosaminoglycanes ou GAGs

Ils ont longtemps été désignés sous le terme de « l'acide mucopolysaccharides ». Il s'agit en effet de chaînes linéaires non ramifiées (disaccharides : acétylglucosamine ou acétylgalactosamine et un acide uronique). Les chaînes des GAGs peuvent être liées par covalence à une protéine pour former des protéoglycanes.

##### a.1. Les différents types de GAGs

- ❖ Le chondroïtine sulfate : présent dans le derme et dans le cartilage ;
- ❖ Le kératane sulfate : présent dans le cartilage et la cornée ;
- ❖ L'héparine (héparane sulfate) : présente dans le foie, les poumons ;

- ❖ L'acide hyaluronique : il contribue à l'hydratation.

### **b. Les protéoglycanes**

Un protéoglycane est la combinaison d'une protéine et d'un GAG. La proportion de glucides des protéoglycanes peut atteindre 95 %. Les protéoglycanes peuvent être soit transportés à l'extérieur de la cellule, soit entrés dans la contribution de la membrane plasmique ou du glycocalyx. Ils peuvent jouer un rôle de récepteurs pour d'autres composants de la MEC. Dans la MEC, ils sont en interaction avec les fibres de collagènes et les glycoprotéines.

### **3. La lame basale**

Elle constitue, autour de certaines cellules une région différenciée de la MEC. Elle est observée par exemple au contact des cellules épithéliales, endothéliales et autour des cellules musculaires. Elle permet l'adhérence de la cellule épithéliale au tissu conjonctif. Les molécules constitutives de la lame basale sont sécrétées par les cellules épithéliales et les fibroblastes. La lame basale est un mince feuillet de glycoprotéines sécrétées par les cellules épithéliales et un feuillet extracellulaire sécrété par les cellules du tissu conjonctif. L'épaisseur de ce réseau EC est typiquement de l'ordre de 50 – 200 nm.

#### **✓ L'Ultrastructure**

##### **a. La lamina lucida**

La lamina lucida est constituée de mucopolysaccharides. Elle a une épaisseur qui varie entre 10 et 50 nm. Elle est claire au microscope électronique. Elle contient des laminines et d'autres molécules mal connues.

##### **b. La lamina densa**

Elle correspond à un feutrage de collagène IV et de glycoprotéines. La lamina densa est beaucoup plus dense, ce qui lui donne l'apparence d'une ligne d'épaisseur qui varie entre 20 et 300 nm et contient en majorité du collagène IV.

##### **c. La lamina reticula (Sub-lamina densa)**

Elle constitue une zone fibreuse qui a une largeur de 200 - 500 nm.

### **4. Le rôle physiologique de la MEC**

La matrice extracellulaire joue le rôle de :

- Soutien (principalement), ce qui assure la cohésion des cellules et des tissus.
- Résistance mécanique des tissus aux forces de compression (grâce aux glycosaminoglycanes) et de traction (grâce aux collagènes fibrillaires et aux fibres élastiques).
- Trame pour des dépôts minéraux (exemple : construction des os par accumulation de phosphate de calcium).

La MEC agit également sur le comportement des cellules qui entrent en contact avec elle et influence leur forme, leur migration mais aussi leur survie, leur prolifération et leur développement.

Le fait qu'une cellule ait besoin d'adhérer à la matrice pour croître et proliférer, voire même simplement survivre, est appelé « dépendance d'ancrage ».

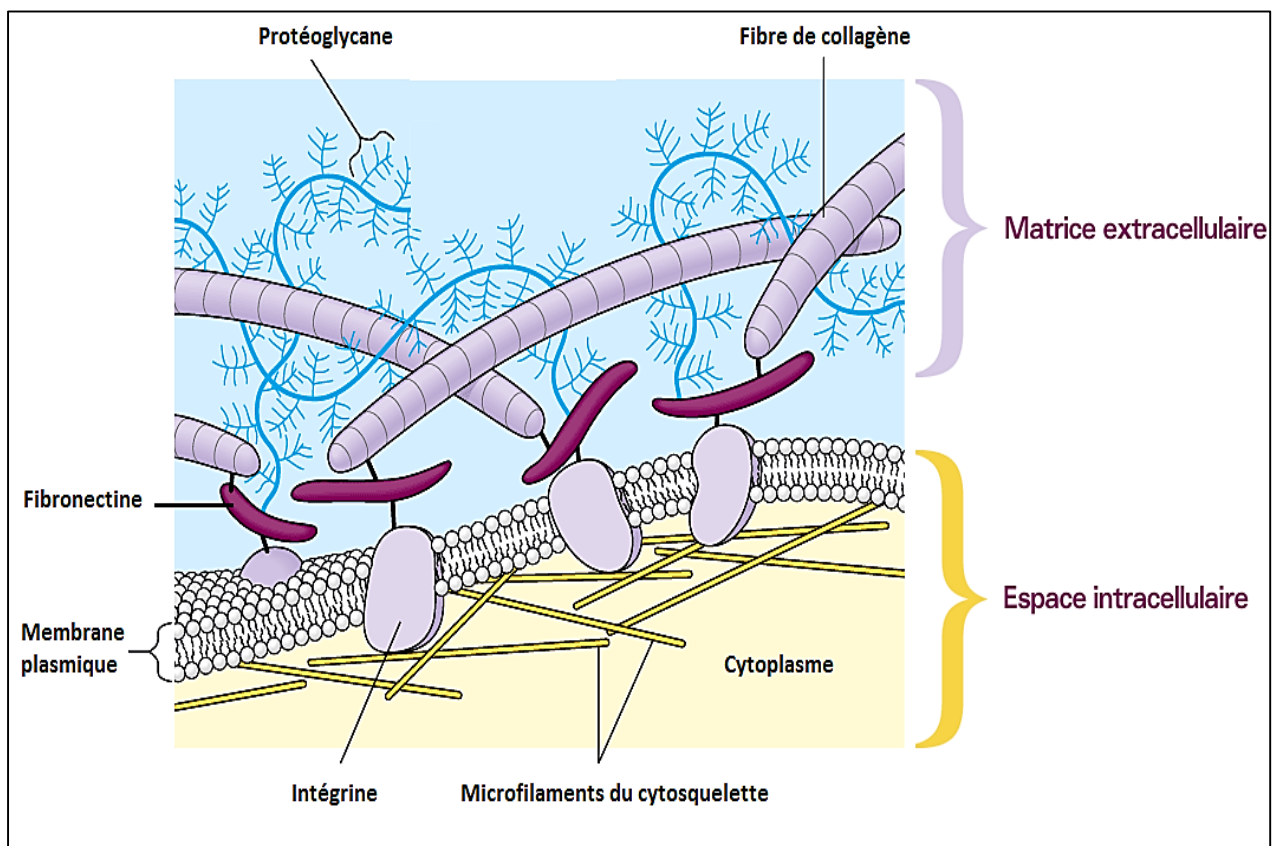


Figure 34 : La matrice extracellulaire.

## Paroi végétale

### Introduction

Dans la majorité des cellules végétales, leur cytoplasme élabore une paroi squelettique qui sépare chaque cellule dans une sorte de loge.

#### I. Composition de la paroi squelettique

La paroi squelettique est typiquement pectocellulosique chez les végétaux supérieurs. Elle est d'épaisseur variable. Elle est très fine chez les cellules juvéniles (jeunes) et très épaisses chez les cellules différenciées (âgées) tel que les cellules du parenchyme et les cellules des vaisseaux conducteurs (xylème).

Elle est composée essentiellement des composants synthétisés dans le cytoplasme et excrétés à l'extérieur de la cellule, où ils formeront la paroi. Parmi eux on compte la cellulose, les autres sucres non cellulosiques de la paroi, les hémicelluloses, les pectines et la lignine.

##### a) La cellulose

La cellulose est une macromolécule caractéristique du règne végétal. Elle correspond à un polymère du cellobiose, c'est un polysaccharide homogène (constitué d'un seul type de monomère).

Les macromolécules prennent une forme de longues chaînes tendues qui s'associent les unes avec les autres par des liaisons hydrogènes pour former des paquets de microfibrilles. La polymérisation libère ainsi des molécules d'eau. La polymérisation enzymatique et l'agrégation par auto-assemblage sont réalisées au niveau d'un complexe enzymatique en forme de « rosette », présent au niveau de la face externe de la membrane plasmique.

Les propriétés de la cellulose dépendent de la taille du polymère, qui dépend de l'âge de la cellule. En effet plus la cellule vieillit plus le polymère sera important. On distingue les propriétés physiques et les propriétés chimiques :

- **Propriétés physiques**
- ❖ **Résistance mécanique** : (la résistance d'un fil de cellulose est identique à celle d'un fil de cuivre de même diamètre),
- ❖ **Déformable** : ce qui confère une certaine souplesse et élasticité à la membrane,

❖ **Perméabilité** : au gaz et à l'eau, grâce à une structure capillaire des microfibrilles.

▪ **Propriétés chimiques**

- ❖ Totalement insoluble dans la plupart des solvants,
- ❖ Molécule hydrophile qui absorbe de l'eau sans être soluble,
- ❖ Résistance aux attaques chimiques et enzymatique,
- ❖ Biodégradation liée à la cellulase.

**b) Les hémicelluloses : (ou cellulosanés)**

Ce sont des polymères hétérogènes à structure linéaire ramifiée qui n'a pas de caractère colloïdale ; ce sont des substances plutôt hydrophiles grâce au petit nombre d'oses qui les constituent. Elles sont facilement dégradées par biodégradation via les hémicellulases et peuvent constituer des formes de réserve. Ce sont des substances matricielles qui servent de liaison entre les microfibrilles de cellulose.

Les hémicelluloses sont de différents types suivant s'ils rentrent dans la constitution des parois primaire ou secondaire et selon le type de plantes considérées. Au niveau de la paroi primaire on trouve les xyloglucanes qui jouent un rôle de cohésion entre la cellulose et les constituants ramifiés de la paroi, et au niveau de la paroi secondaire on trouve les xylanes et les glucomannanes.

**c) Les pectines**

Les pectines sont des polysaccharides hétérogènes acides, dont les monomères de bases sont les galacturonates qui forment des chaînes assemblées en angle droit par des molécules de rhamnose. Des chaînes latérales peuvent ensuite être ajoutées à la structure de base. Les différentes chaînes de galacturonates sont reliées via les ions  $\text{Ca}^{2+}$  ou  $\text{Mg}^{2+}$  formant une structure en feuillet. Ce sont des molécules colloïdales qui ont un rôle de ciment intercellulaire, principalement localisées au niveau de la lamelle moyenne.

**II. Structure de la paroi végétale**

La cellule végétale est bordée par une paroi et non seulement par une membrane cytoplasmique. On observe ainsi la formation d'un squelette externe se formant autour de la double couche phospholipidique. De l'intérieur vers l'extérieur on voit ainsi la paroi secondaire directement en contact avec la membrane plasmique, la paroi primaire, puis la lamelle moyenne.

Cette paroi possède des ponctuations correspondant à des plages de plasmodesmes, elles-mêmes correspondant à de petits orifices permettant la communication entre les cellules.

- La **lamelle moyenne** : est une membrane primitive pectique mitoyenne entre deux cellules, qui jouera le rôle de base sur laquelle ira se déposer la paroi primaire puis secondaire. Elle sera perforée au niveau des ponctuations par les plasmodesmes qui permettront les échanges intercellulaires.
- La **paroi primaire** : est située entre la lamelle moyenne et la paroi secondaire. Elle est constituée de 25 à 30% de cellulose, 30 à 65 % d'hémicellulose, 5 à 35 % de pectines et 0,5 à 5 % de protéines. Elle est absente au niveau des plasmodesmes.
- La **paroi secondaire** : est située entre la membrane cytoplasmique et la paroi primaire. Elle est de même composition que la paroi primaire, mais avec des proportions différentes : réseau moins hydraté, moins de substance matricielle et plus de cellulose (structure solide et non extensible). Elle est absente au niveau des ponctuations.

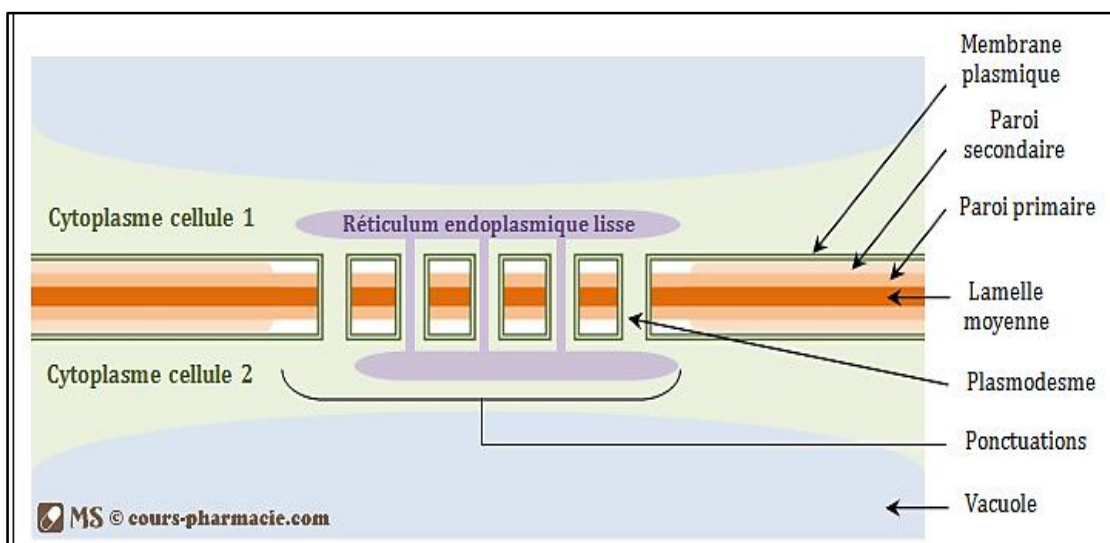


Figure 35 : Organisation structurale de la paroi végétale.

### III. Etapes d'élaboration de la paroi végétale

La paroi végétale est constituée d'une lamelle et de deux parois qui se forment en 3 étapes l'une après l'autre. Il y a tout d'abord formation de la lamelle moyenne, puis de la paroi primaire qui se dépose sur la lamelle moyenne, et finalement de la paroi secondaire qui se dépose sur la paroi primaire.

**a) Formation de la lamelle moyenne**

A la fin de la division cellulaire (en télophase), les microtubules s'assemblent pour former le phragmoplaste. Par la suite se forme une plaque cellulaire au plan équatoriale de la cellule mère, par fusion des vésicules provenant de l'appareil de Golgi. Cette plaque apparaît tout d'abord comme un disque suspendu à équidistance des deux noyaux, puis au fur et à mesure que les vésicules du Golgi fusionneront, elle atteindra les parois. Une fois les parois atteintes, la plaque clôturera la scission des cellules en division, séparant ainsi un cytoplasme d'un autre.

Il y aura par la suite fusion d'élément du réticulum endoplasmique lisse avec la plaque cellulaire, permettant le développement de la plaque, ainsi que la formation des plasmodesmes. En effet les tubules du réticulum endoplasmique lisse passeront à travers les plasmodesmes permettant un lien permanent entre les deux cellules jointives.

A partir de cette plaque, on arrivera finalement à la formation de la lamelle moyenne, par association avec de la pectine et d'autre composé. La lamelle moyenne ne sera donc pas complètement jointive, possédant des plasmodesmes qui permettront la communication entre les cellules.

**b) Formation de la paroi primaire**

A partir de cette lamelle moyenne, une membrane primitive pectique, s'effectuera un dépôt de cellulose, permettant la formation de la paroi primaire entre la membrane plasmique et la lamelle moyenne.

Au niveau des plasmodesmes, il n'y aura pas de dépôt de cellulose. Le réseau de fibrilles de cellulose est encore lâche, procurant à la paroi une souplesse, une flexibilité, ainsi qu'une extensibilité.

**c) Formation de la paroi secondaire**

La paroi secondaire se forme également par dépôt, cette fois-ci sur la paroi primaire, sauf au niveau des ponctuations.

**IV. Modification de la paroi squelettique**

Au cours de l'évolution de certaines cellules, les parois peuvent subir des modifications plus ou moins importantes ; certaines en une transformation chimique en gommages ou mucilages ; d'autres en une incrustation de la paroi.

## 1) Substances d'incrustation

Les substances d'incrustations sont des substances autres que cellulose qui se déposent dans la trame cellulosique, c'est-à-dire entre les microfibrilles de cellulose, en remplaçant les substances matricielles, aussi bien dans la paroi primaire que secondaire.

Les substances d'incrustations peuvent permettre une lignification, une minéralisation, ou bien même une gélification.

### a) Lignification par les lignines

La lignification correspond à un dépôt de lignines plus particulièrement dans la lamelle secondaire, mais également dans la paroi primaire et secondaire et effectuent à ce niveau-là des soudures irréversibles entre les cellules. En effet les liaisons sont non hydrolysables par la plante elle-même.

Elles se déposent à la fin de la formation des parois primaire et secondaire, et sont toujours associée à la cellulose, se déposant sur celle-ci. En effet le dépôt de lignine occupe tout l'espace laissé libre par la cellulose et les polymères de la matrice. Les lignines sont des molécules non glucidiques caractéristiques du bois.

Elles sont présentes au niveau de certains tissus particuliers de la plante et renforcent ainsi leur rigidité et leur résistance mécanique à la compression, pour permettre la formation d'arbre. Les lignines sont des molécules hydrophobes qui restent mouillable mais qui sont imperméable à l'eau. Les cellules lignifiées sont destinées à mourir.

La lignine est indispensable à la formation des vaisseaux et ainsi au transport de l'eau dans les végétaux supérieurs.

### b) Minéralisation

La minéralisation correspond à un dépôt de silice ( $\text{SiO}_2$ ) ou alors à un dépôt de calcaire (carbonate de calcium,  $\text{CaCO}_3$ ) au niveau de tissus spécifiques de la plante.

- Le dépôt de silice s'appelle la silification et se fait au niveau de certaines plantes uniquement, non comestibles par les herbivores. Les Poacées et les Cypéracées possèdent des épidermes riches en silices ; on prendra pour exemple les poils urticants des orties.
- Le dépôt de calcaire s'effectue au niveau des poils en les rigidifiant.

### c) Gélification par des gommages et des mucilages

La gélification correspond à une hypertrophie de la lamelle moyenne, par des gommages ou des mucilages. Les gommages et les mucilages sont des polysaccharides hétérogènes dont le poids moléculaire est inférieur à la cellulose. Ce sont des macromolécules hydrophiles colloïdales, c'est-à-dire qu'elles peuvent passer en solution dans l'eau sans être ionisées, et ceci en restant en suspension dans la solution. Elles ont la propriété de gonfler au contact de l'eau et de former des masses gélatineuses.

Ils ont un rôle de lien entre les microfibrilles de cellulose, de ciment entre les cellules et de réserve glucidique.

## 2) Substances d'adcrustation

Les substances d'adcrustation sont des substances déposées à l'extérieur de la membrane. Elle forme une couche sur la paroi secondaire qui peut disparaître. Cette couche est imperméable, empêchant tout échange de gaz et d'eau.

### a) La cutine

La cutine se dépose sur l'épiderme, formant un film protecteur, appelé la cuticule. La cutine correspond à l'assemblage d'hydroxyacides tels que l'acide palmitique, l'acide stéarique et l'acide oléique. Elle possède une structure en maillage tridimensionnel qui procure à la molécule une insolubilité dans les solvants hydrophobes, et ceci bien qu'elle soit constituée d'acide gras. La cuticule est légèrement perméable aux gaz et à la vapeur, et imperméable à l'eau, mais tout en restant mouillable. Elle permet ainsi de ralentir la transpiration des végétaux et ainsi de les préserver contre des pertes d'eau excessives. En temps sec le réseau se resserre, entraînant une imperméabilité totale.

### b) Les cires

Les cires forment un dépôt sur ou dans la cuticule, on parle alors de cire supracuticulaire ou de cire intracuticulaire. Ce sont des esters d'acide gras et d'alcool gras à longue chaîne, autrement dit des cériques qui sont les constituants majeurs des cires (abeilles, ...).

Leur présence n'est pas constante sur les végétaux. Les cires sont totalement hydrophobes, donc totalement imperméable à l'eau et aux gaz, limitant ainsi la transpiration des plantes. Elles présentent différentes morphologies : bâtonnets, granulation, pellicule ou pruine.

**c) La sporopollénine**

La sporopollénine est la molécule principale rentrant dans la composition de l'exine, parois des spores et des grains de pollen. Elle procure une résistance à la dégradation et n'est dégradée par aucune enzyme connue.

**d) La subérine**

La subérine imprègne la paroi des cellules, la rendant imperméable. La subérine rentre dans la constitution du **suber** qui présente lui-même une structure lamellaire, additionnant une couche amorce de triglycéride et de cutine, avec une couche monomoléculaire de cires. Le suber se forme secondairement à partir du cambium subérophelloidermique.

La subérine est une molécule polymérique hydrophobe, imperméable aux gaz et étant un très bon isolant thermique. Les cellules imprégnées de subérine sont des cellules mortes, échanges au niveau de perforations.

## Références bibliographiques

1. Abraham L. Kierszenbaum. 2015 ; Histologie et biologie cellulaire. Ed. De Boeck. Paris.
2. Albert A., Johnson A., Lewis J., Raff M., Roberts K. et Walter P. 2011 ; Biologie moléculaire de la cellule. Ed. Lavoisier, Paris.
3. Alexandre Fradagrada et Gilles Furelaud. 2016 ; Biologie cellulaire - UE2 PACES. Ed. Ediscience, Paris.
4. Jean-Claude Callen., Jean-Claude Roland., Annette Szöllösi., Daniel Szöllösi. 1999 ; Biologie cellulaire. Ed. Dunod, Paris.
5. Marc Maillet. 2006 ; Biologie cellulaire. Ed. Elsevier Masson, Paris.
6. Thomas Dean Pollard et William C. Earnshaw. 2004 ; Biologie cellulaire. Ed. Elsevier Masson, Paris.

Université Abbès Laghrou Khenchela  
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département de Biologie

# Biologie Végétale



**1<sup>ère</sup> Année Licence**  
**Biologie (D04)**

**Dr. FERCHA Azzedine**

MCB en Biologie & Physiologie Végétales

# SOMMAIRE

<b>1) Introduction générale</b>	<b>page 01</b>
1. Qu'est ce qu'une plante ?	01
2. Qu'est ce qu'une Angiosperme ?	02
<b>2) Cellule Végétale</b>	<b>page 05</b>
1. Paroi cellulaire	06
2. Plastes	13
3. Vacuole	17
<b>3) Tissus Végétaux</b>	<b>page 20</b>
1. Introduction	21
2. Méristèmes	21
3. Tissus de protection	25
4. Parenchymes	29
5. Tissus de soutien	31
6. Tissus de sécrétion	34
7. Tissus de conduction	36
<b>4) Anatomie Végétale</b>	<b>page 43</b>
1. Racine	44
2. Tige	53
3. Feuille	60
<b>5) Gamétogénèse</b>	<b>page 65</b>
1. Structure de la fleur	66
2. Gamétophyte male	66
3. Gamétophyte femelle	70
<b>6) Fécondation</b>	<b>page 74</b>
1. Œuf et Embryon	75
2. Notion de cycle de développement	82
3. Annexes (pollinisation, etc.)	85
<b>7) Morphologie végétale</b>	<b>page 92</b>
1. Racine	93
2. Tige	98
3. Feuille	104
4. Fleur	111
5. Graines et fruits	117
<b>8) Références</b>	<b>page 121</b>
<b>8) Autoévaluation</b>	<b>page 123</b>
<b>9) Glossaire de botanique</b>	<b>page 127</b>
<b>10) Guide des TP</b>	<b>page 136</b>

# **CONTENU ET OBJECTIFS**

## **Le contenu théorique : Dans ce cours, il sera question de:**

- Étudier les particularités de la cellule végétale : la paroi cellulosique, les plastes et la vacuole.
- Décrire, comparer, connaître et comprendre le rôle et l'origine des différents tissus végétaux : les méristèmes, tissus de soutien, tissus de conduction, tissus d'assimilation etc.
- Décrire, comparer, connaître et comprendre rôle et le développement des différents organes végétatifs d'une angiosperme : racine, tige, feuille.
- Décrire, comparer, connaître et comprendre le rôle et le développement des organes de reproduction d'une plante (fleur). Modalités de reproduction sexuée, gamétogénèse, fécondation et cycle de développement.
- Les variations morphologiques importantes expliquées lors de l'étude descriptive des différents organes : racine, tige, feuille, fleur et fruit.

## **Le contenu pratique :**

Observation de lames au microscope photonique et étude de certaines parties des plantes : caractérisation de la cellule végétale et ces organites (amyloplast, vacuole) ; tissus de sécrétion ; tissus de conduction (xylème & phloème); anatomie comparative : racine, tige, feuille, fleur. Etc.

## **Ainsi cet enseignement vise à :**

- Instruire et sensibiliser l'étudiant à l'importance des végétaux (angiospermes) dans son environnement par l'acquisition de connaissances fondamentales en anatomie, morphologie et développement des végétaux.
- Caractériser les particularités de la cellule végétale afin de :
  - 1) faciliter l'identification des différents tissus qui composent une plante. Suite à l'identification des principaux tissus par leurs caractères cytologiques, l'étudiant doit connaître leur rôle, leur position et leur origine ;
  - 2) mieux comprendre les activités de photosynthèse, de transpiration des feuilles, d'absorption et de circulation des sèves, de gamétogénèse, de pollinisation, de fécondation, d'embryogenèse végétale et de germination.
- Décrire et expliquer la morphologie d'une racine, tige, feuille, fleur, fruit et graine afin de permettre à l'étudiant :
  - 1) d'utiliser un vocabulaire spécifique ;
  - 2) de connaître le développement et l'activité des différents organes d'une plante.
  - 3) prendre connaissance des techniques de reproduction des plantes.

# INTRODUCTION GÉNÉRALE

Les végétaux sont les piliers sur lesquels reposent la plupart des **écosystèmes**<sup>1</sup> terrestres. Les végétaux utilisent la photosynthèse pour assurer leur croissance et maintenir leur développement et, de ce fait, constituent directement ou indirectement la première source de nourriture pour l'homme et les autres organismes vivants (Campbell, 1995).

Notre connaissance des végétaux remonte à la nuit des temps. Depuis toujours l'homme a su utiliser les plantes pour se nourrir, se vêtir, se loger et surtout se soigner, mais cette connaissance n'est devenue une véritable science qu'à la fin du XVII<sup>ème</sup> siècle.

La botanique ou la biologie végétale est donc la science qui a pour objet l'étude des plantes (Leblond et Rendu, 1837). Traditionnellement, la botanique est divisée en deux grandes branches, à savoir :

- **Botanique fondamentale** ; ou la partie qui s'intéresse à l'étude fondamentale des plantes, dont la morphologie (la structure externe), l'anatomie (la structure interne), la cytologie, la taxonomie, la phytogéographie, etc.
- **Botanique appliquée** ; ou la partie qui s'intéresse à l'application des connaissances qu'elles fournissent la première branche, pour les appliquer aux différents domaines se rapportant aux plantes en vue, par exemple, d'augmenter la production des plantes (agriculture), de les protéger contre leurs ennemis (phytopathologie, malherbologie), ..., etc.

A ce niveau, nous nous intéresserons qu'à la première partie, et plus exactement à l'étude des angiospermes, leur organisation structurale externe et interne, leur cycle de vie, leur mode de reproduction, ..., etc.

Mais avant de commencer, il est tout à fait normal de poser certaines questions au sujet des végétaux, telles que : Qu'est-ce qu'un végétal ? Qu'est-ce qu'une "angiosperme" ? Quels sont les différents types de plantes ?..., etc.

## 1- Qu'est-ce qu'une plante ou un végétal ?

Par définition le "règne végétal" est une entité conceptuelle censée regrouper tous les organismes vivants possédant en commun certaines propriétés morphologiques, cytologiques ou fonctionnelles, ..., quelle que soit leur taille, leur nom, leur apparence, ..., etc.

Mais quelles sont donc ces propriétés qui permettent de considérer un quelconque organisme vivant comme étant un végétal ?

---

1 - **Écosystème**, c'est une unité écologique qui regroupe une communauté animale et végétale (biocénose), et le milieu que cette communauté occupe (biotope). La biocénose et le biotope constituent deux éléments indissociables qui réagissent l'un sur l'autre pour former un système plus ou moins stable, l'écosystème. Ecosystème = biocénose + biotope.

Voici une définition un peu plus complète et qui englobe vraisemblablement tous les êtres vivants qui constituent le ‘**règne végétal**’.

Selon cette définition, un organisme vivant est considéré comme étant un **végétal** s'il possède trois propriétés parmi les propriétés suivantes :

1. Être eucaryote.
2. Possède des cellules entourées d'une paroi cellulosique.
3. Être capable de photosynthèse.
4. Emmagasine ses réserves sous forme d'amidon.

Ainsi, pour voir si un organisme vivant est un végétal ou non, il suffit de vérifier la présence ou l'absence de ces propriétés.

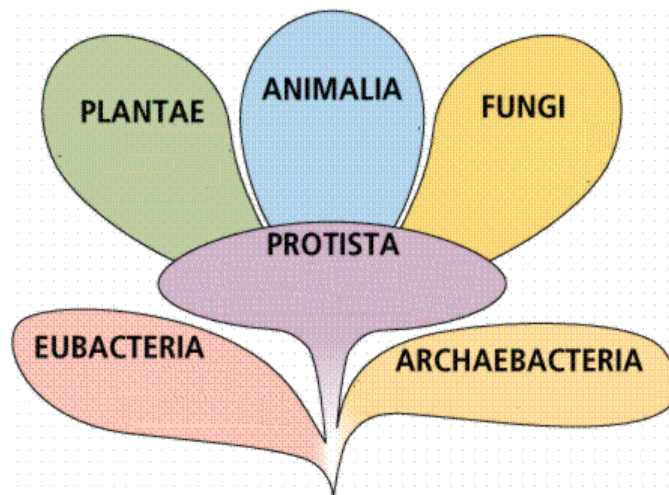
A titre d'exemple ; les **champignons** qui ont été considérés pendant longtemps comme des plantes, bien que récemment classés dans un règne distinct, nous donne un bon exemple afin de vérifier cette définition.

Les champignons sont des organismes vivants qui possèdent des cellules **eucaryotes** (un vrai noyau) entourées d'une paroi non cellulosique mais faite de **chitine** (un polysaccharide différent de la cellulose). Ils sont des **hétérotrophes** car incapables de réaliser la photosynthèse (faute d'absence des chlorophylles), et stockent leur réserve de sucre sous forme de **glycogène**..., ainsi il paraît bien évident que les champignons ne possèdent pas les mêmes propriétés qu'un **végétal** proprement dit.

## 2- Qu'est-ce qu'une Angiosperme ?

### Règne végétal :

Selon la définition qu'on a adoptée, le règne végétal comprend tous les organismes vivants, eucaryotes, qui possèdent des cellules entourées d'une paroi cellulosique, chlorophylliens, et emmagasinent leurs réserves de glucides sous forme d'amidon, toutefois il renferme des organismes vivants dont manque l'une ou l'autre des ces propriétés (Fig. 1-1).



**Fig. 1-1. Schéma montrant les six règnes des êtres vivants.**

[https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A8gne\\_\(biologie\)#cite\\_note-17](https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A8gne_(biologie)#cite_note-17)

### **Classification des végétaux :**

Les végétaux peuvent être classés de diverses façons, selon le(s) critère(s) de classification retenu(s), s'est ainsi qu'il existe plusieurs systèmes de classification ; selon la taille et le type de la tige, selon le climat, le rythme végétatif, les types biologiques, etc. (Dupont et Guignard, 2012).

Traditionnellement (dans la classification systématique ou classique) les végétaux sont subdivisés, selon leur appareil végétatif, en deux classes : les **thallophytes** et les **cormophytes**. Les thallophytes possèdent un appareil végétatif peu différencié et ne présentent pas une organisation structurale "axiale", ce qui a été appelé "**thalle**". Généralement ils n'ont pas d'organes distincts, comme des racines, des tiges. Les cormophytes (**cormus**, terme désignant axe), par contre, possèdent un appareil végétatif différencié bâti sur des structures axiales ou dressées en "tiges".

Cependant, selon la présence ou non de tissus de conduction "**vaisseaux**" (tissus spécialisés dans la conduction d'eau et la sève), ils sont subdivisés en plantes **non vasculaires** (car elles sont des plantes aquatiques ou vivent dans des milieux humides) et **vasculaires** ou **trachéophytes** (car elles sont des plantes terrestres ou vivent dans des milieux arides).

En se fondant sur leurs organes de reproduction, les végétaux sont classés en deux groupes. Ceux qui possèdent des organes sexuels cachés (invisibles) constituent le groupe des **cryptogames** (gamos: mariage; et crypta: invisible), en revanche, les **phanérogames** (phaneros : visible) sont celles qui possèdent des organes visibles comme les fleurs dans le cas des plantes à fleurs (Tableau 1-1, Fig. 1-2).

**Tableau 1-1. Classification Végétale**

<b>Thallophytes</b>	<b>non vasculaires</b>	<b>Cryptogames</b>	<b>Phycophytes (Algues)</b>	
<b>Cormophytes</b>			<b>Bryophytes (mousses)</b>	
			<b>Ptéridophytes (fougères)</b>	
	<b>vasculaires ou trachéophytes</b>	<b>Phanérogames</b>	<b>Spermaphytes</b> Plantes à graines	<b>Gymnospermes</b> (conifères)
				<b>Angiospermes</b> Plantes à fleurs

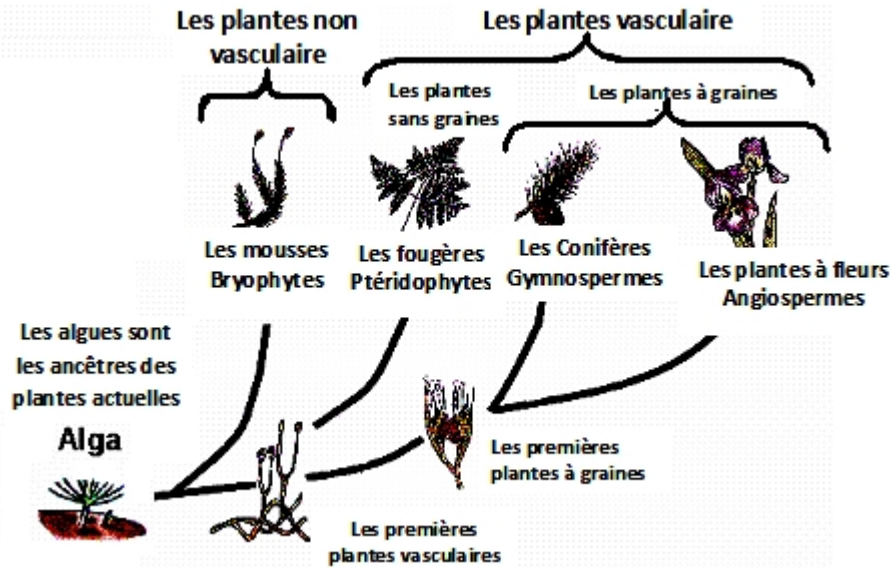


Fig.1-2. Schéma montrant l'évolution des végétaux

**Notion d'espèce :**

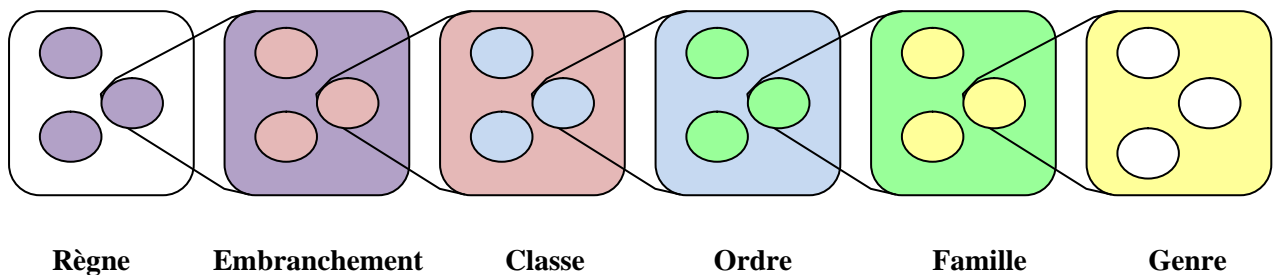
L'espèce est l'unité fondamentale de la classification. Elle regroupe les individus ayant des propriétés morphologiques identiques, qui donnent par reproduction croisée des individus fertiles, ayant des propriétés morphologiques identiques à celles des parents.

La classification des végétaux consiste à regrouper les végétaux dans une hiérarchie objective. Ainsi les espèces ayant des propriétés communes sont regroupées en genres, les genres en ordres, les ordres en familles, les familles en classes, les classes en embranchements ou phylums et enfin les embranchements en règnes (voir le schéma ci-dessous).

Carl von Linné (1707-1771), un botaniste Suédois, est célèbre pour avoir codifié la nomenclature binomiale des végétaux et des animaux. Ce système utilise deux noms en latin : le premier indique le genre et le second l'espèce de la plante ou de l'animal. Par exemple :

<b>Genre</b>	<b>Espèce</b>	<b>Plante</b>
Triticum	durum	Blé dur
Triticum	aestivum	Blé tendre
Hordeum	vulgare	Orge

Les deux premières espèces appartiennent au même genre qui est «Triticum», la troisième (orge) appartient cependant à un genre différent «Hordeum», mais les trois espèces appartiennent à la même famille qui est la famille des Poaceae.



**CHAPITRE I****PROPRIÉTÉS STRUCTURALES DE LA CELLULE VÉGÉTALE**

Bien qu'il soit largement admis selon la «**théorie cellulaire**<sup>1</sup>» que tous les êtres vivants sont faits de cellules, toutefois celles-ci n'ont pas la même structure chez tous les organismes vivants.

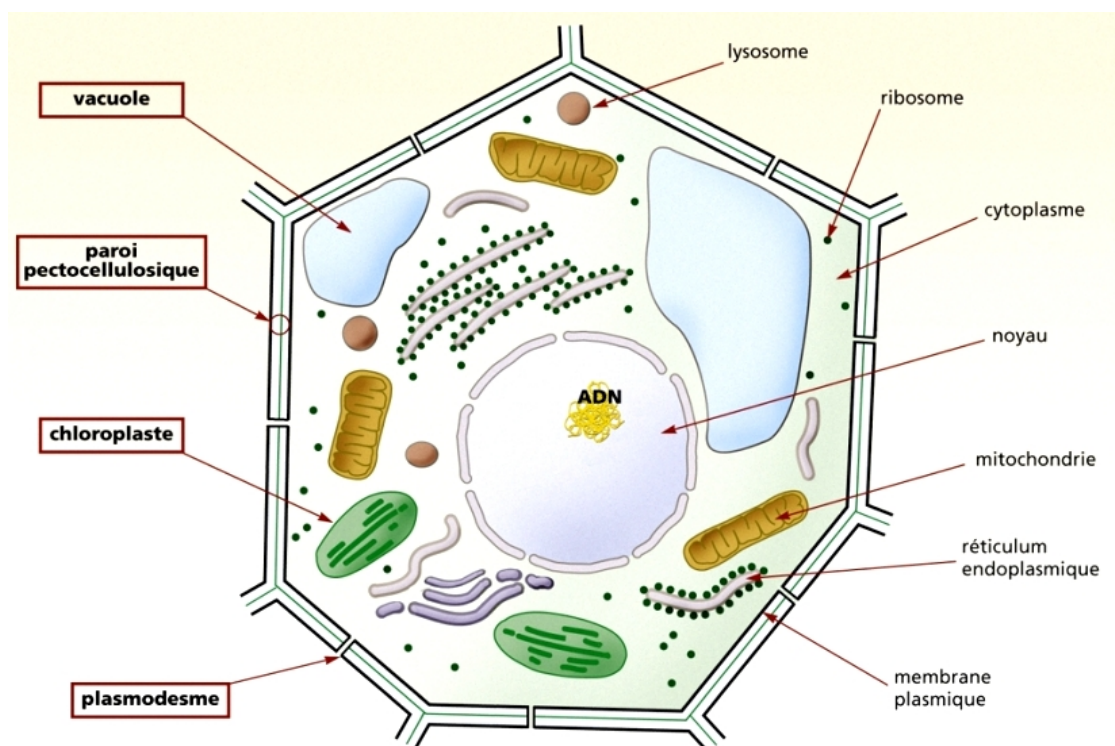
Les cellules végétales, bien qu'elles soient comme les cellules animales des **Eucaryotes**, sont néanmoins caractérisées par un certain nombre de propriétés structurales propres au règne végétal.

En général, la cellule végétale présente trois propriétés structurales caractéristiques, à savoir :

- 1- [Entourée d'une membrane squelettique rigide.](#)
- 2- [Possède des organites spécifiques qu'on appelle «plastés».](#)
- 3- [Possède une grande vacuole qui occupe presque la totalité du volume cellulaire.](#)

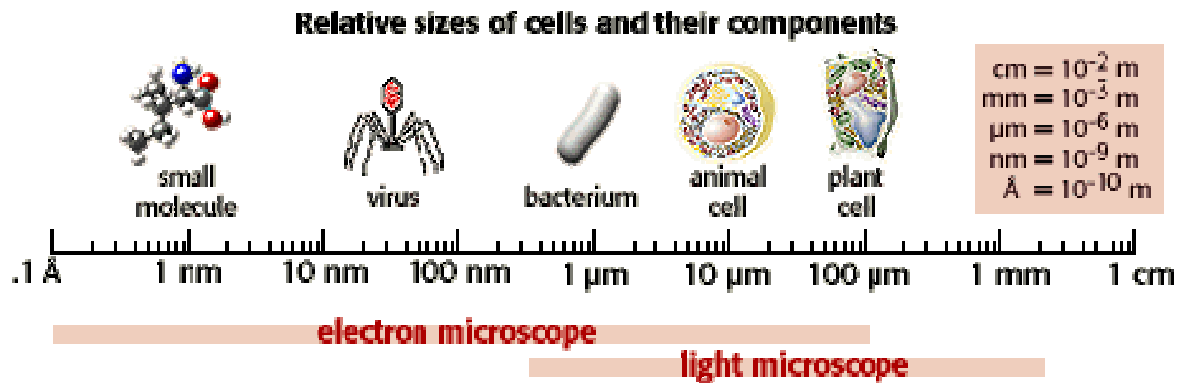
Enfin, nous pouvons ajouter à celles-ci les inclusions cytoplasmiques qui caractérisent certaines cellules végétales (Fig. 1-1 & 1-2).

Nous ne nous intéresserons ici qu'à l'étude de ces caractéristiques de la cellule végétale.



**Fig. 1-1. Principaux constituants de la cellule végétale**

<sup>1</sup> La théorie cellulaire, inaugurée par Robert Hooke (1665), est définitivement établie en 1838 par le botaniste allemand *Mathias Schleiden*, puis complétée en 1839 par le zoologiste *Theodore Schwann*.



**Fig. 1-2. Les végétaux possèdent des cellules de grande taille.**

## 1. PAROI CELLULAIRE<sup>2</sup>

Contrairement aux cellules animales, les cellules végétales sont entourées, de plus à la membrane plasmique ou **plasmalemme**, d'une deuxième membrane plus ou moins rigide appelée : **membrane squelettique** ou **paroi cellulaire** (Fig. 1-3).

Il est de tradition de distinguer trois couches successives dans la paroi cellulaire d'une cellule adulte ou mature : ainsi, de l'extérieur vers l'intérieur on en distingue :

- [La lamelle moyenne ou mitoyenne.](#)
- [La paroi primaire](#)
- [La paroi secondaire](#)

### 1-1) **Lamelle moyenne :**

Étant la première qui soit formée, la lamelle moyenne ou mitoyenne est considérée comme une couche commune entre les cellules adjacentes, et joue ainsi le rôle d'un ciment qui colle les cellules les unes aux autres. Elle est de nature purement pectique d'où sa consistance visqueuse ou gélatineuse.

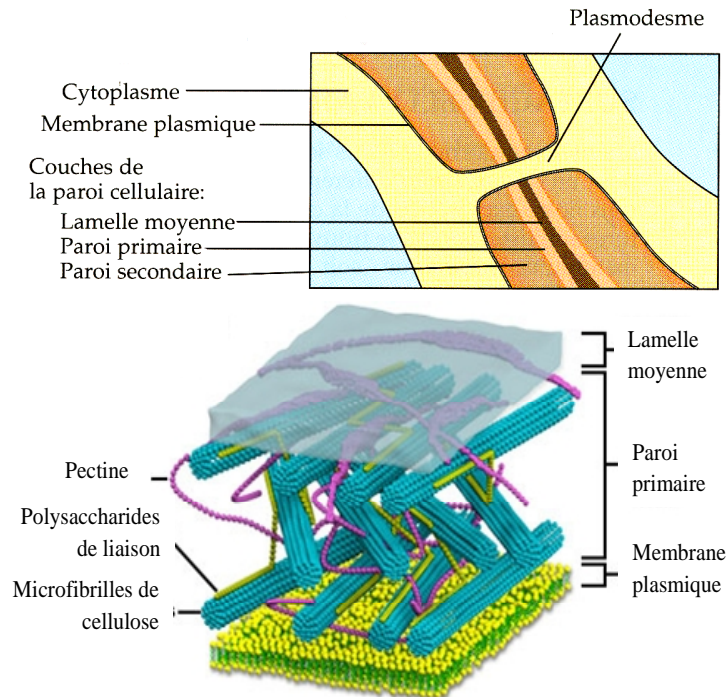
### 1-2) **Paroi primaire :**

La paroi primaire est la paroi que possèdent toutes les cellules végétales. Elle s'accole contre la membrane plasmique et délimite la cellule derrière la lamelle moyenne. Elle est plus rigide et plus épaisse que la lamelle moyenne. Elle existe seule chez les jeunes cellules dont elle n'empêche pas la croissance car elle est mince, flexible et extensible. Elle est de nature **pectocellulosique** (microfibrilles de cellulose enchâssées dans une matrice molle constituée principalement de pectines, des hémicelluloses et de protéines).

<sup>2</sup> <http://acces.ens-lyon.fr/biotic/morpho/html/paroi.htm>

### 1-3) Paroi secondaire :

La paroi secondaire n'existe que chez les cellules âgées, c.-à-d. celles qui ont achevé leur croissance, car elle est ferme et non extensible d'où elle empêche la croissance. Située vers l'intérieur entre la membrane plasmique et la paroi primaire, elle est plus épaisse et plus rigide que la paroi primaire car elle n'est formée que de microfibrilles de **cellulose** (absence de la matrice qui rend la paroi flexible).



**Fig. 1-3. Représentations schématique et tridimensionnelle de la paroi cellulaire**

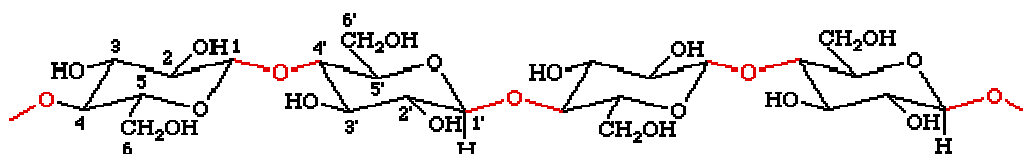
(La paroi secondaire ainsi que les protéines ne sont pas représentées)

### **De quoi est-elle faite la paroi cellulaire ?**

Une paroi typique est constituée de deux parties : la **charpente** qui est faite de cellulose et la **matrice** qui est faite des hémicelluloses, de pectines et de protéines.

### **Charpente :**

La **cellulose** est un polysaccharide formé de longue chaîne de béta **glucose** (Fig. 1-4). Chaque chaîne de cellulose forme une structure cristalline appelée **microfibrille** qui contient env. 2000 molécules de glucose et qui possède un diamètre de 20 à 30 nm. Les microfibrilles de cellulose constituent la charpente de la paroi. Elles sont réunies entre elles par une matrice 'trame'.

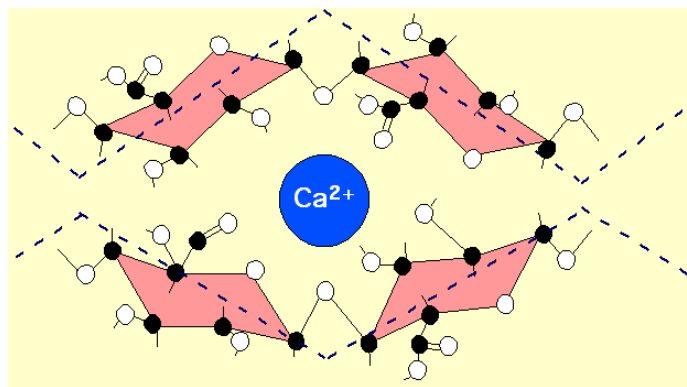


**Fig. 1-4. Chaîne de cellulose.**

**Matrice :**

Elle est constituée d'un réseau de polysaccharides (hémicelluloses et les composés pectiques) à lequel s'ajoute un deuxième réseau fait de protéines (ou des glycoprotéines).

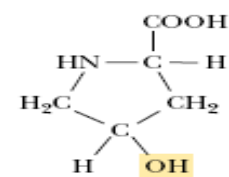
- Les **hémicelluloses** se sont des polysaccharides incluant les xyloxyanes, glucuronoxyloxyanes, arabinoxyloxyanes, mannanes, glucomannanes et les galactoglucomannanes.
- **Les pectines** sont des polymères de plusieurs polysaccharides acides. Les chaînes de pectine, qui portent des charges négatives, sont reliées entre elles par de nombreuses liaisons établies avec des cations tels que le  $\text{Ca}^{+2}$  (Fig. 1-5). Ce sont de faibles liaisons qui peuvent facilement se rompre d'où il en résulte une certaine élasticité. Les pectines sont prédominantes au sein de la lamelle moyenne.



**Fig. 1-5. Le calcium bivalent qui assure la liaison entre les chaînes de pectine**

- **Les protéines pariétales** : On distingue 3 classes principales de protéines pariétales ; les protéines riches en glycine, les protéines riche en proline et les glycoprotéines riches en 4-hydroxyproline (ex : **extensines**). Les chaînes peptidiques peuvent être rattachées les unes aux autres en réseau par des liaisons éther ( $\text{R}_1\text{-O-R}_2$ ) entre deux molécules de **tyrosine**.

**4-Hydroxyproline**

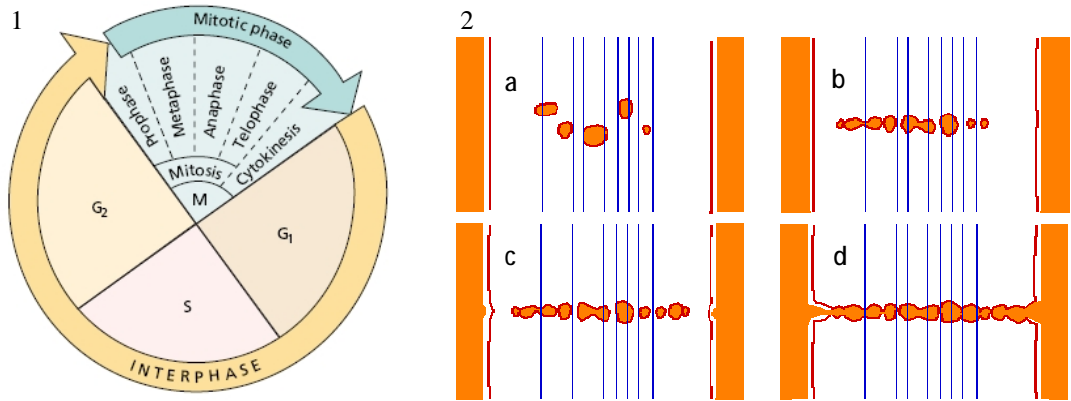


### Quelle est l'origine de la paroi cellulaire ?

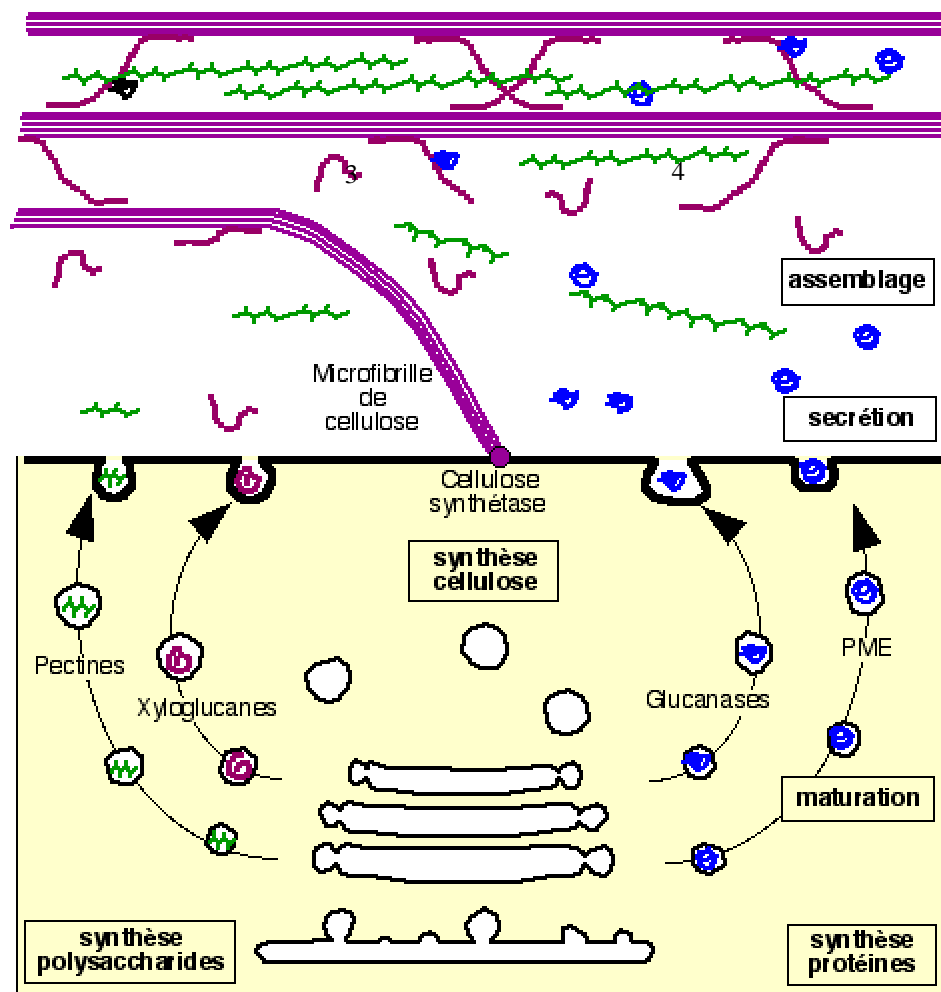
Lors d'une division cellulaire, c'est au moment de la **télophase** que se constitue la nouvelle paroi qui sépare les deux cellules filles. Au plan équatorial de la cellule mère, se rassemblent des vésicules d'origine golgienne puis se conjoignent et fusionnent pour former le **phragmoplaste**. Celui-ci s'étend de manière centrifuge jusqu'à la paroi ancienne. A la fin de se processus, la nouvelle paroi se soude aux parois latérales. Cette paroi commune aux deux cellules filles est la lamelle moyenne (Fig. 1-6).

Par de nouvelles sécrétions et la fabrication de microfibrilles de cellulose par des enzymes transmembranaires appelées « **cellulose synthétases** » chacune des deux cellules filles forme sa propre paroi primaire (Fig. 1-7).

La paroi secondaire est donc la dernière paroi qui soit formée, car après sa formation la croissance de la cellule n'est plus permise.



**Fig. 1-6. Cycle cellulaire (1) et les étapes de la formation d'une nouvelle paroi (2)**



**Fig. 1-7. Voies de synthèse et de sécrétion des divers constituants de la paroi**

## Quelles sont les fonctions de la paroi cellulaire ?

La paroi cellulaire jouent plusieurs rôles tels que :

- **Protection.**

Les plantes sont en permanence exposées à des agressions de leur environnement du fait de leur mode de vie "sédentaire" ou "l'immobilité". C'est donc grâce à la présence d'une paroi plus ou moins rigide, qui joue dans ce cas le rôle d'une barrière isolatrice, que les plantes puissent supporter ces agressions.

- **Forme.**

Une plante, contrairement à un animal vertébré, ne possède pas de squelette qui lui permet d'avoir une forme déterminée, ainsi l'établissement d'une paroi rigide permet aux cellules et, par conséquent, à la plante d'avoir une forme déterminée ainsi que de résister à la force gravitationnelle et de se maintenir dans la verticale.

- **Maintenir la vie de la cellule.**

La plante s'efforce de maintenir son milieu interne plus concentré que le milieu externe, cela est important car en augmentant la pression osmotique de ses cellules, celle-ci puisse absorber l'eau. Or, l'absorption excessive de l'eau par une cellule entraîne son gonflement, et par conséquent, risque de s'éclater. C'est dans ce contexte-là que par l'élaboration d'une paroi aussi rigide et flexible, que la cellule puisse exercer ses fonctions sans prendre le moindre risque de s'éclater sous l'effet d'une pression de **turgescence**<sup>3</sup> élevée.

## Quelles sont les modifications secondaires que peut subir la paroi cellulaire ?

Dans certaines cellules, la paroi s'épaissit et change de composition chimique afin d'assumer des fonctions un peu particulières. Bien que la paroi peut subir plusieurs modifications, néanmoins celles-ci visent toujours soit d'augmenter sa rigidité, soit de la rendre moins perméable.

### A- Modifications augmentant la rigidité de la paroi :

Pour augmenter la rigidité de leurs parois, les cellules utilisent souvent deux moyens :

- **Lignification** : c'est le dépôt interne ou l'imprégnation de la paroi par la «**lignine**», qui est une substance alcoolique complexe. Pour exemple, le bois est construit de cellules dont les parois cellulaires sont entièrement lignifiées.
- **Minéralisation** : c'est l'imprégnation de la paroi par des substances minérales, surtout par le dépôt de carbonate de calcium ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ) et de silice ( $\text{SiO}_2$ ).

---

<sup>3</sup> **Turgescence** : force ou pression interne provoquant le gonflement ou la dilatation des cellules, de ce fait, elle joue un rôle très important dans l'allongement cellulaire (croissance).

### B- Modifications augmentant l'imperméabilité de la paroi :

Généralement pour empêcher les pertes d'eau, certaines cellules modifient la composition chimique de leurs parois en ajoutant des substances de nature lipidique. Selon la substance utilisée on en distingue :

- **Cutinisation** : les cellules de revêtement, telles que les cellules épidermiques des feuilles, possèdent souvent des parois externes (parois superficielles) entièrement recouvertes d'une couche plus au moins épaisse d'une substance dite «**cutine**<sup>4</sup>».
- **Cérification** : de même, certaines cellules superficielles modifient leurs parois externes par le dépôt d'une couche de «**cire**». La cutine et la cire sont souvent mélangées pour former une couche dite la «**cuticule**». Le **palmier à cire** (*Copernicia cerifera*, Arécacées) est un arbre dont les cellules produisent énormément de cire pour faire l'objet de récolte.
- **Subérification** : les troncs d'arbres sont souvent recouverts d'une écorce dont une partie constitue de «**liège**». Celui-ci est formé de cellules mortes, car leurs parois sont entièrement imprégnées par une substance imperméable à l'eau qu'on appelle la «**subérine**». Les producteurs de liège écorcent les arbres de «**chêne-liège**» (*Quercus suber*) tous les dix ans et obtiennent ainsi un liège de qualité croissante.

### Par quel moyen les cellules communiquent entre-elles ?

En fait, la paroi cellulaire n'entoure pas entièrement la cellule végétale, car à certains endroits celle-ci manque entièrement ou devient très mince comme une simple membrane plasmique ou presque. Ainsi, il existe au moins deux moyens qui assurent la communication entre les cellules voisines, à savoir :

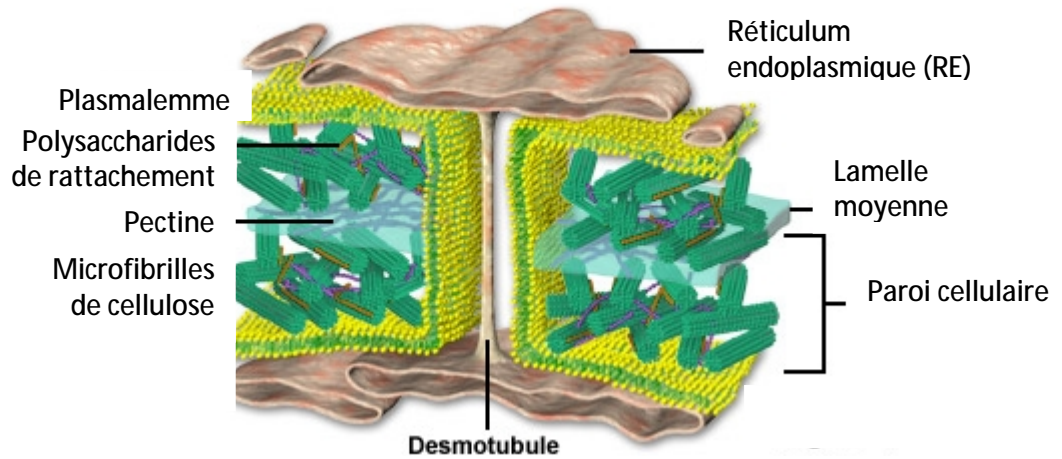
- La présence des **PLASMODESMES** :

Se sont des orifices d'un très faible diamètre (des centièmes de microns), qui assurent une continuité cytoplasmique parfaite entre les cellules voisines et qu'on appelle les «**Plasmodesmes**».

Les plasmodesmes, comme le montre la figure 1-8, sont de très fins canaux dits «**desmotubules**» limités par la membrane plasmique et traversés par un tractus en rapport avec le RE des cellules contiguës.

---

<sup>4</sup> La cutine est une substance de nature lipidique qui recouvre la face externe des cellules épidermiques aériennes chez les végétaux. Il s'agit en fait d'un polymère de lipide soit à 16 (C16), soit à 18 (C18) atomes de carbone. La famille des cutines en C16 est principalement représentée par le 16-hydroxypalmitate et les 9,16 ou 10,16-dihydroxypalmitates. Celle des cutines en C18 est principalement représentée par le 18-hydroxyoléate, le 9,10 époxy-18-hydroxystéarate, et le 9, 10, 18-trihydroxystéarate. La cutine est colorable par les colorants des lipides comme le rouge Soudan.



**Fig. 1-8a. Représentation en 3D d'un plasmodesme**

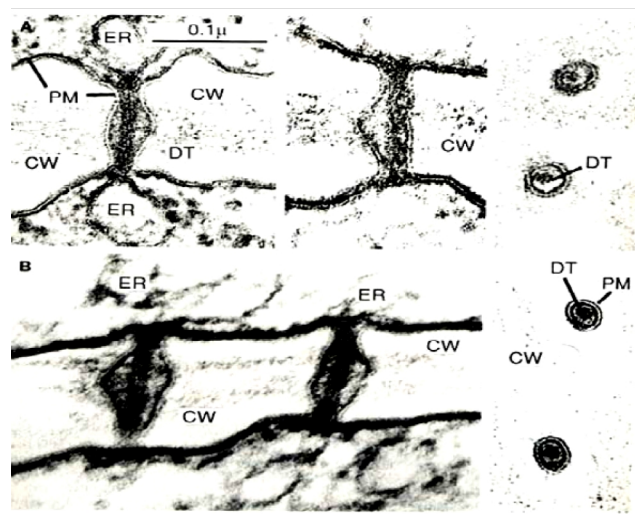
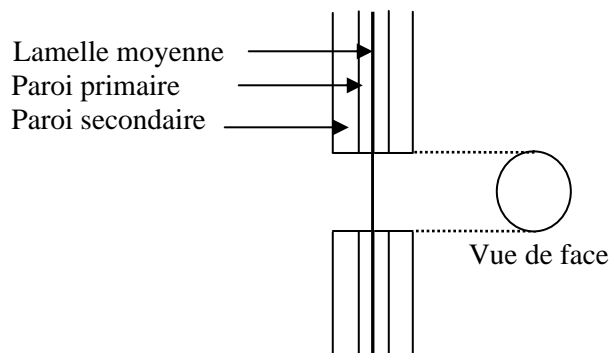


Figure 5.47 Electron micrographs of plasmodesmata in the cell wall

**Fig. 1-8b. Plasmodesmes observés par un microscope électronique**

- La présence de **PONCTUATIONS** :

Les ponctuations se forment par l'amincissement de la paroi cellulaire à certains endroits. Celles-ci apparaissent sous microscope électronique sous forme de taches claires sur un fond sombre (voir le schéma ci-dessous).



**Fig. 1-9. Ponctuation simple et symétrique.**

## 2. PLASTES

Les plastes sont des organites intracellulaires qui ont pour fonction soit de stocker les différentes substances élaborées dans la cellule, soit, selon la nature des pigments qu'ils contiennent, de participer activement à certains processus de biosynthèse de substances vitales pour la cellule et, par conséquent, pour la plante.

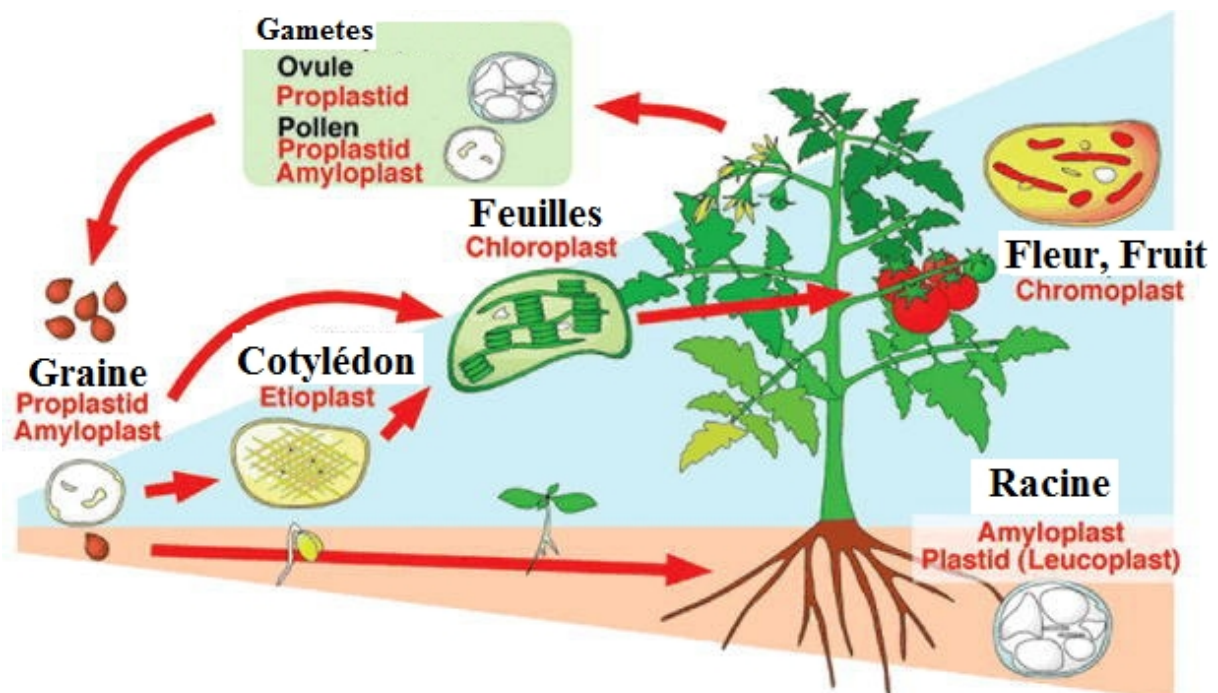
A leur naissance, les plastes sont indifférenciés, ne renfermant aucun pigment et sont appelés les **proplastes** ou **protoplastes** (Fig. 1-10). Graduellement ils se spécialisent pour devenir, soit :

- Des **chloroplastes**, caractérisés par la présence de la chlorophylle.
- Des **chromoplastes**, de couleurs jaune, rouge ou orange, caractérisés par l'absence de la chlorophylle.
- Des **leucoplastes**, incolores qui jouent le rôle de stockage de diverses substances.

### 2.1. CHLOROPLASTES :

#### 1-1-Structure et ultrastructure :

Le chloroplaste est un organite de forme lenticulaire ou ovoïde (chez les plantes inférieures les chloroplastes peuvent avoir diverses formes : filamenteuses, rondes, spiralées etc.) de 3-10  $\mu\text{m}$  de diamètre et de 1-3  $\mu\text{m}$  d'épaisseur. Chaque cellule contient de 10 à 200 chloroplastes (plus ils sont nombreux plus ils sont petits). L'ensemble des chloroplastes dans une cellule constitue le **plastidome**. Les chloroplastes évoluent en fonction de l'âge de la plante et de son environnement (Fig. 1-11).



**Fig. 1-10. Différents types de plastes et interconversion plastidiale**



Les chloroplastes sont délimités par deux membranes (6 nm d'épaisseur) séparées par un espace intermembranaire de 10 nm d'épaisseur, où aucune réaction enzymatique n'ait lieu (faute d'absence d'enzymes).

La **membrane externe** est relativement perméable, faite de protéines et de phospholipides, par contre la **membrane interne** se caractérise par sa **perméabilité sélective**, son organisation structurale est plus complexe, due à sa forte teneur en protéines (parmi les protéines enzymatiques que l'on trouve le plus souvent sont les **ATPases**), de plus à sa composition en lipides un peu particuliers, **galactolipides** et **sulfolipides**,

A l'intérieur du chloroplaste, le **stroma** constitue la matrice intraplastidiale dans laquelle se situent des **plastoribosomes** (ribosomes 70S), un ADN circulaire, des grains d'amidon (qui constituent une réserve temporaire de sucre nécessaire au fonctionnement des chloroplastes), des **plastoglobules** (globules lipidiques) etc. et un système lamellaire fait d'empilements<sup>5</sup> de saccules aplatis que l'on appelle **Grana** (singulier Granum).

Chaque granum est formé d'un ensemble de saccules aplatis appelés **Thylakoïdes** = **Thylacoïdes**. Le thylacoïde est constitué d'une simple membrane qui délimite un espace interne appelé **lumen**, une phase aqueuse, qui contient diverses substances notamment les pigments photosynthétiques (les chlorophylles).

Chaque grana peut être constitué de 2 à 100 disques reliés les uns aux autres par des lamelles stromatiques interconnectées, constituant ainsi un réseau continu.

### 1-2- Composition chimique des thylakoïdes :

- **Lipides** : ils représentent 30% de la masse des thylacoïdes. On en distingue les galactolipides (75%), les phospholipides (15%) et les sulfolipides (10%).
- **Pigments** : on en distingue deux classes importantes : les chlorophylles (a et b) et les caroténoïdes. Par contre chez certaines plantes inférieures (algues), d'autres pigments peuvent exister comme les **phycobiliprotéines**.
  - **Chlorophylles** : c'est un pigment vert facilement extractible par des solvants organiques tels que l'acétone ou le chloroforme, il représente 3% de la masse des chloroplastes. La Chl. «a» a une couleur bleu-vert alors que Chl. «b» a une couleur vert-jaune. Les deux versions de la chlorophylle absorbent la lumière à deux longueurs d'ondes différentes : la forme « a » absorbe à 680 nm tandis que la forme « b » absorbe à 700 nm.

---

3-L'empilement des saccules donne une surface membranaire importante dans un espace réduit (le chloroplaste), ce qui permet, entre autres, une grande perception et une meilleure récupération de l'énergie lumineuse. Les plantes croissant à l'ombre, développent la surface de contact de leur granum pour avoir un apport en énergie lumineuse à peu près normal. Chez les plantes soumises à une grande luminosité, cette surface diminue.

- **Caroténoïdes** : ils ont des couleurs variées jaune, rouge, orange etc. Parmi les caroténoïdes qu'on peut rencontrer nous citons : les **carotènes** qui sont orangés, de formule brute (C<sub>40</sub>H<sub>56</sub>), il existe plusieurs formes de ce pigment, cependant la plus répandue c'est la forme β-carotène ou la provitamine A (chaque molécule de β-carotène donne deux molécules de la vitamine A). Le **lycopène** qui donne la couleur rouge à la tomate. Les **xanthophylles** qui ne diffèrent des carotènes que par la présence d'oxygène (C<sub>40</sub>H<sub>56</sub>O<sub>n</sub>), ils ont plutôt une couleur jaune.<sup>6</sup>
- **Protéines** : on a deux types de protéines : (1) des protéines réceptrices des rayonnements lumineux qui forment des antennes et qui sont associées aux pigments. (2) des protéines qui servent au transfert des électrons (chaîne de transfert des électrons) ex. les cytochromes.

### 1-3-Fonctions des chloroplastes :

Du moment où les chloroplastes contiennent des pigments, surtout de la chlorophylle, ils ont donc le pouvoir de capter et d'utiliser l'énergie solaire pour synthétiser des glucides comme le glucose (source précieuse d'énergie chimique pour la majorité des êtres vivants) au cours de la photosynthèse. L'équation générale de la photosynthèse peut s'écrire, globalement :



Néanmoins, les chloroplastes jouent également d'autres fonctions telles que la synthèse des lipides (huiles), les stéroïdes, les caroténoïdes, les terpénoïdes, etc.

## 2.2. CHROMOPLASTES :

Les chromoplastes sont des plastes qui contiennent divers pigments, notamment des **caroténoïdes**, à l'exception de la chlorophylle. Ils sont, en général, responsables de la couleur (jaune, orange, rouge etc.) de beaucoup de fruits comme la **tomate** (*Lycopersicon esculentum*), le **piment** (*Capsicum annum*) ; de pétales de fleurs comme la **jonquille** (*Narcissus pseudonarcissus*), et même de racines comme la **carotte** (*Daucus carota*).

Ces plastes n'accomplissent pas de fonctions métaboliques comme les chloroplastes, mais ils peuvent, par contre, jouer indirectement un rôle important dans la pollinisation. En général, leur différenciation se fait tardivement, par exemple au cours de la maturation des fruits (changement de couleur), le plus souvent à partir de chloroplastes.

<sup>6</sup> Les étioplastes : sont des chloroplastes étiolés (jaunes) qui se forment dans les plantes cultivées en l'absence de lumière.

### 2.3. LEUCOPLASTES :

On regroupe sous cette appellation des plastes assurant des fonctions de stockage et dont le seul point commun est l'absence de pigments. On y inclut les **amyloplast**es qui stocke l'amidon, les **protéino**plastes qui renferment des protéines se forme de cristalline et les **oléop**lastes qui renferment des gouttelettes de graisse et d'huile. Certains peuvent se différencier en chloroplastes ou en chromoplastes s'ils sont exposés à la lumière, d'autres ne le peuvent pas, par exemple les leucoplastes des cellules de garde (**stomates**).

Les **Amyloplast**es stockent sous forme d'amidon les sucres formés par photosynthèse jusqu'à ce que la plante en ait besoin. On les trouve dans les tissus de réserve de certains organes : racines tubérisées, rhizomes, tubercules, quelques fruits et graines. Ils ont souvent des formes sphériques, quelquefois lenticulaires, coniques ou polygonales. Leur forme dépend du nombre et du volume des grains d'amidon qu'ils contiennent. Les amyloplastes peuvent verdir et devenir des chloroplastes s'ils sont exposés à la lumière à l'exemple des tubercules de **pomme de terre** (*Solanum tuberosum*) (voir Fig.2-10 et TP n° 2).

## 3. VACUOLE

Toutes les cellules végétales présentent une poche ou vésicule remplie d'eau contenant en solution des sels et diverses substances. La membrane qui la délimite, dite **tonoplaste**, est responsable du "**tonus**", c'est-à-dire de la tension cellulaire (turgescence). À travers cette membrane, en effet, la vacuole reçoit ou perd de l'eau, ce qui a pour effet de modifier la turgescence de la cellule végétale.

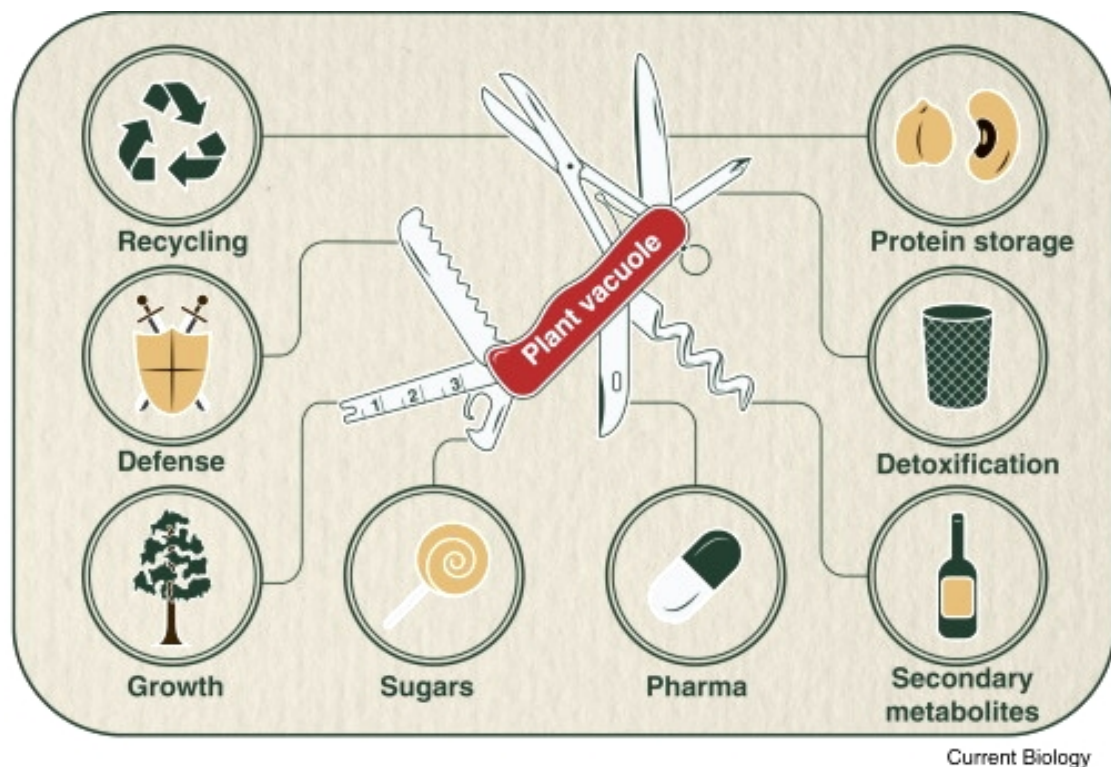
Les jeunes cellules se caractérisent par la présence de plusieurs vacuoles de petites dimensions qui, dans les cellules mûres, se fondent ensemble pour former une grande vacuole occupant 80 % du volume cellulaire. Le cytoplasme, le noyau et les chloroplastes, avec les autres organites cellulaires, sont ainsi relégués dans une position marginale, derrière la paroi végétale.

La vacuole assure la croissance de la cellule végétale en absorbant de l'eau, le principal constituant du suc qu'elle contient, car la production d'un nouveau cytoplasme serait trop coûteuse pour la cellule. Les autres constituants du suc vacuolaire, qui varient dans les différentes plantes ainsi que dans les différents tissus d'une même plante, sont les acides aminés, les sucres, les protéines, les substances minérales ou de réserve, les déchets et les pigments. Cette vésicule contient par conséquent les substances les plus diverses, qui peuvent être accumulées ou mobilisées dans la cellule selon ses nécessités de croissance ou les conditions extracellulaires.

La vacuole a souvent une action de **détoxication** : elle stocke des substances qui, accumulées en trop grande quantité, pourraient nuire au cytoplasme (par exemple, les substances toxiques destinées à lutter contre les ravages des herbivores et qui sont diffusées hors des cellules lorsque l'animal s'attaque à la plante).

La vacuole contient aussi quelques pigments, dits **anthocyanines**, responsables des couleurs bleue, violette, rouge pourpre ou rouge foncé des fleurs, fruits et tiges. Ce sont ces mêmes pigments qui se forment chaque année en réponse au froid, en même temps que la dégradation de la chlorophylle, donnant aux feuilles leur **coloration automnale** caractéristique. Parfois, comme dans l'érable rouge (*Acer rubrum*), ils sont présents dans des quantités telles qu'ils masquent la couleur verte de la chlorophylle des feuilles.

La vacuole remplit une autre fonction importante, semblable à celle des lysosomes de la cellule animale. Elle est capable d'englober et de dégrader des organites cellulaires vieillissants comme les ribosomes, les mitochondries ou les plastes, car elle contient les enzymes nécessaires (ex. les protéases).

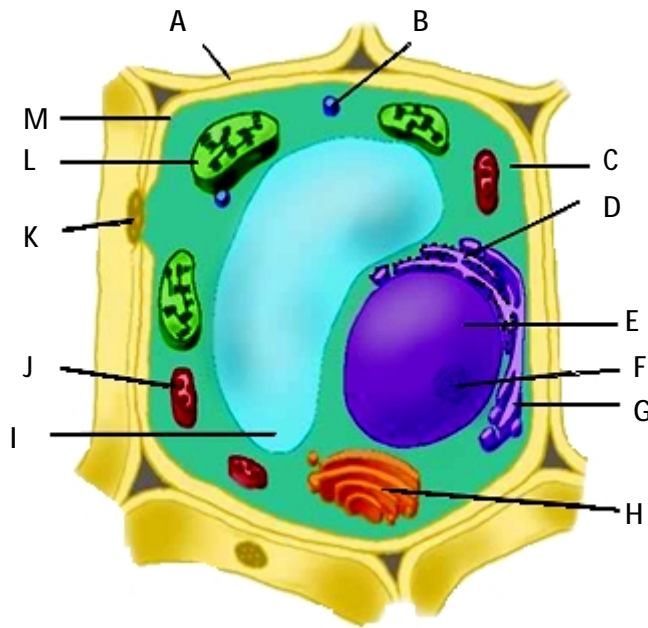


**Fig. 1-12. Schéma résumant les multiples fonctions de la vacuole.**<sup>7</sup>

<sup>7</sup> Eisenach, C., Francisco, R., & Martinoia, E. (2015). Plant vacuoles. *Current Biology*, 25(4), R136-R137.

**Auto-évaluation**

Identifier les éléments indiqués par des lettres sur le schéma suivant.



- A : .....
- B : .....
- C : .....
- D : .....
- E : .....
- F : .....
- G : .....
- H : .....
- I : .....
- J : .....
- K : .....
- L : .....
- M : .....

Parmi ces différents éléments lesquels caractérisent-ils vraiment la cellule végétale ?

.....

Quelle-sont les fonctions assurées par chacun de ces éléments ?

.....  
 .....

A l'aide d'un schéma, représenter la structure d'une paroi cellulaire, et citer les modifications secondaires qu'elle peut subir (sans explication).

.....  
 .....

**Donner la définition des termes suivants :**

- Angiosperme :  
 .....
- Tonoplaste :  
 .....
- Amyloplaste :  
 .....
- Différenciation cellulaire :  
 .....

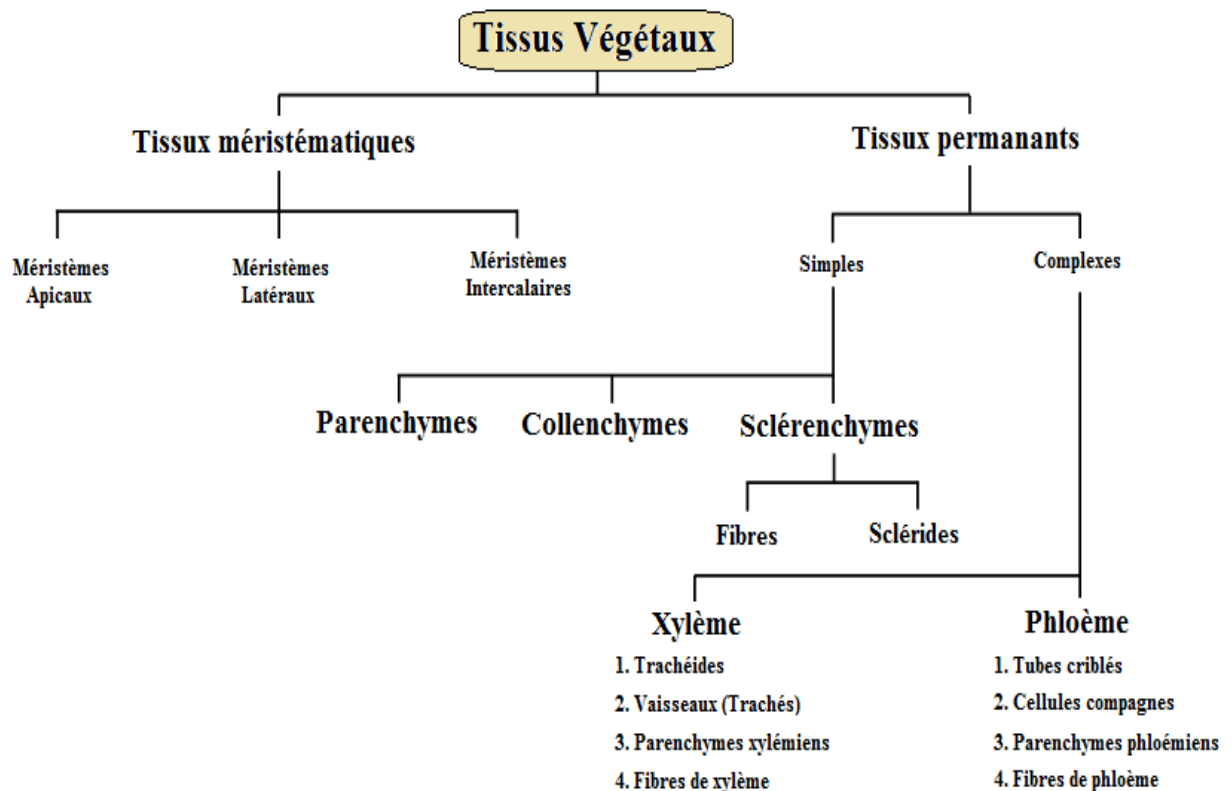
## CHAPITRE II

# TISSUS VEGETAUX

Nous venons de voir dans le chapitre I les caractéristiques structurales d'une cellule végétale prise isolément et soi-disant typique. Cependant, chez les végétaux supérieurs (pluricellulaires), il existe plusieurs types de cellules et chaque type forme une organisation supérieure appelée 'Tissu'; ces derniers forment à leur tour les unités fonctionnelles de la plante, qui sont les organes (racines, tiges, feuilles et fleurs).

Les tissus des végétaux forment deux systèmes, à savoir : les tissus méristématiques et les tissus permanents.

Les tissus permanents (fonctionnels) sont souvent classés selon leur fonction. Ainsi, on en distingue les tissus de revêtement, les tissus de conduction et les tissus fondamentaux qui assurent les fonctions de synthèse, de stockage, de soutien ou de sécrétion.



**Schéma récapitulatif des différents types de tissus végétaux (Angiospermes).**

## 1. INTRODUCTION

Un tissu peut être défini comme étant «**un ensemble de cellules, constitué d'un ou de plusieurs types de cellules, qui ensemble remplissent une fonction spécialisée**». Ces cellules différenciées<sup>1</sup> pourraient se distinguer les unes des autres par la forme, la taille, la présence de structures spécifiques, une composition chimique particulière, tout ceci conférant à chaque groupe un rôle particulier.

L'anatomie (étude de l'organisation interne) des organes végétaux a permis d'apercevoir l'existence de plusieurs types de tissus, bien que peu nombreux en comparaison avec ceux des animaux.

Selon s'ils sont différenciés ou non, on en distingue deux classes de tissus :

- 1- Les tissus indifférenciés ou de **multiplication** : ils sont responsables de la croissance (multiplication cellulaire), donc ils sont à l'origine de tous les tissus différenciés. On les appelle **Méristèmes**.
- 2- Les tissus différenciés : ce sont les tissus qui résultent du fonctionnement des méristèmes, ils sont souvent classés suivant leur rôle en cinq classes.

## 2. MERISTEMES

Les méristèmes sont des tissus formés par un ensemble de cellules jeunes et indifférenciées. Ils sont à l'origine de tous les autres tissus de la plante. Ils sont responsables de la **croissance indéfinie** qui caractérise des végétaux comme les arbres (Fig. 2-1).

Chez beaucoup de plantes, on distingue souvent deux types de croissance :

- [une croissance en longueur ou primaire qui permet l'allongement des tiges et des racines et leur ramification, et](#)
- [une croissance en épaisseur ou secondaire qui assure une augmentation en diamètre des tiges et racines.](#)

Par conséquent, on distingue deux types de méristèmes :

### 2.1. Méristèmes primaires ou apicaux :

Ils sont situés à :

- l'extrémité (apex) des racines (M. racinaire)
- l'apex des tiges (M. caulinaire)
- dans les bourgeons axillaires à l'aisselle des feuilles (M. axillaire)
- dans les entre-nœuds (M. intercalaire).

Ils fournissent les cellules nécessaires à la croissance en longueur et à la ramification.

---

<sup>1</sup>Différenciation : on entend par différenciation cellulaire, l'acquisition des cellules de nouvelles propriétés structurales et fonctionnelles.

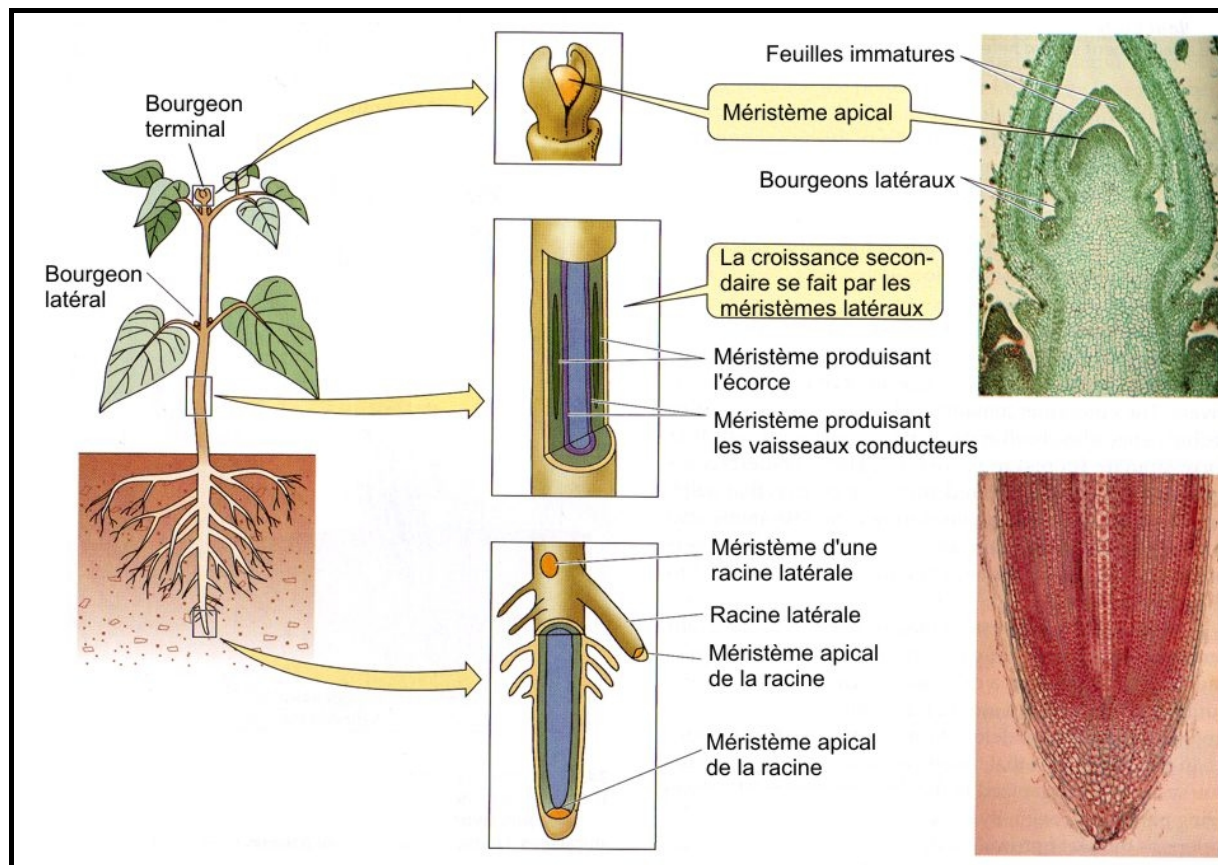


Fig. 2-1. Différents types de méristèmes.

Les caractéristiques des méristèmes primaires sont résumées dans le tableau suivant :

**Tableau 2-1 : caractéristiques des méristèmes primaires.**

<b>Localisation</b>	Aux extrémités des tiges et des racines
<b>Rôle</b>	Assurent la croissance en longueur
<b>Cellules</b>	Petites, isodiamétriques
<b>Noyau</b>	Sphérique, volumineux, au centre de la cellule, très riche en chromatine.
<b>Cytoplasme</b>	Dense et abondant
<b>Vacuoles</b>	Nombreuses, très petites avec un contenu très concentré
<b>Paroi</b>	Pectocellulosique très mince (lamelle moyenne + paroi primaire)
<b>Plastes</b>	Non différenciés (proplastés)
<b>Inclusion lipidiques</b>	Peu nombreuses

## Organisation d'un méristème primaire :

### ✓ Cas d'un méristème apical caulinaire (MAC) :

Dans un méristème apical caulinaire on distingue trois types de cellules (Fig. 2-2a) :

- Une **zone axiale**, peu fonctionnelle, appelée méristème d'attente, constituée de cellules dont l'activité mitotique est faible et dont le cycle cellulaire est de longue durée. Cette zone ne s'activera que lors du passage au stade de reproduction.
- Une **zone latérale**, nommée anneau initial, faite de cellules dont l'activité mitotique est intense et dont le cycle cellulaire est 2 à 3 fois plus court que dans la zone axiale. Il s'agit là d'une région organogène<sup>2</sup> qui initie les feuilles et fournit également l'essentiel des tissus de la partie sous-jacente de la tige.
- Une **zone intermédiaire** ou «**méristème médullaire**», située sous la zone axiale, constituée de cellules dont l'activité mitotique et la durée du cycle cellulaire ont des valeurs intermédiaires par rapport à celles des deux zones précédentes. Il s'agit là d'une région **histogène** qui met en place la moelle.

### ✓ Cas d'un méristème apical racinaire (MAR) :

Le MAR élabore les tissus de la racine et la coiffe : il est uniquement histogène. Il ne produit pas d'organes latéraux et n'est donc pas organogène. Les racines latérales se forment de manière endogène à quelque distance de l'apex. L'ensemble des méristèmes racinaires édifie les organes souterrains de la plante constituant le système racinaire (Fig. 2-2b).

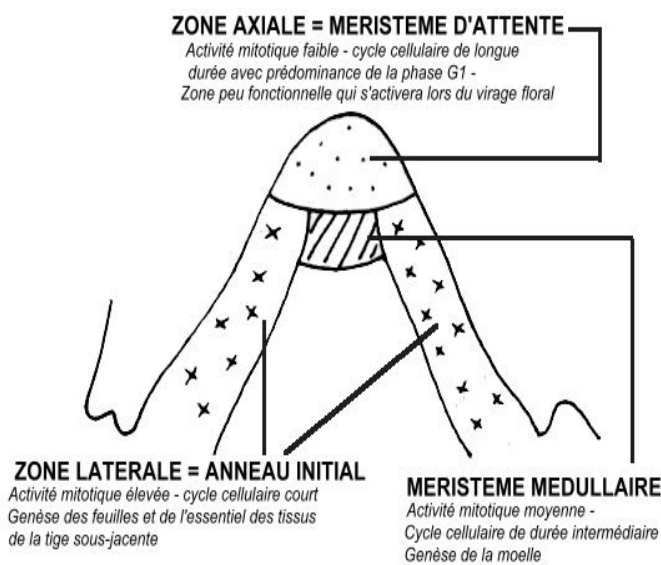


Fig. 2-2a. Le méristème apical caulinaire (MAC).

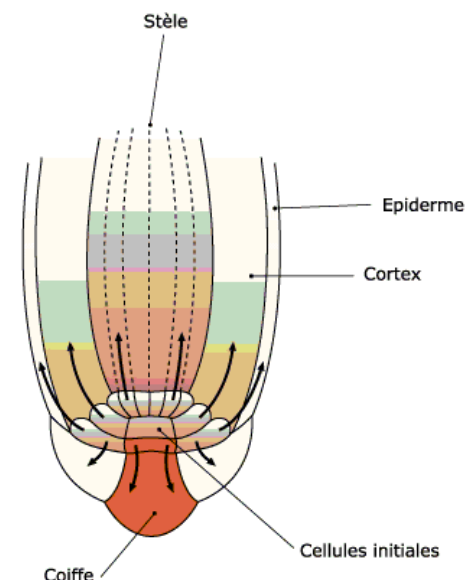


Fig. 2-2b. Le méristème apical racinaire (MAR).

<sup>2</sup> Organogenèse : formation des organes.

## 2.2. Méristèmes secondaires ou latéraux (cambiums) :

Les méristèmes secondaires sont localisés dans les parties âgées des tiges et des racines dont ils assurent la croissance en diamètre. Ils produisent les tissus secondaires de la plante. On retrouve ces méristèmes chez les Gymnospermes et les Angiospermes dicotylédones, ils sont absents chez les angiospermes monocotylédones, ce qui implique que nous retrouvons rarement des arbres et des arbustes dans ce groupe.

Les cellules des méristèmes secondaires sont rectangulaires disposées en une seule couche très régulière (d'où l'appellation d'assises), elles sont aplaties et allongées parallèlement à la surface de l'organe, l'appareil vacuolaire est plus développé que chez les méristèmes primaires ce qui rejette le noyau à la périphérie. Le noyau est relativement petit. Les cellules se divisent selon un axe tangentiel (divisions périclines) (Fig. 2-3).

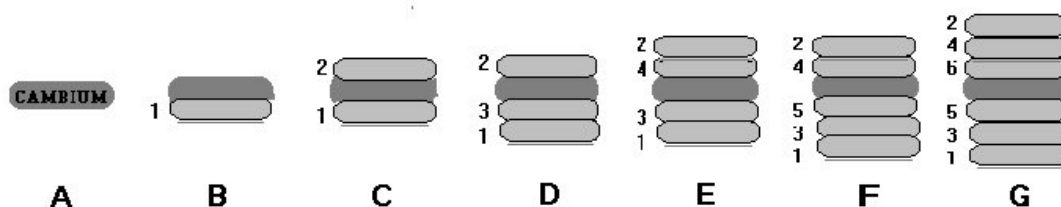


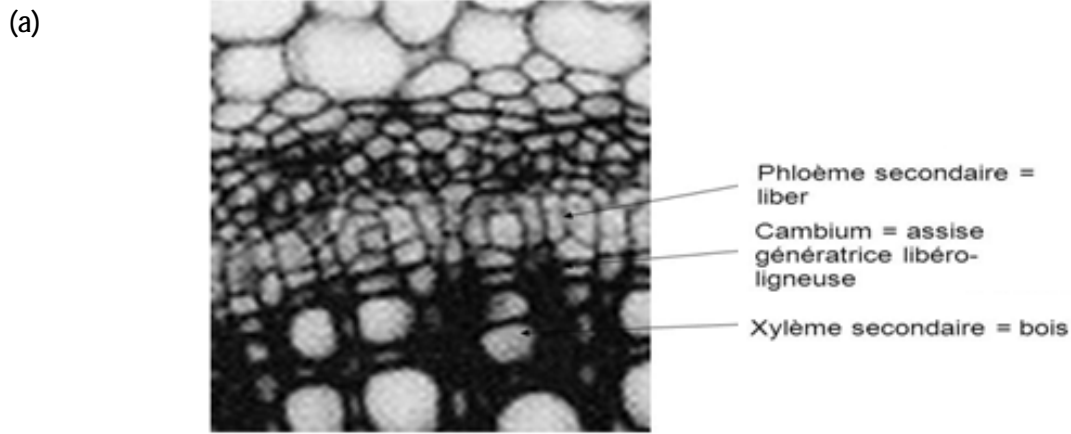
Fig. 2-3. Étapes de la division cellulaire d'une assise ou cambium. Les lettres A, B, C, etc. représentent les divisions dans le temps.

### 2.2.1. L'assise libéro-ligneuse :

On appelle aussi cette assise cambium ligneux ou tout simplement cambium. Elle occupe toujours la même position. Elle se différencie entre le xylème primaire et le phloème primaire et donne par divisions successives le xylème secondaire qu'on appelle aussi bois, et le phloème secondaire appelé aussi liber. Ces deux derniers tissus vont augmenter l'épaisseur de la tige ou de la racine. Le cambium a une activité rythmique, c'est-à-dire qu'il est actif l'été et inactif l'hiver. C'est ce fonctionnement saisonnier qui est responsable de la formation des cernes de croissance dans le bois (Fig. 2-4a).

### 2.2.2. L'assise subéro-phellodermique :

On appelle aussi cette assise cambium liégeux ou phellogène. Le phellogène occupe une position plus externe que le cambium. Il forme vers l'extérieur plusieurs couches de cellules mortes à parois subérisées c'est le **liège** ou suber. Vers l'intérieur il forme un tissu qui reste vivant : le **phelloderme**. Ces deux tissus sont les tissus secondaires de protection. Le phellogène, le phelloderme et le suber forment le périderme ou l'écorce externe (Fig. 2-4b).



**Localisation du cambium= assise génératrice libéro-ligneuse et des formations secondaires produites**

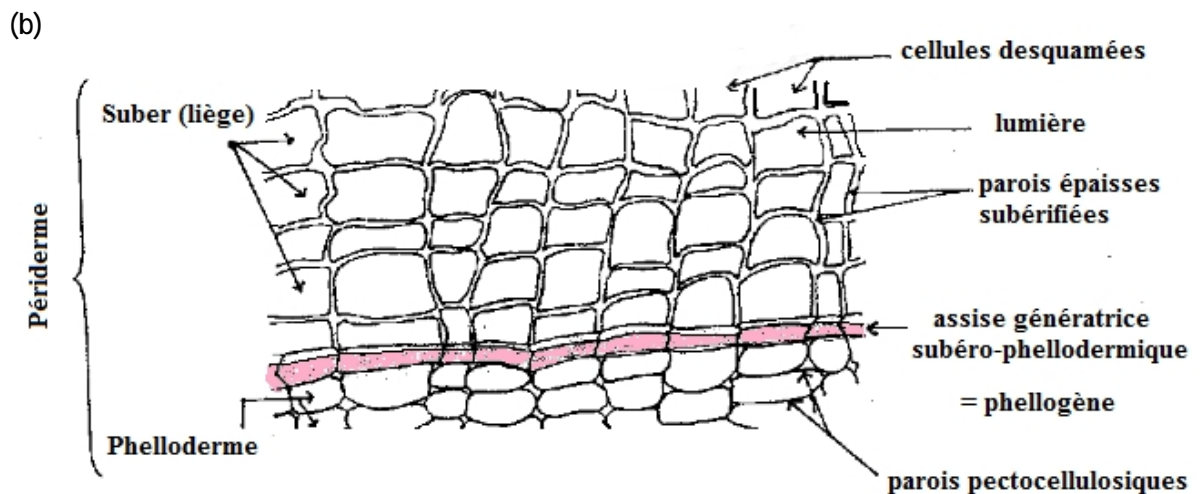


Fig.2-4. Localisation du cambium et du phellogène

### 3. TISSUS DE PROTECTION OU DE REVÊTEMENT

Ils recouvrent tous les autres tissus de la plante et les protègent contre la déshydratation et toutes sortes d'agressions extérieures. Ils forment donc un revêtement imperméable et résistant qui les isole du milieu extérieur. Cependant, afin de permettre les échanges avec l'extérieur, ils sont percés d'orifices : les **stomates** et les **lenticelles**.

Selon leur origine on en distingue deux types de tissus de protection : les tissus primaires (**épidermes**) qui tire leur origine des méristèmes apicaux et les tissus secondaires (**liège/suber**) qui sont formés par le phellogène (méristème secondaire).

#### 3.1. Épiderme :

L'**épiderme** est le plus souvent formé d'une seule couche de cellules vivantes, étroitement juxtaposées (absence de méats), de formes variables (isodiamétriques, allongées ou irrégulières) et généralement dépourvues de chloroplastes (Fig. 2-5a). Les parois cellulaires sont cellululosiques. La paroi extérieure est rendue imperméable à l'eau par le dépôt de cutine auquel s'ajoute parfois une couche de cire. Elle peut être également imprégnée de silice comme chez les graminées ou de carbonate de calcium comme les cucurbitacées. L'épiderme recouvre

pratiquement tous les organes, les feuilles, les jeunes tiges, les diverses pièces florales et les fruits (l'épiderme dans les jeunes racines est remplacé par des assises subérisées ou rhizoderme).

Chez certaines plantes l'épiderme est soutenu par une ou deux couches de cellules aux parois subérisées ou lignifiées ; elles constituent alors un **hypoderme** comme chez les feuilles du ficus et des résineux.

### **C Trois structures importantes accompagnent souvent l'épiderme ; il s'agit de :**

#### **i- Cuticule :**

La **cuticule** est une mince couche de cutine qui recouvre la face externe des cellules épidermiques des feuilles et des jeunes tiges. Son épaisseur est variable et dépend souvent des conditions du milieu où vit la plante, c'est ainsi qu'elle est épaisse chez les plantes xérophytes ou les résineux (conifères) adaptées aux régions arides et venteuses. En revanche, celle-ci est relativement mince ou complètement absente chez les plantes aquatiques ou les plantes qui vivent à proximité de l'eau.

La cuticule a un rôle majeur dans l'équilibre hydrique en retardant la dessiccation (dessèchement). Aussi, elle régularise la mouillabilité des surfaces, l'émission des sécrétions volatiles et elle défend contre toute attaque venant du milieu. La force abrasive du vent, l'action des polluants, l'attaque des parasites sont autant d'exemples d'agressions du milieu.

#### **ii- Stomates :**

Les **stomates** (Fig. 2-5b) sont des orifices dans l'assise épidermique, par lesquelles s'effectuent les échanges avec l'extérieur : entrée de CO<sub>2</sub> et sortie d'O<sub>2</sub> et de vapeur d'eau d'où on les appelle les **stomates aérifères**. Ils sont présents dans les feuilles et les jeunes tiges. Ils sont **constitués** de deux cellules réniformes (cellules stomatiques ou **de garde**) laissant entre elles une ouverture appelée **ostiole**. Sous l'ostiole, se trouve une grosse lacune, la **chambre sous-stomatique**. C'est en contrôlant l'ouverture ou la fermeture de l'ostiole que les cellules de garde contrôlent les pertes d'eau (vapeur) par **transpiration** (émission de l'eau à l'état de vapeur).

Les stomates peuvent être placés au même niveau que les cellules épidermiques voisines ou être enfoncés dans l'épiderme ou carrément en dessous de celui-ci dans des **cryptes** comme chez les conifères et les plantes désertiques (laurier-rose, cf. TP n° 3). Ce dernier cas est une adaptation à la sécheresse.

Chez les feuilles dressées verticalement (monocotylédones généralement), les stomates sont répartis sur les deux faces de la feuille. Chez les feuilles étalées horizontalement (dicotylédones généralement), ils sont toujours plus abondants sur la face inférieure de la feuille. Chez les feuilles flottantes, ils sont tous sur la face supérieure, chez les feuilles complètement immergées, ils sont absents. Généralement, ils sont extrêmement nombreux : de 50 à 200 par millimètre carré de surface foliaire, parfois jusqu'à 600 ou 700.

Il existe un type particulier de stomates appelé **stomate aquifère**. Ce sont des stomates spéciaux qui servent à l'émission de l'eau à l'état liquide. Ce phénomène est appelé **guttation** ou **sudation**. On rencontre ces formations sur le bord de certaines feuilles (thé, composées ombellifères, fraisier, etc.). Au niveau des nectaires, fréquents chez les fleurs, le liquide exsudé est une solution de sucres, le nectar, dont se nourrissent de nombreux insectes et qui sert aux abeilles à fabriquer le miel.

### iii- Poils Épidermiques :

Les **poils** sont des expansions de certaines cellules épidermiques. Leur forme est très variable, ils sont des critères intéressants dans l'identification des plantes. Ils peuvent être unicellulaires ou pluricellulaires. Ils peuvent être sécréteurs d'essence comme chez les fines herbes, **urticants** comme chez l'ortie ou devenir très durs comme les piquants ou les aiguillons des rosiers et des ronces (Fig. 2-5c).

### 3.2. Suber ou liège :

Le liège est un tissu léger, souple, imperméable qui recouvre les racines et les tiges âgées. Il tire son origine du phellogène donc c'est un tissu secondaire. En effet, sous l'effet de la poussée de croissance en épaisseur des tissus plus profonds, l'épiderme se déchire et devient non fonctionnel. Un phellogène va alors se différencier pour donner le liège (Fig. 2-5d).

Celui-ci est constitué d'un assemblage régulier de nombreuses couches de cellules mortes, rectangulaires et étroitement juxtaposées, dont les parois sont entièrement subérisées. L'intérieur des cellules est rempli d'air, d'où la légèreté de ce tissu. Grâce à l'air qu'il contient, le liège constitue une protection contre le froid. Il protège aussi contre les parasites et les chocs. Il peut protéger aussi contre le feu.

Comme le liège est complètement imperméable, il faut des structures pour assurer les échanges gazeux avec l'extérieur afin de permettre aux cellules vivantes situées en profondeur, de respirer. Par conséquent, le liège est percé à certains endroits d'ouvertures appelées **lenticelles**. Les lenticelles sont des orifices en forme de boutonnières allongées. Ces ouvertures se prolongent au travers du liège par une sorte de puits rempli de cellules mortes, subérisées, mais présentant entre elles de nombreux méats qui permettent le passage des gaz (Fig. 2-5e).

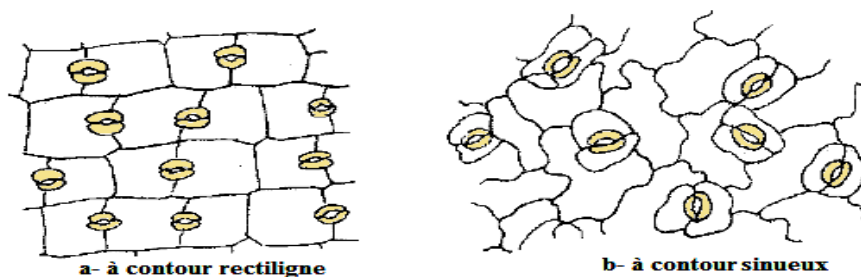


Fig. 2-5a. Épiderme vue de face

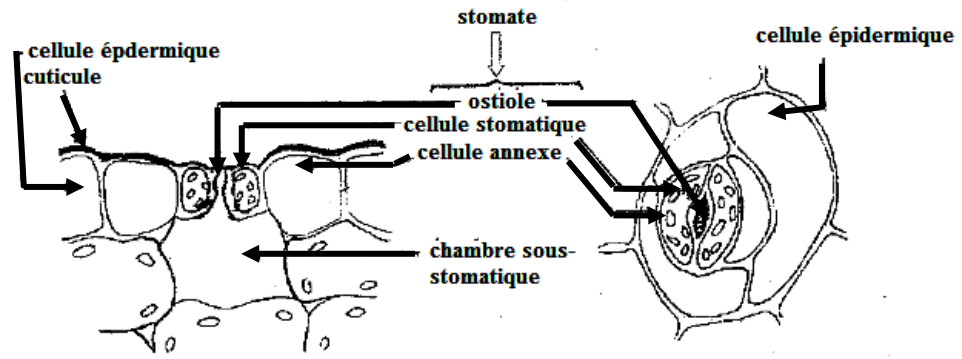


Fig. 2-5b. Stomates

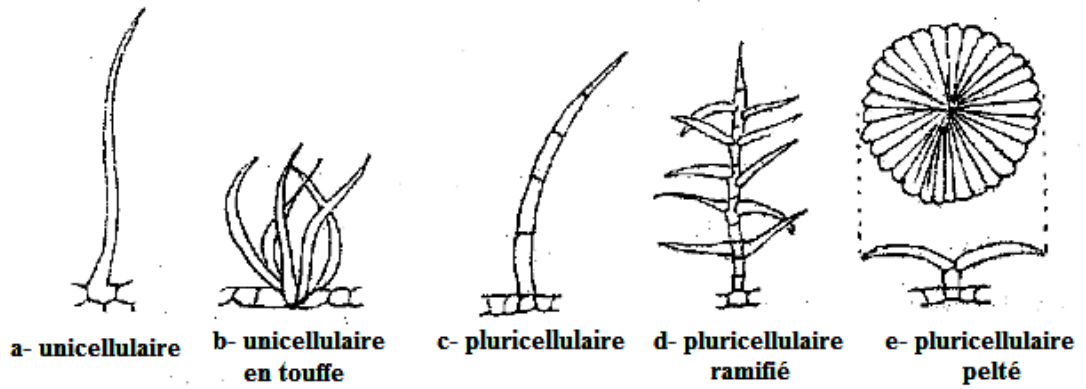


Fig. 2-5c. Quelques poils épidermiques tecteurs

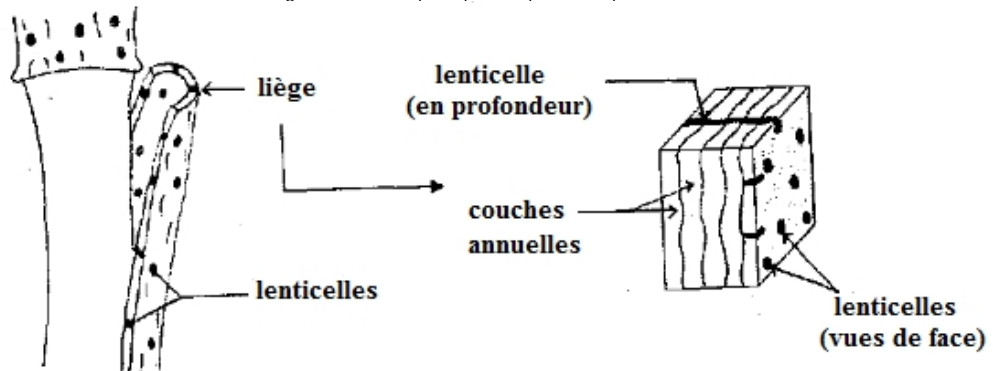


Fig. 2-5d. Schéma d'un tronc de chêne liège (*Quercus suber*)

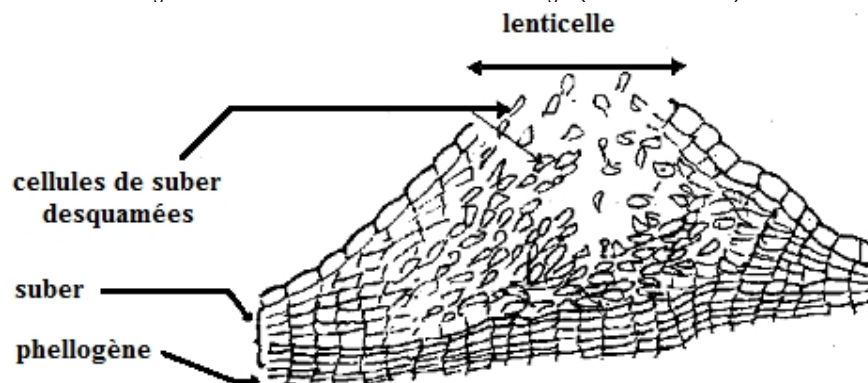


Fig. 2-6e. Lenticelle en coupe transversale.

## 4. PARENCHYMES

Les parenchymes constituent un groupe fondamental de tissus. En effet on les retrouve dans tous les organes et ils ont comme fonction de faire l'assimilation chlorophyllienne ou de mettre en réserve différentes substances.

Les parenchymes sont formés de cellules isodiamétriques, allongées ou de forme assez irrégulière dont les vacuoles sont bien développées mais dont la membrane cellulosique est assez mince. Les cellules sont vivantes, peu différenciées mais elles sont incapables de se diviser<sup>3</sup>. Cependant, elles peuvent se dédifférencier dans certaines circonstances comme après une blessure afin de réparer ou de remplacer les organes atteints. Il existe deux grands types de parenchymes en se basant sur leurs fonctions :

### 4.1. Parenchymes chlorophylliens :

Ils sont caractérisés par la présence de nombreux chloroplastes dans leurs cellules (Fig. 2-6a). Celles-ci sont juxtaposées néanmoins elles délaissent entre elles des méats ou même de grandes lacunes. Ils sont présents dans les organes aériens (feuilles, jeunes tiges) auxquels ils octroient leur couleur verte. Dans les jeunes tiges, les parenchymes chlorophylliens sont localisés à la périphérie de celles-ci. Dans les feuilles, ils constituent le mésophylle (milieu de la feuille), entouré par l'épiderme et parcouru par les nervures.

**NB.** Dans une **feuille** à port horizontal (dicotylédones), nous remarquons sur la face supérieure (celle la plus éclairée ou foncée) le parenchyme palissadique formé par une ou deux assises de cellules allongées, serrées les unes contre les autres et riches en chloroplastes. Vers la face inférieure, se trouve le parenchyme lacuneux (spongieux), formé de cellules courtes, plus ou moins arrondies, moins riches en chloroplastes que le parenchyme palissadique et parsemé de grandes lacunes où l'air circule librement. Ces deux types de parenchyme chlorophyllien portent le nom de **mésophylle** (cf. chapitre III).

### 4.2. Parenchymes de réserve :

Ils sont présents dans les organes souterrains tels les racines (carotte, betterave, navet, etc.), tiges souterraines (rhizome d'iris, tubercules de la pomme de terre, etc.), certaines régions des tiges aériennes (rayons médullaires, moelle), les fruits charnus (pomme, poire, etc.) et les graines (Fig. 2-6b). Leurs cellules ont généralement des parois cellulosiques bien que dans certains cas celles-ci peuvent se lignifier, les cellules demeurant cependant vivantes.

On distingue, selon la position du parenchyme de réserve dans les tiges et les racines, un **parenchyme cortical** situé près de la périphérie de l'organe, et un **parenchyme médullaire** situé au centre ; ce dernier est appelé **moelle**.

La fonction de ces parenchymes est de mettre en réserve différentes substances. Les réserves peuvent être sous forme de glucides (cane à sucre et betterave sucrière), d'amidon

<sup>3</sup>Note. Sauf dans le cas de lésions (traumatismes ou blessures), celles-ci se dédifférencient pour remplacer les plaies et former des cicatrices (cal).

(pomme de terre, cotylédons du haricot), de lipides (graines oléagineuses de l'arachide, du colza, des noix) et de protides (graines de céréales).

Il nous faut distinguer deux types particuliers de parenchyme de réserve chez les plantes adaptées à la sécheresse et à la vie aquatique :

- **Parenchyme aquifère** : Ce type de parenchyme est abondant dans les tiges et les feuilles des **plantes succulentes** (dites plantes grasses) comme chez l'aloès, le cactus, l'agave etc. Les cellules de ce parenchyme ont de très grandes dimensions, souvent riches en mucilage, avec une très grande vacuole qui constitue une réserve d'eau pour les besoins de la plante.
- **Parenchyme aérifère** : Ce type de parenchyme se retrouve chez les **plantes aquatiques**. C'est un tissu pourvu d'abondantes et grosses lacunes qui permettent à ces plantes d'accumuler de l'air pour leurs besoins de respiration en plus de leur faciliter la flottaison.

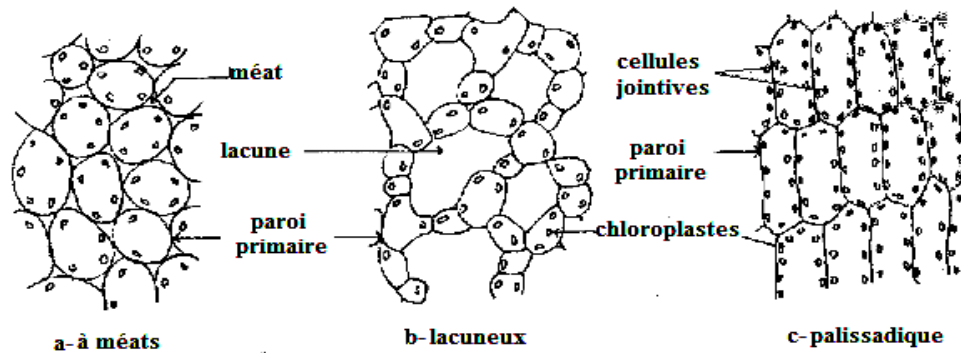


Fig.2-6a. Parenchymes chlorophylliens.

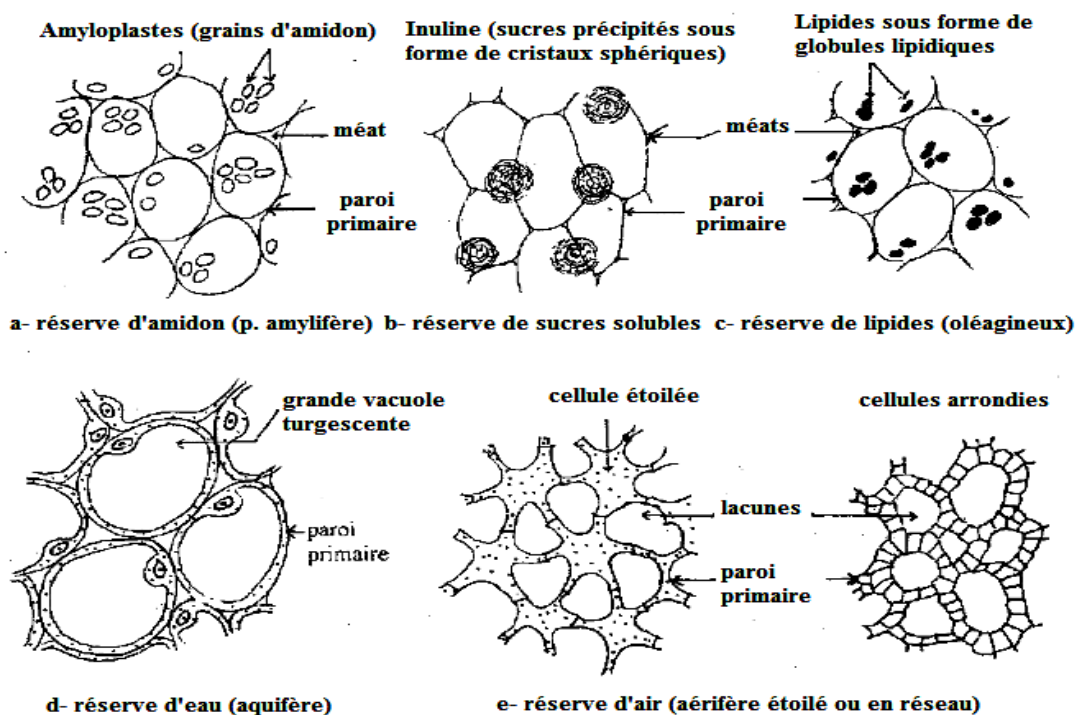


Fig.2-6b. Parenchymes de réserve.

## 5. TISSUS DE SOUTIEN

Les tissus de soutien assurent la rigidité et la solidité des organes aériens essentiellement. Ce sont des épaissements de nature cellulosique ou lignifiée de la membrane squelettique qui vont leur permettre de remplir leur fonction de soutien. On en distingue deux catégories suivant la nature des épaissements membranaires, à savoir :

### 5.1. Collenchyme :

C'est un tissu vivant, formé de cellules parenchymateuses dont la membrane s'est épaissie, tout en demeurant de nature cellulosique. L'épaisseur de la membrane donne aux cellules une grande résistance aux forces de flexion et de traction. De plus, ce tissu conserve une certaine élasticité et les organes qui le contiennent, généralement herbacés, demeurent souples. Il existe plusieurs types de collenchyme qui se définissent selon la façon dont l'épaississement se produit (Fig. 2-7a-c).

Le collenchyme est présent dans les organes aériens (tige, feuille) des végétaux herbacés, dans les feuilles et dans les parties jeunes, encore herbacées, des tiges des végétaux ligneux. Il est généralement situé à la périphérie de ces organes. Sa fonction est d'assurer le support de la plante jusqu'à ce que la croissance en épaisseur se manifeste.

### 5.2. Sclérenchyme :

Le sclérenchyme est formé de cellules parenchymateuses mortes, aux **parois** très épaisses et généralement fortement lignifiées réduisant considérablement la lumière cellulaire (Fig. 2-8a). Cette paroi est souvent traversée par de fins canalicules, qui sont de très longues ponctuations.

On distingue d'après leurs formes et leurs dimensions, deux sortes de cellules sclérenchymateuses :

- a. **Sclérites** ou **cellules scléreuses** : Ce sont des cellules courtes aux parois très épaisses et lignifiées, de forme souvent étoilée. On les retrouve groupées dans du parenchyme (pulpe de poire), dans les noyaux des drupes, dans les fruits secs comme le péricarpe des noix et dans les téguments des graines (Fig. 2-8b).
- b. **Fibres** : Ce sont des cellules mortes, allongées, fusiformes, à paroi épaisse, plus ou moins lignifiée. Elles peuvent avoir jusqu'à plusieurs centimètres de long. Certaines fibres sont fortement lignifiées comme celles que l'on rencontre dans le bois (**fibres ligneuses**), dans le liber (**fibres libériennes**) ou entourant les faisceaux de conduction dans les tiges herbacées (**fibres sclérenchymateuses**). D'autres sont cellulosiques ou très faiblement lignifiées, ce sont les **fibres textiles**. On les retrouve dans les plantes textiles : lin, chanvre, jute (Fig. 2-8c).

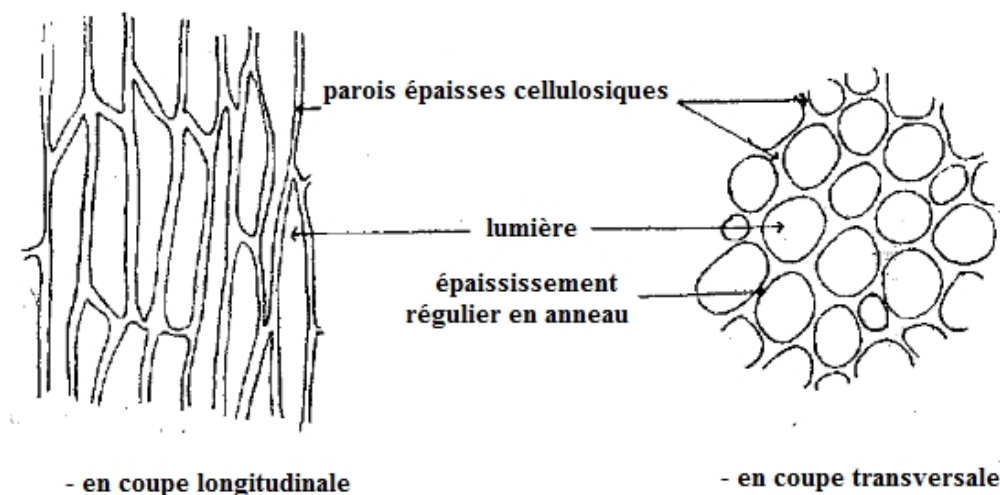


Fig. 2-7a. Collenchymes rond et annulaire.

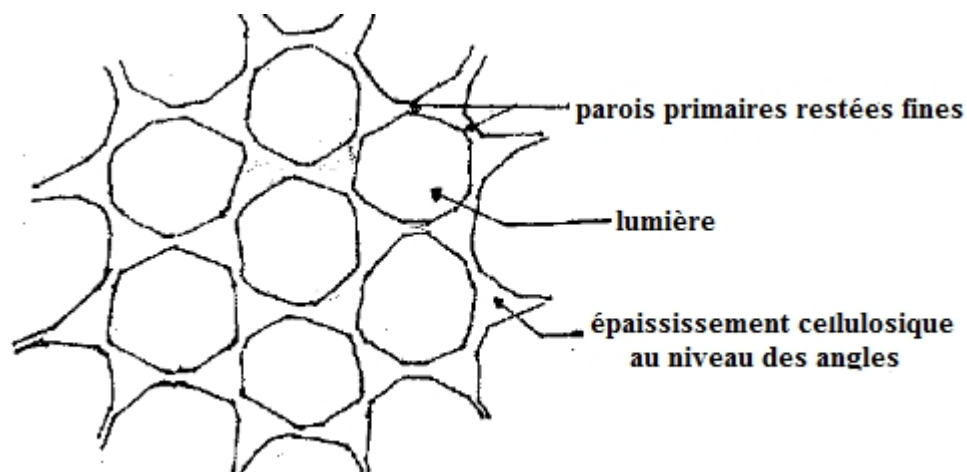


Fig. 2-7b. Collenchyme angulaire en coupe transversale

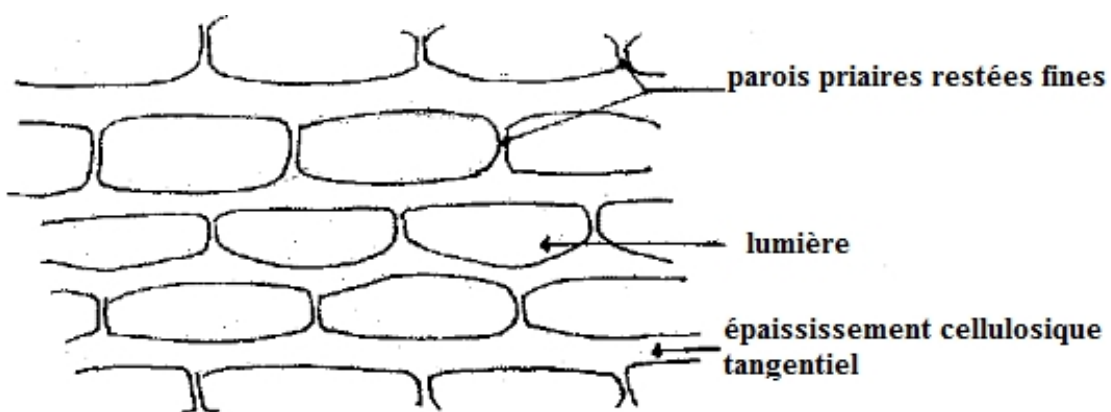


Fig. 2-7c. Collenchyme tangentiel en coupe transversale.

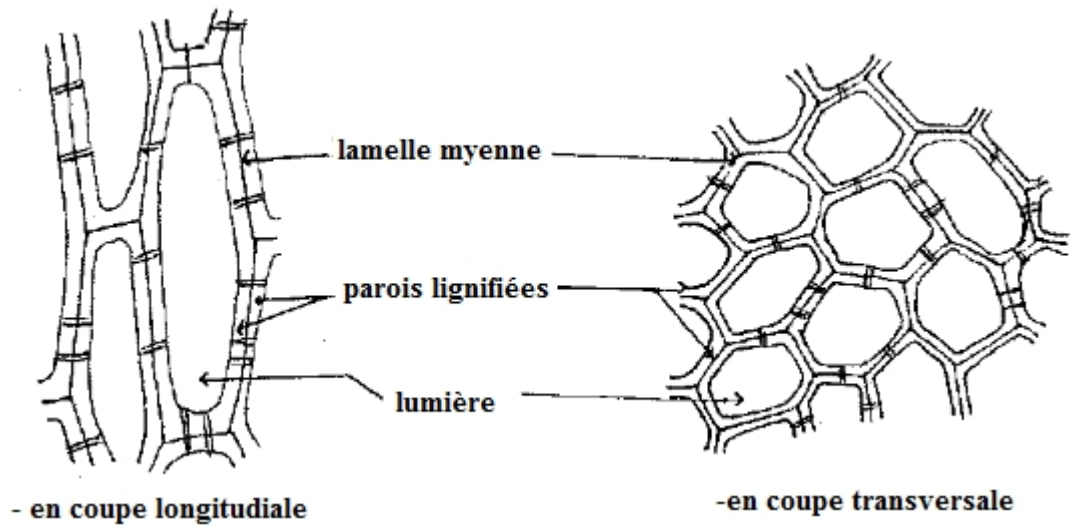


Fig. 2-8a. Cellule polyédrique (sclérenchyme)

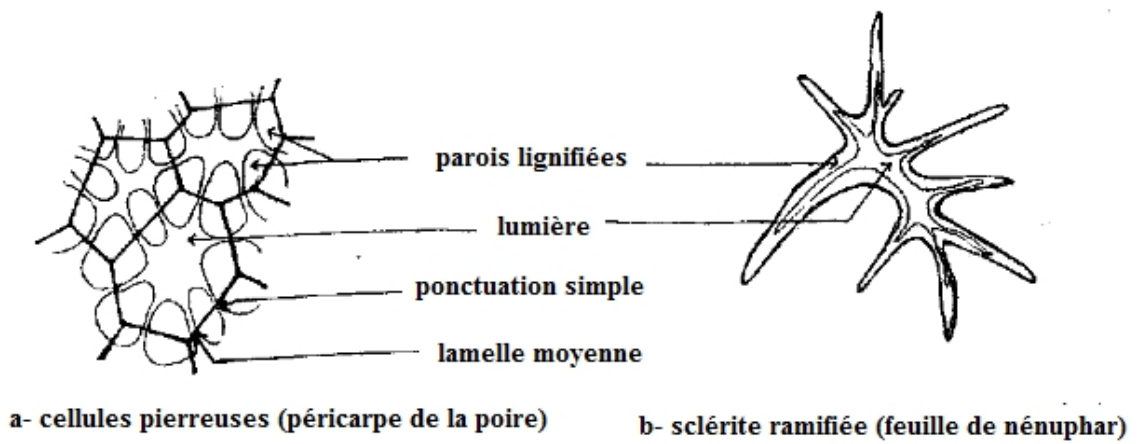


Fig. 2-8b. Sclérites (sclérenchyme)

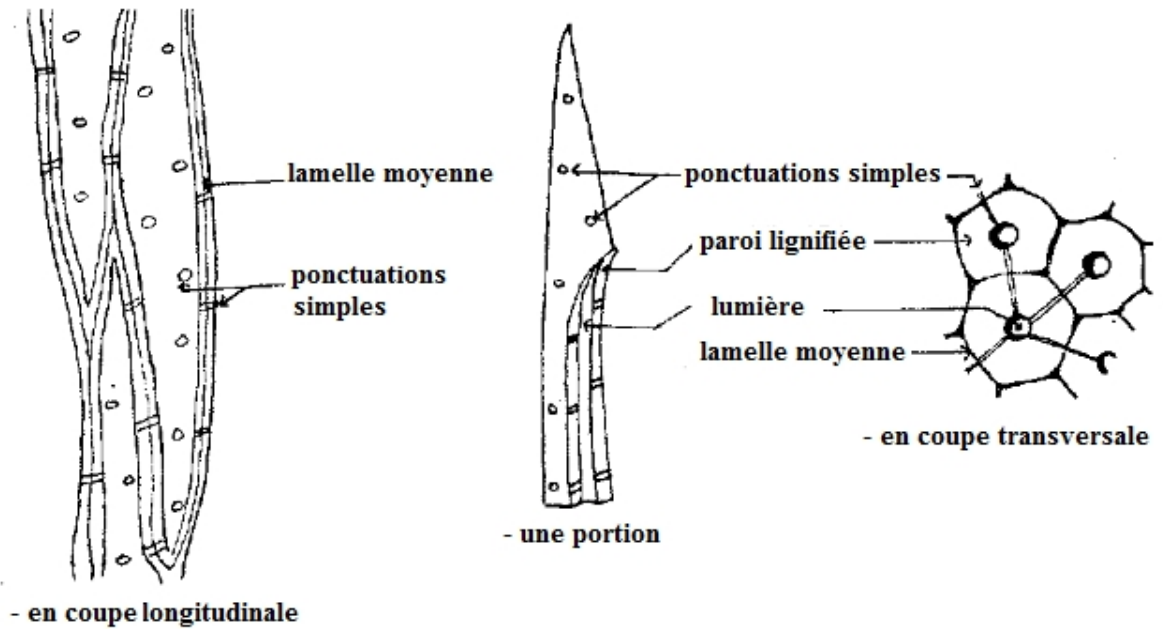


Fig. 2-8c. Fibres (sclérenchyme)

## 6. TISSUS DE SÉCRÉTION (SÉCRÉTEURS)

Ce sont des tissus spécialisés dans la synthèse de certaines substances comme des essences, résines et des latex. Les tissus sécréteurs peuvent accumuler leurs produits de synthèse au sein même de leurs cellules ou les rejeter hors de celles-ci dans des cavités ménagées dans les organes végétaux. Dans ce dernier cas, il y a excrétion des produits sécrétés. Plusieurs espèces de plantes qui sécrètent ces produits font l'objet de culture afin de récolter les substances sécrétées (parfums, huiles essentielles, caoutchouc naturel, etc.)

On distingue quatre catégories de tissus sécréteurs (Fig. 2-9a-d):

### 6.1. Cellules sécrétrices isolées :

Ce sont des cellules isolées situées dans du parenchyme (cellules à tanins chez le rosier, cellules à camphre chez le camphrier).

### 6.2. Cellules épidermiques et poils sécréteurs :

Certaines cellules épidermiques élaborent et accumulent dans leur cytoplasme des essences volatiles, qui en se vaporisant au travers de la cuticule assez mince de ces épidermes, produisent les parfums de certaines plantes : pétales de rose, poils du thym, romarin, basilic, etc.

### 6.3. Poches et canaux excréteurs :

Groupes de cellules sécrétrices qui se regroupent pour former des espaces collecteurs où s'accumuleront les substances sécrétées (**agrumes, résineux**). Dans les agrumes les poches sécrétrices sont présentes dans le zest du fruit, selon leur mode de formation on les désigne par poches **schizolysigènes** (à l'opposé des **schizogènes**).

### 6.4. Laticifères :

Les **laticifères vrais** sont des cellules qui en se divisant, ne formeront pas leurs parois transversales et formeront ainsi un long tube appelé laticifère. Ce tube peut atteindre plusieurs mètres de long chez l'hévéa (plante de caoutchouc). Ces tubes élaborent les latex. Il existe également des laticifères articulés ou en réseau comme cela est montré sur les trois schémas suivants.

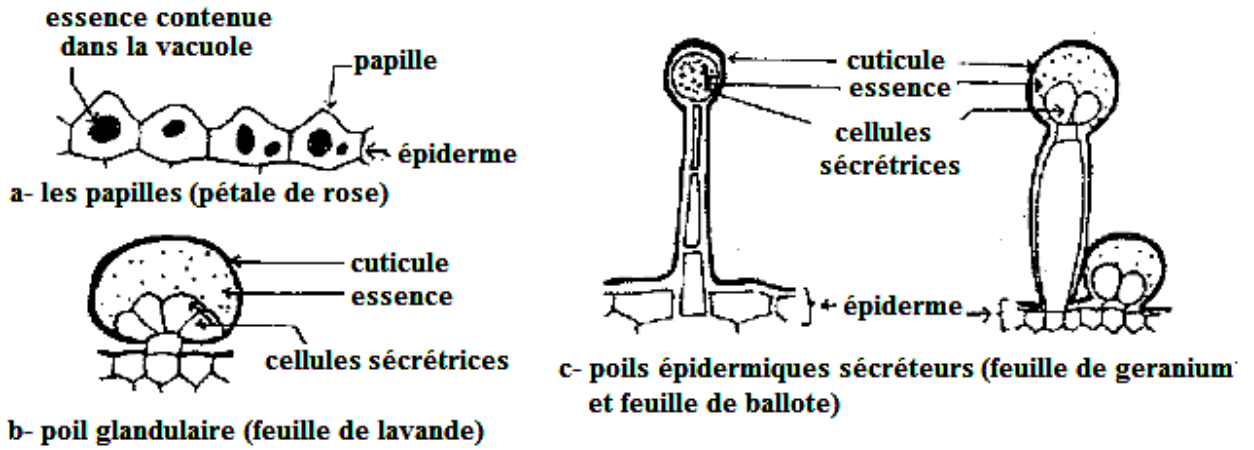


Fig. 2-9a. Éléments sécréteurs de l'épiderme en coupe transversale.

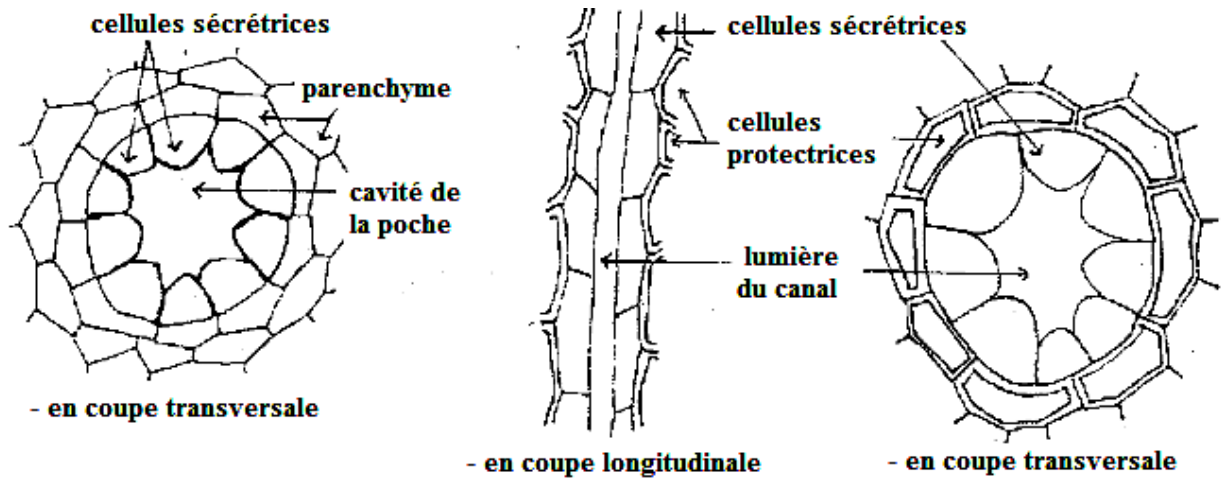


Fig. 2-9b. Poche sécrétrice

Fig. 2-9c. Canal sécréteur

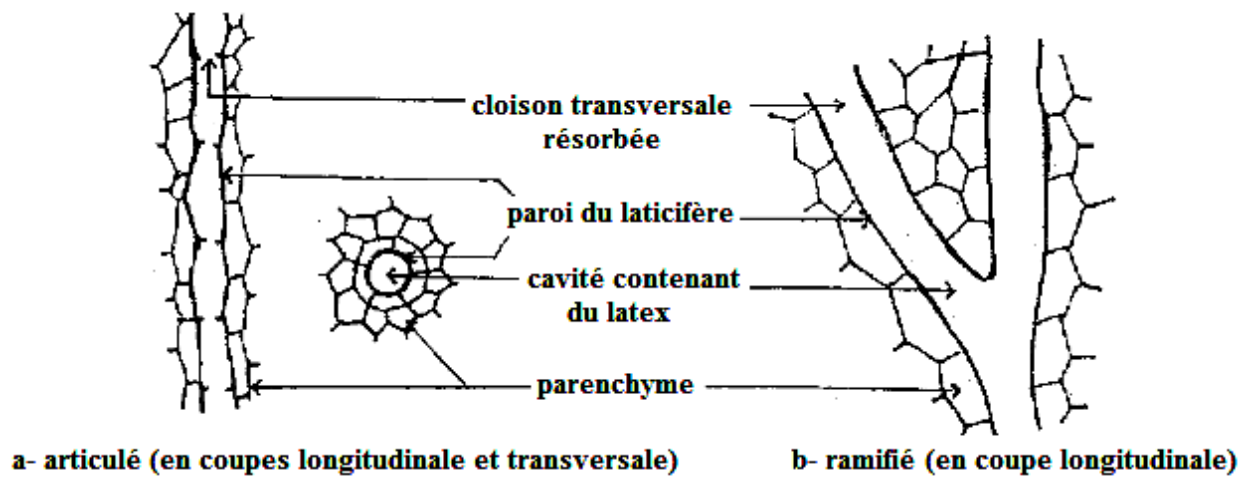


Fig. 2-9d. Laticifères.

## 7. TISSUS DE CONDUCTION

Ces tissus assurent un transport rapide et efficace des sèves d'un organe à l'autre. Il y a deux types de sève qui circulent dans les plantes. Ces sèves ne se mêlant jamais car il existe un double système de conduction : un pour la sève brute et un autre pour la sève élaborée.

La **Sève brute**, un suc riche en eau et minéraux puisés dans le sol par les poils absorbants, monte jusqu'aux feuilles par des conduits situés vers le centre des organes. Cette sève ascendante circule dans le xylème. Cependant, la **Sève élaborée**, suc riche en substances nutritives (sucres, acides aminés, etc.) élaborées par les feuilles pour nourrir les autres tissus de la plante, dévale vers tous les organes de la plante via le **phloème**, d'où son nom de sève descendante.

### 7.1. Xylème :

Le xylème est le tissu qui assure le transport de la sève brute chez les plantes. Il est présent dans tous les organes végétatifs. Il prend un développement considérable dans les racines et les tiges des arbres, où il constitue le **bois (xylème secondaire)**. Ce tissu n'est pas homogène (ou simple comme les tissus vus auparavant), il est formé de trois groupes d'éléments constitutifs : les éléments de conduction à proprement parler, des cellules parenchymateuses et enfin des fibres.

#### 7.1.1. Éléments de conduction :

Ce sont les cellules dans lesquelles la sève brute circule. Selon le degré d'évolution de ces cellules il nous faut distinguer deux types d'éléments de conduction : les **trachéides** ou vaisseaux imparfaits et les **vaisseaux ligneux** ou vaisseaux parfaits. Les trachéides et les vaisseaux ligneux sont formés de cellules mortes : ce ne sont, quand ils sont fonctionnels, que de simples conduits aux parois fortement lignifiées dans lesquels la sève brute peut monter jusqu'aux feuilles.

Il existe aussi plusieurs types de trachéides et de vaisseaux ligneux selon leur degré de lignification. Le processus de lignification est progressif, les cellules issues du cambium ne se lignifient pas tout d'un coup. La lignine commence par se déposer pour former des anneaux, nous parlons alors de trachéides et de vaisseaux **annelés**. Puis les anneaux se rejoignent pour former des spirales, nous avons alors des trachéides et des vaisseaux **spirales**. Puis la lignine continue de se déposer sur les parois pour finir par recouvrir complètement les parois sauf au niveau des ponctuations. Ceci correspond au dernier stade de lignification. Les trachéides sont dites alors **aréolées** et les vaisseaux **ponctués** (Fig. 2-10a-c).

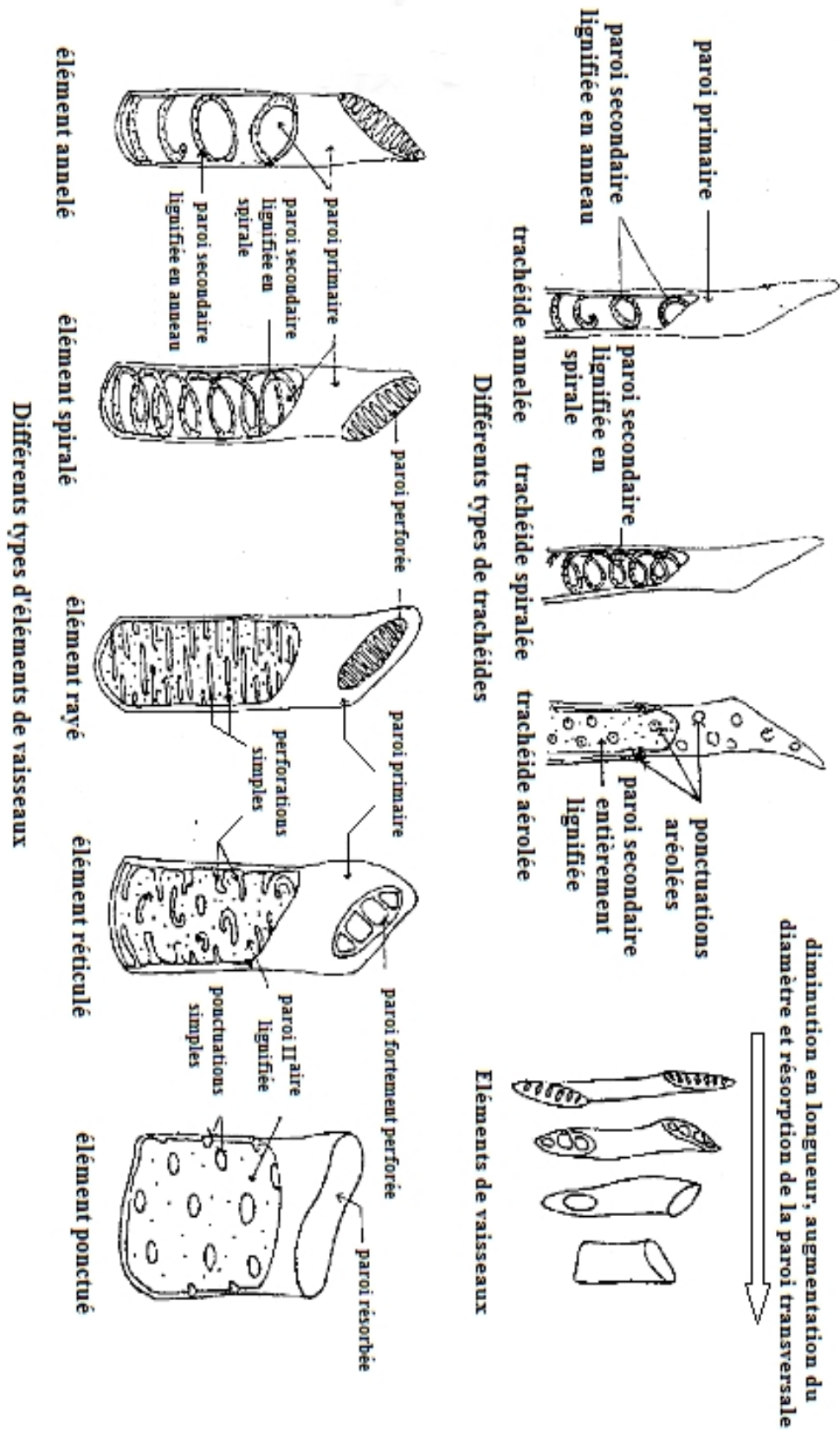


Fig. 2-10a. Les éléments de vaisseaux

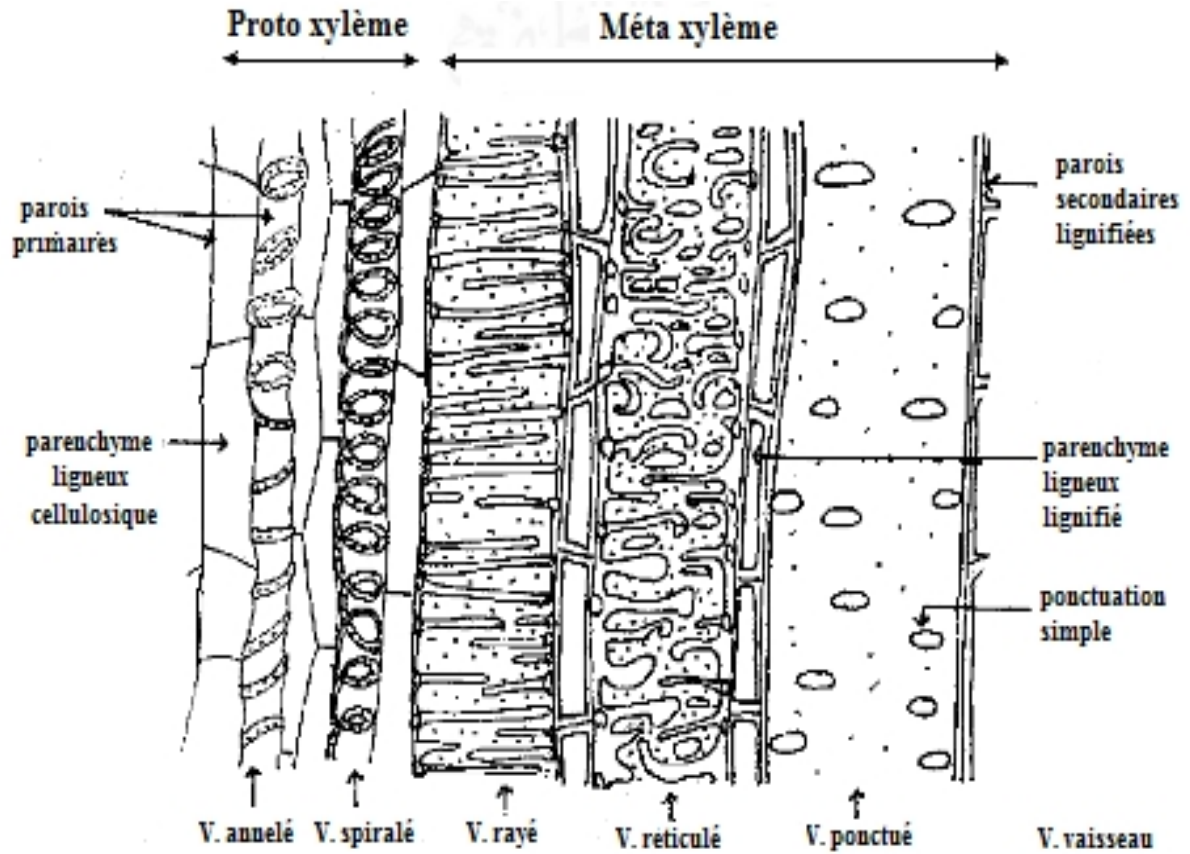


Fig. 2-10b. Coupe longitudinale d'un faisceau vasculaire d'une Angiosperme

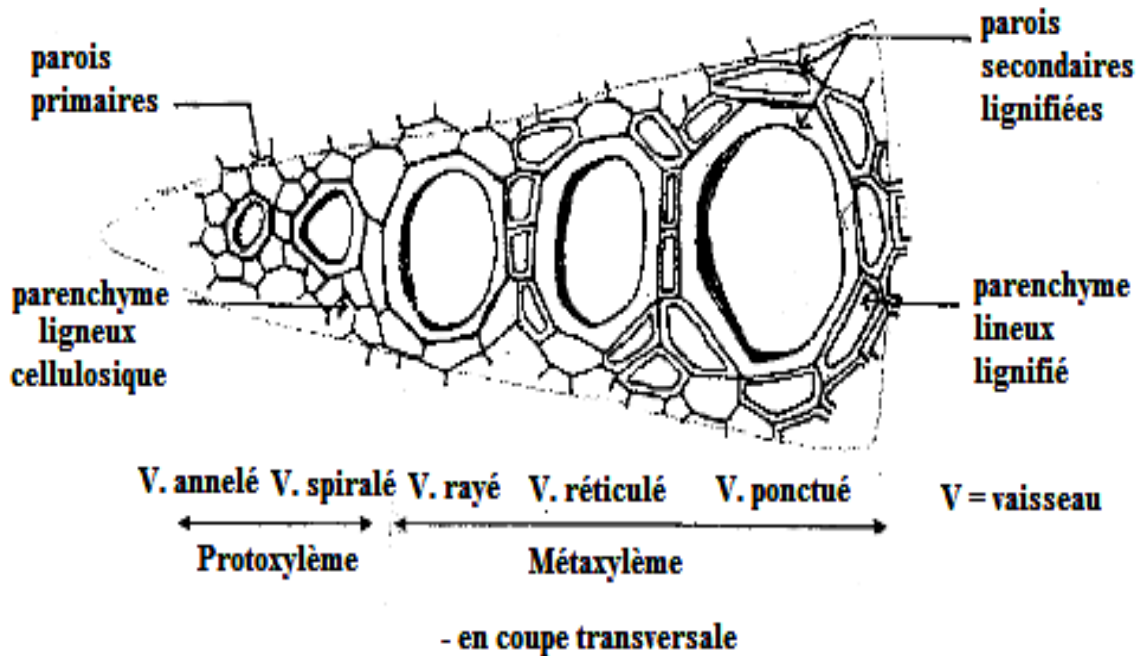


Fig. 2-10c. Coupe transversale d'un faisceau vasculaire d'une Angiosperme.

**Tableau. Comparaison entre les trachéides et les vaisseaux ligneux**

Caractéristiques	Trachéides	Vaisseaux ligneux
Degré d'évolution	Primitives (peu spécialisées)	Plus spécialisés et très efficaces dans la conduction
Localisation	Gymnospermes et Ptéridophytes	Angiospermes
Structure	Formées par une seule cellule	Formés par la superposition de plusieurs cellules
Forme des cellules	Allongées aux extrémités effilées en biseau	Diamètre important (plus large que les trachéides)
Parois transversales	Présentes, la sève passe d'une cellule à l'autre par les ponctuations	Absentes, ce qui les rend très efficaces dans le transport de la sève
Rôles	Transport et soutien	Transport surtout

### 7.1.2. Cellules parenchymales (parenchymateuses) :

Ce sont des cellules vivantes que l'on retrouve dans le bois. Leurs parois peuvent rester cellulosiques ou se lignifier, mais dans les deux cas il porte le nom de **parenchyme ligneux**. Il a une fonction de réserve. On distingue deux catégories de parenchyme ligneux :

#### **Parenchyme vertical :**

On le rencontre le plus souvent associé aux vaisseaux ligneux où il forme une gaine continue autour de chacun d'eux. On le rencontre aussi à la grandeur du bois comme chez le tilleul ou à la limite du bois formé à l'automne.

#### **Parenchyme horizontal ou de rayon :**

Il est formé de bandes de cellules orientées radialement qui traversent l'ensemble du bois où elles forment ce que l'on appelle les rayons médullaires. Ces cellules tirent leur origine du cambium. Les rayons médullaires sont plus ou moins larges ; ils peuvent être formés par une seule couche de cellules (rayons unisériés), deux couches (rayons bisériés) ou plus de deux couches (rayons plurisériés). Le type de rayon est un critère intéressant dans l'identification macroscopique des bois.

### 7.1.3. Fibres :

Ces fibres ont les mêmes caractéristiques que nous avons vues dans l'étude des tissus de soutien. On les appelle fibres ligneuses car elles se rencontrent dans le bois où elles peuvent constituer environ 50 à 80% du bois des angiospermes. Elles sont formées par le cambium et elles ont un rôle de soutien.

## 7.2. Phloème :

Le phloème est le tissu conducteur de la sève élaborée. Il est constitué de quatre éléments : l'élément conducteur appelé tube criblé, des cellules compagnes, des cellules parenchymateuses et des fibres.

### 7.2.1. Tubes criblés :

Les tubes criblés sont les éléments dans lesquels circule la sève élaborée. Ils sont constitués de cellules vivantes (appelées cellules criblées) avec cytoplasme et grande vacuole, mais dont le noyau est absent. Les cellules sont placées bout à bout et forment un long tube. Elles ont des parois transversales mais celles-ci sont complètement percées par de nombreux orifices appelés cribles, d'où le nom de "criblés" qu'on a donné à ces tubes (Fig. 2-11a).

Le fonctionnement d'un tube criblé est de courte durée (les cellules n'ont pas de noyaux et elles sont rapidement écrasées par la poussée de croissance en épaisseur). Avant la mort des cellules criblées, un dépôt de **callose**, qui est une substance glucidique, constituant un cal se formant de part et d'autre de chaque crible ; les cellules criblées meurent ensuite. Ainsi, il est très rare de rencontrer des espèces où les tubes criblés vivent plus d'un an. Aussi, c'est en partie dans les tubes criblés que l'eau d'érable sucrée se met en réserve.

### 7.2.2. Cellules compagnes :

Les cellules compagnes sont des cellules vivantes, étroites, pourvues d'un cytoplasme dense et d'un noyau et intimement associées aux tubes criblés par l'intermédiaire de nombreux plasmodesmes. Leurs rôles sont encore mal connus. On croit qu'elles auraient un rôle à jouer dans la circulation de la sève élaborée. De plus, elles peuvent, en se divisant, remplacer les tubes criblés écrasés.

### 7.2.3. Cellules parenchymateuses :

Tout comme dans le xylème, on retrouve les deux mêmes types de parenchyme (vertical et de rayon) qui ont les mêmes fonctions de réserve.

### 7.2.4. Fibres :

Les fibres libériennes ont les mêmes caractéristiques que les fibres ligneuses. Elles sont cependant moins abondantes que les fibres ligneuses et sont souvent disposées en strates tangentielles concentriques où elles alternent avec des strates de parenchyme et de tubes criblés.

Il est aussi nécessaire de bien faire la distinction entre les tissus de conduction primaires et les tissus de conduction secondaires afin de bien comprendre l'organisation des arbres et les anneaux de croissance, ces derniers se retrouvant uniquement dans le bois, un tissu de conduction secondaire (Fig. 2-11b).

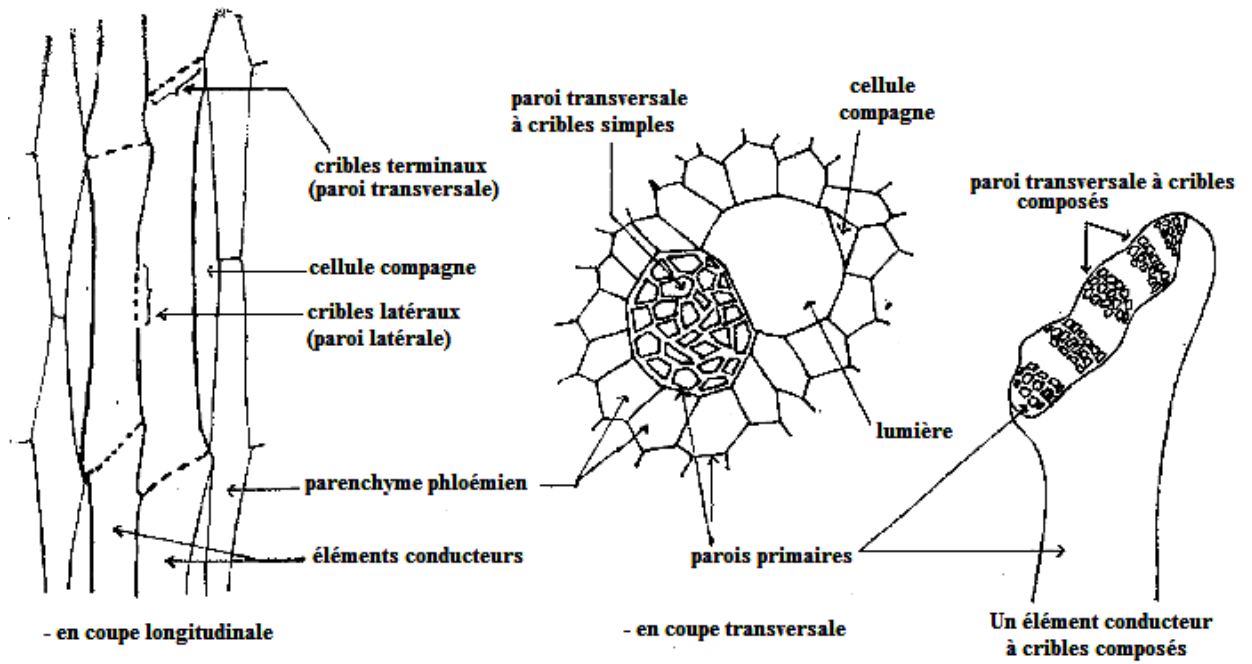


Fig. 2-11a. Phloème (Tissu crible) d'une Angiosperme.

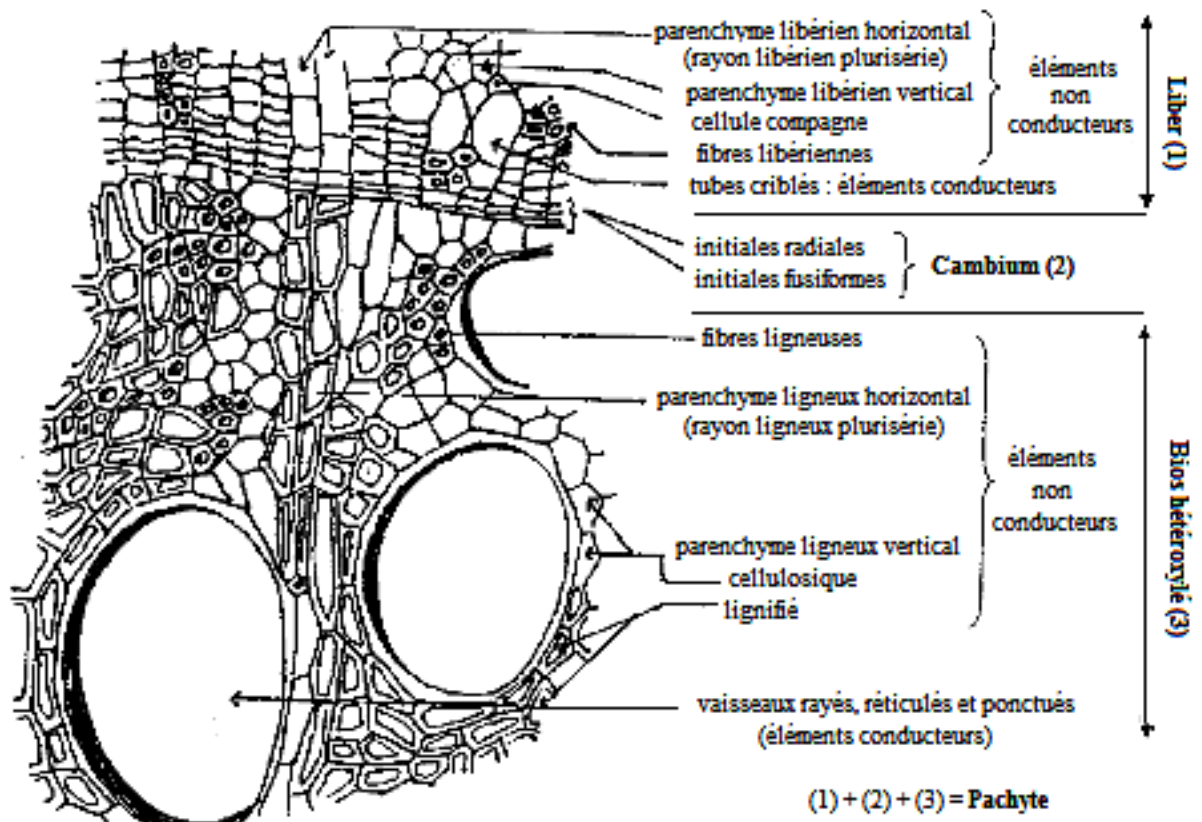


Fig. 2-11b. Coupe transversale d'une tige âgée de mercuriale (Angiosperme Dicotylédone) Montrant le bois hétéroxylé et le liber.

## RÉSUMÉ

Chez les plantes pluricellulaires, les cellules s'organisent en six grands types de tissus :

Tissu	Type	Fonction
Méristèmes	Primaires ou apicaux Secondaires ou latéraux	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Croissance en longueur</li> <li>• Croissance en diamètre</li> </ul>
Parenchymes	Chlorophyllien De réserve	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Photosynthèse</li> <li>• Mise en réserve</li> </ul>
De protection	Primaire ou épiderme Secondaire ou liège (suber)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recouvrement des parties jeunes et tendres</li> <li>• Recouvrement des parties âgées et ligneuses</li> </ul>
De soutien	Collenchyme Sclérenchyme	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Soutien chez les plantes herbacées</li> <li>• Soutien chez les plantes ligneuses</li> </ul>
De conduction	Xylème Phloème	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conduction de la sève brute</li> <li>• Conduction de la sève sucrée</li> </ul>
De sécrétion	Plusieurs types dont les canaux	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sécrétion de différentes substances comme de la résine</li> </ul>

Chez les plantes, les tissus résultent de la différenciation des cellules qui proviennent des méristèmes. Ce processus de formation de cellules spécialisées aptes à remplir une fonction précise à partir des méristèmes s'appelle **différenciation cellulaire**. Les cellules issues de la prolifération des cellules méristématiques se transforment progressivement en tissus adultes. Au cours de cette transformation, il en résulte la réalisation de tissus différents, les cellules acquièrent une forme, une structure et une physiologie caractéristiques de chaque sorte de tissu. Le phénomène de différenciation cellulaire est caractérisé par :

- Un grandissement cellulaire. C'est cette élévation qui est responsable de la croissance en longueur de la tige et de la racine.
- Un développement important de l'appareil vacuolaire.
- Transformation des plastes primitifs en plastes spécialisés (chloroplastes, amyloplast, etc.).
- Modifications importantes de l'épaisseur de la membrane cellulose et de ces caractéristiques chimiques (souvent, cela entraînera la mort de la cellule).
- Perte de la capacité de division cellulaire (les cellules ne peuvent plus se diviser comme dans les méristèmes).
- Adaptations à des fonctions précises : photosynthèse, mise en réserve, protection, soutien conduction, etc.

Cependant, les plantes ont des propriétés que les animaux n'en possèdent pas. En effet, certaines cellules végétales spécialisées peuvent se **dédifférencier**, c'est-à-dire qu'elles peuvent, dans certaines circonstances, retrouver leur état méristématique et leur capacité de se diviser. Nous appelons ce phénomène **dédifférenciation cellulaire**. Cette capacité des cellules végétales, à retrouver leur état méristématique, est utilisée fréquemment dans la multiplication végétative des végétaux.

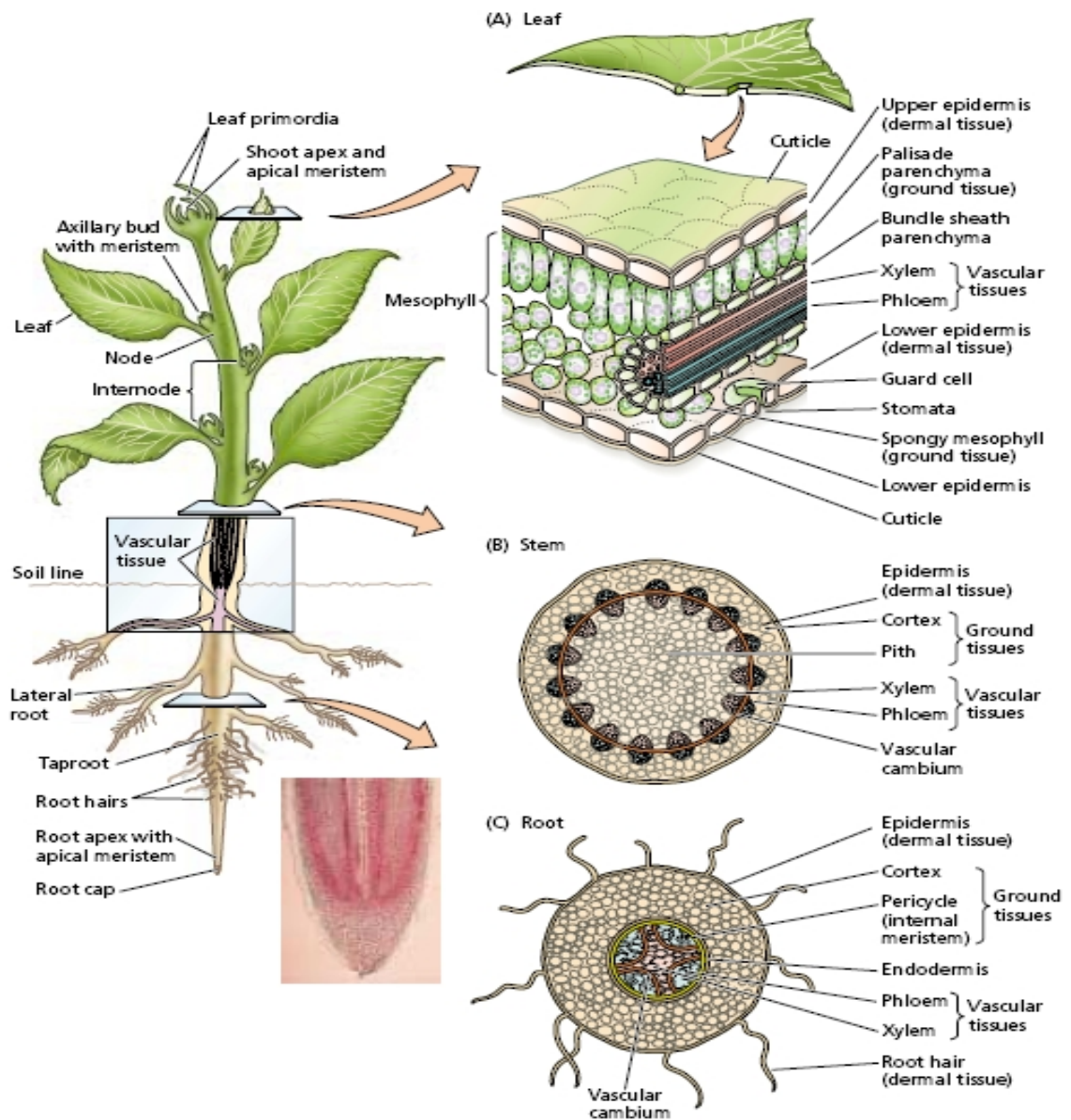
## CHAPITRE III

# **ANATOMIE DES ORGANES VEGETATIFS (ANGIOSPERMES)**

L'anatomie des organes végétatifs des angiospermes consiste à l'étude de la structure interne de trois organes, à savoir : la racine, la tige et la feuille.

L'étude anatomique ou microscopique des organes permet de connaître l'organisation interne des organes. Elle autorise également d'utiles comparaisons entre les plantes.

La diversité des tiges, feuilles et racines est si grande qu'il est impossible de voir en détail toutes les structures, ainsi ce qui nous intéresse dans ce chapitre c'est l'étude anatomique des organes (racine, tige et feuilles) des plantes à fleurs (Angiospermes), et plus particulièrement c'est l'établissement de comparaisons anatomiques entre les deux classes de ce groupe, c'est-à-dire les monocotylédones et les dicotylédones.



## I. RACINE

### 1. Définition :

Les racines sont des structures multicellulaires axiales (cylindriques), constituant l'appareil végétatif souterrain des plantes vasculaires (rhizophytes). L'ensemble des racines est appelé **appareil radiculaire ou racinaire**. En plus à la présence d'une structure caractéristique (la coiffe) et l'absence des feuilles et des bourgeons, les racines se caractérisent par un **géotropisme positif** et un **phototropisme négatif**.

Le plus souvent, les racines sont souterraines mais il en existe également des racines aériennes.

### 2. Fonctions de la racine :

Les racines jouent plusieurs rôles, nous citons à titre d'exemple :

- Des fonctions principales :
  - La fixation de la plante dans le sol (substrat).
  - L'absorption de l'eau et les sels minéraux.
- Des fonctions secondaires (d'adaptation) :
  - Stockage des nutriments (carotte).
  - Respiration (pneumatophores)
  - Escalade d'un support (racines crampons du lierre) etc.



Fig. 3-1. Différentes fonctions des racines

### 3. Anatomie de la racine :

Bien que la racine semble être un organe commun entre les différentes plantes vasculaires (angiospermes), sa structure interne (anatomie) diffère cependant d'une plante à une autre. En fait, on distingue deux types de structure interne de la racine, l'une caractérise les plantes appartenant à la classe des Dicotylédones et l'autre caractérise les plantes monocotylédones.

Ces différences anatomiques entre les Mono et les Dicotylédones manifestent clairement sur des coupes transversales, cependant sur des coupes longitudinales les racines des deux classes présentent une grande similitude d'organisation.

## A- Organisation longitudinale :

Sur des coupes longitudinales effectuées à partir de l'extrémité racinaire, on distingue habituellement, de plus à la coiffe, l'existence de trois zones qui présentent des différences cytologiques nettes :

### 1.1 Coiffe :

L'extrémité racinaire est toujours protégée par un tissu dur appelé coiffe. La coiffe facilite la pénétration des racines dans le sol grâce au mucilage qu'elle sécrète pour lubrifier la terre. Elle joue également d'autres fonctions pas moins importantes, à titre d'exemple la perception des forces de la gravité terrestre (géotropisme).

La coiffe est fortement soumise aux chocs et de ce fait est en continuel renouvellement.

### 1.2 Zone de division cellulaire (ZDC) :

C'est une zone de quelques dixièmes de millimètre de longueur (0,4 mm chez l'Arabidopsis), elle comprend : (1) le méristème apical racinaire (MAR) avec ses trois méristèmes primaires (protoderme, procambium et méristème fondamental), et (2) le centre quiescent (CQ), qu'il prend une position centrale (interne), constitué d'un nombre de cellules plus ou moins élevé selon les espèces (4 cellules chez l'Arabidopsis, 50 cellules chez l'ail, 800-1200 cellules chez le Maïs). Le CQ sert au renouvellement du MAR en cas de dommage.

### 1.3 Zone d'élongation cellulaire :

Dans cette zone de quelques millimètres de longueur (1 mm chez l'Arabidopsis), les cellules dérivées de la zone précédente (ZDC) deviennent environ 10 fois plus longues. Au voisinage de la zone suivante, et avant même d'achevé leur expansion les cellules commencent à se différencier.

### 1.4 Zone de maturation (différenciation) cellulaire :

Dans cette zone, les cellules terminent leur croissance et acquièrent des propriétés structurales et fonctionnelles particulières (formation des tissus primaires : dermiques, conducteurs, fondamentaux).

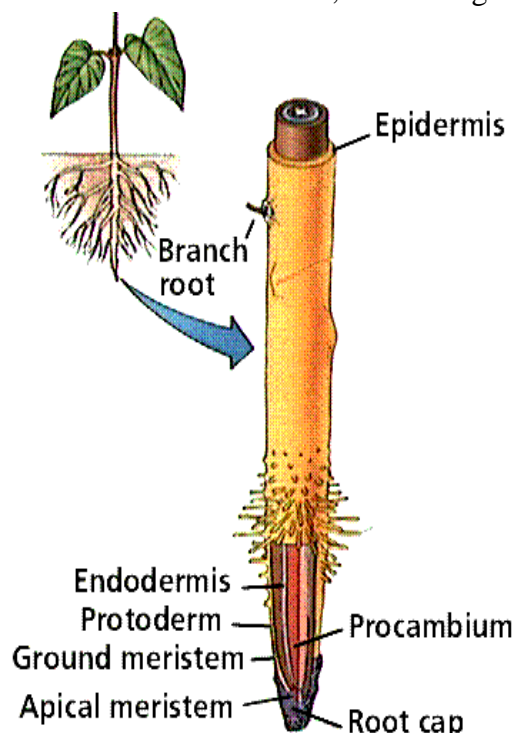


Fig. 3-2a. Organisation externe

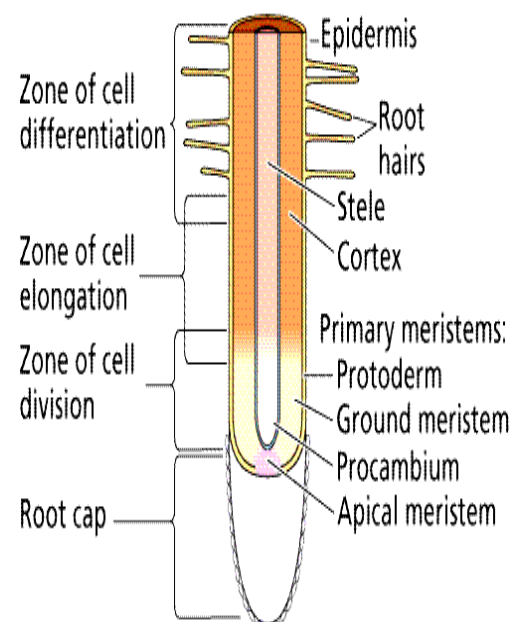


Fig. 3-2b. Organisation interne (zonale).

Le début de cette zone peut être repéré tout simplement dès l'apparition des poils absorbants.

## **B- Organisation transversale :**

Les racines sont caractérisées habituellement par une organisation radiale multicylindrique (polyarcs).

### **B-1. CHEZ LES DICOTYLEDONES :**

#### **1- Structures primaires :**

Étude d'une coupe transversale effectuée au niveau de la zone pilifère d'une jeune racine ; on distingue deux zones concentriques (symétrie axiale), de l'extérieur vers l'intérieur :

##### **1.1. Cylindre cortical ou écorce :**

L'écorce est limitée à l'extérieur par l'**assise pilifère** ou **rhizoderme**, ou encore l'**épiderme** (Après la chute des poils absorbants, l'assise pilifère est remplacée par une **assise subéreuse** ou **exoderme**).

##### **1.1.1. Épiderme :**

Il est constitué d'une couche périphérique de cellules parallélépipédiques petites, à parois fines et jointives, présente parfois de longs prolongements ou poils vers l'extérieur. Les poils absorbants sont issus de **Trichoblastes (Tr)**. Ce sont des cellules particulières qui possèdent un protoplasme abondant et un noyau disposé à l'extrémité du poil, et sont ainsi différentes des cellules dites **Atrichoblastes** c'est-à-dire celles qui ne forment pas de poils.

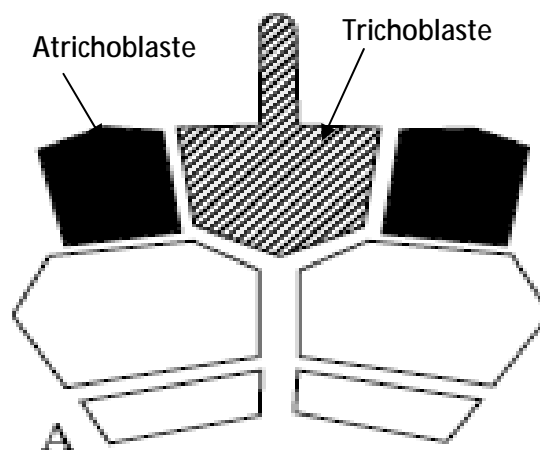


Fig. 3-4. Structure d'un rhizoderme

Après la chute des poils absorbants, l'assise pilifère sera remplacée par une assise dite **subéreuse** ou **Exoderme**. Les cellules de l'assise subéreuse sont polygonales allongées radialement dont les parois ont subi une subérification partielle ou totale.

Les racines de certaines plantes présentent deux ou trois couches de cellules sous-épidermiques (hypoderme) qui participent également dans la formation de l'exoderme. Ces cellules à parois subérisées (présence de bandes de CASPARY –voir plus loin) jouent le rôle d'une barrière de résistance variable contre le déplacement des substances, eau et les sels minéraux absorbés par les poils, empruntant la voie apoplasmique (dans la paroi).

##### **1.1.2. Parenchyme cortical :**

Il occupe la plus grande partie de l'écorce et est constitué de cellules volumineuses hexagonales à parois minces. Le parenchyme cortical est un tissu de réserve (en particulier de l'Amidon). On peut observer de nombreux méats entre ses cellules.

### 1.1.3. Endoderme :

C'est la couche corticale la plus profonde. Il est constitué de cellules jointives, parallélépipédiques, allongées dans l'axe de la racine. A la paroi cellulósique s'ajoute un cadre de subérine (bandes de CASPARY) intéressant quatre des six faces du parallélépipède, bien visible sur les parois radiales sous forme d'épaississement de subérine imperméable à l'eau. A l'image de l'exoderme, l'endoderme joue également le rôle d'une barrière de résistance contre le déplacement des substances dans les parois, avant qu'elles pénètrent dans le cylindre central où se trouve le tissu conducteur.

## 1.2. Cylindre central ou stèle :

La **stèle** est constituée de l'ensemble des tissus conducteurs (phloème et xylème) associés à d'autres tissus de nature parenchymateuse le plus souvent.

### 1.2.1. Péricycle :

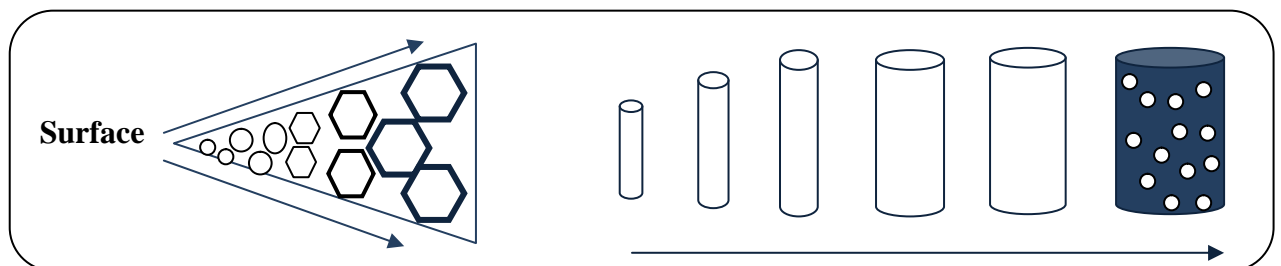
C'est une assise parenchymateuse uni-stratifiée (formée d'une seule couche de cellules) accolée à l'endoderme, constituée de cellules grossièrement hexagonales, de grande taille, à parois fines et jointives.

Le péricycle constitue le plus souvent le siège de la formation des racines latérales (d'où la ramification des racines est qualifiée d'endogène), grâce au potentiel méristématique de ses cellules (aptitude de ses cellules de se différencier).

### 1.2.2. Xylème et Phloème

Des amas de cellules hexagonales à parois épaisses (faisceaux xylémiens ou xylème primaire) alternés avec des massifs de phloème primaire (leur cellules sont petites, à parois fines, plus au moins écrasées les unes contre les autres) sont séparés par la présence d'un parenchyme fondamental (**parenchyme médullaire** : ensemble de cellules généralement hexagonales, de grande taille, à parois fines) constitue les **rayons médullaires**.

Les faisceaux<sup>1</sup> de xylème primaire et de phloème primaire (faisceaux criblo-vasculaires : FCL) sont en nombre égal dans la même racine (environ cinq et moins de huit). Souvent, les faisceaux de xylème fusionnent au centre constituent ainsi le **métaxylème**<sup>2</sup> (par opposé : **protoxylème**). Le xylème a donc un développement dit **centripète** (orienté vers le centre de la racine), on dit aussi xylème **exarche** (tête vers l'extérieur).



1- Faisceau : groupement d'éléments spécialisés ou différenciés ; on désigne par un faisceau criblo-vasculaire, FCV: les fibres de soutien + xylème + phloème ; et par faisceau libéro-ligneux, FLL : bois + liber

2- Métaxylème : xylème primaire différencié (vaisseaux rayés et ponctués), il se forme après le protoxylème (méta = dernier).

### 1.2.3. Moelle :

Quasi inexistante chez les Dicotylédones sauf à l'âge très jeune. Elle est située au centre du cylindre central. Elle est constituée d'un ensemble de cellules parenchymateuses généralement hexagonales, de grande taille, à parois fines (c'est un tissu de réserve).

## 2- Structures secondaires :

La structure secondaire est issue du fonctionnement du cambium et du phellogène (cf. chapitre II). La production interne de tissus entraîne la déchirure de ceux qui l'entourent.

### 2.1. Cambium :

Il s'insinue entre la moelle et les massifs du phloème d'une part, et entre le péricycle et les faisceaux du xylème d'autre part et se présente sous forme d'arcs. Le cambium (assise de cellules méristématiques, assise libéro-ligneuse) forme au départ un tracé sinueux, qui devient par la suite circulaire. Il produit le bois vers l'intérieur (développement centrifuge) et le liber vers l'extérieur (développement centripète), ce qui donne lieu à la formation d'un **pachyte**<sup>3</sup>. Ce pachyte peut être continu ou discontinu selon qu'il y a production ou non de parenchyme secondaire.

### 2.2. Phellogène :

Il peut apparaître à n'importe quel endroit dans la racine mais le plus fréquemment, il se forme au niveau du péricycle, du parenchyme cortical ou juste sous l'épiderme. L'écorce primaire, une fois isolée par le périoderme, rompe et s'exfolie.

## B-2. CHEZ LES MONOCOTYLEDONES :

Chez les **Monocotylédones**, on ne trouve essentiellement que des structures primaires, les structures secondaires étant extrêmement rares. De plus, les racines des Monocotylédones présentent plusieurs différences anatomiques par rapport aux structures des Dicotylédones.

- Dans le **cylindre cortical**, le **subéroïde** (dédoublement de l'assise subéreuse) se différencie dans les assises superficielles de l'écorce. Il joue le même rôle que l'assise subéreuse chez les Dicotylédones, en outre, l'écorce est non sclérifiée contrairement à ce qui peut être observé chez les Dicotylédones.
- **L'endoderme** subit une différenciation poussée puisque ses parois cellulaires se subérifient pour former un endoderme épaissi en forme de **fer à cheval**. Toutefois, certaines cellules de cet endoderme ne se subérifient pas et constituent les **cellules de passage** qui permettent les échanges entre les deux cylindres.
- Le **cylindre central** est plus développé que chez les Dicotylédones : le **péricycle** peut être pluristratifié et peut se sclérifier dans les racines plus âgées.
- Les vaisseaux conducteurs sont beaucoup plus nombreux (environ 10-20 faisceaux xylémiens et 10-20 massifs phloémiens).
- La moelle est fort abondante et peut se sclérifier en vieillissant.

---

<sup>3</sup> **Pachyte** : épaisseur ou épaississement.

## Schémas montrant l'organisation interne de la racine.

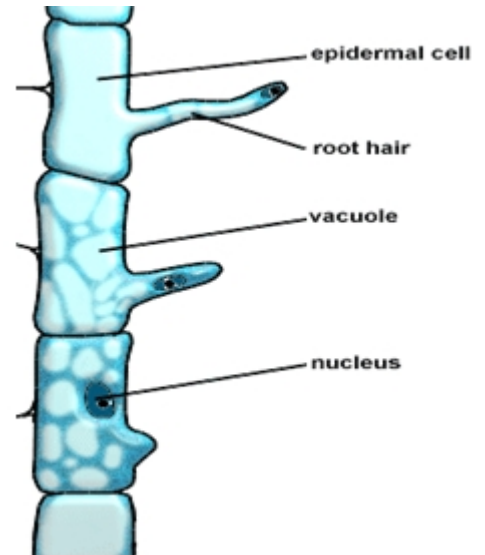
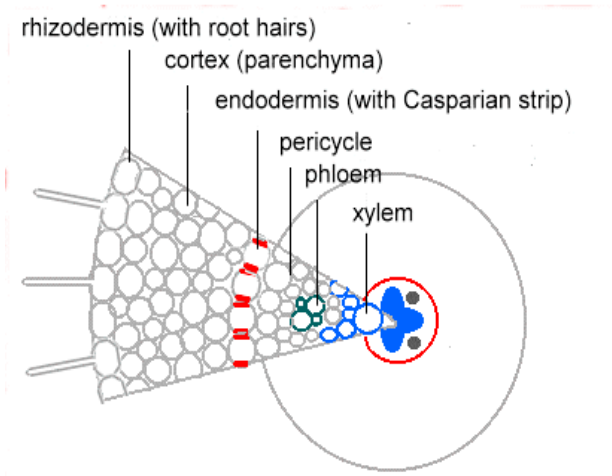
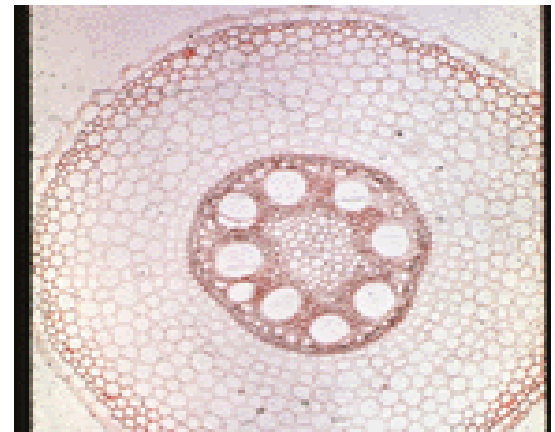
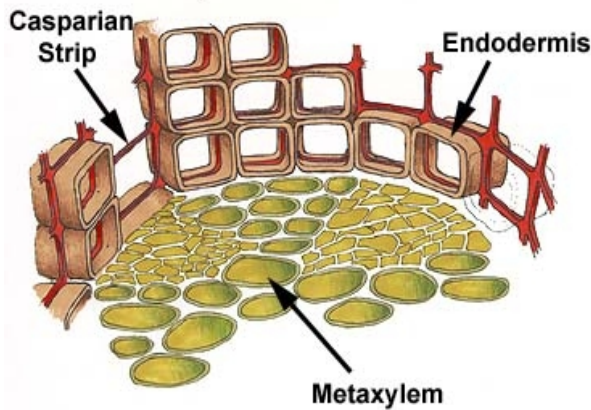


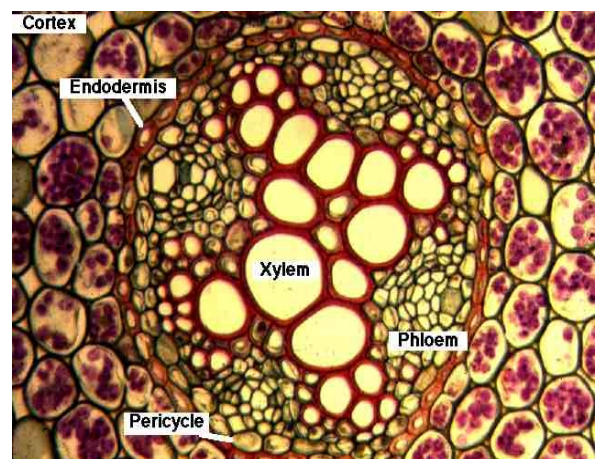
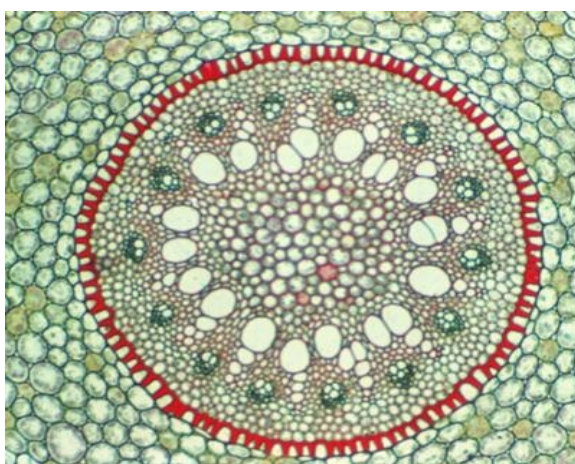
Schéma montrant les différents tissus d'une racine des Dicotylédones

Rhizoderme



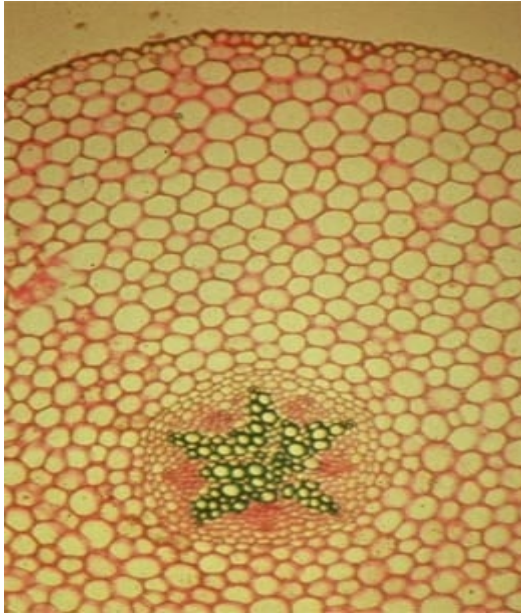
Cadres de Caspari

Coupe transversale (Monocot.)

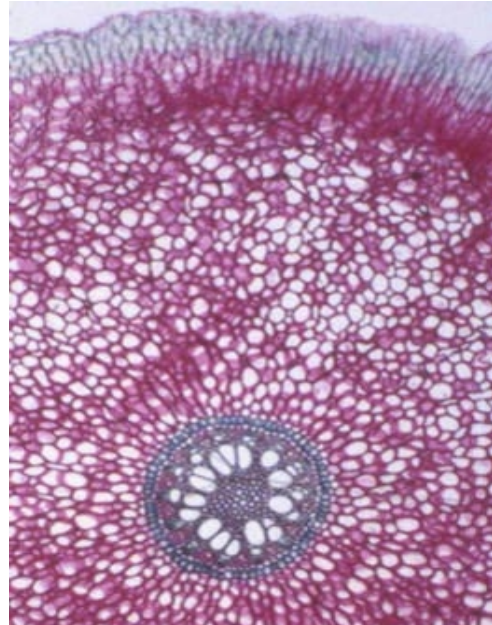


Cylindre central (Monocolylées)

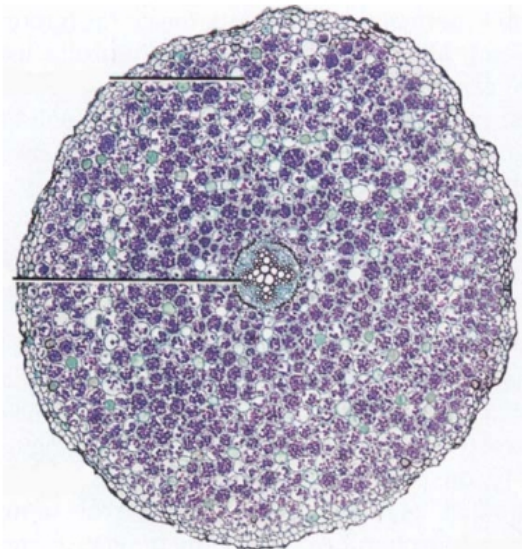
Cylindre central (Dicocolylées)



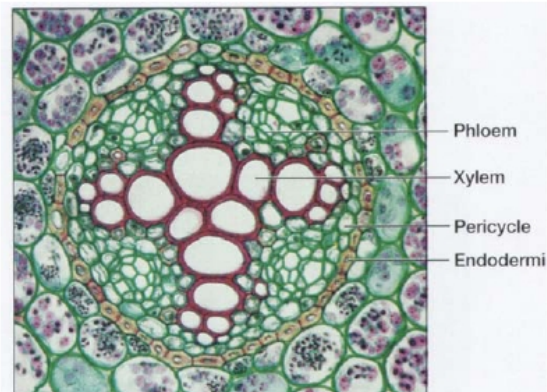
Coupe transversale d'une racine de ficaire (Renonculacées, Dicotylédones).



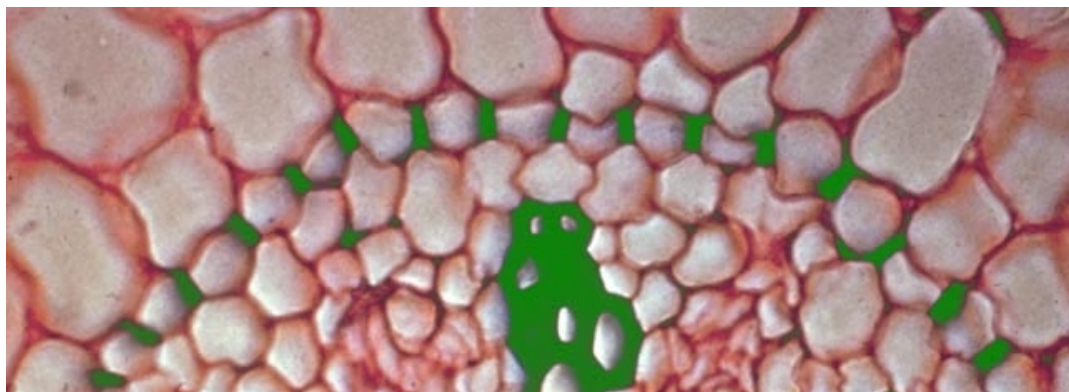
Coupe transversale d'une racine d'iris (Monocotylédones).



Ranunculus root, xs

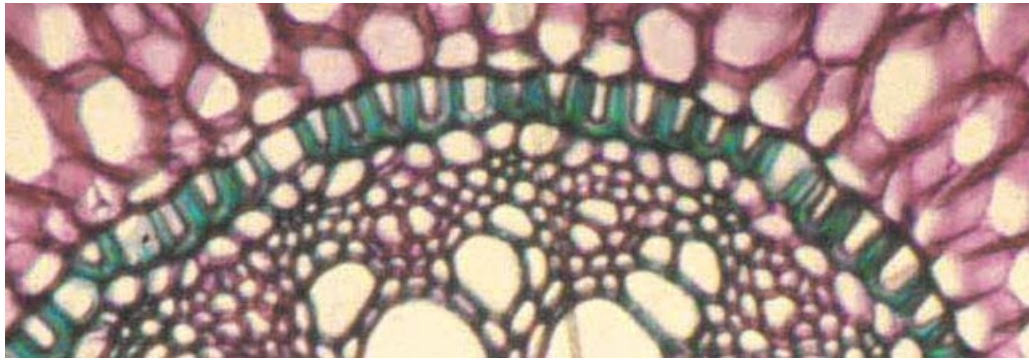


Ranunculus root stele



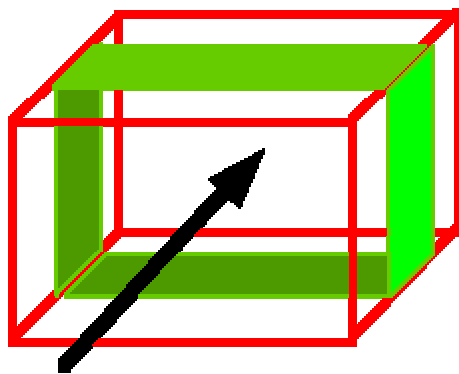
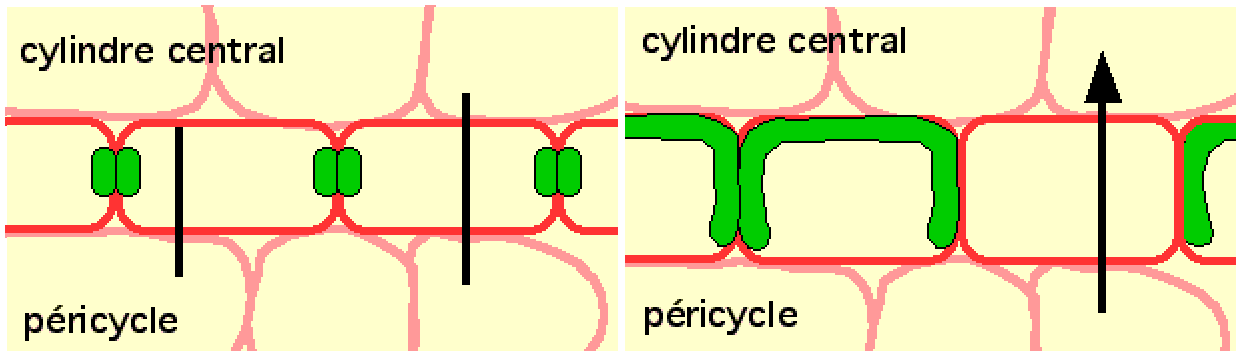
**Endoderme dans une racine d'hellébore (Dicotylédones).**

La couleur de la lignine colorée par le vert d'iode a été forcée graphiquement. les cadres de Caspary apparaissent en vert.

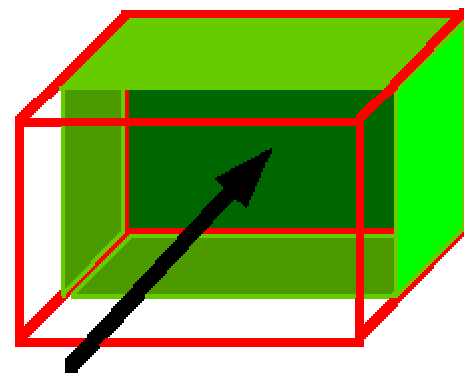


**Endoderme dans une racine d'iris (Monocotylédones).**

Les "bandes" de Caspary lignifiées forment cette fois un **fer à cheval** qui s'oppose à tout transit. Celui-ci ne peut se réaliser qu'au niveau de certaines cellules dépourvues d'épaississement lignifié (cellules de passage).

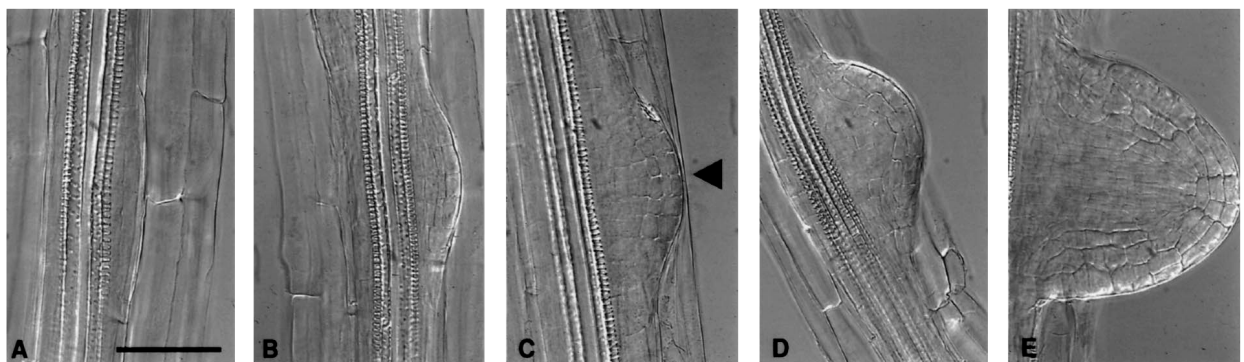


**Endoderme de Dicotylédones vu en coupe transversale et de face.** Le transit de l'eau et des substances dissoutes ne peut se réaliser qu'à travers les cellules.



**Endoderme de Monocotylédones vu en coupe transversale et de face.** Le transit de l'eau et des substances dissoutes ne peut se réaliser qu'à travers certaines cellules dépourvues d'épaississement lignifié (cellules de passage).

Source : <http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/racine/08-endoderme.htm> (site visité le 28 Avril 2008).



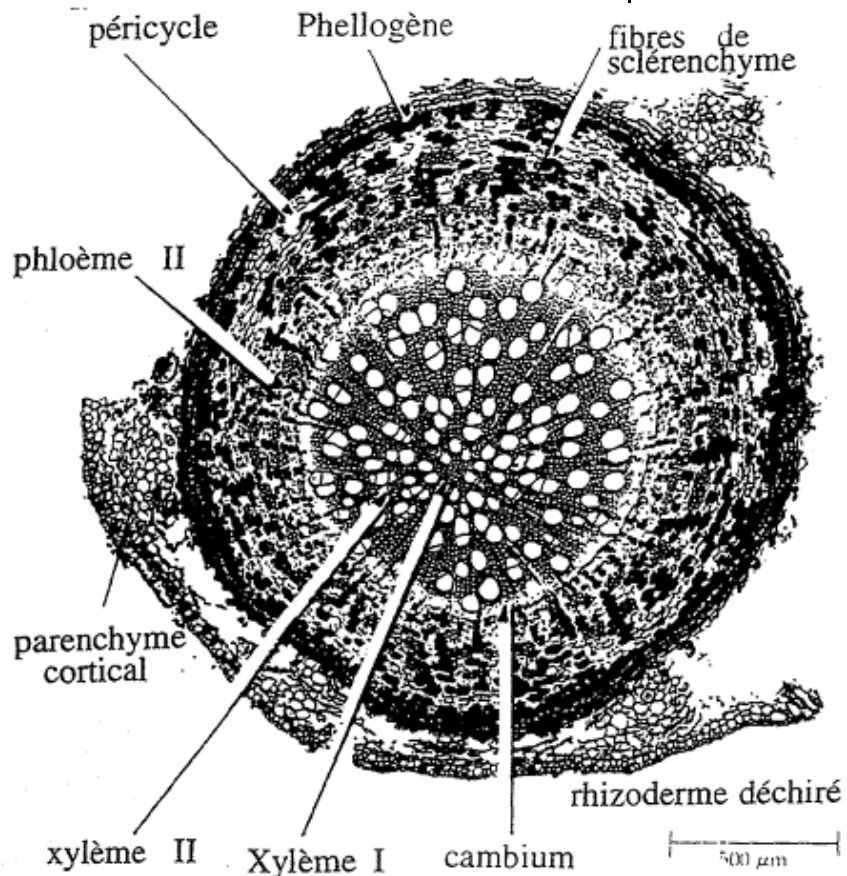
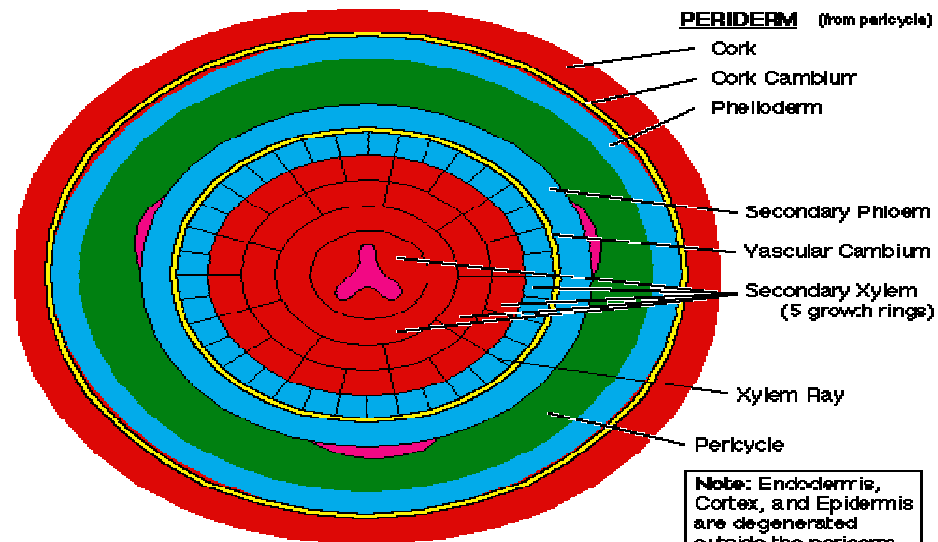
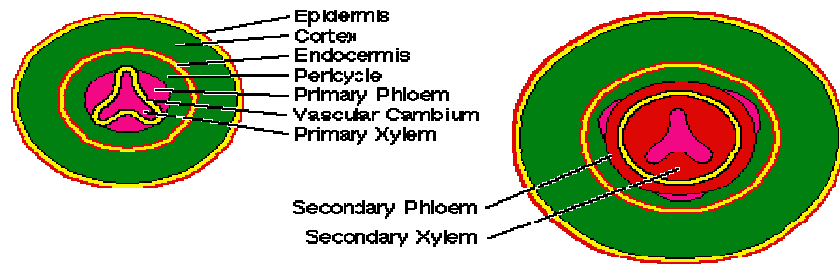
**Développement des racines latérales chez l'Arabidopsis.**

Photographs depict lateral roots at successive stages of development. (A) First periclinal division. (B) Four cell layers thick. (C) Periclinal division in cells near the apex; the recently divided cells are indicated by an arrowhead. (D) Formation of a distinct layer of cells around the apex. (E) Emerged lateral root with mature tissue pattern. Scale bar, 50  $\mu$ m. (Laskowski et al., 1995, Development 121, 3303-3310).

# Schémas montrant la structure secondaire de la Racine

## Secondary Plant Body - Root Anatomy

### Woody Dicot Root Cross Section



õõõ

## II. TIGE

### 1. Définition :

Une tige ou « caule » est un axe, généralement aérien, prolongeant la racine et portant des expansions latérales : les feuilles. Cependant, il existe également des tiges souterraines.

Du point de vue morphologique, une tige se distingue d'une racine par certaines caractéristiques telles que :

- Division de la tige en nœuds (points sur lesquels sont insérées les feuilles), et d'entrenœuds (d'où on dit que la tige est formée d'une série d'unités structurales dites **phytomères**)
- Absence d'une coiffe protectrice terminale.
- présence de bourgeons.

### 2. Structure primaire (jeune tige/ dicotylédones) :

Sur des coupes transversales effectuées dans de jeunes tiges d'une quelconque dicotylédone (haricot, renoncule, etc.), on distingue une structure de symétrie axiale faite de trois zones (figures : 1a et 1b) :

- épiderme
- écorce (péricycle)
- cylindre central (plérome)

#### A. Épiderme :

C'est la zone la plus externe. Il est constitué d'une couche périphérique de petites cellules parallélépipédiques, jointives (juxtaposées) à parois fines ou peu épaisses et dépourvues de chloroplastes, sauf au niveau des stomates. Généralement cutinisé, stomatifère, avec ou sans poils.

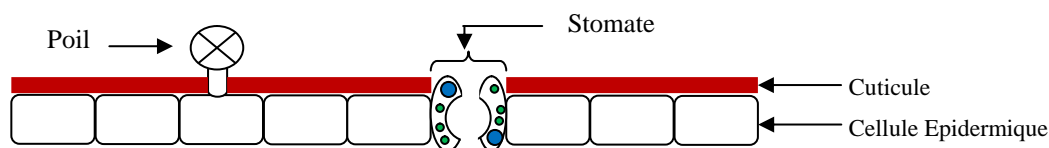


Fig. 3-5. Représentation schématique de la structure d'un épiderme

#### B. Écorce (cylindre cortical) :

Dans le langage courant, on désigne par le mot « écorce », la partie de la tige qui se détache facilement (parenchyme cortical + péricycle + liber). Mais ici nous désignons par écorce seulement le parenchyme cortical.

L'écorce est un ensemble de cellules parenchymateuses disposées sans ordre, limitée extérieurement par l'épiderme et intérieurement par l'endoderme (la couche la plus profonde).

Les deux ou trois couches sous-épidermiques des cellules de l'écorce possèdent des chloroplastes, d'où la coloration verte des jeunes tiges et la raison pour laquelle elles participent

avec les feuilles dans la photosynthèse. Cependant, les cellules les plus profondes constituées un parenchyme de réserve (riche en amidon).

Selon les espèces, plusieurs et différents tissus particuliers peuvent être rencontré au niveau du parenchyme cortical, à titre d'exemple :

- Eléments de soutien : collenchyme, fibres ou cellules scléreuses isolées ou regroupées en anneau continu ou en îlots dispersés.
- Eléments de sécrétion : des cellules à essence, canaux résineux, cellules et poches à mucilage.
- Eléments de conduction : chez un grand nombre de tiges, au moins en certains points, on rencontre des Faisceaux Libéro-Ligneux (FLL), correspondent aux tracés foliaires et aux travers desquels les sèves seront véhiculées depuis et vers les feuilles.

**N.B. Endoderme :** rarement aussi net que celui des racines. Les cadres subérisés (cadres de CASPARY) sont généralement peu visibles sinon inexistant.

**Les cellules de l'endoderme se distinguent souvent par un Amidon beaucoup plus abondant que celui des cellules qui l'avoisinent.**

### C. Cylindre central :

Parfaitement limité dans les tiges des Dicotylées, il est constitué d'un parenchyme fondamental dans lequel des FLL sont disposés suivant un seul cercle.

#### i. Péricycle :

Souvent constituée par plusieurs assises de cellules de taille moyenne et à parois fines. Il est extérieur au FLL, compris entre ceux-ci et l'endoderme. Le péricycle peut rester cellulosique, mais le plus souvent il se trouve sclérifié, de façon généralement incomplète, et participe avec le sclérenchyme pour constituer des paquets de fibres ou de cellules scléreuses coiffant les FLL notamment du côté externe.

#### ii. Moelle :

C'est la partie centrale de la tige, elle est plus ou moins développée (elle occupe presque la totalité du tubercule de la pomme de terre), le plus souvent cellulosique, cependant elle est sclérifiée parfois. En analogie avec le parenchyme cortical, selon les espèces, la moelle peut contenir également différents types de tissus, notamment des tissus de sécrétion.

**N.B.** Dans les tiges creuses (ou Fistuleuses) et contrairement aux tiges pleines, la moelle se résorbe sauf au niveau des nœuds.

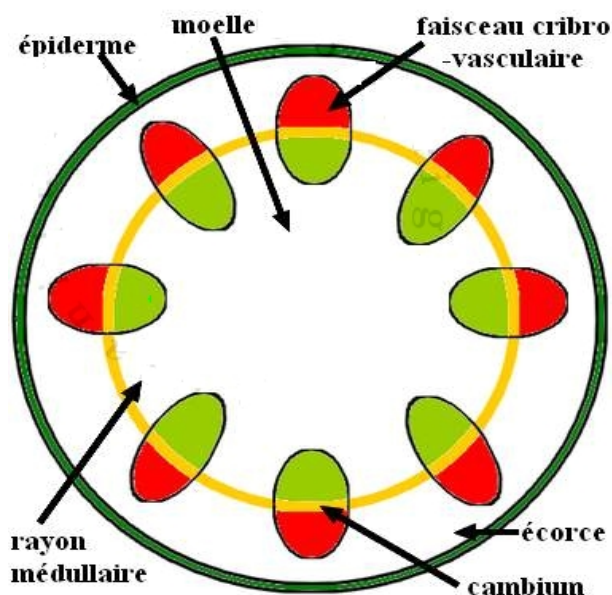


Fig. 3-6. Structure primaire d'une tige (Dicot.)

**iii. Rayons médullaires :**

Parenchyme occupant les intervalles inter-fasciculaires et joignant la moelle au péricycle.

**iv. Faisceaux conducteurs :**

Ils sont différents de ceux de la racine (séparés et alternes), puisque le xylème et le phloème se trouvent regroupés ou rapprochés dans un même faisceau.

Le faisceau a une structure dite « collatérale ou superposée » ; le phloème étant toujours du côté externe et le xylème du côté interne.

**a- Phloème :**

Il est constitué, généralement, de tubes criblés et de cellules compagnes agglomérées en un massif. Souvent les fibres libériennes se regroupent autour de la pointe externe du phloème pour construire la **gaine de sclérenchyme**.

Le phloème a une différenciation orientée vers le centre de la tige (développement centripète) parfaitement comme dans la racine.

**b- Xylème :**

Il est constitué essentiellement de vaisseaux ligneux. Il a une différenciation centrifuge, c'est-à-dire que les vaisseaux de taille petite (protoxylème) occupent la pointe du FLL, et les vaisseaux proches du phloème ont une grande taille (métaxylème). Le xylème de la tige est dit **Endarche** ce qui veut dire tête vers l'intérieur.

**c- Cambium :**

Entre le xylème et le phloème se trouve localisée une assise de cellules ayant conservées le caractère embryonnaire, aptitude de se diviser, et qui représente le cambium fasciculaire qui, selon les cas, sera fonctionnel ou non.

**Remarque :** le nombre de faisceaux est très variable suivant les espèces et pour une espèce donnée selon le niveau considéré. Ces variations dans le nombre des FLL sont dues à la formation de faisceaux par lesquels les feuilles sont reliées aux tissus conducteurs de la tige.

**3. Structure des tiges des monocotylédones**

On trouve chez les monocotylédones des structures caulinaires très proches de celles des dicotylédones. Néanmoins, souvent elles en sont nettement différentes.

Les principales différences sont les suivantes :

- Il est le plus souvent difficile, voir même impossible, de distinguer un parenchyme cortical et un cylindre central.
- les faisceaux libéro-ligneux sont répartis presque toujours sur au moins deux cercles concentriques, et généralement sont parsemés sans ordre.
- les FLL présentent le plus fréquent une structure particulière que l'on désigne par l'expression « Bois en V ».

- Il existe chez certaines monocotylédones une autre structure, plus rare, dans laquelle le xylème entour entièrement le phloème que l'on appelle structure « Concentrique ».
- Persistance des structures primaires, c'est-à-dire, absence des structures secondaires.
- Enfin, la Moelle est le plus souvent résorbée (absente).

#### 4. Structure secondaire

La structure secondaire est issue du fonctionnement du cambium (assise libéro-ligneuse) et du phellogène (assise subéro-phellodermique).

Chez les Monocotylédones, on ne trouve essentiellement que des structures primaires, les structures secondaires étant extrêmement rares et donc propres au Dicotylédones (à l'exception de certaines plantes herbacées).

##### a. Liber et Bois :

Issus du fonctionnement du cambium **FASCICULAIRE** (Cambium libéro-ligneux : couche de cellules très aplaties, situé entre les faisceaux de phloème primaire et de xylème primaire). Les arcs intrafasciculaires se raccordent entre eux par des arcs interfasciculaires qui se formeront au niveau des rayons médullaires suite à la dédifférenciation des quelques cellules parenchymateuses. Le cambium de la tige a donc des l'origine un tracé circulaire contrairement à celui de la racine (tracé sinueux).

L'ensemble du bois et liber formés prend le nom de « **pachyte** » qui peut être continu ou discontinu selon si le cambium fonctionne sur tout son étendu ou seulement au niveau des FLL.

L'activité du cambium des plantes pluriannuelles est rythmique ; il fonctionne tous les ans du printemps à l'automne et s'arrête l'hiver.

- au printemps, le bois est riche en vaisseaux de gros diamètre, la couche de bois est claire et tendre (bois de printemps).
- En automne, les vaisseaux ont un diamètre plus petit et les fibres sont plus nombreuses, la couche de bois est plus foncée et dure (bois d'automne ou d'été).

Sur un tronc d'arbre coupé transversalement, ces formations dessinent des cercles (cernes) concentriques alternativement clairs et sombres qui permettent de déterminer l'âge de l'arbre (dendrologie). Au centre de certains troncs, le bois devient plus dur et plus foncé : c'est le cœur (**DURAMEN**), où la sève brute ne circule plus, car les vaisseaux sont obstrués par des excroissances des cellules parenchymateuses, les **THYLLES** ; autour, le bois reste fonctionnel, tendre et clair : c'est l'**AUBIER**.

**b. Périoderme :**

Issu du fonctionnement du phellogène (constitué d'une couche de cellules méristématiques, il apparaît à une profondeur variable : parenchyme cortical, endoderme, péricycle. Il comprend le liège (suber) vers l'extérieur et le phelloderme vers l'intérieur.

- **Le liège (suber)** : constitué de cellules aplaties radialement, qui meurent très rapidement après leur formation et se vident. Les parois épaisses contiennent de la subérine imperméable.

Du fait de l'imperméabilité de la subérine, les tissus situés au-dessus du liège meurent. Il se forme le **rhytidome** (du grec rhutis = ride) ou improprement appelé écorce, contrairement dans la racine l'écorce isolée vers l'extérieur par le périoderme s'exfolie sous la poussée des tissus secondaires.

- **Le phelloderme** : constitué de cellules rectangulaires, parfois chlorophylliennes orientées vers le centre. Leurs parois sont pecto-cellulosiques et minces.

**Remarque** : le phellogène ne fonctionne jamais chez les plantes herbacées.



## Schémas montrant l'organisation interne d'une Tige

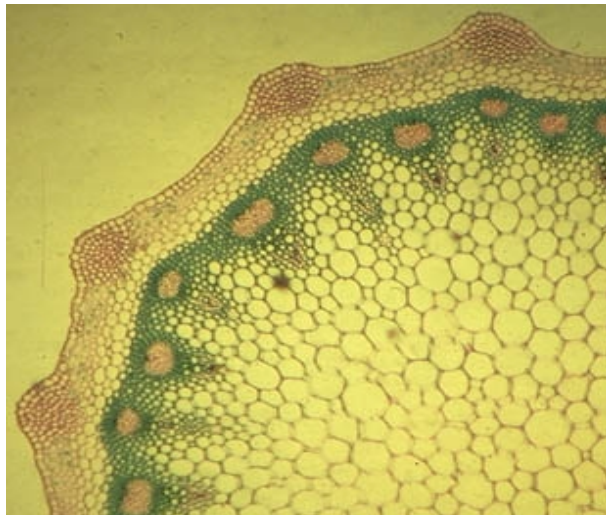
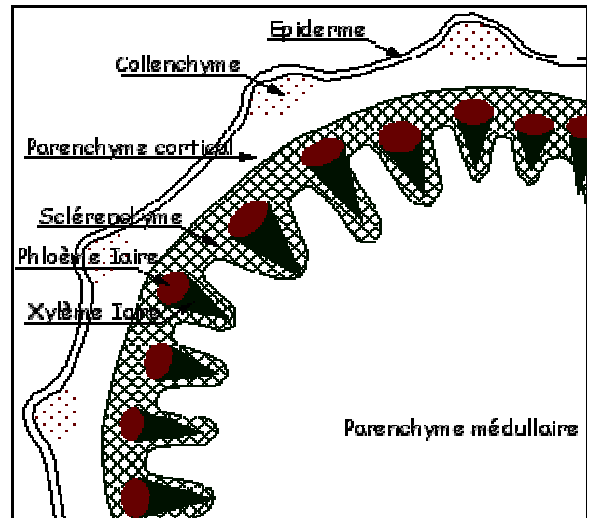


Schéma d'une coupe transversale partielle d'une tige de Sanicule (Dicot.)



Interprétation de la coupe

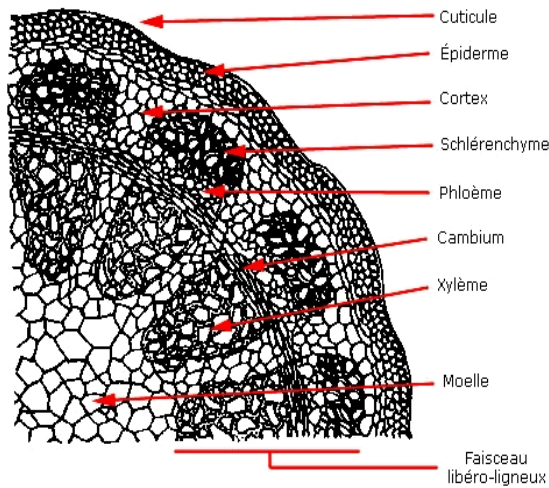
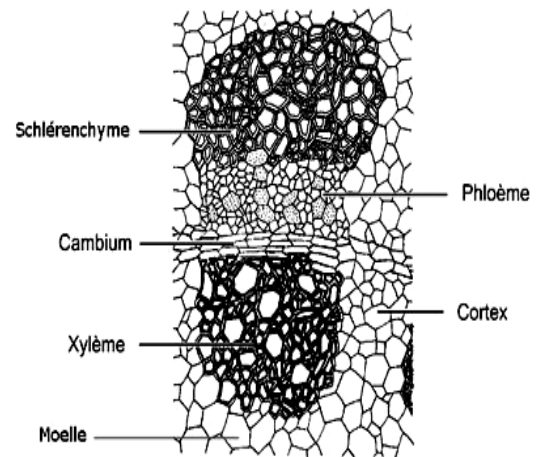
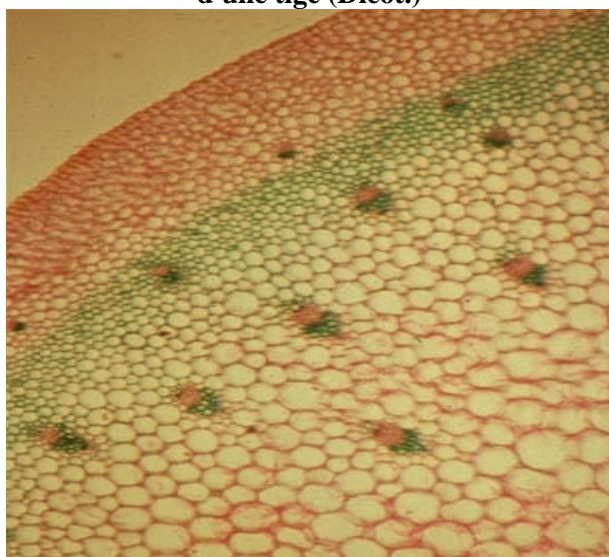


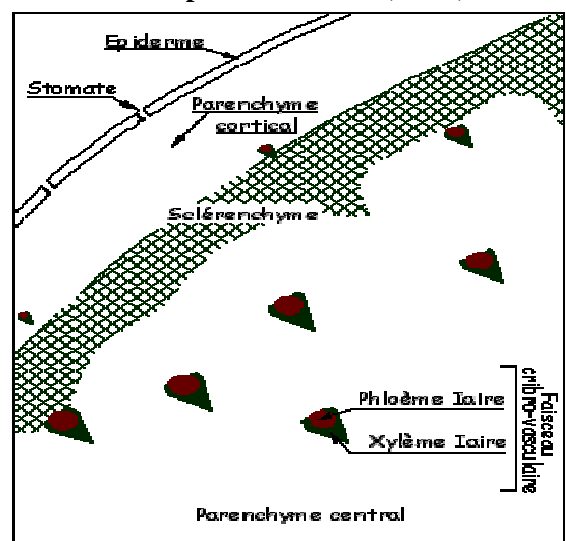
Schéma d'une coupe transversale partielle d'une tige (Dicot.)



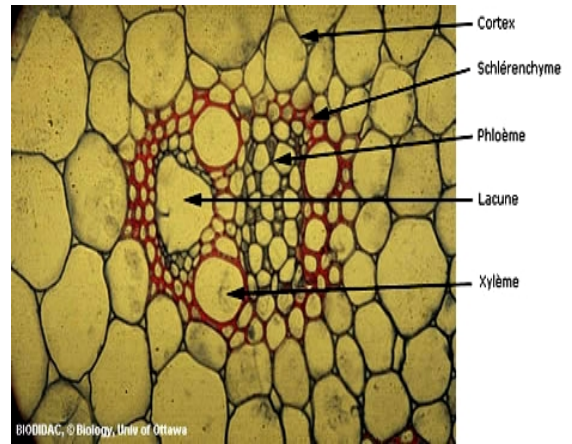
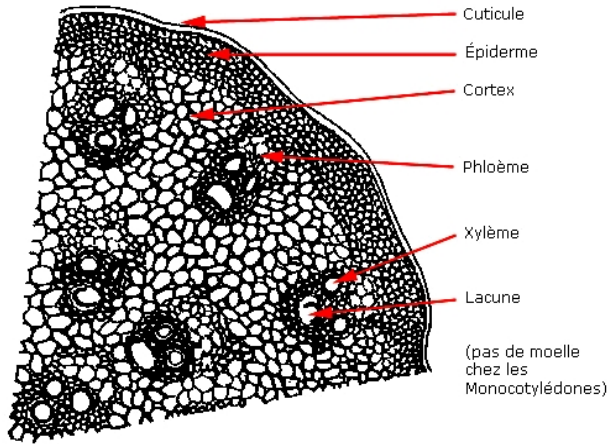
Faisceau d'une jeune tige de Dicotylédone en coupe transversale (400X)



Coupe transversale d'une tige d'Iris (Monocot.)

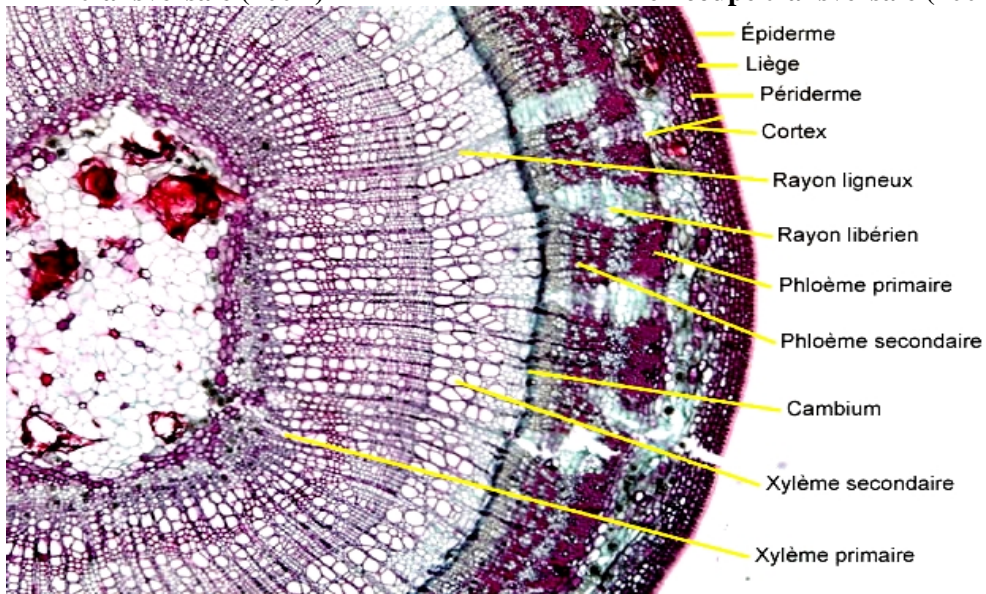


Interprétation de la coupe

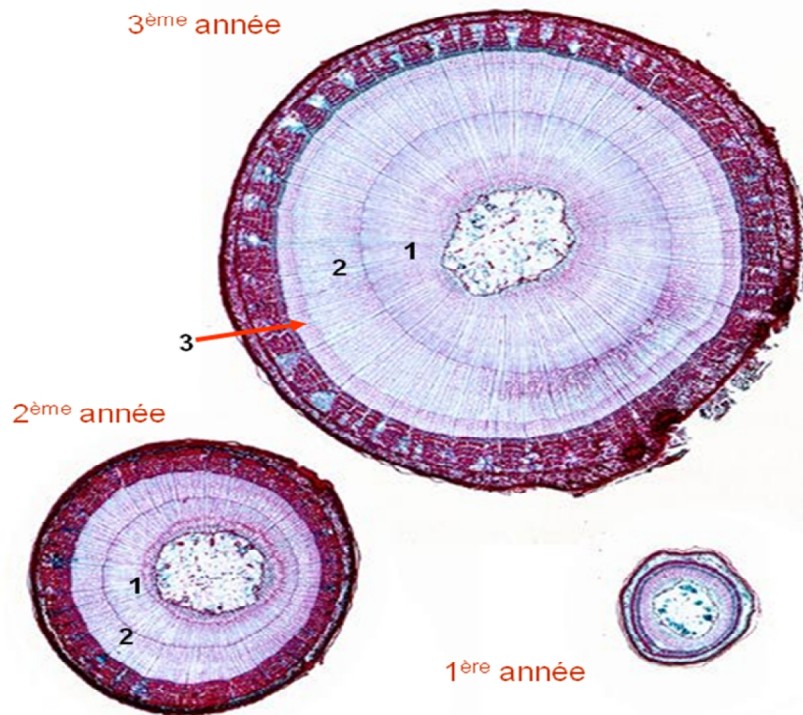


Jeune tige de Monocotylédone en coupe transversale (100X)

Faisceau d'une jeune tige de Monocotylédone en coupe transversale (400X)



Tige de Dicotylédone âgée en coupe transversale (100X)



Coupe d'une tige secondaire de dicotylédone



### **III. FEUILLE**

#### **1. Définition :**

La feuille, principal organe photosynthétique des plantes vasculaires, constitué par une excroissance latérale de la tige. Une feuille typique est composée d'un **pétiole**, appelé aussi pédoncule (c.-à-d. petit-pied), qui assure la fixation à la tige d'une partie large et plate, le **limbe**. À la base du pétiole (dite aussi la **base foliaire**), on rencontre parfois deux petites expansions en forme de lames, les **stipules**.

#### **2. Fonctions :**

La feuille du fait qu'elle possède un parenchyme chlorophyllien en abondance, elle constituée le siège de l'assimilation chlorophyllienne ou la Photosynthèse, celle-ci engendre les matières organiques essentielles pour la croissance et le développement de la plante. Cependant et grâce à la présence des stomates, la feuille participe dans le maintien de l'équilibre hydrique de la plante notamment à travers l'absorption racinaire et la circulation des sèves. Elle participe également dans les échanges gazeux (respiration et transpiration).

Dans certaines plantes la feuille peut modifier sa structure pour assurer d'autres fonctions dites secondaires, telles que :

- la nutrition : chez les plantes carnivores par exemple la feuille se transforme en véritable piège pour rattraper les insectes et les petits animaux, qui vont être digérés par la suite.
- le soutien, chez certaines plantes telles que le Pois, la feuille ou une partie d'elle se transforme en une vrille, laquelle participe dans la fixation de la plante à un support.
- la protection : transformée en épine ou aiguille, la feuille protège la plante contre pas mal de dangers externes (animaux herbivores, insectes ravageurs, etc.).

#### **3. Structure primaire :**

##### **A. CHEZ LES DICOTYLEDONES :**

Les coupes du limbe (généralement horizontal) présentent une **symétrie bilatérale** nette. On distingue de la face supérieure à la face inférieure :

1. **Épiderme supérieur ou interne** : formé de petites cellules sans chloroplaste, jointives, à parois externe recouvertes ou non d'une couche translucide de cutine (cuticule). Il présente généralement peu ou pas de stomates, avec ou sans poils.
2. **Parenchyme** : de haut en bas on distingue :
  - A- **Parenchyme palissadique** : dont les cellules riches en chloroplastes sont allongées verticalement dans un ou plusieurs rangs et jointives (séparées par des méats étroits) réalisant une sorte de palissade (d'où le nom palissadique), il renferme parfois quelques cellules de sclérenchyme et/ou de sécrétion.

**B- Parenchyme lacuneux** : constitué de cellules de grande taille, à parois fines laissant entre elles des méats volumineux appelés lacunes (d'où le nom lacuneux) moins riches en chloroplastes.

L'ensemble des deux parenchymes forme le mésophylle (mésophylle = milieu, phylle = feuille). Dans le cas des Dicotylées le mésophylle comprend généralement deux types de parenchymes, pour cette raison il est dit : **mésophylle hétérogène** ou **bifacial**.

### 3. **Tissus Conducteurs** :

Le xylème primaire et le phloème primaire sont superposés en faisceaux CRIBLO-VASCULAIRE identiques à ceux observés dans la tige. Ils sont en réalité la suite de ceux de la tige et du pétiole et correspondent aux nervures du limbe.

Le xylème primaire a une différenciation centrifuge. La disposition des faisceaux est variable (arc de cercle, anneau continu ...).

Au niveau médian de la feuille on observe une nervure volumineuse (la nervure médiane ou centrale). Elle est saillante à la face inférieure et constituée de FLL disposés en éventail (demi-cercle) et renforcés par du collenchyme ou du sclérenchyme.

**4. Épiderme inférieur ou externe** : comparable à l'épiderme supérieur, sauf qu'il possède un grand nombre de stomates et est moins cutinisé (d'où la couleur sombre).

### **B. CHEZ LES MONOCOTYLEDONES :**

Les coupes du limbe (généralement vertical) présentent une symétrie bilatérale bien qu'il n'y ait pas une nervure médiane très importante, nous remarquerons :

- Les épidermes : ils sont deux semblables ; cuticule ayant même épaisseur, stomates en nombre comparable sur les deux faces.
- Le mésophylle : ne comprend qu'une sorte de parenchyme (lacuneux), si non, le parenchyme palissadique sera très réduit et se trouve sur les deux faces ; ceci se comprend puisque les deux faces de la feuille sont généralement verticales et reçoivent le même éclaircissement.
- Le mésophylle est **homogène** ou **centrique**.
- Les faisceaux Libéro-ligneux sont nombreux, peu saillants, et correspondent à autant de nervures parallèles.

### **4. Structure secondaire :**

Elle n'existe que chez les Dicotylédones, les formes secondaires sont surtout développées chez les feuilles persistantes.

Généralement on ne rencontre pas les formations secondaires issues du fonctionnement du phellogène.

Au niveau de la nervure centrale (médiane) dans une feuille âgée le fonctionnement du cambium libéro-ligneux induit la formation du bois et du liber comme dans la tige.

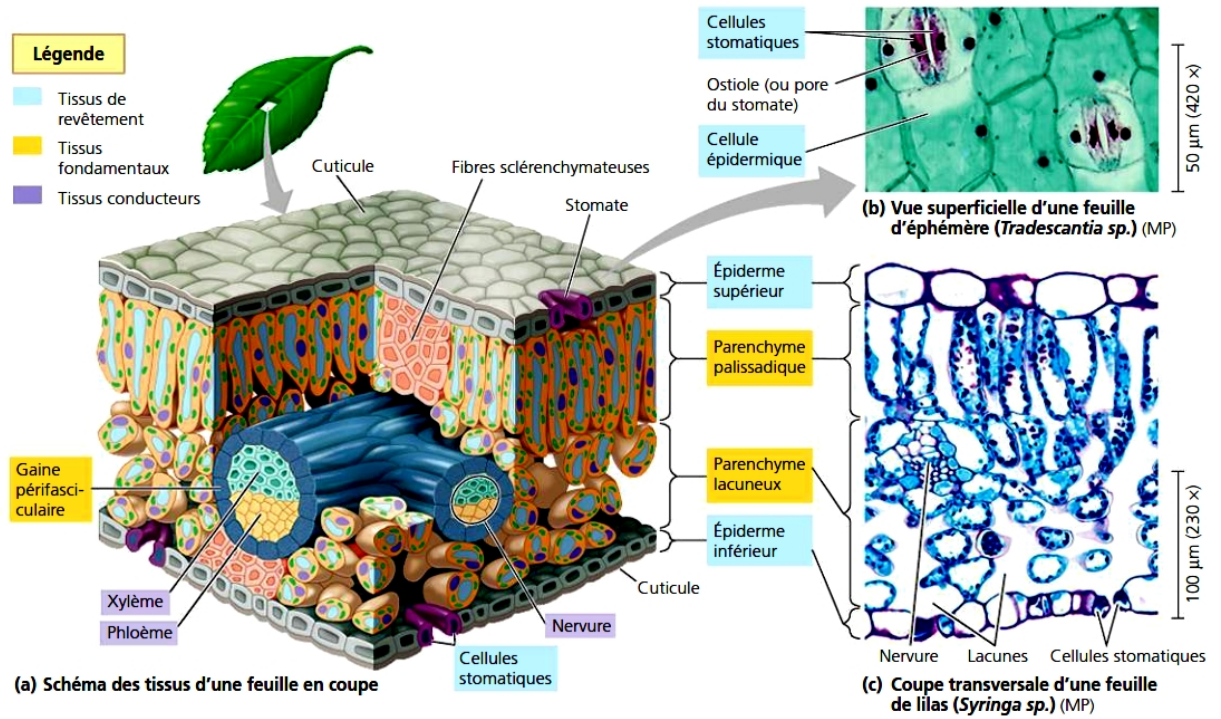


Fig. 3-7. L'anatomie d'une feuille (Dicotylédone)

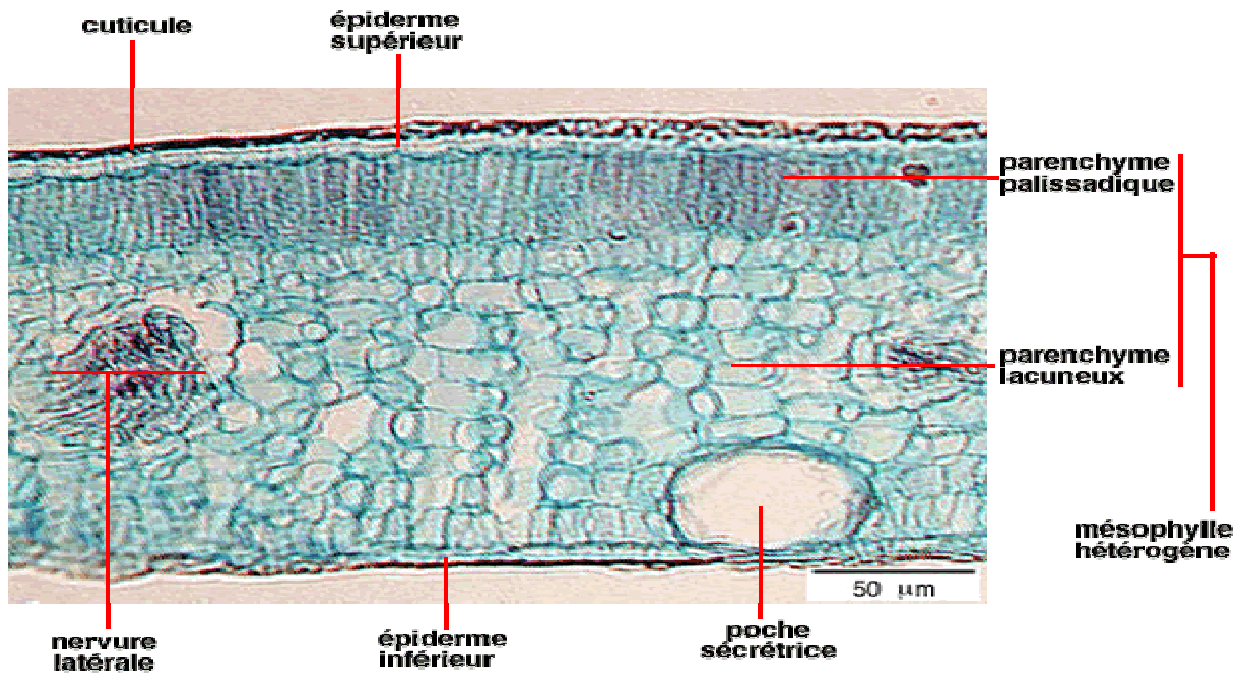


Fig.3-8. Coupe transversale dans une feuille (Dicotylédone)= Structure Primaire.

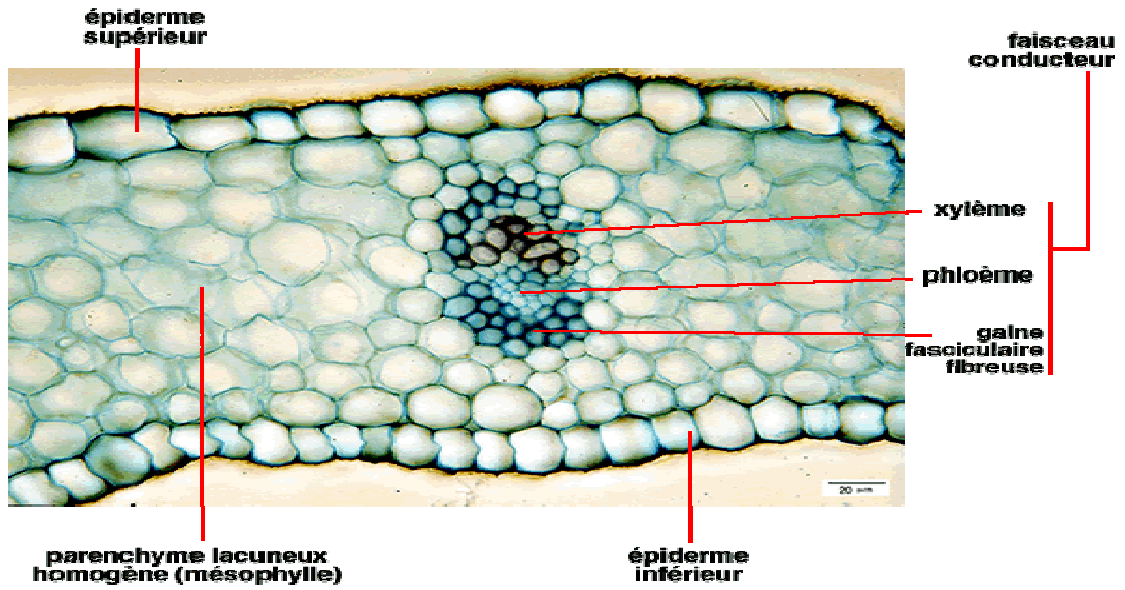


Fig. 3-9. Coupe transversale dans une Feuille (Monocotylédone)

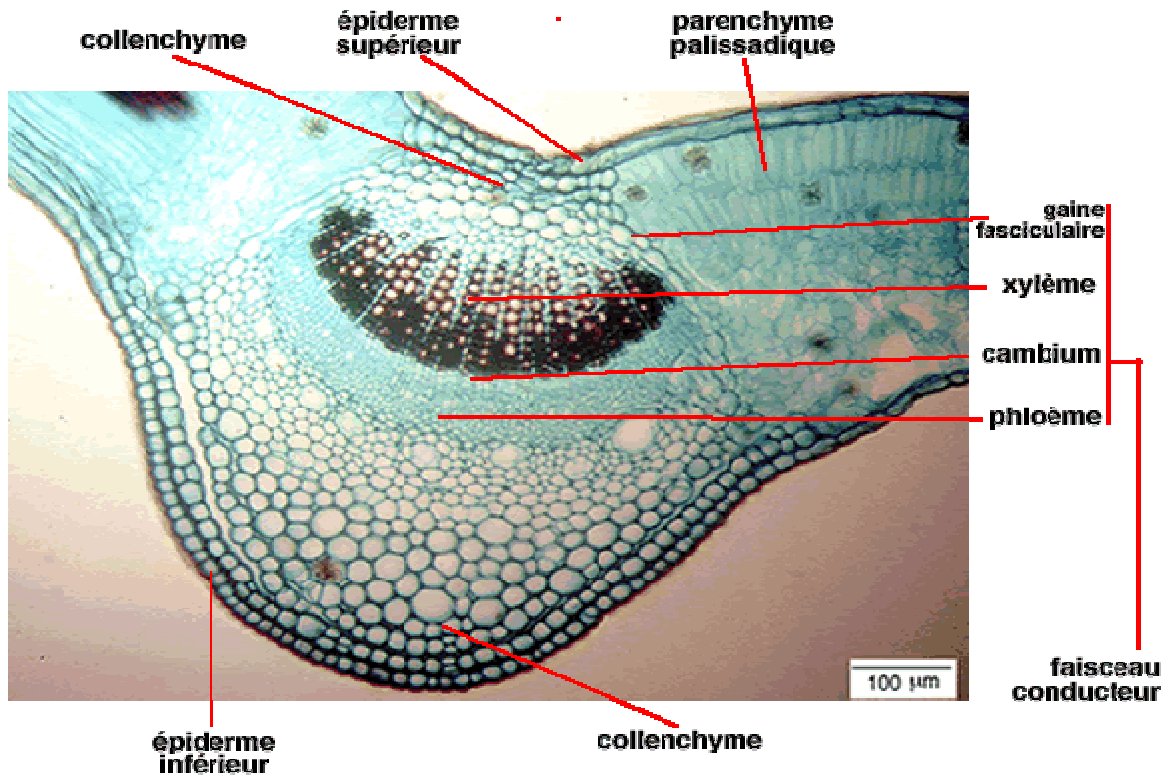


Fig. 3-10. Coupe transversale dans une Feuille (Dicotylédone)= Structure Secondaire

õõõ

## RESUME DU CHAPITRE

### Les 3 Types de Tissus matures formés par les méristèmes primaires :

- ▶ Tissus embryonnaires = **MÉRISTÈMES** (M apicales racinaire, et caulinaire).  
Les méristèmes donnent naissance aux différents tissus.
- Les trois méristèmes primaires sont :
  - ✓ Protoderme,
  - ✓ Procambium
  - ✓ Méristème fondamental
- ▶ Tissus de revêtement = **ÉPIDERME** (formé par le PROTODERME)
- ▶ Tissus conducteurs = **XYLÈME ET PHLOÈME** (formés par PROCAMBIUM)
- ▶ Tissus fondamentaux = tissus entre l'épiderme et les tissus conducteurs (formé par le **MÉRISTÈME FONDAMENTAL**)

### Tissus primaires de la RACINE

- Dans les racines :
- ✓ **ÉPIDERME** = couche qui couvre la racine
  - ✓ **ÉCORCE** = région de cellule parenchymateuse entre la stèle et l'épiderme, Emmagasine les nutriments.
  - ✓ **ENDODERME** = entour la stèle, joue un rôle de barrière sélective pour régler le passage de substances provenant du sol dans le tissu conducteur (xylème).
  - ✓ **PERICYCLE** = couche de cellules à l'intérieur de l'endoderme. Peut se transformer en méristème et recommencer à se diviser. Ceci donne naissance aux racines latérales.
  - ✓ **CYLINDRE CENTRAL** nommé la **STÈLE**, où l'on retrouve le Xylème et Phloème.
    - § Chez les **dicotylédones** : cellules du Xylème rayonnent au centre de la stèle et le Phloème se trouve entre les rayons.
    - § Chez les **monocotylédones** : la stèle a un centre de cellules parenchymateuses nommé **MOELLE**, avec le Xylème et Phloème alentours de la moelle.

### Tissus primaires de la TIGE

- Les tissus conducteurs forment des îlots de conduits nommés :
- ✓ **ÉPIDERME.**
  - ✓ **ÉCORCE.**
  - ✓ **FAISCEAUX LIBÉROLIGNEUX (FLL) :**
    - **PHLOÈME.**
    - **XYLÈME.**
  - § Chaque **FLL** dans une tige est entouré de tissu fondamental (parenchyme ou collenchyme).
  - § Chez les tiges **dicotylédones** : FLL sont en anneau entre la moelle et l'écorce.
  - § Chez les tiges **monocotylédones** : FLL dispersés dans les tissus fondamentaux : pas de moelle, pas d'écorce (ou moins claire).

### Tissus primaires de la FEUILLE

De la face supérieure (interne) vers la face inférieure (externe)

Dicotylédone	Monocotylédone
<ul style="list-style-type: none"> <li>Ø Cuticule</li> <li>Ø Épiderme supérieur (pauvre en Stomate)</li> <li>Ø Parenchyme palissadique</li> <li>Ø Parenchyme lacuneux</li> <li>Ø Vaisseaux conducteurs (saillants, en réseau ou filet)</li> <li>Ø Épiderme inférieur avec stomates</li> <li>Ø Cuticule.</li> <li>- croissance secondaire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ø Cuticule</li> <li>Ø Épiderme supérieur (riche en Stomate)</li> <li>Ø quasi inexistant</li> <li>Ø Parenchyme lacuneux</li> <li>Ø Vaisseaux conducteurs (peu saillants, parallèles)</li> <li>Ø Épiderme inférieur (riche en Stomate)</li> <li>Ø Cuticule</li> <li>- pas de croissance secondaire</li> </ul>

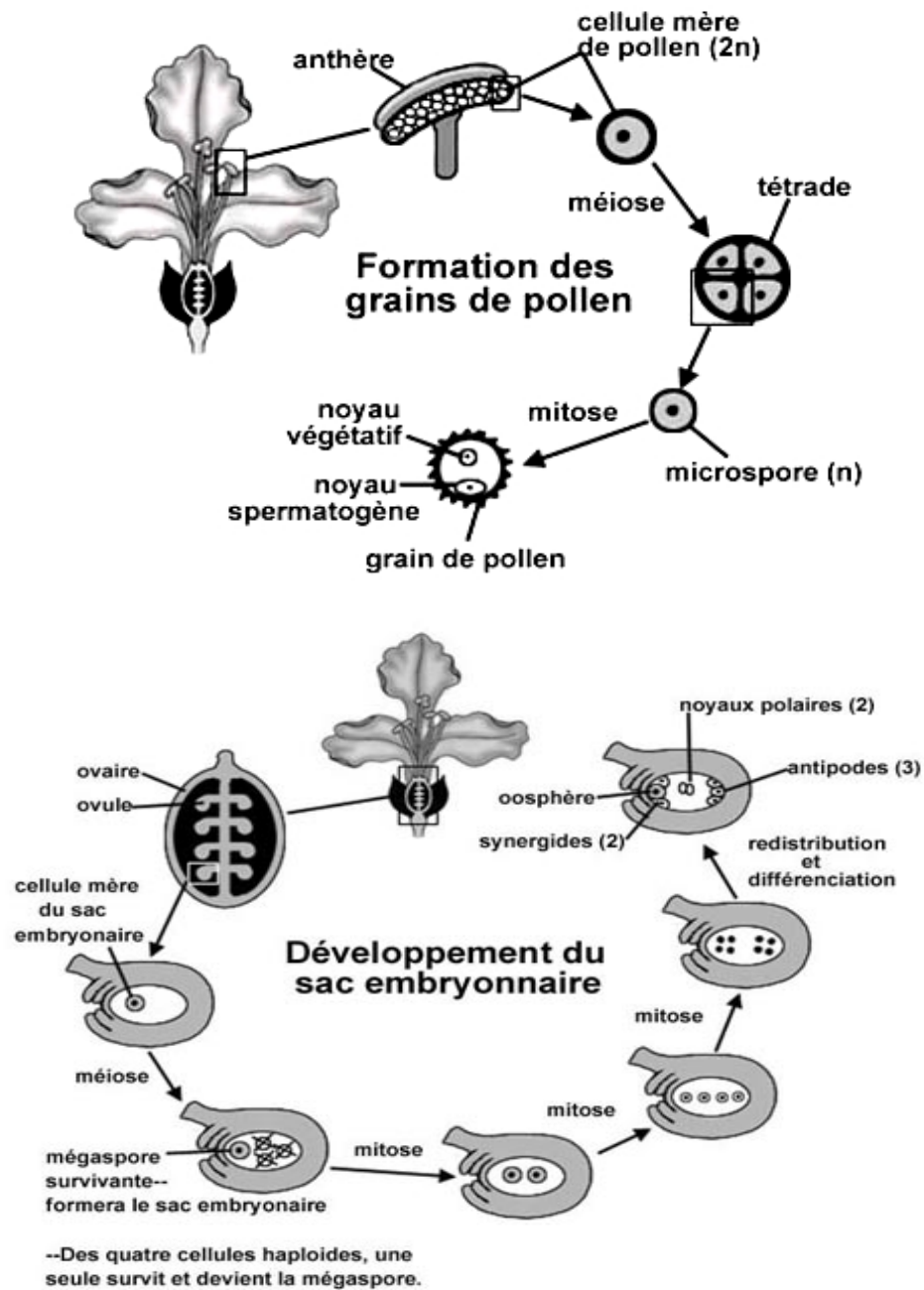
## CHAPITRE IV

# **GAMÉTOGÉNÈSE**

Deux phénomènes biologiques fondamentaux caractérisent la reproduction sexuée des plantes à fleurs, à savoir : la gamétogénèse (méiose) et la fécondation.

La Gamétogénèse végétale peut être définie comme étant l'ensemble des processus ou évènements qui se produisent dans les organes de reproduction et qui aboutissent à la formation des gamètes mâles et femelles.

La fleur, dont le rôle est d'assurer la reproduction sexuée de la plante, est la structure la plus caractéristique des angiospermes.



**Gamétogénèse mâle et femelle.**

## 1. STRUCTURE DE LA FLEUR :

Une fleur complète et simple est formée de quatre sortes d'éléments situés sur le **réceptacle** qui est l'extrémité renflée du **pédoncule** floral, lequel est inséré sur la tige. Les **sépales** (**le calice**

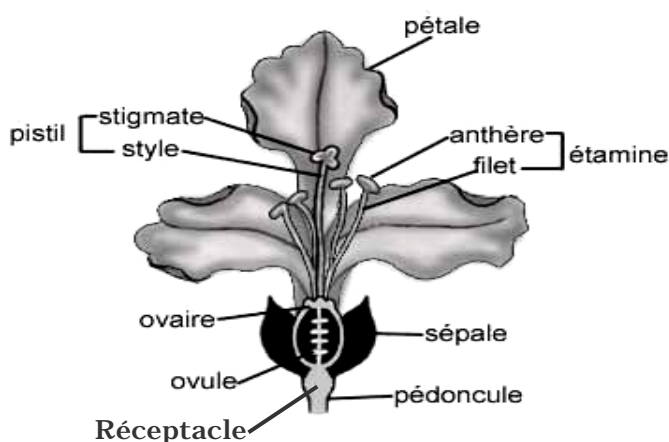


Fig. 4-1. Structure d'une fleur typique

= **ensemble des sépales**) forment une enveloppe, souvent verte, autour du bourgeon, avant son éclosion. Les **pétales** (**la corolle** = **ensemble des pétales**) sont souvent colorés et odoriférants, ce qui attire les insectes pollinisateurs. **Calice** et **corolle** constituent le **péricarpe**: enveloppe florale qui protège les éléments sexuels de la fleur. Ceux-ci sont les **étamines**, groupées en un ou deux rangs circulaires, et le **pistil**, composé de **carpelles**. Les carpelles comportent

chacun stigmate, style et ovaire.

Les étamines sont les organes mâles. Elles sont terminées par des **sacs polliniques**, dans lesquels se forme le **pollen**. Les carpelles sont les organes femelles dont la cavité, complètement fermée et appelée **ovaire**, renferme les **ovules**.

## 2. GAMETOPHYTE MALE ♂:

### 2.1. STRUCTURE D'UNE ETAMINE :

L'**androcée** est formé de l'ensemble des étamines (organes mâles). Chaque étamine comprend :

- **Le filet** : généralement fin et allongé, contient un faisceau de tissus conducteurs.
- **L'anthère** : partie renflée, elle est plus ou moins divisée en deux par un connectif qui est le prolongement du filet.

L'anthère est le plus souvent constituée de deux **sacs polliniques** (quatre sacs fusionnés deux à deux) contenant le **pollen**, enfermé dans les deux loges. La paroi de chaque loge est parcourue par un **sillon** (ligne de déhiscence) qui s'ouvre lorsque l'étamine est mûre permettant ainsi la libération du **pollen**.

En coupe transversale l'anthère comprend :

- **L'épiderme** au rôle protecteur.
- **L'assise mécanique** : formée de cellules dont les parois latérales et profondes sont pourvues d'épaississements lignifiés, les parois externes demeurent entièrement cellulosique. à maturité, la dessiccation de l'anthère entraîne la rétraction des parois cellulosiques de l'assise mécanique qui

s'incurve vers l'extérieur, déchirant ainsi les cellules non lignifiées de la ligne de déhiscence ; le pollen est alors libéré.

- Les restes du **tapis staminal** (assise nourricière), au rôle nourricier s'ajoute le rôle d'élaboration de substances entrant dans la constitution des parois du grain de pollen.
- **Les sacs polliniques** qui contiennent à maturité de nombreux grains de pollen individualisés.
- Un faisceau libéro-ligneux parcourant le filet.

## 2.2. GRAIN DE POLLEN :

Les grains de pollen des plantes à fleurs, sont des éléments sphériques ou ovoïdes, souvent de couleur jaune. Leurs dimensions varient de quelques micromètres à environ 200  $\mu\text{m}$  (courge).

Le grain de pollen est généralement formé de deux cellules de (**n**) chromosomes (**bicellulaire**).

- La cellule **végétative** : la plus grande des deux, elle contient des réserves (amidon) qui serviront à la formation du tube pollinique.
- La cellule **génératrice** ou reproductrice : plus petite, allongée, entièrement incluse dans la cellule végétative. Elle est à l'origine des deux gamètes mâles ou **spermatozoïdes**.

La paroi du grain de pollen (**sporoderme**) comprend :

- une couche interne cellulosique, l'**intine**.
- une couche externe, l'**exine**, épaisse et formée de **sporopollénine**, substance imperméable. L'exine peut être lisse ou ornementée ; les ornements sont spécifiques et permettent d'identifier la plante qui a fourni le pollen. Dans les cavités de l'ornementation de l'exine, il peut exister un mélange complexe (protéines, lipides, glucides) constitué le manteau pollinique, qui joue un rôle dans l'acceptation ou le rejet du pollen par le stigmate.

L'exine est amincie au niveau de pores (**apertures**) par où sortira le tube pollinique.

## 2.3. Développement Des Sacs Polliniques (Microsporangies):

L'observation de coupes transversales d'anthers très jeunes, puis de plus en plus âgées, permet de suivre la formation des sacs polliniques. A chacun des quatre angles de l'ébauche d'une jeune anthere, des cellules sous-épidermiques se différencient en grandes cellules (cellules archésporiales).

Donc s'est à partir de ces 4 bandes de cellules archésporiales, suite à un cloisonnement de façon péricline, qui va se former : le tissu **sporogène** et, la paroi pluristratifiée du sac pollinique.

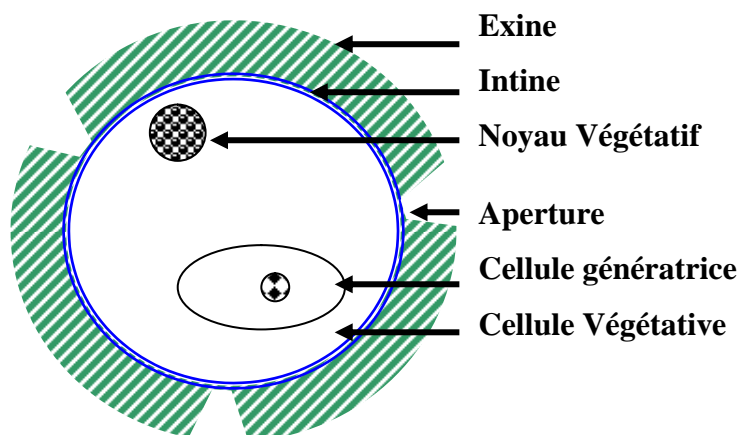


Fig. 4-2. Structure d'un grain de pollen

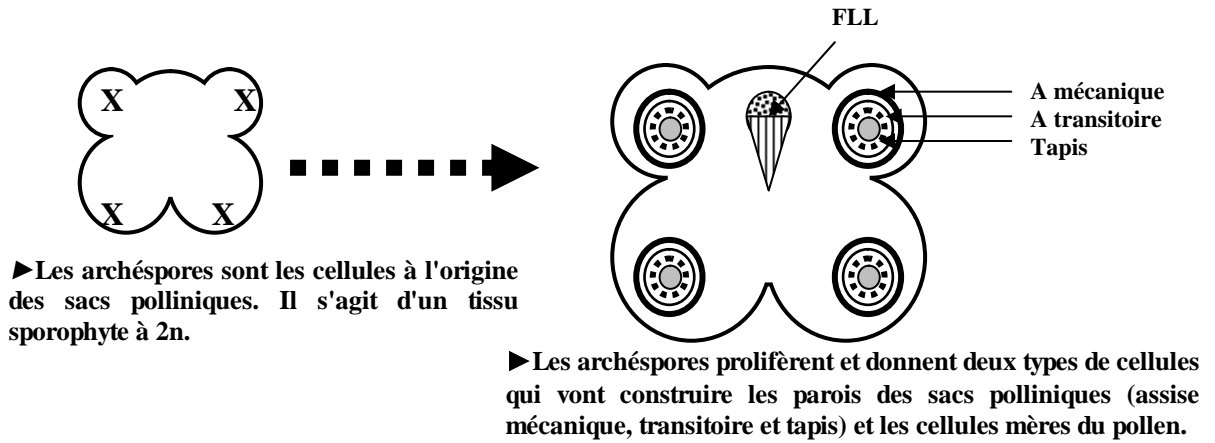


Fig. 4-3. Développement des sacs polliniques

**2.4. Développement Du Grain De Pollen (Microgamétogénèse) :**

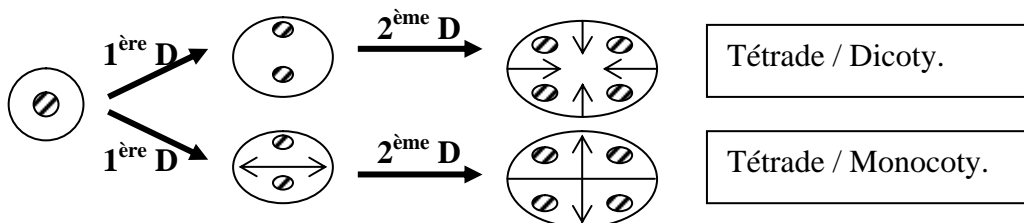
**1) Formation des Microspores :**

À l'intérieur des **microsporangies** (sacs polliniques), des cellules diploïdes (2n) appelées cellules-mères de pollen (= méiocytes mâles ou microsporocytes) subissent une **méiose**.

En fin de méiose chaque cellule sporogène produit quatre cellules haploïdes qui restent groupés en **tétrade** grâce à la formation d'une paroi spéciale de nature **callosique**.

Il existe deux modalités principales de formation des tétrades :

- (1)- chez les Dicotylédones : les cloisons se formeront simultanément de façon centripète.
- (2)- chez les Monocotylédones : les cloisons se formeront successivement de façon centrifuge.



**2) Formation des Grains de Pollen :**

Deux processus caractérisent cette deuxième étape :

**a) La formation de la paroi pollinique :**

Elle débute au moment de la réalisation de la tétrade par la mise en place de la **primexine** (couche cellulosique) : paroi polysaccharidique qui se charge ensuite en sporopollénine. Le dépôt de la sporopollénine se fait de façon très irrégulière ce qui donne des sculptures spécifiques. Cela donne l'exine stable définitive. En fin de maturation la paroi pollinique s'enrichit d'un manteau pollinique (tryphine et "pollenkit") dont les éléments constitutifs proviennent du tapis. La dernière partie de la paroi mise en place est l'intine.

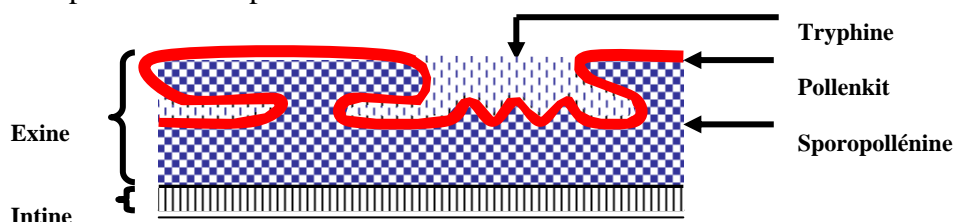


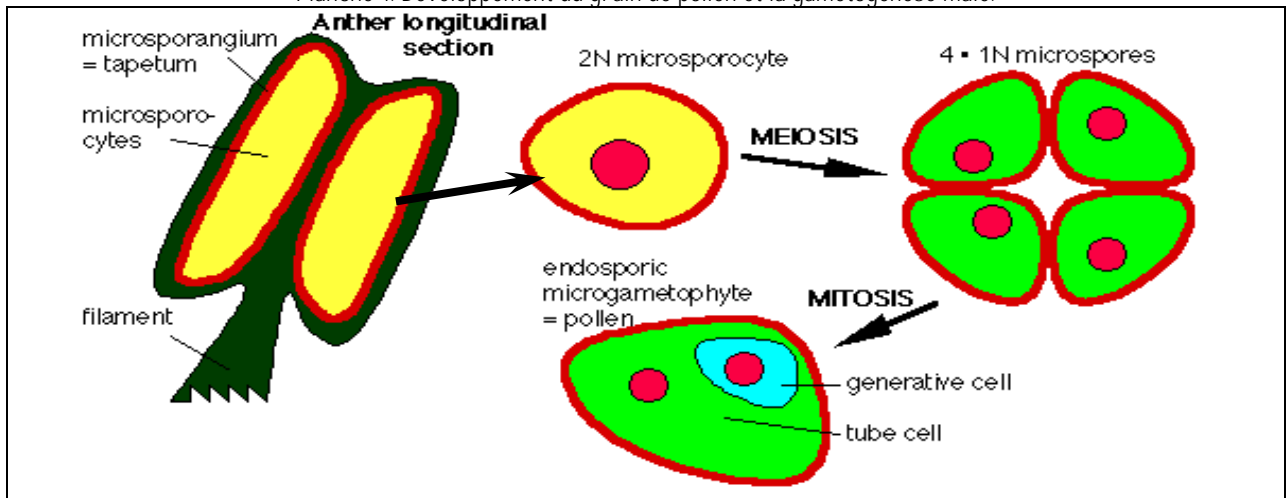
Fig. 4-4. Structure du sporoderme

**b) La formation du gamétophyte mâle :**

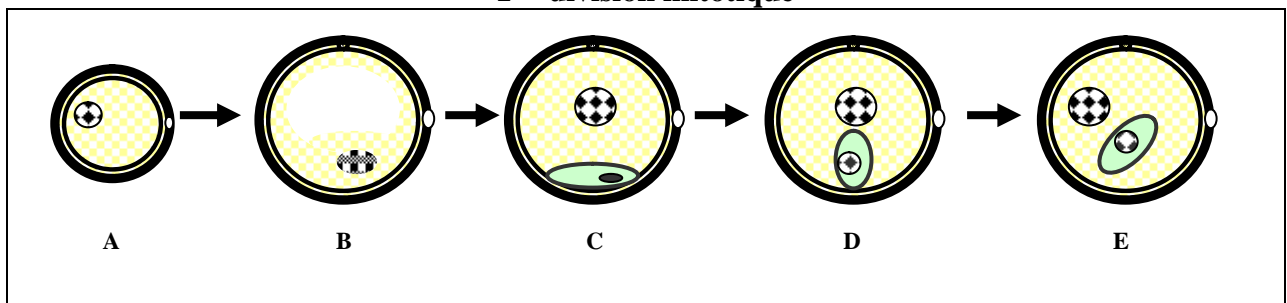
Pendant que se différencier le **sporoderme**, la microspore (A) augmente de volume, se vacuolise et le noyau prend une position excentrée (création de la polarité cellulaire). Cette microspore entre ensuite en **mitose** (B); il en résulte deux cellules inégales (C), l'une petite, lenticulaire, appliquée contre l'intine, c'est la cellule génératrice, incluse dans l'autre, la plus grande, qui correspond à la cellule végétative (cellule du tube). Ces deux cellules sont séparées par une paroi incurvée, peu structurée.

Ensuite, la cellule génératrice se détache de l'intine et se trouve complètement «**internalisée**» (D – E).

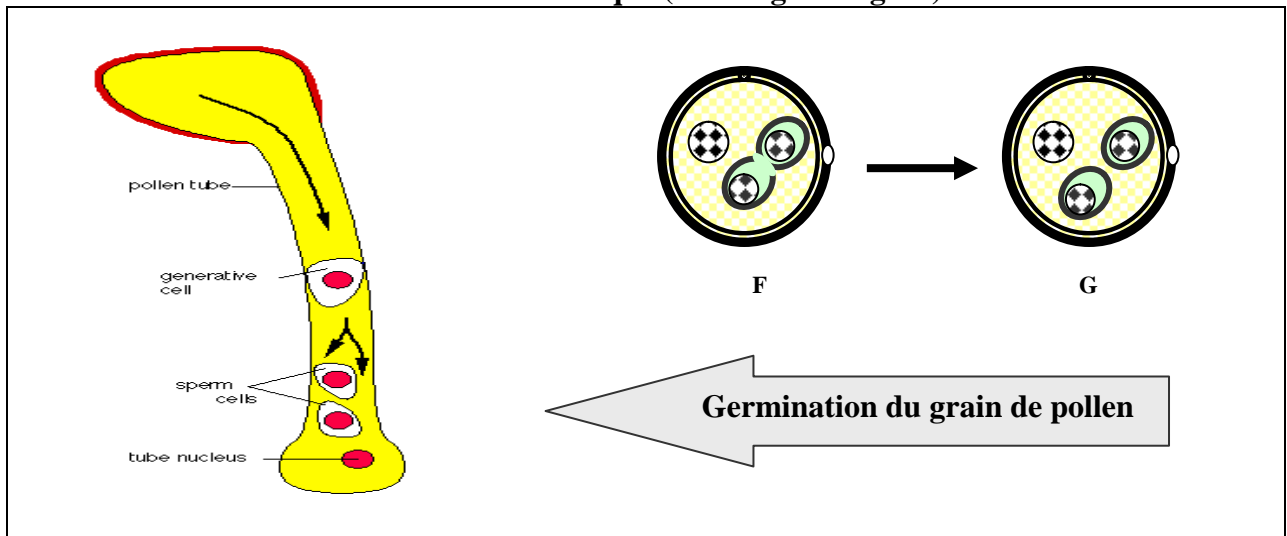
Planche-1. Développement du grain de pollen et la gamétogénèse mâle.



**1<sup>ère</sup> division mitotique**



**2<sup>ème</sup> division mitotique (mitose gamétogène)**



Généralement chez la plupart des angiospermes, cet état **bicellulé** (cas exceptionnel des végétaux) sera celui conservé par le grain de pollen "mûr" au moment de sa dissémination [**F** le noyau de la cellule génératrice se trouve bloqué en début de prophase de la deuxième division pollinique = mitose]. Pour le reste (blé, orge), la cellule génératrice accomplit la seconde mitose (**F**) avant la fin de la maturation du grain de pollen (structure **Tricellulée**). Il s'agit de la mitose **gamétogène** engendrant la formation des deux gamètes mâles ou cellules spermiques «**spermatozoïdes**» (**G**) (planche-1).

A maturation, les grains de pollen se déshydratent, les couches cellulaires situées sous l'assise mécanique se résorbent : les grains de pollen sont donc libres et prêts à être disséminés.

Les grains de pollen représentent le **gamétophyte mâle**.

**NB.** On notera que dans le cas des grains de pollen bicellulés, la mitose gamétogène ne se termine que tardivement, après la germination du pollen (Cf. Chapitre V).

### 3. GAMETOPHYTE FEMELLE ♀ :

Le **gynécée** ou pistil est formé de l'ensemble des carpelles (organes femelles). Chaque carpelle est généralement formé de trois parties : **Ovaire** : partie renflée et creuse contenant les **ovules** ; le **style** : prolongement de l'ovaire qui s'épanouit à sa partie terminale en un **stigmate** ; le **stigmate** : surface élargie et papilleuse, voué à capter les grains de pollen véhiculés par le vent ou les insectes.

Le gynécée peut être exceptionnellement monomère (un seul carpelle), mais le plus souvent est constitué de plusieurs carpelles qui peuvent être libre entre eux (**apocarpie** = **dialycarpie**) ou associés de façon plus ou moins étroite (**syncarpie** = **gamocarpie**).

Les plantes à fleurs possèdent un **système ovarien clos** (= **Angiospermie**), à l'intérieur duquel se développent les **ovules** lesquels, s'il y a fécondation, évoluent en graines.

#### 3.1. OVULE :

L'ovule comprend :

- Le **Funicule** ou pédoncule ovulaire, fin cordon qui fixe l'ovule sur le **placenta**.
- Le **hile** étant la zone élargie du funicule où commence l'ovule.
- Deux téguments (interne et externe) qui laissent entre eux une étroite ouverture, le **Micropyle**.
- Le **Nucelle (mégasporange)**, massif parenchymateux interne.
- Le **Sac Embryonnaire**, formation particulière située à la partie supérieure du nucelle et qui comporte généralement sept cellules.
- Un **faisceau libéro-ligneux** qui se termine dans le nucelle en une région appelée la **Chalaze** (correspond au point de divergence des tissus conducteurs).

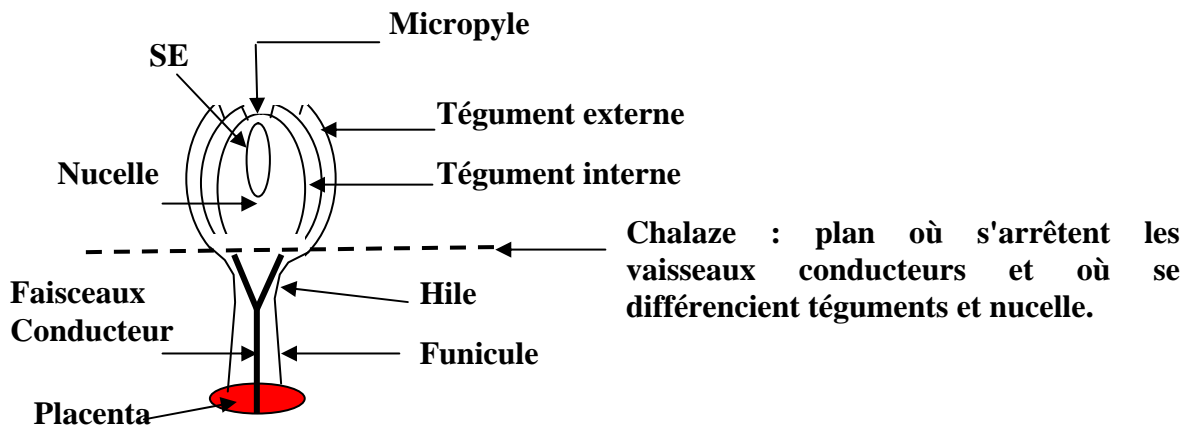


Fig. 4-5. Structure de l'ovule

On distingue généralement trois types principaux d'ovules :

- 1- Ovule orthotrope (droit). Les axes du funicule et du nucelle sont confondus.
- 2- Ovule campylotrope (courbé). Les axes du funicule et du nucelle sont perpendiculaires.
- 3- Ovule anatrophe (renversé). Les axes funicule/nucelle sont parallèles.

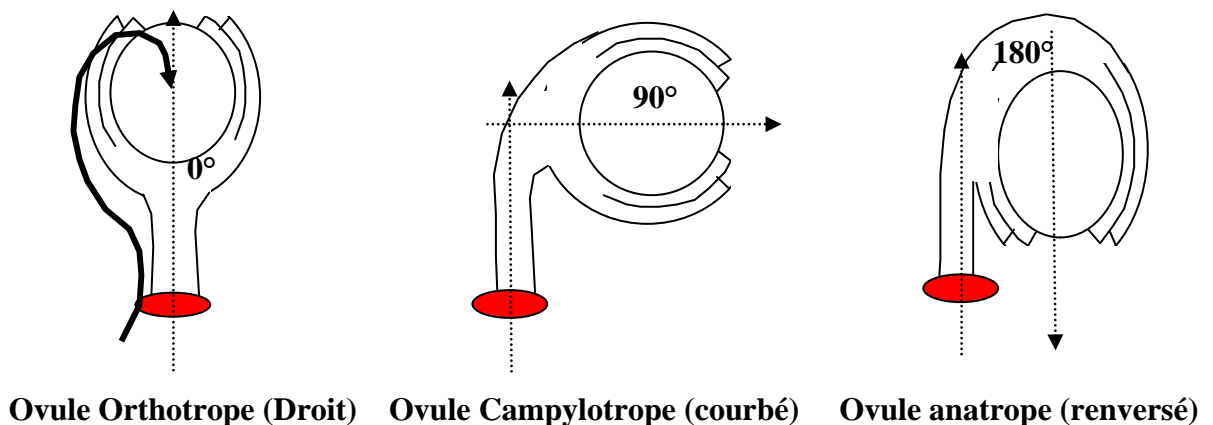


Fig. 4-6. Types d'ovules

### 3.2. SAC EMBRYONNAIRE :

Le sac embryonnaire comprend sept cellules et huit noyaux.

- au pôle micropylaire, trois cellules, soit deux **Synergides** encadrant l'**Oosphère** (gamète femelle).
- Au pôle chalazien, trois cellules les **Antipodes**.
- Une grande cellule appelée **cellule centrale** à deux noyaux appelés **noyaux polaires**.

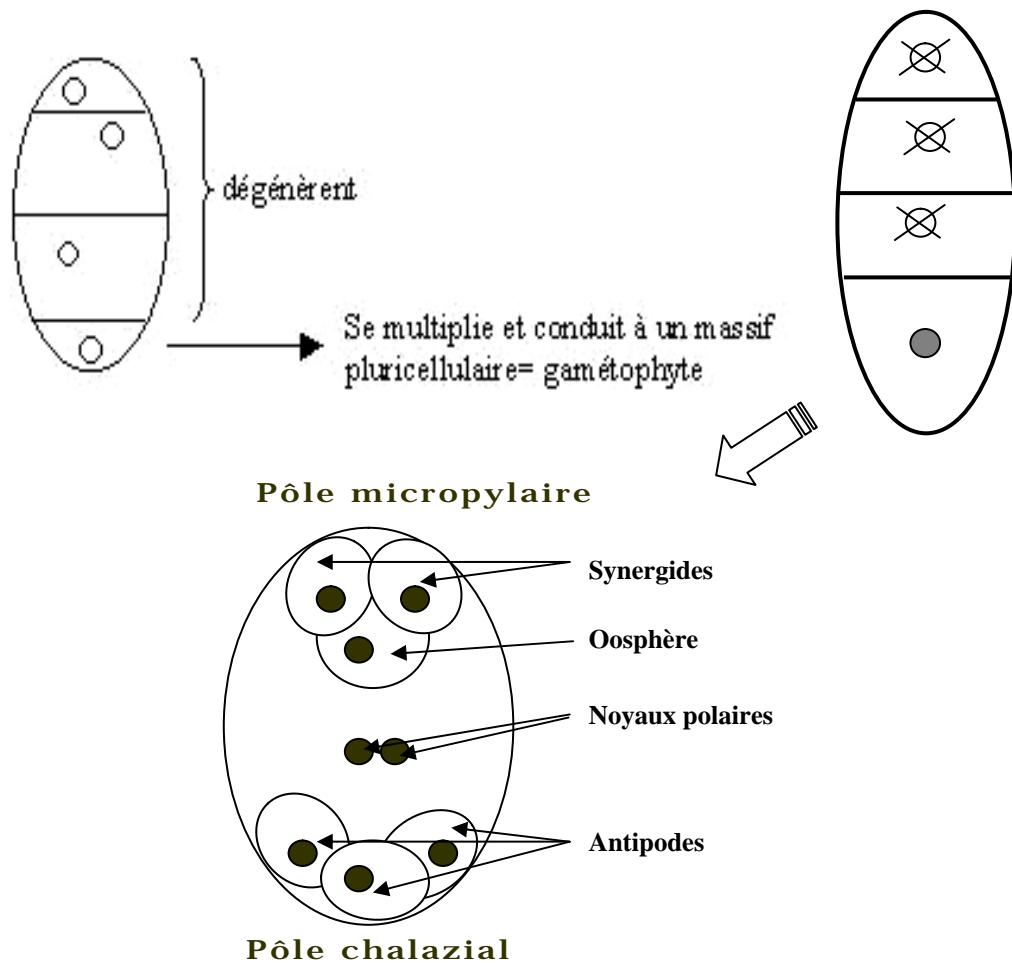


Fig. 4-7. Développement et Structure du Sac Embryonnaire

### 3.3. Développement du Sac Embryonnaire :

#### 1) Formation du mégaspore :

Une cellule sous-épidermique du nucelle (**mégasporange**) de l'ovule s'agrandit pour former la cellule archésporiale (L'archéspore ne se multiplie pas contrairement à ce qui se passe pendant la formation du grain de pollen).

Au sein du nucelle qui continu à s'accroître. La cellule mère des mégaspores (l'archéspore elle-même) va subir une **méiose** est produit ainsi quatre **mégaspores** (**macrospores**) haploïdes superposées (en file) et organisées en **tétrade**

Généralement trois des quatre mégaspores, les plus proches du micropyle, dégénèrent. La mégaspore la plus interne qui devient alors la **mégaspore fonctionnelle** (fertile), est à l'origine du futur sac embryonnaire.

#### 2) formation du sac embryonnaire (mégagamétogenèse) :

Dans la plupart des cas, la mégaspore fonctionnelle subit trois séries de divisions (mitose) incomplètes, limitées aux **caryocinèses**  $\neq$  **cytodiérèse** (pas de formation de cellules individuelles), aboutissant à la formation d'une structure **coenocytique** (8 noyaux haploïdes au

sein du même cytoplasme). Ensuite, les noyaux sont distribués en deux lots de quatre au niveau des deux pôles du sac.

Cette phase coenocytique est suivie par une **cellularisation** qui consiste en un partage en 7 territoires par une paroi très mince.

- trois des quatre noyaux du pôle micropylaire formeront les 2 **synergides** et l'**oosphère**, tandis que le troisième noyau demeure libre ;
- au pôle chalazien, trois des quatre noyaux formeront les trois **antipodes**, le quatrième reste libre.
- Les deux noyaux restant libres, migrent vers le milieu du sac embryonnaire et formeront les deux **noyaux polaires** de la **cellule centrale**.

Le sac embryonnaire, correspond au **gamétophyte femelle**, avec deux cellules fertiles assimilables à des gamètes femelles : l'**Oosphère** et la **cellule centrale** (Cf. Chapitre V).

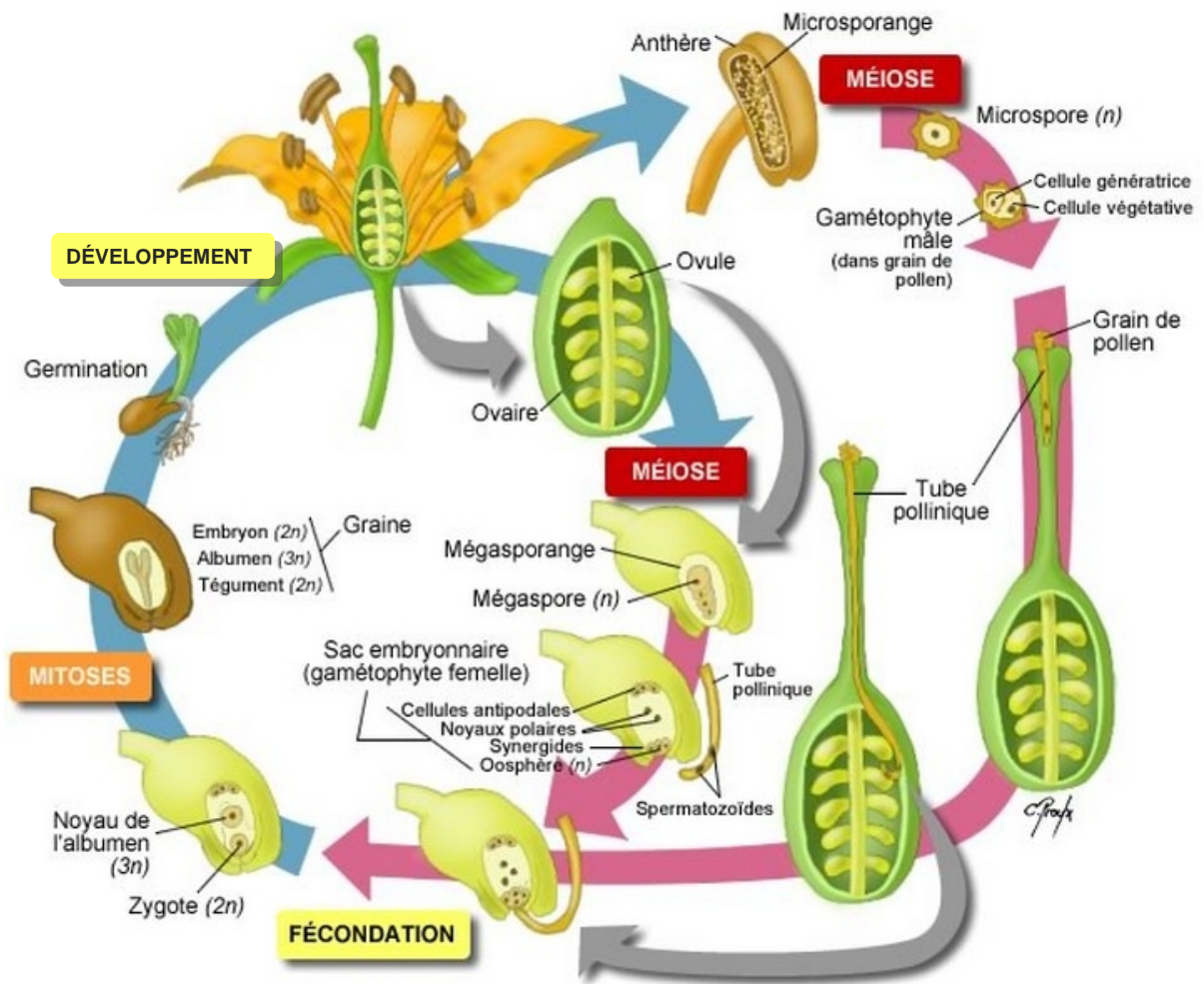
### ✓ Questions d'évaluation

1. L'une des différences entre la méiose et la mitose c'est que au cours de la méiose, il arrive que :
  - a. le nombre chromosomique est augmenté
  - b. deux cellules sont produites
  - c. les cellules produites, portent des paires chromosomiques homologues
  - d. il y a deux divisions cellulaires séquentielles.
2. Au cours du développement du pollen on distingue que :
  - a. La cellule mère du pollen est haploïde.
  - b. Elle est située au niveau du microsporange.
  - c. Elle subit une méiose pour former quatre microspores.
  - d. Chaque microspore, après une mitose, produit un grain de pollen bicellulaire.
3. Au cours de la formation du sac Embryonnaire on remarque que :
  - a. La cellule mère des mégaspoires subit une méiose pour produire quatre noyaux diploïdes.
  - b. Une seule des quatre mégaspoires dégénère.
  - c. La mégaspore fonctionnelle subit trois méioses pour former le sac embryonnaire.
  - d. Le sac embryonnaire comprend 8 noyaux dont 7 sont cellularisés.

## CHAPITRE V

# FÉCONDATION

La fécondation est l'union des gamètes mâles et femelles. Pour que l'Oosphère soit fécondée, le gamétophyte mâle et le gamétophyte femelle doivent se rencontrer et unir leurs gamètes. Il faut donc que les grains de pollen soient transportés depuis une étamine jusqu'à un pistil : c'est la pollinisation.



## 1. ŒUF & EMBRYON

### 1.1. Adhérence et Germination du Pollen

#### A. Adhérence du pollen au stigmate :

Qu'il soit transporté ou non, le pollen doit s'adhérer spécifiquement au stigmate pour qu'il puisse germer. L'adhérence du pollen est un processus actif assuré par la présence de déterminants et de récepteurs adéquats sur ces deux organes. Exemples : la protéine dite SCR (small cysteine-rich protein) sur le pollen, et la glycoprotéine dite SLR (S-locus-related glycoprotein).

De ce fait, on peut déduire que la simple adhérence du pollen au stigmate, au moyen des substances gluantes, ne suffit pas pour qu'il puisse germer (processus de reconnaissance).

#### B. Réhydratation du pollen :

De fait de sa déshydratation, le pollen absorbe rapidement l'eau qui lui y fourni par le stigmate, de façon active et facilitée par la présence de molécules spécifiques telles que des enzymes (lipases, oleosines) et des protéines (aquaporine-like proteins) sur ces deux organes. A cette absorption active s'ajoute une absorption passive, par osmose, dans le cas des stigmates mouillés.

#### C. Germination du pollen :

Une fois le pollen absorbe l'eau, il se gonfle, l'Intine va distendre est forme des hernies à travers les ouvertures (pores de germination). Ainsi, il se forme plusieurs tubes polliniques dits primaires, ensuite, l'un d'autre eux porte le pas sur les autres (les prédomine) et forme le tube pollinique proprement dit.

Le nombre des tubes polliniques formés dépend du nombre de grains de pollen germés, et du nombre d'ovules présents dans le pistil. Récemment, il a été mis en évidence, que le pistil produit un petit peptide de 5 aminoacides, appelé phytosulphokine, lequel détermine le nombre de grains de pollen germés.

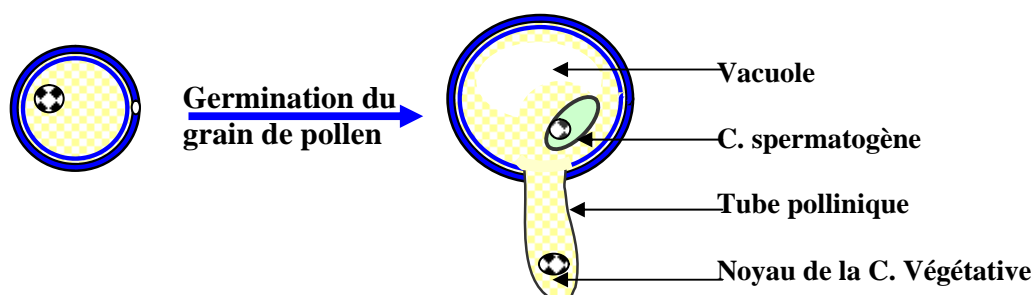


Fig. 5-1. Germination du grain de pollen

#### 1.2. Croissance du tube pollinique :

Après sa formation, le tube pollinique s'allonge plus ou moins rapidement selon les espèces (tableau ci-dessous). Le noyau végétatif et la cellule gamétogène passent dans le tube pollinique, le

noyau végétatif étant situé à l'extrémité du tube, la cellule spermatogène demeurant légèrement en arrière.

Tableau 5-1 : Durée de croissance du tube pollinique chez quelques espèces.

Plante	Durée de croissance du tube pollinique
Noisetier	4 mois
Chêne	2 mois
Tabac	48 heures
Mais	25 heures
Haricot	8 – 9 heures

Concernant la croissance du tube pollinique il convient de poser plusieurs questions suivantes :

#### A. Comment se fait la croissance du tube pollinique ?

La croissance du tube pollinique peut s'expliquer tout simplement comme **un processus actif de formation de la paroi cellulaire souvent de nature callosique**. Elle se fait à son extrémité, semblablement à la croissance des racines, donc c'est une **croissance apicale**.

On déduire, qu'il n'y a pas formation ou synthèse de cytoplasme. Ainsi, le cytoplasme initial du pollen sera conservé jusqu'à la fin de cette croissance, mais, comment cela est rendu possible ?

L'observation de tubes polliniques en trains de se former a permis de conclure que le cytoplasme reste proche de l'extrémité du tube durant son allongement grâce au dépôt périodique (successif) d'un **bouchon de callose** derrière celui-ci.

#### B. D'où proviennent les éléments utilisés par le tube pollinique durant son allongement ?

Le tube pollinique utilise durant sa croissance les éléments, notamment l'eau et les sucres, qui lui y sont fournis par le pistil.

Mais il reste tout de même incompréhensible, la manière suivant laquelle sont incorporées ces molécules, souvent de grosses tailles, dans le tube pollinique, à savoir qu'il possède une paroi callosique, c'est-à-dire assez rigide. Cependant, on sait maintenant que le tube pollinique réalise des **endocytoses** par son extrémité.

#### C. Est-ce que la croissance du tube pollinique est orientée ou non ? Si oui comment ?

La réponse c'est oui, bien évidemment. Sinon comment s'explique le fait qu'il prend toujours le chemin le plus court pour atteindre l'ovule, et avant tout ça, comment savait-il l'endroit où se trouve l'ovule. Récemment, plusieurs découvertes ont renforcées cette opinion.

Donc, la croissance du tube pollinique, est guidée par deux sortes de mécanisme :

§ **Chimiotropiques** (chimiques): dans ce cas, il a été proposé que la croissance du tube pollinique est guidée vers l'ovule grâce à l'excrétion de substances qui attirent le tube pollinique et lui indiquent l'emplacement de l'ovule.

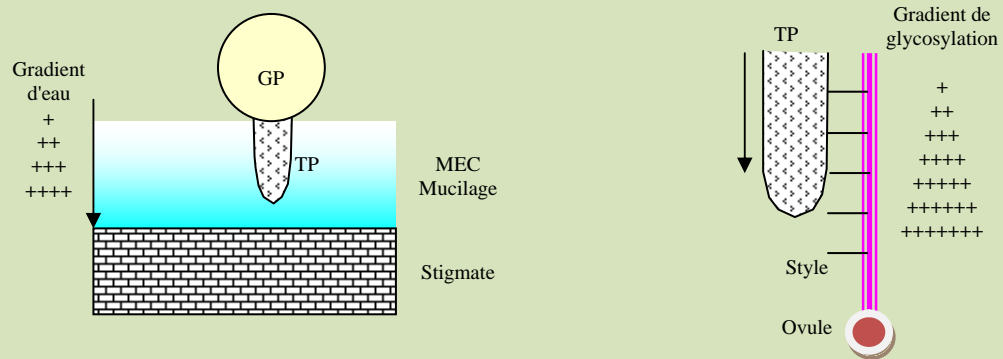
§ **Haptotactic** ou **physiques** : dans le cas des styles solides, la présence d'un tissu gélifié a laissé penser que ce tissu joue le rôle d'un tissu conducteur (transduction) qui guide le tube pollinique vers sa destination ou l'ovule.

Cependant, le guidage du T-Pollinique doit être considéré aux différentes parties du pistil.

#### Quelques exemples de mécanismes d'attraction et de téléguidage du Tube Pollinique (TP)

§ Dans le cas de stigmate mouillé, le TP traverse d'abord une MEC (matrice extracellulaire) ou le mucilage excrété par les papilles. Il a été mis en évidence que chez certaines plantes, le stigmate établit une sorte de gradient d'eau de l'extérieur vers l'intérieur, et le TP il n'a pas suivi le gradient afin qu'il puisse pénétrer dans le style. © Mécanisme chimique.

§ Dans le cas de style creux. Il a été mis en évidence chez certaines plantes que le style établit une sorte de gradient de glycosylation de protéines fixées sur l'étendu transmettant ou TTE (trac transmit epidermis) pour le diriger vers l'ovule. Ainsi le TP il n'a pas suivi ce gradient, de sorte que chaque fois qu'il avance il trouve de plus en plus des sucres, lesquelles il va les utiliser pour la synthèse de sa paroi. © Mécanisme chimique et haptotactic au même temps.



### 1.3. Trajet du tube pollinique dans le Pistil :

Le tube pollinique s'insinue entre les cellules papilleuses du stigmate, puis pénètre dans le style. Lorsqu'il s'agit d'un style ouvert, le tube pollinique suit le canal du style, qui est tapissé de cellules papilleuses couvertes de mucilage (étendu transmettant). Dans le cas d'un style solide, le tube passe entre les cellules du tissu de conduction.

Il arrive finalement à l'ovule qu'il aborde le plus souvent par le micropyle (**acrogamie**) ou, exceptionnellement, par la Chalaze (**chalazogamie**).

#### \* Formation des spermatozoïdes :

Chez la plupart des angiospermes, c'est au cours de la traversée du style que la cellule génératrice se divise (la mitose gamétogène) et engendre les deux gamètes mâles ou cellules spermatisées «spermatozoïdes».

#### 1.4. Double Fécondation proprement dite :

En arrivant au niveau de l'ovule, le tube pollinique s'insinue entre les cellules du placenta et aborde le sac embryonnaire par sa partie supérieure (pôle micropylaire), là où se trouvent les synergides et l'Oosphère.

Un liquide sécrété par l'une des deux synergides (la synergide réceptrice, dégénérée) soulève la membrane embryonnaire au-dessus des synergides. Cette membrane est finalement rompue lorsque le tube pollinique aborde le sac embryonnaire.

Ensuite le tube pollinique (dont le noyau végétatif dégénère) s'ouvre et déverse son contenu, en particulier les deux spermatozoïdes, dans cette synergide. Une fois à l'intérieur, l'un des deux spermatozoïdes migre vers l'oosphère et l'autre vers les noyaux polaires (souvent on voit qu'un seul noyau après leur fusionnement) probablement grâce aux micro-filaments de **F-actine** formés par la synergide réceptrice. Ainsi, les noyaux spermatiques (ou leur chromosome seulement) seront transmis à ces cellules pour la caryogamie (fusionnement des noyaux).

#### \* Double Fécondation :

L'un des noyaux spermatique pénètre dans l'Oosphère et s'unit à son noyau. Un premier **zygote, l'œuf principal - diploïde** ( $2n$ ), est ainsi formé.

Le second noyau s'unit ensuite à son tour au noyau polaire (diploïde), dont on sait qu'il résulte de la fusion plus ou moins précoce de 2 noyaux polaires haploïdes. Un second zygote, l'œuf accessoire - **triploïde** ( $3n$ ), est ainsi produit.

Les deux noyaux spermatiques apportés par le tube pollinique sont donc impliqués dans la fécondation qui aboutit à la formation de 2 zygotes. Il y a donc une **double fécondation** qui est caractéristique des seules Angiospermes.

Les deux zygotes issus de la double fécondation se développent mais de façon différente :

- Le zygote principal produira **l'embryon** de la graine puis, s'il y a germination, la nouvelle plante. C'est ce zygote qui assure donc la continuité du cycle de développement de la plante ; il constitue la première étape de la phase **sporophytique**.
- Le zygote accessoire donne un tissu plus ou moins développé, l'albumen de la graine (ou **endosperme**) indispensable au développement de l'embryon (rôle nourricier).

#### 1.5. Développement de l'Embryon "Embryogenèse"

L'embryogenèse, consiste à décrire les phases (stades) de développement subséquentes à la fécondation, durant lesquelles le zygote subit une série de changements morphologiques et physiologiques, aboutissant à la formation d'un embryon mature formé **d'un axe embryonnaire avec ces deux pôles caulinaire et racinaire et un ou deux cotylédons**.

L'embryogenèse chez les plantes supérieures peut être subdivisée en trois phases chevauchantes.

- 1- la première phase : c'est la phase **morphogénèse**, ou phase d'établissement du corps ou le patron de l'embryon (axe et cotylédons).
- 2- La deuxième phase : c'est la phase de **maturation**, laquelle est caractérisée par l'accumulation des substances de réserve dans les cotylédons.
- 3- La troisième phase : c'est la phase finale, durant laquelle l'embryon sera préparé à la dessiccation, suite à quoi l'embryon entre en stade d'arrêt de développement (quiescence ou dormance).

### 1.6. Établissement du patron de l'embryon

Les deux planches (1 et 2) regroupent des schémas et des figures qui représentent les différents stades de l'établissement du corps de l'embryon.

Dans la majorité des cas, la division initiale du zygote est transversale et asymétrique. Ainsi, il se forme deux cellules différentes superposées, vers l'extérieur (pôle micropylaire) une grande cellule appelée la cellule **basale**, et vers l'intérieur une petite cellule appelée la cellule **terminale**.

**Remarque:** cette première division ne doit pas être considérée comme une condition pour le développement de l'embryon, de fait que chez certaines espèces cette division peut être symétrique, oblique, ou longitudinale...

Comme le montre les deux planches (1 e 2). La cellule terminale (qui donne l'embryon proprement dit) va subir d'abord successivement deux divisions longitudinales perpendiculairement l'une à l'autre, pour produire quatre cellules (c'est-à-dire embryon stade **quadrant**). La division transversale, par la suite, produit deux étages de quatre cellules chacun, c'est le stade **Octant** (huit cellules). L'embryon va subir ensuite une division péricline (c'est-à-dire parallèle à la surface), qui aboutit à la formation du premier tissu détectable, c'est le **protoderme**, le précurseur de l'épiderme, la raison pour laquelle ce stade est appelé stade **dermatogène**. Ensuite, l'embryon augmente ses dimensions par une série de divisions anticlinales ou perpendiculaires à la surface au niveau du protoderme, et des divisions longitudinales et transversales à l'intérieur, ainsi l'embryon devint une sorte de globule, c'est le stade **globulaire**.

Durant le passage de l'embryon du stade globulaire au stade **cordiforme** (en forme de cœur), ou stade de **transition**, l'embryon subit une transformation radicale (de la symétrie axiale à la symétrie bilatérale), due au changement de la fréquence des divisions cellulaires au niveau de régions spécifiques marginales de l'embryon, aboutissant à la formation de deux lobes (futurs cotylédons).

Les autres tissus (procambium et méristème fondamental), peuvent être discernés au stade cordiforme. En outre, les cellules qui formeront l'apex racinaire et l'apex caulinaire, peuvent être distinguées à ce stade de développement embryonnaire.

Après leurs formations les cotylédons et l'axe embryonnaire (tige-racine) s'allongent rapidement (stades cotylédons-linéaires, ...), due aux divisions cellulaires intenses ainsi que l'expansion cellulaire. L'embryon continue à s'accroître en subissant des changements biochimiques aboutissant à la formation d'un embryon mûr (stade torpille "torpédo").

A la fin de cette phase on distingue :

- un ou deux cotylédons.
- L'apex caulinaire ou gemmule.
- L'hypocotyle ou tigelle.
- L'apex racinaire ou radicule.

**Remarque :** la cellule basale au stade embryonnaire deux-cellules, subit une série de divisions transversales, aboutissant à la formation de l'hypophyse et le suspenseur. Dans de nombreuses plantes, l'hypophyse dérivé de la cellule sommitale du suspenseur au stade deux-cellules, joue le rôle de précurseur dans la formation du centre quiescent et la coiffe.

### 1.7. Maturation et Dessiccation

Les dernières stades dans le développement de l'embryon (stade torpille, cotylédons-linéaires, ...), consistent à la préparation de celui-ci pour la dormance et la germination. Durant la phase de maturation, l'embryon va recevoir des substances de réserve qui s'accumulent pratiquement dans tous ses tissus. Ces substances (protéines, glucides, lipides, etc.) sont particulièrement stockées dans les cotylédons, chez les plantes qui ne stockent pas de réserves considérables dans leur albumen, cela est, dans la plupart des cas, responsable d'une augmentation rapide dans le poids et les dimensions de l'embryon. Ces macromolécules sont nécessaires ultérieurement, s'il y a lieu de germination, à la croissance de la jeune plantule, avant l'établissement d'un appareil photosynthétique (le passage d'un mode de vie **Hétérotrophe** à un mode **Autotrophe**).

Durant les étapes finales de l'embryogenèse (troisième phase), l'embryon aussitôt acquit l'habilité de résister la dessiccation entre éventuellement en stade de repos (quiescence métabolique). L'embryon mature désormais dormant, il reste ainsi jusqu'à ce que les conditions favorables à sa germination se réalisent (se réunissent).

### 1.8. Développement du suspenseur

Comme nous l'avons déjà mentionné, la division initiale du zygote produit deux cellules: la cellule terminale qui engendre l'embryon proprement-dit et la cellule basale qui produit une structure éphémère appelée **suspenseur**.

Un suspenseur peut être envisagé comme étant une structure spécialisée qui fonctionne à l'origine pour faciliter le développement continu de l'embryon dans la graine.

Les suspenseurs, existent en différentes tailles et formes (planche 3). Ils peuvent être unicellulaires, ou multicellulaires, petits ou grands par rapport au jeune embryon et selon les espèces considérées, de formes filamenteuses, colonnaires, sphériques, ou irrégulières.

Les suspenseurs jouent un rôle actif dans :

- Le transport des éléments nutritifs au jeune embryon à partir des tissus maternels (nucelle).
- La synthèse d'importantes quantités de substances de croissance indispensables pour la croissance et le développement de l'embryon.
- Le support et la fixation de l'embryon dans une position bien déterminée, la raison pour laquelle ; l'embryon se trouve toujours au même endroit dans la graine.
- 

### 1.9. Albumen : origine et fonction

L'albumen (endosperme), est un tissu formé à partir du développement du zygote accessoire (triploïde). Généralement il existe plusieurs types d'albumen ; albumen nucléaire, albumen cellulaire ou des intermédiaires entre ces deux structure.

Étant donné sa richesse en substances nutritives (protéines, glucides et lipides), il est clair que l'albumen joue un rôle essentiel dans la nutrition de l'embryon soit, durant son développement ou bien durant la germination de la graine. Ainsi, on distingue selon la présence ou l'absence de l'albumen dans les graines mûres, des graines avec albumen, dites **albuminées** (ricin, maïs), ou des graines sans albumen, dites **exalbuminées** (haricot, pois).

### 1.10. Formation de la graine (spermatophyte) :

Pendant le développement de l'embryon et de l'albumen, l'ovaire et l'ovule subissent une transformation considérable. L'ovaire se transforme en fruit, tandis que l'ovule (le nucelle et les téguments) subit des transformations associées au développement de l'embryon et de l'albumen, réalisant ensemble une graine mûre.

## 2. NOTION DE CYCLE DE DÉVELOPPEMENT

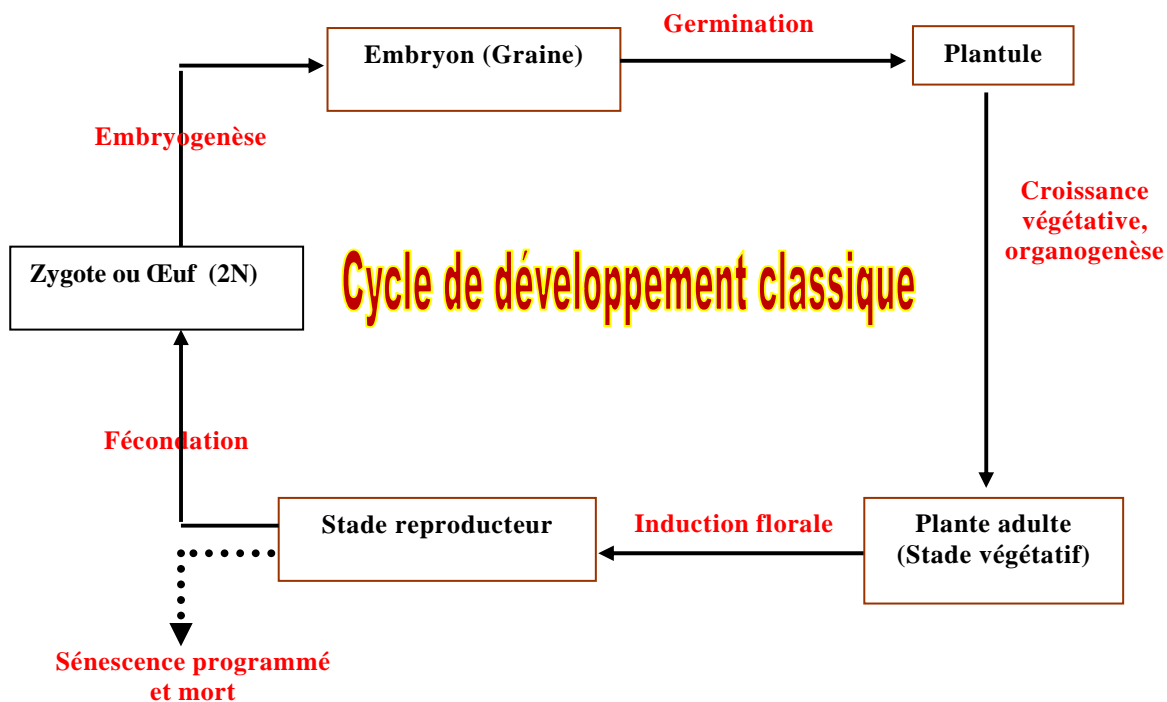
### 2.1. Cycle de développement classique (stades phénologiques) :

La germination de la graine constituée la première étape dans le développement d'une nouvelle plante (sporophyte à fleurs), qui après avoir achevé sa croissance végétative va former de nouveau les gamétophytes mâles et femelles, qui vont être à l'origine d'un nouveau cycle de développement et ainsi de suite. .

La plantule est un individu encore hétérotrophe, c'est à dire qu'il n'a pas encore différencié son appareil photosynthétique. Le stade végétatif correspond à un stade où aucun organe reproducteur n'est exprimé. A ce stade, de nombreux organes sont produits : **feuilles, tiges, racines, bourgeons.**

Les organes reproducteurs sont **néoformés** : ils ne se forment pas dès le stade embryonnaire. A certains stades (graine, bourgeon), il y a possibilité de vie ralentie ou **dormance**. C'est un programme de protection contre le stress thermique, hydrique (mauvaise saison).

La plante au cours de son développement passe par plusieurs étapes comme le montre le schéma suivant :



N.B. Chacune de ces étapes est dépendante des conditions du milieu.

Cependant, le cycle de développement des angiospermes varie selon la durée de vie de la plante, ainsi on peut envisager plusieurs cycles de développement. Selon la durée de vie des plantes on distingue :

- des plantes annuelles : qui vivent une (1) saison seulement. Exp. Le blé, orge...
- des plantes bisannuelles : qui vivent deux (2) saisons successives. Exp. Carotte, Betterave...
- des plantes vivaces et pérennes : qui vivent plusieurs années. Exp. Iris, arbres fruitiers...

**Remarque :** contrairement aux plantes pérennes, les plantes dites vivaces ce sont des plantes qui persistent seulement par leur partie souterraine (ex. Iris) ; tandis que leur partie aérienne est renouvelée chaque année.

## 2.2. Cycle de développement alternatif (alternance des générations)

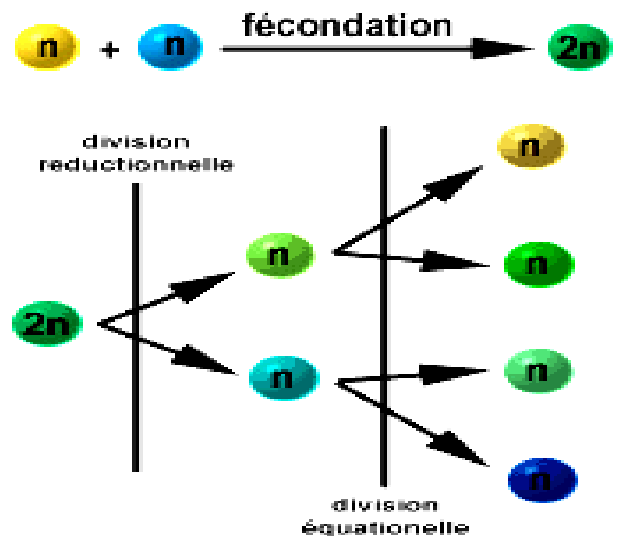
La reproduction sexuée met en œuvre deux processus fondamentaux : la **méiose** et la **fécondation**.

Lors de la **fécondation**, l'union de deux gamètes haploïdes donne naissance à un zygote diploïde ( $n \rightarrow 2n$ ) dont le patrimoine génétique est le résultat de la recombinaison au hasard des deux génomes parentaux qu'apportent chacun des gamètes.

Inversement, au moment de la **méiose**, le stock chromosomique diploïde est partagé en deux parties numériquement égales ( $2n \rightarrow n$ ), mais qualitativement différentes. Les individus qui

proviennent d'une reproduction sexuée sont donc le résultat d'un **double brassage génétique**. Ce sont des individus originaux, **génétiquement uniques**, dont certains seront mieux adaptés que d'autres à un nouvel environnement.

L'alternance méiose-fécondation introduit un cycle dans le développement d'un organisme caractérisé par une alternance de phases chromosomiques, l'haplophase et la diplophase.

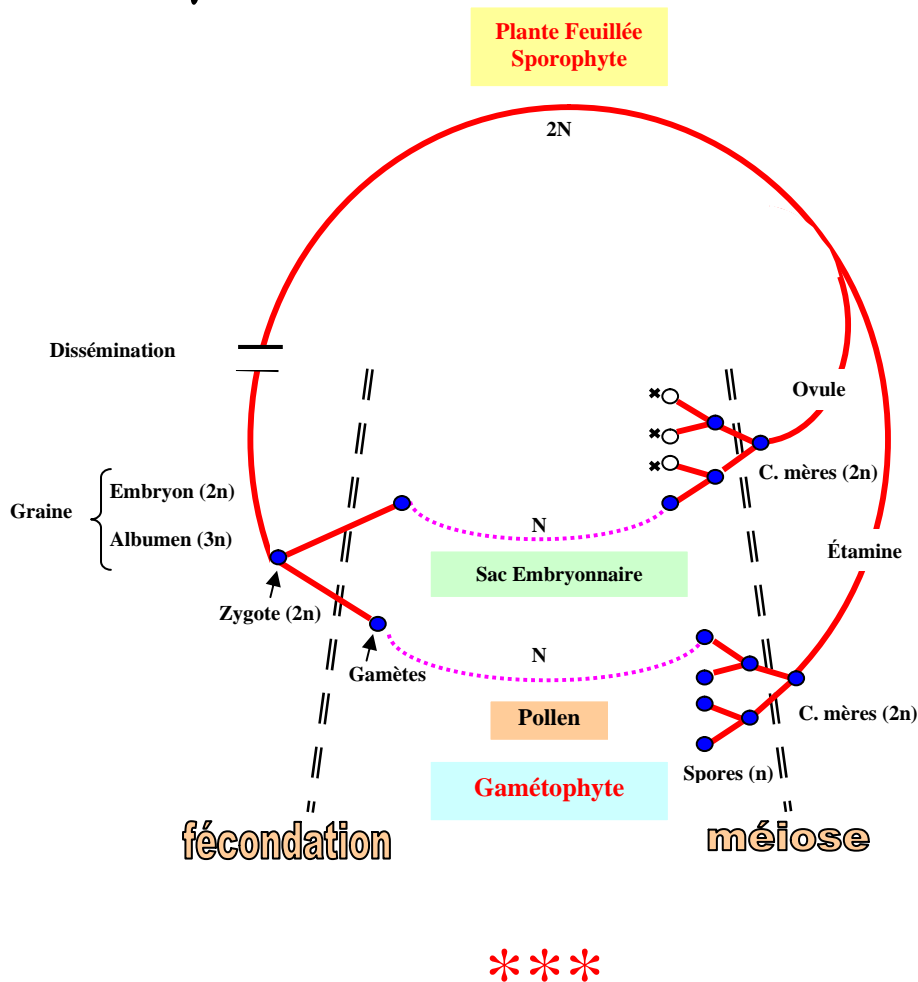


Chez les végétaux, à l'alternance de phases chromosomiques se superpose une alternance de formes biologiques ou de générations. Toute espèce vit typiquement et successivement sous deux formes biologiques distinctes, l'une haploïde (gamétophytique) correspondant à l'**haplophase**, l'autre diploïde (sporophytique) correspondant à la **diplophase**.

**2.3. Nouvelle notion du cycle de développement d'une angiosperme :**

Le cycle de développement des angiospermes peut être envisagé comme : une alternance de deux générations, une génération haploïde (gamétophyte) alterne avec une génération diploïde dominante (sporophyte). L'importance relative de ces deux phases varie. Chez les angiospermes, la phase **gamétophytique (haploïde)** est réduite au développement de quelques cellules réduites (pollen et sac embryonnaire). Cette phase est incluse dans le développement du sporophyte, c'est-à-dire la phase sporophytique (**diploïde**), la raison pour laquelle, on dit que c'est un cycle **Diplohaplophasique**.

### Cycle de Développement d'une Angiosperme Hermaphrodite



## ANNEXES AUX CHAPITRE V POLLINISATION

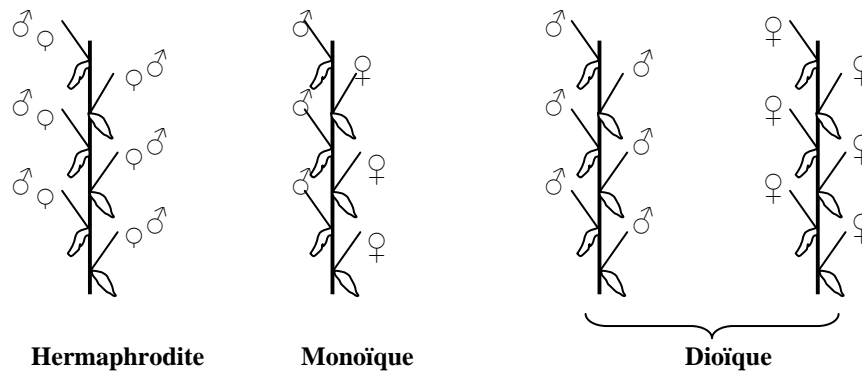
### 2.4. Définition :

La pollinisation, est le transfert du pollen émis par les étamines d'une fleur au stigmate de la même fleur (**autogamie**) ou d'une autre fleur (**allogamie**) de la même plante ou d'une autre plante.

### 2.5. Comment les plantes "choisissent"-elles leurs partenaires sexuels ?

L'autogamie est rare dans la nature. L'existence de partenaires mâles et femelles permet d'obtenir le brassage génétique nécessaire à la variabilité au sein d'une espèce. Chez les plantes à fleurs, leur immobilité leur interdit une recherche active d'un partenaire complémentaire. De plus, de très nombreuses plantes à fleurs sont bisexuées. Ainsi, il est bon de se demander. Comment les plantes "choisissent"-elles leurs partenaires sexuels ?

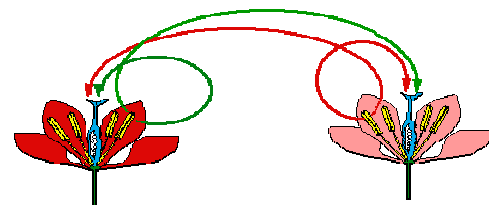
Considérons deux plantes de la même espèce, la pollinisation peut se réaliser de différentes façons selon que les fleurs sont **unisexuées** ou **bisexuées**. Lorsque les fleurs sont unisexuées, elles peuvent être portées par des individus différents (plantes **dioïques**, exemple : figuier, palmier dattier) ou par le même individu (plantes **monoïques**, exemple : chêne, courge). Lorsque les fleurs sont bisexuées (plantes **hermaphrodites**), **l'autopollinisation** (et donc **l'autofécondation**) peut être possible, mais certaines caractéristiques permettent de favoriser l'allopollinisation (et donc l'hétérofécondation= allogamie).



**Fig. 5-. Répartition des sexes chez les plantes à fleur.**

#### 2.5.1. Pollinisation au hasard

C'est le cas le plus général. Le pollen des étamines peut se déposer aussi bien sur les stigmates de la même fleur, d'une autre fleur de la même plante ou d'une fleur d'une autre plante. Des autofécondations ou des fécondations croisées peuvent se réaliser au hasard, exemple : le **maïs** (Graminées).

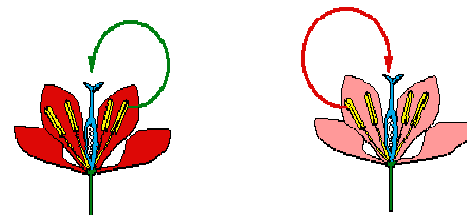


**Fig. 5-. Pollinisation au hasard**

Le plus souvent cependant, des dispositifs particuliers (anatomiques, temporels ou génétiques) permettent de choisir une stratégie : autofécondation, fécondation croisée.

#### 2.5.2. Autopollinisation

Il faut que la fleur soit bisexuée, que les étamines soient mûres en même temps que les carpelles et que le pollen soit capable de féconder les ovules de sa propre fleur. Ce mode de pollinisation où le pollen se dépose sur le stigmate de la même fleur appartient aux plantes dites autogames, exemples : le **pois**, le **blé**, etc..



**Fig. 5-. Autopollinisation.**

Il y a des cas où la pollinisation se fait avant l'épanouissement des fleurs ; ces plantes sont dites **cléistogames** (se dit d'une fleur ne s'ouvrant pas au moment de la reproduction et dans laquelle il y a autofécondation exemple : **violette**).

Quelques plantes utilisent cette stratégie. Elle permet de conserver une lignée pure **homozygotique** (la même lignée parentale) pour tous les gènes mais supprime toute variabilité. Cependant une espèce qui produit des descendants aussi uniformes prend le risque de voir son entière population détruite par un simple changement dans son environnement.

### 2.5.3. Pollinisation croisée

La fécondation croisée produit des descendants plus variés qui sont capables de surmonter les conditions défavorables de l'environnement. De plus, les plantes à pollinisation croisée ont tendance à produire des graines plus nombreuses et de meilleure qualité.

Pour de tels avantages, les plantes possèdent des mécanismes complexes qui empêchent l'autopollinisation et favorisent le transport du pollen le plus loin possible.

C'est dans ce cas que l'on trouve la plus grande variété de stratégies. Ces stratégies sont de nature :

- § **anatomiques** (en relation souvent avec la pollinisation par les insectes). Exemples : la **sauge**, la **primevère** et certaines **orchidées** (monocotylédones). Les plantes dans ce cas sont dites **Herkogames**.
- § **temporelles** (maturité différée des organes mâles et femelles). Ces plantes sont dites **Dichogames**, c'est-à-dire que les étamines mûrissent avant (**protandrie/tournesol**) ou après le pistil (**protogynie/l'arum**) de la même fleur, exemples : le **maïs**, l'**avocatier**, l'**arum**...
- § **génétiques** : quel que soit le mode de transport du pollen sur le stigmate des fleurs, la poursuite des processus permettant la fécondation est contrôlée par des phénomènes d'**incompatibilité génétique** interdisant l'autofécondation (plantes **auto-stériles** = **Auto Incompatibilité génétique**).

De nombreuses plantes interdisent leur autopollinisation en produisant des composés (molécules) qui empêchent le pollen de se développer sur le stigmate de la même fleur ou le tube pollinique de se former ou de se développer dans le style.

### 2.6. Agents pollinisateurs :

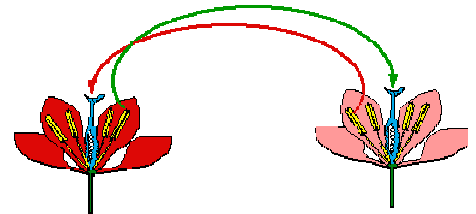
Un agent pollinisateur extérieur (vent, insectes, etc) est souvent indispensable pour assurer la pollinisation indirecte favorisée par les plantes.

Selon l'agent vecteur on distingue plusieurs types de pollinisation:

- **hydrogamie** (pollinisation assurée par l'eau)
- **anémogamie** (assurée par le vent)
- **entomogamie** (assurée par les insectes)
- **ornithogamie** (assurée par les oiseaux)
- **chéiroptérogamie** (assurée par les chauves-souris)
- **zoogamie** ou **zoïdogamie** (assurée par les animaux)
- **artificielle** (assurée par l'homme).

### 2.7. Incompatibilités génétiques

Chez beaucoup de plantes qui pourraient, morphologiquement, réaliser au hasard l'autofécondation ou la fécondation croisée, des systèmes d'incompatibilité génétique permettent de favoriser ou même de rendre obligatoire la fécondation croisée. Ces systèmes se situent au niveau de la germination ou du développement du grain de pollen sur le



**Fig. 5-. Pollinisation croisée**

stigmate.

Ces systèmes font appel à des gènes d'incompatibilité (S) existant sous forme de nombreux allèles (S1, S2, S3, ..., Sx). Ils peuvent être classés en deux processus : l'auto-incompatibilité gamétophytique et l'auto-incompatibilité sporophytique.<sup>1</sup>

### 2.7.1. Auto-incompatibilité gamétophytique

Les plantes hétérozygotes diploïdes disposent pour le gène S de deux allèles. Le pollen, gamétophyte mâle haploïde, ne contient qu'un de ces allèles. Si l'allèle du pollen est le même que l'un des deux allèles de l'ovaire (diploïde) de l'organe femelle, le développement du tube pollinique sera bloqué et la fécondation ne pourra avoir lieu. Dans ce cas, l'autofécondation est impossible. Seule la fécondation entre deux plantes éloignées disposant d'allèles différents est possible. Le schéma ci-dessous montre un cas dans lequel un allèle diffère entre les deux plantes.

La plante A (S1/S3) produit des grains de pollen S1 ou S3. Seul le pollen S1 pourra germer puis féconder la plante B (S3/S3). En revanche, la plante B (S3/S3) ne produit que des grains de pollen S3. Ils ne pourront germer sur la plante A (S1/S3) car l'ovaire diploïde contient l'allèle S3. Ces systèmes sont souvent compliqués car ils dépendent de l'état de développement.

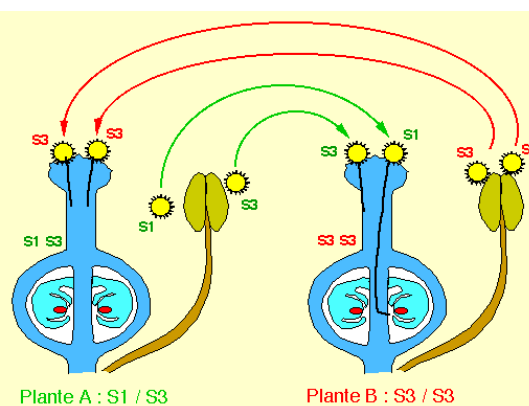


Fig. 5-. Auto-incompatibilité gamétophytique

### 2.7.2. Auto-incompatibilité sporophytique :

Les plantes hétérozygotes disposent pour le gène S de deux allèles. Le pollen, gamétophyte mâle haploïde, ne contient qu'un de ces allèles. Mais une partie des composants de sa paroi a été synthétisée par les cellules nourricières du pollen (le tapis) au cours de sa formation. Ces cellules étaient diploïdes et contenaient donc les deux allèles. Si l'un des deux allèles de la plante diploïde qui a généré le pollen est le même que l'un des deux allèles de l'ovaire (diploïde), le développement du tube pollinique sera bloqué et la fécondation ne pourra avoir lieu. Dans ce cas, l'autofécondation est impossible. Seule la fécondation entre deux plantes éloignées disposant d'allèles différents est possible. Le schéma ci-dessous montre un cas dans lequel un allèle diffère.

La plante A (S1/S3) produit des grains de pollen S1 ou S3 qui contiennent dans leur parois produits synthétisés par le tapis diploïde et correspondant aux deux allèles S1 et S3. Aucun grain de pollen ne peut germer sur la plante B (S3/S3) car tous contiennent des produits d'origine S3. Il en est de même pour le croisement inverse. Ces systèmes sont souvent compliqués car il existe des phénomènes de dominance entre les allèles du gène S.

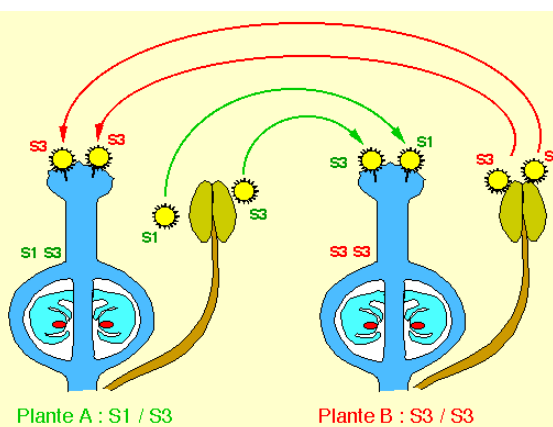
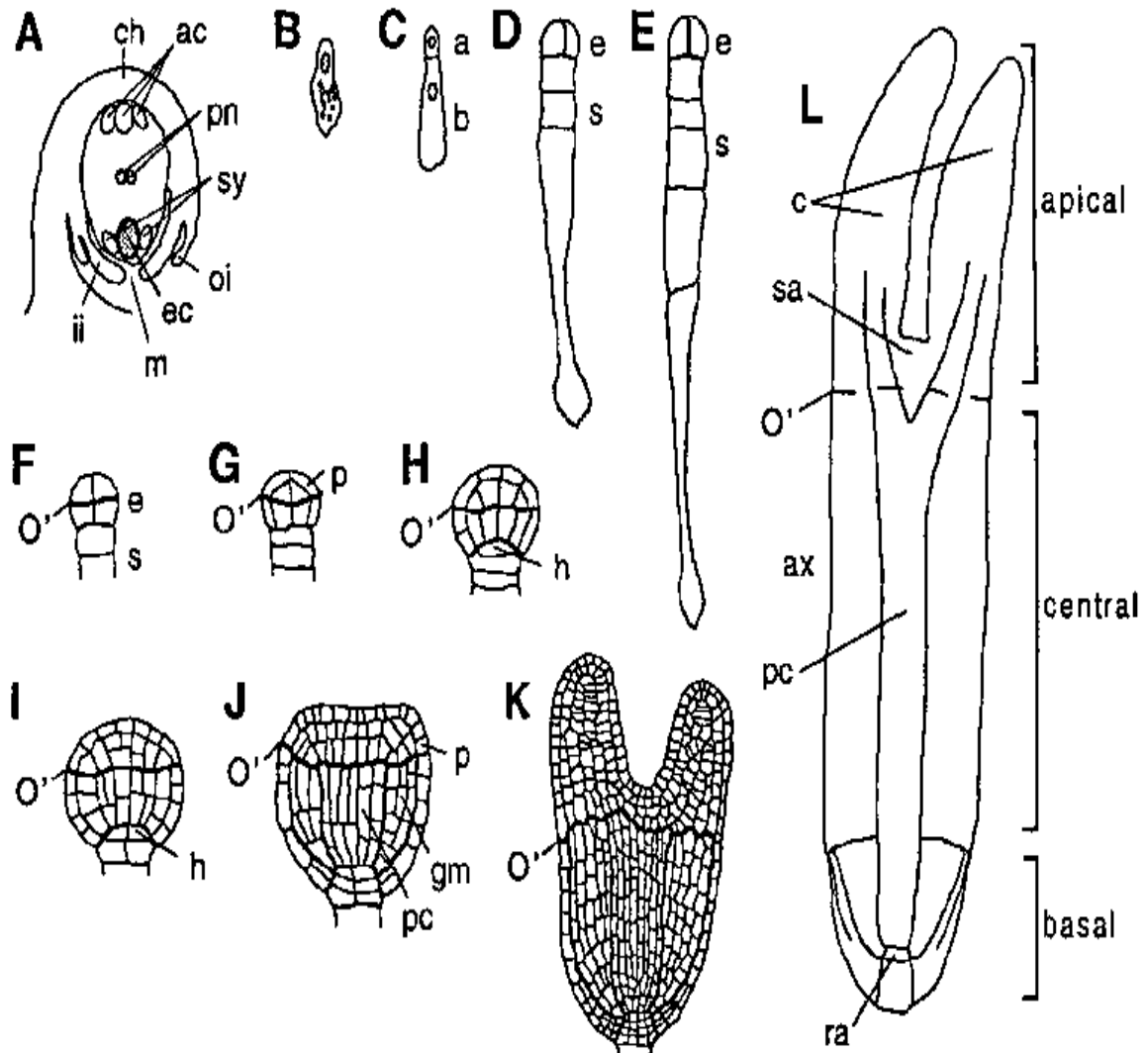


Fig. 5-. Auto-incompatibilité gamétophytique

<sup>1</sup> <http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/>

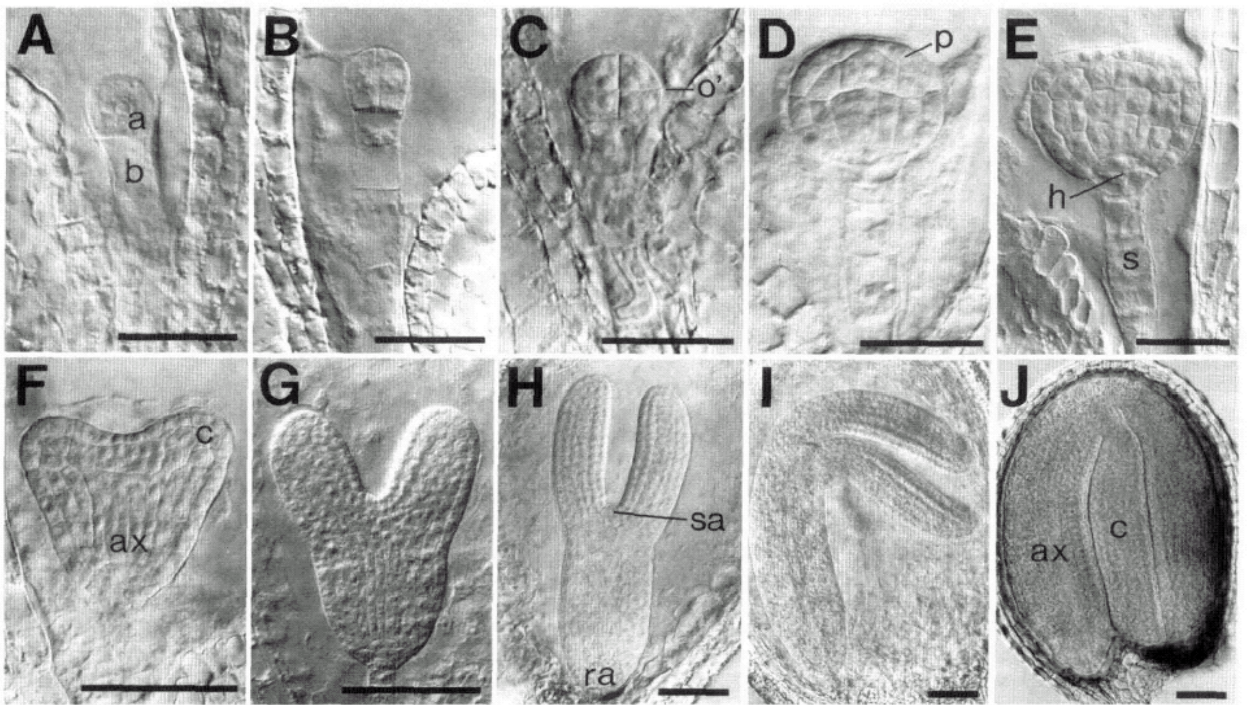
## Planche 1



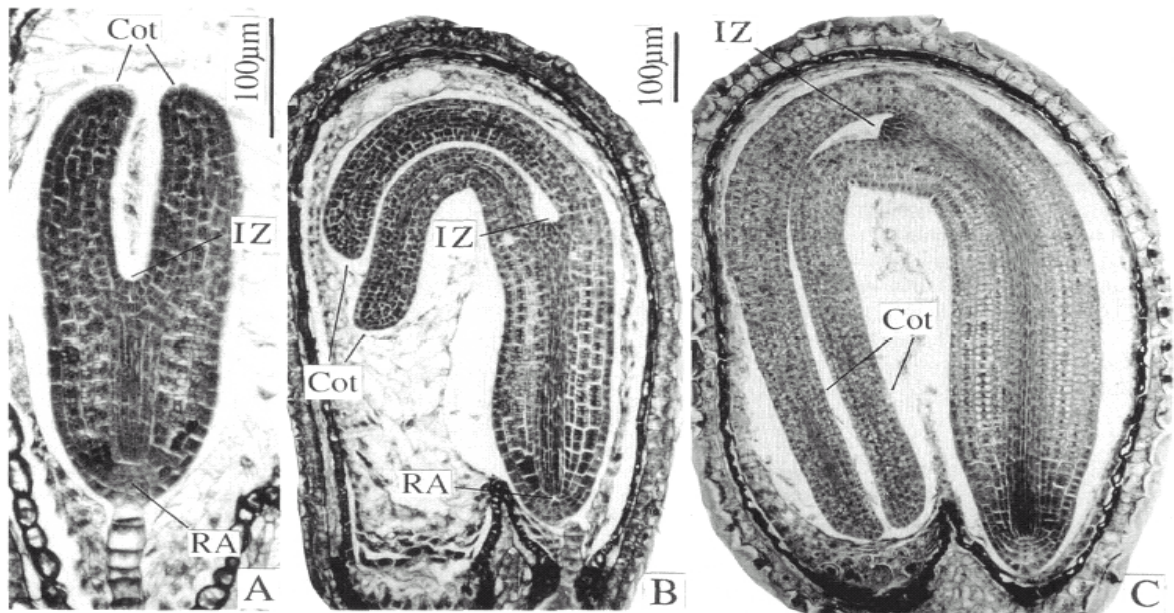
**Figures A – L: représentation schématique des différents stades d'embryogenèse végétale.**

- A- ovule ;
- B- zygote ;
- Ca- cellule terminale ; Cb- cellule basale ;
- D- embryon stade deux cellules (e: embryon, s: suspenseur);
- E- stade quadrant ;
- F- stade octant (o' ligne de séparation);
- G- stade dermatogène (p: protoderme);
- H- stade globulaire précoce (h: hypophyse);
- I- stade globulaire médian ;
- J- stade de transition (gm: méristème fondamental; pc: procambium);
- K- stade cordiforme ;
- L- stade torpille - cotylédons-linéaires - (c: cotylédons; sa: apex caulinaire; ax: axe; pc: procambium; ra: apex racinaire).

**Planche 2**

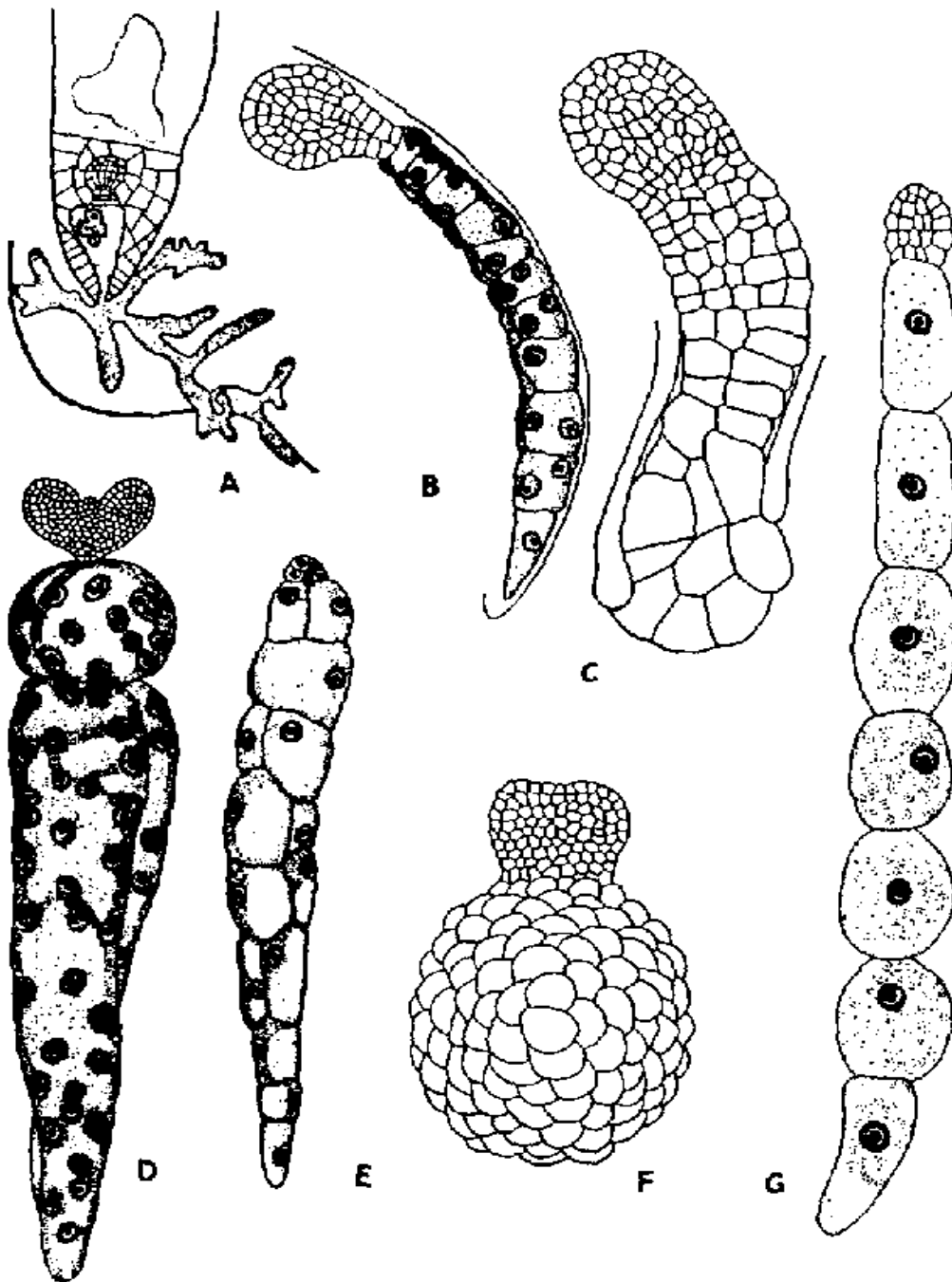


**Figures A—J: micrographies qui représentent les différents stades d'embryogenèse végétale.**  
 Aa- cellule terminale; Ab- cellule basale; B- stade quadrant; C- stade octant; D- stade dermatogène; E- stade globulaire; F- stade de transition; G- stade cordiforme; H- stade torpille (coty-linéaires); I- stade torpille (coty-enroulés); J- stade embryon mature.



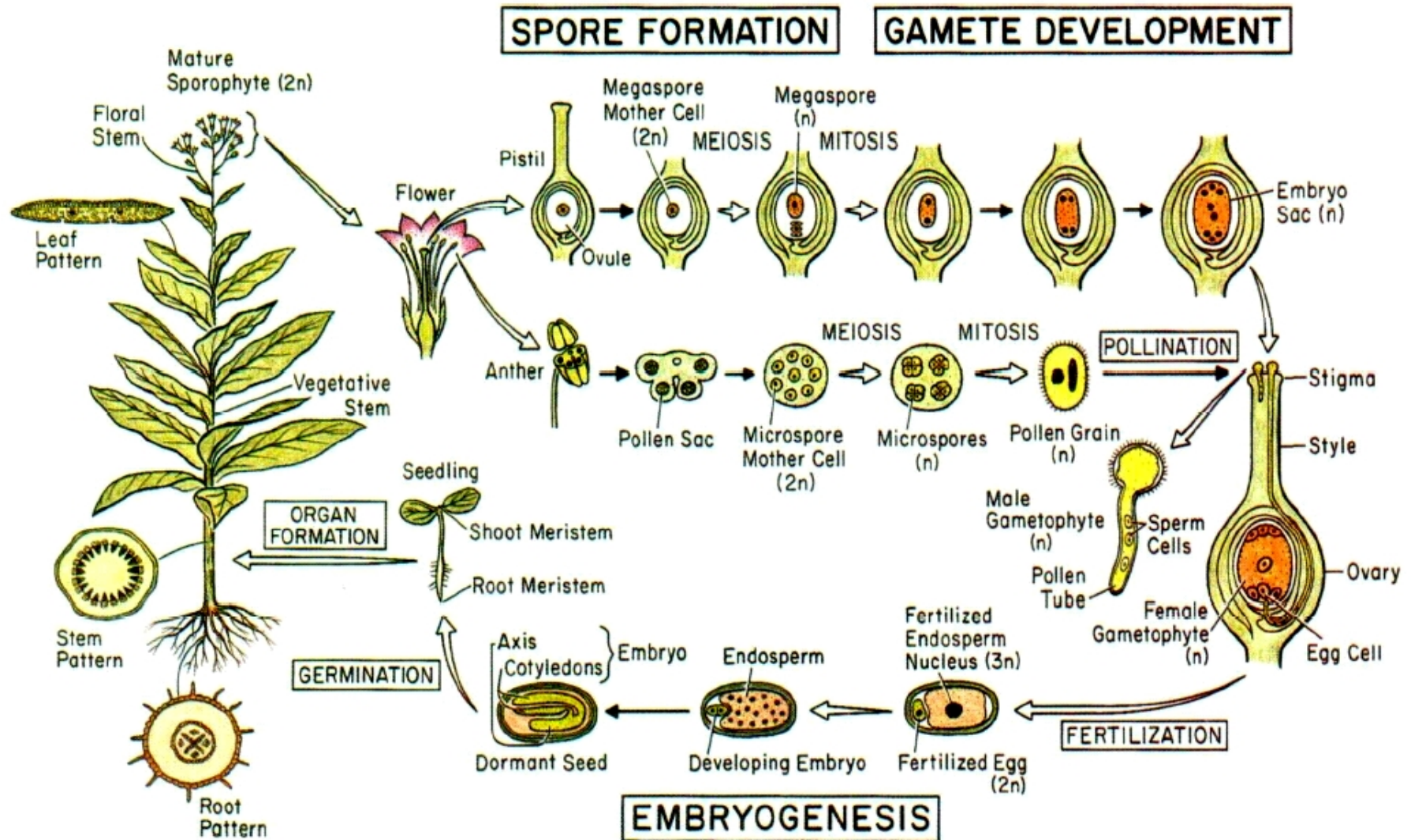
**Figures A – C : représentent l'embryon au stade torpille (maturation et dessiccation).**  
 A- stade cotylédons-linéaires; B- stade cotylédons-enroulés ou (en boucle); C- stade de maturation (cotylédons-renversés).

**Planche 3**



Figures A-G : : Types de suspenseurs.

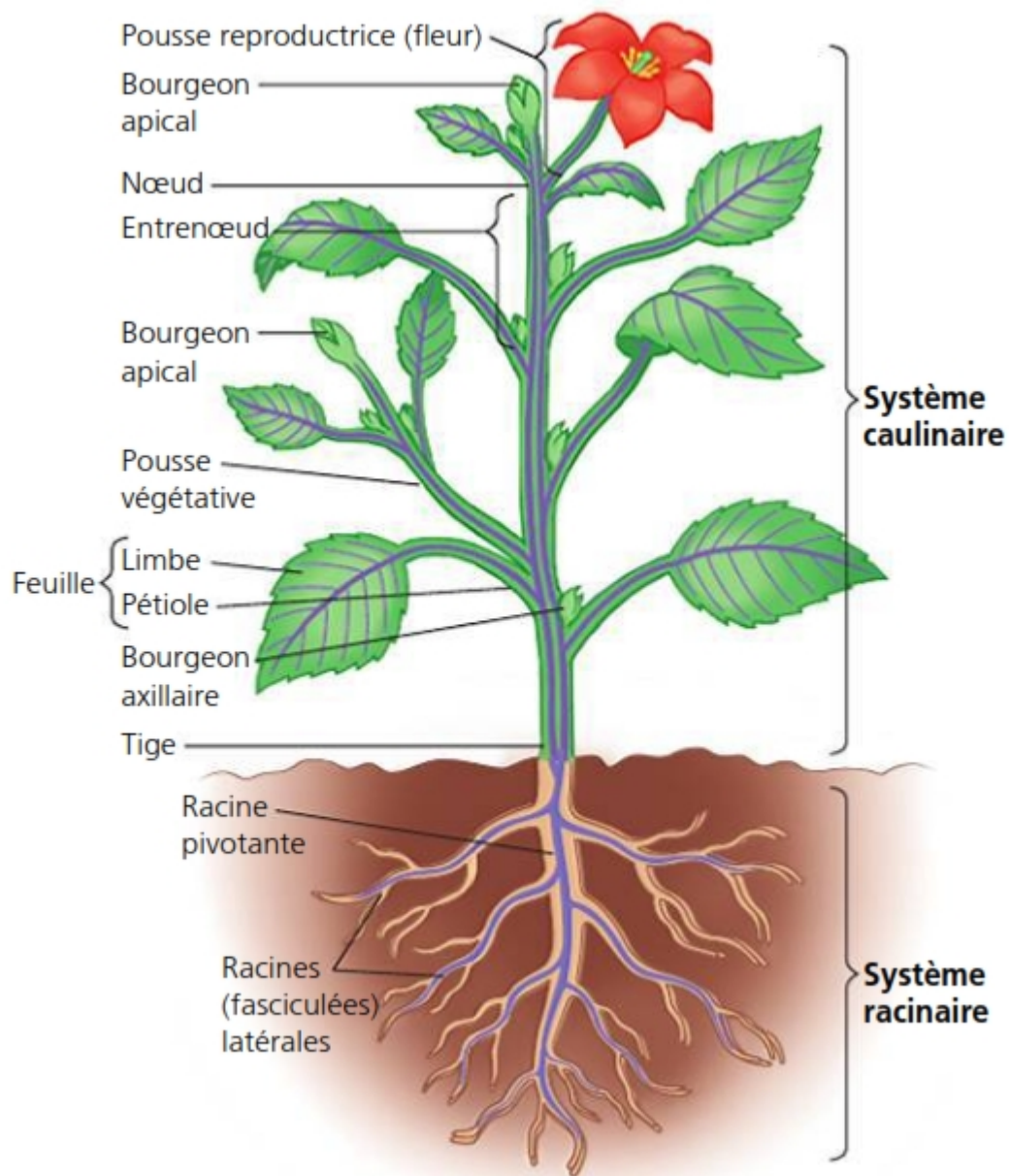
Planche 4



## CHAPITRE VI

### **MORPHOLOGIE DES ANGIOSPERMES**

La plupart des plantes à fleurs ont une même organisation générale : une tige portant des feuilles, fleurs, fruits et ancrée dans le sol par un système racinaire. Cette organisation est néanmoins variable selon les espèces et selon les conditions du milieu. Dans le présent chapitre, nous allons étudier la variabilité morphologique de tous les organes végétatifs et de reproduction des angiospermes.



## I. MORPHOLOGIE DE LA RACINE :

### I.1. Généralités sur les racines :

Les racines sont par définition les organes enterrés (souterrains) de la plante, qui assurent sa fixation et son approvisionnement par l'eau et les éléments minéraux dissous dans la solution du sol. D'autre part, les racines jouent dans certaines plantes des fonctions spécifiques, telles que le stockage des aliments (organes de réserve), l'escalade d'un support (lierre), le soutien etc. (Planches 1-2)

L'appareil racinaire est toutes les racines présentes dans une plante qu'elles soient primaires, secondaires ou adventives.

Au long d'une racine on remarque habituellement la présence de cinq parties différentes dans leurs formes et leurs fonctions, de l'extrémité inférieure on distingue :

#### a) Coiffe :

La coiffe se trouve à l'extrémité terminale des racines, qu'elles soient principales ou secondaires. La coiffe est une sorte de capuchon qui recouvre le bout effilé d'une racine. Elle élabore un mucilage qui favorise sa pénétration dans le sol, sa fermeté (dureté), due à une imprégnation (imbibition), de cutine (substance de couleur brune), lui permet de jouer un rôle protecteur en faveur des parties supérieures de la racine.

La coiffe est parfois absente chez certaines espèces comme le marronnier. En revanche, elle est nettement visible chez la lentille d'eau avec un aspect de bouchon de stylo. La morphologie de la coiffe est variable selon l'espèce et le milieu de développement. Elle peut être conique et courte comme chez l'asperge ou écailleuse comme chez le Pandanus.

#### b) Zone lisse ou subterminale :

C'est une zone très courte (1 à 2 mm) qui ne présente aucun intérêt morphologique mais a un rôle dans la croissance de la racine (d'où l'expression zone d'élongation).

#### c) Zone pilifère :

A ce niveau, la racine présente des filaments translucides (semi-transparents) qui peuvent atteindre 2 mm : **les poils absorbants**. Le nombre de ces poils absorbants est très grand : on l'estime à plusieurs milliards pour beaucoup de plantes. Ainsi se trouve réalisée une surface d'échanges considérable entre les racines et le sol.

Leur longévité est courte, et la taille du manchon pilifère reste sensiblement constante et garde la même distance par rapport à l'extrémité racinaire, les poils se renouvelant continuellement par l'avant et dégénéralant par l'arrière.

#### d) Zone subéreuse :

Elle est aussi appelée zone de ramification. Elle représente environ 98 % de la surface de la racine. Sa surface est rugueuse et imprégnée de subérine, ce qui lui confère une teinte brunâtre. C'est de là que partent toutes les ramifications, constituées de racines de deuxième ordre puis de troisième pour former des radicules qui portent chacune une coiffe et une zone pilifère. La zone subéreuse est suivie d'un collet qui délimite le passage entre racine (organe souterrain) et tige (organe aérien).

## **I.2. Types racinaires :**

La racine principale se situe dans l'axe de la plante et se dirige de haut en bas. Les racines de deuxième ordre sont positionnées de manière ordonnée par rapport à la racine principale, puisqu'elles forment un angle constant avec celle-ci, angle spécifique d'un Genre ou groupe systématique. Les racines d'ordre supérieur s'orientent par rapport à celle qui les porte. Ceci permet de distinguer deux grands types de systèmes racinaires :

### **a) Système racinaire pivotant :**

Dans ce système, la racine principale prédomine par sa taille. Elle est plus grosse que les racines d'ordres supérieurs. Elle sert de pivot sur lequel viennent se ramifier les racines secondaires très nombreuses. La racine principale peut atteindre une taille considérable comme chez la carotte ou la betterave et les racines secondaires restent petites. Ce système est essentiellement remarqué chez les **Dicotylédones**.

### **b) Système racinaire fasciculé :**

Il s'oppose au système pivotant par le fait que le pivot cesse de croître ou avorte pour laisser place à des racines adventives disposées en faisceau à la base de la tige comme chez le poireau par exemple ou des racines latérales sensiblement aussi grosses que la racine principale elle-même, comme c'est le cas de la plupart des graminées (Poacées). C'est le système le plus fréquemment observé chez les **Monocotylédones**.

## **I.3. Adaptations morphologiques des racines (racines modifiées) :**

Certains types de racines développent une morphologie particulière : en effet, si la plupart des plantes possède un système racinaire pivotant ou fasciculé, d'autres résultent d'adaptations au niveau nutritif ou au niveau de la fixation dans le substrat ou bien au niveau de l'accumulation des réserves.

### **a) Racines tubéreuses :**

Ces racines ont subi la tubérisation, c'est-à-dire qu'elles ont augmenté de volume considérablement : la racine principale forme alors un tubercule dû à une variation anatomique

des tissus de réserve qui se gorgent. On peut rencontrer ce type de racines chez la carotte, betterave et navet, qui sont des racines pivotantes dont le pivot s'est complètement transformé.

On peut aussi trouver des racines fasciculées tubérisées. C'est le cas du Dahlia par exemple.

#### **b) Racines adventives ou latérales :**

Ce type de racines n'appartient pas au système racinaire de la plante : on les retrouve essentiellement chez les Monocotylédones. Ce sont des racines qui naissent à partir des feuilles, des tiges ou nœuds et n'ont pas toujours un rôle fonctionnel mais plutôt de fixation.

On trouve ce type de racines chez le maïs (*Zea*), où la racine principale a une croissance limitée qui est rapidement remplacée par des racines adventives formées au niveau des nœuds inférieurs de la plante, créant un système racinaire fasciculé. Plus tard, des racines **étançons** apparaîtront sous forme d'arcs-boutants pour maintenir la posture de la plante.

#### **c) Racines crampons et aériennes :**

Les racines **crampons** assurent la fixation des tiges d'une plante à un support. L'exemple le plus connu est celui du lierre (*Hedera*) qui peut se fixer sur un tronc d'arbre ou sur un mur par exemple.

Les racines **aériennes** quant à elles jouent non seulement un rôle de fixation mais ce qui les distingue des racines crampons, c'est le fait qu'elles peuvent absorber l'humidité de l'air et acquérir de la **chlorophylle** qui leur confère un rôle assimilateur. C'est le cas de certaines **orchidées** qui poussent sur les troncs des arbres.

#### **d) Racines piliers :**

Ces racines naissent à partir des branches et parviennent au sol, formant des **piliers** qui soutiennent les branches et s'enroulent autour d'un arbre qui leur sert uniquement de support. Si les racines deviennent trop importantes, elles finissent par étouffer l'arbre sur lequel elles se sont développées, c'est le cas du figuier banian (*Banyans*).

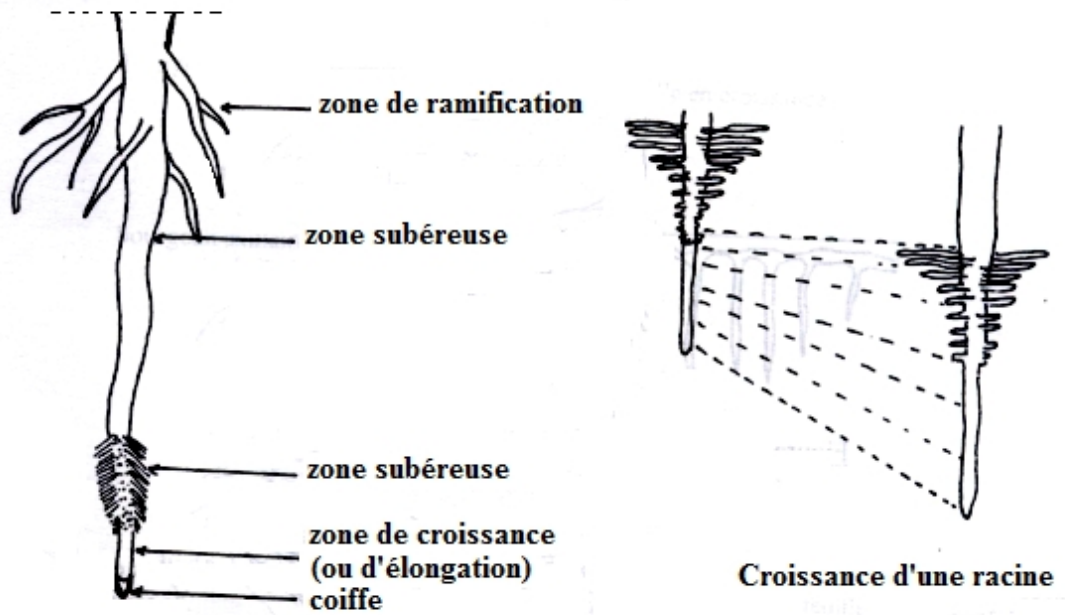
#### **e) Racines suçoirs :**

Elles constituent en règle générale, une adaptation des plantes parasites comme le gui, la cuscuté à la fixation et l'absorption des nutriments sur la plante hôte parasitée.

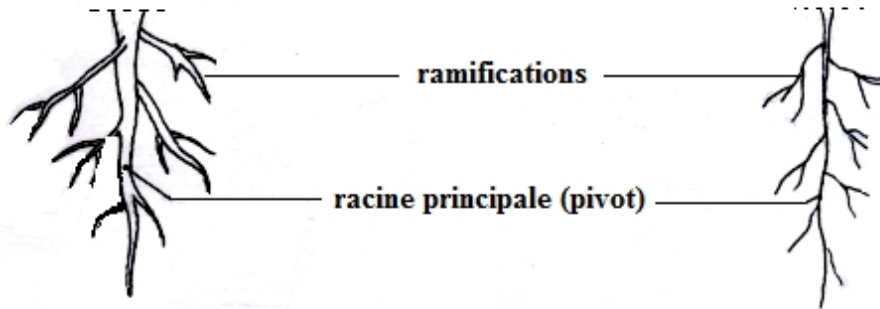
#### **f) Racines respiratoires ou pneumatophores :**

Ce sont des racines secondaires qui ont un **géotropisme** négatif. On les trouve chez les plantes poussant dans l'eau ou dans des milieux pauvres en oxygène (**asphyxie**). Elles permettent la respiration des plantes comme le palétuvier.

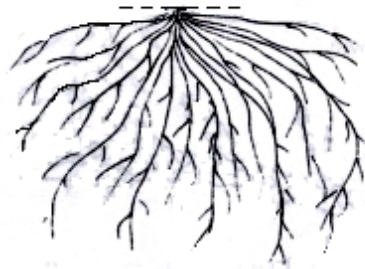
**Planche 1. Morphologie du système racinaire.**



**Morphologie générale de la racine**

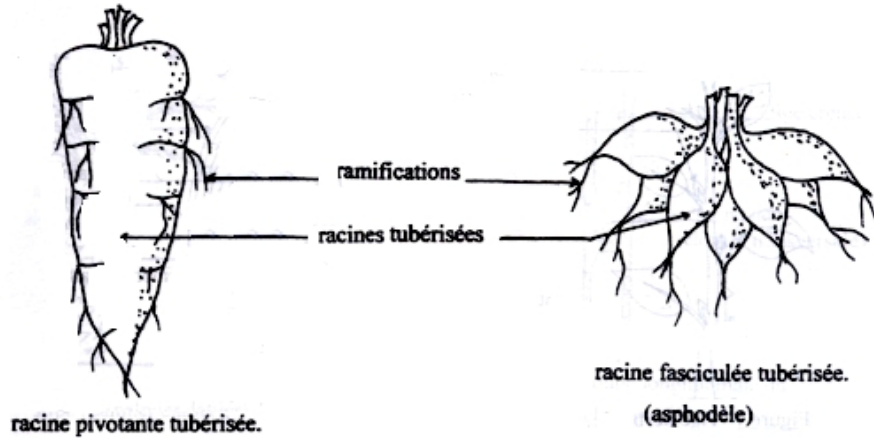


**Systèmes racinaires pivotants**



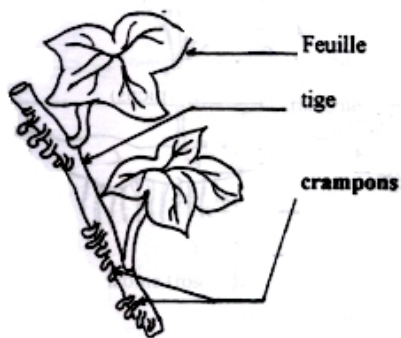
**Système racinaire fasciculé**

**Planche 2. Quelques adaptations des racines.**

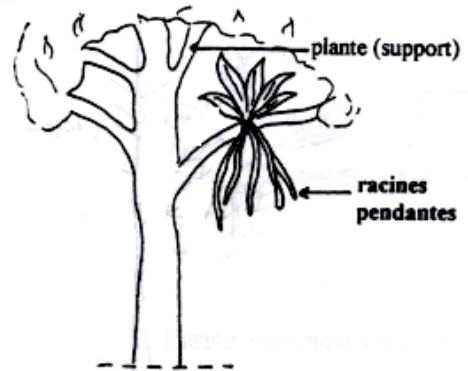


racine pivotante tubérisée.  
(carotte)

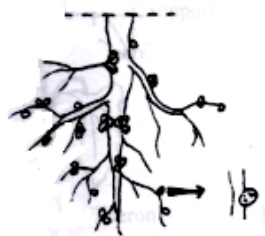
racine fasciculée tubérisée.  
(asphodèle)



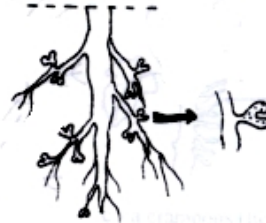
racines adventives ou crampons.  
(lierre)



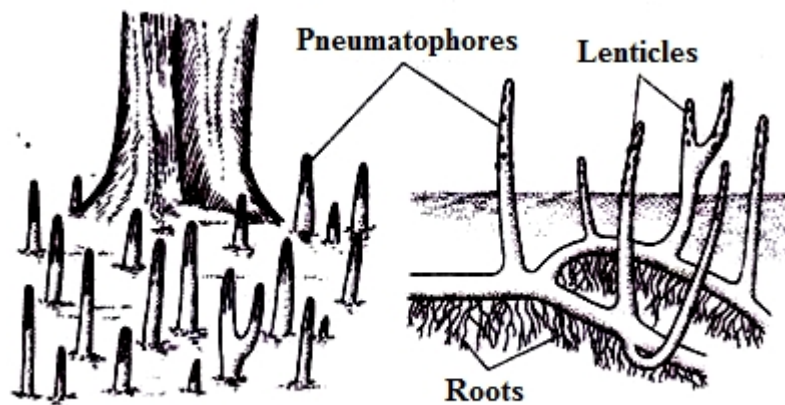
racines aériennes.  
(plantes épiphytes)



nodosités (racine + bactérie).



mycorhizes (racine + champignon).



**Pneumatophores of mangrove plant.**

## II. MORPHOLOGIE DE LA TIGE :

### II.1. Généralités :

La partie aérienne est par définition ce que l'on voit de la plante hors du sol. On distingue :

#### a) Collet :

Le collet est cette partie située au ras du sol par où la plante semble fixée. Le collet est très important ; toutes les racines y convergent ainsi que toutes les tiges. C'est le point de passage obligatoire de la sève. Il y a à ce niveau une transposition des tissus ligneux de la racine vers la tige.

#### b) Tige :

Une jeune tige est verte et s'élève toujours à la verticale. Chez l'arbre, cette tige s'entoure très vite d'une écorce subéreuse (ou liège) plus ou moins épaisse, destinée à la protéger contre le froid, la sécheresse ou les accidents naturels. Chaque tige est constituée par une succession d'entre-nœuds et de nœuds. Les feuilles sont insérées au niveau des nœuds où, à leurs aisselles, se trouvent un ou plusieurs bourgeons axillaires dont le développement donnera soit des tiges latérales, soit des fleurs (**Planche 3**).

### II.2. Rôle de la tige :

Le rôle de la tige est double :

§ Elle a tout d'abord une fonction de support qui devient très importante chez l'arbre du fait du poids de la ramure.

Ce rôle de support est essentiellement assuré par le bois (lignine).

§ Elle a aussi un rôle de transporteur de la sève, la sève brute (eau + sels minéraux) pompée par les racines qui monte vers le feuillage, et la sève élaborée chargée de sucre qui descend du feuillage vers la racine.

D'autres rôles ; la tige peut s'adapter à d'autres rôles, tels que protéger la plante des herbivores (épines), l'assimilation (photosynthèse) (tige succulente), escalade d'un support (vrilles), etc. (**Planche 4**).

On peut classer les tiges selon plusieurs critères :

#### § D'après leur consistance :

- Herbacées (vertes et tendres) plantes frêles, non ligneuses, et dont les parties aériennes meurent après la fructification.
- Ligneuses (rigides) : **tronc** des arbres, **chaume** des poacés, **stipe** des palmiers.

#### § D'après leur port :

- Tiges dressées ;
- Tiges rampantes ;

- Tiges grimpantes ;
- Tiges volubiles.

**§ D'après leur milieu où elles se trouvent :**

- Tiges aériennes ;
- Tiges souterraines.

**II.3. Adaptations morphologiques des tiges :**

Outre la tige classique, aérienne et élancée, on trouve différents types de tiges adaptés à des fonctions différentes (**Planche 5**).

**a) Plantes acaules :**

D'une manière générale, les plantes dites en rosettes, aux feuilles plaquées sur le sol, comportent une tige de très petite taille qui peut échapper à l'observation pendant toute la vie de l'individu. Ce sont des plantes acaules. (Ex. Joubarbe, Laitue).

**b) Tiges grêles :**

- **Lianes** : ne restent dressées que si elles s'accrochent à un support (espèces grimpantes comme la vigne et le lierre) ou s'enroulent autour de lui (espèces volubiles comme le Houblon et l'Haricot).
- **Stolons** : sont des tiges horizontales, aux longs entre-nœuds, aux feuilles très réduites et différentes de celles portées par la tige principale (les Fraisiers/Rosacées). Les bourgeons axillaires de cette tige donnent naissance à de nouvelles plantes qui s'enracinent à des intervalles plus ou moins réguliers (constantes).
- **Chaumes** : sont des tiges relativement moins longues et plus rigides que les lianes et les stolons. Elles sont noueuses (les nœuds sont très saillants), généralement creuses au niveau des entre-nœuds, et caractérisent la famille des **Graminées (poacées)**.

**c) Tiges de petite taille :**

- **Bourgeons (cas particulier)** : un bourgeon est une tige encore plus courte que celle d'une rosette et dont les ébauches de nœuds et de feuilles sont, le plus souvent, recouvertes d'écailles.
- **Rameaux spécialisés à croissance définie** :
  - **Rameaux-épines** : Les épines sont des tiges secondaires dont le bourgeon axillaire est éliminé au cours de la croissance et durcies par de nombreux dépôt de lignine. Les épines, comme chez l'aubépine par exemple, servent à protéger la plante des herbivores. Les épines de la rose ne sont pas des tiges avortées mais de simples excroissances du parenchyme cortical. Ces épines appelées "dards" se brisent donc facilement.

- **Rameaux-vrilles** : Beaucoup de plantes grimpantes émettent des tiges secondaires en forme de vrille qui leur permettent de s'accrocher à leur substrat. Chez la vigne vierge ces vrilles portent à leurs extrémités des pelotes adhérentes.
- **Cladodes** : ce sont des rameaux courts constitués d'un seul entre-nœud, mais toujours d'une grande ressemblance avec des feuilles (aplatis ou aiguilles). Parfois ces fausses feuilles portent des fleurs (fragon).

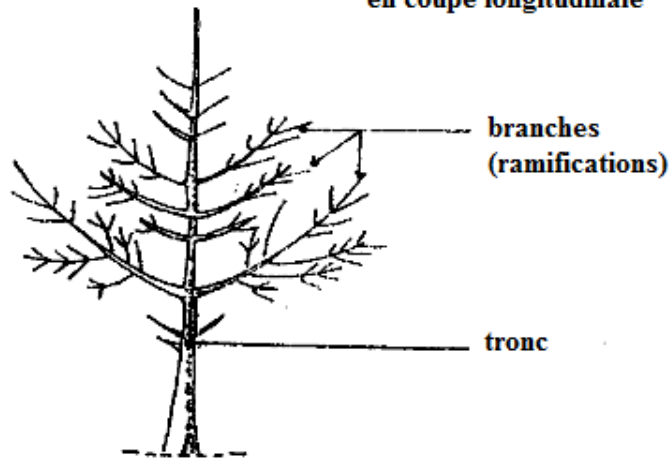
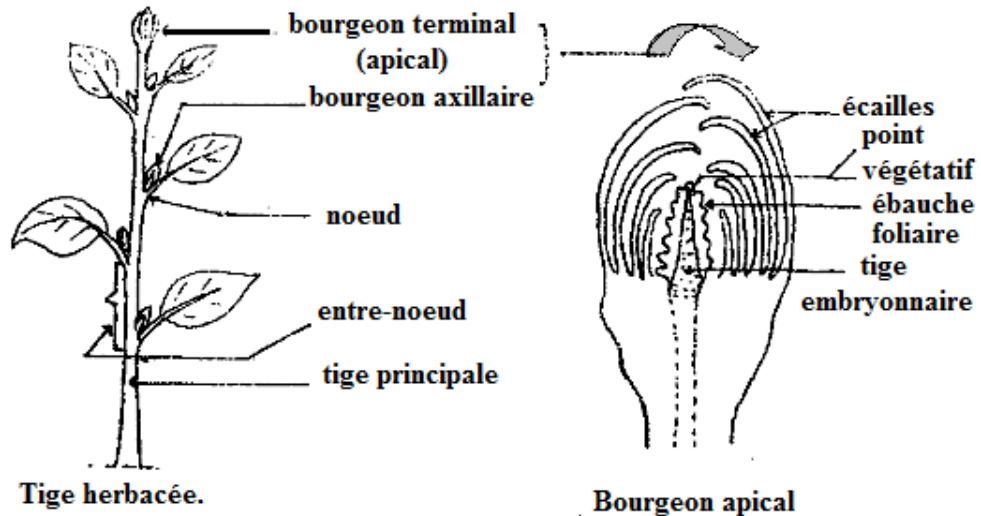
#### d) Tiges souterraines :

- **Rhizomes** : Tiges plus ou moins plagiotropes, portant des feuilles écailleuses et des racines adventives hypotones. Ils produisent à la belle saison des rameaux orthotropes aériens feuillés et florifères ou seulement des feuilles. (Iris).
- **Tubercules** : Des renflements localisés de la tige principale ou de ses ramifications, généralement souterrains, les tubercules caulinaires sont formés par des stolons ou des rhizomes ou à partir de l'hypocotyle.
  - **Tubercules de stolons** : exemple ceux de la pomme de terre.
  - **Tubercules de rhizomes** : exemple ceux de croûte de japon.
  - **Tubercules hypocotylaires** : provenant de l'hypertrophie de l'hypocotyle, exemple ceux du Radis.
- **Bulbes** : Ces tiges sont le plus souvent orthotropes, larges et plus courtes que les rhizomes. Elles portent des feuilles, généralement, bien développées et dont les parties souterraines ne sont pas chlorophylliennes.
  - **Bulbes foliacés** : constitués d'une tige très courte appelée plateau portant des feuilles hypertrophiées (bulbe tunique ou écailleux) exp. oignon et lis respectivement.
  - **Bulbes caulinaires** ou **cornus** : constitués d'une tige hypertrophiée et recouverte de feuilles membraneuses (exp. glaiéul, crocus).

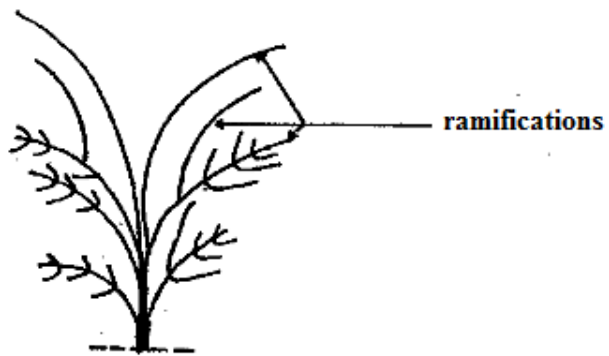
#### e) Tiges succulentes :

Les tiges "succulentes" (du grec succos = plein de suc) des plantes grasses (Figuier de barbarie, euphorbes, cactus, etc.) sont enflées par un parenchyme aquifère gorgé d'eau. Chez ces plantes adaptées à la sécheresse, les feuilles sont extrêmement réduites. Dans la famille des Cactacées, les tiges sont presque toujours succulentes, c'est-à-dire gorgées d'eau (stockage d'eau).

**Planche 3. Morphologie de la tige.**

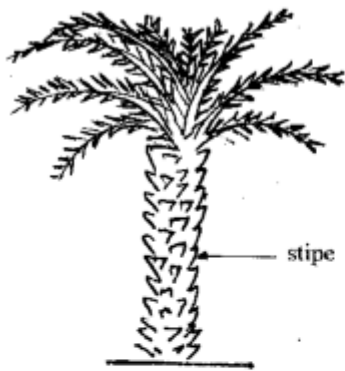


**Tige ligneuse (types arbre, arbuste, arbrisseau).**

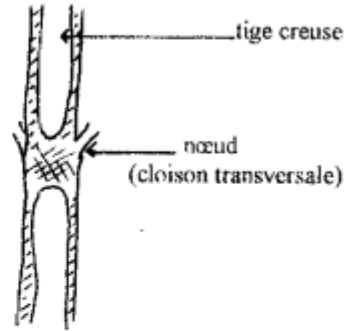


**Tige ligneuse (type buisson).**

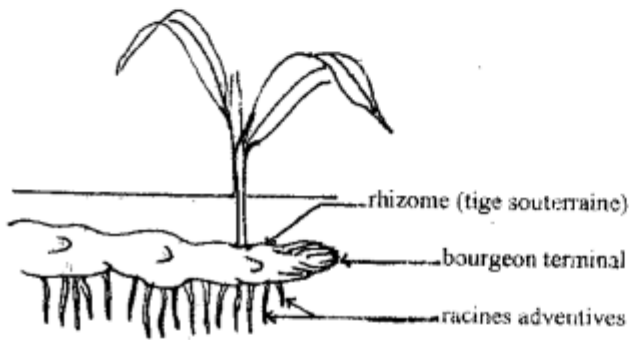
**Planche 4. Diverses sortes de tiges**



stipe (palmier dattier),



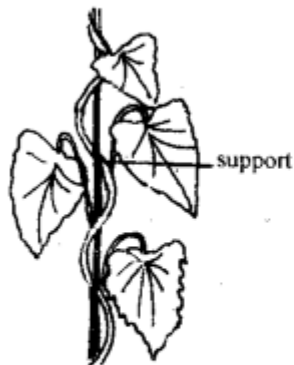
coupe longitudinale du chaume (blé).



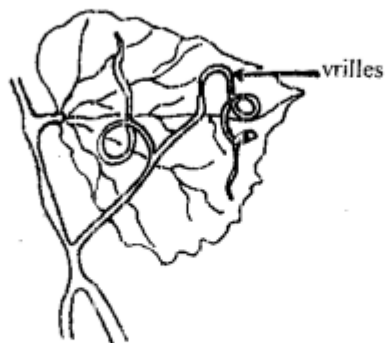
rhizome (roseau).



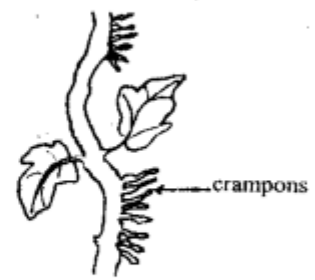
tige rampante (fraisier).



a - volubile (liseron)



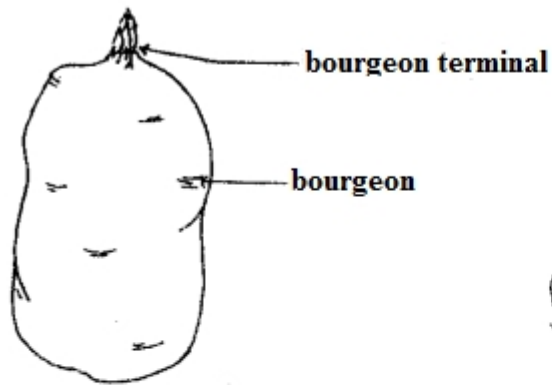
b - à vrilles (vigne)



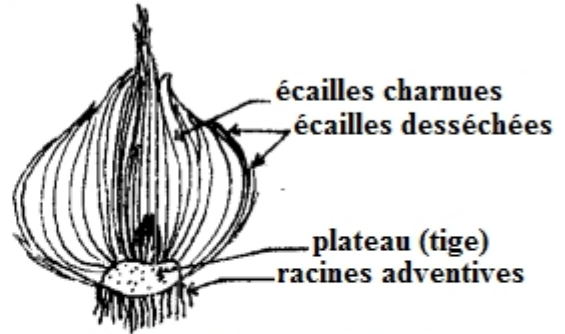
c - à crampons (lierre)

tiges grimpantes

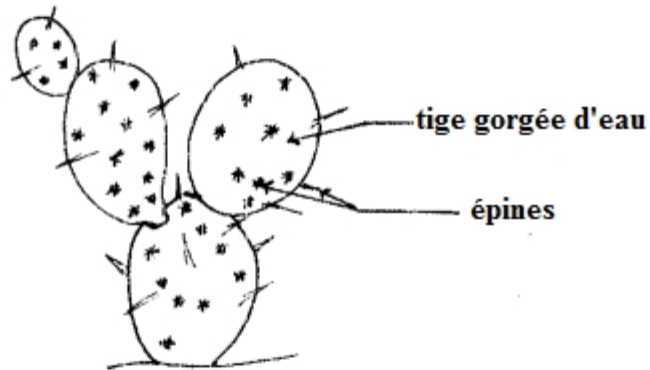
**Planche 5. Quelques adaptations de la tige**



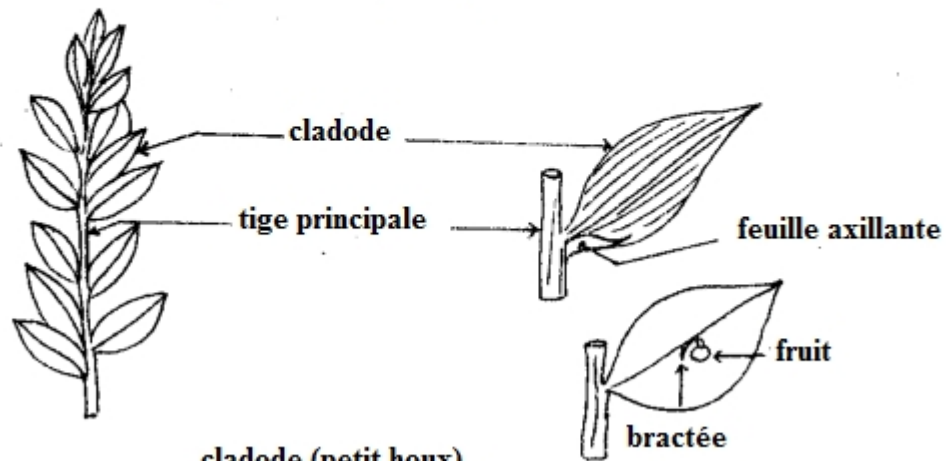
tubercule (pomme de terre).



coupe longitudinale d'un bulbe (oignon).



tige charnue (cactus).

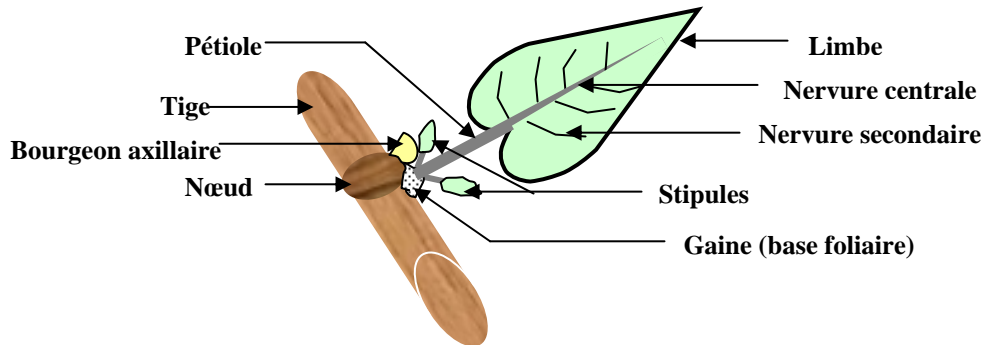


cladode (petit houx).

### III. MORPHOLOGIE DE LA FEUILLE :

#### III.1. Présentation :

La feuille, principal organe photosynthétique des plantes vasculaires, constituée par une excroissance latérale de la tige (**Planche 6**). Une feuille typique est composée d'un **pétiole**<sup>1</sup>, appelé aussi pédoncule, qui assure la fixation à la tige d'une partie large et plate, le **limbe**<sup>2</sup>, et une **gaine** qui insère le pétiole sur la tige (base foliaire). À la base du pétiole, on rencontre parfois deux petites expansions en forme de lames, les **stipules**<sup>3</sup>.



#### III.2. Types de feuilles :

##### 1. LIMBE :

Les caractéristiques de la structure externe des feuilles sont utilisées pour l'identification des plantes. Les deux grands types de feuilles sont (**Planches 6-7**):

##### a. Feuilles Simples :

Une feuille simple, est une feuille qui possède un limbe unique, non divisé (continu), à l'extrémité d'un pétiole non ramifié, à la base duquel se trouve un bourgeon axillaire. Exemples : abricotier, vigne, chêne.

##### b. Feuilles composées :

Une feuille est dite composée, lorsque son limbe est découpé (divisé) jusqu'à ce que des folioles soient bien individualisées.

Parmi les feuilles composées, on distingue :

**F Feuilles pennées** : dans ce cas les folioles sont disposées (insérées) latéralement en deux rangées opposées (par paires) à partir d'une nervure centrale = rachis. Exemples : acajou, caroubier, rosier, pois.

- Une feuille composée est dite Imparipennée : si il y en a une foliole terminale.
- Paripennée : si il y en a pas une foliole terminale.

<sup>1</sup> Pétiole : partie cylindrique plus ou moins aplatie qui relie le reste de la feuille à la tige au niveau du nœud (sur la tige, à la base du pétiole se situe le bourgeon axillaire).

<sup>2</sup> Limbe : partie souvent plate ayant une plus grande surface que le pétiole.

<sup>3</sup> Stipule : organe double situé de part et d'autre de l'insertion de la feuille sur la tige. Les stipules se présentent sous la forme de petites excroissances foliacées, écailleuses ou épineuses.

**F Feuilles bipennées** : le rachis porte des paires de rachis secondaires sur lesquels les folioles sont insérées. Exemples : acacia, mimosa (la sensitive).

**F Feuilles palmées** : dans ce cas les folioles sont reliées à un point central, d'où elles irradient en éventail, comme chez le marronnier.

**Remarque** : comment pouvons-nous distinguer entre une feuille et une foliole ?

**Réponse** : On examine la présence ou l'absence du bourgeon axillaire.

### Feuilles diffèrent par la forme du limbe :

§ **Lancéolée** (en forme d'une flèche)

§ **Ovale** (en forme d'un œuf)

§ **Cordée** (en forme de cœur)

§ **Triangulaire**

### Feuilles diffèrent aussi par la marge ou le bord du limbe :

§ **Lisse (entière)**

§ **Ondulée**

§ **Dentée**

§ **Lobée**

§ **Palmée**

## 2. NERVURES :

Les feuilles des angiospermes sont la plus part du temps, plurineves. Selon la disposition des nervures d'un limbe on distingue :

**A. Parallélinerve**: Les feuilles de la plupart des **monocotylédones** ont des nervures parallèles toutes semblables, issues de la base de la feuille et continuant presque jusqu'à son extrémité. Exemple : les poacées (blé, orge).

Les feuilles de la plupart des **dicotylédones** ont des nervures à disposition :

**B. Penninerve**: la nervure médiane relativement épaisse, partage le limbe en deux parties approximativement égales, et les nervures secondaires sont disposées comme les pennes d'une plume. Exemple : agrumes, amandier.

**C. Palmatinerve**: dans ce cas plusieurs nervures de grosseur à peu près égale partent de la zone de raccord pétiole-limbe et se divisent en nervures secondaires et tertiaires. Exemple : vigne, figuier, ricin.

## 3. PETIOLE :

Un pétiole, est un axe mince et étroit qui rattache le limbe de la feuille à la tige au niveau du nœud (à la base du pétiole se situe le bourgeon axillaire).

Les feuilles de la plupart des **dicotylédones** s'attachent aux tiges par la base de leur pétiole, tandis que celles de la plupart des **monocotylédones** n'ont pas de pétiole (la base de la feuille est une large **gaine** plate qui s'enroule autour de la tige). Les feuilles dépourvues de pétioles sont dites **sessiles**.

Chez les feuilles à pétiole, une structure en forme de feuille ou d'écaille, appelée **stipule**, peut exister au point d'attache sur la tige, comme on le voit chez les roses ou le pois.

#### 4. DISPOSITION DES FEUILLES :

La disposition des feuilles sur la tige répond à des règles strictes, constantes pour chaque espèce végétale. Les feuilles peuvent être insérées isolément sur chaque nœud (disposition **alterne**), disposées par deux (disposition **opposée**), ou par trois ou davantage (disposition **verticillée**). Une loi générale de **phyllotaxie**<sup>4</sup> (du grec phullon, «feuille», et taxis, «ordre») rend compte de ces dispositions : elle indique que les points d'insertion des feuilles sur la tige sont disposés sur une hélice unique. En outre, il existe un angle constant entre deux insertions consécutives. Par exemple, si les insertions successives sont disposées à angle droit, comme chez la menthe, les feuilles sont dites **décussées (Planche 8)**.

#### Les feuilles sont disposées de diverses façons sur la tige.

- F** Deux feuilles situées sur un même nœud et disposées à 180 ° sont dites **opposées** ex : Olivier
- F** Des feuilles sont dites **alternes** lorsqu'une seule feuille apparaît à chaque nœud et qu'elles s'orientent différemment en alternance ex : Prunier
- F** Lorsque trois feuilles ou plus s'attachent à un nœud, on qualifie cette disposition de **verticillée** ex : Laurier-rose.

#### 5. ADAPTATIONS :

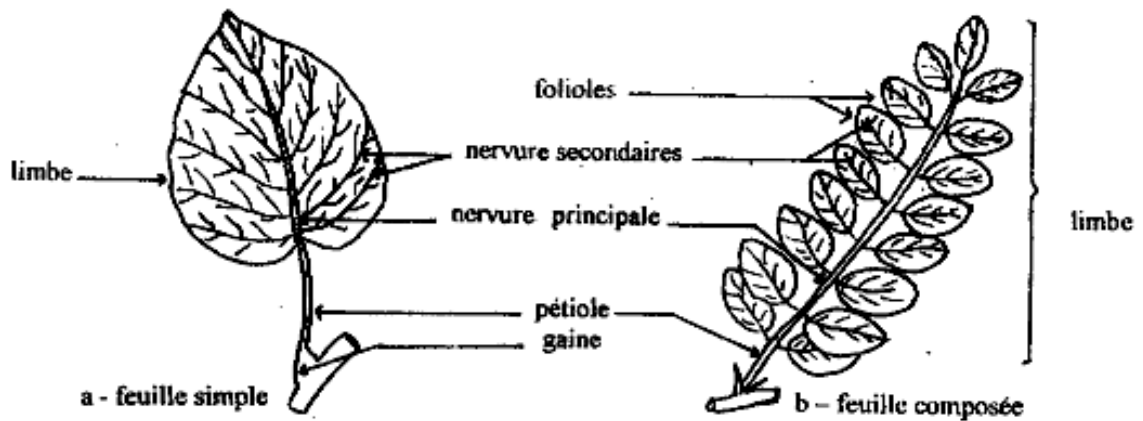
La forme et la structure des feuilles sont adaptées aux conditions dans lesquelles vit la plante (**Planche 9**). Tandis que la plupart des feuilles ont des limbes plats qui exposent le maximum de surface au soleil, les conifères, adaptés aux régions froides et venteuses, ont des feuilles en **aiguille** qui offrent le minimum de surface aux vents d'hiver desséchants. Chez les plantes des régions arides telles que l'aloès, les feuilles sont souvent beaucoup plus spongieuses et peuvent entreposer une grande quantité d'eau (feuilles **succulentes**). Les premières feuilles de la plantule (les cotylédons), qui constituent la plus grande partie de la graine de certaines plantes comme les haricots, servent de réserve nutritive pour la jeune pousse.

En outre, de nombreuses structures végétales sont, en fait, des feuilles modifiées. C'est le cas des **épines** à rôle défensif des cactacées ou des acacias, des organes de capture d'insectes (plantes Carnivores,), des écailles qui protègent les jeunes bourgeons en développement, des **vrilles** de nombreuses plantes grimpantes (pois), ou encore des lames vivement colorées attirant les insectes pollinisateurs (comme chez les euphorbes du genre Poinsettia).

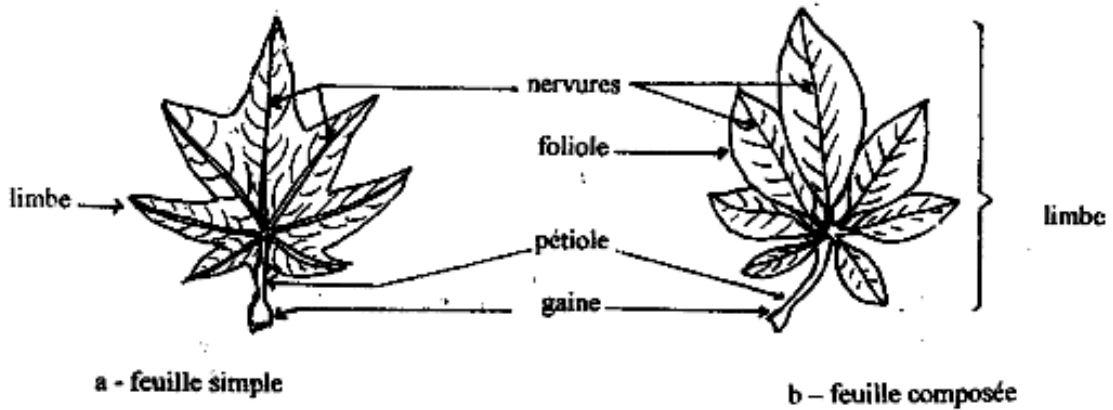
Enfin, on admet généralement que les diverses pièces florales (sépalés, pétales, étamines et carpelles) sont des feuilles plus ou moins profondément modifiées.

<sup>4</sup> **Phyllotaxie** : on appelle phyllotaxie la disposition géométrique de l'insertion des feuilles sur la tige.

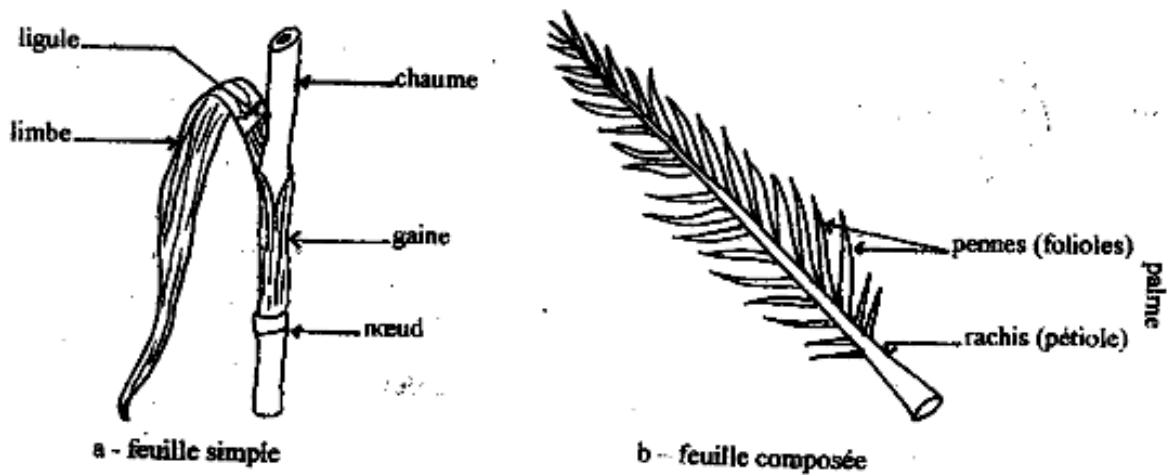
**Planche 6. Morphologie foliaire**



**Feuilles à nervation pennée (Angiospermes Dicotylédones).**

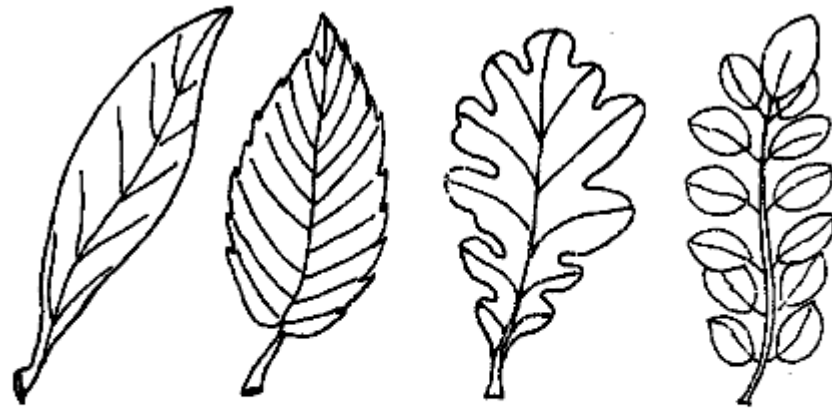


**Feuilles à nervation palmée (Angiospermes Dicotylédones).**



**Feuilles à nervation parallèle (Angiospermes Monocotylédones).**

**Planche 7. Différents types de feuilles**



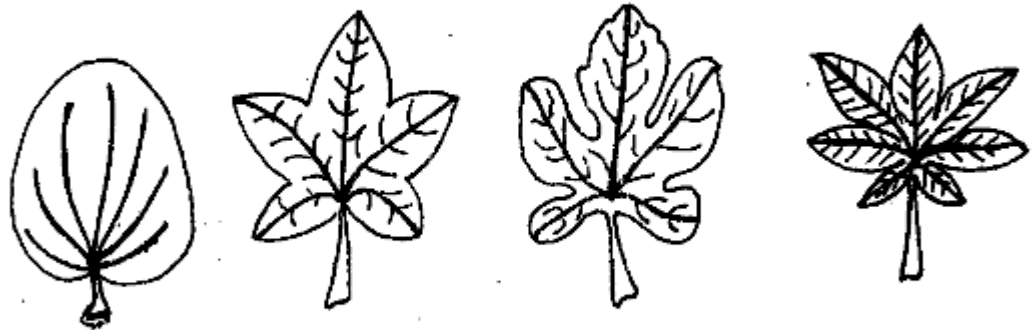
a- limbe entier  
(olivier)

b - limbe denté  
(chataignier)

c - limbe lobé  
(chêne)

d - limbe découpé  
(robinier)

Figure1: feuilles pennées.



a - limbe entier  
(arbre de Judée)

b - limbe denté  
(lierre)

c- limbe lobé  
(figuier)

d - limbe découpé  
(marronnier)

Figure1: feuilles palmées.

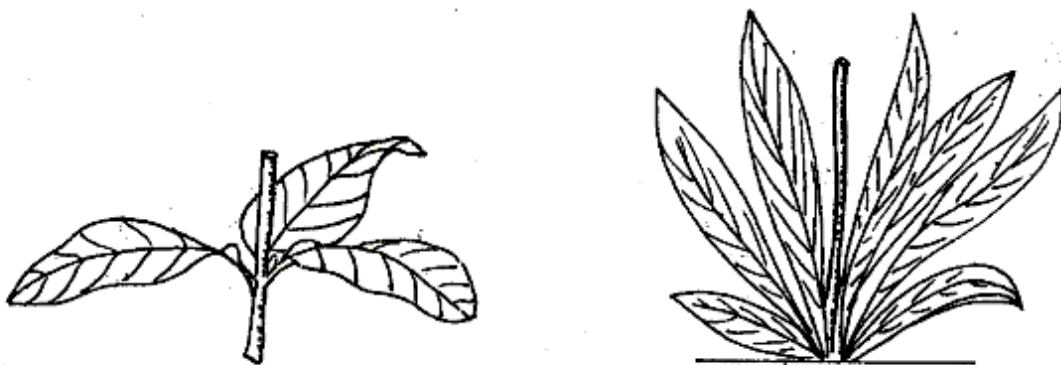
**Planche 8. Disposition des feuilles sur la tige.**



**Feuilles opposées et feuilles opposées décussées**

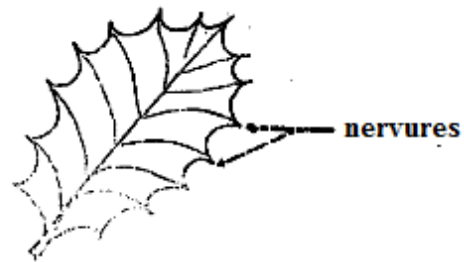


**feuilles alternes**

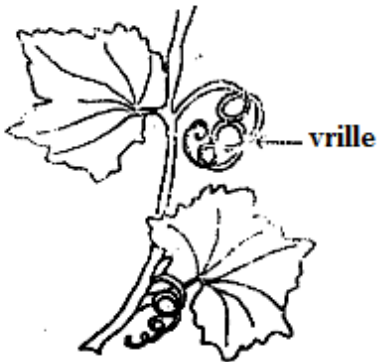


**Feuilles verticillées et feuilles en rosette**

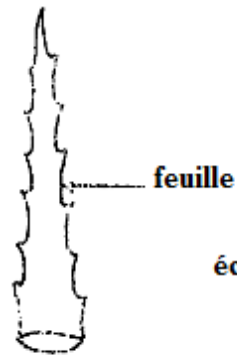
**Planche 9. Quelques adaptations des feuilles.**



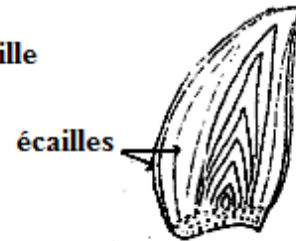
**Feuille épine**



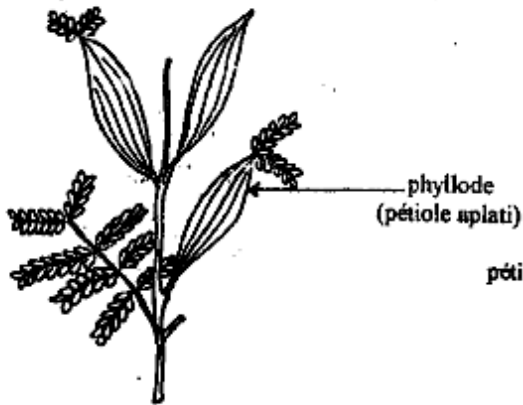
**feuilles en vrille (bryone)**



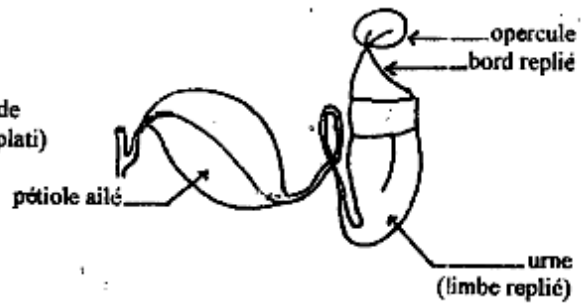
**feuille charnue (aloès)**



**écail charnues (ail)**



**phylloides (acacia)**

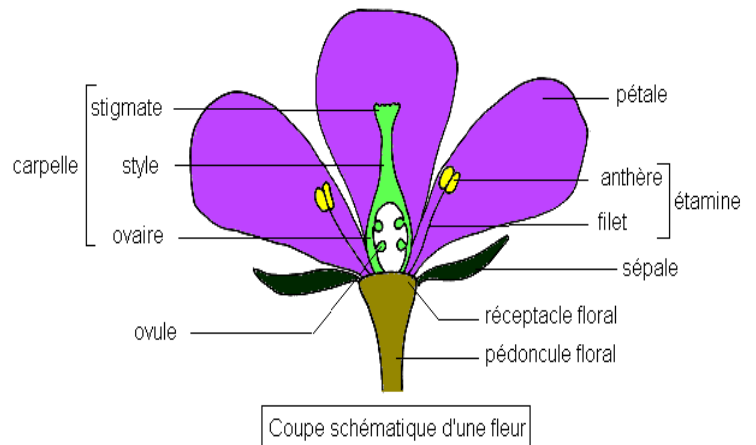


**Urne (Nepenthe, carnivore)**

## IV. MORPHOLOGIE DE LA FLEUR :

### Les différentes parties d'une fleur :

La fleur correspond à un ensemble de feuilles modifiées, en enveloppe florale et en organe sexuel, disposées sur un réceptacle. Un pédoncule la relie à la tige. Une bractée, sorte de petite feuille, est souvent présente à la base des fleurs, au point d'attache du pédoncule sur la tige.



### I. PÉRIANTHE

Il correspond à l'ensemble des enveloppes florales : le calice et la corolle.

#### 1. Calice :

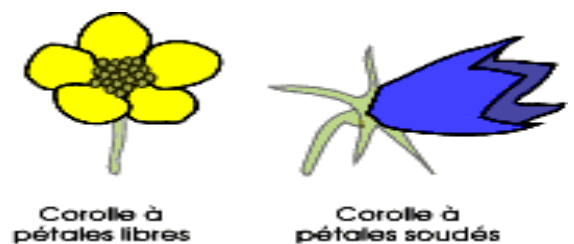
Le calice occupe la position la plus externe. Il est constitué de **sépales** généralement verts, mais pouvant avoir la couleur de la corolle. Les sépales peuvent être soudés entre eux, sur toute leur longueur ou à leur base.



Quelques fois il existe des sépales supplémentaires, décalés par rapport aux autres, qui constituent un calicule (Potentilles).

#### 2. Corolle :

La corolle enveloppe intérieure, formée par l'ensemble des pétales. Généralement de couleur différente du calice. Les pétales peuvent être soudés aux sépales ou entre eux sur une longueur plus ou moins grande et donne une fleur en cloche ou en tube.



- **Dialypétale:** corolle à pétales libres (Ex.: Rosacées).
- **Gamopétale:** corolle à pétales soudés en partie ou en totalité (Ex.: Primulacées, Astéracées).

#### 3. Tépalés :

Chez les monocotylédones, calice et corolle ont le même aspect, on parle alors de tépalés au lieu de sépales et pétales (Colchique, Crocus, Glaïeul, Narcisse...).



- **Apétale:** absence des pétales (Poacées, arbres à châtons).

## II. PARTIE MALE OU ANDROCÉE

Elle est composée d'étamines. Celles-ci sont formées d'un filet qui porte une anthère (grâce au connectif). On peut souvent distinguer 2 loges dans une anthère comprenant chacune 2 sac polliniques qui contiennent les grains de pollen (gamètes mâles). Les étamines peuvent être soudées aux pétales, ou être soudées entre elles par le filet (fabacées) ou même par les anthères (Astéracées).

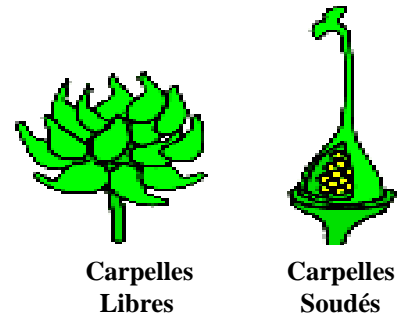


Le nombre d'étamines par fleur varie de 1 à 50. Il est souvent caractéristique de la famille (10 étamines chez les Fabacées).

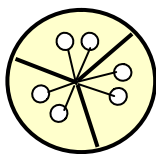
**Note:** Le pollen est transmis par **anémogamie** (le vent), **entomogamie** (les insectes), **hydrogamie** (l'eau courante) ou par certains oiseaux (**ornithogamie**) et mammifères (particulièrement les chauves-souris) (**chéiroptérogamie**).

## III. PARTIE FEMELLE OU GYNÉCÉE (PISTIL)

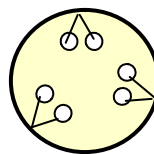
Le gynécée est composé de carpelles, libres (apocarpie) ou soudés (syncarpie). L'union de plusieurs carpelles en un seul ensemble peut affecter, soit uniquement les ovaires, soit Les ovaires et les styles, soit les ovaires, les styles et les stigmates.



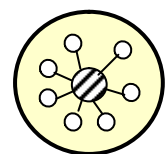
La placentation, est la disposition des ovules à l'intérieur de l'ovaire. En fait, on distingue plusieurs types de placentation :



**Placentation axiale :**  
Carpelles fermés et soudés  
oranger

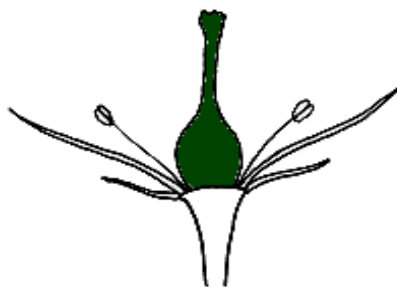


**Placentation pariétale :**  
Carpelles ouverts et soudés  
piment



**Placentation centrale :**  
Ovules fixés sur un axe central.  
caryophyllacée

L'ovaire peut être libre et visible à l'intérieur de la fleur où il semble dominer les autres pièces florales, on dit alors que l'ovaire est **supère**. Il peut également être dominé par toutes les autres pièces florales qui semblent prendre naissance à son sommet. L'ovaire est dit **infère**. Il se trouve alors protégé par le calice qui lui est soudé.



ovaire supère

**Réceptacle bombé  
(oranger).**

ovaire infère  
non adhérent

**Ovaire non soudé au  
réceptacle (églantier).**

ovaire infère  
adhérent

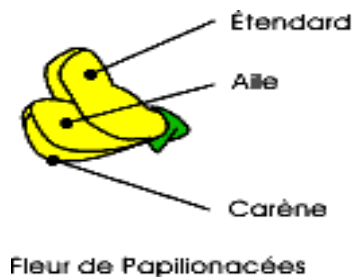
**Ovaire soudé au réceptacle  
(Apiacées).**

### FLEURS PARTICULIÈRES (la symétrie de la fleur)

L'architecture d'une fleur est le plus souvent basé sur une symétrie radiaire (radiale), c'est à dire qu'on ne peut y définir un avant ou un côté (comme chez les renoncules par exemple). De telles fleurs sont dites **régulières** ou **actinomorphes**.

D'autres fleurs ont une architecture beaucoup plus complexe, basée sur une symétrie bilatérale. On peut donc définir un avant, un côté droit, un côté gauche... Ces fleurs sont dites **irrégulières** ou **zygomorphe**.

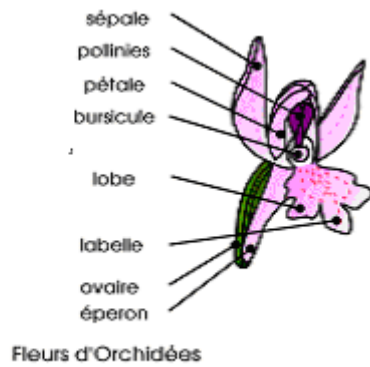
Deux grandes familles de plantes possèdent des fleurs irrégulières : les Papilionacées (ou Fabacées ou Légumineuses) et les Orchidées.



Fleur de Papilionacées

La fleur d'une légumineuse est bâtie selon le schéma suivant : le calice est soudé, un grand pétale, ou étendard, coiffe le reste de la fleur. Deux pétales, les ailes, sont disposés de chaque côté de la fleur et enveloppe partiellement les deux pétales inférieurs. Ceux-ci sont souvent réunis entre eux et forme la carène. Celle-ci peut prendre la forme d'un bec plus ou moins pointu.

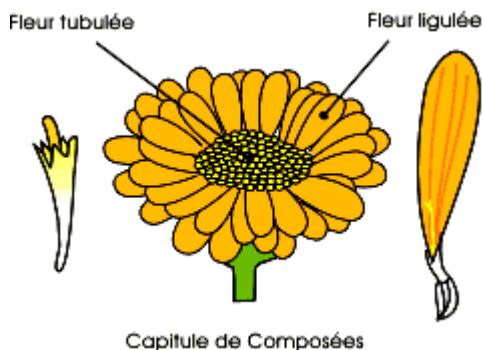
Les étamines sont généralement soudées entre elles et forment un tube autour du pistil.



La fleur d'Orchidée est encore plus complexe. Comme toute les Monocotylédones, elle possède 3 sépales souvent colorés, et 3 pétales. Deux des pétales sont plus ou moins atrophiés, le troisième, au contraire, est très développé et forme le labelle. Il prend diverses formes en fonction des espèces. Les organes sexuels sont rassemblés dans un seul "super-organe", le gymnostème. On ne trouve généralement qu'une étamine constituée de 2 pollinies située au-dessus d'une zone collante, le rostellum ou bursicule en partie issus de la transformation des stigmates.

- **Autres fleurs particulières**, celles des Composées (ou Astéracées) et des Graminées (ou Poacées). Une marguerite, par exemple, n'est pas une fleur, mais un ensemble de fleurs. C'est ce que l'on appelle un capitule (voir plus loin). Chez les Graminées, les fleurs sont réunies au sein d'un épillet.

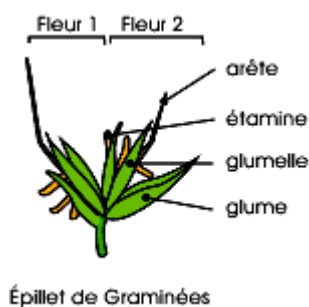
#### Fleur des composées :



Les fleurs sont généralement très petites. Il en existe deux types :

- Les fleurs en languette, ou fleurs ligulées. Leur corolle est soudée et rejetée sur le côté en une sorte de "pétale" géant.
- Les fleurs en tubes ou fleurs tubulées, qui quand elles existent sont en position centrale, ont leur corolle soudée en tube.

#### Fleur des poacées :



L'épillet correspond à la réunion de plusieurs fleurs entourées par 1 à 2 grandes bractées qui s'emboîtent généralement l'une dans l'autre : les glumes. La fleur proprement dites ne possède pas de périanthe mais est protégée par deux petites bractées, les glumelles. Chez certaines graminées une des glumelles peut se prolonger en une longue arête.

L'épillet est en fait une mini-inflorescence.

## Les Différentes Inflorescences <sup>5</sup>:

Elle correspond à l'ensemble des fleurs, voisines les unes des autres, et à leur mode de groupement.

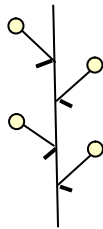
On distingue deux grands types d'inflorescences :

**-Inflorescences indéfinies** : l'axe de l'inflorescence n'est jamais terminé par une fleur, il peut donc se développer à l'infini (en théorie bien sûr). L'ordre de floraison se fait de bas en haut (basifuge ou centripète). On trouvera donc les fleurs les plus âgées au bas, ou centre, de l'inflorescence. L'inflorescence type est la **grappe** (ou **racème**).

**-Inflorescences définies** : l'axe de l'inflorescence est terminé par une fleur, l'inflorescence ne pourra donc se développer indéfiniment. L'ordre de floraison se fait de haut en bas (basipète ou centrifuge). Les fleurs les plus âgées se trouveront donc à l'extrémité de l'inflorescence. L'inflorescence type est la **cyme**.

### I. Inflorescences simples :

#### 1. Types de grappe :

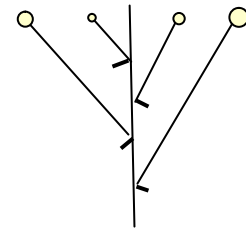


**La grappe** : Fleur pédonculée. (Muguet, chou).

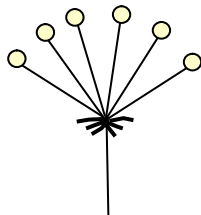
**Le panicule** : désigne des grappes composées (grappe de grappe).



**L'épi** : Les fleurs sont sans pédoncule. (Renouée)

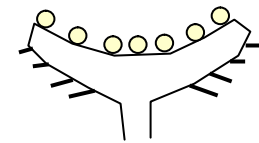


**La corymbe** : les pédoncules ont des longueurs variables, mais les fleurs sont toutes situées à peu près au même niveau. (Pommier, valérianes, sorbier)



**L'ombelle** : Tous les pédoncules sont attachés au même point. (Primevère, Carotte).

On parle d'ombellules pour désigner l'ombelle proprement dite quand il y a une ombelle composée (ombelle d'ombelles)



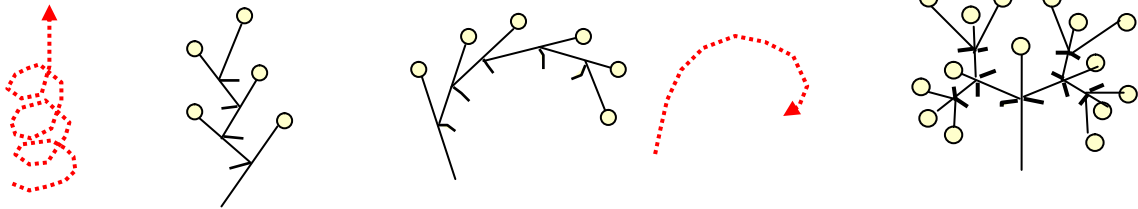
**Le capitule** : Les fleurs sans pédoncule sont attachées au même endroit (réceptacle élargi) généralement entouré de bractées (Pissenlit).

Des fleurs **sessiles** marguerite

- Inflorescence élémentaire seulement : inflorescence simple.
- Inflorescence combinant plusieurs inflorescences élémentaires : inflorescence composée.
- Inflorescence ne comportant que des inflorescences de type racème (grappe): inflorescence racémeuse.
- Inflorescence ne comportant que des inflorescences de type cyme : inflorescence cymeuse.
- Inflorescence comportant des inflorescences de type racème et de type cyme : inflorescence mixte.

## 2. Types cyme :

Inflorescence définie car l'axe principal est terminé par une fleur. On distingue des cymes unipares, bipares ou multipares selon le nombre de pédoncules qui partent du même point.



**Cyme unipaire hélicoïdale** : sous une fleur terminale apparaît à l'aisselle d'une bractée une seule fleur de second ordre et ainsi de suite. Les fleurs successives alternent régulièrement.

**Cyme unipaire scorpioïde** : sous une fleur terminale apparaît à l'aisselle d'une bractée une seule fleur de second ordre et ainsi de suite. Les fleurs successives se forment toutes du même côté.

**Cyme bipare** : sous une fleur terminale apparaissent à l'aisselle des deux bractées deux fleurs de second ordre. Ce mode se répète plusieurs fois.

## II. Inflorescences composées :

Elles résultent du groupement de plusieurs inflorescences en un même ensemble. Les inflorescences secondaires peuvent être du même type ou différents. Nous ne citons que quelques exemples :

- Grappe de grappes.
- Ombelle d'ombellules (Apiacées = composées).
- Epi d'épillets chez de nombreuses Poacées.
- Grappe de cymes (Vigne).

## V. GRAINES ET FRUITS :

### 1. GRAINES:

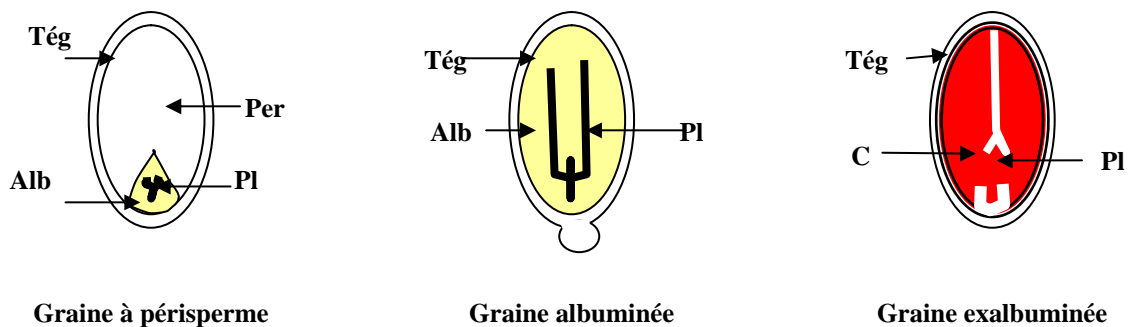
Les grains mûres des Angiospermes présentent des dimensions très diverses. Chez certaines espèces elles sont minuscules et pulvérulentes, de l'ordre de 500-600  $\mu$  (Pavot, Tabac, Orchidées). Chez d'autres, au contraire, elles sont volumineuses : la noix de coco est une graine, qui peut atteindre une vingtaine de centimètres de long. Entre ces extrêmes, tous les intermédiaires existent.

#### • Organisation d'une graine mûre :

Elle comprend :

- 1- Les téguments, inertes, plus ou moins épaisses, dérivés du ou des téguments de l'ovule.
- 2- Une partie vivante, ou amande, constituée par :
  - la plantule et l'albumen, lorsque ce dernier persiste et accumule les réserves (**graines albuminées**) ex. Ricin, Maïs.
  - La plantule seule lorsque l'albumen a été totalement digéré (**graines exalbuminées**) ex. Haricot, Pois.
  - Lorsqu'une partie du nucelle persiste dans la graine mûre et participe avec l'albumen au stockage des réserves, la graine est dite (**graine à périsperme**) ex. Le Canna.

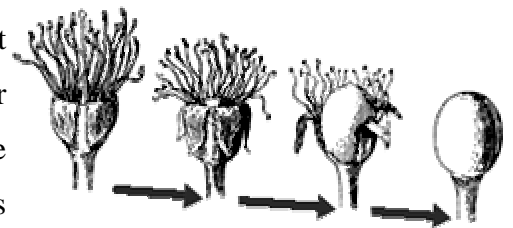
#### Différents types de graines



Tég: tégument; Per: périsperme; Alb: albumen; C: cotylédon; Pl: plantule.

### 2. FRUITS:

Après la fécondation, la fleur se transforme en fruit qui permet de protéger les graines et d'aider à leur dissémination. Une fois le fruit mûr, il s'ouvre ou se détache de l'arbre. La libération des graines se fait alors par décomposition du fruit.



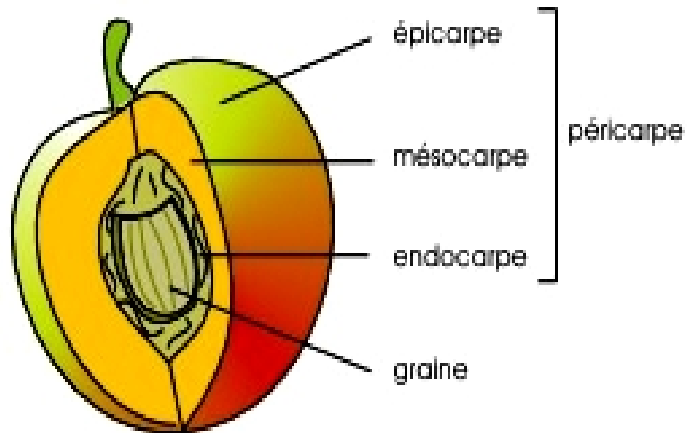
Ce sont les parois de l'ovaire qui se transforment lors de la fructification. On peut y distinguer trois enveloppes dont l'épaisseur et la texture vont varier selon la nature du fruit.

L'ensemble des trois enveloppes est appelé **péricarpe**. Dans certain cas, d'autres parties de la plante, généralement le réceptacle floral, participent à la formation du fruit.

L'enveloppe la plus externe est l'**épicarpe**. C'est par exemple la "peau" de la pêche. Vient ensuite le **mésocarpe** qui peut être charnu ou non. Puis il y a l'**endocarpe**, la partie la plus interne sur laquelle sont rattachées les graines. L'endocarpe forme par exemple la partie dure des noyaux.

#### A- Parthénocarpie (cas particulier) :

Certaines espèces peuvent produire des fruits sans qu'il ait eu pollinisation des fleurs (sans fécondation) : c'est le phénomène de parthénocarpie qui donne des fruits dépourvus de graines (ex.: Banane).



#### B- Principales catégories de fruits :

Les fruits des angiospermes sont très divers : il ne saurait être question d'analyser l'organisation de toutes les catégories de fruits que l'on peut distinguer. On se contentera donc de définir et de classer les types fondamentaux en séparant au départ quatre grandes catégories : fruit simples, fruits multiples, fruits complexes, fruits composés.

##### 2.1. Fruits simples :

Un fruit simple est un fruit formé exclusivement à partir de l'**ovaire unique** d'une fleur, qu'il s'agisse d'un ovaire unicarpellé ou d'un ovaire polycarpellé mais syncarpie (carpelles soudés). Selon la structure de la paroi du fruit on en distingue :

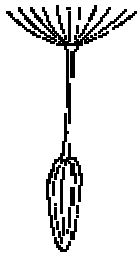
**2.1.1. Fruits secs** : chez les fruits secs le péricarpe se déshydrate et se lignifie, il devient dur.

**a- Les Fruits secs déhiscents** : fruits qui s'ouvrent à maturité et libèrent les grains.

- **Follicule** : formé d'un seul carpelle et s'ouvrant selon une seule fente (hellébore).
- **Gousse** : à 1 carpelle et 2 fentes (pois).
- **Silique** : à 2 carpelles et 4 fentes (moutarde)
- **Capsule** : à n carpelles et nombreuses fentes s'ouvrant par un couvercle (Coquelicot) ou par des pores de déhiscences (pavot).

**b- Fruits secs indéhiscents** : fruits qui ne s'ouvrent pas à maturité, généralement on les appelle akènes.

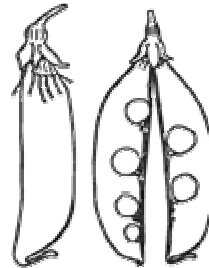
- **Akènes** : fruit renfermant une seule graine libre (le gland du chêne, Noisette);
- **La samare**, qui est un akène ailé (frêne, Orme);
- **Le caryopse** : akène contenant une graine soudée au péricarpe sec. C'est le fruit caractéristique des céréales (Blé, Orge).



La noisette, le grain de Blé, le petit parachute du Pissenlit sont des akènes. A l'intérieur : une seule graine.



La capsule de Coquelicot libère par des petits trous ses graines minuscules et nombreuses.



La gousse est le fruit typique des plantes de la famille des Légumineuses (Fève, Haricot, Genêt...)



La silique des Crucifères (Chou, Roquette, Giroflée...) a une ouverture caractéristique.

### 2.1.2. Fruits charnus : les parois du mésocarpe hypertrophient pour donner la pulpe.

#### a- Baies ou fruits à pépins :

La paroi du fruit, entièrement charnue, est au contact immédiat des graines ou "**pépins**" (le raisin de la vigne). Dans certaines baies, les placentas participent pour une part importante à la constitution de la chair du fruit (Tomate). Dans d'autres cas, la chair du fruit plein de suc et globuleuse (Orange).

#### b- Drupes ou fruits à noyau :

La paroi du fruit comprend une partie (externe) charnu, et endocarpe sclérifiée ou lignifiée forme un **noyau** ou **amande**, qui protège les graines (la cerise, abricot).



La cerise, l'olive et tous les fruits à noyau sont appelés des drupes.



Le raisin, la tomate et tous les fruits à pépins sont appelés des baies. Chaque pépin est une graine.

### 2.2. Fruits multiples :

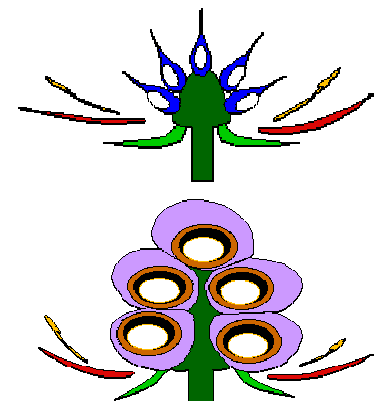
Les fruits multiples proviennent de fleurs dont le gynécée est composé de plusieurs carpelles indépendants (apocarpie). Dans ce cas une seule fleur produit plusieurs fruits.

**Poly-akènes** : Ensemble d'akènes (Renoncule, potentille).

**Drupéoles ou poly-drupe** : Ensemble de drupes (Une framboise provient d'une seule fleur. Chaque petit grain charnu est un fruit (drupe).

Un poly-akène. Chaque carpelle est transformé en un akène. C'est le cas des renoncules.

Une poly-drupe. Chaque carpelle est transformé en une petite drupe, fruit charnu dont l'endocarpe est lignifié (noyau). C'est le cas des framboises.



**2.3. Fruits complexes :**

Dans un grand nombre de cas, la formation du fruit fait intervenir d'autres tissus que la simple paroi de l'ovaire. Il s'agit alors de fruits complexes appelés aussi "pseudo-fruits ou faux fruits" dans certains ouvrages.

**Réceptacle devenant charnu, soudé à l'ovaire (piridion)**

C'est le cas lorsque la fleur possède un ovaire infère adhérent au réceptacle.

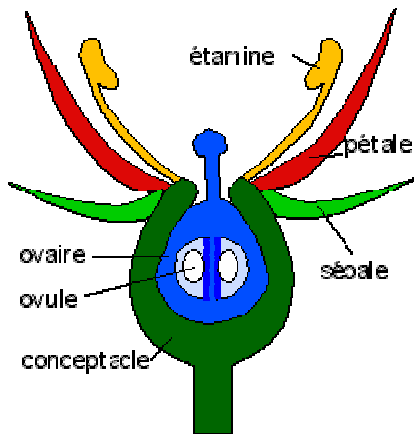
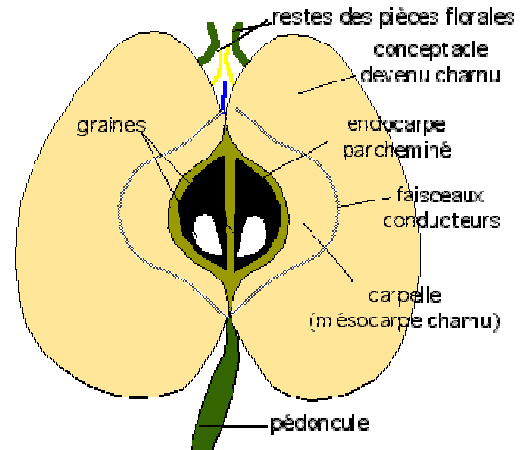


Schéma général d'une fleur à ovaire infère adhérent. L'ovaire se trouve en dessous du plan d'insertion des pièces florales. Ici, l'ovaire est soudé au réceptacle floral en forme de coupe (conceptacle).

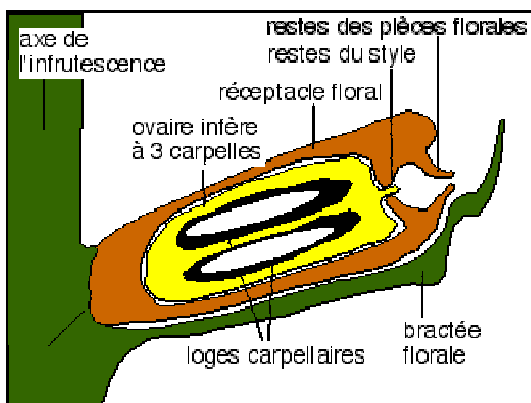


Exemple d'un fruit dérivé d'un ovaire infère adhérent : la pomme. La partie charnue du fruit appelée faussement "péricarpe" est en fait formée par le développement du conceptacle

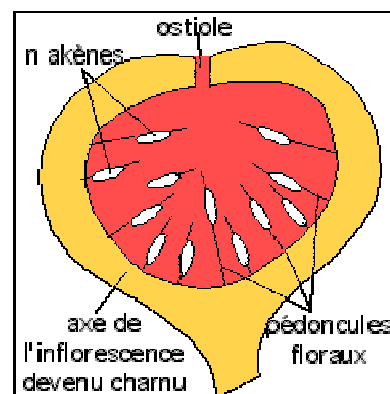
Ce type de fruit est souvent appelé "fruit complexe" pour bien montrer que son origine n'est pas essentiellement due au développement de l'ovaire. En fait, dans la pomme, ce que l'on mange est le conceptacle et le fruit sensu stricto (qui dérive de la paroi du carpelle) est ce que l'on appelle vulgairement «trognon ».

**2.4. Fruits composés :**

Les fruits composés dérivent du développement d'une inflorescence. On peut les qualifier d'infructescences (ananas). Ils sont formés par le développement de l'ovaire de chaque fleur, auquel peuvent s'ajouter le réceptacle floral, l'axe de l'inflorescence et les bractées florales. Dans la figue, chaque grain est un petit fruit qui provient d'une fleur minuscule. Avant maturité, la figue contenait environ mille fleurs.



L'ananas : une infructescence charnue. Toute l'inflorescence (axe, bractée, ovaire) est charnue. Ces différentes parties sont soudées les unes aux autres.



La figue : l'axe de l'inflorescence devient charnu et se creuse en une outre à petite ouverture (ostiole). Elle est tapissée par les multiples fleurs dont les ovaires deviennent des akènes à maturité. Ce fruit charnu particulier est appelé sycone.

## RÉFÉRENCES

### § Des ouvrages généraux :

- (1) ALBERTS, JOHNSON, LEWIS, RAFF, ROBERTS, WALTER – Biologie moléculaire de la cellule, 4ème édition. Médecine-Sciences FLAMMARION, 2004
- (2) CAMPBELL N. A. – Biologie. DE BOECK UNIVERSITE, 1995
- (3) DEMALSY, P., & FELLER DEMALSY, M. J. (1990). Les plantes à graines: structure, biologie, développement. Armand Colin: Paris & Decarie Editeur: Ville Mont-Royal, Quebec, 335.
- (4) GORENFLOT R. (1986). Biologie Végétale, tome 1, (Masson,);
- (5) LABERCHE J.-C. – Biologie Végétale. DUNOD
- (6) LODISH, BERK, MATSUDAIRA, KAISER, KRIEGER, SCOTT, ZIPURSKY, DARNELL – Biologie moléculaire de la cellule, 3ème édition. DE BOECK, 2005
- (7) NIEMINEN, K., BLOMSTER, T., HELARIUTTA, Y., & MÄHÖNEN, A. P. (2014). Vascular Cambium Development. The Arabidopsis book/American Society of Plant Biologists, 13, e0177-e0177.
- (8) NULTSCH W. (1998). Botanique générale. DE Boeck université Theieme Verlag,
- (9) RAVEN, EVERT & EICHHORN – Biologie Végétale, 6ème édition. DE BOECK UNIVERSITE, 2000
- (10) RENDU, V. (1838). Botanique, ou histoire naturelle des plantes : a l'usage des cultivateurs et des écoles primaires. J. Angé.
- (11) ROBERT D. et ROLAND J.-C. – Biologie végétale caractéristiques et stratégie évolutive des plantes. DOIN, 1989
- (12) ROLAND, J. C., BOUTEAU, H. E. M., & BOUTEAU, F. (2008). Atlas de biologie végétale-Tome 2-9ème édition. Dunod.
- (13) STERN, K. R., JANSKY, S., & BIDLACK, J. E. (2003). Introductory plant biology (No. 574/S839). New York: McGraw-Hill.

### § Ouvrages spécialisés ou articles scientifiques :

- (14) Eisenach, C., Francisco, R., & Martinoia, E. (2015). Plant vacuoles. *Current Biology*, 25(4), R136-R137.
- (15) Perilli, S., Di Mambro, R., & Sabatini, S. (2012). Growth and development of the root apical meristem. *Current opinion in plant biology*, 15(1), 17-23.
- (16) Tobin, C. J. (2016). Morphogenesis of the Arabidopsis Shoot Apical Meristem (Doctoral dissertation, California Institute of Technology). [http://thesis.library.caltech.edu/9722/31/cory\\_tobin\\_2016\\_thesis.pdf](http://thesis.library.caltech.edu/9722/31/cory_tobin_2016_thesis.pdf)
- (17) Wise, R. R. (2007). The diversity of plastid form and function. In *The structure and function of plastids* (pp. 3-26). Springer Netherlands.
- (18) Wise, R. R., & Hooper, J. K. (Eds.). (2007). *The structure and function of plastids* (Vol. 23). Springer Science & Business Media.
- (19) Wise, R. R., & Hooper, J. K. (Eds.). (2007). *The structure and function of plastids* (Vol. 23). Springer Science & Business Media.

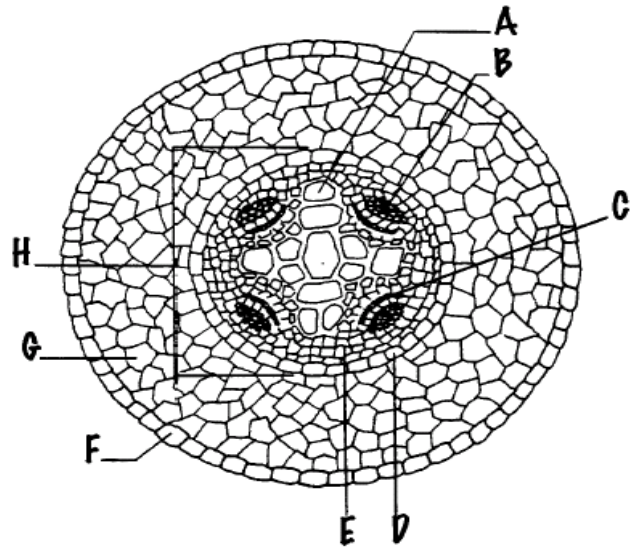
**§ Netographie :**

- <http://www.snv.jussieu.fr>
- <http://www.didier-pol.net>
- [http://www.botany.com /](http://www.botany.com/)
- <http://www.wikinu.org>
- <http://www.amjbot.org> (American journal of botany)
- <http://aob.oupjournals.org> (Annals of Botany).
- [www.plantphysiol.org/](http://www.plantphysiol.org/) (plant physiology).
- <https://jxb.oxfordjournals.org/> (Journal of Experimental Botany)
- <http://www.inrp.fr/Acces/biotic/morpho/html/paroi.htm#structure>
- <http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/index.htm>
- <http://www.plantcell.org/>
- [http://www.afd-ld.org/~fdp\\_bio/index.php?rub=principaux-phylums-vegetaux&pg=les-angiospermes](http://www.afd-ld.org/~fdp_bio/index.php?rub=principaux-phylums-vegetaux&pg=les-angiospermes)

## AUTO-ÉVALUATION

1. associer chaque nom avec la lettre correspondant sur le schéma suivant.

- \_\_\_\_\_ Écorce
- \_\_\_\_\_ Endoderme
- \_\_\_\_\_ Épiderme
- \_\_\_\_\_ Péricycle
- \_\_\_\_\_ Phloème
- \_\_\_\_\_ Cambium vasculaire
- \_\_\_\_\_ Cylindre central
- \_\_\_\_\_ Xylème

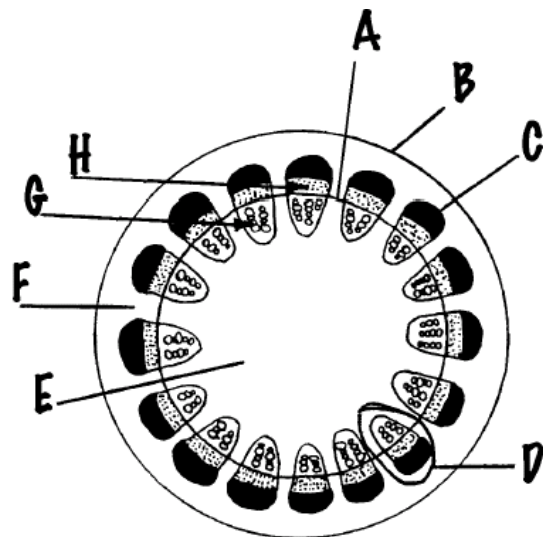


2. relier la structure de l'endoderme avec sa fonction

3. l'épiderme des racines manque de cuticule. En quoi cela est utile ?

4. Attribuer un nom à chaque lettre identifiée sur le schéma suivant.

- A \_\_\_\_\_ écorce
- B \_\_\_\_\_ Épiderme
- C \_\_\_\_\_ Phloème
- D \_\_\_\_\_ coiffe de phloème
- E \_\_\_\_\_ Moelle
- F \_\_\_\_\_ Faisceau vasculaire
- G \_\_\_\_\_ Cambium vasculaire
- H \_\_\_\_\_ Xylème



Est-ce que cette section transversale est faite dans une tige Dicoty. ou Monocoty.?

Comment le sais-tu?

5. lesquelles sont grandes et distinctives, les cellules du xylème ou celles du phloème ?

6. quel type de cellules fournit un support pour la tige ? Où ces cellules sont telles localisées dans la tige?

---



---

7. Comment la structure de ces cellules est reliée à leur fonction?

---

8. quelle est la fonction du xylème ?

---

9. quelle est la fonction du phloème ?

---

10. la moelle et l'écorce sont constituées de cellules parenchymateuses. Décrivez les fonctions principales de ces cellules.

---



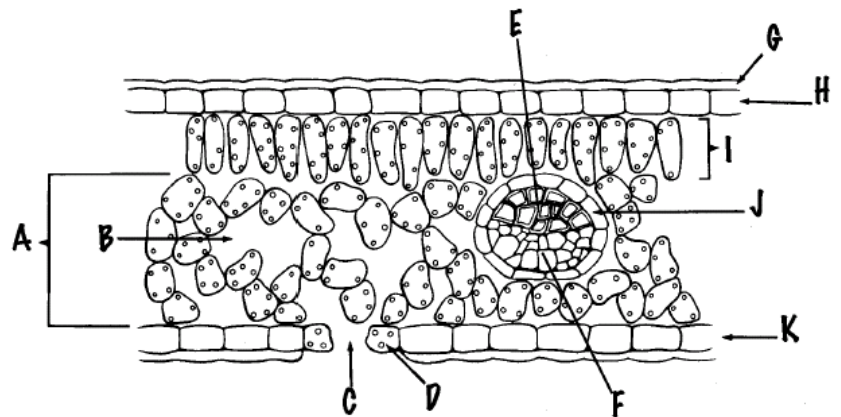
---

Comment la structure de ces cellules est reliée à leur fonction ?

---

11. associer chaque nom avec la lettre correspondant sur le schéma suivant.

- \_\_\_\_\_ Espace d'air
- \_\_\_\_\_ Gaine de faisceau
- \_\_\_\_\_ Cuticule
- \_\_\_\_\_ Cellule de garde
- \_\_\_\_\_ Épiderme inférieur
- \_\_\_\_\_ Parenchyme palissadique
- \_\_\_\_\_ Phloème
- \_\_\_\_\_ Parenchyme lacuneux
- \_\_\_\_\_ Stomate
- \_\_\_\_\_ Épiderme supérieur
- \_\_\_\_\_ Xylème

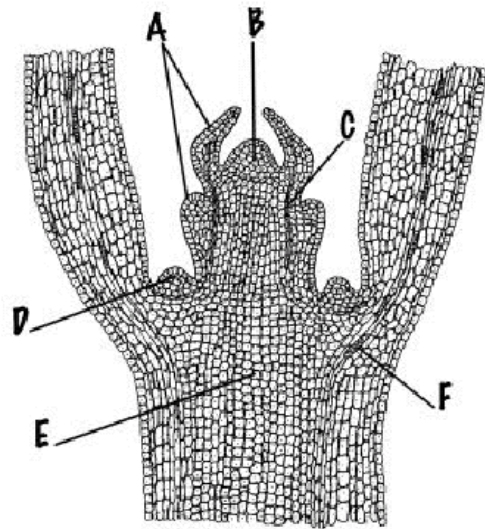


12. jumeler correctement chaque structure à sa fonction.

- |   |       |                      |
|---|-------|----------------------|
| 1- transport de l'eau   | _____ | A. Cuticule          |
| 2- transport des nutriments   | _____ | B. Cellules de Garde |
| 3- couche cireuse qui réduit les pertes d'eau   | _____ | C. épiderme          |
| 4- protection   | _____ | D. P. palissadique   |
| 5- Siège de la photosynthèse  | _____ | E. Phloème           |
| 6- cellules arrangées au hasard, permettant la circulation de l'air.  | _____ | F. P. lacuneux       |
| 7- permettre au CO <sub>2</sub> d'entrer dans les feuilles est à l'O <sub>2</sub> et la vapeur d'eau de sortir. | _____ | G. Stomate           |
| 8- ouvrir et fermer les stomates.   | _____ | H. Xylème            |

13. associer chaque nom avec la lettre correspondant sur le schéma suivant.

- \_\_\_\_\_ MAC
- \_\_\_\_\_ Bourgeon axillaire
- \_\_\_\_\_ Tissu vasculaire
- \_\_\_\_\_ Méristème fondamental
- \_\_\_\_\_ Feuilles Primordiales
- \_\_\_\_\_ Procambium



14. pourquoi les poils absorbants apparaissent seulement au niveau de la zone de maturation ?

---

15. Qu'est-ce qu'un méristème ?

---

16. qu'est-ce qu'on désigne par croissance primaire et croissance secondaire ?

---



---

17. Quelle est la fonction du:

a. Cambium?

---

b. Phellogène?

---

19. Quelle classe des angiospermes à des méristèmes latéraux ?

---

20. compléter le tableau suivant.

Méristème	Localisation	Type de tissus produits	Type de croissance
Apical			
Latéral			

21. les cellules de l'épiderme fréquemment gardent la capacité de se diviser. En quoi cela est important ?

---

22. pourquoi l'endoderme existe dans la racine et est souvent absent dans la tige ?

---



---

24. Les plus vieux organismes vivants sur terre sont des plantes. Quelle caractéristique particulière permettant aux plantes cette incroyable longévité ?

---

26. Quelles sont les stratégies développées par les plantes à fleurs pour empêcher l'autogamie possible ?

- ---
- ---
- ---

27. Justifiez ce qui suit :

- *Le pollen des plantes anémophiles (anémogamies) est sec et léger.*

---

- *La dégénération du noyau végétatif ce fait juste après la pénétration du tube pollinique dans l'ovule.*

---

- *Contrairement à la tige et à la racine, la croissance de la feuille est définie.*

---

\*\*\* FIN \*\*\*

## Glossaire de Botanique

### A

**ABSORBANT** : S'applique aux poils des racines à proximité de sa coiffe et contribue au prélèvement des sels minéraux et de l'eau.

**ACUMINÉ** : Dont l'extrémité se termine brusquement en pointe. Organe acuminé.

**ADVENTIF** : qualifie un organe qui n'est pas à sa place dans une plante, qui se trouve ailleurs qu'à l'endroit où on le voit d'ordinaire. Ex. racine adventive sur une tige.

**AISSELLE** : Angle supérieur formé par la tige et une feuille (ou un tubercule) portée par cette tige. Adj. : axillaire.

**AERENCHYME** : tissu de remplissage lacuneux dont les espaces intercellulaires sont remplis d'air. On en trouve souvent dans les organes de plantes aquatiques et de marécages.

**ALBUMEN** : tissu de réserve contenu dans la graine des Angiospermes ; il est issu de la fusion d'un noyau spermatique et des noyaux centraux du sac embryonnaire ; il est précocement digéré (graine EXALBUMINEE) ou tardivement digéré (graine ALBUMINEE) par la plantule. Il peut être de différentes natures : amylicé (Blé), charnu (Poirier), corné (Carotte), oléagineux (Coco).

**ALEURONE** : corpuscule issu de la déshydratation d'une vacuole, dans la partie externe de l'albumen d'une graine. Un grain d'aleurone se présente souvent sous forme d'une masse protéique enfermant un globule et un cristalloïde. Graine de Ricin, Céréales, Haricot.

**ALLELE** : Gène de même fonction mais à l'action différente, se trouvant au même endroit sur un chromosome.

**ALTERNE** : 1- des feuilles alternes, sur une tige, sont situées à différents niveaux et n'ont pas de vis-à-vis ; elles sont fixées isolément sur chaque noeud. 2- dans une racine, la disposition des faisceaux du xylème et du phloème est alterne, alors qu'ils sont superposés dans une tige.

**AMYLOPLASTE** : plaste contenant de l'amidon.

**ANATROPE** : s'applique chez les Angiospermes à l'ovule renversé qui a subi une rotation de 180°, le hile est proche du micropyle, la chalaze est du côté opposé, en position supère. L'ovule anatrope est pourvu d'un raphé.

**ANDROCEE** : ensemble des étamines d'une fleur.

**ANEMOCHORIE** : dispersion (choris) de grains de pollen, de graines, de fruits par le vent.

**ANGIOSPERME** : plante chez laquelle l'ovule est enfermé dans un organe clos, l'ovaire. Sous-embanchement de plantes phanérogames, à ovaire clos, par opposition à celui des gymnospermes.

**ANNELE** : en forme d'anneau ; ex. vaisseau orné de lignifications en anneaux.

**ANNUEL** : une plante annuelle germe, fleurit, fructifie et meurt la même année. Les graines assurent la continuité de l'espèce.

**ANTHERE** : partie dilatée de l'étamine ; elle renferme les grains de pollen.

**ANTHESE** : synonyme de la floraison et de l'épanouissement de la fleur.

**ANTICLINE** : dirigé perpendiculairement à une surface. Des divisions cellulaires p. ex. se font perpendiculairement à un méristème.

**ANTIPODES** : cellules du sac embryonnaire, situées à l'opposé de l'oosphère, chez les Spermaphytes.

**APERTURE** : 1- dans un grain de pollen, amincissement ou absence de l'exine à l'endroit où se produira la germination du tube pollinique. 2- dans un sens plus général, l'aperture peut aussi être un trou, une ouverture.

**APEX** : extrémité d'un organe d'une plante, racine, tige, thalle. Chez les plantes supérieures, dans la racine et dans la tige, la région de l'apex est le siège de divisions intenses pour la formation de nouveaux tissus.

**APICAL** : situé à l'apex : cloche apicale, cellule apicale...

**ARBORESCENT** : qui se rapproche de la forme et des caractéristiques d'un arbre.

**ARBRE** : plante dont le tronc est ligneux et dont la hauteur, à l'état adulte, dépasse 5 à 6 mètres.

**ARBRISSEAU** : végétal de taille inférieure à celle de l'arbuste, un mètre environ.

**ARBUSTE** : végétal qui n'a que quelques mètres de hauteur. Souvent buissonnant.

**ASCIDIE** ou **URNE** : feuille de plante carnivore enroulée en cornet ou en tube plus ou moins évasé. Népentes.

**ASSISE** : couche ou rangée de cellules. L'assise génératrice libéro-ligneuse produit du liber et du bois. Assise pilifère elle donne naissance aux poils absorbants des racines.

**AUBIER** : bois clair, vivant, périphérique qui provient du cambium et permet la circulation de la sève brute, celle qui vient des racines.

**AUTOTROPHE** : est considéré autotrophe un organisme qui puise directement dans le milieu environnant les éléments nécessaires à sa nutrition (trophe). L'assimilation chlorophyllienne qui est effectuée par les plantes vertes à partir du CO<sub>2</sub> de l'air et de l'eau est l'exemple le plus évident de l'autotrophie (autotrophie au carbone).

**AUXESIS** : accroissement de cellules en taille, élongation cellulaire sans division.

**AXILLAIRE, AXILLANT** : qualificatifs d'un organe qui se trouve fixé dans une aisselle sur une tige ; un bourgeon axillaire p. ex. se trouve à l'aisselle d'une feuille.

### B

**BAIE** : fruit à pépins ; il est issu d'un ou de plusieurs carpelles, le péricarpe est charnu, pulpeux. Groseille, Tomate.

**BASAL, BASILAIRE** ou **PROXIMAL** : qui se trouve proche de son point d'attache (racine, partie inférieure d'un organe).

**BASIPÈTE** : vers la base. ex inflorescence dans laquelle les fleurs s'épanouissent à partir du haut vers le bas. Iris.

**BASITONE** : dont la position est basse (pollinies soudées par la base) : dont la taille et l'importance sont plus grandes à la base (feuilles, branches).

**BILABIÉ** : Pourvu de deux lèvres par soudure incomplète des sépales ou des pétales. Corolle calice bilabiés.

**BILOCLAIRE** : qui renferme deux loges, un ovaire p. ex.

**BISANNUEL** : une plante bisannuelle vit deux ans ; la floraison ne se produit que la deuxième année.

**BISEXUE** : cf. HERMAPHRODITE

**BOIS** : le bois est le tissu conducteur de la sève brute, ascendante. En botanique, le terme de bois est plutôt réservé aux formations ligneuses secondaires, le bois primaire étant le xylème proprement dit (proto- et métaxylème). Le bois se compose d'éléments conducteurs - vaisseaux, trachéides - et d'éléments de soutien - fibres, rayons, cellules de parenchyme.

**BOUTURE** : Morceau d'une plante destiné à être replanté pour produire une nouvelle plante identique.

**BRACTÉE** : rudiment de feuille qui se trouve à la base d'une fleur ou d'une inflorescence.

**BRACTÉOLE** : Petite bractée.

**BRACTÉOLÉ** : Muni de bractées ou de bractéoles.

**BRECHE** ou **FENÊTRE** : solution de continuité dans une stèle. Les brèches sont occasionnées par des dérivations vasculaires de rameaux (brèches raméales) et de feuilles (brèches foliaires). Ex. structure ajourée de dictyostèle.

**BULBE** : organe renflé, généralement souterrain, à courte tige et feuilles denses et serrées autour d'un bourgeon central. Il est tunique (Oignon) ou écailleux (Lis) ; il renferme souvent des substances de réserve.

**BULBILLE** : petit bourgeon se formant en des endroits divers, en tant que réserve d'amidon.

## C

**CAÏEU** : bourgeon formé dans un bulbe. Ex. "gousse d'ail".

**CAL** : 1- tissu superficiel qui se développe en réponse à une blessure, grâce à l'activité du cambium. 2- tissu indifférencié formé dans les "cultures de tissus" in vitro.

**CALCICOLE** : Qui affectionne les terrains calcaires

**CALICE** : le calice d'une fleur est formé par l'ensemble des sépales.

**CALLOSE** : polysaccharide, 1- constituant de parois de Champignons, 2- obturant un tube criblé, 3- entourant les microspores après la méiose.

**CAMBIUM** : assise génératrice qui assure la croissance en épaisseur des organes végétatifs chez les Angiospermes. Le cambium vasculaire est l'assise libéro-ligneuse ; le phellogène, externe, est aussi un cambium.

**CAMPYLOTROPE** : qualifie un type d'ovule recourbé de telle sorte que le micropyle se trouve à proximité de la chalaze et du hile ; il est dépourvu de raphé.

**CAPSULE** : Fruit sec contenant plusieurs graines.

**CARNIVORE** : Plante carnivore : qui capture des proies animales et en absorbe les matières nutritives.

**CARPELLE** : élément femelle de la fleur d'Angiosperme ; sa base, renflée, est l'ovaire ; le style se termine par le stigmate récepteur du pollen. L'ensemble des carpelles d'une fleur est le gynécée ou pistil.

**CARYOTYPE** : Nombre et forme caractéristiques des chromosomes d'une espèce.

**CASPARIENNE (Bande)** : zone imperméable, imprégnée de subérine et de lignine, sur les parois des cellules de l'endoderme, surtout racinaire chez les Dicotylédones. Elle assure la régulation de l'eau, en obligeant celle-ci à passer par le cytoplasme vivant.

**CAULE** : autre nom de la tige.

**CAULINAIRE** : en relation avec la tige ; qui appartient à la tige.

**CELLULE** : unité anatomique chez les êtres vivants, constituée essentiellement d'un noyau et d'un cytoplasme ; elle est le siège de nombreuses fonctions physiologiques.

**CELLULOSE** : polysaccharide à motif glucosé, élément constitutif des parois des cellules végétales.

**CENTRIFUGE** : qui va du centre vers la périphérie. La croissance du xylème est centrifuge dans une tige.

**CENTRIPÈTE** : qui se dirige vers le centre. La croissance du xylème est centripète dans une racine.

**CEREALE** : plante dont les graines servent à la fabrication du pain.

**CERNE** : anneau ligneux. Les cernes sont des anneaux d'accroissement ligneux qui s'accumulent chaque année sur les troncs d'arbres. Chaque cerne annuel est formé de bois clair printanier et de bois sombre automnal.

**CHALAZE** : zone d'insertion et de division du funicule dans l'ovule des Angiospermes ; elle est souvent opposée au micropyle.

**CHAMEPHYTE** : plante basse dont les bourgeons demeurent presque au ras du sol. Bruyère, Thym.

**CHAUME** : tige noueuse de Graminée.

**CHITINE** : Substance organique azotée de la cuticule des insectes et autres arthropodes.

**CHLOROPHYLLE** : pigment vert azoté et magnésien qui donne à des organes végétaux une teinte verte ; il permet l'absorption de l'énergie lumineuse dans la photosynthèse.

**CHLOROPLASTE** : organite de la cellule végétale qui renferme la chlorophylle et donne aux feuilles et aux jeunes tiges leur teinte.

**CHROMOPLASTE** : plaste coloré. Chez les Rhodophytes, les Chromophytes et les Pyrrhophytes, de la phycoérythrine, des pigments caroténoïdes et de la fucoxanthine s'ajoutent à la chlorophylle et en modifient la teinte.

**CILIE** : Bordé de poils semblables à des cils.

**CLONE** : Espèce identique copie conforme au modèle original.

**COCCOLITHES** : plaques calcaires formant le revêtement des cellules de Coccolithophoridées ; ces plaques se dissocient à la mort de l'Algue et sont fossilisées. La craie est constituée par l'accumulation de coccolithes.

**COLEOPTILE** : étui qui protège les jeunes feuilles et s'accroît en même temps qu'elles, par la région terminale. Graminées.

**COLEORHIZE** : étui qui protège la racine de certaines plantules. Graminées.

**COLLENCHYME** : tissu de soutien vivant dont les parois celluloses s'épaississent sans se lignifier ; on le trouve fréquemment dans les tiges et les feuilles.

**COLLET** : zone située entre la racine et la tige d'une plantule ; ses limites fondées sur les cellules périphériques ne sont pas toujours distinctes.

**CONCAVE** : Dont la surface est creuse.

**CONTIGU** : Qui se touche.

**CONNECTIF** : zone parenchymateuse qui fait la liaison entre les sacs polliniques des anthères ; il prolonge le filet staminal, il renferme un faisceau criblo-vasculaire.

**CORDIFORME** : En forme de cœur.

**CORMOPHYTE** : tout végétal (dit supérieur), possédant racine (ou rhizoïdes, chez les Bryophytes), tige (tronc) et feuilles est un Cormophyte, par opposition à un Thallophyte (végétal dit inférieur : Algues).

**CORMUS** : "axe feuillé", appareil végétatif propre aux Cormophytes, par opposition au thalle des Thallophytes.

**COROLLE** : ensemble des pétales d'une fleur.

**CORTEX** : autre nom de l'écorce en général. Dans une tige ou dans une racine de plante supérieure, c'est le tissu qui entoure les faisceaux libéro-ligneux ; il est formé surtout de cellules de parenchyme.

**CORYMBE** : Inflorescence présentant des fleurs sur un seul plan portées par des pédoncules de longueurs inégales.

**COTYLEDON** : feuille primitive souvent nourricière, permettant à la plantule de subsister jusqu'à l'enracinement. Parmi les Angiospermes, on distingue les Monocotylédones (1 cotylédon) et les Dicotylédones (2 cotylédons).

**CRIBLE** : percé de trous fins. Le tube criblé ou tube libérien est pourvu de cloisons transversales perforées ; les trous permettent une communication intercellulaire ; ils sont obturés en hiver par de la callose.

**CRYPTOGAMES** : Plantes sans fleurs dont les organes reproducteurs sont peu visibles. Ex : algues, mousses, fougères.

**CUNÉIFORME** : En forme de coin.

**CUTICULE** : couche externe, rendue souvent imperméable par la présence de cires, elle protège l'épiderme des tiges et feuilles des végétaux supérieurs.

**CUTINE** : substance plus ou moins cireuse de la cuticule, résistante et protectrice.

**CYCLOSE** : mouvement giratoire continu dans la masse protoplasmique, observé p. ex. grâce aux chloroplastes.

**CYLINDRE CENTRAL** : ensemble des tissus conducteurs, constitué de parenchyme, de xylème, de phloème ; dans la racine, il est limité extérieurement par le péricycle ; il existe dans la racine et dans la tige.

**CYME** : inflorescence de type sympodial ; une cyme peut être unipare, bipare, multipare ; dans le premier cas, elle est soit hélicoïdale, soit scorpioïde.

**CYTOCINESE** : division cellulaire, mitose.

**CYTODIERESE** : division du cytoplasme, postérieure à celle du noyau, à la fin de la mitose.

**CYTOPLASME** : ensemble des éléments cellulaires à l'exclusion du noyau ; il comprend différents organites (chondriome, réticulum endoplasmique, appareil de GOLGI, plastides,...) et des inclusions.

## D

**DÉCOMBANT** : Qui se dirige vers le bas à l'extérieur.

**DEHISCENT** : qui s'ouvre de soi-même, sans intervention extérieure ; un fruit déhiscent porte des lignes de moindre résistance (couche d'abscission) qui lui permettent de s'ouvrir spontanément. Capsule, gousse, silique.

**DENTICULÉ** : Bordé de dents fines ou superficielles.

**DIOECIE** ou **DIECIE** = état DIOÏQUE, unisexué. Cas dans lequel les sexes sont séparés ; la plante possède des pieds mâles et des pieds femelles. Chanvre, marronnier.

**DICHOTOMIE** : division qui se produit à partir du sommet d'un axe : la dichotomie est isotone lorsque les deux rameaux sont égaux ; elle est anisotone lorsque les deux rameaux sont d'inégale importance.

**DISTAL** : qui se trouve loin de son point de fixation.

**DIVERGENTS** : Qui s'écartent à partir d'un point de départ commun.

**DORMANCE** : état de latence ou de vie ralentie.

**DRAGEON** : tige issue d'un bourgeon adventif racinaire, à la base d'une plante dont il assure la propagation.

**DRUPE** : fruit charnu. L'épicarpe ou exocarpe est une pellicule, le mésocarpe est pulpeux, l'endocarpe, dur et lignifié est le noyau qui renferme la graine. Cerise, Abricot, Pêche. Les drupes composées sont des POLYDRUPES. Mûre, Framboise.

**DURAMEN** : bois ancien dit "bois parfait" ou "bois de coeur", bois interne et dur s'oppose à l'aubier, bois externe et tendre.

## E

**ECAILLE** : 1- organe rudimentaire souvent inséré à la base d'une feuille. 2- feuille modifiée de bulbe, Lis.

**EMBRYON** : jeune plantule avant la germination, alors qu'elle est encore incluse dans la graine.

**ENDÉMIQUE** : Qualifie une plante native d'une région déterminée et que l'on ne trouve pas ailleurs en site naturel.

**ENDOCARPE** : partie la plus interne du péricarpe. L'endocarpe est souvent ligneux (noyaux des drupes).

**ENDODERME** : assise cellulaire de la racine qui entoure le cylindre central et délimite la couche interne de l'écorce.

**ENDOTHECIUM** : formation interne de la paroi d'un sac pollinique.

**ENTRE-NOEUD** : espace compris entre deux noeuds sur un axe, sur une tige ; nommé aussi MERITHALLE.

**ENZYME** : Substance organique active catalytique capable de produire des réactions chimiques et favorisant la digestion.

**EPI** : inflorescence simple, de type monopodial où l'axe unique porte des fleurs sessiles (sans pédoncule).

**EPILLET** : petit épi contribuant à la formation d'un épi composé ou d'une panicule.

**EPICARPE** : zone la plus externe du péricarpe d'un fruit.  
L'épicarpe est la membrane ou peau du fruit.

**EPICOTYLE** : dans l'embryon ou la plantule, partie de l'axe située au-dessus du point d'attache des cotylédons.

**EPIDERME** : assise cellulaire externe d'un organe quelconque de la plante, constitué par un épithélium simple.

**EPIGÉE** : dans la germination épigée, les cotylédons sont portés au-dessus du sol par un axe hypocotylé. Haricot.

**EPIPHYTE** : qui vit à la surface des plantes, mais non en parasite. Plante vivant sur un autre végétal (arbre en général) sans en être le parasite.

**ESPÈCE** : Ensemble d'individus interféconds étroitement apparentés par leurs caractères.

**ÉTAMINE** : organe mâle d'une fleur ; elle se compose d'un élément mince et allongé, le filet, qui supporte l'anthère où mûrit et d'où s'échappe le pollen.

**EUCARYOTE** : qui possède un vrai noyau.

**EXINE** : enveloppe externe d'un grain de pollen.

## F

**FAISCEAU** : groupement d'éléments spécialisés ou différenciés : faisceau cribro-vasculaire : fibres de soutien + xylème + phloème. Faisceau libéro-ligneux : liber + bois.

**FAMILLE** : Classement systématique qui regroupe les espèces ayant des caractères morphologiques communs. Les plantes carnivores ne constituent pas une famille mais un groupe de plantes aux adaptations similaires.

**FASCICULE** : les racines fasciculées sont nombreuses et peu profondes, contrairement aux racines pivotantes.

**FEUILLE** : organe des Cormophytes ; dans la feuille s'opère la fonction chlorophyllienne.

**FIBRE** : cellule allongée, isolée, ou groupée dans un tissu FIBREUX ; ses parois sont souvent épaissies. Les fibres ligneuses sont des cellules allongées et mortes. Les fibres sont utilisées dans l'industrie du textile : Chanvre, Lin... Associées aux vaisseaux, les fibres forment le faisceau cribro-vasculaire.

**FILET** : élément mince et allongé de l'étamine, support de l'anthère.

**FLEUR** : la fleur est un organe de plantes supérieures. Gymnospermes et Angiospermes ; elle précède le fruit. Le mode de groupement des fleurs est l'inflorescence, dont les types sont variés. Le pédoncule floral est l'axe de la fleur. Les pièces florales sont d'une part stériles et protectrices (sépalés et pétales), d'autre part fertiles (carpelles et étamines).

**FOLIOLE** : 1- petite feuille. 2- élément d'une feuille composée.

**FONGICIDE** : Se dit d'un produit utilisé pour le traitement des maladies cryptogamiques.

**FORME** : Type en général clairsemé souvent sporadique apparaissant dans les populations d'une espèce présentant un seul caractère déviant.

**FRUIT** : il résulte de la fécondation de la fleur. Un vrai fruit résulte du développement du gynécée après la fécondation. Dans un "faux-fruit", une autre partie de la fleur, le réceptacle, concourt à la formation du fruit.

**FUNICULE** : petit cordon opérant la jonction entre le placenta et la base de l'ovule chez les Angiospermes.

## G

**GAINE** : gaine foliaire, étui à la base d'une feuille chez les Angiospermes.

**GAMÉTANGE** : organe dans lequel se forment les gamètes de végétaux supérieurs.

**GAMÈTE** : cellule sexuée formée sur un gamétophyte. La fusion des gamètes donne l'oeuf ou zygote.

**GAMÉTOPHYTE** : structure haploïde qui porte les gamètes formés dans les organes de reproduction. Chez les Spermaphytes le gamétophyte femelle est le sac embryonnaire, le gamétophyte mâle est le grain de pollen.

**GEMMULE** : dans l'embryon, premier bourgeon qui se trouve entre les cotylédons. Végétaux supérieurs.

**GEMME-GEMMAE** : Sorte de bourgeon de petites dimensions produit par la plante et pouvant former une nouvelle plante identique au pied mère.

**GEOPHYTE** : plante pérenne dont le bulbe ou le tubercule demeure enfoui l'hiver dans le sol (Tulipe).

**GLABRE** : Dépourvu de poils.

**GLANDULEUX** : muni de glandes.

**GRAINE** : organe contenant l'embryon et ses réserves ; ne germe que lorsque les conditions sont favorables.

**GRANUM** : (grana au pluriel) empilement de thylakoïdes ; ils contiennent les pigments (Chlorophylles et caroténoïdes) et sont le siège des réactions lumineuses de la photosynthèse.

**GRAPPE** : inflorescence souvent indéfinie dans laquelle les pédoncules floraux ont souvent des longueurs voisines ; elle peut être simple (racème) ou composée.

**GUTTATION** : exsudation à travers des hydathodes (stomates aquifères) au bord des feuilles.

**GYNECEE** ou **PISTIL** : au centre de la fleur des Angiospermes, organe femelle formé d'un ou plusieurs carpelles.

**GYNOPHORE** : pédoncule floral d'Angiosperme qui supporte les carpelles.

## H

**HALOPHYTE** : plante adaptée aux substrats à forte concentration saline : mers, régions désertiques salées.

**HAMPE florale (ou SCAPE)** : longue tige dépourvue de feuilles et portant à son sommet une fleur ou une inflorescence. Plantes à bulbes, Tulipe.

**HAPLOÏDE** : dont le noyau possède n chromosomes.

**HAUSTORIUM** et plur. **HAUSTORIA** : 1- suçoir dont l'implantation se fait dans l'hôte à partir d'une branche d'hyphe. Dans les associations lichéniques, les haustoria pénètrent dans les cellules algales ou gonidies 2- les haustoria sont des suçoirs provenant de l'expansion de l'albumen de Gamopétales. Ericales.

**HELIOPHILE, HELIOPHYTE** : plante qui a besoin de soleil.

**HEMICRYPTOPHYTE** : plante dont les bourgeons se maintiennent au ras du sol.

**HEMIPARASITE** : parasite qui vit aux dépens de son hôte pour de nombreuses fonctions ; mais il possède de la chlorophylle, ce qui lui permet de demeurer quand même autonome quant à la fixation du carbone de l'air.

**HERBACEE** (plante) : dont la tige est verte et peu consistante ; généralement de petite taille, mais certaines plantes herbacées peuvent atteindre plusieurs mètres tout en gardant une certaine souplesse.

**HERMAPHRODITE** : Se dit d'une plante portant des organes des deux sexes.

**HETEROPHYLLE** (plante) : qui a deux ou plusieurs sortes de feuilles : plante aquatique p. ex., chez laquelle les feuilles sont immergées, à la surface de l'eau, hors de l'eau. Sagittaire.

**HETEROXYLE** : se dit d'un bois qui comporte des vaisseaux, des fibres, et éventuellement, des trachéides. Chez la majorité des Angiospermes.

**HIBERNACLE** : Bourgeon de certaines plantes se formant pour résister aux rigueurs de l'hiver et en vue du renouvellement de la plante au printemps. Synonyme: turion.

**HILE** : 1- point d'attache du funicule de l'ovule ; il se présente à la surface de la graine sous la forme d'une cicatrice (Haricot p. ex.). 2- point de départ, première ébauche de la formation du grain d'amidon.

**HISTOGENE** : est histogène, tout tissu méristématique d'une racine ou d'une tige, qui est à l'origine de tissus différenciés.

**HOMOPHYLLE** : Se dit d'un végétal à feuilles semblables.

**HORMONE** : Substance produite par les plantes qui déclenche le développement de leurs organes. Des hormones de synthèse ont été mises au point afin de faciliter la reprise des boutures des végétaux.

**HYALOPLASME** : substance fondamentale du cytoplasme, à l'état de gel, qui contient les organites de la cellule.

**HYBRIDE** : Croisement entre deux espèces différentes de la même famille. L'hybride est souvent stérile.

**HYDROPHYTE** : plante aquatique ; vit dans l'eau ou dans un endroit humide.

**HYPERTONIQUE** : milieu dont la pression osmotique est supérieure à celle du milieu adjacent.

**HYPODERME** : tissu sous-épidermique à parois cellulaires épaisses, dans certaines feuilles et tiges.

**HYPOGEE** : se dit d'une germination dans laquelle les cotylédons restent au niveau du sol. Ex: Pois.

## I

**INDEHISCENT** : qui ne s'ouvre pas. L'akène est un fruit indéhiscent.

**INFER, INFERE, INFEROVARIE** : qualificatifs qui s'appliquent dans la fleur à l'ovaire, lorsque celui-ci s'insère sous la corolle et adhère au réceptacle.

**INFLORESCENCE** : groupement de fleurs, de type sympodial ou monopodial. Une inflorescence est dite définie (centrifuge) ou indéfinie (centripète).

**INFRUTESCENCE** : transformation d'un groupement de fleurs en groupement de fruits.

**INFUNDIBULIFORME** : En forme d'entonnoir.

**INTERFASCICULAIRE** : se dit d'un tissu ou cambium qui se développe entre les faisceaux vasculaires.

**INTINE** : assise interne élastique de la paroi d'un grain de pollen.

**INVOLUCRE** : ensemble de bractées découpées qui entourent une ombelle en un ou plusieurs verticilles. Ombellifères, Carotte.

**INSECTIVORE** : Qui capture des insectes et en absorbe les matières nutritives. Plante carnivore.

**ISOTONIE** : égalité de concentration de deux solutions ou de cellules voisines.

## L

**LACUNE** : 1- espace intercellulaire dans un parenchyme. 2- vide créé par la disparition de moelle dans une tige (canal central). La suspension de plantes aquatiques dans l'eau est réalisée grâce à des "lacunes" remplies d'air.

**LANCEOLE** : qui a la forme d'un fer de lance. Ex: feuille de Plantain.

**LATICIFERES** : les canaux laticifères sont caractéristiques des Euphorbes ; les laticifères sont souvent de longues cellules contenant un LATEX ou caoutchouc. genre Hevea (caoutchouc).

**LENTICELLE** : voie d'aération des couches du liège, permettant les échanges respiratoires à la surface de tiges ou de fruits charnus.

**LIANE** : plante ligneuse qui s'enroule autour d'un support (plante volubile : Houblon, Haricot) ou qui s'accroche sur un support (plante grimpante : Lierre, Vigne).

**LIBER SECONDAIRE** : tissu conducteur de sève descendante élaborée ; associé au bois dans les faisceaux libéro-ligneux, il en est séparé par une assise génératrice. Il n'existe que chez les végétaux vasculaires. Il est formé de cellules, de fibres, de tubes et a souvent une structure feuilletée rappelant celle d'un livre. Les tubes LIBERIENS ou tubes criblés ont leurs cloisons percées de pores.

**LIBERO-LIGNEUX** (faisceau) : qui comporte Liber + Bois.

**LIGNEUX** : qui contient du xylème primaire ou secondaire. Appareil ligneux = bois.

**LIGNIFIE** : enduit et incrusté de lignine.

**LIGNINE** : un des constituants organiques du bois, formé de polyphénols complexes ; on la trouve dans les tissus conducteurs des végétaux vasculaires. Elle est dégradée surtout par des Champignons.

**LIGULE** : 1- languette membraneuse de la face supérieure des feuilles de Graminées 2- languette dentelée de la corolle des fleurs de Composées ; les fleurs qui en sont munies sont dites ligulées (Aster).

**LIMBE** : partie essentielle d'une feuille, siège de la photosynthèse. Le limbe est sessile ou rattaché à la tige par le pétiole.

**LINÉAIRE** : Long étroit dont les bords sont sensiblement parallèles entre eux.

**LITHOPHYTES** : Végétaux capables de croître en milieux rocheux ou rocailloux.

**LUTOÏDES** : très petites vacuoles, présentes en grand nombre dans certains laticifères. Hevea.

## M

**MACROSPORANGE** : cf. MEGASPORANGE.

**MANGROVE** : formation boisée tropicale, marine ou estuarienne, se développant sur des sols immergés.

**MARCOTTAGE** : enracinement d'un rameau, recourbé au niveau du sol ; la nouvelle racine produit ainsi une nouvelle plante ou **MARCOTTE**.

**MEATS** : espaces intercellulaires. Ex. parenchymes.

**MEDULLAIRE** : relatif à la moelle. Ex: rayons médullaires = expansions entre les faisceaux vasculaires.

**MEGASPORANGE** ou **MACROSPORANGE** : sporange de grande taille qui contient des mégaspores.

**MEIOSE** : ensemble de deux divisions cellulaires successives aboutissant à une réduction chromatique (**MEIOTIQUE**).

**MEMBRANE** : limite d'une cellule. Membrane cytoplasmique, limite de la cellule. La paroi est extérieure à la membrane. La membrane nucléaire, qui limite le noyau, est absente chez les Procaryotes.

**MERISTÈME** : groupe de cellules non différenciées, dont les divisions actives permettent la formation d'organes et la croissance en longueur et en épaisseur (méristème sub-apical de la racine et apical de la tige, méristème secondaire ou cambium, méristème d'attente ou proméristème).

**MESOCARPE** : couche moyenne du péricarpe d'un fruit ; situé entre l'épicarpe et l'endocarpe. Correspond souvent à la partie comestible d'un fruit charnu. Pomme, pêche, raisin,...

**MESOPHYLLE** : parenchyme de la feuille, situé entre l'épiderme supérieur et l'épiderme inférieur ; il est homogène, ou il peut se différencier en tissu lacuneux et tissu palissadique.

**MESOPHYTE** ou plante **MESOPHILE** : qui craint à la fois la sécheresse extrême et l'excès d'humidité ; intermédiaire entre xérophyte et hydrophyte.

**METABOLISME** : ensemble de réactions biologiques dans un organisme ou une cellule.

**METAPHLOÈME** : phloème primaire, qui se différencie après le protophloème.

**METAXYLÈME** : xylème primaire, qui se différencie après le protoxylème.

**MICROFIBRILLE** : fibre cellulosique dans la paroi des cellules végétales ; de dimensions très restreintes, elle n'est visible qu'au microscope électronique.

**MICROPYLE** : orifice du sommet de l'ovule. Cet orifice, en interrompant les téguments, laisse le nucelle à découvert, ce qui permet la pénétration du tube pollinique vers le sac embryonnaire. Anciennement **FORAMEN**.

**MICROSPORE** : spore qui donne naissance à un gamétophyte mâle.

**MITOCHONDRIE** : granule cellulaire = **CHONDRIO(SO)ME**, siège de la respiration (production d'énergie).

**MITOSE** : une division nucléaire est dite équationnelle ou **MITOTIQUE** lorsque le nombre de chromosomes est conservé.

**MOELLE** : tissu mou remplissant l'intérieur du cylindre central des végétaux supérieurs ; elle est entourée de xylème.

**MONOECIE** : coexistence de fleurs mâles et de fleurs femelles sur une même plante, mais non dans une même fleur (différence avec l'hermaphrodisme).

## N

**NECTAIRE** : chez les Angiospermes, formation sécrétrice qui est associée souvent à une fleur (pétale, ovaire, tube floral), parfois à une feuille ou une bractée ; les nectaires attirent les insectes qui recherchent le nectar.

**NERVATION** : disposition des nervures d'une feuille.

**NERVURE** : ligne saillante sur le limbe, qui est la marque d'un faisceau libéro-ligneux de la feuille.

**NITROPHILE** : qui se plaît dans les sols pourvus de nitrates, de composés nitrés. Les **NITROPHYTES** sont des plantes de décombres, dites encore, pour cette raison, rudérales. Ex: Ortie.

**NOYAU** : 1- organite porteur d'ADN présent dans une cellule d'organisme Eucaryote ; 2- endocarpe qui entoure la graine d'un fruit (cas des drupes) ; 3- dans un sac embryonnaire d'Angiosperme, les noyaux centraux ou noyaux polaires sont dits aussi noyaux accessoires ou secondaires, ils sont à l'origine de la formation de l'albumen.

## O

**OEUF** : gamète femelle fécondé et n'ayant pas encore subi de divisions = Zygote.

**ORGANITE** ou **ORGANELLE** : élément cellulaire dont la structure et la fonction sont bien définies.

**OSMOSE** : phénomène de diffusion qui s'opère entre deux solutions dont les concentrations sont différentes.

**OSTIOLE** : petite ouverture, parfois réduite à l'état de fente, entre deux cellules écartées ; ouverture d'un stomate, ouverture au sommet d'une pycnide, d'un périthèce.

**OVAIRE** : base renflée d'un carpelle chez les végétaux supérieurs, qui renferme les ovules.

**OVULE** : l'ovule est l'organe femelle des Spermaphytes. Il y a un ou plusieurs ovules dans le gynécée. N.B. En botanique, un ovule est un organe renfermant le gamète femelle. En zoologie, un ovule est un gamète femelle mûr, l'ovaire étant l'organe.

## P

**PALISSADIQUE** : tissu du mésophylle à cellules chlorophylliennes parallélipédiques et jointives (palissade).

**PALMATILOBE** : le limbe est palmatilobé (feuille d'Erable) lorsque les lobes sont peu profonds.

**PALMÉE** : la complète séparation des lobes donne une feuille palmée ; la disposition est rayonnée depuis la base, comme les doigts à partir de la paume. Ricin.

- PARAPLASME** : ensemble des constituants "inertes" plongés dans la substance vivante cellulaire (vacuoles, granulations).
- PARENCHYME** : tissu vivant de remplissage, dans lequel les parois celluloses sont minces ; les cellules sont assez peu différenciées. Il comporte souvent des méats et est souvent un tissu de réserve (écorce, moelle).
- PARTHENOCARPIE** : formation du fruit sans fécondation de l'ovule ; il n'y a pas de germination, du fait de l'absence de graine (aspermie) Ex. Banane, Raisin sans pépins.
- PARTHENOGENESE** : un gamète femelle peut se diviser, un développement embryonnaire peut ensuite avoir lieu sans qu'il y ait eu fécondation ; on obtient le plus souvent un individu haploïde.
- PECTINE** : et substances PECTIQUES polysaccharides constituants de la paroi cellulaire des végétaux ; grâce à la pectine, certains fruits sont gélatifiables, i.e. prennent en gelée. Groseilles.
- PEDALE** : dans une feuille pédalée, les deux nervures principales sont divergentes et les lobes secondaires vont jusqu'à former une sorte d'éventail.
- PERENNE** ou **PERENNANT** : 1- un arbre est un organisme durable, donc pérenne, qui ne subit que peu de modifications tout au long de l'année 2- une plante est vivace, mais non pérenne, lorsqu'elle ne peut survivre, pendant la mauvaise saison, que grâce à ses organes souterrains (racines, tubercules,...).
- PERIANTHE** : dans une fleur, il se compose de l'ensemble de sépales sur le verticille extérieur formant le calice, et de pétales du verticille suivant qui forme la corolle.
- PERICARPE** : ancienne paroi de l'ovaire qui entoure la graine ; dans le fruit sous sa forme typique, il comprend l'épicarpe, le mésocarpe et l'endocarpe.
- PERICLINE** : dirigé parallèlement à la surface ; qualificatif qui s'applique à l'orientation de la paroi, ou à la direction des divisions cellulaires par rapport à la surface d'un méristème.
- PERICYCLE** : première assise du cylindre central, située au contact et à l'intérieur de l'endoderme. Le péricycle ne comporte généralement qu'une assise.
- PETALE** : élément stérile, qui fait partie de la corolle d'une fleur ; le verticille des pétales entoure celui des éléments fertiles de la fleur, androcée (étamines) et gynécée (pistil).
- PETIOLE** : axe mince et étroit qui rattache le limbe de la feuille à la tige.
- PHAGOCYTOSE** : ingestion de substances solides par un organisme unicellulaire : des particules sont digérées dans les vacuoles digestives de la cellule.
- PHANEROPHYTE** : plante dont les bourgeons ont une position élevée ou relativement élevée (au moins 25 cm du sol), qu'il s'agisse d'un arbre, d'un arbuste ou d'un arbrisseau.
- PHELLODERME** : parenchyme secondaire formé de cellules à parois celluloses contenant de la chlorophylle (dans la tige) et des substances de réserves. Par opposition au liège, le phelloderme est un tissu vivant.
- PHELLOGENE** ou assise **SUBERO-PHELLODERMIQUE** : méristème secondaire ; assise productrice a- vers l'intérieur, de phelloderme ou écorce secondaire ; b- vers l'extérieur, de liège ou suber.
- PHLOEME** : tissu conducteur de sève descendante élaborée ; dans l'ordre d'apparition du phloème, on distingue le proto-phloème puis le métaphloème.
- PHOTOSYNTHESE** (ASSIMILATION **CHLOROPHYLLIENNE**) : la lumière est indispensable à la plante pourvue de plastes chlorophylliens, les cellules élaborent des glucides à partir du CO<sub>2</sub> atmosphérique et de l'eau ; elles le font grâce à leur pouvoir de transformation de l'énergie lumineuse en énergie chimique.
- PHYLUM** : rameau évolutif, lignée de formes qui se suivent tout en évoluant.
- PINOCYTOSE** : processus analogue à la phagocytose, les substances absorbées ici étant liquides et non solides.
- PISTIL** ou **GYNECEE** : organe floral femelle des Angiospermes, ainsi nommé en raison de sa forme.
- PLACENTA** : partie de la paroi de l'ovaire qui porte les ovules, par analogie avec le placenta animal.
- PLACENTATION** : disposition de placenta dans l'ovaire ; le placenta est relégué sur la paroi de l'ovaire dans la position pariétale ; il est par contre au centre dans les placentations centrale et axile (ovaire pluriloculaire).
- PLANTULE** : jeune plante qui comprend radicule, tigelle, gemmule et cotylédons.
- PLASMALEMME** : membrane cytoplasmique ou membrane plasmique.
- PLASMOLYSE** : migration de l'eau hors du cytoplasme dans le phénomène d'osmose, lorsque la concentration extérieure est supérieure à celle de la cellule ; l'inverse est la turgescence.
- PLASTES** : Organite caractéristique des cellules des végétaux supérieurs capable de fixer diverses substances et dans lequel peuvent s'accumuler des pigments, dont le plus important est la chlorophylle. Corpuscules du cytoplasme ; ils élaborent souvent des pigments : chromoplastes, chloroplastes. Les leucoplastes sont incolores.
- PLASTIDOME**, subst. masc. Le plastidome. On groupe sous ce terme un ensemble d'organites exclusifs de la cellule végétale, les plastes.
- PNEUMATOPHORES** : dits aussi "racines respiratoires" racines à découvert, caractéristiques des arbres de mangroves ; elles permettent les échanges gazeux avec les racines submergées et évitent ainsi l'asphyxie.
- POIL** : 1- le poil a un rôle de protection chez les végétaux comme chez les animaux. 2- il a un rôle sécréteur. 3- il a aussi un rôle d'absorption (poils absorbants de l'assise pilifère des racines).
- POLLEN** : structure fertile mâle, contenue dans l'anthère des étamines des fleurs ; le pollen se présente en grains qui renferment les gamètes mâles ou spermatozoïdes. Gamétophyte mâle.
- POLLINIQUE** : le sac pollinique est la loge de l'anthère, sa paroi s'ouvre pour laisser échapper les grains de pollen. Le tube pollinique naît d'une hernie de l'intine du grain de pollen, permettant d'atteindre l'ovule.
- POLLINISATION** : transport de pollen de l'étamine au stigmate, par différents moyens de propagation : autopolinisation dans une même fleur, pollinisation par les insectes, le vent, l'air...

**PONCTUATION** : interruption partielle d'une paroi cellulaire, permettant une communication entre les cytoplasmes des cellules voisines (par les plasmodesmes). Les ponctuations ne sont que des amincissements partiels de parois ; les perforations, elles, sont de véritables trous dans la totalité de la paroi.

**PREDATION** : les plantes carnivores attirent les Insectes sur leurs feuilles transformées en piège. Drosera, Dionée

**PRIMAIRE** : le xylème, le phloème sont primaires lorsqu'ils proviennent directement du méristème primaire d'une racine ou d'une tige: un cambium (méristème secondaire) est la zone génératrice des tissus secondaires.

**PROCAMBIUM** : tissu à partir duquel se forment les faisceaux libéro-ligneux primaires. Le cambium assure les formations secondaires.

**PROCARYOTE** : organisme dans lequel le matériel nucléaire ne constitue pas encore un véritable noyau (nucléotide) ; la membrane nucléaire est absente. Bactéries, Cyanophytes.

**PROTOPHLOÈME** : formation des premiers éléments du phloème ; précède le métaphloème.

**PROTOPLASME** : matériel vivant de la cellule, cytoplasme et noyau.

**PUBESCENT** : recouvert d'un tissu fin et serré, duveteux. Chêne pubescent.

## R

**RACINE** : organe généralement souterrain ; axe de fixation de la plante au sol ; elle assure l'absorption de substances nutritives (eau + sels minéraux) contenues dans le sol. Une racine peut être prostrée, fasciculée, traçante, ou aérienne.

**RADICELLE** : racine très fine, dont le rôle absorbant est primordial.

**RADICULE** : Jeune racine qui se forme à la base d'une plantule, devenant ensuite la racine de la plante.

**RECEPTACLE** : En général, extrémité renflée au sommet d'un pédoncule, qu'il s'agisse p. ex. de la structure supportant des organes reproducteurs de Bryophytes ou de l'axe floral d'Angiospermes (thalamus).

**RETICULE** : Disposé en filet, en réseau; terme applicable à un conduit vasculaire (perforations réticulées).

**RHIZOME** : Tige souterraine rampante à allure de racine ; des bourgeons peuvent prendre naissance sur son parcours, assurant ainsi la propagation de la plante. Iris, muguet.

**ROSETTE** : Groupement de feuilles autour d'une tige courte, presque au niveau du sol. Primevère.

## S

**SAC EMBRYONNAIRE** : partie de l'ovule des Angiospermes qui renferme le gamète femelle ou oosphère. Gamétophyte femelle.

**SAGITTE** : en forme de flèche, p. ex. feuille émergée de Sagittaire.

**SCALARIFORME** : 1- se dit de l'ornement de trachéides ou de la perforation de vaisseaux. De larges traits parallèles (à la façon des barreaux d'une échelle) sont dus à des épaississements de parois secondaires. 2- s'applique aussi au mode de reproduction de certaines Algues vertes.

**SCIAPHILE** ou **SCIOPHILE** : qui apprécie les zones d'ombre ; les **SCIAPHYTES** sont des plantes d'ombre.

**SCLERENCHYME** : tissu de soutien mort, constitué de cellules à parois épaisses lignifiées.

**SCLERITE** ou **SCLEREIDE** : cellule durcie dont la paroi est le plus souvent lignifiée, et dont la forme peut varier ; ces cellules se rencontrent dans le parenchyme de fruits tels que la Poire.

**SCORPIOÏDE** : l'inflorescence dite cyme scorpioïde est recourbée en forme de queue de Scorpion ; elle est unipare, à rameaux antidromes. Myosotis.

**SCUTELLUM** : large cotylédon d'un embryon de Graminées, qui a la forme d'un bouclier.

**SECONDAIRE** : qualifie le bois ou le liber issu d'un cambium, ainsi que le liège ou le phelloderme.

**SEMPERVIRENT** ou **SEMPERVIRENS** : toujours vert, c'est le cas des Conifères.

**SEPALES** : pièces stériles externes de la fleur, dont l'ensemble forme le calice ; ils alternent avec les pétales, éléments de la corolle.

**SESSILE** : Qui ne possède pas de pédoncule ou pas de pétiole.

**SEVE** : C'est le liquide qui circule dans les plantes ; à l'état brut, c'est la sève ascendante ; à l'état transformé, c'est la sève descendante dite élaborée.

**SPORE** : Cellule haploïde produite sur le sporophyte, et qui, dans l'alternance de générations, donne naissance au gamétophyte porteur de gamètes.

**SQUAMEUX, SQUAMIFORME** : Qui porte des écailles, qui a une forme d'écaille.

**STELE** : Appareil conducteur des végétaux supérieurs, qui comprend le xylème et le phloème auxquels sont associés l'endoderme, le péricycle, et fréquemment les rayons ligneux.

**STIGMATE** : Renflement terminal du style qui surmonte l'ovaire ; il retient le grain de pollen à sa surface.

**STIPULE** : Organe double situé de part et d'autre de l'insertion de la feuille sur la tige. Les stipules se présentent sous la forme de petites excroissances foliacées, écaillieuses ou épineuses.

**STOLON** : Longue tige à croissance horizontale qui s'enracine au niveau d'un noeud ; les feuilles à ce niveau sont plus petites que celles portées par la tige principale. Ex: Fraisier.

**STOMATE** : échancrure, par écartement, entre deux cellules épidermiques dites **STOMATIQUES**. Il permet les échanges gazeux, la transpiration, l'assimilation chlorophyllienne ; l'ostiole est l'orifice du stomate ; les cellules qui l'entourent sont les cellules de garde.

**STROMA** : substance interlamellaire d'un chloroplaste.

**STYLE** : prolongement en hauteur du carpelle, limité à sa partie supérieure par le stigmate ; il véhicule le tube pollinique vers l'ovaire.

**SUBEREUX** : qui a la consistance du liège : assise **SUBEREUSE** couche de protection au niveau des racines.

**SUBERINE** : substance qui imprègne et protège le liège.

**SUCCULENCE** : rétention de l'eau dans un parenchyme ; c'est le cas pour les plantes grasses surtout. Cactées.  
**SUÇOIR** : organe adhésif qui tient lieu de racine chez une plante parasite, apte à se fixer sur un hôte. Gui.  
**SUPER** ou **SUPERE** : se dit de la position élevée de l'ovaire par rapport aux étamines et au périgone.  
**SUSPENSEUR** : ensemble cellulaire qui supporte un proembryon de Ptéridophyte ou de Spermaphyte.  
**SYNERGIDES** : dans un sac embryonnaire, cellules proches du micropyle, qui accompagnent l'oosphère.

## T

**TAPIS** : assise tapétale. Couche de cellules nourricières dans une anthère de Spermaphyte.  
**TEGUMENT** : 1- en général, enveloppe d'un organe. 2- enveloppe du nucelle chez les Angiospermes ; l'ovule est unitégminé ou bitegminé.  
**TEPALE** : la ressemblance totale des sépales et des pétales chez certaines formes florales a entraîné la création du mot tépale pour désigner dans ce cas le périgone ; l'ensemble des tépales est le périgone. Ex. Tulipe.  
**TETRADE** : groupement de quatre cellules, p. ex. à la suite de méioses.  
**THEROPHYTE** : plante annuelle qui ne vit véritablement qu'un été, pendant la belle saison.  
**TIGE** : axe de la plante, le plus généralement aérien, qui fait suite à la racine de la plante.  
**TIGELLE** : axe de la plantule ; elle porte les cotylédons, elle est déjà visible dans l'embryon.  
**TONOPLASTE** : membrane périvacuolaire.  
**TRACHEIDE** : cellule allongée et morte, à rôle conducteur, dont la paroi est lignifiée. Au contraire des vaisseaux, les trachéides ne sont pas perforés, mais ont des ponctuations (scalariformes, aréolées, simples).  
**TUBERCULE** : partie renflée, aérienne ou souterraine, d'une tige ou d'une racine ou d'un organe mixte, qui sert d'organe de réserve, et aussi de propagation.  
**TUNICA** : région méristimatique située au sommet de la tige des végétaux supérieurs.  
**TUNICA-CORPUS** : théorie (SCHMIDT, 1924) selon laquelle, dans une tige de Spermaphyte, le méristème apical de la tige est localisé dans une ou des couches cellulaires périphériques (la tunica qui commande la croissance en surface avec des divisions anticlines), et des couches sous-jacentes (le corpus dont les divisions sont anticlines et périclines).  
**TURGESCENTE** : gonflement d'une cellule avec rétention d'eau, sous l'influence de la pression osmotique dans un milieu hypotonique.  
**TURION** : 1- jeune pousse qui naît d'une tige souterraine. Pousse d'Asperge. 2- hibernacle, bourgeon pérenne à réserves ; il reste inerte en hiver et sort au printemps ; il se trouve dans les plantes aquatiques. Potamogeton.

## U

**UBIQUISTE** : que l'on trouve quasiment en toute région, en tout domaine.  
**UTRICULE** : piège pour petits animaux, qui contient des enzymes digestives (plantes carnivores Utricularia).

## V

**VACUOLE** : cavité incluse dans le cytoplasme, délimitée par le tonoplaste ; elle contient des substances dissoutes.  
**VACUOME** : ensemble des vacuoles, quels que soient les stades de leur développement.  
**VAISSEAU** : conduit fait d'une succession de cellules lignifiées, superposées (appelées éléments de vaisseaux), contrairement à une trachéide constituée par une seule cellule et toujours imperforée.  
**VASCULAIRE** : relatif aux vaisseaux et par extension à tout le système conducteur lignifié (plantes vasculaires, i.e. Ptéridophytes et Spermaphytes).  
**VEGETATIF** : Qui appartient aux organes sans fonctions reproductrices telles les feuilles, les tiges, les racines.  
**VELAMEN** ou **VELUM** : Manchon formé de plusieurs couches ; il protège les racines aériennes des Orchidées.  
**VIVACE** ou **PLURIANNUELLE** : S'oppose à annuelle : l'appareil souterrain subsiste pendant la mauvaise saison, tandis que les parties aériennes périssent et sont remplacées chaque année par de nouvelles pousses. Une plante vivace fleurit chaque année (polycarpique) ou ne fleurit qu'une fois (monocarpique) et meurt.  
**VRILLE** : Filament ondulé volubile qui permet à une tige ou à une feuille de s'accrocher à un support. Vigne.

## X

**XEROPHILE, XEROPHYTE** : plante de régions sèches, voire désertiques.  
**XYLEME** : autre nom du bois. Le protoxylème, le premier formé, est d'origine primaire (procambium) ; il est constitué de trachéides. Le métaxylème, formé ensuite, est d'abord d'origine primaire, puis d'origine secondaire (cambium) ; il est en partie constitué de vaisseaux.

## Z

**ZYGOTE** : il résulte de l'union de deux gamètes ou cellules sexuelles.

## GUIDE DES TRAVAUX PRATIQUES

Le programme des TP en matière de BV 1<sup>ère</sup> année Licence comprend 07 séances de TP qui traitent de la cytologie végétale (la cellule, les plastes), l'histologie végétale (les parenchymes, tissus conducteurs, tissus de sécrétion, etc.), l'anatomie végétale (l'organisation interne des organes) et enfin la morphologie végétale (tiges, racines, feuilles, etc.)

### I- Directives relatives au bon déroulement des TP :

- 1- L'assiduité aux travaux pratiques est demandée.
- 2- Le port de la blouse est obligatoire.
- 3- L'étudiant est contraint de remettre un 'compte rendu' à la fin de chaque séance.
- 4- A la fin de chaque séance, le matériel utilisé doit être nettoyé, rangé et la pailleuse essuyée.
- 5- La séance doit se dérouler dans le calme, sans bruit, c'est ainsi que les déplacements sans motif valable sont strictement interdits.
- 6- Il est strictement interdit de fumer ou de manger au laboratoire.

### II-Matériel à apporter à chaque séance de TP :

- Feuilles blanches.
- Crayon graphite.
- Taille-crayons
- Gomme à dessin blanche de préférence
- Règle plate.
- Lames de rasoir neuves (à jeter après chaque séance).
- Trombones.

### III- Présentation des comptes-rendus de TP :

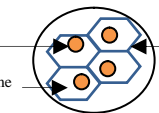
#### A- Page de garde : inscrire sur cette feuille, au crayon :

- En haut à gauche : le nom, le prénom et le N° de groupe.
- En haut à droite : la date.
- En haut, légèrement plus bas et au centre, le N° de la séance et le titre de la séance.
- En sous-titre, faire ressortir :
  - a- Le but du TP.
  - b- Les étapes de la manipulation et les travaux effectués.

#### B- Feuilles de dessin :

- Les dessins et légendes doivent être faits au crayon ; n'utiliser ni couleur ni stylo sec.
- Les traits de légende doivent être parallèles et tirés à la règle.
- Chaque dessin doit avoir juste au-dessous, un titre souligné.
- Les observations (dessins) doivent être interprétées.
- Enfin, les feuilles doivent être agrafées dans l'ordre et remises à l'enseignant (responsable).

Le nom : .....	Date : .....
Le prénom : .....	
Le groupe : .....	
Séance de TP n° : 1	
Titre :	
<b>Observation de la cellule Au microscope photonique</b>	
Le but : .....	
La manipulation :	
-	.....
-	.....
-	.....
-	.....

Noyau		Paroi
Cytoplasme		
Titre du dessin		
Interprétation :		
.....		
.....		
.....		

**SEANCE DE TP N° 1 :****OBSERVATION DES CELLULES VEGETALES AU MP****I- Présentation du Microscope Photonique :**

- Les différentes parties d'un MP.
- Le mode d'utilisation

**II- Manipulation :****A- Matériel Végétal :**

- écailles du bulbe d'oignon (*Allium cepa* L.)

**B- Protocole expérimental :**

Sur la face concave d'une tunique moyenne (3<sup>ème</sup> ou 4<sup>ème</sup> rangé) isolée d'un bulbe d'oignon, à l'aide d'une lame de rasoir (scalpel) et une pince fine, prélever des lambeaux de quelques millimètres carrés de surface ( $\sim 4\text{mm}^2$ ) de l'épiderme et mettez-les dans un verre de montre contenant de l'eau distillée.

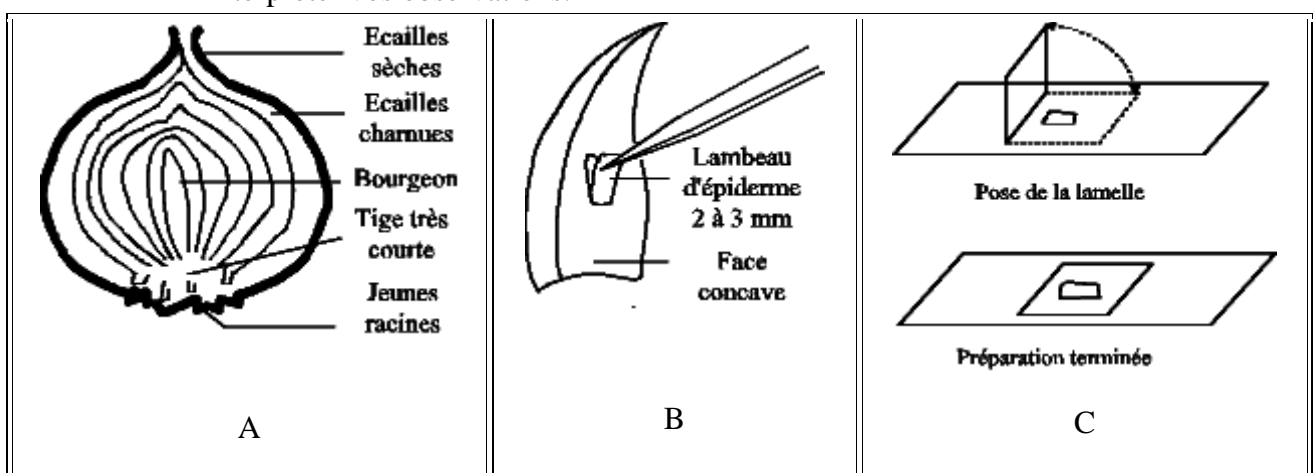
Prenez-en et déposer-le, la face interne vers le bas, sur une lame porte-objet. Ajouter une goutte d'eau et recouvrir le tous avec une lamelle couvre-objet (éviter la formation de bulles d'air).

**C- Observation au MP :**

Observer la préparation aux différents grossissements.

**D- Compte rendu :**

- Faire un dessin détaillé et légendé de quelques cellules observées au grossissement x40.
- Interpréter vos observations.



## LE MICROSCOPE PHOTONIQUE

### 1. Partie mécanique ou statique :

Comporte :

- Un pied
- Une potence sur laquelle sont montés :
  - La platine avec ou sans chariot
  - Le tube porte oculaire
  - Le revolver porte-objectifs
  - Les engrenages des mouvements rapides et lents (vis macrométriques et micrométriques) de mise au point.


### 2. Partie optique (photonique) :

- Objectifs : x4, x10, x20, x40 ou x100 (immersion) selon les cas.
- Oculaires (x8, x10) selon les cas.
- Condensateur avec diaphragme
- Eclairage :
  - Lumière naturelle avec miroir
  - Lumière artificielle (lampe)

### 3. Utilisation :

Pour utiliser un microscope, il faut réaliser dans l'ordre les opérations suivantes:

1. Placer le microscope devant soi sur la paillasse, la **crosse** (potence) vers soi.
2. Avant toute utilisation, vérifier qu'il ne manque aucune pièce au microscope, sinon le signaler immédiatement.
3. S'assurer que l'**objectif** le plus faible est mis en place.
4. Allumer la lampe. Pour s'assurer que le maximum de lumière traverse le **bloc optique**, regarder par l'**oculaire** en l'absence de toute préparation.
5. Placer la préparation sur la **platine**, la **lamelle** au-dessus de la **lame**, bien au centre du trou.
6. Mettre au point avec le plus faible grossissement : descendre, en regardant de côté, le tube à l'aide de la vis **macrométrique** au plus près de la lame et le remonter lentement à l'aide de la vis **micrométrique** en regardant dans l'oculaire jusqu'à ce que la préparation apparaisse nette.
7. L'observation est alors possible à plus fort grossissement, après avoir pris soin de bien centrer son sujet d'étude.
8. Pour passer à un plus fort grossissement, tourner le **revolver** sur lequel sont vissés les objectifs afin de mettre en bonne position l'objectif suivant.
9. La mise au point se fait de la même manière pour l'objectif moyen et il n'est plus nécessaire d'utiliser que la vis **micrométrique** ensuite.

 **En cas de préparation réalisée par soi-même, s'assurer que la lamelle est propre, non mouillée, afin de ne pas salir les objectifs. Ne jamais appuyer dessus avec l'objectif qui ferait déborder du liquide ou qui briserait la lamelle.**

 **Le grossissement total est le produit de celui de l'oculaire par celui de l'objectif.**

**C Pour comprendre le fonctionnement d'un microscope, la mise au point, et comment monter un échantillon pour l'observer je vous invite à visiter la page facebook : [Botany of Khenchela](#).**

### La partie mécanique d'un microscope optique comprend principalement :

- Le statif composé d'un pied et d'une potence ;
- La platine porte objet surmontée d'un chariot guide objet ;
- Le tube binoculaire ;
- Le revolver porte objectif ;
- Les vis macrométriques et micrométriques de mise au point

1. oculaire de réglage dioptrique

2. glissière de réglage de l'écartement interpupillaire

3. tube binoculaire

4. potence

5. tourelle ou revolver porte-objectifs

6. vernier de positionnement avec vis de déplacement bidirectionnel du chariot

7. chariot de fixation et de positionnement de la lame porte-objet

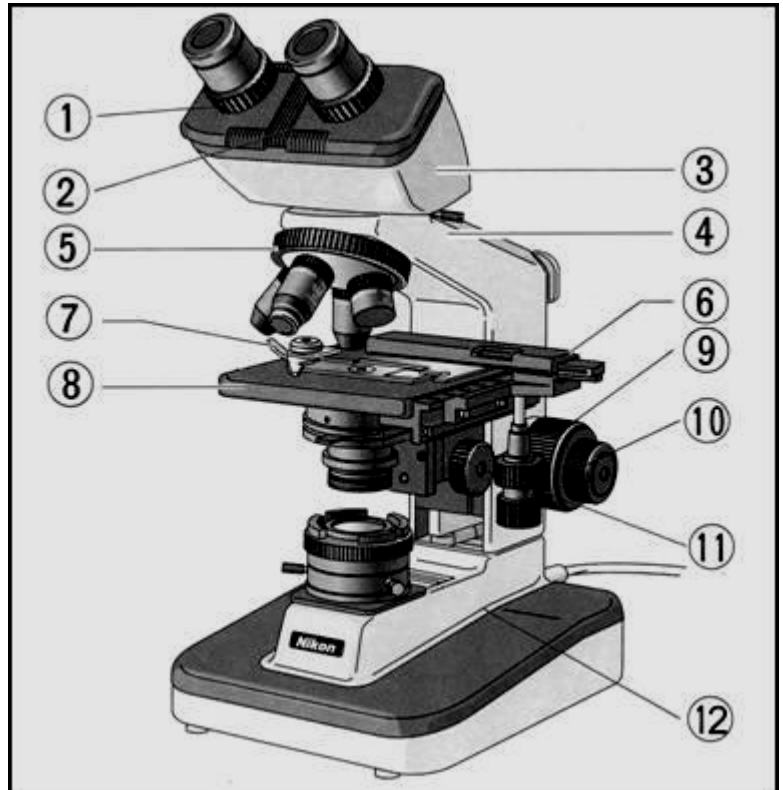
8. platine porte-objet

9. vis macrométrique de mise au point

10. vis micrométrique de mise au point

11. vis de réglage de la hauteur du condenseur

12. pied



### La partie optique d'un microscope à fond clair comprend :

Une optique d'éclairage composée principalement d'une source lumineuse à intensité d'éclairage réglable et surmontée d'un collecteur et d'un condenseur ; Une optique de formation de l'image comprise entre la lentille frontale de l'objectif et le verre d'œil de l'oculaire

13. oculaire

14. objectif

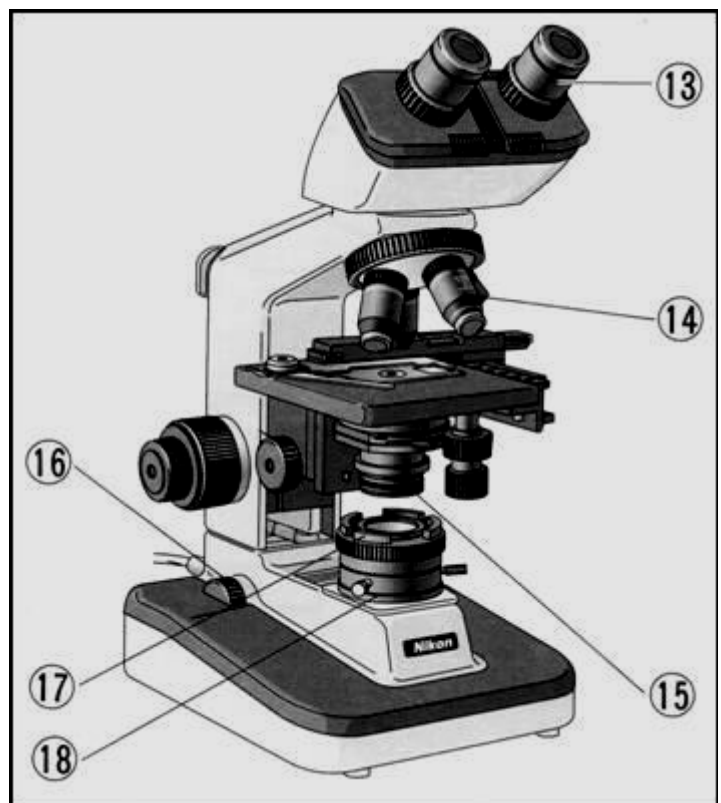
15. condenseur avec diaphragme d'ouverture (1)

16. potentiomètre de réglage de l'intensité lumineuse

17. diaphragme de champ (1)

18. collecteur

(1) Le réglage correct de l'ouverture de ces diaphragmes est essentiel en microscopie photonique à fond clair.



**SEANCE DE TP N° 2 :****OBSERVATION DES AMYLOPLASTES  
DANS LE TUBERCULE DE POMME DE TERRE****A- Matériel :**

- Ø Tubercule Pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) (Solanacées)
- Ø Un scalpel (aiguille lancéolée)
- Ø Un compte-gouttes (contenant une solution très diluée d'iode)
- Ø lames et lamelles
- Ø Un microscope.

**B- Protocole expérimental :****i- Sans coloration :**

- Prélever en grattant un peu de la pulpe de pomme de terre.
- Déposer l'échantillon sur une lame et ajouter une goutte d'eau distillée.
- Recouvrez la préparation d'une lamelle et observer au microscope aux différents grossissements.

**ii- Avec coloration :**

- Prélever en grattant un peu de la pulpe de pomme de terre.
- Déposer l'échantillon sur une lame et ajouter une goutte d'eau iodée.
- Recouvrez la préparation d'une lamelle et observer au microscope aux différents grossissements.

**C- Compte rendu :**

- Faire un dessin détaillé et légendé de quelques grains d'amidon observés au grossissement x40.
- Interpréter vos observations.

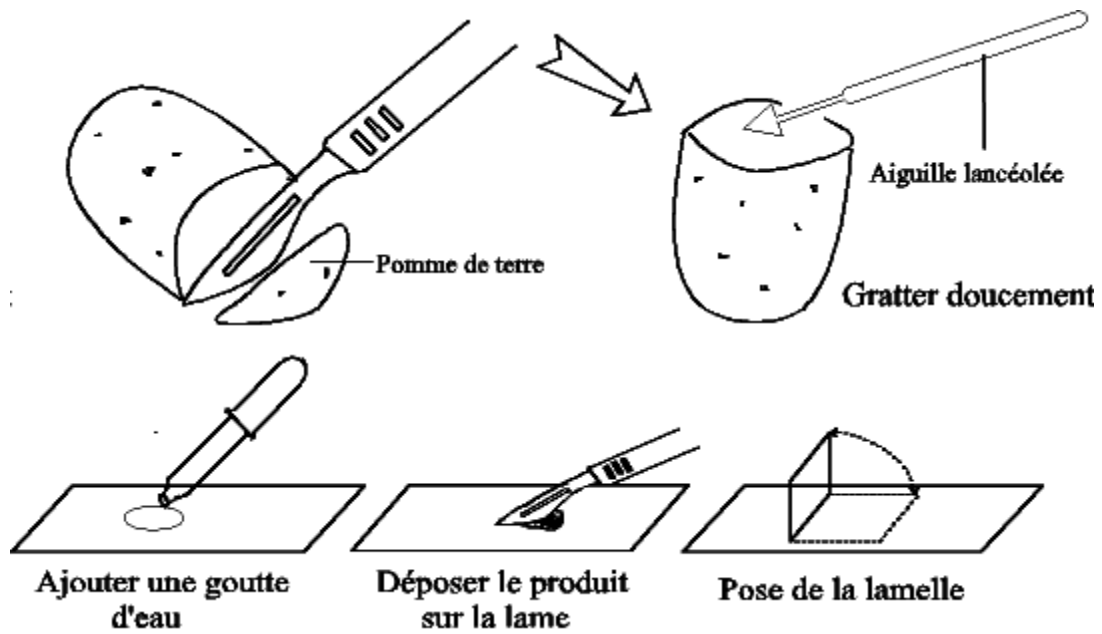
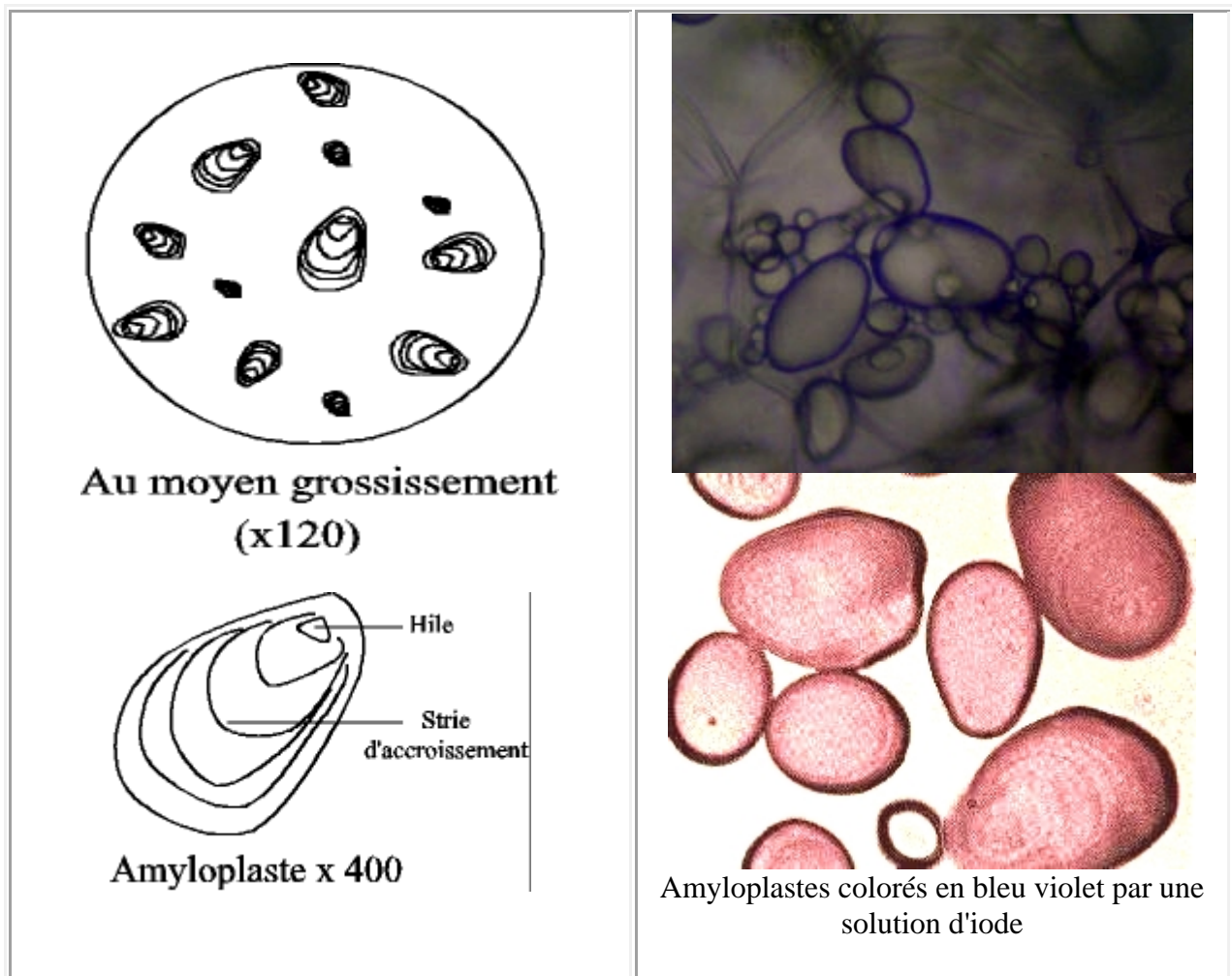


Schéma montre les différentes étapes de la manipulation



**Les amyloplastes avec ou sans coloration**

**SEANCE DE TP N° 3:****OBSERVATION DES PARENCHYMES****Les parenchymes chlorophylliens et les parenchymes de réserve.****A- Matériel :**

- Ø Feuilles de laurier-rose (*Nerium oleander* L.).
- Ø Fragment de tubercule de pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.)
- Ø Microscope photonique.
- Ø Lames et lamelles.
- Ø Scalpel et pinces.
- Ø Eau distillée.

**B- Mode Opérateur :**

On réalise des coupes très fines transversales dans la feuille de laurier-rose ainsi que dans le fragment de tubercule de pomme de terre.

Les échantillons ainsi obtenus sont montés entre lame et lamelle dans une goutte d'eau distillée.

On observe les préparations au microscope aux différents grossissements.

**C- Compte-rendu :**

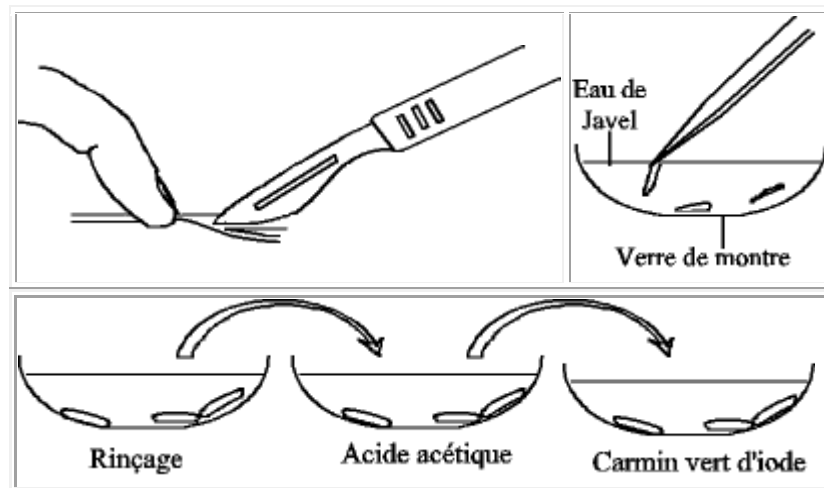
- Faire un dessin détaillé et légendé de chaque échantillon au grossissement x40.
- Interpréter vos observations.

**SEANCE DE TP N° 4 :****TISSUS CONDUCTEURS DE LA SEVE  
VAISSEAUX ANNELES ET SPIRALES****A- Matériel :**

- Ø Feuilles de poireau (*Allium porrum* L)
- Ø scalpel, pince fine
- Ø 4 verres de montre
- Ø Lames et lamelles
- Ø microscope.
- Ø Flacons compte-gouttes avec : carmin vert d'iode, hypochlorite de sodium (eau de Javel), acide acétique.

**B- Prélèvement**

Poser la feuille de poireau à plat sur la paille et, avec la pointe du scalpel, l'inciser perpendiculairement. Avec la pince, prélever des lambeaux près de la nervure centrale.

**C- Coloration** (après une première observation sans coloration)

- On place les fragments de feuille dans le verre de montre n° 1 contenant **l'eau de Javel** pendant 15 à 20 minutes, en remuant de temps en temps avec une pince fine.
- On les rince soigneusement dans le verre de montre n° 2 contenant de l'eau ordinaire (que l'on change souvent).
- Immersion dans le verre de montre n° 3 contenant de **l'acide acétique** pendant 5 minutes, pour neutraliser les traces restantes d'eau de Javel.
- On les rince soigneusement dans le verre de montre n° 2 contenant de l'eau ordinaire.
- Puis on les place dans le verre de montre n° 4 contenant 4 à 5 gouttes de **carmin vert d'iode** pendant 3 minutes.
- Dernier rinçage soigneux dans le verre de montre n° 2 contenant de l'eau ordinaire.
- Sur une lame, on dépose une goutte d'eau et on y place 1 ou 2 fragments de feuille. On recouvre d'une lamelle.

**D- Compte rendu :**

- Faire un dessin détaillé et légendé de quelques cellules observées au grossissement x40.
- Interpréter vos observations.

**SEANCE DE TP N° 5 :****OBSERVATION DES TISSUS DE SECRETION**

Les poches sécrétrices chez l'oranger  
(*Citrus aurantium* L., famille des Rutacées)

**A- Matériel :**

- Ø Zeste d'une orange (*Citrus aurantium* L.).
- Ø Microscope photonique (MP).
- Ø Lames et lamelles.
- Ø Scalpel et pinces.
- Ø Eau distillée.

**B- Mode opératoire:**

- Sur l'épicarpe (zeste) du fruit et proche de la surface, effectuer à l'aide d'un scalpel des coupes très fines.
- Prenez ces tronçons à l'aide d'une pince et mettez-les sur une lame porte-objet.
- Ajouter une goutte d'eau distillée et recouvrir avec une lamelle bien nettoyée.
- Observer la préparation réalisée aux différents grossissements.

**C- Compte-rendu :**

- Faire un dessin détaillé et légendé d'une poche observée au grossissement x10 et x40.
- Interpréter vos observations.

**SEANCE DE TP N° 6 :****ANATOMIE DE LA RACINE****Etude comparative entre mono et dicotylédones****A- Matériel :**

- Ø Racine d'une plante dicotylédone Haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) ou la renoncule (*Ranunculus acris* L.)
- Ø Racine d'une plante monocotylédone « poireau » (*Allium porrum* L.)

**B- Protocole expérimental :**

- On pratique des coupes très fines transversalement (2 à 3 coupes) dans les racines des deux plantes.
- On monte les coupes obtenues entre lame et lamelle dans une goutte d'eau et on les observe aux différents grossissements.

**C- Compte-rendu :**

- Faire un dessin détaillé et légendé de chaque coupe au grossissement x10 ou x40.
- Interpréter vos observations.

**Préparation des coupes (transversales) d'organe et coloration pour observation par microscope photonique.****1. Confection des coupes d'organes :**

- On utilise de préférence des fragments d'organes conservés dans l'alcool à 40°.
- Effectuons des coupes minces perpendiculairement à l'axe de l'organe.

**2. Coloration :**

- Plaçons les coupes dans un verre de montre contenant de l'eau de javel pendant 10 min environ (le but étant la destruction de la matière vivante).
- Immergeons les coupes dans l'eau (de robinet ou distillée) pour éliminer l'eau de javel retenue.
- Plaçons les coupes dans un verre de montre contenant de l'acide acétique à 20% pour éliminer le reste de la matière vivante, et favorisant la coloration.
- Après immersion dans l'eau, laissons les coupes séjourner dans une solution de carminovert de MIRANDE pendant 5-15 min. après les coupes seront mises dans un verre de montre contenant de l'eau.

**3. Montage :**

- Montage des coupes entre lame et lamelle.
- Observation par le MP.

**Remarque :**

Cette méthode permet de reconnaître les structures sans leur contenu vivant, mais colorées soit en vert (présence de lignine), soit en rosse (absence de lignine).

**SEANCE DE TP N° 7 :****ANATOMIE DE LA TIGE****Etude comparative entre mono et dicotylédones****A- Matériel :**

- Ø Tige d'une plante dicotylédone « Mauve sylvestre » (*Malva sylvestris* L.)
- Ø Tige d'une plante monocotylédone « l'orge du rat » (*Hordeum mirinum* L.).

**B- Protocole expérimental :**

- On pratique des coupes très fines transversalement (2 à 3 coupes) dans les tiges des deux plantes.
- On monte les coupes obtenues entre lame et lamelle dans une goutte d'eau et on les observe aux différents grossissements.

**C- Compte-rendu :**

- Faire un dessin détaillé et légendé de chaque coupe au grossissement x10 ou x40.
- Interpréter vos observations.

People's Democratic Republic Of Algeria  
Ministry Of Higher Education And Scientific  
Research  
Abbes Lagherour University- Khenchela  
Faculty Of Sciences Of Nature And Life  
Department of Molecular and Cell Biology



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
جامعة عباس لغرور خنشلة  
كلية علوم الطبيعة والحياة  
قسم البيولوجيا الجزيئية والخلوية

## Polycopié

Destiné aux étudiants de Première année Socle commun SNV  
(LMD)

# BIOLOGIE ANIMALE GENERALE

Elaboré par: Dr. DJEMIL Randa

Année universitaire : 2019 - 2020

<i>Table de matière</i>	
<b>Avant- propos</b>	<b>VIII</b>
<i>Première partie : embryologie</i>	
<b>I-Introduction</b>	
1-Quelques définitions	1
1-1.L'embryogenèse	1
1-2. l'embryologie causale ou expérimentale	1
1-3. L'embryologie pathologique ou tératologie	1
1-4. L'embryologie comparée	1
1-5.Germe	1
1-6. Embryon	1
1-7. Fœtus	2
2- Les grandes lignes de développement	2
3- Formation des cellules sexuelles	3
3-1 La division sexuelle	3
<b>II -La Gamétogenèse</b>	
1- Définition	5
2-Les étapes de la gamétogenèse	5
<i>II-1. La Spermatogenèse</i>	
1. Généralité	6
2. Les organes génitaux chez l'homme	6
2.1. Les gonades	7
2.2 . Les voies génitales-	9
2.3. Les glandes annexes	9
3- Les Etapes de la spermatogenèse	9
<i>3.1. La phase de multiplication</i>	9
<i>3-2 La phase d'accroissement</i>	10
<i>3.3 La phase de maturation</i>	10
3.4. La spermiogenèse	11
4. Structure du spermatozoïde	12
5. maturation des spermatozoïdes	13

6. La régulation hormonale de la spermatogénèse	14
<b>II.2 L'ovogenèse</b>	16
1-Introduction	16
2. Les organes génitaux chez la femme	16
2.1. Les gonades	16
2.2 Les voies génitales	16
2.3. Les organes génitaux externes	17
3.Les phases de l'ovogenèse	18
3.1 Phase de multiplication:	18
3.2 Phase d'accroissement	18
3.3 Phase de maturation	19
4. Folliculogenèse	19
5. Modifications cycliques de la muqueuse utérine	22
6. Contrôle hypothalamo-hypophysaire de l'ovaire	23
<b>III-La Fécondation</b>	25
1-Définition	25
2-Le lieu de fécondation	25
2.1 Fécondation externe	25
2.2 Fécondation interne	25
3.Le Trajet des spermatozoïdes	25
3.1-Migration du spermatozoïde dans le tractus féminin	25
3.2 Les étapes de la fécondation	26
3.2.1Reconnaissance et adhérence des gamètes	26
3.2.2.La réaction acrosomique	26
3.2.3 la réaction corticale	27
3.3Amphimixie	24
<b>IV -La Segmentation</b>	25
1. Classification des œufs	29
2- Différentes modalités de segmentation	29
2.-1 Segmentation totale (=holoblastique)	29

2.1.1 Segmentation totale égale	29
2.1.2 Segmentation totale subégale	29
2.1.3 Segmentation totale inégale	30
2-1. 4 Différents types de segmentation totale	30
2.2 segmentation partiel	31
<b>V- Gastrulation</b>	34
1-Définition de gastrulation	34
2. modalités de la gastrulation	34
2.1. La délimitation	34
2.2 L'immigration	34
2.3L'embolie (ou invagination)	34
2.4 L'épibolie	35
2.5 Prolifération polaire	35
<b>VI- Neurulation</b>	36
1-Définition	36
2-Destinée des feuilletts embryonnaires	37
<b>IV- Délimitation : annexes des oiseaux</b>	38
1- Introduction	38
2-Les étapes du développement embryonnaire de l'oiseau	38
3-Formation des annexes entra-embryonnaires	39
3.1 Définition des annexes extra-embryonnaires	39
3.1.1Vésicule vitelline	39
3.1.2 Cavité amniotique	39
<b>VII- Particularités de l'embryologie humaine</b> (Cycle, nidation, évolution annexes, placenta)	41
1.Cycle menstruel	41
2.Cycle ovarien	41
2.1 La phase folliculaire	41
2.2 L'ovulation	41
2.3 La phase lutéale	42
3 .mécanisemes et aspects morphologiques de nidation	45

4. Evolution des annexes, placenta	45
4.1 Évolution de l'amnios	45
4.2 Évolution de la vésicule vitelline	45
4.3 Évolution de l'allantoïde	46
5 .Développement du placenta	46
51 Fonction de placenta	47
<i>Deuxième partie HISTOLOGIE</i>	
Introductions	48
<b>I.L'épithélium de revêtement</b>	
Généralité	49
2. Définition de l'épithélium de t revêtement	49
3. Classification morphologique des épithéliums de revêtements	50
3.1 Forme des cellules superficielles	50
3.2 Nombre de couches cellulaires	50
3 .3 Nature des structures superficielles	51
4. Différents types d'épithéliums de revêtement	51
A.Epithéliums simples	51
B. Epithéliums pseudostratifiés	52
C. Epithéliums stratifiés	52
5. Fonction des épithéliums	53
<b>II. L'épithélium glandulaire</b>	
1.Définition	54
2. Classification	54
2.1 Selon le lieu de sécrétion	54
2.2 Selon la nature du produit de sécrétion	55
2.3 Selon l'organisation anatomique des glandes	55
2.4 Selon la forme de la portion sécrétrice	55
3. Les glandes exocrines	55
3.1 Mode d'excrétion des glandes exocrines	55
3.2 Classification des glandes exocrines	56
4. Glandes endocrines	57

4.1. Glandes de type cordonnal ou trabéculaire.	57
4.2. Glandes de type vésiculaire	57
4.3 Glandes de type	57
5.glandes amphicrines	58
5..1. Les glandes amphicrines homotypiques.	58
5..2. Les glandes amphicrines hétérotypiques	58
<b>III. Tissus conjonctifs</b>	59
Définition	59
1. Les cellules du tissu conjonctif	59
2. Les fibres	61
3. La substance fondamentale	62
3. Fonction du tissu conjonctif	63
4 .Classification du tissu conjonctif	63
A- Tissu conjonctif embryonnaire	63
B- Tissu conjonctif adulte	64
<b>VI. Le tissu sanguin</b>	69
.Définition	69
1. .plasma	69
2.Les éléments figurés du sang	70
2.1 A. Les globules rouges (hématies ou érythrocytes)	70
2.2. B. Les globules blancs (ou les leucocytes)	70
B.1 Les leucocytes hyalins	70
B.2 Les granulocytes	71
2.3 Plaquettes sanguines (ou thrombocytes)	72
3.L'hématopoïèse	72
<b>V . Les tissus cartilagineux</b>	74
1.définition	74
2.description	74
3. Classification des tissus conjonctifs	77
3.1Cartilage hyalin	77
3.2.cartilage élastique	77

3.3 cartilage fibreux ou fibrocartilage	78
<b>VI. Le tissu osseux</b>	79
1. définition	79
2. Les rôles	79
3. Description	79
3.1. Les cellules des tissus osseux	80
3.2 La substance fondamentale	81
3.3. Les fibres de collagène	82
3.4. Le périoste et l'endoste	82
4. Les classifications des tissus osseux.	82
5. Ostéogénèse	85
6. La croissance des os	86
<b>VII. Le tissu musculaire</b>	88
Introduction	88
1..Le tissu musculaire lisse	88
1.1. Les cellules musculaires lisses	88
1.2. L'appareil contractile	89
1.3. Corps denses	90
1.4. Propriété sécrétrice	90
2. Le tissu musculaire squelettique strié	90
2.1 Les myofibrille	91
2.2 L'ultrastructure de myofibrille	92
3. Le tissu musculaire strié cardiaque	93
3.1 Types de cardiomyocytes	94
3.2 Les cardiomyocytes contractiles	94
3.3. Les cellules cardionectrices	94
3.3 Régénération du muscle cardiaque	95
<b>VIII Tissu nerveux</b>	96
1. Les cellules du système nerveux central	96
2. Les neurones	96
2.2 Les propriétés fondamentales des neurones	97

2.3.Classification des neurones	98
3.1 Selon la longueur de neurone	98
3.2Selon la myélinisation des axones	99
3.3 la classification fonctionnelle des neurones	99
2. Les cellules gliales	99
3.Le synapse	101
<b>Les références</b>	102

## **Avant- propos**

La Biologie Animale dans sa large définition est la partie de la science biologique qui s'intéresse plus particulièrement aux animaux et qui se distingue ainsi de la biologie végétale ou de la biologie microbienne,.... Ect, C'est une discipline de la science du vivant, des organismes et des espèces animales ainsi que des théories évolutionnistes,.

Le module de Biologie Animale destiné aux étudiants de la première année Licence (L1) en Sciences de la Nature et de la Vie (SNV) dans son objectif délimité pour des notions de bases est conçu par deux parties. La première partie est consacrée à l'embryologie, une discipline scientifique qui englobe la description morphologique des transformations de l'œuf fécondé en organisme (embryologie descriptive). La deuxième partie est consacrée à l'histologie générale, une discipline qui étudie tout ce qui touche aux tissus organiques, elle a pour objectif d'explorer la structure des organismes vivants, les rapports constitutifs et fonctionnels entre leurs éléments fonctionnels, ainsi que le renouvellement des tissus.

Cette matière de Biologie Animale s'adressant aux étudiants de première licence de biologie, concerne l'unité d'enseignement fondamentale 2 (UEF) avec crédit 08 et coefficient 03 pour un volume horaire hebdomadaire de 1 heures 30 min de cours et 03 heures de travaux pratiques dans le domaine des sciences de la nature et de la vie (SNV) .

L'étudiant par ce module doit prendre connaissance des principes fondamentaux du monde qui sont utiles dans son futur parcours dans les différentes disciplines de biologie.

Première partie

Embryologie

## I-Introduction

### 1-Quelques définitions

**1-1.L'embryogenèse** : désigne l'ensemble des étapes de développement qui permettent ainsi à un œuf fécondé (zygote) d'aboutir à un organisme pluricellulaire autonome. Ce développement se réalise dans un environnement protégé (à l'intérieur d'enveloppe pour les espèces ovipares, au sein de l'organisme maternel chez les espèces vivipares).

**a-Ovipare** nom par lequel on désigne les animaux, se qui reproduisent par oviparité, . Ceux qui pondent des œufs dans lesquels se développe, pendant une période appelée l'incubation, un jeune animal que l'éclosion met au jour par la rupture des enveloppes de l'œuf,  
**Exemple:** L'oiseau est un ovipare comme beaucoup d'espèces de poissons.

**b-Vivipares** Se dit des animaux dont les petits naissent sans enveloppe ni coquille, en général à un état déjà assez développé. (Chez les insectes, on distingue les *larvipares*, qui engendrent des larves, et les *pupipares*, qui engendrent des nymphes.)

**1-2. l'embryologie causale ou expérimentale** : étudie les mécanismes du développement et son déterminisme au niveau des structure et ultrastructure cellulaires et au niveau moléculaire

**1-3. L'embryologie pathologique ou tératologie** (teratos=monstre ; logos=étude) étudie les anomalies de l'embryon (malformations et monstruosités) dues à des facteurs tératogènes

**1-4. L'embryologie comparée** Il s'intéresse à l'étude de la différence et à la similitude du développement embryonnaire chez différents groupes d'animaux

**1-5.Germe** correspond aux premiers stades du développement tant que la forme externe est plus au moins sphérique. le germe ne présente aucune orientation (impossible de distinguer la région ventrale de la région dorsale et la région céphalique de la région caudale

**1-6. Embryon** est le stade à partir duquel apparaît une forme très facile de distinguer l'orientation de l'embryon (région céphalique, une région caudale, une région dorsale et ventrale)

1-7. **Fœtus** est un mot latin synonyme du mot grec embryon cependant on ne l'emploie pour les mammifère que à partir que l'embryon prend la forme du nouveau né.

## 2- Les grandes lignes de développement

Le développement embryonnaire se déroule de la même manière chez tous les **métazoaires**, qui comprend la succession de 04 phénomènes principale :

● **Fécondation** est l'union d'un gamète femelle (ovule) et d'un gamète mâle (spermatozoïde)

Le résultat de cette union est un zygote ou un œuf fécondé

● **Segmentation** est une série de division mitotique (méiose) du la cellule œuf fécondé luis permettent de passage de l'état unicellulaire (zygote) a l'état pluricellulaire (embryon)

● **Gastrulation** est une ensemble de mouvement cellulaire qui se produise pour deux butes : La formation d'un tube digestif appelé « achontéron » Mise en place de trois feuilletts embryonnaire de base ; un feuillet externe (ectoderme), un feuillet interne (endoderme) et un feuillet moyen (mésoderme). Ces feuilletts sont l'origine de tous les tissus qui compose le corps.

● **Organogenèse** après la gastrulation Les mouvements morphogénétiques qui suivent la gastrulation mettent en place, selon le plan d'organisation de l'espèce, les ébauches d'organes qui se différencient.

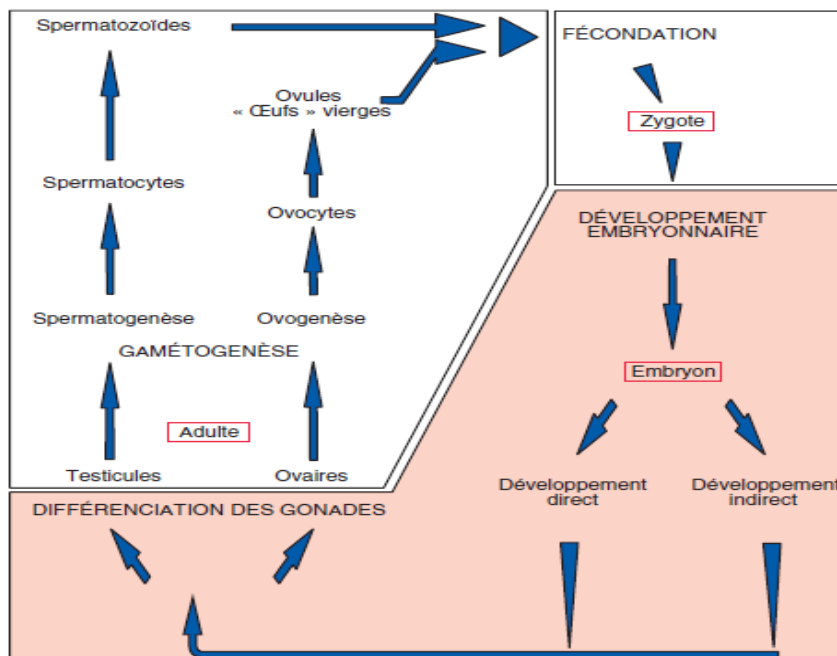


Figure 1. Les grandes lignes de développement de développement embryonnaire

*Remarque 1.* Avant d'étudier le développement embryonnaire, il est indispensable de définir les étapes de formation des cellules germinales (gamétogenèse)

### 3- Formation des cellules sexuelles

Cette étape est appelée « gamétogenèse », c'est la formation des gamètes mâle et femelle haploïde à partir de cellule germinale spécialisée diploïde. Elle se déroule dans les organes sexuels « les gonades ».

Si les gamètes formés sont des **spermatozoïdes** donc c'est la **spermatogenèse**, elle se déroule dans les gonades mâles appelées « testicules »

Si les gamètes formés sont des **ovocytes** donc c'est l'**ovogenèse**, elle se déroule dans les gonades femelles appelées « ovaire ».

*Remarque 2.* Pour passer de l'état diploïde à l'état haploïde, les cellules passent par une série de divisions appelées « méiose ».

**3-1 La division sexuelle (La méiose):** La méiose est un phénomène unique de division cellulaire, propre à la **gamétogenèse**, au cours de laquelle elle joue un rôle capital en assurant la réduction du nombre de chromosomes et le brassage des informations génétiques maternelles et paternelles.

Elle peut être segmentée en deux divisions successives :

- La 1<sup>ère</sup> division méiotique ou la **division réductionnelle** : pendant laquelle les **chromosomes homologues** de la cellule mère se séparent et se répartissent dans deux cellules filles (réduction du nombre des chromosomes de la moitié ;  $2n \rightarrow n$ . cette phase passe par 5 étapes :

**Prophase I** .c'est l'étape la plus longue, elle se déroule en 5 stades (*leptotène, zygotène, pachytène, diplotène, diacinèse*), **Métaphase**, **Anaphase**, **Télophase**, **Intercinèse**.

- La 2<sup>ème</sup> division méiotique ou la **division équationnelle** pendant laquelle les **chromatides** de chaque chromosome se séparent et se répartissent équitablement dans deux nouvelles cellules filles (le nombre des chromosomes reste préservé ;  $n \rightarrow n$ . elle se déroule en 5 étapes **Prophase II** . **Métaphase II** . **Anaphase II** . **Télophase II** . **cytosinèse**.

En conclusion une cellule diploïde donne 4 cellules haploïdes.

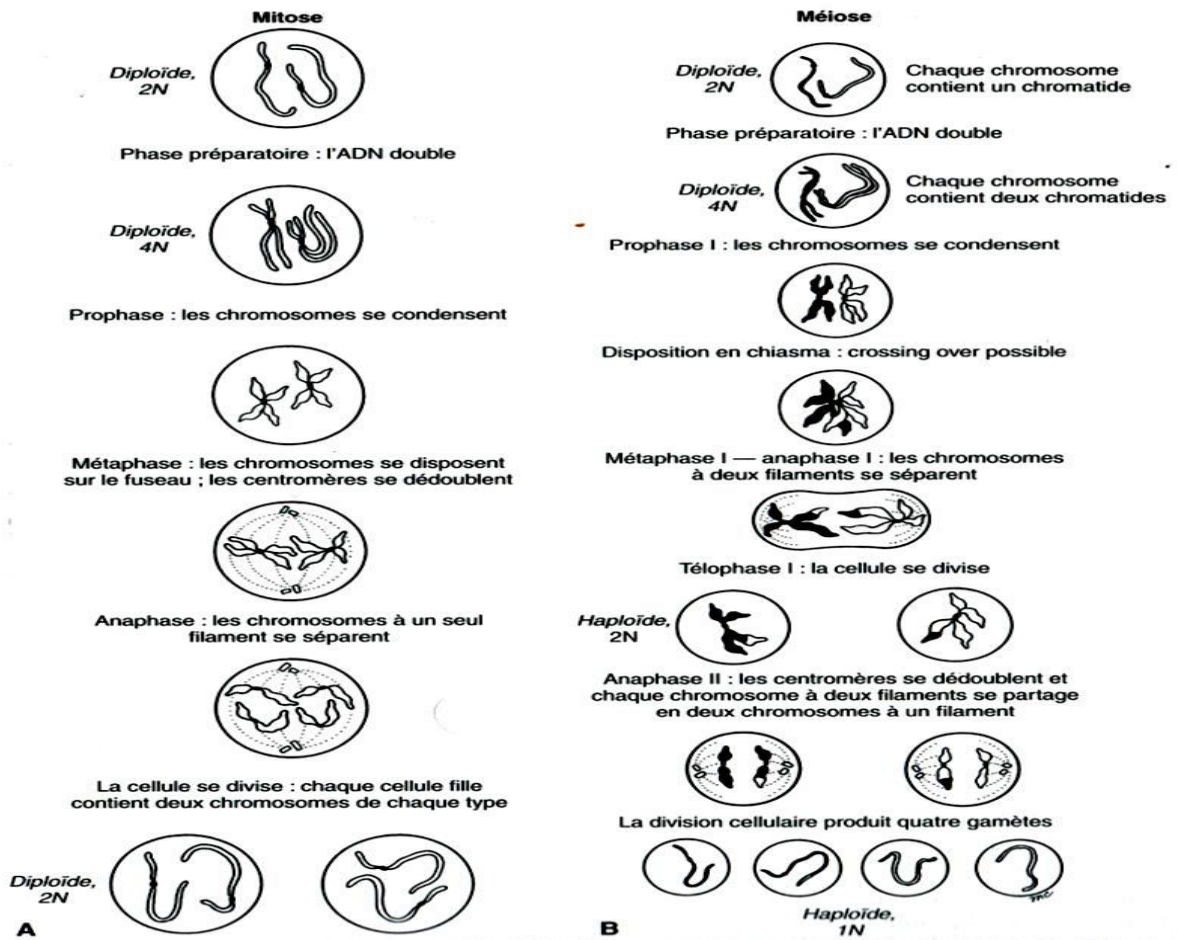


Figure 2 : A Mitose \* B. méiose

## II . La Gamétogenèse

### 1. Définition

C'est un processus cellulaires qui produisent des cellules sexuelles (les gamètes ) chez les deux sexes (l'ovogénèse chez la femelle et la spermatogénèse chez le mâle). Elle concerne une lignée cellulaire particulière ; la lignée germinale (les cellules germinales = les cellules souches).

La gamétogénèse se déroule dans les glandes génitales, ou les gonades ; les testicules chez le sexe masculin et les ovaires chez le sexe féminin. Ces gonades peuvent avoir un rôle des glandes endocrines (glandes endocrines = glandes à sécrétion dans le sang), d'où leurs nomination « glandes génitales ». Elles secrètent les hormones sexuelles. C'est le cas chez les vertébrés.

### 2. Les étapes de la gamétogenèse

Les gonades sont formées de :

- *Des cellules somatiques* assurant la nutrition des gamètes.

- *Des cellules germinales (gonocytes primordiaux =les cellules mères)*. qui vont donner ndans les deux sexes les gamètes les stades communs à la spermatogénèse et à l'ovogenèse de toute espèce :

**1. phase de multiplication** les cellules germinales se divisent par mitoses et augmentent leur nombre, puis les divisions cessent.

**2. phase d'accroissement** c'est l'augmentation de volume de cellule germinale

**3. phase de maturation:** marquée par la méiose. Pendant cette phase se produit aussi une cyto-différenciation conduisant à la formation de gamètes fonctionnels mâle: spermatozoïde, et femelle: œuf.

## II-1. La Spermatogenèse

### 1. GENERALITE

C'est l'ensemble des phénomènes de division et de différenciation aboutissant à la formation du spermatozoïde (cellule germinale mature).

- chez le mâle à partir des cellules souches appelées : les spermatogonies.
- Elle est déclenchée à la puberté par les hormones hypophysaires sous influence de l'Hypothalamus
- Elle est permanente et non cyclique comme l'ovogenèse.

Les spermatozoïdes sont fabriqués en millions par jour. Elle se déroule dans les glandes génitales mâles ; les testicules, plus précisément dans les tubes séminifères

### 2. Les organes génitaux chez l'homme

Il formé de 2 gonades, de voies génitales externes et internes et de glandes annexes.

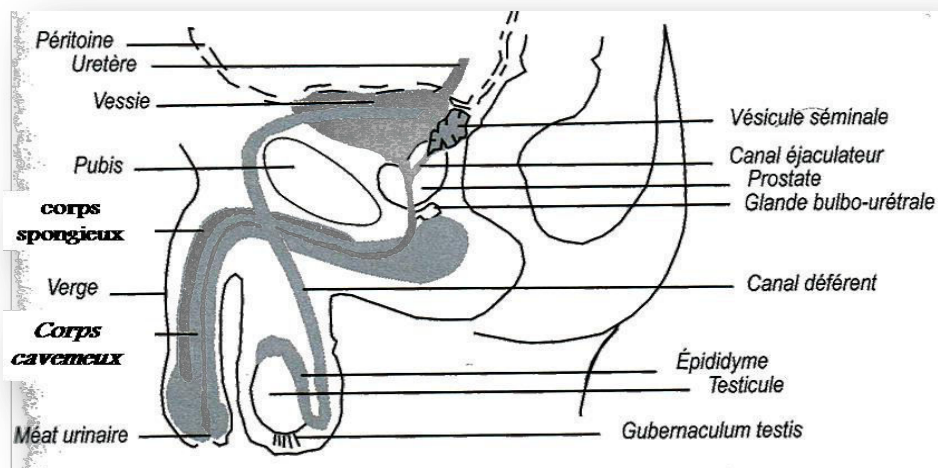


Figure 3. Appareil de reproduction masculin .coupe sagittale

## 2.1. Les gonades

Elles sont constituées de **2 testicules**, de formes ovoïdes, coiffé par l'**épididyme** et logé dans le **scrotum** qui produisent :

- *Les gamètes* : les spermatozoïdes.
- *Les hormones mâles* : les androgènes dont la **testostérone**.

Les testicules contiennent des lobes chaque lobe contient des tubes regroupés sont **les tubes séminifères** qui sont le site de formation les spermatozoïdes : **La spermatogénèse**.

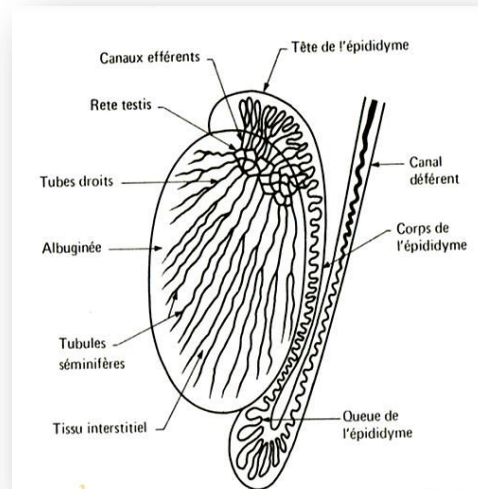


Figure 4 . Schéma d'un testicule de Mammifère

Chaque **tube séminifère** délimité par un tissu conjonctif lâche, ils contiennent plusieurs couches des cellules périphériques et une lumière centrale. Ils sont constitués de 2 types de cellules :

- *les cellules de la lignée germinale*: Elles se trouvent dans le compartiment basal, contre la lame basale, entre les cellules de Sertoli, avec lesquelles elles sont en relation par divers systèmes de jonction. Elles représentent, de la périphérie vers le centre du tube, les stades successifs de la spermatogénèse: spermatogonies, spermatocytes primaires, spermatocytes secondaires, spermatides, spermatozoïde

**les cellules de Sertoli:** Ce sont des cellules qui ont des relations étroites avec les cellules germinales, elles jouent un rôle dans la maturation (la nutrition) et le soutien (migration) des cellules germinales.

• **Le tissu glandulaire endocrine (les cellules de Leydig) :** Les hormones sexuelles masculines ou androgènes (testostérone) secrétées par les cellules de Leydig, elles sont groupées en îlots richement vascularisés situés entre les tubes séminifères

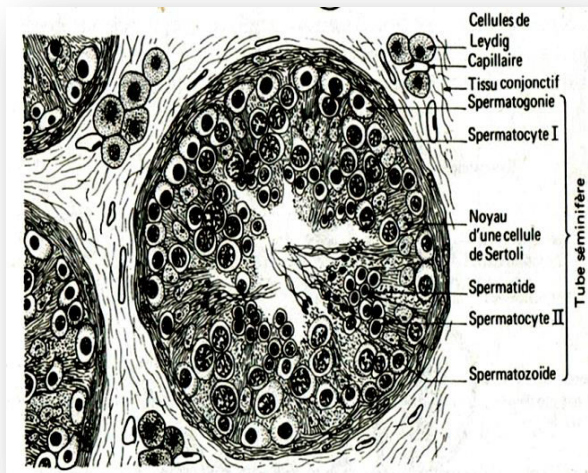


Figure 5 .L'organisation des tubes séminifères et du tissu interstitiel

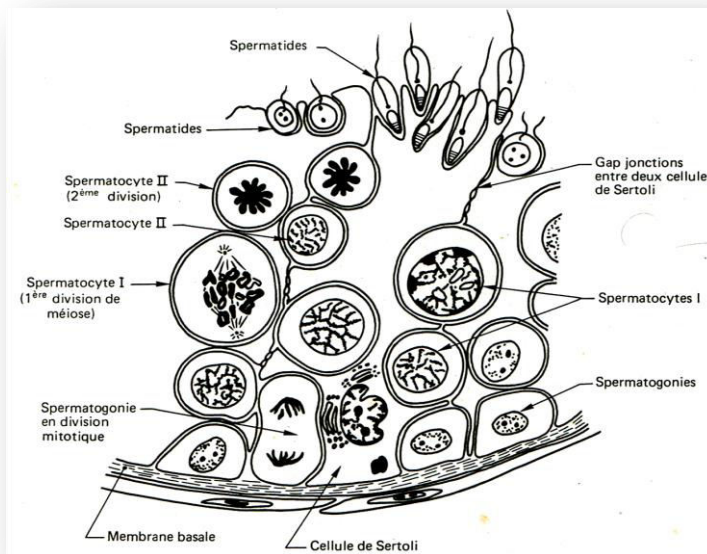


Figure 6 .Schéma de la paroi d'un tube séminifère de Mammifère.

## **2.2 . Les voies génitales**

- Le **canal de l'épididyme** : coiffe le testicule et présente à partir du pôle supérieur trois parties d'épaisseur décroissante : la tête, le corps et la queue Il permet la maturation et le stockage des spermatozoïdes.
- Le **canal déférent** fait suite aux canaux de l'épididyme. Il passe derrière la vessie pour se rejoindre au niveau de la prostate et de la vésicule séminale.
- L'**urètre** : canal commun pour l'évacuation du sperme et de l'urine.

## **2.3. Les glandes annexes**

- **Les glandes séminales** , deux glandes débouchent dans la portion terminale du canal déférent, une de chaque côté, le rôle de cette glande c'est la fourniture de fructose pour la nourriture des spermatozoïdes éjaculés .
- **La prostate** : entoure complètement l'urètre elle sécrète un liquide clair et alcalin qui neutralisé la sécrétion acide de vagin et déclenche la coagulation grâce à laquelle le sperme reste dans le voie génitale femelle après l'éjaculation.
- **Les glandes bulbo-urétrales** (glande de Cowper) débouchent dans l'urètre, une de chaque côté, libèrent un mucus avant le sperme dont le rôle est de nettoyer l'urètre de l'acidité de l'urine avant le passage du sperme.

## **3- Les Etapes de la spermatogenèse**

La spermatogenèse se déroule dans les tubes séminifères et comporte 3 étapes :

### ***3.1. La phase de multiplication***

- Les spermatogonies sont les seules cellules qui existent dans les tubes séminifères pendant la période pré-pubaire
- A partir de la puberté, les spermatogonies commencent à se diviser par mitose pour augmenter leur nombre
- Chez l'homme, les cellules souches de réserve sont plaquées contre la lame basale du tubule et constituent les spermatogonies Ad (d pour « dense » ou « dark »), Par division, elles donnent naissance à des spermatogonies Ap (p pour « pale ») et/ou des spermatogonies Ad

- Les spermatogonies Ap prolifèrent un nombre limité de fois et donnent des cellules de transit engagées dans la différenciation spermatogénétique. Chacune de celles-ci donne deux spermatogonies B qui en se divisant seront à l'origine des spermatocytes I.

### 3-2 La phase d'accroissement

- Après la dernière division mitotique, les **spermatogonies B** entrent en division méiotique. Pendant l'interphase I, les cellules germinales dupliquent leur ADN, augmentent leur taille et deviennent des **spermatocytes I** qui sont en prophase de méiose.

### 3.3 La phase de maturation

- Après la première division de méiose, les 2 **spermatocytes II**, haploïdes, de taille deux fois plus réduite, se divisent rapidement en 4 **spermatides**.
- Elles subissent une série de transformations pour former les **spermatozoïdes** : celle-ci constitue la spermiogénèse qui s'achève près de la lumière des tubes qui contient les spermatozoïdes mûrs libérés des cellules de Sertoli.

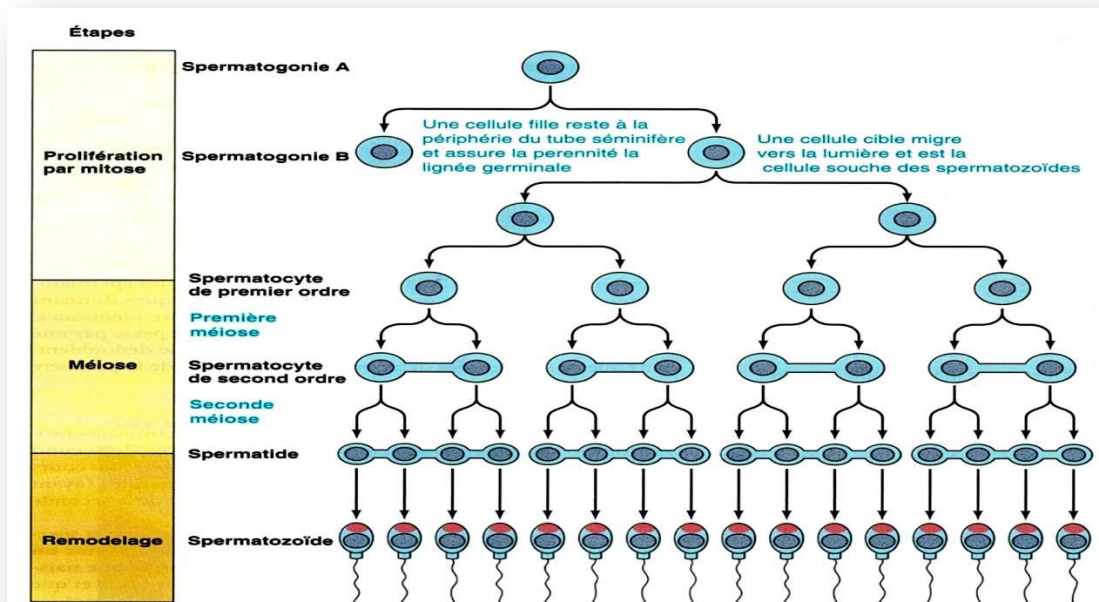


Figure 7. les étapes de spermatogénèse

### 3.4. La spermiogenèse

- Les 4 spermatides sont des cellules haploïdes qui vont subir uniquement un processus de différenciation cellulaire, ou spermiogenèse, pour donner des spermatozoïdes. Il n'y a en effet plus de division cellulaire pendant la spermiogenèse.
- La spermiogenèse est l'ensemble des transformations que subit la spermatide pour donner le spermatozoïde. (par perte de cytoplasme et développement du flagelle)
- au cours de cette transformation on assiste au passage d'une cellule arrondie et immobile en un spermatozoïde, allongé et très mobile, hautement différencié dans le sens de l'aptitude morphologique à la fécondation.

Quatre événements caractérisent la spermiogenèse : la condensation du noyau, la formation de l'acrosome, le développement du flagelle et de la pièce intermédiaire, la résorption du surplus cytoplasmique.

**3.4.1 la condensation du noyau :** Elongation du noyau, les protéines d'histone de la chromatine sont éliminées et remplacées par des protéines riches en **arginine** (les protamines), ces protéines contribuent à la stabilisation de l'ADN.

**3.4.2 la formation de l'acrosome :** Au début de la spermiogenèse, le dictyosome migre au pôle antérieur du noyau, des granules apparaissent dans les **vésicules golgiennes**, puis ces vésicules confluent pour former la vacuole acrosomiale à l'intérieur, la vacuole s'étale ensuite et recouvre progressivement la moitié antérieure de la surface du noyau, à ce stade porte le nom de capuchon céphalique, capuchon acrosomial ou **encore acrosome**.

**3.4.3 le développement du flagelle et de la pièce intermédiaire :** Au pôle opposé du noyau, se situent les centrioles proximal et distal, ce dernier sert de base au flagelle caractérisé par la convergence des mitochondries vers la base du flagelle qui sont accolées autour de lui en s'allongeant en une spirale continue appelée manchon mitochondrial

**3.4.4 la résorption du surplus cytoplasmique. :** Glissement de la masse cytoplasmique vers la partie postérieure de la cellule, à la manière d'un écoulement sur le pourtour du noyau, ne laissant persister finalement autour du capuchon céphalique et du noyau qu'une très mince couche de cytoplasme, et élimination du corps résiduel.

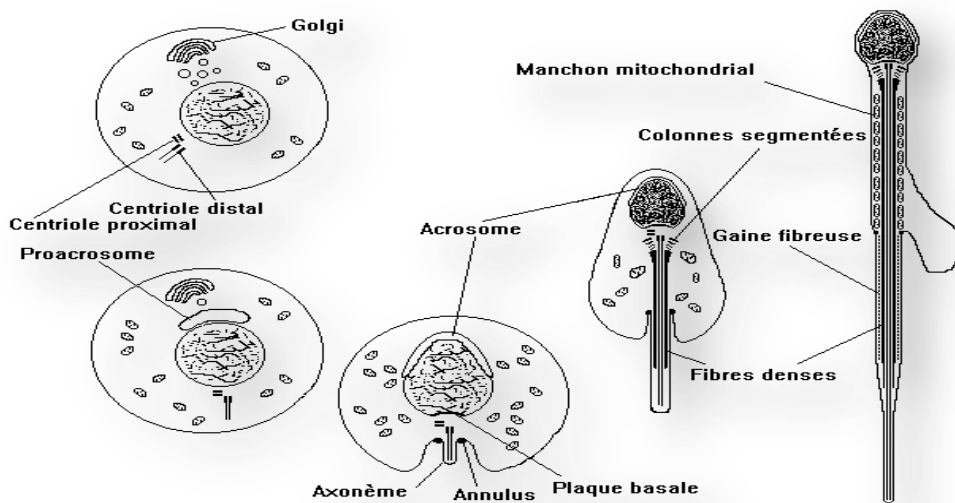


Figure8. Les étapes de spermiogènèse

#### 4. Structure du spermatozoïde

Le spermatozoïde humain mesuré environ  $60 \mu$  de long et peut être divisé en 5 parties:

- **La tête:** (8 à  $10 \mu$  de long) en forme de spatule, l'acrosome coiffe les  $\frac{2}{3}$  antérieurs du noyau et contient de nombreuses enzymes (notamment l' hyaluronidase qui facilite la pénétration du spermatozoïde dans l'ovule).
- **Le cou:** ( $1 \mu$  de long) étroite constriction comprenant le centriole proximal.
- **La pièce intermédiaire:** (4 à  $5 \mu$  de long) s'étend du centriole distal au disque terminal, elle comprend le flagelle en position axiale avec ces  $9 + 1$  doublets, et l'hélice mitochondriale, interviennent dans la motilité du flagelle.

●**La pièce principale:**  
partie la plus longue du spermatozoïde (40 à 50  $\mu$  de long) contient la spermosine peu différente de la myosine et la flactine semblable à l'actine, elle contient également l'ATP permettant l'utilisation de l'énergie.

●**La pièce terminale:** (5 à 10  $\mu$  de long) est uniquement constituée des tubules de flagelle

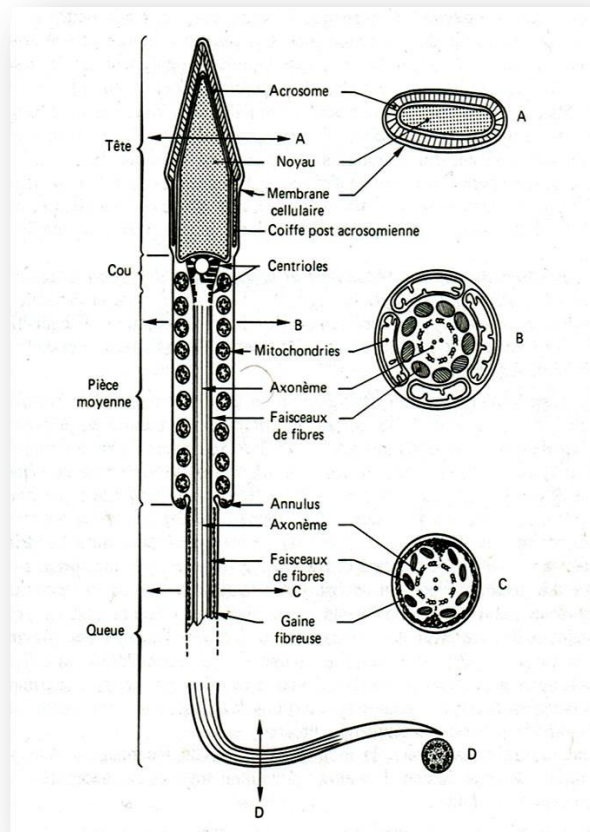


Figure 9. schéma d'un spermatozoïde de mammifère

## 5. maturation des spermatozoïdes

Lorsque la spermiogenèse est terminée, chaque cellule spermatique est libérée par les cellules de Sertoli dans la lumière du tube séminifère par un processus appelé **spermiation**. Le spermatozoïde migre le long du tube vers le rete testis et dans la tête de l'épididyme. Les spermatozoïdes qui quittent le tube séminifère sont immatures: ils ne sont capables ni de féconder un ovule, ni de se déplacer. Les spermatozoïdes libérés dans la lumière du tube séminifère sont en suspension dans un liquide produit essentiellement par les cellules de Sertoli. En raison de légères modifications du milieu ionique du rete testis, du sperme concentré en suspension dans ce liquide s'écoule en permanence depuis les tubes séminifères jusque dans l'épididyme par les canaux efférents. L'épididyme est un tube unique très enroulé

(5 à 6 mètres de long) dans lequel les spermatozoïdes séjournent 12 à 21 jours (chez l'homme). Dans l'épididyme, les spermatozoïdes acquièrent progressivement leur motilité et leur pouvoir fécondant, peut-être en raison d'un changement de nature du liquide contenant la suspension qui se trouve dans l'épididyme. C'est-à-dire que, au fur et à mesure que les cellules mûrissent, l'épididyme absorbe les composants du liquide contenant les sécrétions des cellules de Sertoli (la protéine liant les androgènes, par exemple), ce qui augmente la concentration en spermatozoïdes. L'épididyme apporte également ses propres sécrétions au liquide, dont la glycérylphosphorylcholine et la carnitine, qui sont des substances chimiques.

La morphologie du spermatozoïde continue de se transformer dans **l'épididyme**. La gouttelette cytoplasmique est éliminée et le noyau du spermatozoïde se condense encore plus. Si l'épididyme est le principal réservoir de stockage des spermatozoïdes jusqu'à l'éjaculation, environ 30% des spermatozoïdes d'un éjaculat étaient stockés dans le canal déférent. Des éjaculations fréquentes accélèrent le passage du sperme dans l'épididyme et peuvent augmenter le nombre de spermatozoïdes immatures (stériles) dans l'éjaculat

## **6. La régulation hormonale de la spermatogénèse**

La stimulation hormonale est indispensable au déroulement de la spermatogénèse. C'est la mise en place des sécrétions hormonales qui déclenche le début de la spermatogénèse au moment de la puberté.

La régulation hormonale est assurée par le système hypothalamo- hypophysaire qui produit

- 2 stimulines :
- L.H. (luteinizing hormone) qui agit sur les cellules de Leydig et stimule la production des androgènes.
  - F.S.H. (follicle stimulating hormone) qui agit sur les cellules de Sertoli en synergie avec le testostérone, ce qui a pour effet de favoriser la spermatogénèse.

-La sécrétion par l'hypophyse antérieure de LH et FSH est stimulée par une seule hormone hypothalamique, la libérine des hormones gonadotropes( GnRH)

### *Déroulement et la régulation de la spermatogénèse*

Cette régulation hypophysaire est soumise à un contrôle testiculaire :

- Les androgènes inhibent la production de L.H. et, à un moindre degré, celle de F.S.H.

- Les inhibines (a et b) produites par les cellules de Sertoli, inhibent la production de F.S.H.
- L'activine, également produite par les cellules de Sertoli, stimule la production de F.S.H

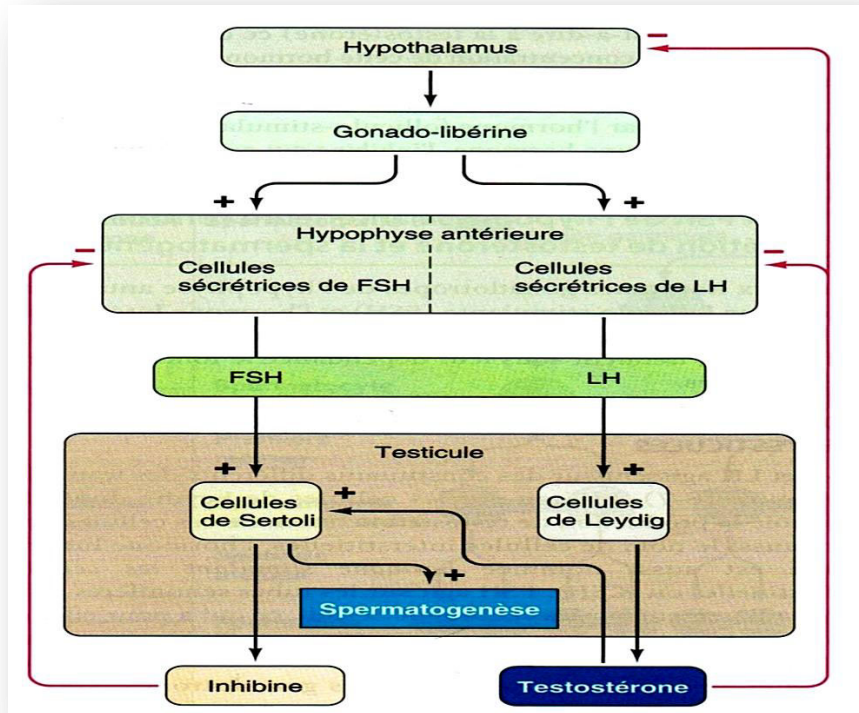


Figure 10. La régulation hormonale de la spermatogénèse

## II.2 L'ovogenèse

### 1. Introduction

L'ovogenèse comprend la formation, la croissance et la différenciation du gamète femelle (ovule) à partir des cellules souches appelées : les ovogonies. Elle se déroule dans l'ovaire où les cellules sexuelles sont associées à des cellules somatiques, les cellules folliculeuses, l'ensemble formant un follicule ovarien. Elles ont une activité hormonale chez les Vertébrés.

### 2. Les organes génitaux chez la femme

#### 2.1. Les gonades

Elles sont formées de 2 **ovaires** intra-abdominaux, situés de part et d'autre de l'utérus auquel ils sont fixés par des ligaments. Ils produisent des ovocytes et des hormones sexuelles féminines : œstrogènes et progestérone.

Sur une coupe longitudinale de l'ovaire présent 2 zones :

- une **zone corticale** : centrale et très vascularisée, qui a un rôle **endocrine**.
- une **zone médullaire** : périphérique. Elle contient les **follicules** en formes de sacs arrondis.

Les follicules assurent le développement progressif de l'ovocyte. Lorsque le follicule est mûr, il libère l'ovocyte et forme le corps jaune.

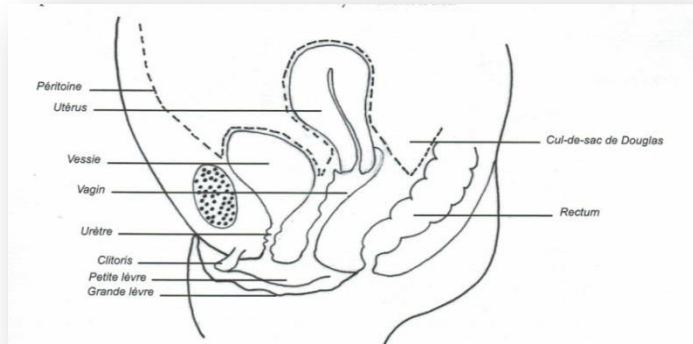
#### 2.2 Les voies génitales

-Les **trompes de Fallope** : sont pas en continuité directe avec l'ovaire. Elles captent l'ovocyte au niveau du pavillon frangé et évitent leur libération dans la cavité abdominale. L'ovocyte est ensuite dirigé vers l'utérus à l'aide de cellules ciliées et de la contraction des parois musculieuses de la trompe .

-L'**utérus** :est un organe creux et musculieux. Il est formé du corps et du col qui débouche dans le vagin. Il a pour rôle d'accueillir l'ovocyte fécondé .

-Le **vagin** :est un conduit musculieux, de 6 à 10cm de long. Dans sa partie supérieure, il

débouche au niveau du col de l'utérus, et dans la partie inférieure, il s'ouvre vers l'extérieur au niveau de la vulve. Ce vagin sécrète l'acide lactique pour se protéger contre les infections.



**Figure11.organisation de l'appareil génital femelle *coupe sagittale***

### **2.3. Les organes génitaux externes**

- La vulve est composée de lèvres inférieures et supérieures .
- Le clitoris .
- Les glandes mammaires.

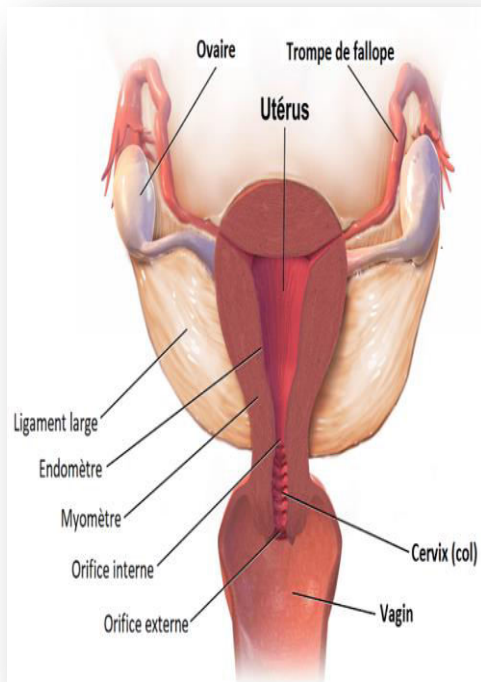


figure 12 .appareil génital de la femme

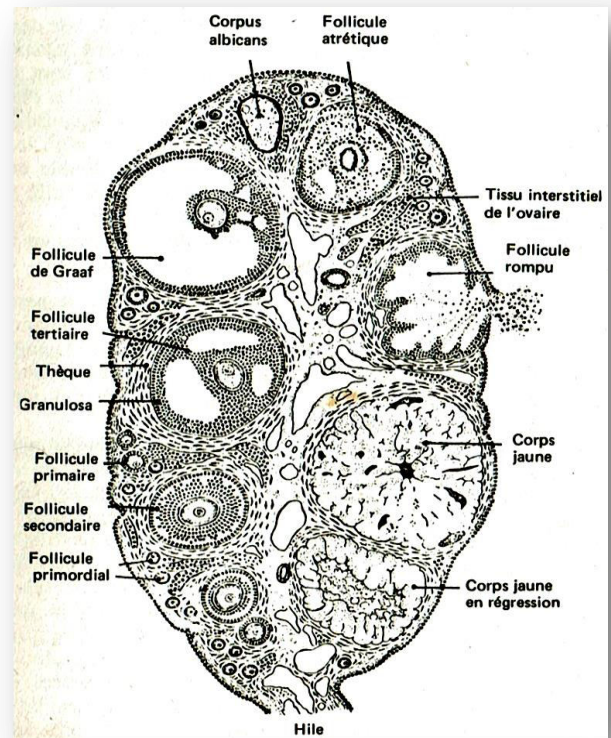


Figure 13. l'ovaire de mammifère ( les étapes du cycle ovarien)

### 3. Les phases de l'ovogenèse

**3.1 Phase de multiplication:** les cellules germinales se multiplient activement et constituent les ovogonies, l'activité mitotique des ovogonies est limitée dans le temps, ces mitoses cessent avant la fin de la vie embryonnaire, ou peu de temps après la naissance, les mitoses de cellules goniales sont à l'origine de la constitution du stock complet d'ovogonies, qui est de l'ordre de 7 millions.

**3.2 Phase d'accroissement:** cette phase commence à la vie embryonnaire et s'achève lors de chaque cycle menstruel, et plus tard, la ménopause correspond à l'interruption définitive de l'ovogenèse et des cycles sexuels, au cours de la phase d'accroissement le diamètre de l'ovocyte humain passe de 30 à 140  $\mu$  environ, les mitoses cessent, les ovogonies deviennent des ovocytes I, ces ovocytes I vont rester ainsi bloqué jusqu'au début de la phase de maturation (chez la femme 10 à 12 ans au moins et 45 à 50 ans au plus).

**3.3 Phase de maturation:** survient lorsque l'ovocyte I a achevé sa croissance, chez l'espèce humaine, lors de la phase de maturation se déroulent 2 divisions inégales de l'ovocyte, la première assurant le passage de la diploïdie à l'haploïdie (ovocyte I à 2n chromosomes = ovocyte II à n chromosomes) et la seconde celui de l'ovocyte II à l'ovotide

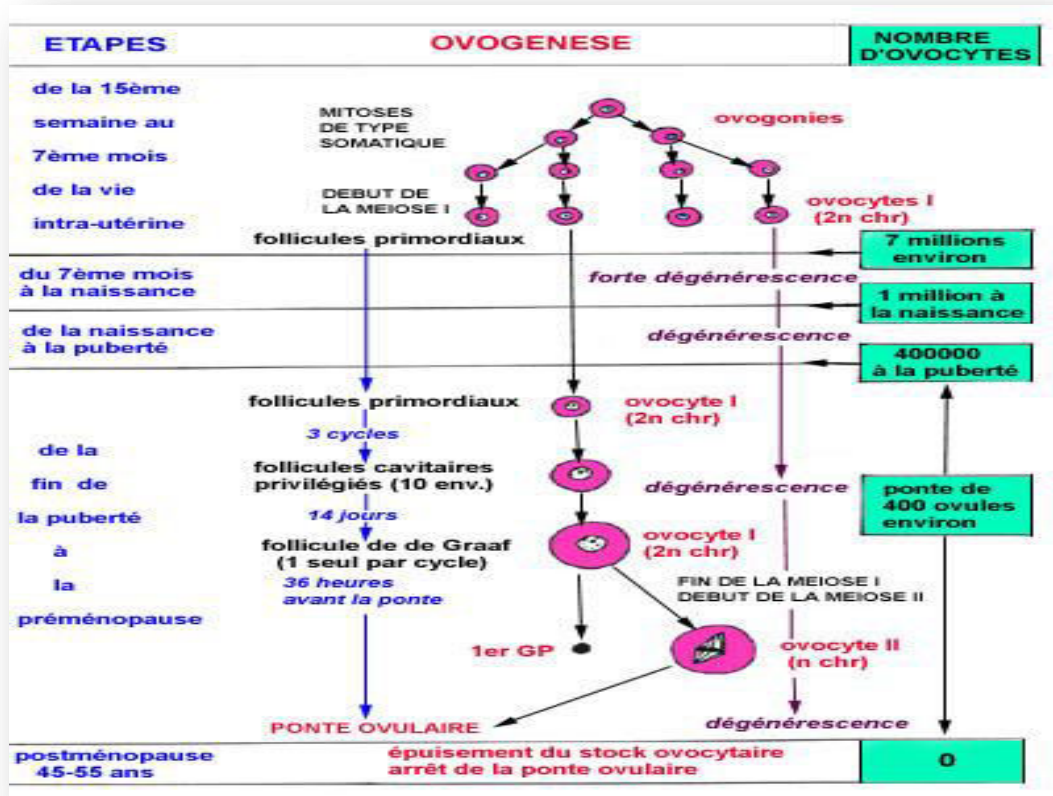


Figure 14. Étapes de l'ovogenèse

#### 4. Folliculogénèse

La maturation des gamètes féminins se fait dans les follicules du cortex ovarien. Elle se réalise de façon cyclique et représente le **cycle ovarien**.

Folliculogénèse c'est l'ensemble des processus par lesquels un follicule primordial va évoluer vers un follicule mûr. Se fait à partir du stock des follicules primordiaux constitué pendant la vie intra utérine. Associée à l'ovogenèse - n'est complète qu'à partir de la puberté.

L'accroissement de taille des follicules qui arrivent successivement à maturité est dû surtout, chez les Mammifères vivipares, à la multiplication des cellules somatiques sous contrôle hormonal.

• **Les follicules primordiaux**

Les ovocytes des ovaires embryonnaires, de petite taille, s'entourent des premières cellules folliculeuses en une mince couche aplatie, ces ensembles cellulaires constituant les follicules primordiaux qui se retrouvent en position périphérique dans l'ovaire mature.

• **Les follicules primaires**

Les cellules folliculeuses se multiplient et forment un épithélium unistratifié de cellules cubiques entouré d'une fine lame basale. L'ovocyte a augmenté de volume (environ 20 à 30 $\mu$  de diamètre) et son noyau est déjà au stade diplotène. Les premiers follicules primaires apparaissent vers l'époque de la naissance.

• **Les follicules secondaires**

La taille de l'ovocyte continue à s'accroître, atteignant 60 à 80 $\mu$  de diamètre, dans les follicules secondaires jeunes qui sont entourés de 2 à 3 rangées de cellules folliculeuses. Au total, le volume de l'ovocyte aura augmenté d'environ quelques centaines de fois suivant les espèces. Cette période correspond à des synthèses actives d'ARN, chez les Mammifères.

Les couches les plus internes, sont disposées de façon radiale autour de l'ovocyte et constituent la **corona**

**radiata**. Des contacts persistent entre la membrane ovocytaire et les villosités issues de la première couche de cellules folliculeuses sous la forme de jonctions adhérentes et de jonctions communicantes. Les couches externes disposées moins régulièrement portent le nom de **granulosa**. Les cellules folliculeuses sont limitées extérieurement par une lame basale épaisse ou **membrane de Slavjanski**. Les tissus conjonctifs de l'ovaire forment à la périphérie une enveloppe supplémentaire qui se différencie en une **thèque interne** vascularisée par des capillaires reliés aux vaisseaux ovariens, et en une **thèque externe** formée de tissu conjonctif fibreux.

Des cellules sécrétrices d'hormones stéroïdes se différencient dans la thèque interne.

- **Les follicules tertiaires (ou cavitaires)**

Tout le long de la vie sexuelle, dès la puberté, un lot de follicules secondaires évolue en follicules tertiaires à chaque **cycle oestrien**.

Dans un follicule tertiaire, les cellules de la granulosa se multiplient tant que le follicule n'a pas atteint sa taille maximale. Une cavité se creuse dans la granulosa, résultant de la fusion d'espaces intercellulaires élargis, où s'accumule du sérum qui diffuse à partir des capillaires de la thèque interne. Ce **sérum** contient des hormones stéroïdes sécrétées par les cellules de la granulosa, essentiellement sous la forme d'**oestradiol**.

**-Les follicules de De Graaf**

À la fin de la croissance folliculeuse, la cavité ou **antrum** occupe presque tout le volume du follicule. Un massif cellulaire fait saillie dans cet antrum, le **cumulus oophorus**, constitué par l'ovocyte I entouré par la zone pellucide et les quelques couches de cellules folliculeuses dont celles de la corona radiata.. Le noya de l'ovocyte est en fin de stade diplotène. Les chromosomes se condensent et la diacinèse commence. À la maturation, la première division de méiose s'achève, avec émission du premier globule polaire; l'ovocyte est devenu un ovocyte secondaire ou **ovocyte II**. La seconde division de méiose s'arrête en métaphase .C'est alors que se produit l'ovulation vers le 14e jour du cycle oestrien chez la femme.

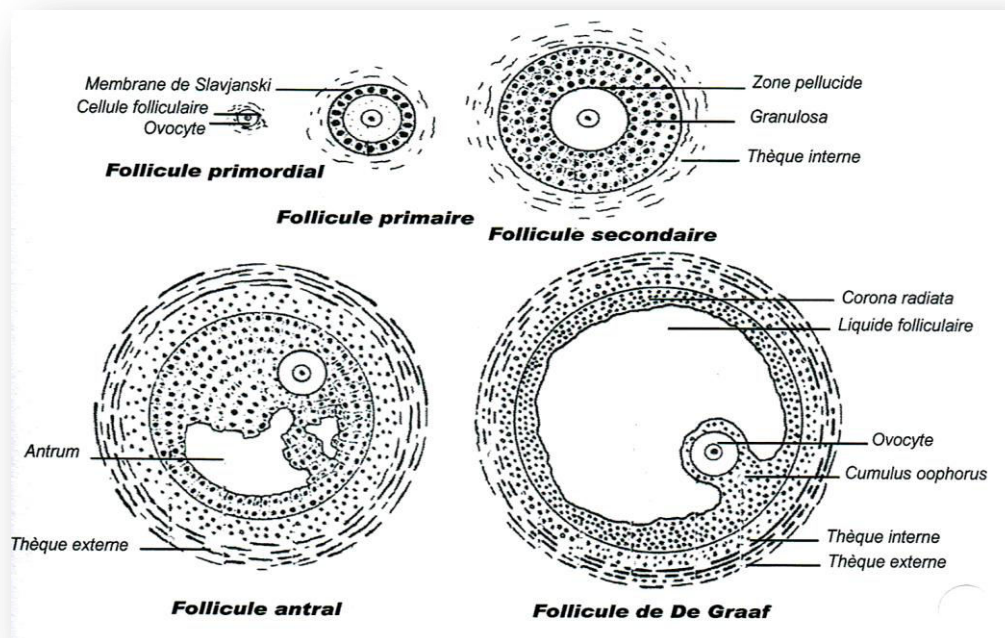


Figure 15. les différents étapes de la croissance d'un follicule évolutif.

●ovulation

Au 12<sup>e</sup> au 13<sup>e</sup> jour du cycle, la LH est libérée en grande quantité. Cette libération provoque des mouvements cellulaires à l'intérieur du follicule de grande taille. L'ovocyte et certaines cellules du cumulus oophorus se détachent et sont expulsées dans la trompe provoquant l'ovulation au 14<sup>e</sup> jour du cycle

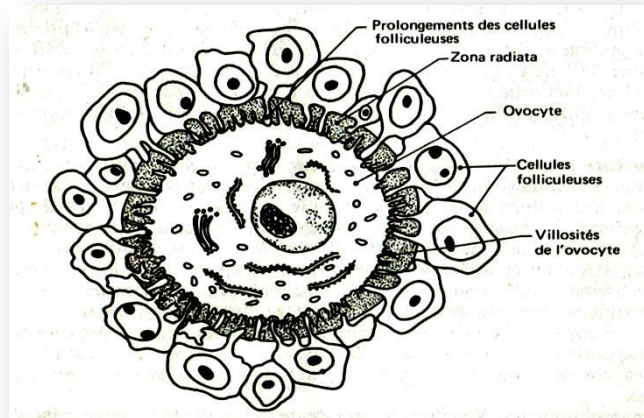


Figure 16. ovocyte de mammifère

● **Follicule déhiscent** Après l'ovulation le reste du follicule de de Graaf constitue, dans l'ovaire, le follicule déhiscent.

● **Corps jaune** Le follicule déhiscent se cicatrise formant ainsi une glande endocrine temporaire dite corps jaune. Les cellules de la granulosa du corps jaune deviennent lutéales, capables de synthétiser la progestérone. Les cellules de la thèque interne synthétisent toujours les œstrogènes. Le corps jaune peut évoluer de deux manières différentes à savoir :  
• en l'absence de fécondation : le corps jaune est dit progestatif, sa durée de vie est de 14 jours ; et  
• en cas de fécondation : le corps jaune est dit gestatif, sa durée de vie est de 3 mois. Ensuite, il dégénère et le relais de la synthèse des stéroïdes est pris par les cellules du syncytiotrophoblaste du placenta.

● **Corps blanc (corpus albicans)**

Dans l'ovaire le corps jaune dégénère et forme le corps blanc, qui sera phagocyté par les cellules phagocytaires de l'ovaire .

## 5. Modifications cycliques de la muqueuse utérine

au début de cette phase et sous l'effet de la **progestérone**, la muqueuse utérine se développe, ses glandes et les vaisseaux sanguins se développent (augmentation de taille) et prennent une forme spiralée.

La chute de la production hormonale provoque la constriction des artères de l'endomètre, il s'ensuit une desquamation de la muqueuse utérine et comme conséquence une hémorragie menstruelle.

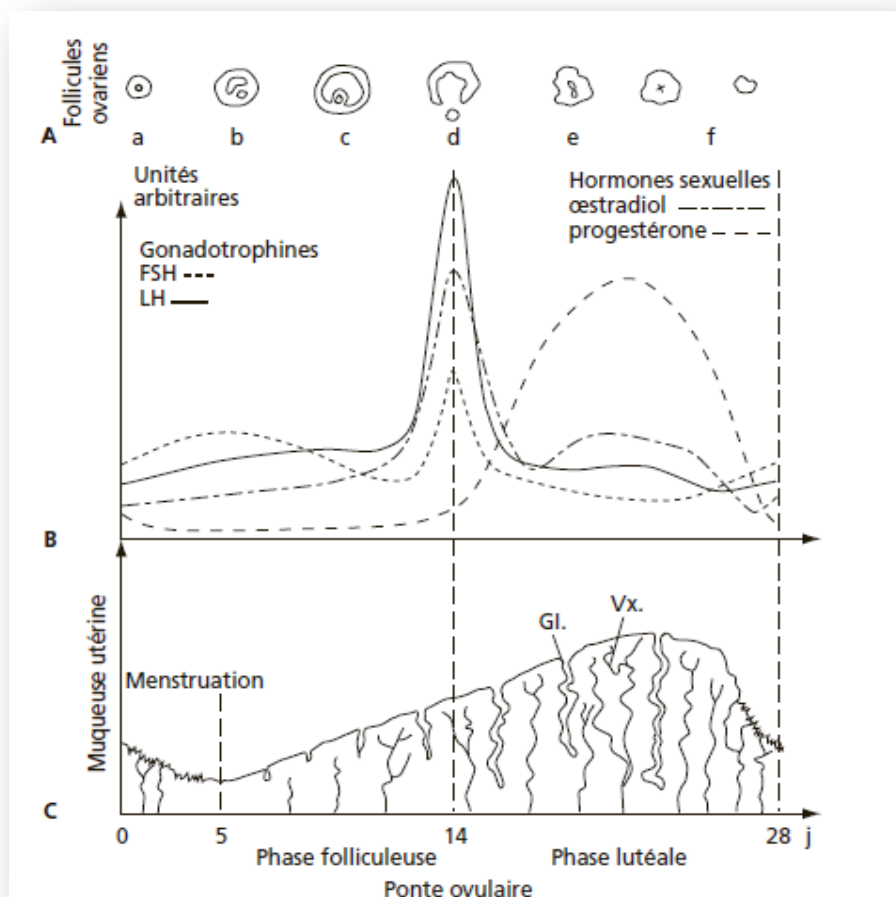


Figure 17. cycle menstruel chez la femme

## 6. Contrôle hypothalamo-hypophysaire de l'ovaire

L'activité ovarienne dépend étroitement de l'activité hypophysaire (FSH et LH).

En effet, le **taux de FSH atteint son maximum de synthèse vers le 13ème jour** du cycle. Cette hormone agit sur la croissance des follicules et sur la production d'oestradiol. Le pic de LH coïncide avec celui de la FSH et permet la sécrétion de la progestérone.

Les hormones ovariennes exercent des **rétrocontrôles négatifs** sur la production de LH ou de FSH. En effet, la **progestérone** a un rétrocontrôle négatif sur la **LH**.

Les **oestrogènes** inhibent la production de **FSH**.

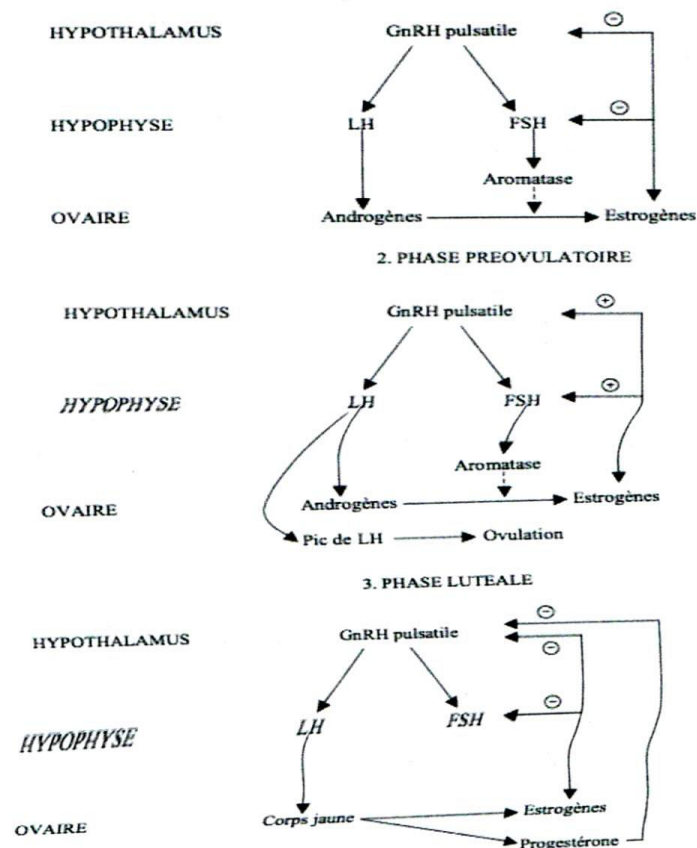


Figure 18 principales régulations hormonales au cours du cycle menstruel

### III-La Fécondation

#### 1-Définition

la fécondation Se définit comme la fusion de deux cellules matures haploïdes, les gamètes, en une cellule unique diploïde et totipotente appelée **zygote**, La formation du zygote marque le début du développement embryonnaire d'un nouvel individu par multiples divisions mitotiques.

**2-Le lieu de fécondation :** Il y a 2 types de fécondation

**2.1 Fécondation externe:** Les gamètes sont libérés à l'extérieur des voies génitales, ils se rencontrent dans l'eau ( oursin, poissons,...)

**2.2 Fécondation interne:** la rencontre des gamètes se fait dans les voies génitales femelles (reptiles, oiseaux, mammifères)

#### 2.3 3.Le Trajet des spermatozoïdes

##### 3.1 -Migration du spermatozoïde dans le tractus féminin

Après l'éjaculation, les spermatozoïdes se trouvent en grand nombre dans le vagin, près du col utérin. Le chemin qu'ils doivent escalader jusqu'à l'ovule est de 13 à 15 cm. En route, les spermatozoïdes subissent un processus de maturation supplémentaire , **La capacitation** est l'ensemble des modifications qui mènent à l'hyperactivité du spermatozoïde. Les modifications ont lieu sur la membrane cellulaire du spermatozoïde, elles s'accompagnent d'un changement de mobilité du spermatozoïde qui devient hyperactif.

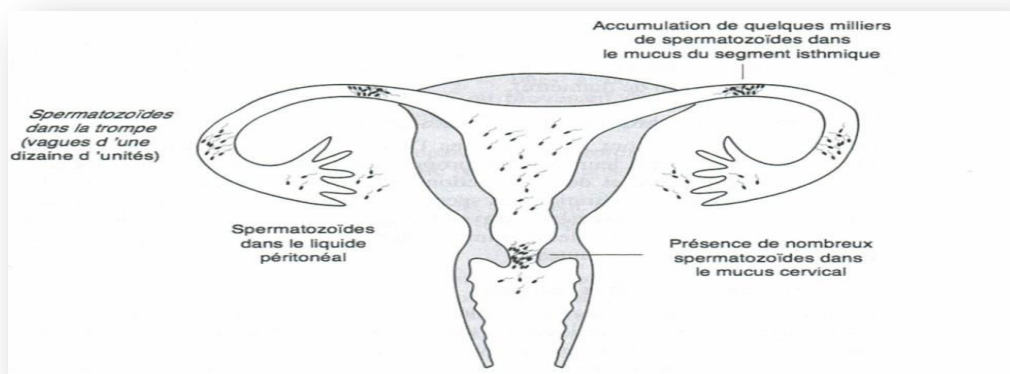


Figure 19. le trajet des spermatozoïdes dans les voies génitales féminines

### 3.2 Les étapes de la fécondation

Le spermatozoïde doit franchir le cumulus oophorus, de 3000 à 6000 cellules folliculaires enchâssées dans une matrice acellulaire riche en acide hyaluronique et qui entoure l'ovocyte au moment de l'ovulation

**3.2.1 Reconnaissance et adhérence des gamètes :** la zone pellucide constitue un mélange composé de plusieurs glycoprotéines appelées ZP1( zona protein 1), ZP2, et ZP3 , ZP2 et ZP3 sont associées en alternance et forment des filaments reliés entre eux par ZP1 pour franchir la zone pellucide, le spermatozoïde doit tout d'abord se fixer à sa surface, modifier la structure de sa tête par réaction acrosomique et franchir l'épaisseur de sa paroi.

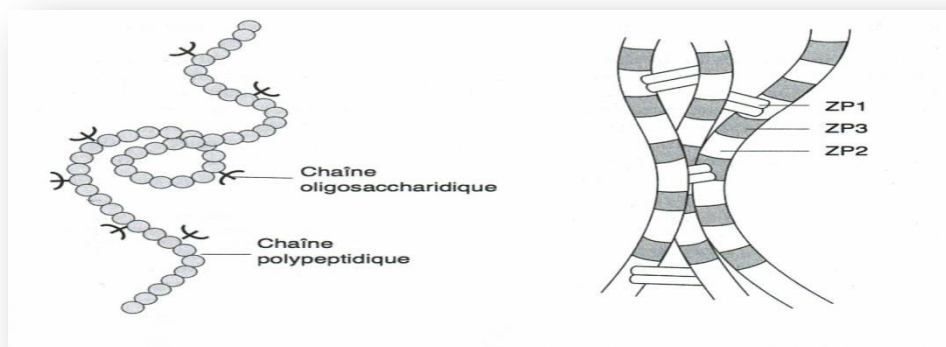


Figure 20. la composition moléculaire de la zone pellucide (ZP1, ZP2, ZP3)

**3.2.2 La réaction acrosomique :** les liaisons qui s'établissent entre un motif peptidique de ZP3 et les kinases transmembranaires spermatisques SP95 seraient à l'origine de l'agrégation suivie de l'activation de ces kinases. La réaction acrosomique semble directement liée à la stimulation de ces récepteurs membranaires et se trouve amorcée par une ouverture de canaux calciques. Celle-ci provoque la libération de  $Ca^{++}$  intracellulaire qui favorise alors indirectement des fusions ponctuelles entre la membrane externe de l'acrosome et la membrane plasmique de la tête spermatisque. Cette réaction est facilitée par les modifications préalables survenues dans la membrane plasmique au cours de la capacitation. Ceci entraîne la formation de pores par lesquels sont libérées les enzymes contenues dans la vésicule acrosomique. Des échanges ioniques entre  $H^+$  cellulaire et  $Na^+$  du milieu extérieur provoquent localement une modification de pH qui favorise l'activation de ces enzymes qui sont:

- La **hyaluronidase** lyse la matrice intercellulaire qui se trouve entre les cellules du cumulus oophorus.
- La **CPE**: corona penetrating enzym détruit les cellules de la **corona radiata**
- L'**acrosine** permet un relâchement local au niveau de la zone pellucide qui recouvre l'ovule

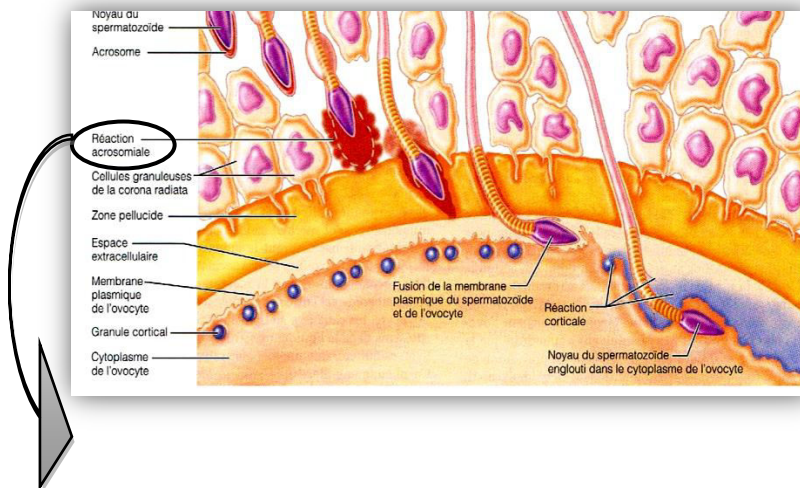


Figure 21. Les étapes de la fécondation

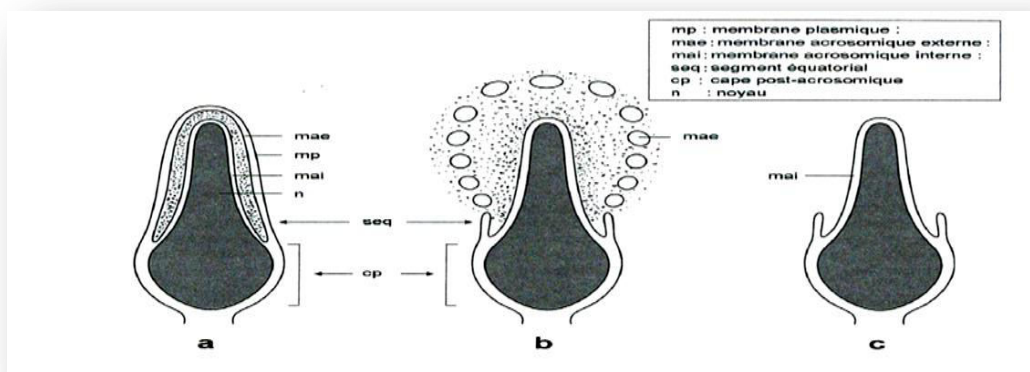


Figure 21. Réaction acrosomique

**3.3 réaction corticale** : lors de la pénétration du spermatozoïde, la fusion spermatique constitue un signal qui provoque l'augmentation rapide de transitoire de la concentration intracellulaire en calcium  $Ca^{2+}$ , ce qui déclenche également l'exocytose de **granules corticaux** situées sous la membrane plasmique de l'ovocyte, les enzymes ainsi libérés dans l'espace pré-vitellin notamment des enzymes hydrolytique, modifient la zone pellucide qui rendent impénétrable à d'autre spz, assurant le blocage de la polyspermie.

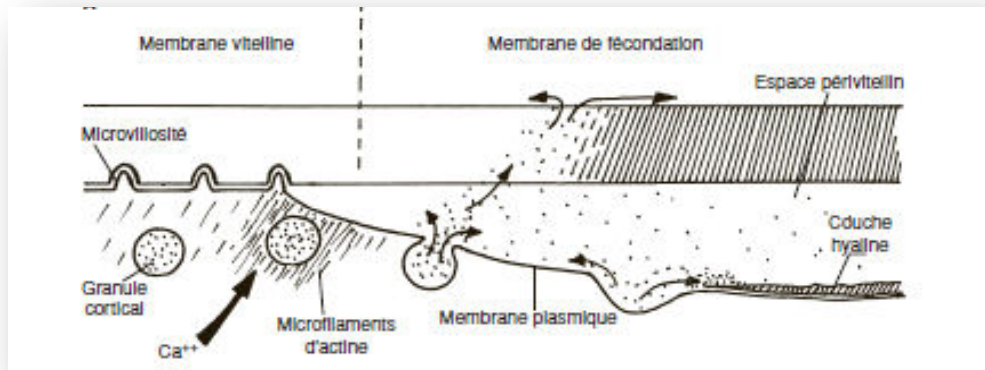


Figure 22. Réaction corticale

- **En conséquence**

-Achèvement de la deuxième division équationnelle **de l'ovocyte II**, qui donne l'ovule et le deuxième globule polaire

-transformation des deux noyaux mâle et femelle en **pronuclei** : respectivement le pronucleus mâle et le pronucleus femelle

- et décondensation de l'A.D.N. du spermatozoïde.

**3.4 Amphimixie** : Les deux pronucleï se dirigent vers le centre de l'ovule et, lorsqu'ils sont très rapprochés, Les protamines contenues dans la chromatine du noyau mâle sont remplacées par des histones. Les deux noyaux fusionnent avec formation d'une enveloppe nucléaire unique. Les chromosomes paternels et maternels s'individualisent à nouveau, ils s'apparient et s'organisent à l'équateur du fuseau achromatique au moment de la première division de segmentation.

## IV-La Segmentation

### Définition

c'est la première étape de l'ontogenèse, elle est caractérisée par la division de l'œuf fécondé en cellules de plus en petites appelées: **blastomères**. Le plan de segmentation est fonction de la quantité de réserves en vitellus que l'œuf accumulé pendant l'ovogenèse

### 1. Classification des œufs

Les œufs ou ovocytes sont classés selon leur richesse en **vitellus** (Le vitellus est essentiellement composé de réserves lipidiques (lipoprotéines)):

- Les œufs **alécithes**, sans réserves vitellines (Mammifères vivipares).
- Les œufs **oligolécithes**, avec de très faibles réserves vitellines (Oursins).
- Les œufs **hétérolécithes**, aux réserves relativement importantes et inégalement réparties qui n'empêchent pas une segmentation totale (Amphibiens, esturgeon, Annélides).
- Les œufs **téolécithes**, avec un vitellus abondant, fusionné en une masse compacte, le noyau étant refoulé dans une aire cytoplasmique réduite : le disque embryonnaire (Oiseaux et Reptiles, nombreux Poissons, Mollusques Céphalopodes).
- Les œufs **centrolécithes**, propres aux Insectes, avec un vitellus central et un cytoplasme périphérique dépourvu de vitellus (cortex ou périplasme).

### 2- Différentes modalités de segmentation

La segmentation suit le type d'œufs.

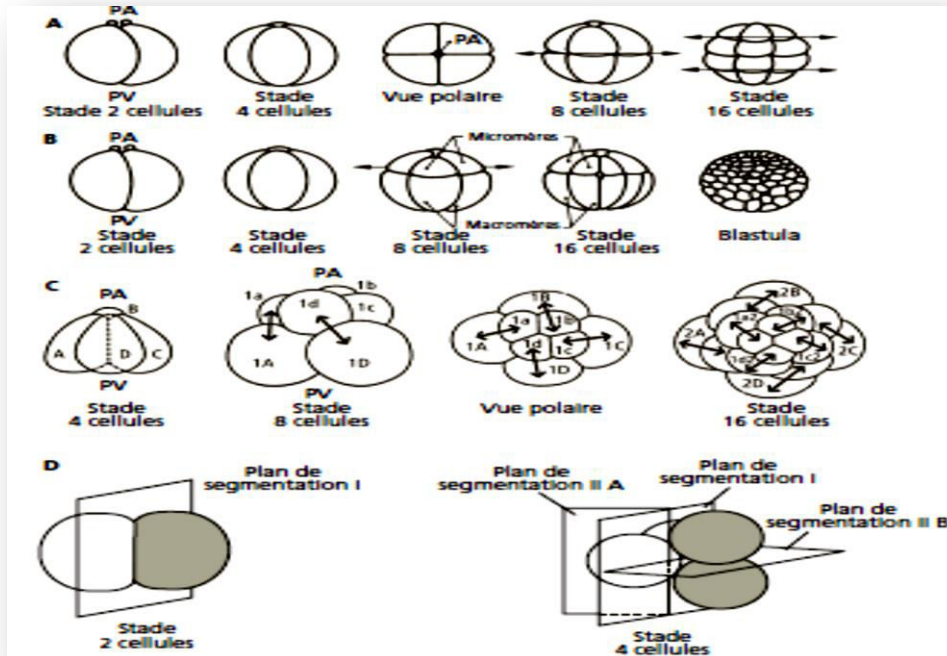
#### 2-1 Segmentation totale (=holoblastique):

Les divisions successives se font dans tout le cytoplasme (tout l'œuf) donc il y a:

**2.1.1 Segmentation totale égale:** tous les blastomères sont de même. C'est une éventualité très rare.

**2.1.2 Segmentation totale subégale:** les blastomères sont légèrement inégaux. Nous aurons des micromères et des macromères. Exemple: oursin, mammifères, Amphioxus.

**2.1.3 Segmentation totale inégale:** la segmentation touche toute la masse de l'œuf, et les blastomères du PA (micromères) sont plus petits et plus nombreux que les blastomères du PV (macromères). Exemple: l'œuf des amphibiens.



**Figure 23. Principaux types de segmentation totale.**

A : Segmentation, radiaire, égale (ex : g. *Synapta*, Échinoderme Holothuride). B : Segmentation, radiaire, inégale (ex : grenouille). C : Segmentation spirale. (ex : g. *Spisula*, Mollusque Lamellibranche). D : Segmentation rotationnelle (Mammifères)

#### 2-1. 4 Différents types de segmentation totale

- ✓ **Segmentation totale radiaire** : Succession de plans de clivage méridiens et latitudinaux. Observée chez les échinodermes (oursin) et les amphibiens (xénope). Cellule fille peut être identique ou de taille différente, l'orientation des cellules et une apparition de fuseaux excentrés : a cause de l'orientation en fuseau, il y a des petites cellules ou des grosse ⇒ Micromère ou macromère.
- ✓ **Segmentation totale spirale** : Dans ce cas à chaque cycle de division les fuseaux pivotent selon des angles de 45° par rapport à l'axe PA-PV. Les spirales : Annelides (sangue) Gastéropodes (escargot) Mollusques Lamellibranches (moules).

- ✓ **Segmentation totale bilatérale** : Dès premier stade de divisions, les blastomères se disposent selon les axes A-P et D-V au futur individu. Observée chez les tuniciers (Corail, anémone de mer...).
- ✓ **Segmentation totale rotationnelle** : Contrairement à la segmentation radiaire ou deuxième divisions sont méridienne et s'effectuent perpendiculairement l'un à l'autre. A une première division méridienne succède une deuxième division ou l'un des blastomères se divise selon le plan équatorial et l'autre réalise sa division selon le plan méridien. Observée chez les mammifères et les nématodes (vers ronds).

## 2-2 -Segmentation partielle: (=discoïdale)

- La division ne touche que la partie dépourvue de vitellus appelée cicatricule forment une masse qui repose sur le vitellus (non segmentée), cette masse s'appelle le blastodisque ou blastoderme. (Exemple l'œuf télolécithe des Oiseaux).
- La segmentation des œufs centrolécithes ne touche que le cytoplasme et elle est de type superficiel (segmentation superficielle).

## Segmentation partielle (ou méroblastique)

Chez les œufs très riches en réserves vitellines, la segmentation dans l'hémisphère végétatif est progressivement ralentie. Elle est totalement inhibée dans les œufs télolécithes des Mollusques Céphalopodes, des Poissons osseux et Sélaciens, des Oiseaux et des Reptiles. La segmentation n'intéresse qu'un **disque de cytoplasme** dépourvu de réserves, contenant le noyau de fécondation et situé au niveau du pôle animal : c'est le disque germinatif désigné sous le terme de **blastoderme**. La segmentation est **discoïdale** et aboutit à une blastula, dite **discoblastula**, constituée d'un feuillet cellulaire séparé du vitellus par une cavité, le blastocèle

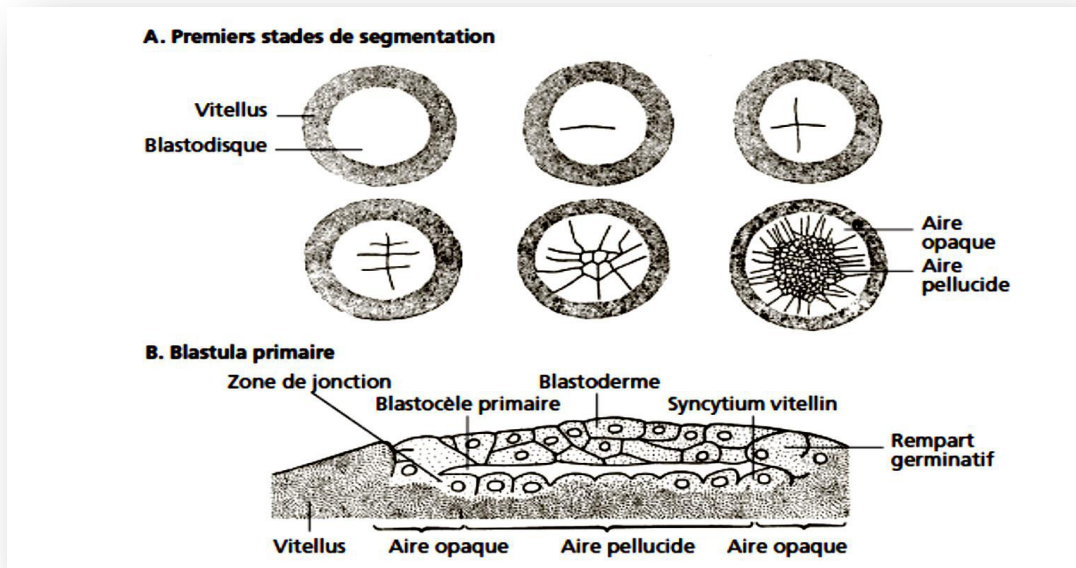


Figure 24. la segmentation partiel chez les oiseaux

Dans les oeufs **centrolécithes** comme ceux des Insectes, le noyau de fécondation se trouve au centre de l'oeuf au début de la segmentation. Il se divise un certain nombre de fois avant que les noyaux fils migrent, entourés d'une portion du cytoplasme central, vers le cytoplasme périphérique. Celui-ci est d'abord syncytial. Il s'organise en cellules par formation de membranes plasmiques, la masse vitelline centrale restant compacte. C'est une **segmentation superficielle** dite encore périphérique qui aboutit à une blastula dite **périblastula**.

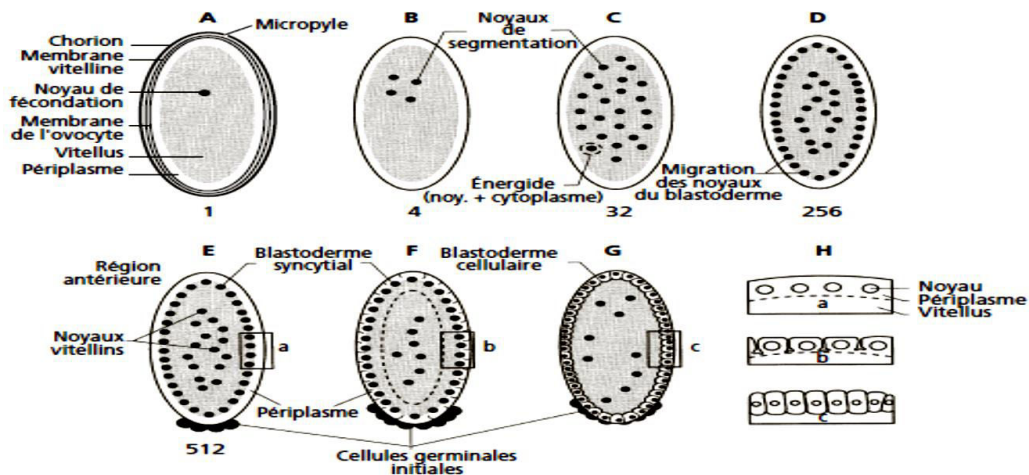


Figure 25. segmentation superficielle

Au stade 32 blastomères (chez les être humaine), l'œuf prend la forme d'une petite sphère : les cellules situées au centre gardent une forme sphérique tandis que celles situées en périphérie s'aplatissent, constituant la paroi de la sphère . Le diamètre total de la sphere est de l'ordre de 200 µm avec un volume peu différent de celui de l'ovocyte (la zone pellucide étant toujours présente). C'est le **stade morula**

Le morula ,c'est le début de la constitution d'une cavité remplie de liquide qui s'agrandira, appelée cavité de segmentation ou **blastocœle**, lorsque le blastocœle est de grande dimension, on parle de **blastula**.

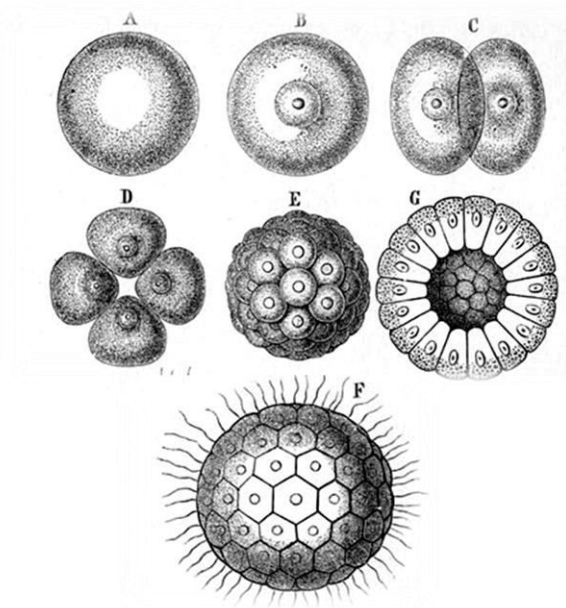


Figure 26. série de l'ontogénèse

( A. ,b ovule ; le stade de deux blastomère ; D stade de 4 blastomère ; E morula ; F,G blastula)

## V. Gastrulation

### 1. Définition de gastrulation

Les divisions de segmentation se ralentissent, la croissance est nulle ou insignifiante. Des migrations coordonnées des cellules de certaines aires embryonnaires aboutissent à la mise en place des trois feuillets fondamentaux des Métazoaires dits **triploblastiques** : un feuillet externe, l'**ectoderme**, un feuillet profond, l'**endoderme** et un feuillet moyen, le **mésoderme**. Dans quelques embranchements primitifs il n'y a pas de mésoderme, mais seulement les deux autres feuillets ; c'est le cas des Métazoaires **diploblastiques** regroupant les Spongiaires et les Cœlentérés. Suivant les modalités des mouvements morphogénétiques, on peut définir plusieurs types de gastrulation.

### 2. modalités de la gastrulation

elle se réalise selon 5 modalités différentes:

- **invagination (embolie)**
- **epibolie (recouvrement)**
- **délimination**
- **immigration**
- **prolifération polaire**

#### 2.1. La délimination

Elle correspond à des multiplications cellulaires perpendiculaires à la couches cellulaires délimitantes du blastocèle. Elle aboutit à la libération de cellules filles s'agençant entre elles dans la cavité du germe.

#### 2.2 L'immigration

Certaines cellules de la structure épithéliale de la blastula se détachent des cellules avoisinantes et vont se joindre, par migration, dans la blastocèle.

#### 2.3 L'embolie (ou invagination) :

Elle désigne un mouvement d'ensemble d'une partie de la population cellulaire de la blastula. Cette pénétration cellulaire interne entraîne, sans rupture des couches cellulaires existantes, la formation de l'**Archenteron**.

## 2.4 L'épibolie

Mouvement lié au fait qu'une population cellulaire de la blastula est amenée à proliférer et à recouvrir progressivement d'autres populations cellulaires qui vont se trouver ainsi intériorisées.

## 2.5 Prolifération polaire

Multiplication de cellule à un des pôles de la blastula, les cellules filles forment les nouvelles structures internes.

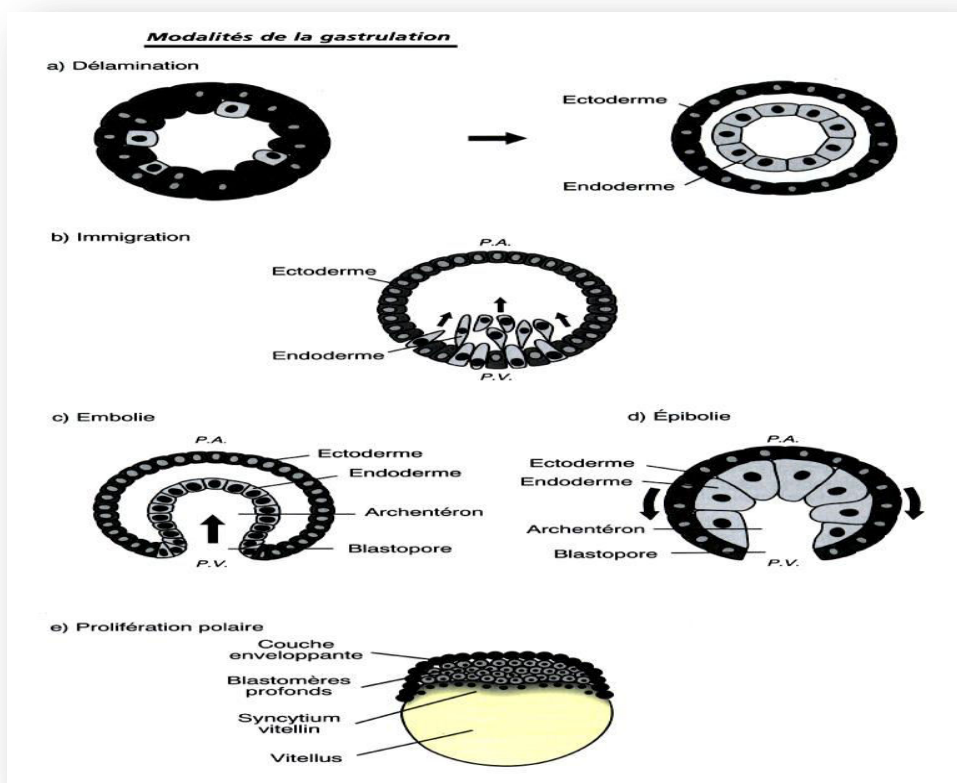


Figure 27. les modalités de la gastrulation

## VI. Neurulation : devenir des feuilletts

### 1. Définition

La neurulation aboutit donc à la constitution d'un tissu spécialisé, le neurectoderme. .  
Le neurectoderme naît à la face dorsale (coté cavité amniotique) de l'embryon dans le plan de symétrie. Le 19ème jour, l'ectoderme situé juste au dessus de la corde s'épaissit pour former la plaque neurale.

La plaque neurale apparaît d'abord à l'extrémité crâniale de l'embryon où elle est la plus large puis elle se développe vers la région caudale de l'embryon. Rapidement, les bords latéraux de la plaque neurale se soulèvent créant la gouttière neurale qui s'invagine le long de la ligne médiane.

Au 28ème jour, la gouttière neurale commence à se refermer pour former le tube neural, structure précurseur du système nerveux central. Les cellules des lèvres latérales de la gouttière neurale sont à l'origine de la crête neurale, qui s'isole au cours de la fermeture du tube neural puis migrent à travers le mésoderme pour donner naissance à de nombreuses structures périphériques comme les ganglions rachidiens.

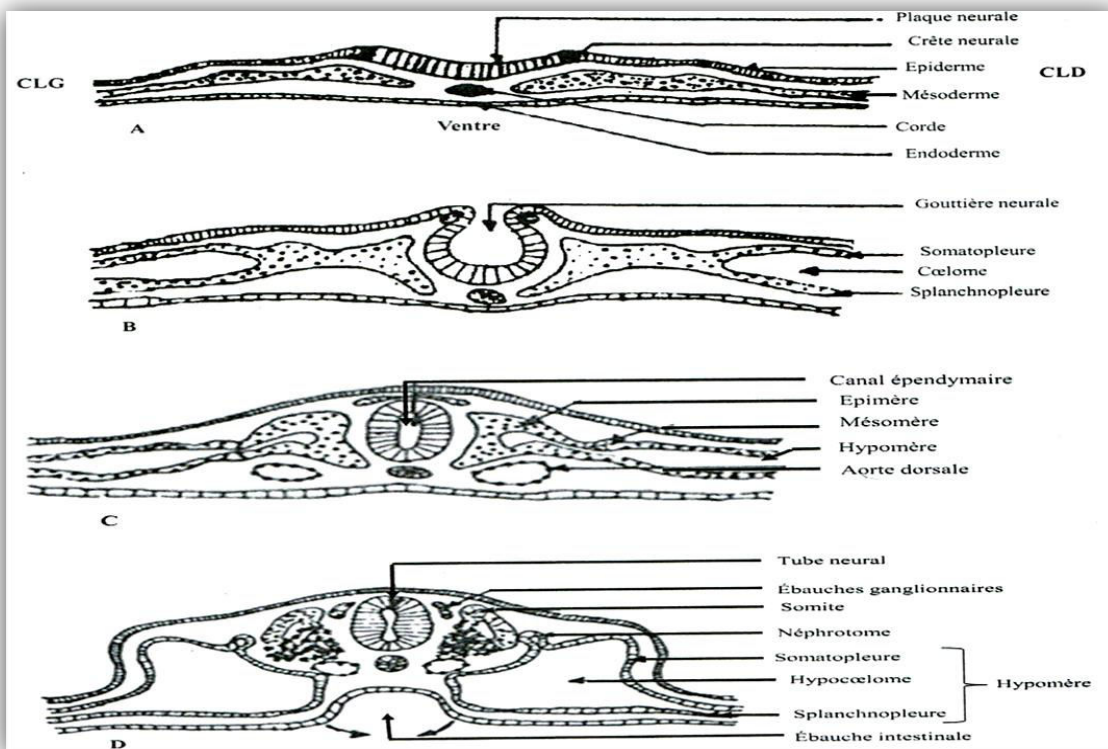


Figure 28. différents stades de neurula en coupe transversales

La partie de l'ectoderme non impliquée dans la genèse du système nerveux forme l'épiblaste. Il se referme au-dessus du tube neural et se transforme en un épithélium. Cette structure épithéliale primitive sera à l'origine de la formation de l'épiderme. L'engagement des cellules de l'ectoderme dans le lignage neural, épithélial ou des crêtes neurales est principalement régulé sous le contrôle des voies de signalisation.

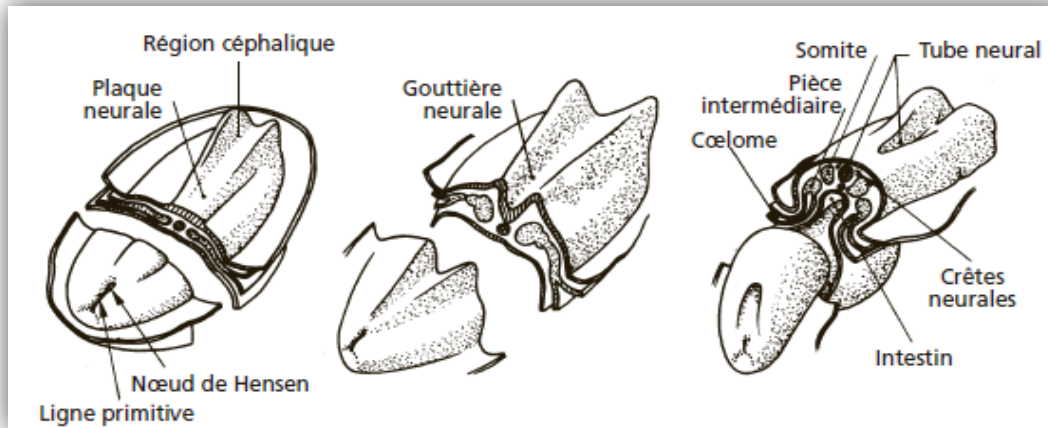


Figure 29. les étapes de la neurulation chez l'embryon humain

## 2-Destinée des feuillets embryonnaires

Le développement des organes s'effectue, de la même façon chez tous les vertébrés, à partir des trois feuillets embryonnaires (tableau 01)

Tableau 1 : Récapitulatif simplifié du devenir des feuillets embryonnaires chez les Vertébrés

Feuillets embryonnaires		Devenir
Ectoblaste	Neuroectoblaste (tube neural)	Nevraxe (vésicules céphaliques - moëlle épinière)
	Crêtes neurales	Ganglions nerveux - Médullosurrénale
	Epiblaste	Epiderme- glandes cutanées - anthéhypophyse
Mésoblaste	Matériel préchordal	Mésenchyme du crâne
	Mésoblaste axial (chorde)	Axe temporaire de la colonne vertébrale
	Mésoblaste para-axial (épimère-«somites »)	Vertèbres - muscles striés du tronc
	Mésoblaste intermédiaire (mésomère)	Rein- médulla de la gonade - corticosurrénale
	Mésoblaste latéral (Hypomère)	Splanchnopleure Somatopleure
Endoblaste		Epithéliums : tube digestif - thyroïde - glandes annexes (glandes salivaires - pancréas - foie)

## IV- Délimitation : annexes des oiseaux

### 1.Introduction

L'œuf de poule est Hétérolécithe, sa formation au a lieu dans l'ovaire a raison d'un œuf par jour. Le développement embryonnaire se déroule en deux phases :

Phase I : intra-utérin et phase II :extra-utérin.

#### Phase I : intra-utérin

Après l'ovulation l'œuf des oiseaux est fécondé au niveau de l'oviducte avant la formation de la coquille.

Après la fécondation l'œuf se délance dans l'oviducte et commence sa segmentation 5heurs après la fécondation.

24 hures après la fécondation l'œuf de les oiseux est pondus ce processus est appelée « ponte ovulaire ». À ce stade commence la deuxième phase du développement.

#### Phase II : extra-utérin

Après la ponte ovulaire la poule couvre ces œufs, ce phénomène est appelée « incubation » , il est utilisée pour mesurer les reçus relatives aux différentes étapes du développement embryonnaire de l'oiseau.

#### 2-Les étapes du développement embryonnaire de l'oiseau

-**Segmentation** : a la fin de la segmentation à lier a deux heurs d'incubation.

-**La gastrulation** : elle débute à deux hures d'incubation et se termine à 28hure d'incubation.

-**La Neurilition** : elle débute avent la fin de la gastrulation a 20hure d'incubation et se termine a 44 hure d'incubation.

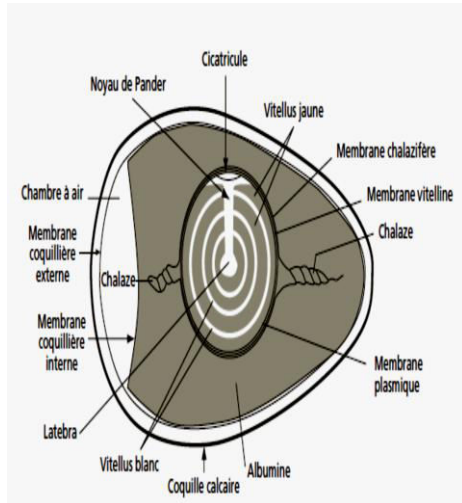


Figure 30. l'œuf d'oiseaux

Repères anatomique		Fonctions	Temps	
OVAIRE	Dimension (cm)	Follicules	Dépôt du jaune	10j
	7		Ovulation	0
OVIDUCTE	9	Infundibulum	Fécondation	20 min
	33	Magnum	Dépôt du blanc	3h30
	10	Isthme	Dépôt des membranes coquillières	1h15
	10	Utérus	Dépôt de la coquille	
				21h
	10	Vagin	Expulsion de l'œuf (oviposition)	

Figure 31. La cinétique des dépôts et lieu de formation de l'œuf de la poule

A la fin de réalisée tous les étapes de développement embryonnaire l'embryon de la poule doit développer des structures pour lui permettre utilisée continu de son œufs, ces structures sont appelées « annexe extra- embryonnaire ».

### 3-Formation des annexes extra-embryonnaires

#### 3.1 Définition des annexes extra-embryonnaires

Se sont des formations d'Origène ectodermique ou endodermique, ce se développer hors l'embryon qui vont servir à le mettre en contact le vitellus, on distingue trois annexes embryonnaires :

- 1-Vésicule vitelline. 2-Cavité amniotique. 3-Allantoïde.

**3.1.1 Vésicule vitelline** elle est former par les tissus endodermiques embryonnaire, se prolonge a l'intérieur de l'embryon est s'installe sur la surface de vitéllus ce ci forme la vésicule vitelline.

Pondant ce temps le mésoderme embryonnaire se développe hors l'embryon et se constitue par deux feuilletts séparée par un cœlome vide :

Un feuillet interne et Un feuillet externe qui va former un faisceau sanguin qui met en contacte la vésicule vitelline et l'embryon.

**3.1.2 Cavité amniotique** elle est d'origine ectodermique et mésodermique, c'est le résultat de la soudure de deux plis, un pli ectodermique double de la feuillet interne (somatopleur )dans la région intérieure et un pli ectodermique double de la somatopleur dans la région

postérieur, ce ci donne naissance a une cavité qui enveloppe l'embryon et l'isole du milieu extérieure, le feuillet externe de la cavité protège l'embryon des changent du milieu externe, il est appelée « amnios » **3.1.3Allantoïde** elle est d'Origène endodermique, c'est une phase qui progresse pour occupe tous le cœlome qui existe a l'intérieur de l'œuf.

### 3.1.3.1 Fonctions de l'allantoïde

**Respiratoire** : Le feuillet mésodermique qui double l'allantoïde, la splanchnopleure extraembryonnaire, est vascularisé et s'applique contre la séreuse.).

**Nutritive** : L'allanto-chorion est un site d'absorption d'une partie des sels de  $Ca^{++}$  de la coquille à laquelle il est accolé.

**Excrétrice** : L'allantoïde accumule les déchets éliminés par les reins (la vessie).

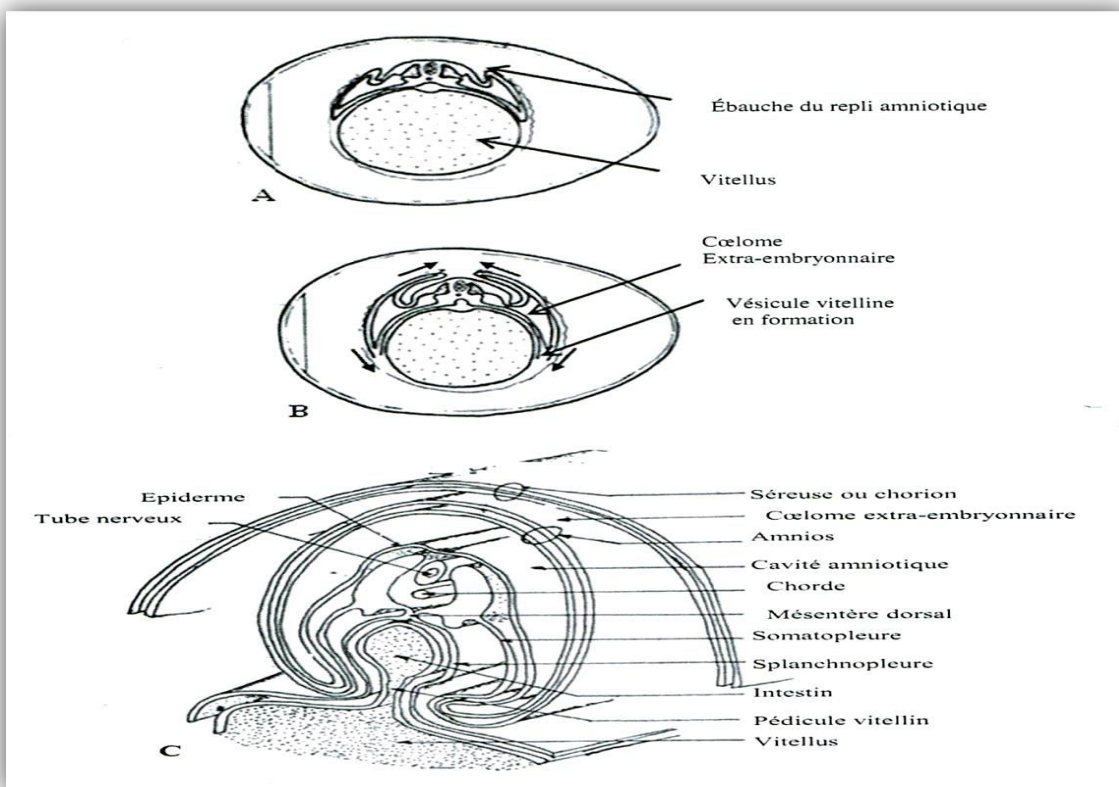


Figure. 32 formations des annexes embryonnaires

## VII- Particularités de l'embryologie humaine

(Cycle, nidation, évolution annexes, placenta)

### 1- Cycle menstruel

Chez la femme, l'activité de l'ovaire es mise en évidence extérieurement par l'apparition périodique( en moyenne 28jours) d'un saignement, du à la desquamation d'une partie de la muqueuse utérine, appelé menstruation ou règle , cet événement se répète avec une grande régularité quand l'ovulation n'est pas suivie de fécondation. Le premier jour des menstrues coïncide avec le premier jour du cycle ovarien. Les cycles succèdent de la puberté à la ménopause et ils ne sont interrompus que lors d'une fécondation ou d'une gestation.

### 2- Cycle ovarien

L'ovaire, constitué d'une zone corticale (cortex) et d'une zone médullaire (médulle), a une double fonction, exocrine ( formation du gamète femelle), et endocrine( élaboration des hormones femelles) , comporte 3 grandes phases distinctes :

- la phase folliculaire
- l'ovulation
- la phase lutéale

#### 2.1 La phase folliculaire

C'est la phase de folliculogénèse (ou croissance folliculaire).

Cette phase s'étend du 1er jour du cycle (1er jour des règles) jusqu'à l'ovulation qui a généralement lieu le 14è jour d'un cycle idéal de 28 jours. Sous l'influence d'une hormone sécrétée par l'hypophyse, la FSH, les petits follicules disponibles dans les ovaires en début de cycle (les follicules préantraux) vont entamer leur croissance et leur développement. Dès que les follicules sont assez gros, ils commencent à sécréter des oestrogènes, dont le taux va commencer à augmenter dès le 5e jour du cycle. Ces oestrogènes vont alors diminuer la synthèse de la FSH par l'hypophyse (rétrocontrôle négatif) et la plupart des follicules, qui ne sont plus stimulés par cette FSH vont commencer à dégénérer (l'atresie folliculaire). Seul un follicule (en général), le plus sensible à la FSH, va poursuivre sa croissance et arriver à maturation à la fin de cette phase. C'est le follicule dominant, qui à maturité, portera le nom de follicule de de Graaf. Pendant ce temps, au niveau de l'utérus, sous l'influence des oestrogènes, l'endomètre qui avait été éliminé lors des règles, commence à se régénérer : c'est la phase proliférative.

#### 2.2 L'ovulation

Dès que le taux d'oestrogène atteint un seuil (généralement entre 300 et 350 pg/ml), il stimule la sécrétion de LH par l'hypophyse. Le taux de cette hormone augmente alors rapidement (c'est le pic de LH), et déclenche l'ovulation proprement dite, qui survient en moyenne 36 à 48h après le début de ce pic. L'ovulation est une période de courte durée (en moyenne 48 heures) qui se caractérise par la libération de l'ovocyte mature par l'ovaire et sa captation par l'ampoule de la trompe de Fallope.

### 2.3 La phase lutéale

Cette phase s'étend de l'ovulation à l'arrivée des règles, Sa durée est relativement constante et peu variable, de 12 à 16 jours. Elle est caractérisée par 2 phénomènes :

La formation et ensuite la dégénérescence du corps jaune : le follicule de Graaf qui a libéré l'ovocyte mature va se remplir de sang (follicule hémorragique) et ses cellules vont se modifier. Il va dès lors sécréter principalement de la **progestérone** (et aussi un peu d'oestrogènes) qui atteint un pic maximal vers le 9e jour post-ovulatoire. En l'absence de fécondation et nidation, le corps jaune va commencer à régresser dès le 9e jour qui suit l'ovulation et le taux de progestérone et des œstrogènes vont diminuer. Le développement de l'endomètre qui se prépare à une éventuelle nidation : sous l'action de la progestérone, la paroi de l'endomètre s'épaissit et se vascularise (**phase sécrétoire**). En l'absence de nidation, suite à la chute de la progestérone, cette paroi va être éliminée en fin de cycle, ce qui déclenche des saignements : les **menstruations**.

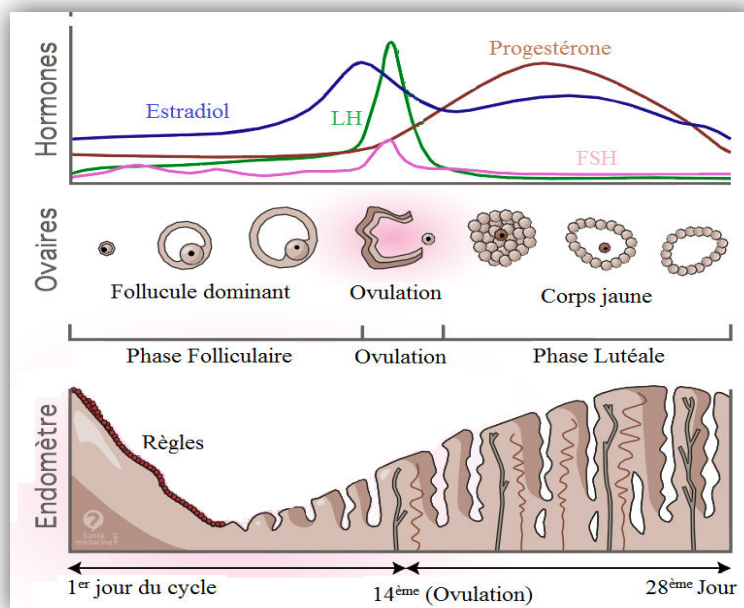


Figure 33. le cycle ovarien et le cycle utérin

La première semaine du développement embryonnaire correspond à la période pré-morphogénétique : la fécondation, la segmentation et la formation du blastocyste.

- l'œuf de l'homme (et des mammifères) est de type oligolécithe et la segmentation est totale (holoblastique) subégale.
- Le germe mène une vie libre et se déplace vers la cavité utérine.
- Au bout de 04 jours les divisions se succèdent jusqu'à l'obtention d'une masse cellulaire formée de cellules périphériques de petite taille entourant des cellules centrales de grande taille (macromères): c'est le **stade morula**.

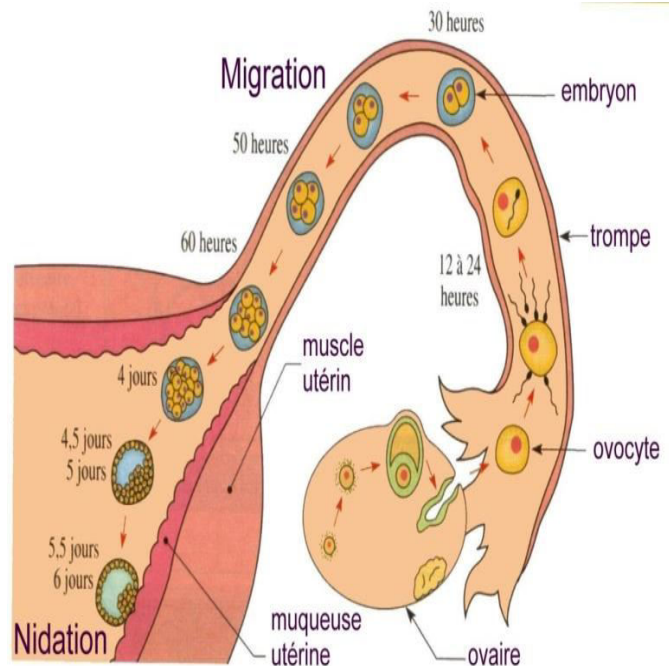


Figure 34. La première semaine du développement embryonnaire

- Au 5<sup>ème</sup> jour, la morula se creuse d'une cavité donnant le **blastocyste** formé de 03 parties:
- Des cellules périphériques: le **trophoblaste**.
- Des cellules centrales (ou internes): le **bouton embryonnaire** qui va donner l'embryon.
- **Une cavité**: le blastocœle (=lécithocœle) rempli d'un liquide.

Le blastocyste est alors libre dans la cavité utérine vers le 6ème jour du développement, la zone pellucide ayant subi une digestion enzymatique : c'est l'**éclosion** du blastocyste.

Du tiers externe de la trompe, lieu de la fécondation, l'embryon est transporté vers la cavité utérine. Cette migration tubaire est favorisée par :

- Les battements des cils de l'épithélium tubaire.
- Le flux du liquide péritonéal.
- Les mouvements péristaltiques de la musculuse de la trompe.

*Il est à noter que la zone pellucide facilite également la migration tubaire de l'embryon.*

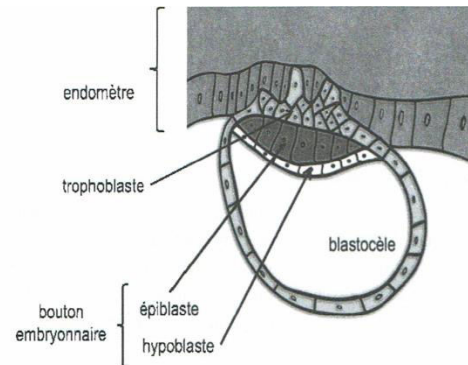


Figure 35. blastocyste en cours d'adhésion par son pole embryonnaire

### Les rôles du trophoblaste:

- Rôle **protecteur**: isole le milieu interne embryonnaire
- Rôle dans **l'éclosion du blastocyste**:
  - en augmentant le volume du blastocèle
  - sécrétion d'enzymes destinés à lyser la zone pellucide
- Rôle **nutritionnel vis à vis du jeune embryon, filtrant les éléments, exercé par l'intermédiaire** des pôles apicaux des cellules.
- Rôle endocrine par la sécrétion d'HCG (Gonadotrophine Chorionique Humaine) très précoce. Sa sécrétion débute dès que le blastocyste quitte la ZP, elle apparait dans le sang  $8 \pm 1$  jours après la fécondation) C'est une hormone analogue à la LH. Permet le maintien du corps jaune: transformation d'un corps jaune cyclique, en un corps jaune gestatif.
- Participation à la formation du placenta

- Rôle dans la tolérance immunologique de la grossesse (en jouant dans la formation du placenta).
- Rôle dans l'adhésion à l'épithélium utérin et dans l'invasion de l'endomètre.

Au cours de *La Deuxième semaine* du développement embryonnaire, **État préalable de la paroi utérine :**

La fixation du blastocyste à l'épithélium utérin a lieu au 7<sup>ème</sup> jour de la grossesse, soit au 21<sup>ème</sup> jour du cycle menstruel

## **2-Mécanismes et aspects morphologiques de la nidation**

c'est **l'implantation** de l'embryon à l'intérieur de l'endomètre utérin préparé par les sécrétions hormonales du corps jaune (œstrogène et progestérone), le blastocyste se libère d'abord de la zone pellucide, puis par apposition et adhésion se fixe à l'endomètre. Le trophoblaste se différencie en syncytiotrophoblaste externe et cytotrophoblaste interne. Les enzymes secrétés par syncytiotrophoblaste détruisent l'épithélium utérin, le tissu conjonctif puis le paroi des capillaires sanguins. Au 9eme jour, l'embryon est totalement nidé et l'épithélium est reconstitué entre les 13 eme jours et les 15<sup>ème</sup> jours, le syncytiotrophoblaste et le cytotrophoblaste seront à l'origine de l'annexe la plus externe : le chorion, futur placenta fœtal.

## **3.Evolution des annexes, placenta**

### **3.1 Évolution de l'amnios**

Établi par plissement ou par cavitation, il délimite une cavité où baigne l'embryon, emplit d'un liquide riche en fructose et en hormones comme l'œstradiol et qui atteint chez l'homme une contenance de 1 à 1,8 litres à la naissance. L'emploi d'isotopes radioactifs permet de montrer que ce liquide est continuellement absorbé par l'embryon par voie buccale et évacué vers l'allantoïde par les reins. À mesure que se développe l'amnios, le cœlome extra-embryonnaire se réduit et l'amnios s'accrole au chorion sur une étendue de plus en plus grande

### **3.2 Évolution de la vésicule vitelline**

Chez l'Homme, c'est une poche qui reste très réduite, elle a sans doute un rôle respiratoire au début du développement, en raison de son importante circulation sanguine.

### 3.3 Évolution de l'allantoïde

Son importance relative par rapport à la vésicule vitelline varie avec les espèces. Dans l'espèce humaine, son développement atteint son maximum au bout de 2 à 3 semaines de gestation, puis il y aura oblitération. Dans tous les cas se développent dans sa paroi splanchnopleurale, des vaisseaux allantoïdiens qui vont coloniser le chorion et le vasculariser. La participation de l'allantoïde à la formation du placenta constitue une caractéristique des Mammifères placentaires (**placentation allanto-chorionique**).

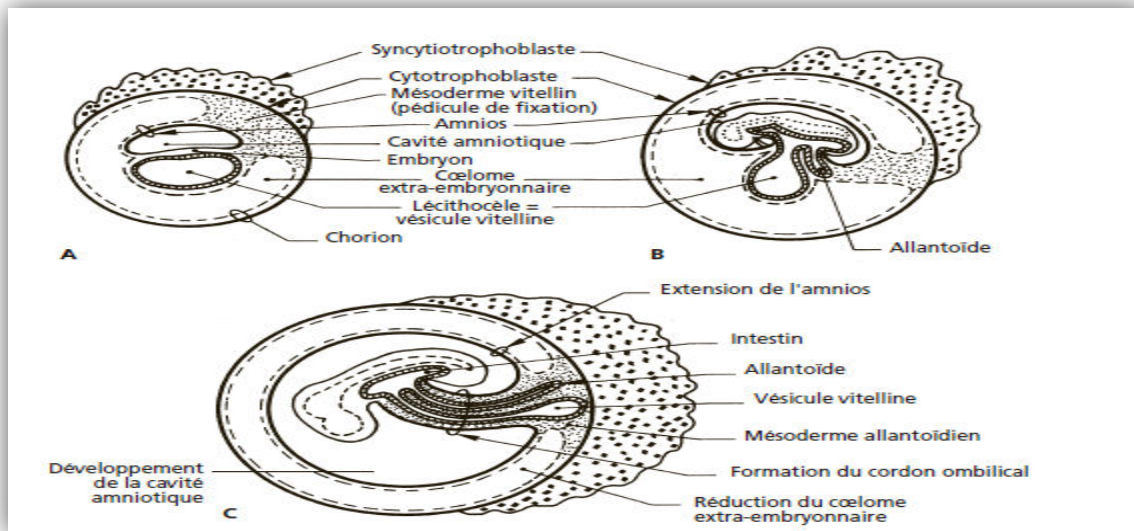


Figure 36. formation des annexes embryonnaires chez un embryon de mammifère

### 4 .Développement du placenta

Il comprend deux faces : la face fœtale représentée par le chorion vascularisé interne et l'amnios externe. la face maternelle est représentée par des pseudo-cotylédons

Sur coupe histologique, le placenta est formé sur sa face fœtale d'une plaque chorial (chorion et amnios), de chambres intervillieuses et de troncs villositaires ramifiés. Chaque tronc occupe une pseudo-cotylédon et est séparé du reste par septum du côté maternel la plaque basale est formé par syncytiotrophoblaste et la caduque basale.

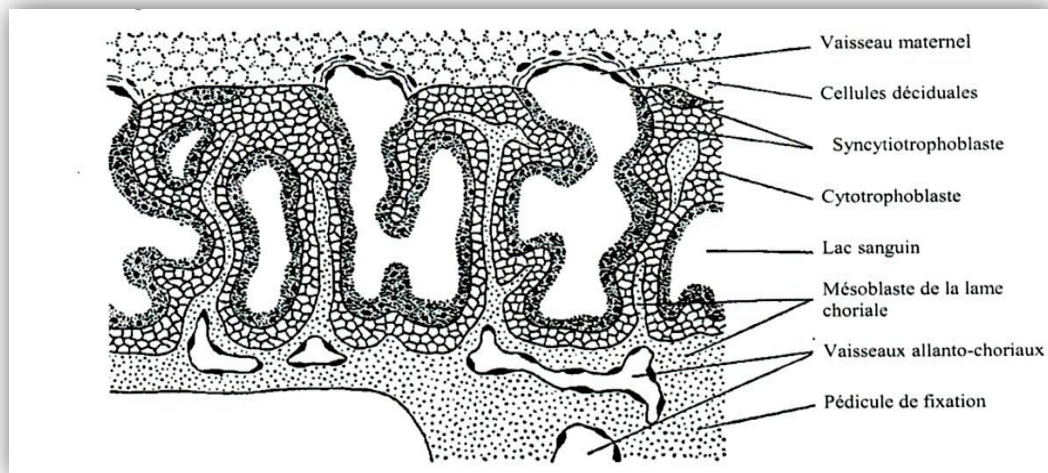


Figure 37. structure du placenta à la fin de 3<sup>eme</sup> semaine du développement embryonnaire

#### 4.1 Fonction de placenta

- Lieu d'échanges respiratoire et nutritif et le lieu d'excrétion.
- Défense immunitaire du fœtus grâce au passage des anticorps maternels
- Barrière sélective contre les médicaments les drogues, l'alcool.....
- Contrôle endocrinien de la gestation
- Prend le relais du corps jaune gestatif au 3eme mois (synthèse de progestérone et œstrogènes) .
- Sécrétion l'hormone chorionique Gonadotrophique HCG.

*Deuxième partie*

*Histologie*

## 1. Introduction

**\*histologie** (**Histo** du grec histos : un tissu ; **logie** du grec logos : science ou discours) générale est l'étude de l'association des cellules pour former des tissus, L'histologie utilise comme outil le microscope photonique du coupes fines et colorées des organes vitale.

Le terme de tissu désigne un ensemble de cellules ayan même origine et leur morphologie semblable et qui participent une fonction commune, Les tissus sont constitués de cellules et de matrice extracellulaire. Un tissu peut être un tissu simple ou un tissu composé. Les tissus animaux sont classés en 4 types , simples ou **primaires** peuvent être distingués :

### 2. tissus simples et tissus composes

Il est classique de distinguer:

#### 2.1 les tissus simples

Ils correspondent à 4 entités facilement identifiables, nécessaires mais suffisantes, pour constituer l'ensemble des êtres vivants. Il s'agit :

- **Du tissu épithélial**
- **Du tissu conjonctif**
- **Du tissu musculaire**
- **Du tissu nerveux**

#### 2.2 les tissus composés, ou spécialisés

Au plan fonctionnel, les tissus simples ne peuvent être considérés isolément. Ils subissent des niveaux de différenciation variables suivant leur localisation. Ils sont en contact avec un environnement matriciel qui se modifie .En bref s'il n'existe que 4 tissus simples, leur combinatoire locale dirigée aboutit à des tissus spécialisés, avec de grandes différences morpho-fonctionnelles : Cortex rénal, rétine visuelle, muqueuse intestinale, tube séminifère, etc.

*L'identification du tissu composé tient donc compte de sa localisation topographique et de sa spécificité fonctionnelle.*

## I -L'épithélium de revêtement

### 1.Généralité

Le terme épithélium signifie un tissu formé de cellules jointives (juxtaposées). Le tissu épithélial est subdivisé en deux groupes principaux :

a- **Les épithéliums de revêtement (ou de surface)** : ils forment un revêtement sur la totalité des surfaces externes et internes de l'organisme.

b- **Les épithéliums glandulaires** : ils sont constitués par des cellules spécialisées dans les sécrétions externe et interne.

### 2. Définition de l'épithélium de revêtement

-Les épithéliums de revêtement sont constitués par des cellules adjacentes associées par des jonctions cellulaires serrées

-Les épithéliums sont toujours avasculaires (les exceptions sont rarissimes).

-Les épithéliums recouvrent le tissu conjonctif (toujours dérivé du mésoblaste) et le protègent. Mais simultanément le tissu conjonctif lâche apporte aux épithéliums la vascularisation et les terminaisons nerveuses

-En effet les épithéliums reçoivent du **conjonctif sous-jacent** (souvent appelé **chorion**) la composante trophique qui leur est nécessaire, qu'il s'agisse des éléments nutritionnels nécessaires au métabolisme des cellules épithéliales, qu'il s'agisse de nombreux facteurs de signalisation ayant vocation de facteurs de croissance ou de différenciation, qu'il s'agisse d'une composante nerveuse et de la diffusion de neuromédiateurs, etc. Sans aucune exception, tous les épithéliums sont séparés du chorion conjonctif sous jacent par une

- **lame basale** (description morpho-fonctionnelle ultérieure)

dont les différentes composantes sont sécrétées à la fois par les cellules épithéliales et par le tissu conjonctif adjacent. Le rôle des lames basales est essentiel pour expliquer certains mécanismes de différenciation.

- recouvrant une surface, interne

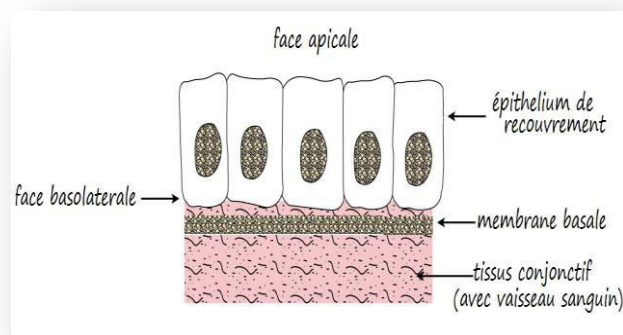


Figure 1. schéma d'un épithélium

ou externe, de l'organisme

### ●Jonctions cellulaires

Desmosomes dans tous les épithéliums -Complexes de jonctions dans les épithéliums de revêtement (rôle d'étanchéité) :  
jonction serrée : 1 , jonction intermédiaire : 2 , desmosome : 3, jonction communicante : 4

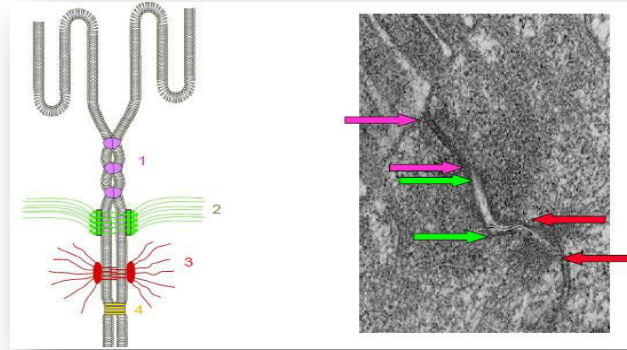


Figure2. Complexes de jonctions dans les épithéliums de revêtement

### 3. Classification morphologique des épithéliums de revêtements

La classification morphologique des épithéliums de revêtements fait appel à trois critères : la des cellules superficielles, le nombre de couches superficielles, la présence de spécialisation de surface comme les cils ou la kératine

#### 3.1 Forme des cellules superficielles






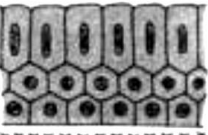
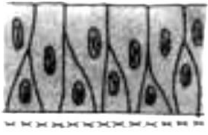

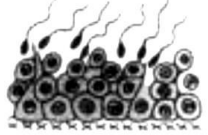

- a)- *Cellules pavimenteuses* Ce sont des cellules plates, polygonales à contour irrégulier, possédant un noyau central.
- b)- *Cellules cubiques* leurs cellules superficielles sont aussi larges que haute.
- c)- *Cellules prismatiques ou cylindriques*, dont les cellule les plus superfocielles sont plus hautes que larges.

#### 3.2 Nombre de couches cellulaires

- a)- *Un épithélium simple* comporte une seule couche de cellule dont le pôle apical est en contact avec la lumière de la cavité qu'il borde.
- b)- *Un épithélium stratifié* est formé de plusieurs assises de cellules superposées ; la couche la plus profonde, représente généralement la couche germinative ou de régénération.
- c)- *Un épithélium pseudostratifié* contient des cellules qui sont toutes en contact avec la lame basale, mais qui n'atteignent pas toute sa surface.

**3.3 Nature des structures superficielles** Ces structures sont des: substances chimiques recouvrant l'épithélium (cuticule, kératine); spécialisations de la surface apicale (surface libre) des cellules superficielles de l'épithélium(cils vibratiles, plateau strié, etc.).

**Tableau 1 : les différents types d'épithélium de revêtement**

Nombre de couches de cellules / Forme des cellules	Épithéliums simples (1 seule couche de cellules)	Épithéliums stratifiés (plusieurs couches de cellules)	Épithéliums pseudo-stratifiés (noyaux étagés, mais toutes les cellules reposent sur la lame basale)
Épithéliums pavimenteux (cellules plus larges que hautes)	 Ép. pavimenteux simple	 Ép. pavimenteux stratifié	
Épithéliums cubiques (cellules aussi hautes que larges)	 Ép. cubique simple	 Ép. cubique stratifié	
Épithéliums prismatiques (cellules plus hautes que larges)	 Ép. prismatique simple	 Ép. prismatique stratifié	 Ép. prismatique pseudo-stratifié
Épithéliums particuliers où les cellules ont des formes trop variées pour entrer dans la classification précédente	 Épithélium interne de la capsule de Bowman du rein	 Épithélium des tubes séminifères du testicule	 Épithélium polymorphe des voies urinaires excrétrices ou urothélium

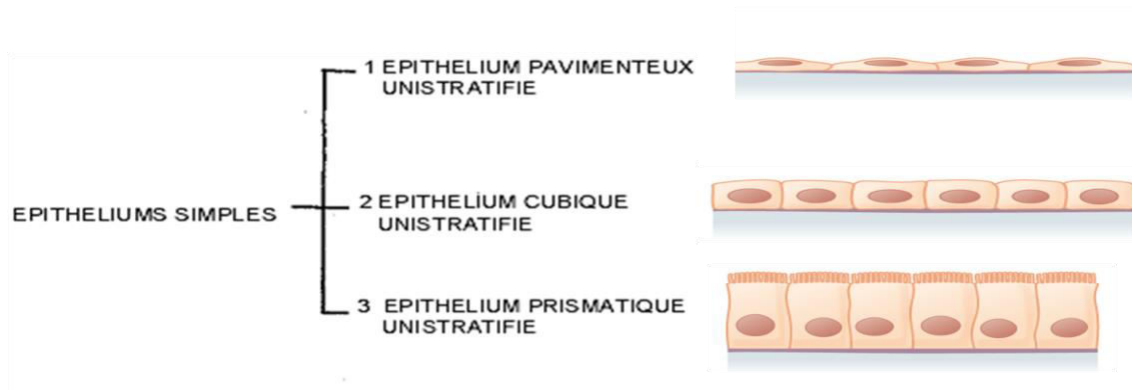
#### 4. Différents types d'épithéliums de revêtement

##### A. Épithéliums simples

1. **Épithéliums pavimenteux simples** : ils comprennent qu'une seule couche des cellules aplaties, plus larges que hautes, à contour irrégulier reposant sur la lame basale qui les séparent du tissu conjonctif (chorion) sous jacent.

2. **Épithéliums cubiques simples** : formés d'une seule assise de cellules cubiques aussi hautes que larges.

3. **Épithéliums prismatiques simples** : les cellules sont plus hautes que larges. Ils peuvent être avec ou sans différenciations apicales



### B. Epithéliums pseudostratifiés :

1. **Epithélium prismatique pseudostratifié** : exemple, l'épithélium respiratoire pseudostratifié cilié à cellules à mucus.
2. **Epithélium pseudostratifié polymorphe** des voies excrétrices de l'urine (urètre, vessie...) dont l'aspect change suivant le degré de distension des voies urinaires auquel il doit s'adapter.

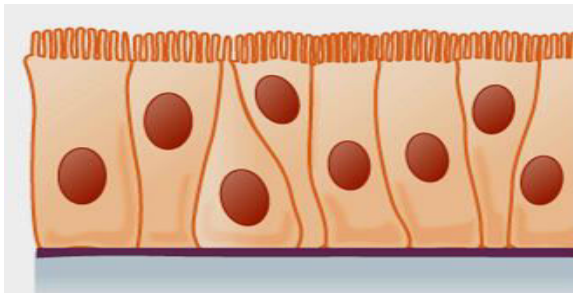


Figure3. épithélium pseudostratifié à cellules ciliées

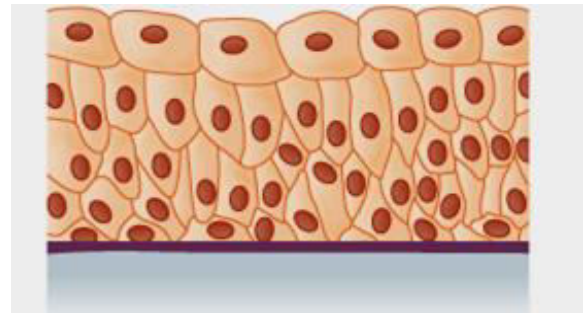


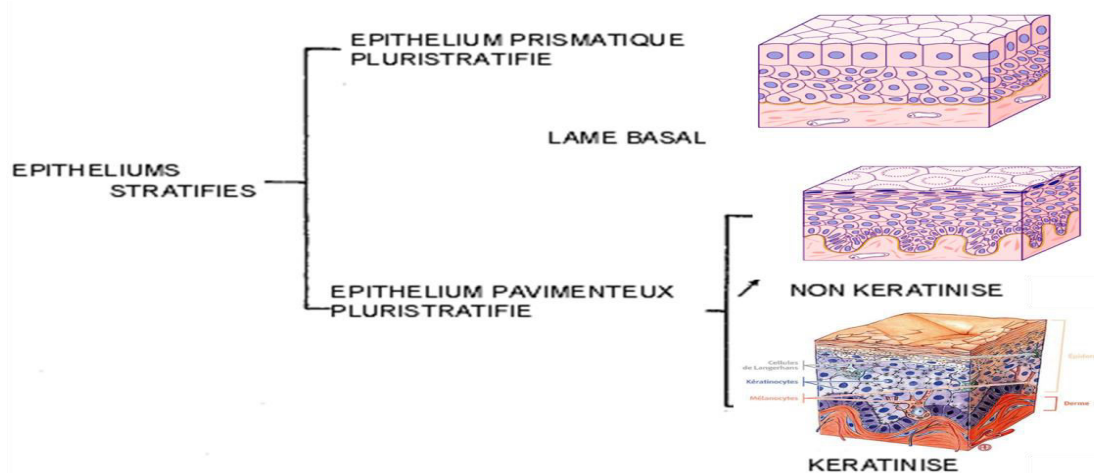
Figure4. épithélium pseudostratifié de transition

### C. Epithéliums stratifiés :

1. **Epithéliums prismatiques stratifiés** : ils possèdent une couche de cellules basales (couche germinative) qui se divisent et se transforment en cellules polyédriques, disposées sur plusieurs assises.
2. **Epithéliums pavimenteux stratifiés non kératinisés** dont les couches superficielles sont formées de cellules aplaties. Exemple : L'épithélium œsophagien et l'épithélium vaginal.
3. **Epithéliums pavimenteux stratifiés avec couche cornée** : il s'agit de l'épithélium cutané ou épiderme, caractérisé par la transformation progressive de ses cellules qui aboutissent à la

différenciation des cornéocytes, cellules anuclées et chargées de kératine dans les couches superficielles.

**4. Epithéliums cubiques stratifiés** : rare, par exemple, canaux excréteurs de glandes sudoripares.



## 5. Fonction des épithéliums

### A- Fonction de protection

1) Protection mécanique Ex.: Epiderme (du fait de sa kératinisation) : résistance aux chocs. 2) Protection physique Ex.: Epiderme (du fait de la sécrétion de mélanine par les mélanocytes) : protection contre les réactions provoquées par l'exposition aux radiations solaires.

3) Protection chimique Ex.: Epiderme (grâce à la kératine, aux lipides et phospholipides de la membrane plasmique des cellules épidermiques) : protection contre la pénétration de substances (comme l'eau par exemple).

**B- Fonction d'absorption** Ex. : Entérocytes de l'épithélium intestinal : absorption des lipides, des glucides...

**C- Fonction de mouvement** Lorsque l'épithélium est muni de cils. Ex.: Epithélium respiratoire : déplacement du tapis muqueux, des trompes utérines.

**d. Rôle de réception sensorielle** : grâce à la présence des cellules sensorielles site de réception des informations sensibles provenant du milieu extérieur (tact, température, douleur).

**E. Rôle de renouvellement** : grâce aux cellules souches caractérisées par leur état indifférencié, leur durée de vie longue et leur capacité de division.

## II. L'épithélium glandulaire

### 1. Définition

Comme les épithéliums de revêtement, les épithéliums glandulaires sont faits de cellules épithéliales étroitement juxtaposées et jointives. Mais leurs cellules sont spécialisés dans la fonction de sécrétion de produits qui vont être utilisés par l'organisme :

- soit pour assurer une fonction générale (digestion, sudation, etc....).
- soit pour réguler le fonctionnement d'autres cellules spécifiques, dites cellules cibles (action des hormones).

Ils peuvent soit tapisser les cavités glandulaires reliées à l'épithélium de revêtement qui leur a donné naissance (glandes exocrines), soit perdre cette connexion (glandes endocrines).

### 2. Classification

Les épithéliums glandulaires peuvent être classés selon plusieurs critères. On distingue ainsi

#### 2.1 Selon le lieu de sécrétion

- a. Glande endocrine :** elles déversent leur produit de sécrétion, appelé hormone, dans les capillaire sanguins directement sans canal excréteur. L'hormone est ensuite transportée vers les organes cibles.
- b. Glande exocrine :** dont les sécrétions se portent vers le milieu extérieur ( ou dans une cavité de l'organisme en continuité avec le milieu extérieur) , par canal excréteur
- c. Glandes amphicrines :** ce sont les glandes avec les deux modalités de sécrétion (exocrine et endocrine à la fois), exemple : le pancréas.

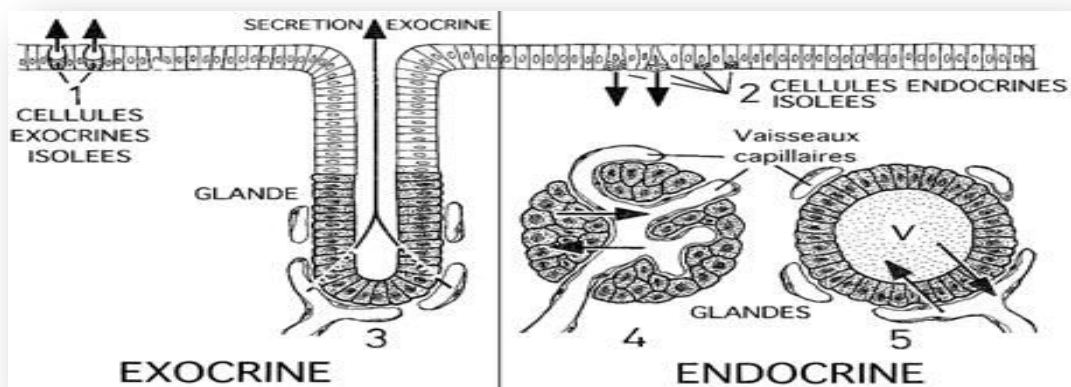


Figure 5. les glandes exocrine et endocrine

## 2.2 Selon la nature du produit de sécrétion :

**a. Les glandes séreuses :** sécrètent de substances de nature séreuse (aqueuse).

**B. Les glandes muqueuses :** sécrètent de substances de nature muqueuse (visqueuse).

**C. Les glandes mixtes :** elles peuvent être :

- Soit muco-séreuses dont la partie muqueuse prédomine (les glandes sublinguales).
- Soit séro-muqueuses dont la partie séreuse prédomine (Les glandes sous-maxillaires et sous mandibulaires).

## 2.3 Selon l'organisation anatomique des glandes

**a. Les glandes unicellulaires,** cellules isolées dans un épithélium de revêtement qui ont des propriétés sécrétrices.

**b. Les glandes pluricellulaires** formées de nombreuses cellules et qui, elles-mêmes, sont classées suivant leur complexité et le mode d'agencement de leurs cellules en glandes simples ou composées.

**2.4 Selon la forme de la portion sécrétrice, la glande est dite:** Les glandes tubuleuses, acineuses ou alvéolaire.

## 2.5 Les glandes exocrines

Sont des glandes les plus simples correspondent à des invagination de l'épithélium superficiel et sont faciles à identifier , sont libèrent leur contenu au niveau de la surface d'un épithélium , ou par l'intermédiaire d'un canal excréteur

## 2.6 Mode d'excrétion des glandes exocrines

Il en existe trois :

- a. La sécrétion **méocrine** ( ou eccrine) correspond au processus d'exocytose et représente la forme sécrétoire la plus commune ; la plupart des produits sécrétés sont de nature protéique.
- b. La sécrétion **apocrine** consiste en la libération de vésicules libres, entourées par une membrane, à contours intacts, contenant le produit de sécrétion ; c'est un mode de sécrétion rare qui s'applique à la sécrétion de produit lipidique dans le sein et certaines glandes sudoripares
- c. La sécrétion **holocrine** correspond à la libération de la cellule sécrétoire dans son ensemble suivie de sa désintégration et de la libération du produit de sécrétion . elle existe essentiellement au niveau des glandes sébacées.

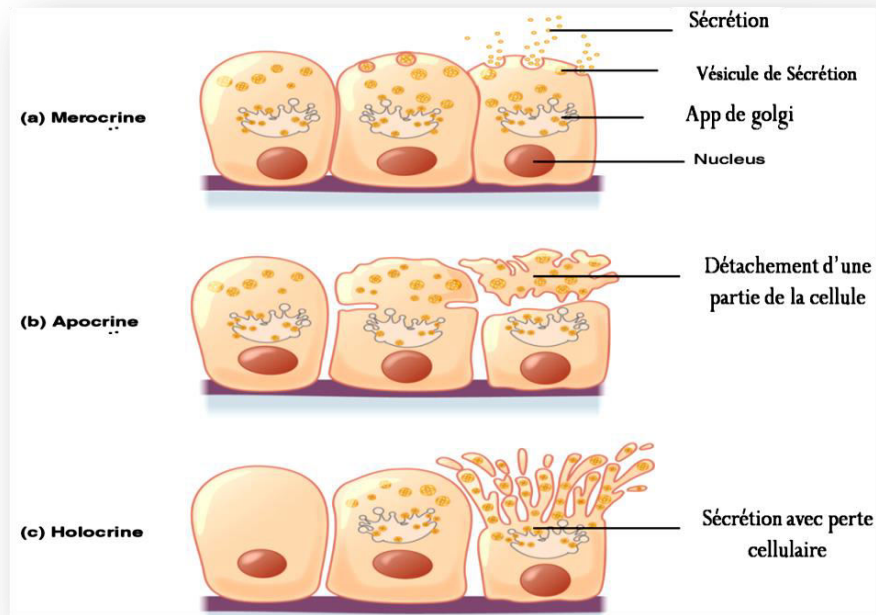


Figure 6. Mode d'excrétion des glandes exocrines

## 2.7 Classification des glandes exocrines

les glandes exocrines sont classées en deux types structuraux: les glandes exocrines unicellulaires et les glandes exocrines multicellulaires.

● **La glande unicellulaire:** glande ne possédant qu'une seule cellule, qui sécrète du mucus. Exemple: les cellules caliciformes des appareils digestif et respiratoire.

● **La glande multicellulaire:** glande composée de plusieurs cellules.

- **Simple:** canal unique dépourvu de ramifications.

**a. tubuleuse :** les cellules sécrétrices forment ensemble une structure de forme d'un tube allongé, soit droit (glande intestinale) ou contournée (glande sudoripare) ou ramifié (glande gastrique).

**b. alvéolaire :** les cellules sécrétrices forment ensemble une structure de forme sphérique à lumière importante (glande sébacée).

**c. acineuse :** la portion sécrétrice a la forme d'un petit sac arrondi à lumière réduite.

**d. tubulo-alvéolaire :** glande composée contenant des unités sécrétrices des deux formes. les éléments alvéolaires qui communiquent les uns avec les autres et constituent des chaînes d'alvéoles dont l'aspect général est vaguement tubulaire, exemple : la prostate.

- **Composée:** canaux pourvus de ramifications.

**a. Tubulaire:** la portion sécrétrice est tubulaire. Exemple: les glandes bulbo-urétrales (de Cowper), les testicules et le foie.

**b. Acineuse:** la portion sécrétrice est en forme de flacon. Exemple: les glandes salivaires (sublinguales et sous-maxillaires).

**c. Tubulo-acineuse:** la portion sécrétrice est à la fois tubulaire et en forme de flacon. Exemple: les glandes salivaires (parotides) et le pancréas

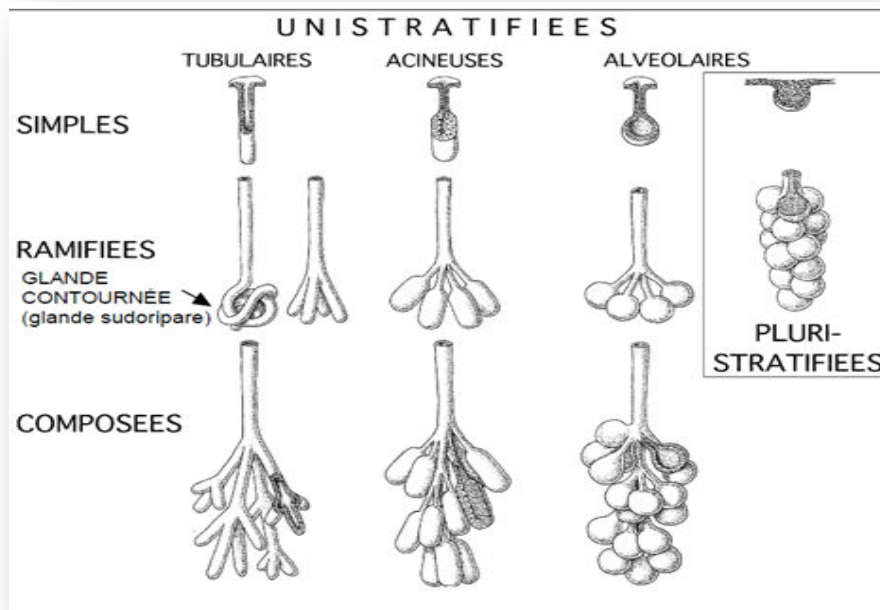


Figure7. les formes des glandes exocrines

#### 4. Glandes endocrines

Les glandes endocrines déversent leurs produits de sécrétion ; appelée hormone ; dans le sang. Elles possèdent donc une abondante vascularisation. Selon le plan morphologique on distingue :

**4.1. Glandes de type cordonnal ou trabéculaire :** Les cellules sont organisées en cordons épais séparés par des espaces conjonctivo-vasculaires riches en capillaires. Exemple : la glande surrénale.

**4.2. Glandes de type vésiculaire :** Les cellules délimitent des vésicules formées par un épithélium simple bordant une lumière large remplie de colloïde. Exemple : la glande thyroïde.

**4.3 Glandes de type mixte :** Ces glandes possèdent à la fois des travées cellulaires organisées

selon le type cordonnal et des vésicules. Exemple : la parathyroïde.

### **5. Glandes amphicrines**

Les glandes amphicrines sont des glandes qui sont à la fois exocrines et endocrines. Sur le plan morphologique on distingue :

**5..1. Les glandes amphicrines homotypiques :** Les cellules sécrétrices sont à la fois exocrines et endocrines. Exemple : les hépatocytes du foie.

**5..2. Les glandes amphicrines hétérotypiques :** La glande est formée de deux types cellulaires :

les unes sont exocrines, les autres endocrines. Exemple le pancréas qui possède des acini, responsables de la sécrétion exocrine pancréatique (enzymes digestives) et des îlots de Langerhans responsables de la synthèse des hormones endocrines (insuline et glucagon).

### III. Tissus conjonctifs

#### Définition

C'est le plus abondant des quatre types des tissus corporels. Il assure les fonctions de jonction et de soutien. Il s'agit de tissus doués d'un grand polymorphisme, mais présentant des points communs. Quelque soit leur localisation anatomique, ils comportent 03 constituants élémentaires suivants:

- Les cellules
- Les fibres
- Une substance fondamentale.

#### 1. Les cellules du tissu conjonctif

Il y a dans le tissu conjonctif :

- Des cellules fixes qui ont une **mobilité faible** ou **nulle** (les fibroblastes et les adipocytes).
- Des cellules **mobiles**, dites **libres** (cellule d'origine sanguine: macrophages, lymphocytes...).

##### a. les fibroblastes et les fibrocytes:

- Ce sont les cellules principales du tissu conjonctif. Le **fibroblaste** est une cellule fusiforme ou étoilée de 20 à 30µm de long, avec des prolongements cytoplasmiques ramifiés.
- Le noyau du fibrocyte est central, ovalaire; le cytoplasme apparaît riche en organites: RER, ribosomes libres et l'appareil de Golgi qui est bien développé.
- Ces cellules sont caractérisées par leur fonction **élaboratrice** des protéines et des polysaccharides qui sont les constituants macromoléculaires non seulement des fibres mais aussi de la substance fondamentale.

##### b. Les adipocytes:

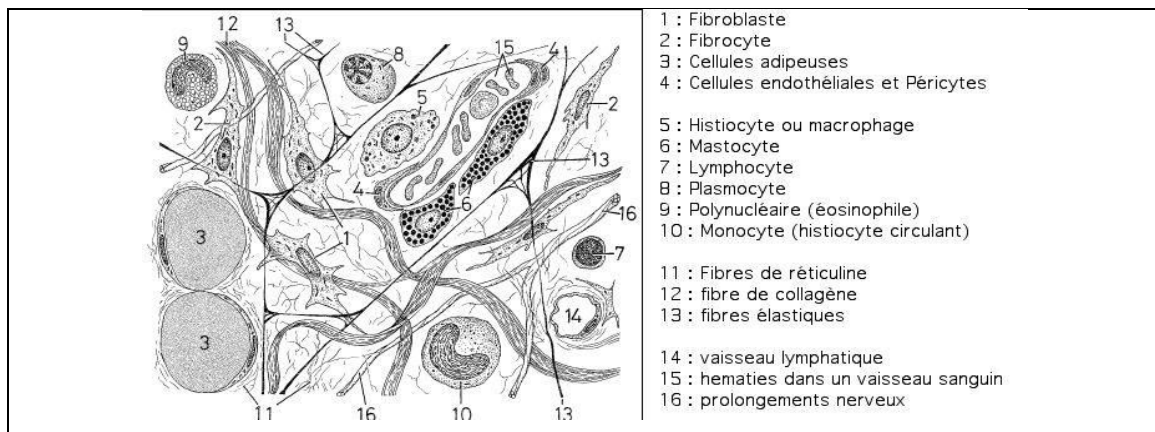
- Il s'agit d'éléments fixes dont le groupement constitue une variété de tissus conjonctifs, la plupart des adipocytes sont groupées dans le tissu adipeux.
- Ce sont des cellules spécialisées dans la mise en réserve des **lipides**.
- On distingue deux catégories d'adipocytes: les adipocytes de la **graisse blanche**, seuls présents chez l'adulte de l'espèce humaine, et les adipocyte de la **graisse brune**.

**c. Les macrophages:**

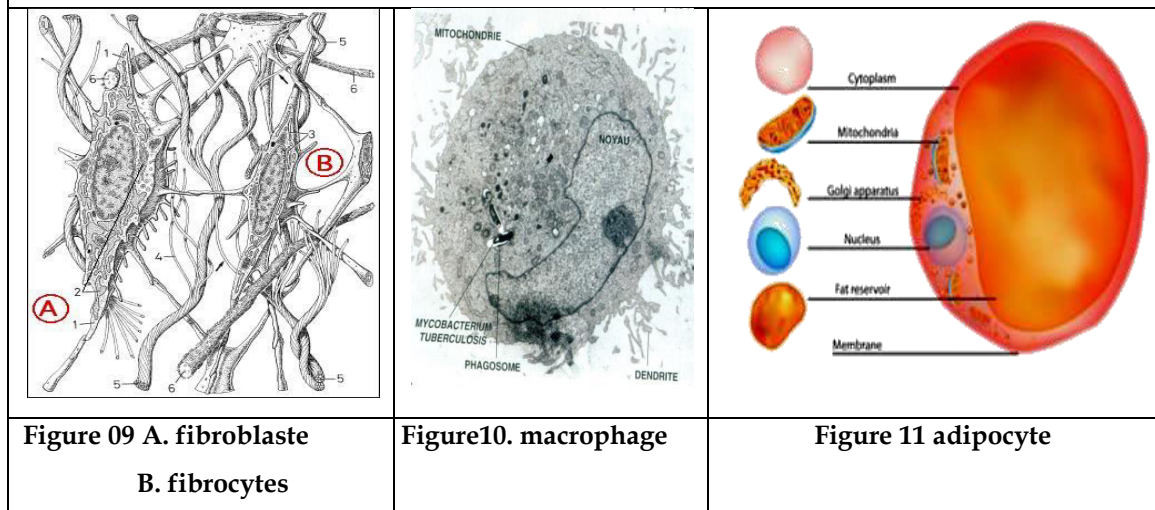
Ce sont des cellules polymorphes, prennent leur origine dans la moelle osseuse et transitent dans le sang sous forme de **monocytes** et exercent leur fonction de défense de l'organisme dans les tissus conjonctifs.

Ce sont de grosses cellules avec des prolongements cytoplasmiques (pseudopodes). Leur cytoplasme est riche en organites de synthèse de défense de l'organisme contre les agents étrangers.

Ils peuvent agir par: phagocytose - sécrétion de substances toxiques - déclenchement de réactions immunitaires.



**Figure 08. les différents éléments de tissu conjonctif**

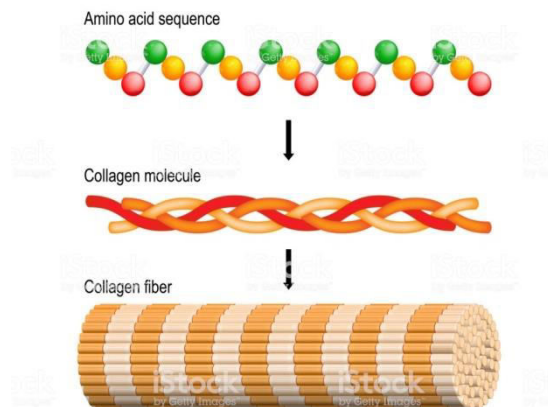


## 2. Les fibres

Chaque fibre, limitée par une membrane ou gaine de Henlé, est constituée d'un groupement de fibrilles unies les unes aux autres, qui sont elles même constituées d'un groupement de myofibrilles.

### a. Les fibres de collagènes

- Elles forment des trousseaux onduleux de fibres non anastomosées
- Elles sont longues, rubanées, elles se groupent en faisceaux se disposant parallèlement les unes aux autres, où sont entrecroisées.
- Le collagène est une protéine fibreuse insoluble synthétisée par plusieurs types cellulaires : fibroblastes du derme, chondrocytes du cartilage, cellules endothéliales et cellules musculaires lisses des parois vasculaires, kératocytes de la cornée, ostéoblastes des os.



- Elles sont extensibles mais non élastiques et donnent au tissu conjonctif sa résistance. Il y a actuellement 20 types de collagène. Les tendons et les ligaments sont formés par les fibres de collagènes de type I. les fibres de la substance fondamentale et du cartilage sont constituées du collagène du type II.

Figure 12. fibre de collagène

### b. Les fibres élastiques:

- Les fibres élastiques (ou fibres élastiques) sont caractérisées, comme leur nom l'indique par leur élasticité , Elles sont résistantes et extensibles, reprenant leur longueur initiale après un étirement.
- L'**élastine** est le principal constituant des fibres élastiques
- La capacité de synthétiser l'élastine est limitée au cours de la vie, l'élastogénèse étant maximale à la fin de la vie foetale et pendant les premières années du développement. Les fibres élastiques disparaissent ensuite chez

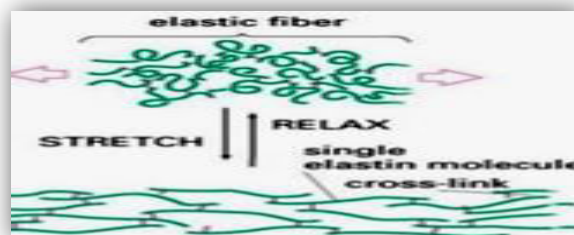


Figure13. fibre élastique

c. **Les fibres de réticuline** sont forme généralement des réseaux qui servent de support à différentes structures : muscles, capillaires, organes lymphoïdes, cellules hépatiques. Ce sont en fait des fibres collagènes de type III recouvertes par des glycoprotéines et des protéoglycannes.

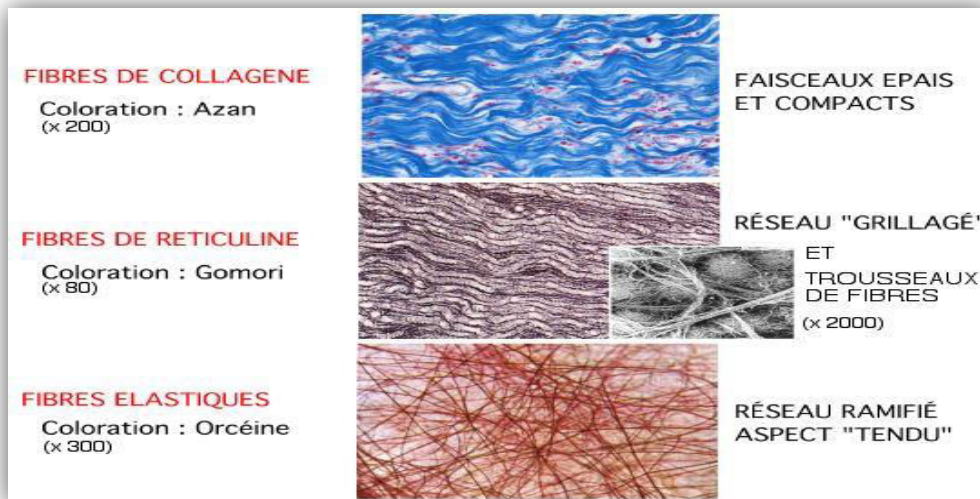


Figure14. les différents types de fibres de la substance fondamentale

### 3. La substance fondamentale

- IL s'agit d'une substance homogène, occupant les espaces compris entre les fibres et les cellules.

- Les cellules du tissu conjonctif baignent dans un milieu très riche en eau contenant de petites molécules dissoutes (sels minéraux, sucre, polypeptides..) et de volumineuses macromolécules protéiques.

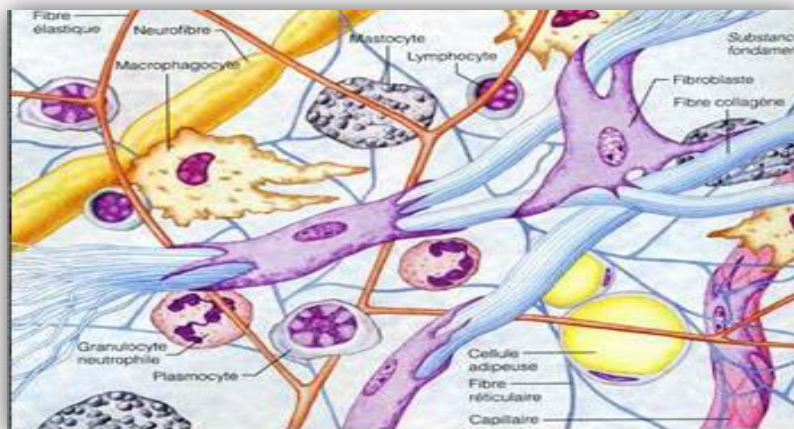


Figure 15. Structure du tissu conjonctif'

### 3. Fonction des tissus conjonctifs:

Selon sa localisation et son sous-type, le tissu conjonctif assure 3 fonctions principales :

- a) une **fonction de soutien et de cohésion**, liée à sa richesse en fibres.
- b) une **fonction nutritive et d'échange**, liée à sa richesse en matrice extracellulaire et en vaisseaux.
- c) une **fonction de défense**, liée à la présence de cellules immune dites de passage.

### 4. Classification des tissus conjonctifs

Les tissus conjonctifs sont classés selon les critères morphologiques, en fonction des proportions relatives de leurs constituants.

#### A- Tissu conjonctif embryonnaire

**1 - Le Mésenchyme** est présent dans l'embryon, il donne naissance à tous les autres tissus conjonctifs. Les cellules sont irrégulières, la substance fondamentale est semi-liquide et les fibres sont réticulées.

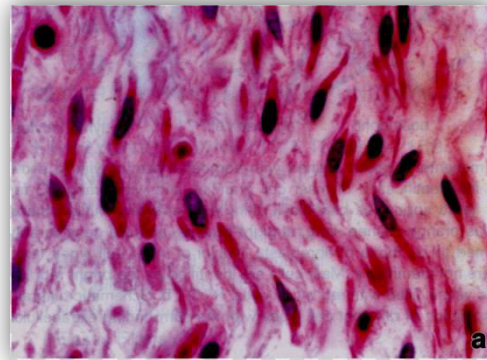


Figure16. le mésenchyme

**2- Le tissu conjonctif muqueux (mucoïde)** (la gelée de Wharton) se trouve dans le cordon ombilical. Il est très pauvre en cellules et très riche en matière fondamentale. **Les cellules** sont étoilées. La substance fondamentale est hydratée et gélatineuse. Les fibres sont des fibres de collagène, très fines et dispersées.

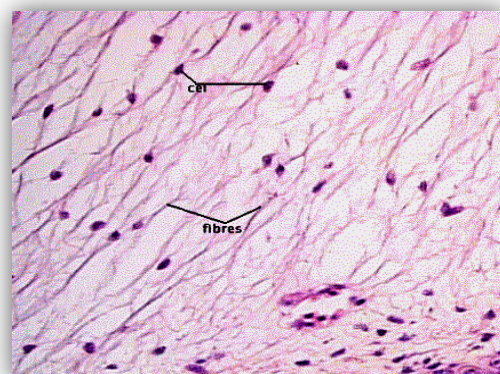


Figure17. mucoïde ( la gelée de wharton)

## B- Tissu conjonctif adulte

- 1- Tissu conjonctif lâche : Aréolaire, adipeux et réticulé
- 2- Tissu conjonctif dense : Régulier, irrégulier et élastique.
- 3- Sang, (le tissu hématopoïétique), le tissu lymphatique
- 4- Cartilage : Hyalin, fibrocartilage et élastique
- 5- Tissu osseux (os)

### 4.1. Le tissu conjonctif lâche

- Il s'agit de la variété la plus courante, se caractérise par une répartition harmonieuse des cellules, des fibres et de la substance fondamentale.

- Ils ont des rôles de soutien et de défense grâce aux macrophages et surtout métabolique: c'est en effet une voie de passage obligatoire pour les capillaires sanguins destinés à assurer la nutrition des tissus épithéliaux.

-Le tissu conjonctif lâche est très répandu dans l'organisme , On le trouve notamment dans la peau (derme superficielle), on le trouve également dans les masses musculaires, dans les voies respiratoires, voies du tube digestif et les voies génitales et urinaires. Ce tissu conjonctif contient de nombreuses cellules libres ainsi que les vaisseaux sanguins.

Certains tissus conjonctifs lâches sont très spécialisés, on distingue de ce fait les tissus **aléatoires**, les tissus **adipeux** et les tissus **réticulés**.

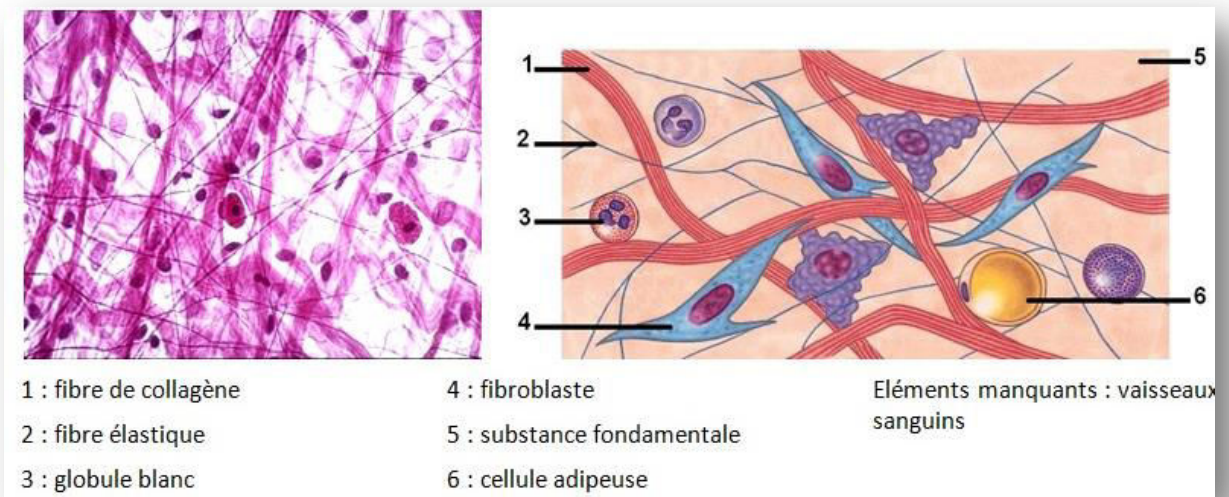


Figure18. le tissu conjonctif lâche

**a. Le tissu conjonctif lâche aréolaire**

Il se situe sous l'épithélium, entoure les glandes et les vaisseaux. Il est composé des divers types de cellules (fibroblaste avec un petit noyau sombre, macrophage avec un grand noyau pâle, mastocyte), des 3 types de fibres (fibre élastique, fibre collagène, fibre réticulaire) et la substance fondamentale est abondante, gélatineuse et permet la diffusion des nutriments, des métabolites,  $O_2$ ,  $CO_2$  Il joue un rôle mécanique de soutien, de nutrition par les vaisseaux qu'il achemine et de défense

de l'organisme par les cellules qu'il contient.

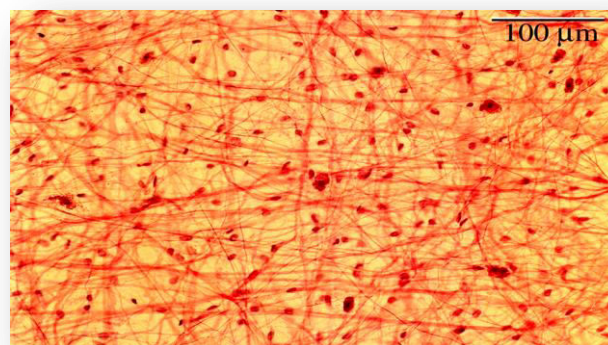


Figure19. Tissu conjonctif aréolaire

**b. Le tissu conjonctif lâche adipeux**

C'est un tissu conjonctif lâche à prédominance cellulaire. La plupart des tissus de soutien contient des cellules qui sont adaptées pour le stockage de la graisse; ces cellules, appelées adipocytes, sont dérivés de mésenchyme primitif où ils se développent en tant que lipoblastes. Les adipocytes sont trouvés isolément ou en amas lâches à travers les tissus de soutien ou peuvent constituer le principal type de cellule constituant le tissu adipeux.

Les graisses stockées dans les adipocytes proviennent de trois sources principales: les graisses alimentaires circulant dans le sang comme les chylomicrons, les triglycérides synthétisés dans le foie et transporté dans le sang, et les triglycérides synthétisés à partir du glucose dans les adipocytes. Le tissu adipeux, a un approvisionnement en sang riche.

Il existe deux principaux types de tissu adipeux:

- Le **tissu adipeux blanc** : Ce type de tissu adipeux représente jusqu'à 20% du poids total du corps dans des conditions normales de l'homme adulte et jusqu'à 25% chez les femmes. Il est distribué dans tout le corps en particulier dans les couches profondes de la peau. En plus d'être une réserve d'énergie importante, le tissu adipeux blanc agit comme un isolant thermique sous la peau et agit comme un coussin contre les chocs mécaniques dans des sites tels que les loges des reins.
- Le **tissu adipeux brun** : Ce type hautement spécialisée du tissu adipeux se trouve chez les mammifères, les nouveau-nés et des animaux hibernants, où il joue un rôle important dans la régulation de la température du corps. Seules de petites quantités de tissu adipeux brun se trouvent chez l'adulte.

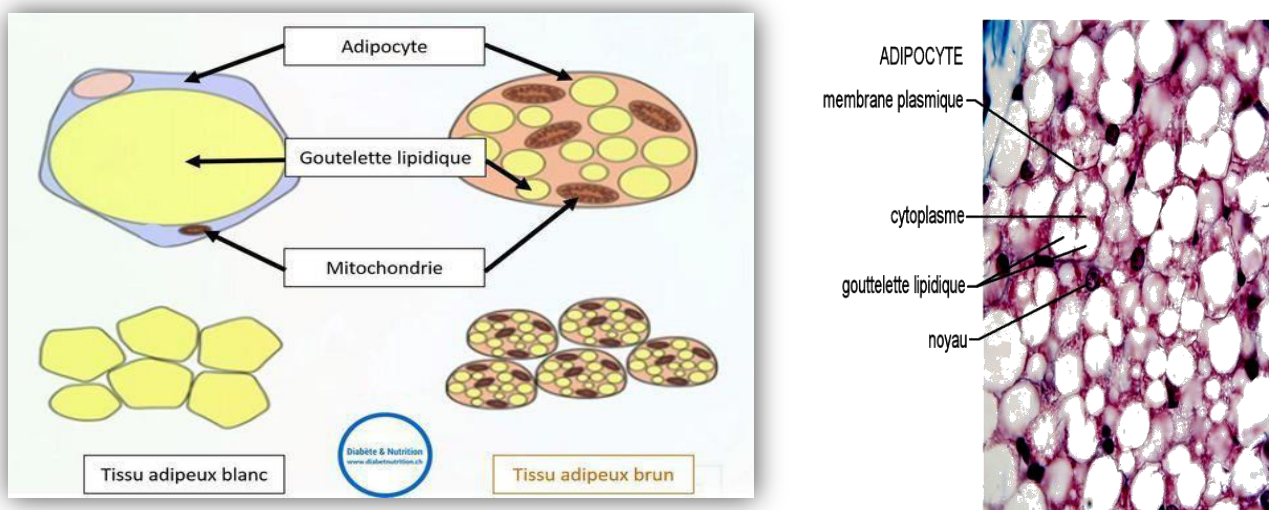


Figure 20. Le tissu conjonctif lâche adipeux

#### d-Le tissu conjonctif réticulé

- Ce tissu est très riche en fibres de collagène de type III appelé: **réticuline**.

Les fibres dessinent un réseau à larges mailles ouvertes qui contiennent de petites cellules sanguines rondes. Les cellules réticulées sont accrochées aux fibres. Elles sont allongées et leurs contours sont mal définis. Les cellules, sont étoilées et leurs prolongements dessinent un réseau superposable au réseau de fibres

- Il forme le stroma de la rate, moelle osseuse et le foie.

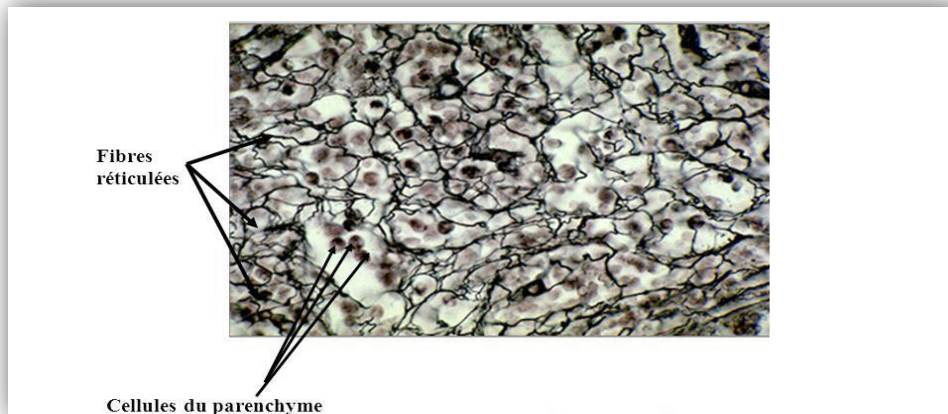


Figure21. tissu conjonctif réticulé (du foie)

#### 4.2. Le tissu conjonctif dense

- Ce sont des tissus dans lesquels prédominent les fibres.

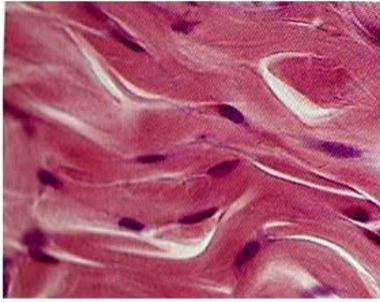
- Les cellules sont peu nombreuses, il s'agit presque exclusivement de fibrocytes dont l'activité de synthèse est ralentie.

- On distingue les tissus conjonctifs **non orientés** dont lesquels les fibres de collagène sont entrecroisées et mêlées de fibres élastiques. La vascularisation est assez riche. Ces tissus forment l'enveloppe de plusieurs organes. Ils sont moulés sur la structure qu'ils entourent et dont ils contribuent à définir leur forme.

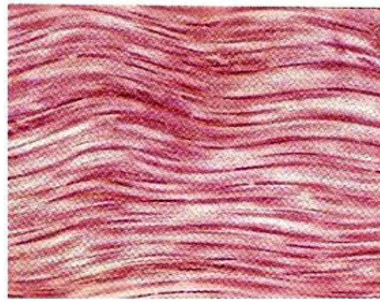
- On observe également les tissus conjonctifs denses **orientés** dont les fibres forment des faisceaux parallèles. Les cellules sont peu nombreuses, alignées entre les fibres serrées.

- Dans les tendons ou les ligaments, le tissu est dit **unitendu**, toutes les fibres et l'organe ayant la même direction.

Lorsque ce tissu contient de nombreuses fibres élastiques, c'est un tissu **conjonctif dense élastique**, on l'observe dans les ligaments et les tendons élastiques ou la paroi des grosses artères.



**Tissu conjonctif dense  
à fibres non orientées**



**Tissu conjonctif dense  
à fibres orientées**

## VI. Le tissu sanguin

### Définition

Le sang est un tissu conjonctif spécialisé. C'est un tissu liquide composé de cellules (éléments figurés) réparties dans un liquide (le plasma). Le sang circule dans un système clos, **le système vasculaire**, selon un flux unidirectionnel. Le sang a un volume total d'environ 5 litres. Il assure le transport des cellules spécialisées mais aussi d'éléments dissous : protéines, nutriments, hormones, vitamines, minéraux, déchets (catabolites), médicaments.; il joue également un rôle dans la défense de l'organisme.

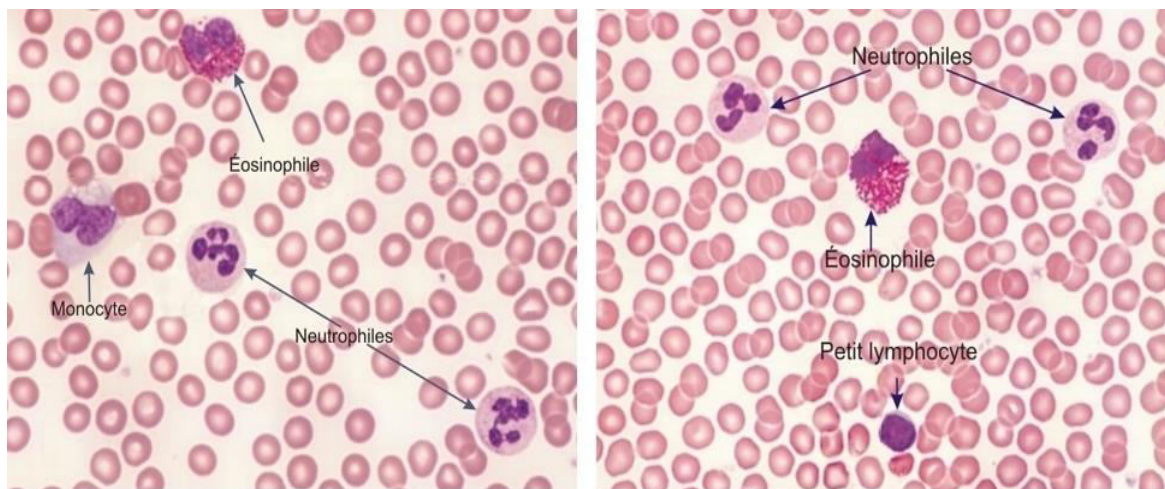


Figure22 . le tissu sanguin

### 1. Le plasma

La phase liquide du sang, le plasma, est composée d'eau (90 %) et de substances solubles : protéines (albumine, globulines), glucides, lipides, sels minéraux. Sorti du système vasculaire ou sous l'effet de certains stimuli, le plasma coagule : l'une de ses protéines, le fibrinogène, soluble, se transforme en une molécule insoluble, la fibrine. Ce qui reste liquide après coagulation du plasma est le sérum.

Le plasma assure la pression oncotique par le biais des protéines en général et de l'albumine en particulier, assurant le maintien du plasma dans le système vasculaire. Une baisse importante de l'albumine entraîne des oedèmes par fuite hydrique extra vasculaire. Différentes protéines du plasma participe à l'hémostase, à la défense de l'organisme vis-à-vis des agents infectieux (immunoglobulines) et participent au transport des molécules comme le fer (transferrine).

## 2. Les éléments figurés du sang

Parmi les éléments figurés du sang, on distingue les globules rouges, les globules blancs et les plaquettes sanguines.

**A. Les globules rouges (hématies ou érythrocytes)** ce sont des cellules de couleur jaunâtre ne possédant pas de noyau. Ils ont la forme d'un disque biconcave avec un diamètre de  $7,5 \mu$  de diamètre et  $0,8 \mu$  d'épaisseur. Ils sont fabriqués dans la moelle osseuse à partir d'une cellule mère, le renouvellement se fait tous les 4 mois, ils contiennent un pigment rouge, l'hémoglobine qui est une protéine complexe

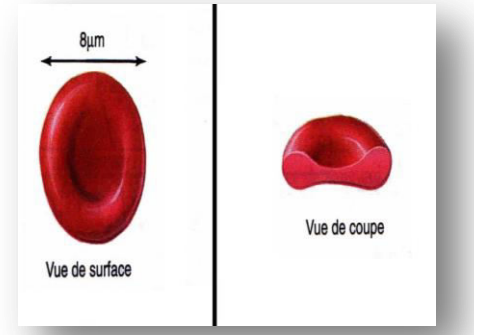


Figure 23. Les globules rouges

. Son rôle est essentiel, car c'est elle qui véhicule l'oxygène et le transporte aux organes. Le cytoplasme dépourvu d'organites est rempli d'hémoglobine impliquée dans le transport de l'oxygène. Les globules rouges peuvent s'étirer et traverser les capillaires les plus fins.

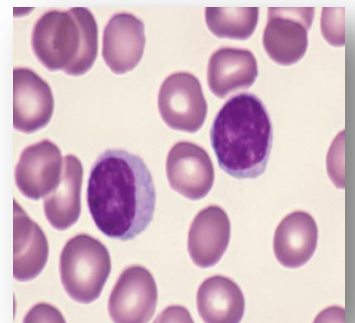
### B. Les globules blancs (ou les leucocytes) :

Leur nombre total est de 6000 à 8000 globules/mm<sup>3</sup> chez l'adulte. Ils sont des cellules nucléées, On distingue parmi les leucocytes, des leucocytes à cytoplasme d'aspect général homogène (leucocytes hyalins) qui appartiennent à deux populations : les lymphocytes et les monocytes et des leucocytes dont le cytoplasme contient de volumineuses granulations : granulocytes neutrophiles, granulocytes éosinophiles et granulocytes basophiles.

#### B.1 Les leucocytes hyalins:

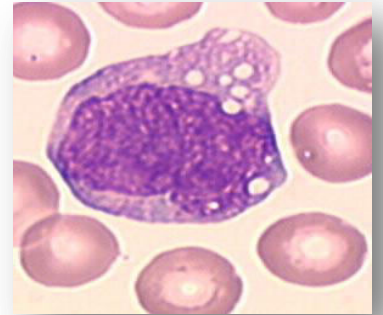
**1. Les lymphocytes :** L'aspect morphologique des lymphocytes est monomorphe:

- leur forme est régulière et arrondie. Représentent 25 à 45 % des leucocytes
- Leur taille, le plus souvent petite
- Leur noyau sphérique, foncé et sans nucléole visible occupe la presque totalité du volume de la cellule
- Leur cytoplasme, réduit à une mince couronne contenant les organites cellulaires habituels en quantité très restreinte.



**2. Les monocytes :** Une fois formés dans la moelle osseuse, les monocytes passent dans le sang où ils représentent les plus grands des leucocytes normaux.

- leur noyau est central ou périphérique
- Leur cytoplasme est caractérisé par des voiles cytoplasmiques ondulants
- Ce sont des cellules très mobiles qui ont le pouvoir de se différencier en macrophage



### **B.2 Les granulocytes :**

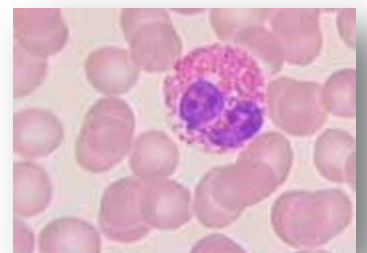
**1. Les granulocytes neutrophiles :** Ils représentent 45 à 70% des leucocytes circulants

- Le noyau est formé de lobes facilement identifiables: 3 à 5 lobes réunis par de fines bandes de chromatine.
- Leur cytoplasme est riche en granulations ± violacées, les grains azurophiles



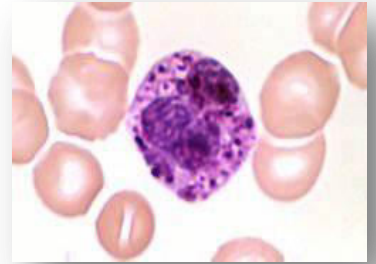
**2. Les granulocytes éosinophiles :** Leur noyau est habituellement fait de 2 lobes réunis par un pont chromatinien assez épais

- Leur cytoplasme contient de grosses granulations arrondies, cristalloïdes, colorées rouge orangé
- Les granulations des éosinophiles contiennent de nombreuses protéines "tueuses"



**3. Les granulocytes basophiles :** Ce sont les leucocytes les plus rares (moins 1%). Les basophiles sont observés dans le sang et les tissus

- Leur noyau, peu ou pas segmenté, est irrégulier
- Leurs granulations sont volumineuses



**C. Les plaquettes sanguines (ou thrombocytes):**

Leur durée de vie est de 8 à 12 jours sont détruites notamment dans le foie et dans la rate. En **microscopie optique**, les plaquettes sanguines ou thrombocytes sont des fragments cellulaires anucléés de 2 à 5 µm de diamètre. On distingue deux zones : le centre de la cellule (chromère) contenant des granulations et la périphérie (hyalomère) plus homogène.

Ce sont des cellules anucléées comme les érythrocytes, issus de la moelle osseuse, leur nombre normal est de 200.000 à 300.000 /mm<sup>3</sup>. Elles ont une forme arrondie ou ovalaire Les thrombocytes jouent un rôle fondamental dans la coagulation sanguine ou l'hémostase (c'est-à-dire l'arrêt de l'hémorragie après la blessure) et la formation de caillots. Les plaquettes ne peuvent pas se diviser.

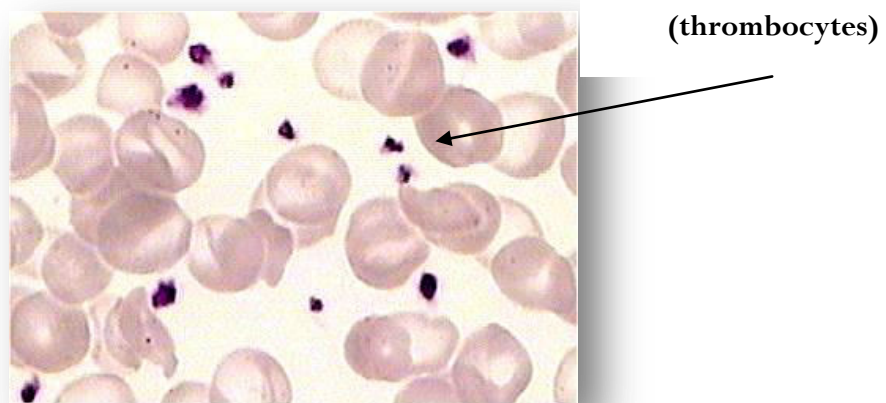


Figure 24. Les plaquettes sanguines (ou thrombocytes)

**4. L'hématopoïèse**

L'hématopoïèse - dont le nom signifie « production du sang » - est la fonction par laquelle l'organisme produit et renouvelle les éléments figurés du sang (hématies, leucocytes et

plaquettes). Cette production, très finement régulée, est issue de cellules souches hématopoïétiques, capables de s'autorenouveler, ce qui permet le maintien d'un nombre constant de cellules souches, et de se différencier pour assurer le renouvellement des cellules qui meurent physiologiquement (et même assurer un renouvellement encore plus rapide en cas d'accroissement des besoins).

Au sein de l'hématopoïèse, on distingue la myélopoïèse, permettant la production des cellules myéloïdes (hématies, polynucléaires, monocytes, plaquettes), et la lymphopoïèse permettant la production des lymphocytes. La régulation de l'hématopoïèse est sous le contrôle de nombreux facteurs de croissance.

L'hématopoïèse se déroule en 4 étapes successives :

- Les cellules souches totipotentes
  - Les progéniteurs
  - Les précurseurs
  - Enfin les cellules matures
- .Le passage d'une étape à une autre est sous influence de signaux (cytokines et autres)

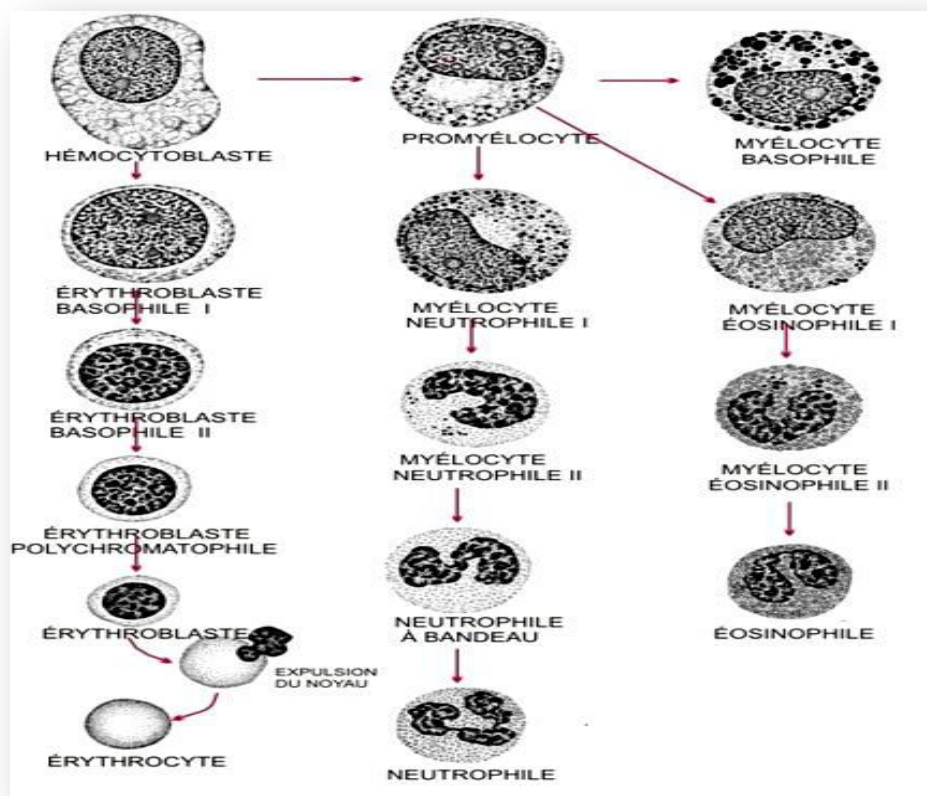


Figure 25. L'hématopoïèse

## V . Les Tissus Cartilagineux

### Définition

Les tissus *squelettiques* sont des tissus conjonctifs spécialisés dont la substance fondamentale va varier d'un état semi solide à un état solide. Un élément va intervenir dans la genèse squelettique: c'est la différence de pression.

Il existe différent type de tissus squelettiques : osseux, cartilagineux.

### 1-les tissus cartilagineux

Le tissu cartilagineux est un **tissu conjonctif** spécialisé d'origine **mésenchymateuse**, caractérisé par le fait que sa substance fondamentale est solide et élastique et n'est pas minéralisée. Les cellules du cartilage acquièrent des caractères morphologiques spécifiques, mais il reste élastique, compact et peut se déformer. C'est un tissu avasculaire

Le modes de nutrition des tissus cartilagineux se fait par diffusion à partir du périchondre. Ce mode de nutrition va limiter l'épaisseur des tissus cartilagineux.

#### 1.1 Rôles

- a. **Ébauches morphologique de l'organisme** les tissus cartilagineux vont servir d'ébauche morphologique car ils occupent la futur place du tissu osseux .
- b. **Participe à l'élaboration des tissus osseux** sont à l'origine de tous les tissus osseux à l'exception des os du crâne.
- c. **Il supporte les efforts de compression à l'union des os entre eux**, au niveau des articulations.
- d. **Participe à la croissance de l'organisme grâce à l'activité du cartilage de conjugaison** : qui sont des cartilages de type hyalin et sont situés à l'extrémité des os. Ils permettent de grandir jusqu'à 25 ans.
- e. **Participe à la réparation osseuse** lors d'une fracture, à la disparition de l'hématome, on observe toujours un tissu cartilagineux, en avance de remplacement par le tissu osseux.

#### 1.2 Description

##### a. Les cellules des tissus cartilagineux

il y à 2 types cellulaires : les chondroblastes et les chondrocytes. Ce sont les mêmes cellules

à des états fonctionnels différents. Le chondroblaste (cellule jeune, seule capable normalement de se diviser) peut donner un chondrocyte (cellule âgée).

Leurs formes varient selon la position qu'elles ont dans le cartilage :

- au niveau superficielle : cellule de forme ovalaire
- couche profonde : forme sphérique

La membrane plasmique est hérissée de microvillosité : elles sont plus nombreuses dans le chondroblaste que dans le chondrocyte, et elles permettent la nutrition à partir du périchondre.

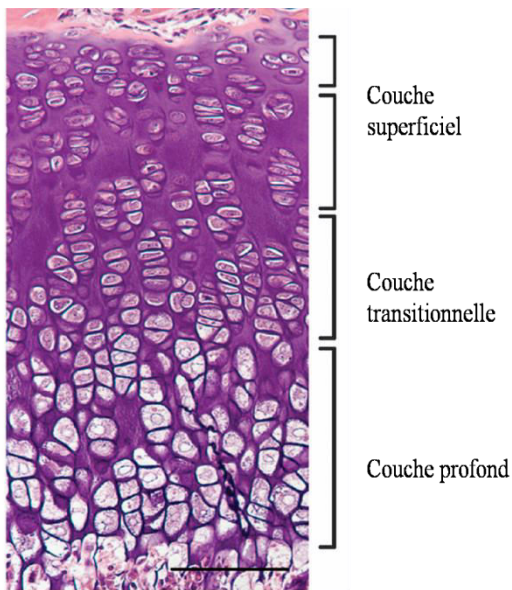


Figure 26. forme des cellules cartilagineuses

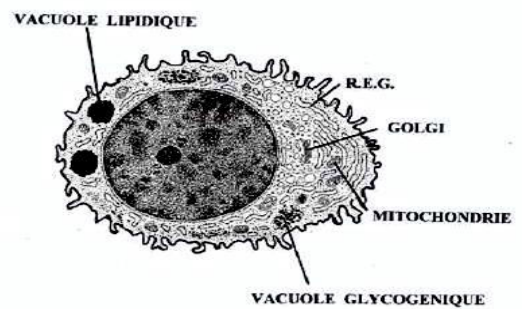
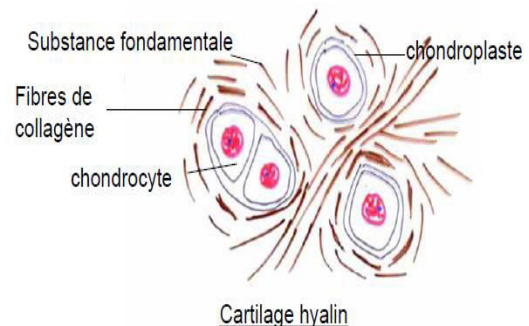


Figure 27. chondrocyte



Les chondrocytes sont logés dans des petites cavités qu'on appelle les chondroplastes.

Il y a généralement un chondrocyte par chondroplaste, mais dans certains cas, la croissance est tellement forte qu'on peut trouver deux chondrocytes par chondroplaste (cellules géminées).

## 2. La substance fondamentale des tissus cartilagineux.

Elle est translucide, blanchâtre, et sa consistance est semi solide, c'est une gelée visqueuse qui n'a pas de rigidité en elle-même.

## 3. Les fibres : Il existe 3 types de fibres

### 3.1 Les fibres de collagène de type 1 : sont retrouvés dans le tissu cartilagineux

fibreuse, elles vont se regrouper en faisceaux et occuper toute la matrice du tissu cartilagineux fibreux.

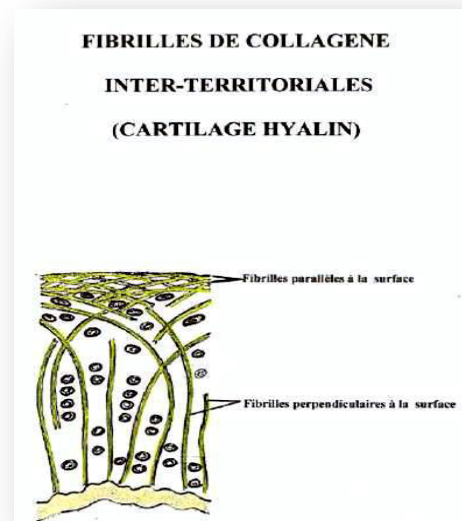
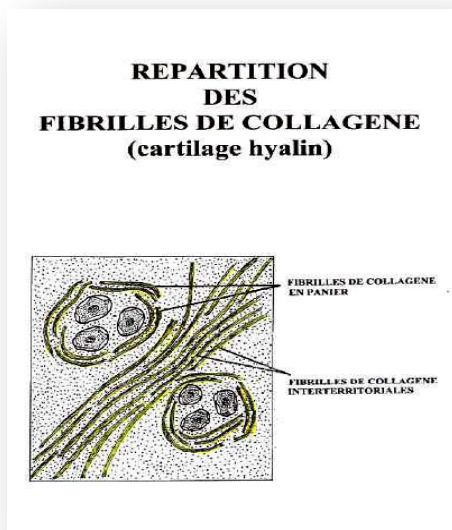
**3.2 Les fibrilles de collagène** que se trouve dans le cartilage hyalin et dans le cartilage élastique (de type 2, de type 11 et de type 6 et 9.....etc.).

Dans le cartilage hyalin, ces fibrilles de collagène sont disposées de 2 manières :

Soit elles peuvent englober un ensemble de chondrocytes = fibrilles en panier = rôle de cohésion des cellules.

Soit elles passent entre les cellules sans les englober et à ce moment là on parle de fibrilles de collagène inter territoriales, qui sont parallèle en superficie et perpendiculaire sur un plan profond.

Cette répartition particulière parallèle et perpendiculaire à pour rôle de répartir des pressions superficielles exercées sur le cartilage, sur le tissu osseux profond.



**3.3 Les fibres élastiques** elles se rencontrent que dans le cartilage élastique, elles vont permettre une souplesse du cartilage élastique et elles sont anastomosées.

**4. Le périchondre** Le périchondre est une gaine conjonctive vascularisée qui recouvre tous les cartilages à l'exception des surfaces articulaires (absentes dans le fibrocartilage). Il est composé de :

-Une couche externe fibreuse contenant de gros faisceaux de fibres de collagène de type I, des fibroblastes et des vaisseaux sanguins.

-Une couche interne cellulaire chondrogène contenant des chondroblastes et dont les cellules

sécrètent la matrice de cartilage. Dans les zones où le cartilage n'a pas de périchondre (par exemple, les surfaces articulaires des os), les cellules du cartilage reçoivent leur nourriture du liquide synovial qui baigne les surfaces des articulations.

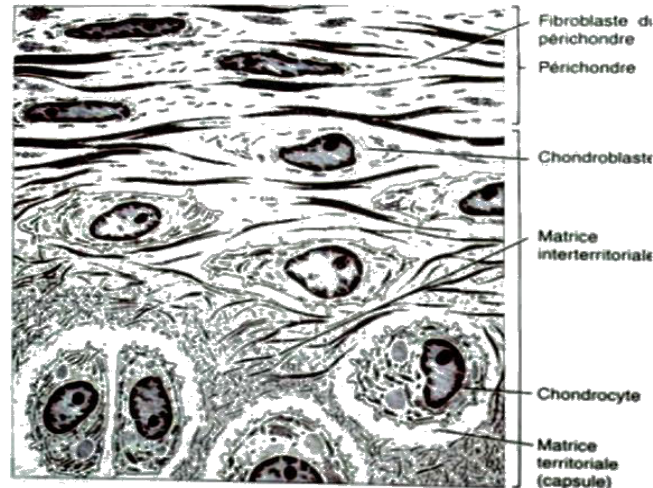


Figure 28. Tissu cartilagineux

## 2. Classification

On distingue plusieurs variétés de cartilage, qui diffèrent les unes des autres par les proportions relatives de leurs constituants fondamentaux : cartilage hyalin, cartilage fibreux et cartilage élastique.

### 2.1. Cartilage hyalin :

C'est le plus répandu des tissus cartilagineux, la matrice du cartilage hyalin présente un aspect homogène. Elle est constituée de fibrilles de collagène et la substance fondamentale.

Il existe chez les fœtus, où il constitue la plus grande partie du squelette, il a donc une fonction importante dans le développement de l'os. Chez l'enfant, sa participation au squelette diminue progressivement au fur et à mesure de la croissance, alors que chez l'adulte, il est peu abondant et localisé essentiellement au niveau des cartilages articulaire, au niveau du nez, dans la trachée, le larynx, l'oreille interne

**2.2. Cartilage élastique** C'est un cartilage qui possède non seulement des fibres de collagène mais également de nombreuses fibres élastiques. se trouve dans le Pavillon de l'oreille et conduit auditif externe; Epiglotte et cartilage du larynx. Le cartilage élastique est de couleur jaune en raison de sa richesse en fibres élastiques. Il est plus élastique que le cartilage hyalin et peut subir de grandes déformations.

Les Chondrocytes sont Sphériques ou ovoïdes et de taille variable, leur rôle principal est l'élaboration de la substance fondamentale, des fibres de collagène et des fibres élastiques.

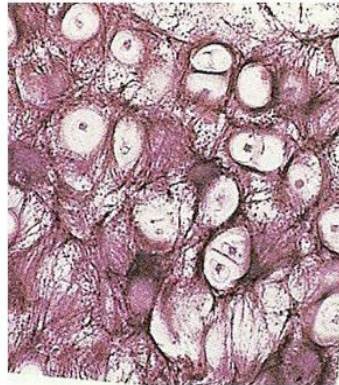
Et le Matrice Elle contient un réseau dense de fibres élastiques anastomosées de 60 à 250 Å de diamètre et des granules d'un diamètre de 200 Å. Les fibres élastiques se disposent autour de chaque chondrocyte.

### 2.3. Cartilage fibreux ou fibrocartilage :

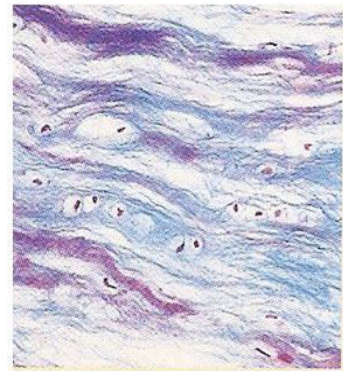
C'est un cartilage renforcé par d'épais faisceaux de fibres de collagène. Il résiste à de très fortes pressions tout en préservant une certaine élasticité. Chez l'homme, il est localisé au niveau des disques intervertébraux et les ménisques du genou. Il forme aussi des gros tendons. La matrice contient de nombreuses fibres de collagène visibles en microscopie optique. Les chondrocytes plus ou moins fusiformes.



Cartilage hyalin



Cartilage élastique



Cartilage fibreux

Figure 29. Les types de tissu cartilagineux

## VI. Le Tissu Osseux

### 1. Définition

C'est un tissu conjonctif spécialisé, comporte trois éléments fondamentaux : les cellules, les fibres et une substance fondamentale **minéralisée**, ce qui la rend rigide et dure, et comme ce tissu a de nombreuses protéines de collagène, il va avoir une certaine souplesse également.

Dans l'**os**, on trouve du tissu osseux, mais et le cartilage hyalin aux extrémités (articulations), de la moelle hématogène, et en périphérie un périoste (tissu conjonctif). Donc l'**os** et le tissu osseux ne désignent pas la même chose.

Le tissu osseux de soutien subit des phénomènes de **construction** et de **destruction** de façon constante durant la vie de l'individu.

Ils sont vascularisés → passage de vaisseaux sanguins dans le tissu osseux, grâce à un système de canalicules creusées dans la substance fondamentale solide.

### 3. Rôles

- protecteur**: le système nerveux central est protégé par la boîte crânienne et les vertèbres.
- **métabolique** : maintien de l'équilibre phosphocalcique. Notre squelette renferme 99% du calcium et 90% du phosphore de l'organisme, qui jouent un rôle biologique prépondérant dans la vie cellulaire, la transmission nerveuse et la coagulation sanguine.
- **hématopoïétique** : la moelle osseuse contient les cellules hématopoïétiques, au sein de l'os spongieux, c'est le lieu de fabrication des cellules sanguines.
- **biomécanique** : l'os est à la fois solide et résistant mais aussi, dans une certaine mesure, élastique. Ces propriétés mécaniques lui permettent de supporter les effets de la pesanteur, de résister aux contraintes mécaniques externes, ainsi qu'aux forces des contractions musculaires.
- Croissance de l'organisme**
- **locomotion** : ils vont servir d'insertion du tissu musculaire et forme un système de levier qui va permettre le déplacement d'un individu.

### 3. Description

### 3.1. Les cellules des tissus osseux

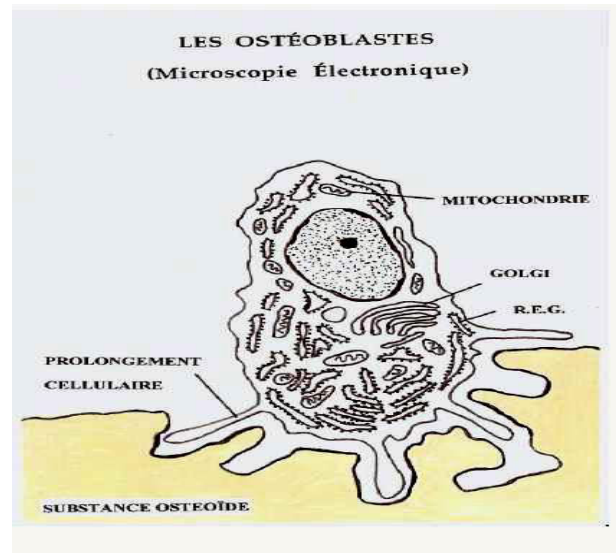
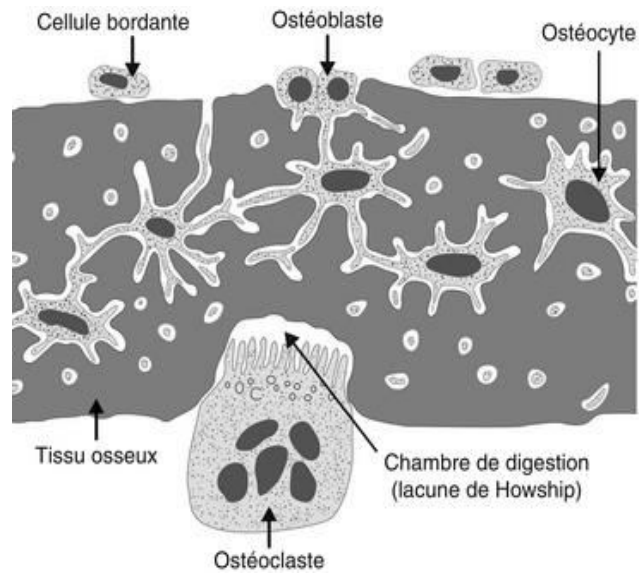
Il y a deux types de cellules :

**A. Les cellules ostéoformatrices :** élabore le tissu osseux.

**a- cellules bordantes de l'os :** tapissent toutes les surfaces osseuses chez l'adulte. En microscopie électronique : cellule pavimenteuse, noyau ovalaire nucléolé, cytoplasme claire. Ces cellules émettent des prolongements cytoplasmique qui sont en contact les uns avec les autres, et également avec les autres cellules du tissu osseux.

Ces cellules n'ont pas d'activité de synthèse. Sous l'influence de stimulus, ces cellules sont capables de se multiplier et de se différencier en **ostéoblastes** actifs.

**b- les ostéoblastes :** ce sont des cellules jeunes, de forme cubique ou ovoïde, allongée de 15 à 20  $\mu$ . Elles représentent de longues et fines expansions cytoplasmiques, leur cytoplasme est très riche en organites. Ce sont des cellules localisées à la surface des zones osseuses en croissance et impliquées dans la biosynthèse des fibres de collagène et de la plupart des éléments constitutifs de la matrice ou de la substance ostéoïde. Donc l'ostéoblaste va avoir pour fonction la minéralisation de la substance osseuse



**c- les ostéocytes :** ils ont une longueur de 30  $\mu$  , une épaisseur de 15  $\mu$ . Ils sont réalisés par la transformation des ostéoblastes d'un tissu osseux en formation qui vont s'entourer progressivement de matrice. Ils sont entièrement entourés de substance fondamentale osseuse

qui délimite directement la logette qui les contient, appelée ostéoplaste. Le corps cellulaire est plus fusiforme que celui des ostéoblastes, le cytoplasme contient moins d'organites.

La membrane plasmique émet des prolongements cytoplasmiques au niveau du système canaliculaire, qui vont mettre en relation tous les ostéocytes entre eux. Ils ont un rôle dans le maintien et le renouvellement de la matrice extra cellulaire osseuse .

Le noyau est ovoïde, dense, il peut être nucléolé.

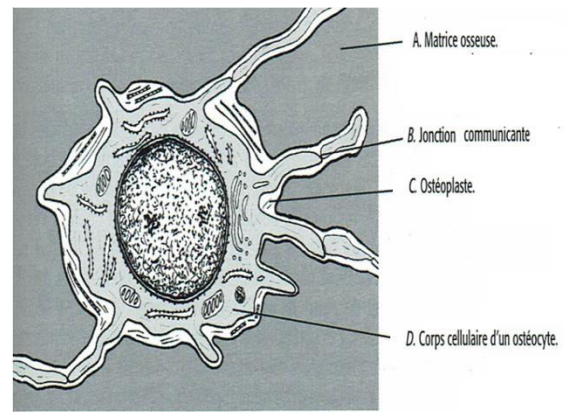


Figure 30. ostéocyte ME

### B. Les cellules ostéorésorbantes

- **les ostéoclastes** : ils sont localisés en surface des tissus osseux dans les zones de résorption. Ce sont des cellules très volumineuses, de forme arrondi ou ovale, multi nucléée (contenant 30 à 50 noyaux). Le cytoplasme contient de nombreux lysosomes, le pôle en contact avec la matrice osseuse possède une bordure en brosse très développée, qui délimite un espace : c'est la chambre de digestion.

Ces cellules ont pour rôle, contrairement aux précédentes, de détruire la substance osseuse.

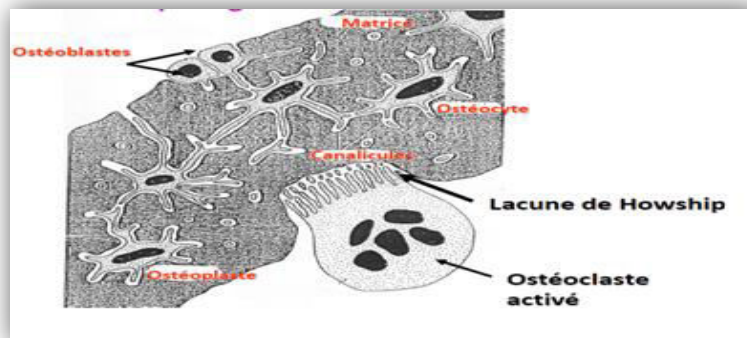


Figure 31. ostéoclaste

### 3.2. La substance fondamentale osseuse

Elle est minéralisée. Ils existent 3 types de substances :

-l'eau : 50 %.

- **Les substances organiques** : (des glycoprotéines de structures, autres molécules qui attachent les cellules osseuses à la matrice extra cellulaire ...etc).

-**Les substances minérales** : responsable de la rigidité de la matrice osseuse, ce sont des sels de calciums, des carbonates, citrates, phosphates de calcium ..... etc.

### 3.3. Les fibres de collagène

Il en existe différents types dans des proportions différentes : type 1 à 80%, type 3 de 5 à 15%, type 4 et 7 à 5%.

Fonction = recevoir les cristaux de phosphates tricalciques pour assurer la rigidité du tissu osseux.

### 3.4. Le périoste et l'endoste

**Le périoste**: c'est une membrane conjonctive externe, qui comprend 2 feuillets :

- **Un feuillet externe**, il comprend des fibres de collagènes de type 1, il comprend des fibrocytes, il est vascularisé et contient des fibres nerveuses.

- **Un feuillet interne**, il comprend des fibres de collagène de type 1 qui vont s'amarrer dans le tissu osseux, elles prennent le nom de fibres de Sharpey. en également il y a des fibroblastes et des fibrocytes, et ces fibroblastes en cas de réparation osseuse, peuvent devenir ostéoblastes.

**L'endoste** : c'est une membrane conjonctive plus fine que le périoste, qui borde l'intérieur des surfaces osseuses, on distingue 1 seul feuillet qui peut avoir un rôle ostéogène en cas de fracture.

## 4. Les classifications des tissus osseux.

Il existe plusieurs classifications des tissus osseux : anatomique et histologique.

### 1- Classification anatomique

- Os long: (Exemple: tibia).
- Os court : (exemple: phalanges).
- Os plat : (exemple : omoplate).

## 2-Classification histologique

### A. Tissus osseux réticulaire

(ou os immature) :

Dépourvu d'organisation, il constitue l'os embryologique, l'os de réparation au cours de l'embryogenèse. Les lamelles osseuses sont irrégulières et n'ont pas d'orientations précises.

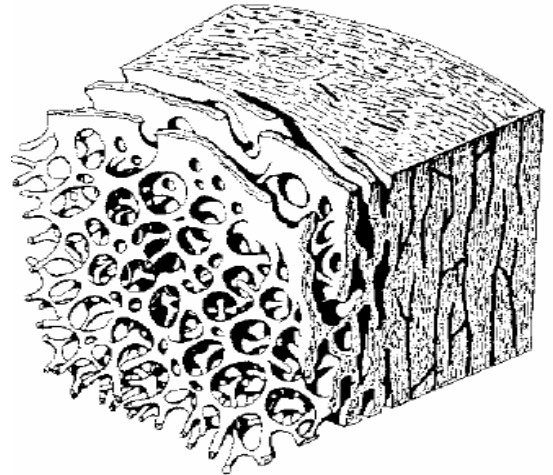
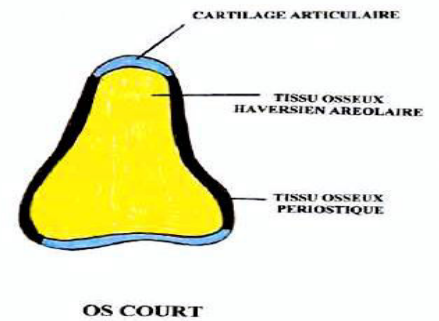
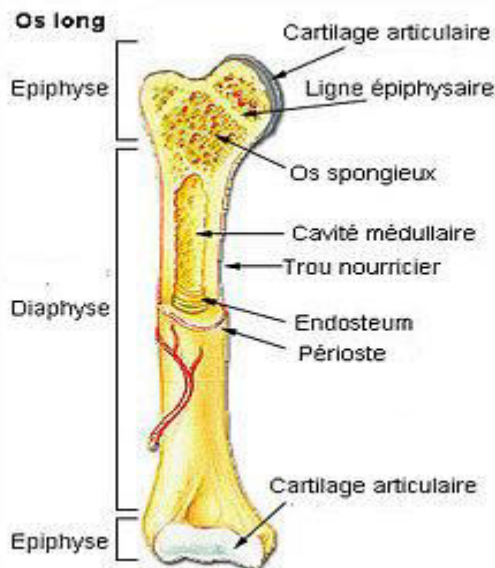


Figure 32. Tissus osseux réticulaire

### A. Tissus osseux mature ou lamellaire ou haversien :

Il existe 3 types de tissus osseux haversien :

- tissu osseux haversien compact.
- tissu osseux haversien trabéculaire.
- tissu osseux périosté (différent du périoste).



Sur une pièce osseuse longue, on trouve ces trois types de tissu : au niveau de la **diaphyse**, on trouve le tissu osseux haversien compact ; au niveau de l'**épiphyse** on trouve du tissu osseux haversien trabéculaire ; en **périphérie** on trouve le tissu osseux périosté.

➤ **Les tissus osseux haversien compact** : il se localise au niveau de la diaphyse des os long. Ils sont constitués d'unités cylindriques : **Les ostéones (ou système de Havers)** :

longueur indéfinie, diamètre 200 à 300  $\mu$ .

Ces ostéons sont constitués elles mêmes de 10 à 15 lamelles osseuses disposées de façon concentriques autour d'un canal de 20 à 30  $\mu$  m de diamètre : **Le canal de havers**. Ces lamelles osseuses sont disposées de façon centripète (vers le centre), elles contiennent des ostéoplastes qui contiennent des ostéocytes.

Il existe un système canaliculaire qui met en relation tout les ostéoplastes d'une même ostéone. Ce système met également en relation des ostéoplastes d'une ostéone avec des ostéoplastes des ostéones adjacentes. C'est pourquoi il existe deux types de canalicules :

- \* canalicules circulaires et longitudinaux qui mettent en relation les ostéoplastes d'une même lamelle.
- \* canalicules radiés, qui mettent en relation des ostéoplastes d'une ostéone avec celles des ostéones adjacentes.

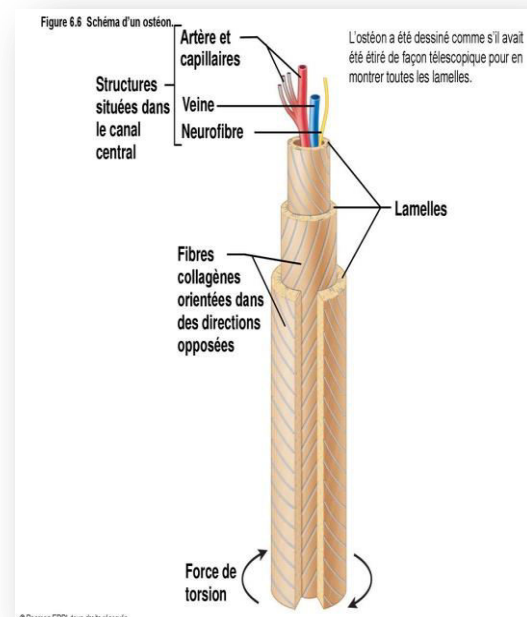


Figure 33. Les ostéones ( système de Havers)

• **Le tissu osseux haversien aréolaire (= tissu osseux trabéculaire ou lames osseuses) :** il est localisé à différents niveaux :

- \*Au niveau des os longs on le trouve sur les épiphyses et les métaphyses.
- \*Au centre des os courts
- \* Entre les tables internes et externes des os plats

Il est constitué lames osseuses constituées elles même de lamelles osseuses qui forment des grandes cavités qu'on appelle des aréoles : elles contiennent la moelle osseuse hématogène.

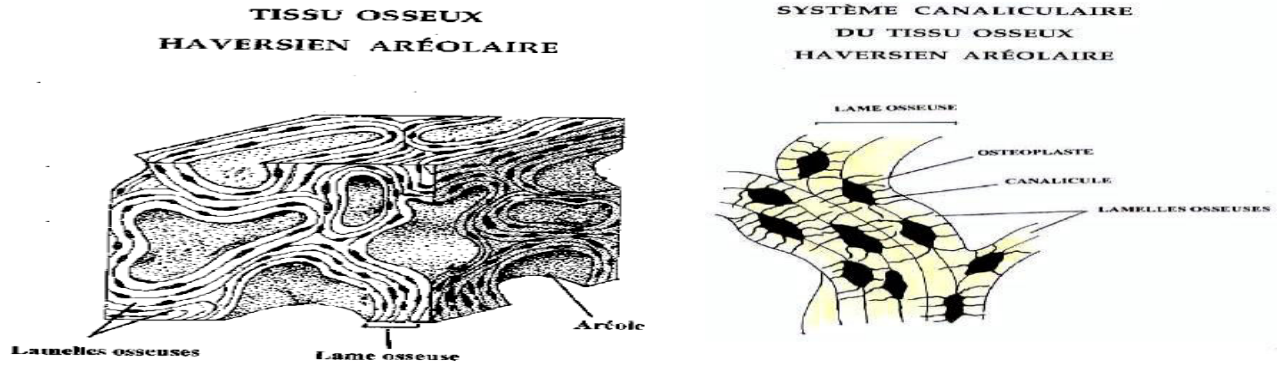
Les lamelles osseuses contiennent également des ostéoplastes qui sont en relation entre eux par un système canaliculaire, ce qui va permettre la nutrition des ostéocytes noyés dans la substance fondamentale minéralisé.

Il y a deux types de canalicules :

- \* canalicules circulaires et longitudinaux qui mettent en relation les ostéoplastes d'une

même lamelle.

\* canalicules radiés, qui mettent en relation des ostéoplastes d'une ostéone avec des ostéones adjacentes.



➤ **Le tissu osseux périostique :** Ils se trouvent à la périphérie de toutes les pièces osseuses à l'exception des surfaces articulaires : il va former le système fondamentale externe des os longs, les tables externes et internes des os plats, et ils se trouvent à la périphérie des os courts. Il est formé de nombreuses lamelles osseuses empilées les unes sur les autres, riches en fibres de collagène.

Ces fibres de collagène vont l'amarrer au périoste périphérique.

Ces lamelles osseuses contiennent des ostéocytes qui sont logés dans des ostéoplastes. Il existe aussi un système canaliculaire :

\* canalicules circulaires et longitudinaux qui mettent en relation les ostéoplastes d'une même lamelle.

\* canalicules radiés, qui mettent en relation des ostéoplastes d'une ostéone avec des ostéones adjacentes.

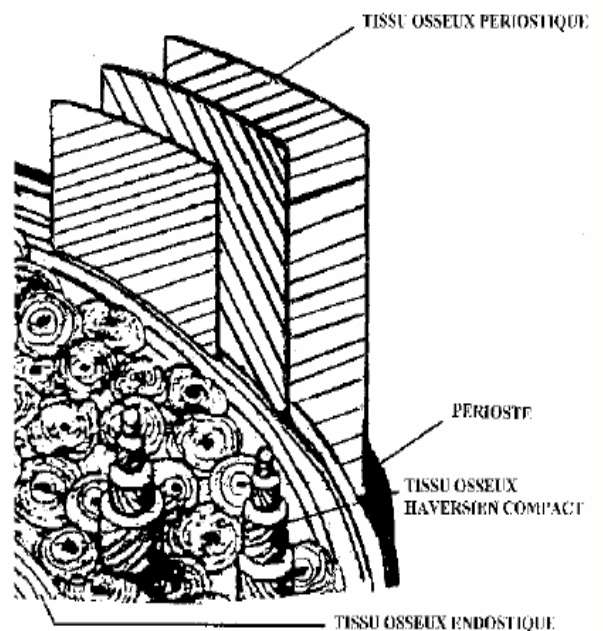


Figure 34. Le tissu osseux périostique

## 5. Ostéogénèse

C'est le développement des os. Ostéogénèse = ossification : processus de formation des os.

**1) L'ossification intra membraneuse** (endoconjonctive) désigne le processus de formation d'un os à partir d'une membrane fibreuse. L'os ainsi constitué est appelé os membrane.

Elle est caractérisée par l'absence de matière cartilagineuse. Ce processus n'est rencontré que pour les os du crâne, ou de la face. Tous les os ainsi produits sont plats.

**2) L'ossification endochondrale** désigne l'ossification à partir du cartilage Hyalin. L'os qui en résulte est nommé os cartilagineux.

De l'ébauche cartilagineuse à l'os définitif : L'ébauche est envahie par des vaisseaux sanguins et des ostéoclastes qui vont résorber le tissu cartilagineux dans les zones de résorption. Et vont se déposer de nouvelles cellules : les ostéoblastes qui vont élaborer la substance osseuse fondamentale définitive créant ainsi le système de Havers.

La zone de cartilage qui dans un os long sépare les points diaphysaires des points épiphysaires porte le nom de cartilage de conjugaison ou d'accroissement. C'est à son niveau que s'effectue la croissance d'un os long.

## 6. La croissance des os

### 1) La croissance par opposition

Elle fait augmenter le diamètre et l'épaisseur de l'os grâce au périoste. Celui-ci par sa couche profonde ostéogène élabore des couches successives d'os.

### 2) La croissance en longueur des os longs

Grâce aux cartilages de conjugaison, il se transforme en tissu osseux sur ses 2 faces au contact des points d'ossification. Le cartilage persiste jusqu'à ce que l'os ait atteint son développement complet. Il cesse alors de se régénérer et il est envahi par les points d'ossification qui se réunissent.

L'allongement osseux est terminé. Cet arrêt de croissance se produit à l'âge variable.

## 7. Remaniement des fractures

L'os est capable de réparer ses fractures. Une fracture est une destruction tissulaire localisée, avec rupture de la vascularisation. Dans la région fracturée, on a une hémorragie. Cette hémorragie attire des macrophages, des polynucléaires qui vont avoir pour but l'élimination des déchets accumulés dans cette région. Ils apportent d'autres cellules, qui après le nettoyage produisent un **tissu conjonctif vascularisé**. Dans un second temps, ce tissu **perd sa vascularisation** et se transforme en tissu **cartilagineux** : cal du foyer de fracture.

Les cellules du périoste et de l'endoste **remanient ce cartilage**, puis les ostéoclastes et les ostéoblastes restituent progressivement la forme originelle de l'os. Ce processus prend un certain temps : de *6 à 12 semaines*, en fonction du type d'os.

## VII. Le tissu musculaire

### Introduction

Le tissu musculaire est spécialisé dans la production du travail mécanique ou contraction musculaire.

Les cellules musculaires ou myocytes (fibres musculaire), cellules fonctionnelles principales des tissus musculaires se caractérisent par la présence dans leur cytoplasme d'un matériel protéique filamentaire contractile (l'actine et la méosine); les myofilaments sont groupés en myofibrilles. Il contient aussi des filaments intermédiaires de **desmine**, des microtubules et un réticulum endoplasmique lisse (REL) abondant; de nombreuses mitochondries; et de la **myoglobine**, pigment respiratoire fixant de l'oxygène.

Il y a trois variétés de tissu musculaire :

- ✓ **le tissu musculaire lisse** (les cellules musculaires lisses =leiomocytes).
- ✓ **le tissu musculaire strié squelettique** (les cellules musculaires striées squelettiques = rhabdomyocytes).
- ✓ **le tissu musculaire strié cardiaque** (les cellules musculaires cardiaques = cardiomyocytes).

**1. Le tissu musculaire lisse** Les cellules musculaires lisses (CML), ou **léiomocytes**, jouent un rôle majeur dans la vie végétative. Elles se caractérisent par le fait qu'elles sont le siège de contractions spontanées, susceptibles d'être régulées par de nombreux stimuli (nerveux, hormonaux, cytokiniques) et qu'elles sécrètent de nombreuses molécules.

**1.1. Les cellules musculaires lisses :** Fusiforme et allongée, la CML comporte un noyau unique central et un cytoplasme qui présente deux zones : l'une contient les organites vitaux de la cellule et coiffe les deux pôles du noyau, l'autre occupe la plus grande partie de la cellule et est remplie de **myofilaments**. Son cytoplasme renferme des protéines contractiles, actine et myosine, qui ne sont pas organisées selon l'agencement précis et rigoureusement parallèle visible dans les myofibrilles du muscle strié. Seuls les microfilaments fins d'actine sont visibles en ME de routine ; ils se groupent en faisceaux irréguliers orientés selon le grand axe de la cellule, plus ou moins obliquement par rapport à celui-ci. Comme dans le muscle strié, les filaments d'actine sont associés à des molécules de tropomyosine ; en revanche, ils sont dépourvus de troponine. Les microfilaments épais de myosine ne peuvent être mis en évidence que par des techniques particulières.

Les **myofilaments** d'actine et de myosine s'attachent à des **zones denses** constituées d'alpha-actinine (et donc analogues à du matériel de strie Z) et soit dispersées dans le cytoplasme soit accolées à la face interne de la membrane plasmique. A ces zones denses, s'attachent également des filaments intermédiaires de desmine et de vimentine.

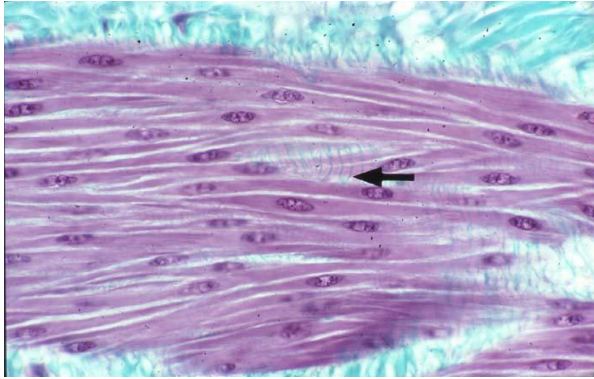


Figure 35. Le tissu musculaire lisse

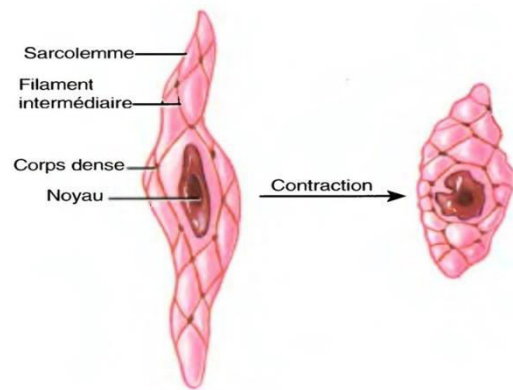


Figure 36. Les cellules musculaires lisses

### 1.2. L'appareil contractile :

Dans la fibre musculaire lisse, on peut rencontrer 03 sortes de myofilaments:

- myofilaments fins d'actine : 40-80Å°
- myofilaments épais de myosine : 135-185Å°
- myofilaments intermédiaires : 100Å°. On les trouve au centre et à la périphérie de la cellule où ils réalisent une sorte de squelette.

Les filaments fins sont regroupés en faisceaux insérés sur les corps denses, les filaments épais intercales dans les faisceaux.

Ces filaments d'actine et de myosine sont maintenus en place par deux structures : les ancrages (zone de contact entre les membranes plasmiques et les filaments d'actine) et les corps denses (formations lenticulaires striés en place dans le sarcoplasme sur lesquelles se fixent les filaments d'actine).

### 1.3. Corps denses

Ce sont des formations lenticulaires de 100 à 300 nm de diamètre diffuses dans le sarcoplasme. Ils contiennent de l' $\alpha$ -actinine et sont liés aux filaments intermédiaires et à la desmine ou la vimentine.

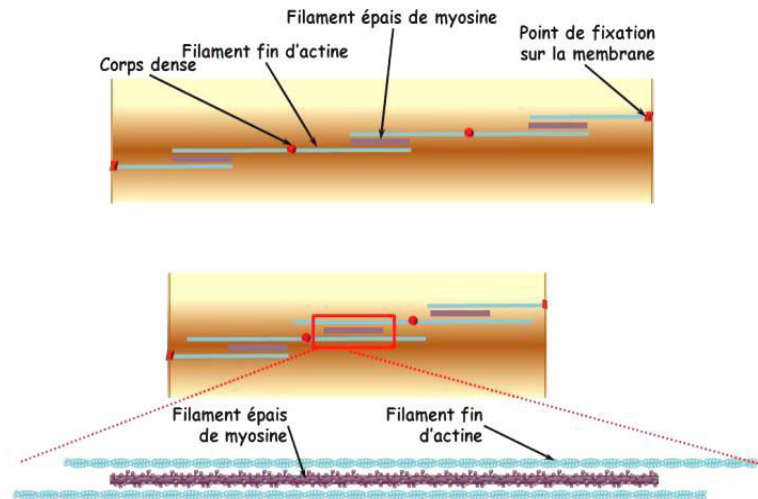


Figure 37. Organisation des filaments épais de myosine et des filaments fins d'actine dans la cellule musculaire lisse.

### 1.4. Propriété sécrétrice

Selon leur situation, les cellules musculaires lisses produisent du collagène, de l'élastine et d'autres constituants de la matrice extracellulaire. Ainsi, outre leur rôle contractile, elles ont une fonction de cellules de soutien. Dans la plupart des cas, cette fonction de la cellule de soutien est limitée à la fabrication de matrice extracellulaire destinée à l'ancrage du muscle lisse.

## 2. Le tissu musculaire squelettique strié

Est responsable des mouvements du squelette et d'organe tel que le globe oculaire ou la langue. Les cellules musculaire squelettiques striés (la cellule est appelée rhabdomyocyte) sont responsables de la mobilité des différentes portions du corps et les uns par rapport aux autres. Ils assurent les mouvements volontaires et le maintien de la posture sous le contrôle du système nerveux. Les muscles squelettiques striés sont présents dans tous les segments de notre corps : tête, cou, tronc et membres.

La fibre musculaire a un diamètre entre 10 à 100 micromètres; une longueur jusqu'à 10 cm. Elle est entourée d'une membrane plasmique (= **sarcolèmme**) et d'une membrane basale. Elle possède plusieurs centaines de noyaux, localisés à la périphérie du rhabdomyocyte, sous le sarcolèmme. Son cytoplasme (**sarcoplasme**) contient de très nombreuses **myofibrilles** (80% du sarcoplasme)

Les muscles squelettiques striés comprennent les éléments suivants :

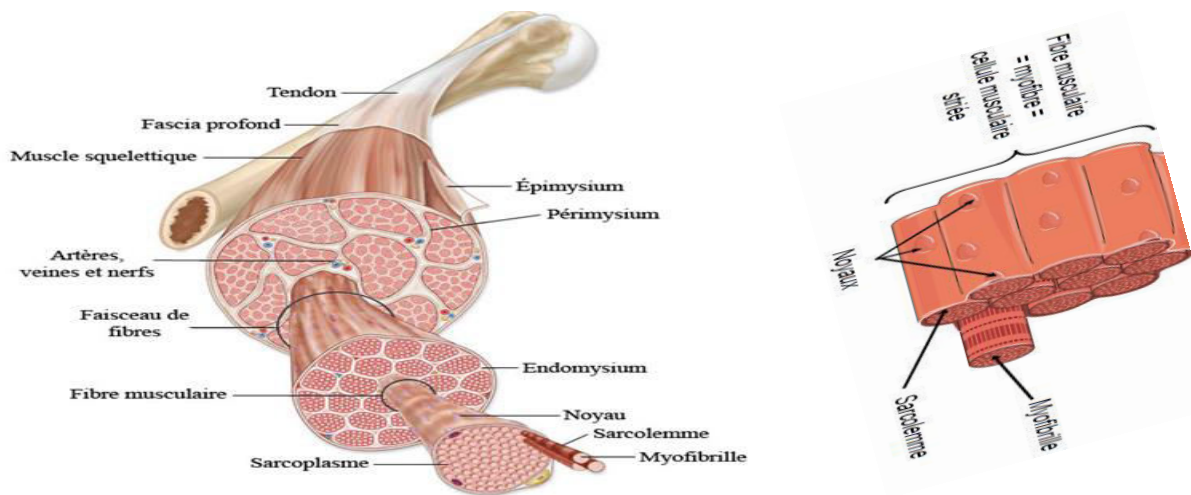


Figure 38. Les constituants de la cellule musculaire striée squelettique

**2.1 Les myofibrilles** sont des cylindres parallèles allongés dans le sens de la cellule (la cellule squelettique striée est appelée aussi **rhabdomycète**), faits de la succession régulière, bout à bout, de petits cylindres identiques appelés sarcomères (ou cases musculaires). Chaque sarcomère est fait d'un faisceau de myofilaments parallèles à son grand axe. La répartition des deux contingents de myofilaments (filaments fins d'actine et filaments épais de myosine) détermine au sein du **sarcomère** des régions de structure différente rendant compte de la striation transversale des myofibrilles bien visible en Microscope optique .

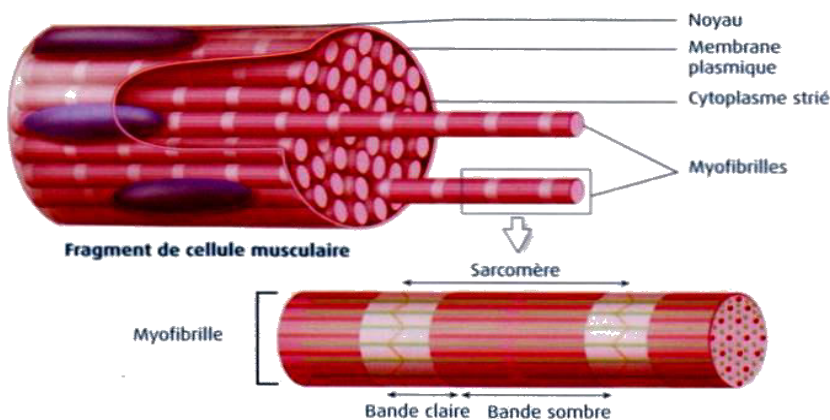


Figure 39. les myofibrilles

Elles sont constituées de 2 types de microfilaments formés de **protéines contractiles** :

- les filaments fins contiennent de l'**actine** (associée à la **tropomyosine**);
- les filaments épais sont composés de **myosine**.



Figure 40. Les filaments d'actine et de myosine

L'alternance de filaments fins d'actine et de filaments épais de myosine détermine la **striation transversale des myofibrilles** bien visible en MO

## 2.2 L'ultrastructure de myofibrille

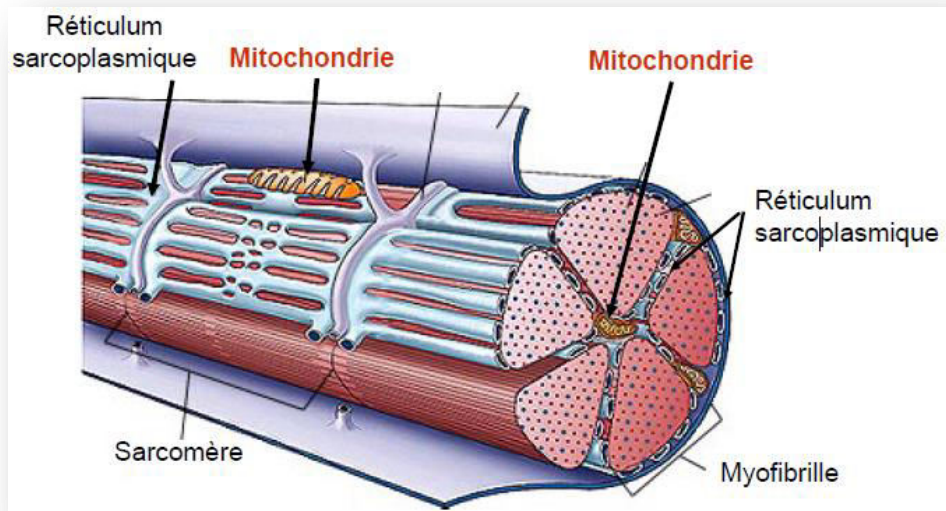


Figure 41. L'ultrastructure de myofibrille

**a. Les mitochondries** sont nombreuses, disposées entre les myofibrilles. Elles fournissent l'ATP nécessaire à la contraction musculaire.

**b. Le réticulum sarcoplasmique** Il est constitué par un réseau de canalicules et de saccules anastomosés, longitudinaux, entourant chaque myofibrille et se résolvant en une citerne terminale au niveau de chaque sarcomère.

**c. Système T** un système de tubules transversaux issus d'invaginations tubulaires de la membrane plasmique (sarcolemme) dans le cytoplasme: le système T (tubule T). Il entoure les myofibrilles, en prenant contact avec le réticulum sarcoplasmique. Il est régulièrement espacé. Il permet la **propagation de l'influx nerveux** à l'intérieur de la cellule musculaire.

❖ **Jonction neuromusculaire (plaques motrices) :**

La **jonction neuro-musculaire** est une **synapse** entre une terminaison axonale d'un motoneurone et une cellule musculaire striée squelettique. Elle **utilise l'acétylcholine** (Ach) comme neurotransmetteur. La membrane sarcolemmique possède des replis jonctionnels et elle contient des récepteurs pour l'acétylcholine qui est libérée par le motoneurone.

À leur arrivée dans le muscle, les axones des motoneurones se ramifient pour établir des contacts synaptiques (= **plaques motrices**) avec plusieurs fibres musculaires.

En revanche, une fibre musculaire n'est innervée que par un seul motoneurone

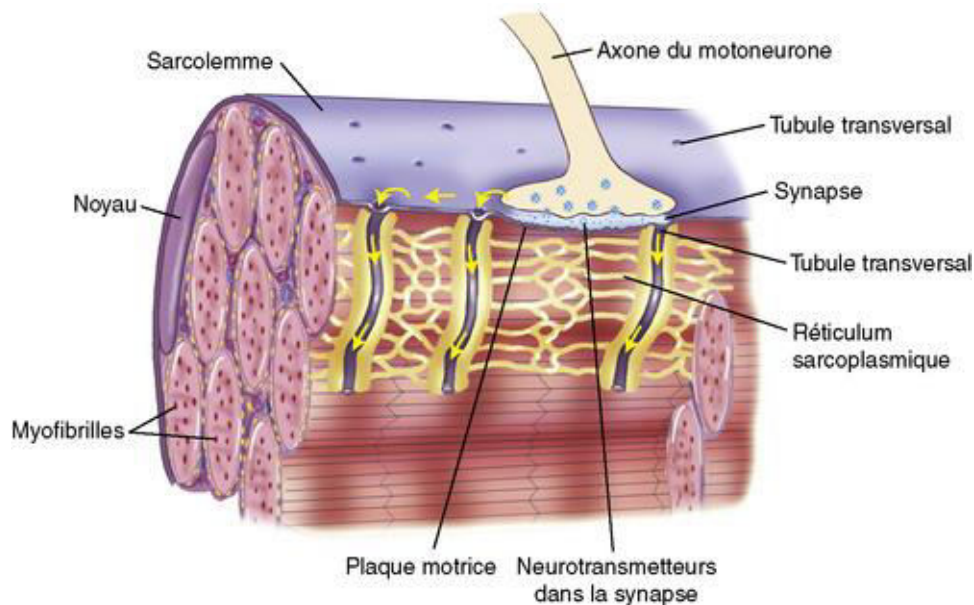
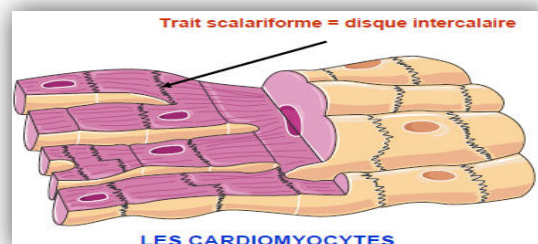


Figure 42. la plaque motrice

**3. Le tissu musculaire strié cardiaque** Les battements cardiaques et leur rythme sont déterminés par l'activité intrinsèque des cardiomyocytes du noeud sino-auriculaire. En effet, les cardiomyocytes sont spontanément excitables ; leur dépolarisation et repolarisation rythmique est indépendante du système nerveux. Le système nerveux végétatif exerce toutefois une influence sur le rythme des contractions : schématiquement, le parasympathique (acétylcholine) ralentit le coeur alors que le sympathique (noradrénaline) l'accélère.

(les les cellules musculaires cardiaques = cardiomyocytes)**Caractères communs avec les cellules musculaires striées squelettiques**



- Myofibrilles, réticulum sarcoplasmique sarcolemme, ont une organisation semblable à celle des cellules musculaires striées squelettiques
- Par ailleurs: - mitochondries nombreuses;  
- grains de glycogène abondants.

### 3.1 Caractères distinctifs

**Forme:** cylindre court (100 microns de longueur environ)

- dont les extrémités présentent des **bifurcations;**
- connectés avec les cellules myocardiques adjacentes pour former un **réseau tridimensionnel.**

**Noyau:** central, unique, allongé dans le sens du grand axe de la cellule. **Absence de plaque motrice:** dépolarisation et repolarisation rythmiques des cardiomyocytes sont indépendants du système nerveux. Le rythme des battements est déterminé par l'activité des cellules musculaires du **nœud sinusal**

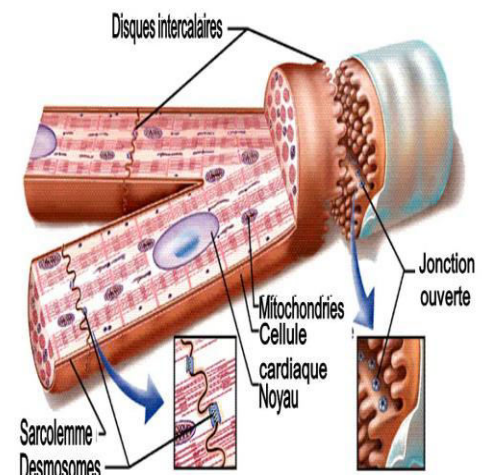


Figure 44. Le tissu musculaire strié cardiaque

- Le système nerveux autonome ne fait que moduler le rythme des contractions. Schématiquement, le système parasympathique (= acétylcholine) ralentit le cœur alors que le sympathique (= noradrénaline) l'accélère.

### 3.2 Types de cardiomyocytes

**3.2.1. Les cardiomyocytes contractiles** Qu'ils siègent dans les ventricules ou dans les oreillettes, les cardiomyocytes contractiles correspondent - à des nuances près - au type de description.

**3.2.2. Les cellules cardionectrices :** Les cellules cardionectrices sont des cardiomyocytes modifiés, spécialisés dans l'initiation (pour le nœud sinusal) et dans la conduction d'impulsions électriques.

L'impulsion électrique naît du **nœud sinusal** qui agit comme un stimulateur (pace maker), parvient au **nœud auriculo-ventriculaire** qui déclenche la contraction des ventricules via les cellules cardionectrices du **faisceau de His**, de ses branches puis du **réseau de Purkinje**

**3.2.3. Les cellules myoendocrines :** renferment de nombreuses vésicules de sécrétion, contenant le précurseur d'une famille de polypeptides collectivement appelée **Facteur Auriculaire Natriurétique** (= ensemble d'hormones impliquées dans la régulation du volume sanguin).

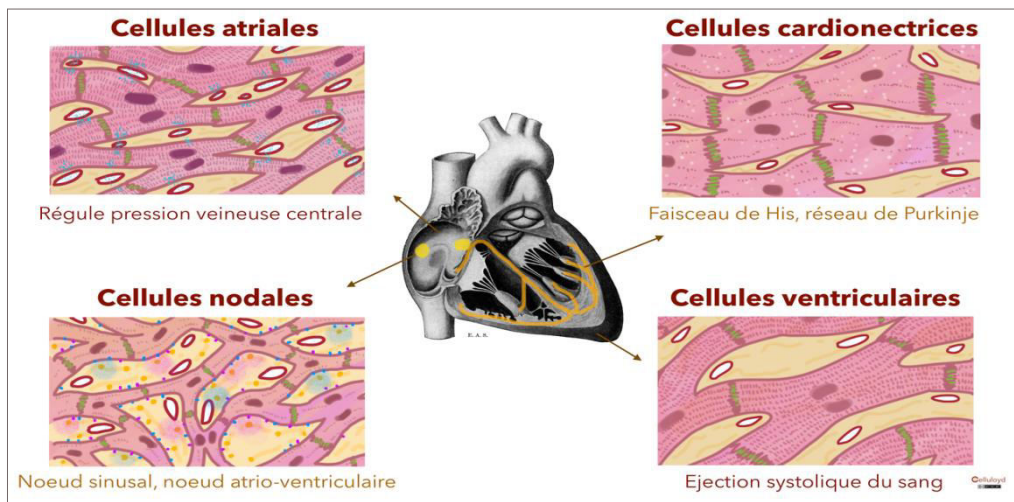


Figure 45. Types de cardiomyocytes

### 3.3 Régénération du muscle cardiaque

Le myocarde est incapable de régénération

## VIII. Tissu nerveux

Le tissu nerveux, substratum histologique du système nerveux (SN), est spécialisé dans la conduction, la transmission et le traitement des informations. Présent dans toutes les régions du corps, il est - avec le système hormonal et le monde des cytokines - l'un des trois grands moyens de communication de l'organisme-. D'un point de vue anatomique, il est commode de distinguer au sein du tissu nerveux, Le système nerveux comprend 2 grands ensembles fonctionnels : le système nerveux central (encéphale et moelle épinière) et le système nerveux périphérique (filets nerveux destinés aux membres et aux viscères).

### 1. Les cellules du système nerveux central

Au niveau cellulaire, Le système nerveux n'est constitué que de deux grands types cellulaires:

- **les neurones**
- **les cellules gliales.**

#### A. LES NEURONES :

Le neurone, ou cellule nerveuse, est l'unité structurale et fonctionnelle du système nerveux. C'est une cellule hautement spécialisée dont le nombre est défini à la naissance. Par contre, un certain nombre de ces cellules n'a pas atteint sa maturité à la naissance et les neurones ne se reproduisent pas (cellules amitotiques = ne se divisent pas).

On estime que le système nerveux humain comprend environ **100 milliards de neurones**. Les neurones assurent la transmission d'un signal que l'on nomme **influx nerveux**. Les neurones peuvent s'assembler pour former un **nerf**.

Chaque neurone est constitué de :

- a) **Le corps cellulaire** : encore appelé « Soma », Centre vital de la cellule, il renferme un noyau avec un nucléole bien visible et une chromatine dispersée. Le cytoplasme se caractérise par la présence d'un volumineux réticulum endoplasmique granuleux (REG) en amas, réalisant les corps de Nissl. Le cytoplasme renferme également de nombreuses mitochondries et un cytosquelette, constitué de filaments intermédiaires et de micro filaments.
- b) **Les dendrites** : Arborisation fine et courte qui se termine en ramification. C'est le lieu de réception de l'influx nerveux puisque l'information va toujours de la dendrite vers le soma.

c) **L'axone** : Il s'agit du principal prolongement cytoplasmique, il est unique, de longueur variable (jusqu'à 1 m) et de diamètre constant. L'axone assure la conduction du message nerveux provenant du corps cellulaire.

L'axone forme une arborisation terminale en son extrémité. Chacune de ces arborisations se termine par un **bouton synaptique**, qui va établir le contact soit avec un autre neurone, soit avec une glande ou soit avec une fibre musculaire. Dans ce cas, elle porte le nom de plaque motrice.

Le neurone peut être entouré ou non d'une gaine de protection qu'on appelle la gaine de myéline (substance blanchâtre grasseuse). Cette gaine de myéline est discontinue, des segments d'axone sont nus c'est-à-dire non entourés par la gaine de myéline, ces segments d'axone nus sont appelés **nœud de Ranvier**. Ces nœuds sont situés à intervalle régulier (tous les 1 à 3 mm). Cette gaine de myéline est elle-même entourée d'une seconde gaine : la gaine de Schwann.

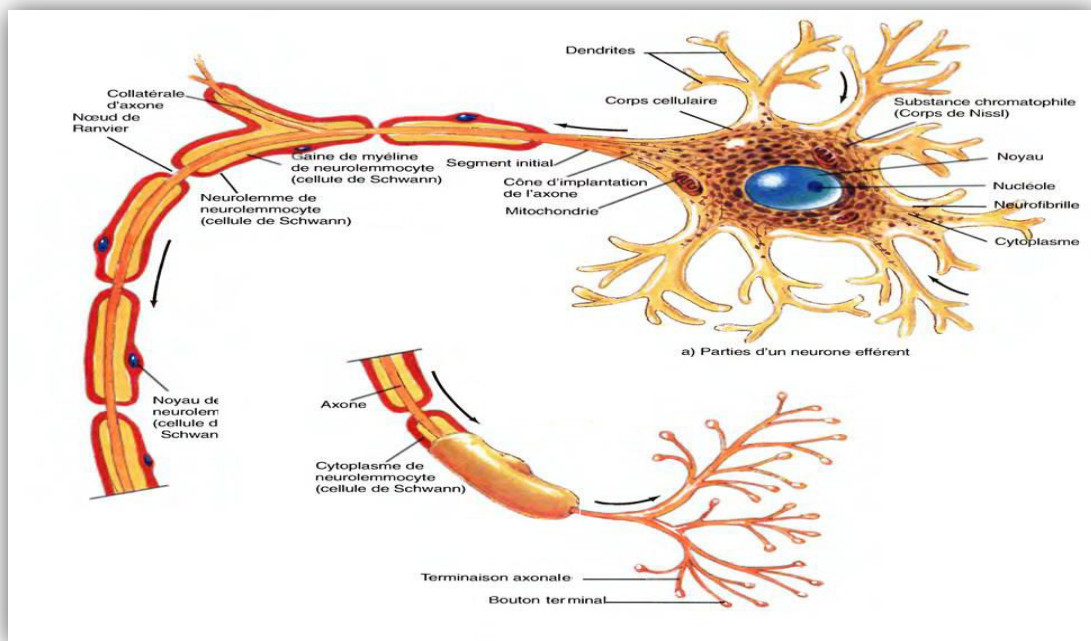


Figure 46. La cellule nerveuse

### 1.1 Les propriétés fondamentales des neurones : Le neurone possédant 3 propriétés essentielles :

- **l'excitabilité** : un neurone est une cellule excitable c'est-à-dire capable de répondre à une stimulation ;

- **la conductibilité** : un neurone est une cellule conductible c'est-à-dire capable de propager un message nerveux ;

- **la communicabilité** : un neurone est une cellule communicante c'est-à-dire capable de transmettre une information à une autre cellule (neurone, cellule musculaire ou cellule glandulaire) et capable de recevoir une information provenant d'un autre neurone.

**1.2 La classification** Les différents neurones sont classés selon leur structure et leur fonction.

- La classification structurale tient compte du nombre de ramifications du corps cellulaire.

**a) les neurones multipolaires:** sont pourvus de plusieurs dendrites et d'un axone, on les trouve dans l'encéphale et la moelle épinière.

**b) les neurones bipolaires:** ont une dendrite et un axone, ce sont les neurones de la rétine de l'œil, de l'oreille interne, ...

**c) les neurones unipolaires:** sont formés d'un corps cellulaire qui ne compte qu'un prolongement, ce prolongement se divise en une branche centrale qui joue le rôle d'un axone, et en une branche périphérique qui joue le rôle d'une dendrite, les neurones unipolaires se trouvent dans les ganglions postérieurs (sensitifs), des nerfs rachidiens.

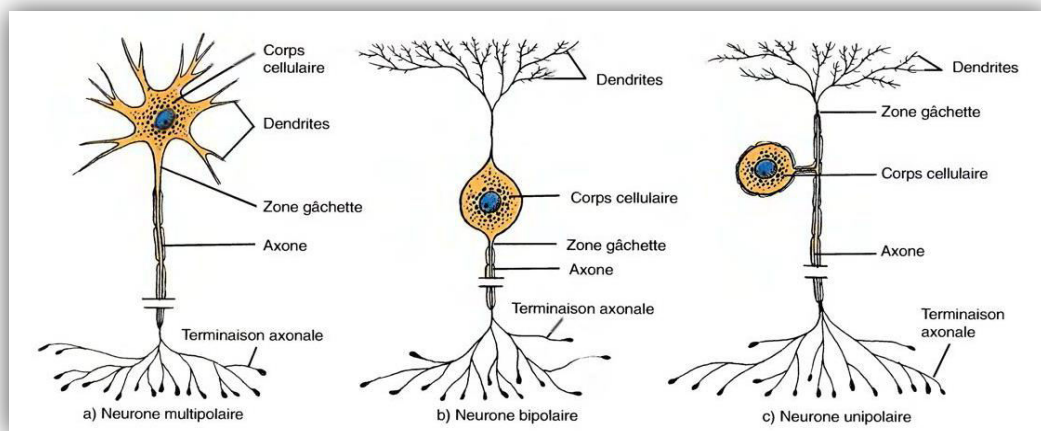


Figure 47. Classification des neurones selon la forme

Dans tous les cas (excepté bien sûr celui des neurones sensitifs en T qui sont dépourvus de dendrite), **la conduction nerveuse** se fait dans le même sens :

- Elle est **cellulipète** (de la périphérie vers le soma) **pour les dendrites** ;
- Elle est **cellulifuge** (du soma vers la périphérie) **pour l'axone**.

a. **Selon la longueur des neurones**, on distingue :

**1. Neurones longs :**

- Vitesse de conduction rapide (100m/s) ;
- 100 fois plus économique en ATP que les neurones courts.
- Dans les membres.

**2. Neurones courts :**

- Vitesse de conduction lente (1m/s).
- Dans le cerveau et le nerf optique.

**b. Selon la myélinisation des axones, On distingue ainsi :**

- Des **fibres myélinisées** dont la vitesse de conduction, proportionnelle à l'épaisseur de myéline, peut atteindre 120 m/s.
- Des **fibres amyéliniques** (dépourvues de myéline) dont la vitesse de conduction n'excède pas 2,3 m/s. Elles sont plus nombreuses que celles myélinisées.

La classification fonctionnelle tient compte du sens de propagation de l'influx nerveux.

**a) les neurones sensitifs ou afférents:** sont des neurones unipolaires qui envoient l'influx nerveux depuis les récepteurs dans les organes des sens, la peau et les viscères jusqu'à l'encéphale et la moelle épinière.

**b) les neurones moteurs ou efférents:** transmettent l'influx nerveux depuis l'encéphale et la moelle épinière jusqu'aux muscles ou glandes.

**c) les neurones d'association ou interneurones:** transmettent l'influx d'un neurone sensitif à un neurone moteur, les neurones d'association sont situés dans l'encéphale et la moelle épinière.

Environ 90 % des neurones du corps sont des neurones d'association.

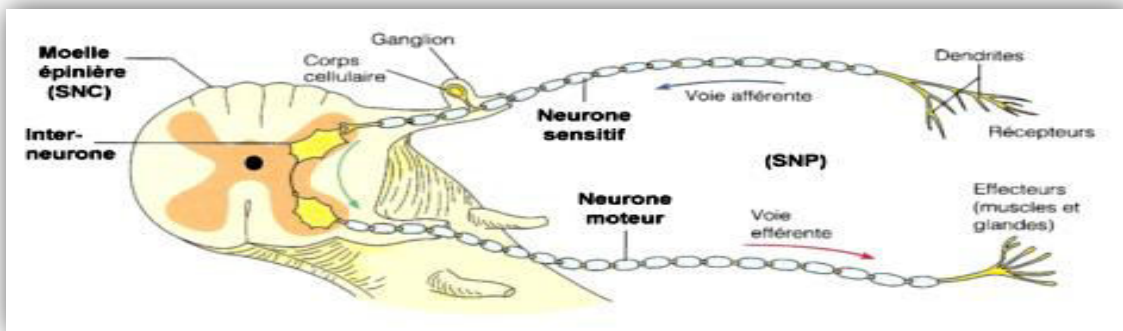


Figure 48. Le neurone sensitif, moteur et le neurone d'association

**2. Les cellules gliales (la névroglie)** les cellules qui soutiennent et protègent le système nerveux s'appellent la névroglie (névro: nerf, glie: glu) ou cellules gliales. Les cellules gliales sont généralement plus petites que les neurones, mais leur proportion est 5 à 10 fois plus élevée. Les **cellules gliales** comprennent plusieurs types cellulaires aux multiples fonctions dont certaines commencent à peine à être connues.

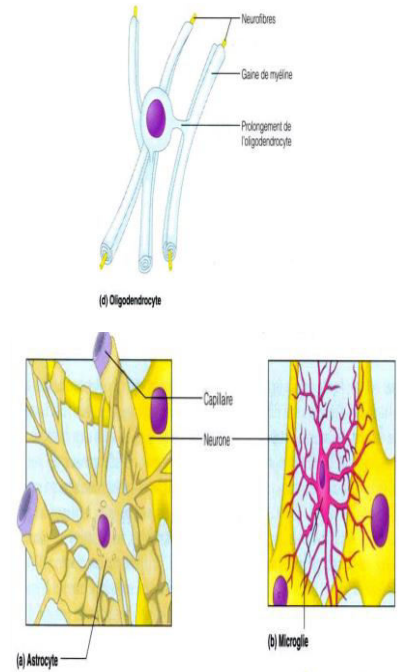
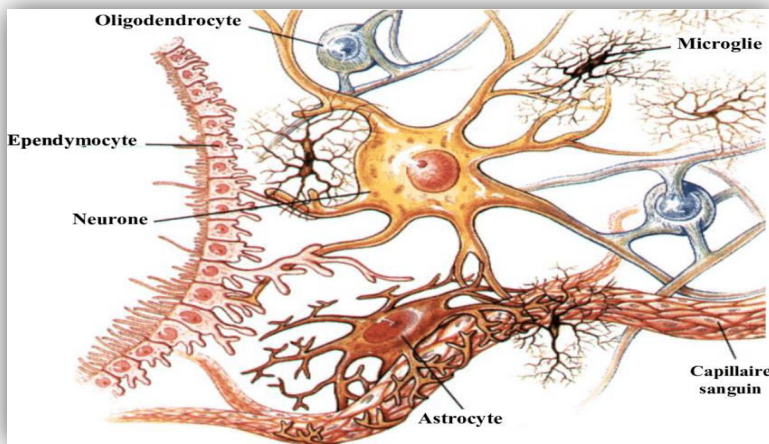


Figure 49. Les cellules gliales

❖ Au **niveau central (SNC)**, on en distingue trois types principaux.

➤ Les **oligodendrocytes** assurent la myélinisation des fibres nerveuses.

Il existe 2 principaux types d'oligodendrocytes :

- *l'oligodendrocyte clair* est présent chez le fœtus et le nouveau né ; il s'agit d'une cellule de grande taille, active, fréquemment en division ;

- *l'oligodendrocyte sombre* rencontré chez l'adulte est une cellule de petite taille, qui ne se divise pas.

Une forme intermédiaire, entre la cellule claire et la cellule sombre, serait présente chez l'adulte et donc capable, dans certaines circonstances, de synthétiser de la myéline.

➤ Les **astrocytes** : sont des cellules étoilées car elles sont pourvues de prolongements ramifiés qui occupent tout l'espace entre les neurones. Elles régulent la composition du

❖ liquide extracellulaire qui baigne les neurones et jouent également un rôle de soutien en participant à leur migration et à leur croissance au cours de leur développement. Très récemment, on a découvert qu'ils étaient aussi impliqués dans des mécanismes immunitaires.

❖ Les **cellules microgliales** qui sont en fait des macrophages chargés de nettoyer le tissu nerveux et de le débarrasser d'éventuels intrus.

❖ **Au niveau périphérique**, on en connaît un seul type représenté par les **cellules de Schwann** (du nom du physiologiste allemand Théodor Schwann qui les a observées à la fin du dix-neuvième siècle). Elles assurent la myélinisation à l'intérieur des nerfs et servent de support aux fibres dépourvues de myéline.

### C. La synapse

Dans les années 1950, le microscope électronique a montré clairement que les neurones sont des cellules indépendantes et qu'elles communiquent entre elles au niveau de régions particulières dénommées **synapses**. Ce terme, emprunté au grec *sunapsis* (= point de jonction). Donc, c'est le lieu de jonction entre deux neurones (ou entre un neurone et une glande ou une fibre musculaire).

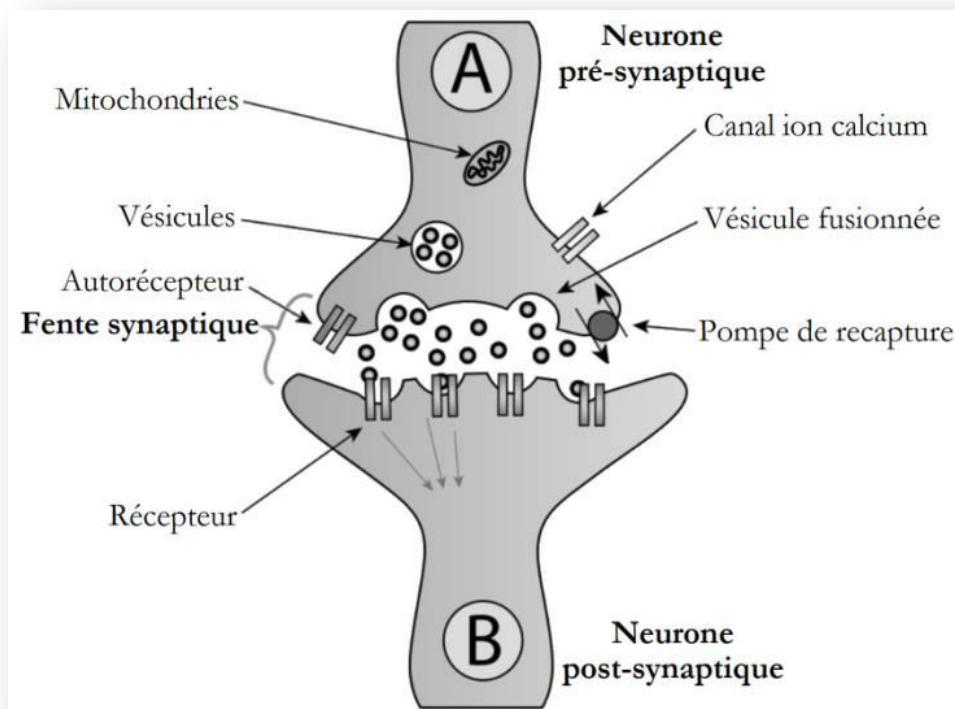


Figure 50. le synapse

Au niveau d'une synapse on distingue:

- Un **bouton pré-synaptique** appartenant à un premier neurone,
- Une **fente synaptique** séparant les deux neurones,
- Un **bouton post-synaptique** appartenant à un deuxième neurone.

<b>Liste de références</b>	
<b><i>Première partie : Embryologie</i></b>	
<b>01</b>	<b>Aberte M</b> , Jean foucrier (2009). Biologie du développement .7e édition Dunod paris
<b>02</b>	<b>Bouaziz A</b> (2014) . cours embryologie : folliculogénèse. Université d'Alger 1 Faculté de Médecine Première année Médecine et Médecine Dentaire
<b>03</b>	<b>Carlson B.M.</b> , 1981. Patten 's foundations of Embryology. <i>Mc Graw. Hill.</i> New York.
<b>04</b>	<b>Dadoune J-P</b> (2006).biologie de la reproduction humaine .les cours du PCEM. barnéoud France
<b>05</b>	<b>Edouard G</b> , virginie p ( 2004). embryologie biologie du développement et de la reproduction. Estem. France
<b>06</b>	<b>Gernigon T</b> ( 2003) embryologie générale humaine. Office des publication universitaire . ben aknoun (Alger)
<b>07</b>	<b>Gernigon T</b> , Khemici D, Lemdani F, benazzoug Y, Aouichat Sayah F( 2017). Cours illustré biologie animale :embryologie générale. office des publication universitaire.
<b>08</b>	<b>Jean MM</b> , Brigitte D (1997).embryologie et biologie du développement embryogénèse et développement de l'homme. ellipses. France
<b>09</b>	<b>Le moigne A</b> ( 1989). Biologie du développement : développement des oiseaux. 2 <sup>ème</sup> édition. Masson. Paris, (3-107).
<b>10</b>	<b>Le moigne A</b> (1979). Abrégé de biologie du développement. Masson France
<b>11</b>	<b>Michel P</b> , jran- RJ (2011). Biologie de la reproduction et du développement – UE2. PACES .ellipses . France
<b>12</b>	<b>Oumeddour A</b> (2018).cours Biologie Animale1ère année Biologie SNV. université de Gulma
<b>13</b>	<b>Sherwood</b> (2006). Physiologie humaine .2eme édition de boeck
<b>14</b>	<b>William j</b> , Larsen (2004). Embryologie humaine.2 <sup>e</sup> édition de boeck paris
<b>15</b>	<b>Zaneveld L. J.D</b> (1978). «The biology of human spermatozoa», <i>Obstetrics and Gynecology Annual</i> , vol. 7, pp. 15-40.
<b><i>Sites internet</i></b>	
<b>S1</b>	<a href="http://1213bopeups.free.fr/Files/19_biologie_du_developpement_1_.pdf">http://1213bopeups.free.fr/Files/19_biologie_du_developpement_1_.pdf</a>

<b>S2</b>	<a href="http://monbebe patience eklablog.com/nidation-definition-et-symptomes-a118324670">http://monbebe patience eklablog.com/nidation-definition-et-symptomes-a118324670</a>
<b>S3</b>	<a href="http://p.21-bal.com/biolog/3636/index.html">http://p.21-bal.com/biolog/3636/index.html</a>
<b>S4</b>	<a href="https://www.devenirgrand.com/glossaire/endometre/">https://www.devenirgrand.com/glossaire/endometre/</a>

### *Deuxième Partie : Histologie*

<b>01</b>	<b>Batigne S</b> , Damico S, La Lumière M ( 2008).Le Corps Humain : Comprendre Notre Organisme Et So Fonctionnement. Edition Québec Amérique Inc
<b>02</b>	<b>Coujard R</b> , Poirier J., Racadot J ( 1980).Précis D'histologie Humaine , Ed Masson.
<b>03</b>	<b>Keierszenbaum AL</b> (2002).Histologie Et Biologie Cellulaire.1 <sup>er</sup> Edition .De Boeck Université
<b>04</b>	<b>Kohler C</b> (2010).Cours :Histologie.Collègue Universitaire Et Hospitalier Des Histologistes,Embryologistes,Cytologistes Et Cytogénéticiens (CHEC)
<b>05</b>	<b>Kuhnel W</b> , Traduit Par Roos J(1991). Atlas De Poche d'Histologie , Flammarion Médecine Sciences.
<b>06</b>	<b>Messala N</b> (2013).polycopé histologie. Université de Mostaganem- faculté de Médecine
<b>07</b>	<b>Martin C</b> (2008). Histologie : les tissus. Niveau PAES. Université Pierre et Marie Curie. faculté de Médecine.
<b>08</b>	<b>Oumeddour A</b> (2018).cours Biologie Animale 1ère année Biologie SNV. université de Gulma
<b>09</b>	<b>Poirier J</b> , Ribadeau Dumas J.L..Histologie (1993). Editions Masson 4e Edition
<b>10</b>	<b>Poirier, J.L.</b> Ribadeau Dumas, M. Catala, J.M. Andre, R.K. Gherardi, Bernaudin J.F(1999). Histologie Moléculaire, Edition Masson
<b>11</b>	<b>Poirier M</b> , Catala, André J-M, Gherardi, Bernaudin J-F(2006). Histologie Les Tissus : PCEM1 . 3eme Edition Masson. France
<b>12</b>	<b>Stevenes A</b> , Lowe J (1997). Histologie Humaine. 2eme Edition .De Boeck Université Paris.
<b>13</b>	<b>Tortora G J</b> , Grabowski Sr (1993).Principe D'anatomie Et De Physiologie .2eme Edition De Boeck Université France.
<b>14</b>	<b>Young B</b> ,Lowe Js, Stevenes A, Heath JW( 2006).Atlas D'histologie Fonctionnelle De Weather .2eme Edition De Boeck.
<b>15</b>	<b>Young</b> , O'Dowd, Woodford (2015). Atlas D'histologie Fonctionnelle De Wheater. De Boeck Supérieur. France

<i>Sites Internet</i>	
<b>S1</b>	<a href="https://Www.Infirmiers.Com/Pdf/Cours-En-Vrac/Tissu-Osseux-Et-Os.Pdf">https://Www.Infirmiers.Com/Pdf/Cours-En-Vrac/Tissu-Osseux-Et-Os.Pdf</a>
<b>S2</b>	<a href="http://Campus.Cerimes.Fr/Histologie-Et-Embryologie_Medicales/Enseignement/Histologie1/Site/Html/Cours.Pdf">http://Campus.Cerimes.Fr/Histologie-Et-Embryologie Medicales/ Enseignement/Histologie1/ Site/Html/Cours. Pdf</a>
<b>S3</b>	<a href="http://Campus.Cerimes.Fr/Histologie-Et-Embryologie_Medicales/Enseignement/Histologie2/Site/Html/Cours.Pdf">http://Campus.Cerimes.Fr/Histologie-Et-Embryologie Medicales/ Enseignement/Histologie2/ Site/Html/ Cours. Pdf</a>
<b>S4</b>	<a href="http://Campus.Cerimes.Fr/Histologie-Et-Embryologie_Medicales/Enseignement/Histologie15/Site/Html/Cours.Pdf">http://Campus.Cerimes.Fr/Histologie-Et-Embryologie Medicales/Enseignement/Histologie15/Site/Html/Cours.Pdf</a>
<b>S5</b>	<a href="http://Coursplbichat-Lariboisiere.Weebly.Com/Uploads/8/0/7/9/807976/Cours_6_-_Tissus_Musculaires.Pdf">http://Coursplbichat-Lariboisiere.Weebly.Com/Uploads/8/0/7/9/807976/Cours_6_-_Tissus_Musculaires.Pdf</a>
<b>S6</b>	<a href="http://Teaching.Anhb.Uwa.Edu.Au/Mb140/">http://Teaching.Anhb.Uwa.Edu.Au/Mb140/</a>
<b>S7</b>	<a href="http://Univ-Nktt.Yolasite.Com/Resources/Tissu_Sanguin.Pdf">http://Univ-Nktt.Yolasite.Com/Resources/Tissu_Sanguin.Pdf</a>
<b>S8</b>	<a href="http://www.db-gersite.com/HISTOLOGIE/HISTGENE/histgen1/histgen2/histgen2b.htm">http://www.db-gersite.com/HISTOLOGIE/HISTGENE/histgen1/histgen2/histgen2b.htm</a>
<b>S9</b>	<a href="http://Www.Mic.Ki.Se/Anatomy.Html">http://Www.Mic.Ki.Se/Anatomy.Html</a>
<b>S10</b>	<a href="https://Coursexamens.Org/Images/Etudes_Superieures*/Veterinaire/Histologie/H2/Tissusanguin.Pdf">https://Coursexamens.Org/Images/Etudes_Superieures*/Veterinaire/Histologie/H2/Tissusanguin.Pdf</a>
<b>S11</b>	<a href="https://Opentextbc.Ca/Anatomyandphysiology/Chapter/4-2-Epithelial-Tissue/">https://Opentextbc.Ca/Anatomyandphysiology/Chapter/4-2-Epithelial-Tissue/</a>
<b>S12</b>	<a href="https://Www.Infirmiers.Com/Pdf/Sang.Pdf">https://Www.Infirmiers.Com/Pdf/Sang.Pdf</a>
<b>S13</b>	<a href="https://Www.Pinterest.Com/Pin/656329345669787002/">https://Www.Pinterest.Com/Pin/656329345669787002/</a>