République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche scientifique

Université de Médéa

Faculté des Sciences

Polycopié de cours de biologie végétale

Selon le programme pédagogique officiel du L1 SNV

Dr. Leila Boukhalfoun

Maître de conferences A

Département SNV

Validé par le conseil scientifique de la faculté des sciences à 08 novembre 2023

Numéro de série: .....

Année universitaire 2022-2023

Ce polycopié a été expertisé par:

1. Tchaker Fatma Zohra MCA Université de médéa
2. Nabi Fahima MCA Université de médéa

SOMMAIRE

1. Introduction à la biologie végétale……1
1.1. Classification des plantes……1
1.1.1. Les Thallophytes……..1
1.1.2. Les Cormophytes…….1
1.2. Particularités de la cellule végétale…….8
1.2.1. Constituants de la cellule végétale……...9
2. Différents types de tissus……..16
2.1. Les méristèmes……..16
2.1.1 Les méristèmes primaires……16
2.1.2. Les méristèmes secondaires…….……...17
2.2. Les tissus de remplissage (parenchyme) ……..…….17
2.2.1. Les parenchymes chlorophylliens……...17
2.2.2. Le parenchyme de réserve……...18
2.2.3. Le parenchyme aquifère……..19
2.2.4. Le parenchyme aérifère……...19
2.3. Les tissus protecteurs (épiderme) ……..…….…...…20
2.3.1. Epiderme…….20
2.3.2. Tissus de revêtement secondaires : Suber ou Liège…….21
2.4. Les tissus de soutien (collenchyme et sclérenchyme)…….……..…….22
2.4.1. Le collenchyme……...22
2.4.2. Le sclérenchyme……...23
2.5. Les tissus conducteurs…….....…..23
2.5.1. Tissus conducteurs primaires……..24
2.5.2. Tissus conducteurs secondaires……..28
2.6. Les tissus sécréteurs……..……31
2.6.1. Les cellules sécrétrices……31
2.6.2. Les poils sécréteurs…….31
2.6.3. Les poches sécrétrices…….31
2.6.4. Les canaux sécréteurs……..31
2.6.5. Laticifères…….31
3. Anatomie des végétaux supérieurs……34
3.1. La structure anatomique de la racine ……34

3.1.1. Structure anatomique primaire de la racine……34
3.1.2. Structure anatomique secondaire de la racine……..37
3.2. Structure anatomique de la tige …….....39
3.2.1. Structure anatomique primaire de la tige……39
3.2.2. Structure anatomique secondaire……41
3.3. Structure anatomique de la feuille ……43
3.3.1. L'anatomie de la feuille des dicotylédones…….43
3.3.2. La structure anatomique d'une feuille monocotylédone…….44
3.4. Anatomie comparée entre mono et dicotylédones……..…….……..45
4. Morphologie des végétaux supérieurs ……..……....47
4.1.Racine……..…….…..47
4.1.1. Les différents types de racines……48
4.1.2. Adaptations particulières des racines……..49
4.2.Tige…….……51
4.2.1. Les différents types de la tige…….52
4.3.Feuilles…….……...55
4.3.1. Les différents types de feuilles……....56
4.3.2. Disposition des nervures à l'intérieur du limbe de la feuille……...57
4.3.3. La forme de la feuille……..58
4.3.4. La Phyllotaxie…….59
4.3.5. Les variations adaptatives et fonctionnelles des feuilles…….60
4.4. La fleur……...60
4.4.1. Périanthe……..62
4.4.2. Pièces reproductrices……...63
4.4.3. Le diagramme floral……65
4.4.4. Formule florale……65
4.5. La graine……65
4.5.1. Les différentes sortes de graines…….66
4.6. Le fruit……67
5. Gamétogenèse…….……....…….59
5.1. La gamétogenèse femelle …….…....59
5.1.1. L'ovule……71
5.2. La gamétogenèse male……...74
Chapitre 6 : La fécondation……...76

6.1. Œuf et embryon……..76
6.2. Notion de cycle de développement……78
Références bibliographiques

Préambule

Ce polycopié intitulé « cours de biologie végétale » est le résultat de plusieurs années de pédagogie et de recherche, il est destiné aux étudiants de graduation première année licence (L1) sciences de la nature et de la vie.

Les cours du présent travail, sont confectionnés d'une manière simple et facile, guidés par des illustrations pour permettre à un étudiant débutant dans le domaine SNV de bien comprendre des notions complexes.

Prérequis

Pour pouvoir suivre cet enseignement correctement, l'étudiant doit avoir des connaissances préalables sur les différentes parties d'un végétal, un aperçu global sur l'anatomie et l'histologie des plantes déjà vues en phase pré universitaire.

Objectifs des enseignements

A l'issu de cette matière, l'étudiant doit

Reconnaître à partir d'un schéma les différentes partie d'une plante supérieure

Maitriser la reproduction sexuée en identifiant les différnents pièces florales

Déterminer les différentes types de tissu constituant une plante

Identifier la constitution interne des différentes organes d'une plante

Informations utiles

Cette matière appartient à une unité fondamentale, enseignée en deuxième semestre. En matière d'horaire, l'étudiant doit recevoir 3 heures par semaines réparties en 1h30 sous forme de cours et 1h30 sous forme des travaux pratiques, remplissant en présentiel après 14 semaines un volume horaire total de 67h30. l'étudiant doit compléter sa formation par des travaux individuels réalisés à distance remplissant une charge horaire de 82h30 (source: canevas 2018).

Evaluation

L'évaluation sera calculée sur la base d'une note de contrôle continue qui participe avec 40% englobant des tests, interrogations et travaux à distances puis un examen semestriel qui contribue avec 60%.

Dr. Boukhalfoun Leila

Chapitre 1

Introduction à la biologie végétale

Les plantes forment un règne composé d'organismes photosynthétiques adaptés sur la terre ferme. Elles sont pluricellulaires et sont composées de cellules eucaryotes entourées de parois cellulaires. Leur principal mode de nutrition est la photosynthèse, bien que quelques plantes soient devenues hétérotrophes. L'évolution des plantes sur la terre a entrainé une différenciation de structures et l'évolution d'organes spécialisés pour la photosynthèse. Chez les plantes plus complexes, cette organisation à produit des tissus photosynthétiques, vasculaires et protecteurs spécialisés.

1.1. Classification des plantes

La classification des plantes ou Systématique se base sur plusieurs critères cytologiques, anatomiques et morphologiques. Une plante est identifiée par deux noms latins : Le nom du genre (majuscule) et le nom de l'espèce (minuscule), écrits en italique ou en soulignés. Exemple: Le Pin d'Alep : *Pinus halepensis* ou Pinus halepensis.

Le règne végétal est anciennement réparti en deux grands groupes selon l'architecture de la plante : on parle des Thallophytes et des Cormophytes.

1.1.1. Les Thallophytes : Ce sont des organismes non vascularisés. Leur appareil végétatif est un organe foliacé peu différencié, parfois ramifié dont les cellules ne sont pas organisées en tissus avec absence de tige, feuilles et racines. Quelques thallophytes comme les cyanobactéries (les algues bleues) sont unicellulaires, parfois le thalle est sous forme complexes et pluricellulaire (les champignons et les levures). Les spores ou les gamètes sont les moyens de départ de la reproduction.

1.1.2. Les Cormophytes : Ce sont les végétaux supérieurs correspondant à des organismes pluricellulaires, leurs cellules eucaryotiques sont réunies en tissus, qui forment à leur tour des organes plus complexe appelé cormus (thalle) d'où son appellation de cormophytes ; ces deniers sont subdivisés en trois embranchements :

Les Bryophytes : sont des plantes feuillées non vascularisées et constituent le groupe le plus primitif des plantes terrestres. Les bryophytes comprennent plusieurs classes, les trois

principales étant les mousses, les hépatiques et les anthocéros. Ce sont des végétaux chlorophylliens, faisant la transition évolutive entre les algues et les végétaux vasculaires ou supérieurs. Ce sont des cryptogames, se reproduisant grâce à des spores libérées et disséminées par le vent. L'absorption de l'eau et des substances dissoutes se fait par toute la surface de la tige et des feuilles ; ce qui entraine un dessèchement rapide (Figure 1).



Figure 1: *Atrichum undulatum* mousse des lieux ombragés sur sols frais.

Les Ptéridophytes: sont des végétaux chlorophylliens pourvus de tiges, feuilles et vraies racines (Cormophytes) et d'un appareil conducteur (système vasculaire). Ils sont ainsi les premières plantes vasculaires ou «Trachéophytes». Comme les Bryophytes, les Ptéridophytes sont des cryptogames car se reproduisent par spores. Ils ne portent pas de fleurs, et par suite ne peuvent pas se reproduire par des graines et les appareils reproducteurs restent peu apparents donc, les Ptéridophytes sont des Cryptogames Vasculaires. Par comparaison avec les Bryophytes, les Ptéridophytes présentent un appareil végétatif plus différencié et adapté au milieu aérien. Ces plantes sont généralement herbacées qui vivent dans les biotopes humides et ombragés des forêts et peuvent alors devenir arborescents (fougères arborescentes) ou épiphytes (Figure 2).



Figure 2 : La morphologie des Ptéridophytes (a : Sélaginelle; b : Prêle; c : Filicophyte; d : Psilophyte)

Les Préspermaphytes : est un groupe qui se situe entre les Ptéridophytes et les vrais Spermaphytes. Durant longtemps, ont été considérés comme Gymnospermes. C'est un groupe qui est peu représenté, limité à l'Asie. Ce sont généralement des espèces présentant à l'état ornemental. Chez les préspermaphytes, les cônes pendants sont les appareils reproducteurs, portés par des pieds différents : espèces dioïques (Figure 3).

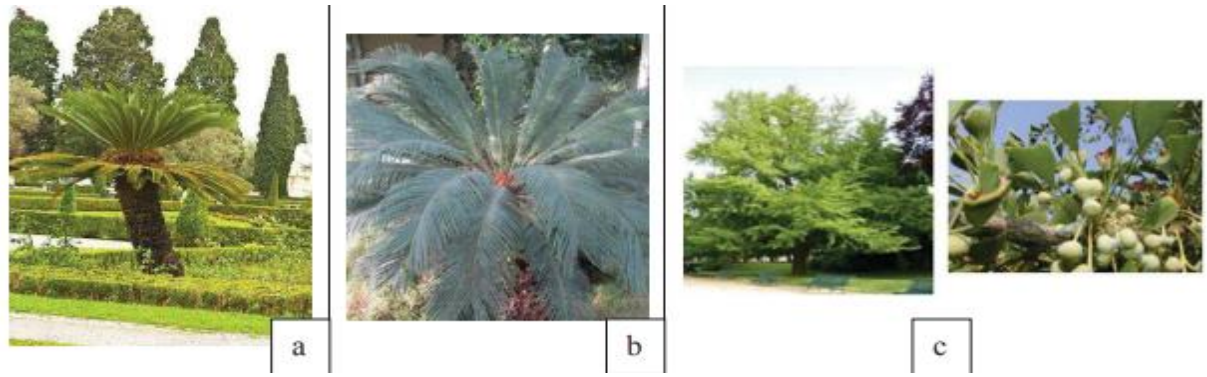


Figure 3 : les Préphanérogames : a et b : Cycas ; c : Ginkgo

Les Spermaphytes ou les phanérogames : Ce groupe s'appelle aussi des plantes à graines (ou à ovule), dotées d'une sexualité visible appelée la fleur.

Les Spermaphytes sont subdivisés principalement en deux groupes majoritaires : les Angiospermes et les Gymnospermes.

a- Les Gymnospermes : Représentées par les Conifères, caractérisés par une phase végétative trop longue. Ils sont ligneux (arbres, arbustes), c'est-à-dire qu'ils ont une tige rigide formée de bois : aucune espèce n'est herbacée. Ce sont très souvent des arbres de grande taille, moins souvent un arbuste ou un arbrisseau. Leur cycle de développement s'étale sur plusieurs années. Leur durée de vie peut être élevée, le Pin à longue vie (*Pinus longaeva*) dure plus de 4000 ans.

Leur Cycle de vie est lent Ils ont un port pyramidal ou conique, du fait d'une très forte dominance apicale. Ses branches sont souvent disposées en couronnes ou pseudo-verticilles. Les feuilles sont petites sous forme d'aiguille (pins, mélèzes, cèdres), soit en forme d'écailles (cyprès, thuyas). Ces feuilles sont soit alternes, opposées ou verticillées. Dans la plupart des cas, les feuilles sont persistantes, c'est pourquoi les arbres sont toujours verts (Figure 4).



Figure 4 : Les différentes formes de feuilles chez les gymnospermes.

Les organes sexuels sont en forme de cônes unisexuée soit mâles, soit femelles qui sont portés par le même pied (Figure 5). Les organes sexuels femelles (les ovules), parfois d'origine caulinaire (issu de la tige), sont nus ; ils peuvent être situés sur la face dorsale des écailles dont l'ensemble forme en cône femelle.

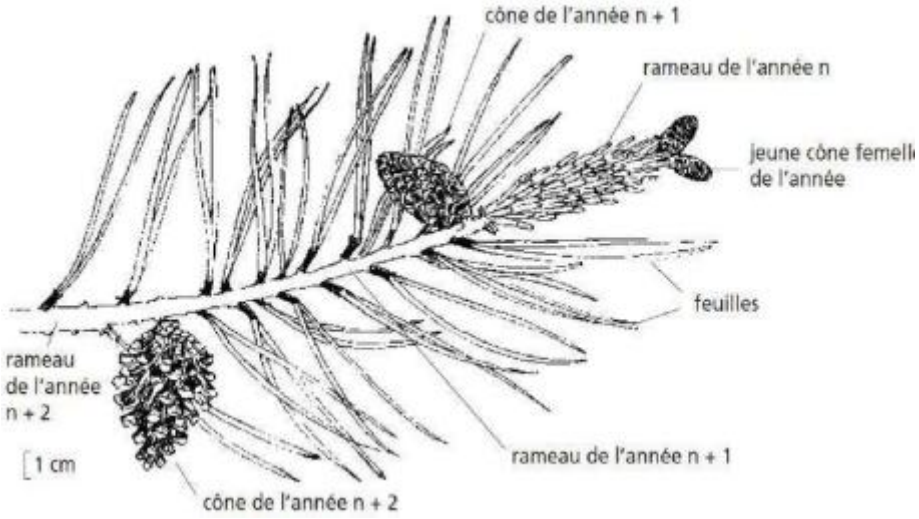


Figure 5 : Les cônes femelles présents sur le Pin d'Alep

b-Les Angiospermes : Les Angiospermes ou plantes à ovaires sont formés par la grande majorité des plantes terrestres (200 000 à 250 000 espèces) groupées en 400 à 500 familles et dont la morphologie est très variables.

Les Angiospermes (qui possèdent une graine enfermée dans un fruit) sont des organismes Trachéophytes pourvus de vaisseaux conducteurs. Ce sont des phanérogames pourvues des organes de reproduction visibles. Les angiospermes ont colonisé quasiment tous les milieux terrestres, leur appareil végétatif, constitué d'une tige feuillée et de racines, est un cormus. Tout comme les gymnospermes, les Angiospermes sont des spermatophytes car elles possèdent des ovules. Les fleurs peuvent être unisexuées ou hermaphrodites. Les angiospermes sont classées selon la classification classique en Monocotylédones et Dicotylédones. Classification phylogénétique est adoptée APG (Angiosperm Phylogeny Group).

b-1-Classe des Monocotylédones : Les monocotylédones ne se distinguent pas seulement des dicotylédones par le nombre des cotylédons mais par toute une série de caractères anatomiques et morphologiques qui permettent de les reconnaître à première vue. Leur racine principale issue de la radicule, avorte en générale dès la germination, puis elle est remplacée par de nombreuses racines adventives. Ces racines sont peu épaisses et peut ramifiées (Système racinaire fasciculé). La tige de type essentiellement herbacée non ramifiée (Chaume). Elles sont trouvées aussi sous formes de rhizomes (Tige souterraine) ou des bulbes (tige feuillée).Dans certains cas, elle est ligneuse (Stipe). Les feuilles sont habituellement isolées, sessiles et sans stipules pourvue d'une gaine plus ou moins embarrassantes. Le limbe n'est généralement pas composé à nervure parallèle. La fleur est de type 3 ((trimère) c.à.d. qu'il y a 3 pièces florales par verticilles • Chez les monocotylédones, on ne différencie pas entre sépales et pétales : Tépale (Figure 6).



Figure 6 : Angiosperme monocotylédone : Avoine

b-2-Classe des Dicotylédones : elle présente une plantule à deux cotylédons, comparativement aux monocotylédones (Famille des poacées) qui en dispose un. L'appareil racinaire est pivotant : une racine primaire bien développée, le pivot, porte des racines latérales formées par des ramifications. La tige, herbacée ou arborescente, est très ramifiée. Par conséquence, certaines Dicotylédones présentent une structure ligneuse càd sont arborescentes. Elles sont extrêmement variées (Dressées, Rampantes, Grimpantes). Les feuilles sont sessiles ou pétiolées à formes très variées (Simples, dentées lobées décomposées et Composées). Elles possèdent des feuilles à nervures généralement Réticulée (palmée, pennée). La fleur dispose 4 verticilles (Figure 7).



Figure 7 : Angiosperme dicotylédone : la Mauve.

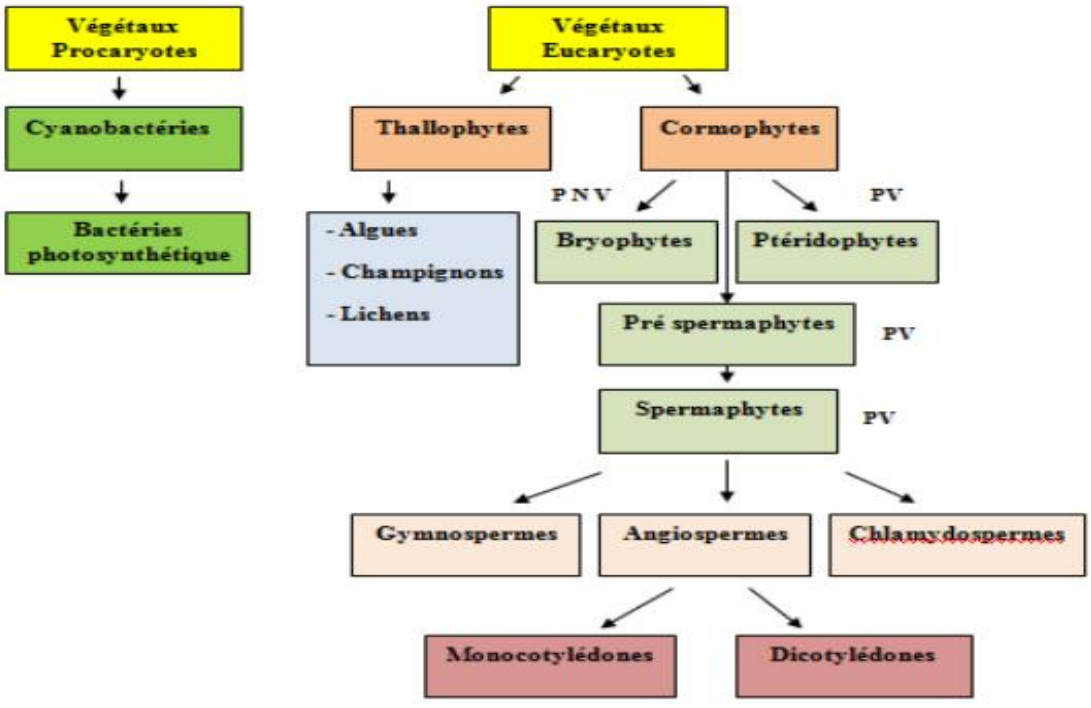


Figure 8 : Classification du monde vivant.

PNV : Plantes non vasculaires

PV : Plantes vasculaire

1.2. Particularités de la cellule végétale

Par définition, La cellule végétale est l'unité de base des organismes végétaux. Elle est eucaryote, contient d'un noyau et des organites (Structures spécialisées) différents par leurs rôles, une grande vacuole et beaucoup de chloroplastes et des cytosomes. Elle est protégée de l'extérieur par des parois cellulaires de nature pectocellulosique.

La cellule végétale a pour rôle : la photosynthèse et la respiration cellulaire principalement.

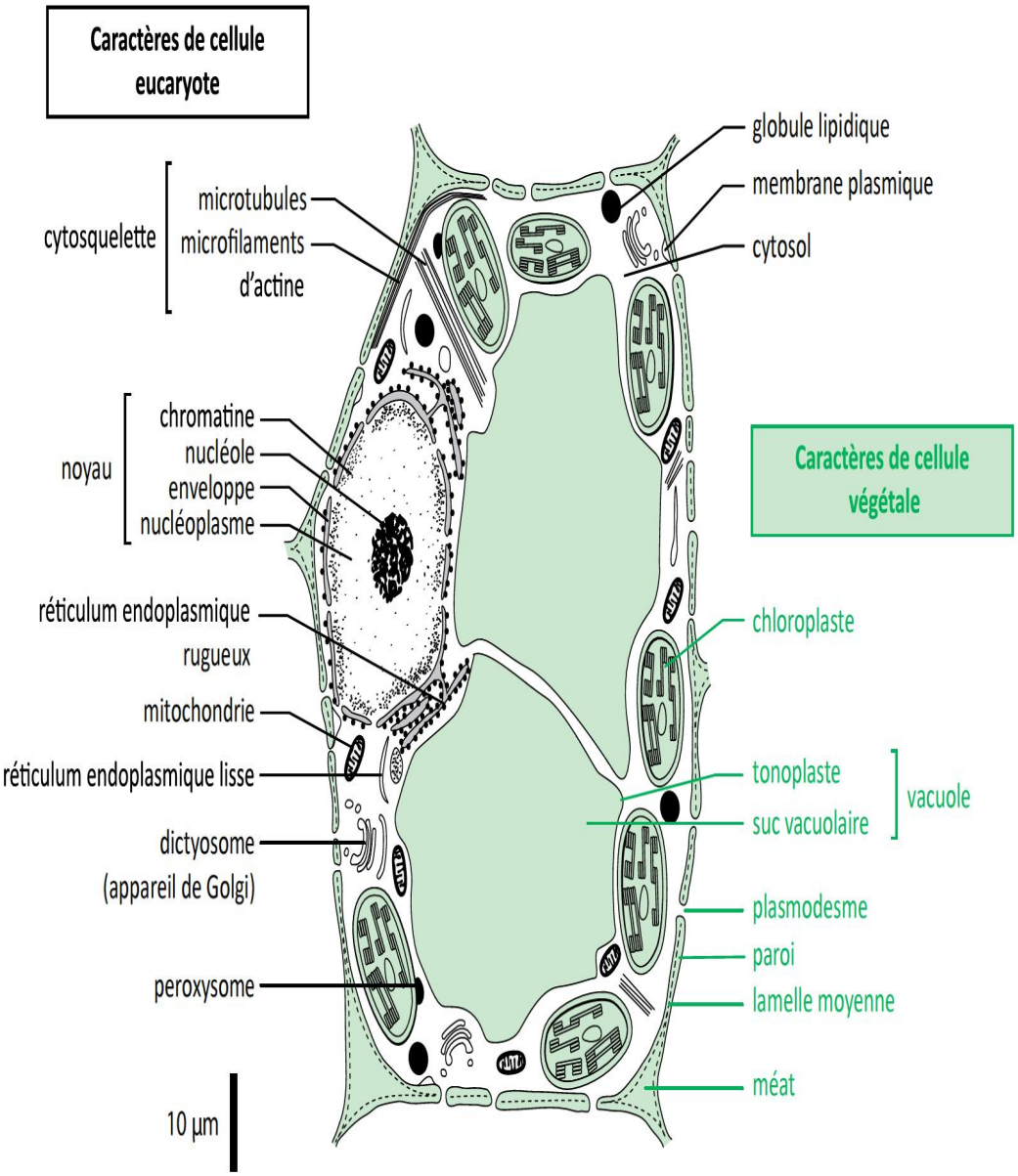


Figure 9 : Schéma d'une cellule végétale eucaryote.

1.2.1. Constituants de la cellule végétale

1.2.1.1. Noyau : Il renferme le matériel génétique sous forme d'acide désoxyribonucléique (ADN). Présent chez les organismes eucaryotiques; les cellules procaryotes n'en présente pas. Le noyau est séparé du cytoplasme par membrane nucléaire.

1.2.1.2. Les vacuoles : grandes vacuoles centrales chez la cellule végétale, occupant plus de 40 % du volume total cellulaire, agissant une pression sur tout le contenu cellulaire contre la paroi. **Le tonoplaste** est la membrane qui entoure la vacuole qui emmagasine de l'eau, des éléments minéraux, des substances organiques et des pigments. En plus des rôles que joue la vacuole est la régulation des fonctions physiologiques (pH, pression osmotique, concentration ionique).

1.2.1.3. Les plastes : ils sont issus des proplastes (structures simples non différenciées situées dans les méristèmes). Ils possèdent son propre ADN mais il est semi autonome. Ils sont protégés par une membrane interne et autre externe formant les deux : l'enveloppe plastidiale. On distingue de nombreux types de plastes :

-Les chloroplastes : ils sont un organite semi-autonome, possédant son propre ADN, il assure la photosynthèse. Le chloroplaste est formé de 2 membranes séparées par un espace intermembranaire. Il renferme un réseau membranaire formé de sacs aplatis appelés thylakoïdes baignant dans le stroma. Les thylakoïdes sont constitués à leur tour d'un lumen entouré d'une membrane contennant de la chlorophylle et des caroténoïdes. Un empilement de thylakoides s'appelle granum (Figure 10).

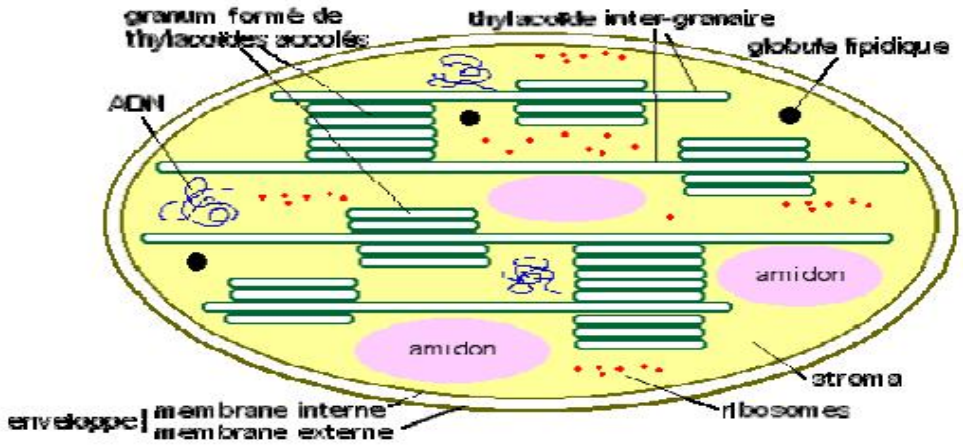


Figure 10 : Structure de chloroplaste.

-Les leucoplastes : Les leucoplastes sont les plastes adultes dont la structure est la moins différenciée. Ils ne possèdent ni pigments ni système élaboré de membranes internes. Certains leucoplastes, appelés amyloplastes, synthétisent de l'amidon, alors que d'autres sont probablement capables de produire diverses substances, comme des huiles et des protéines. Les leucoplastes se situent dans la plupart des cas dans les tissus chlorophylliens sous obscurité. Toutefois, plusieurs épidermes ne contiennent que des leucoplastes. Ces derniers sont des organites cytoplasmiques sans pigments, limités par deux membranes visibles microscope électronique. La membrane interne s'étale dans le stroma en montrant des crêtes semblables à celles des mitochondries. Le stroma contient des globules lipidiques. Dans la plupart des espèces et des tissus, les leucoplastes accumulent des grains d'amidon disposés dans des enclaves du stroma comme chez les chloroplastes.

-Les amyloplastes : Ils jouent un rôle de stockage d'amidon, Présent dans les tissus de réserves (les tubercules de pomme de terre). Ils sont dépourvus de pigment, ils appartiennent à la famille des leucoplastes. Les amyloplastes sont formés par des couches concentriques le hile (un point spécifique).

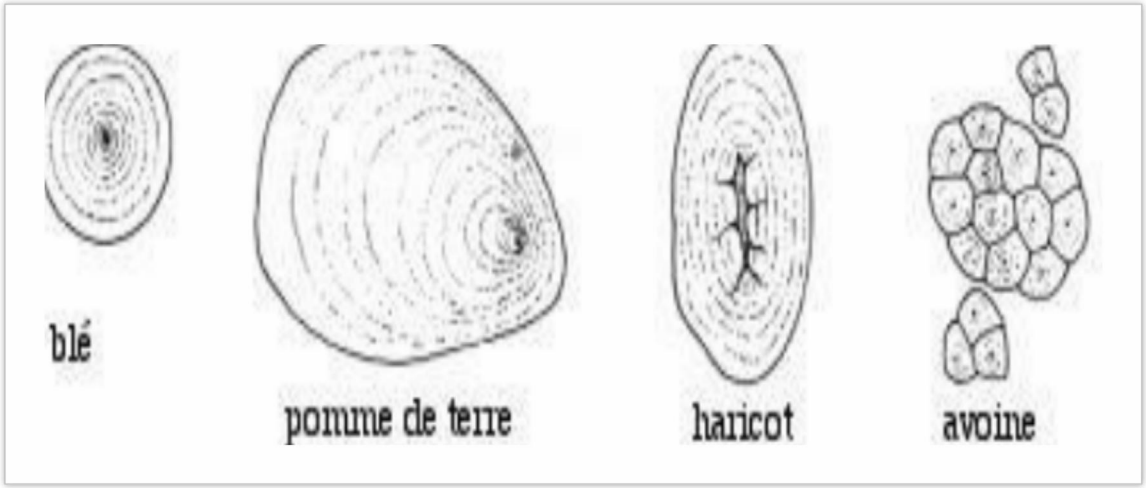


Figure 11 : Les différentes structures des amyloplastes des plantes

Les amyloplastes peuvent avoir des structures différentes selon la position et le nombre de hiles.

- Les chromplastes : Les chromoplastes (du grec « chroma » couleur) contiennent des pigments autres que la chlorophylle. Ce sont des plastes pigmentés. Leur forme est variable. Ils sont dépourvus de chlorophylle. Ils synthétisent et conservent des caroténoïdes (pigments souvent responsables des couleurs jaune, orange et rouge de nombreuses fleurs, des feuilles

d'automne et de certaines racines comme les carottes). Les chromoplastes sont connus par leur abondance en pigments caroténoïdes (carotènes, xanthophylles...) qui peuvent se trouver seuls ou en dessus de la chlorophylle en la masquant. Ils sont présents dans les pièces florales colorées, dans les fruits, dans certaines tiges, feuilles et même racines (carotte). Les chromoplastes sont délimités de 2 membranes, l'interne formant de rares crêtes, dans le stroma.

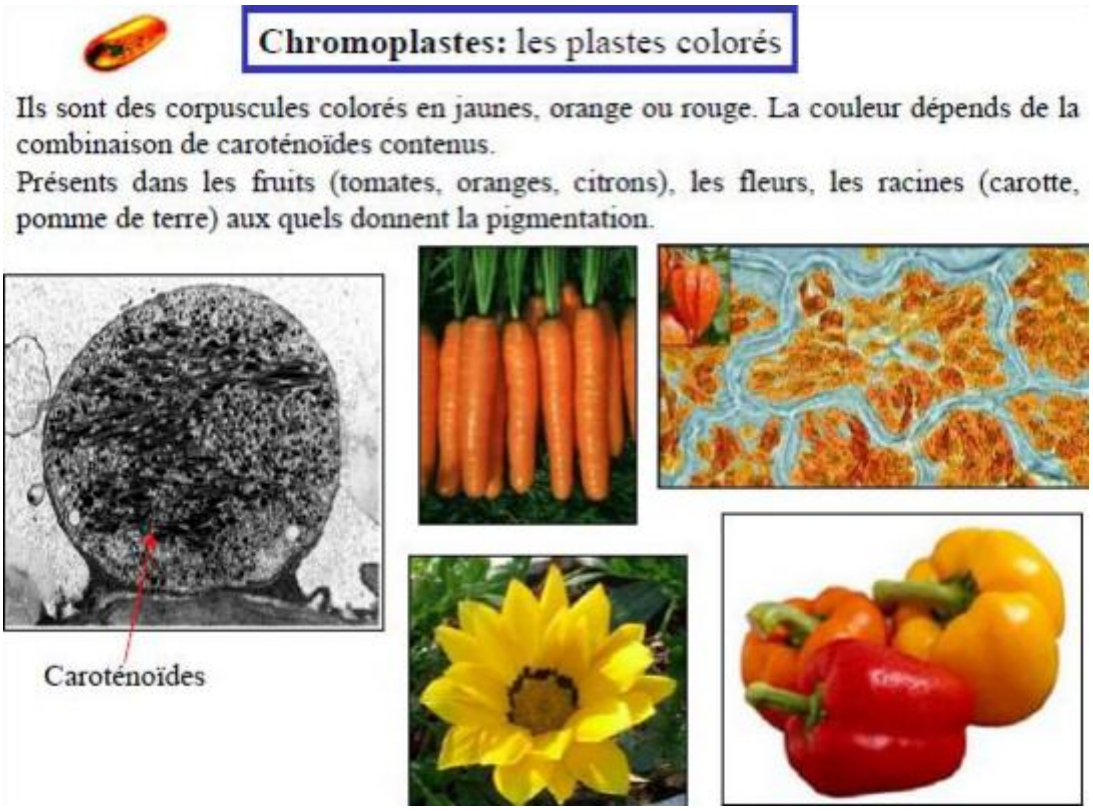


Figure 12 : Les chromoplastes : les plastes colorés

1.2.1.4. Les mitochondries

Les mitochondries sont des organites délimités par deux membranes. La membrane interne possède de nombreuses invaginations appelées crêtes (Figure 13). Les crêtes prennent la forme de replis ou de tubules, elles augmentent considérablement la surface disponible pour les protéines et les réactions qui leur sont associées. Les mitochondries sont généralement plus petites que les plastes et mesurent environ de 0,5 à 1 micromètre de diamètre ; leur longueur et leur forme sont très variables.

Les mitochondries sont le siège de la respiration, mécanisme impliquant la libération d'énergie à partir de molécules organiques et son transfert aux molécules d'ATP (adénosine

triphosphate), principale source directe d'énergie chimique pour toutes les cellules eucaryotes. La plupart des cellules végétales renferment des centaines ou des milliers de mitochondries, leur nombre étant en relation avec la demande d'ATP dans la cellule.

En plus de la respiration, les mitochondries participent à beaucoup d'autres processus métaboliques, comme la biosynthèse des acides aminés, des cofacteurs de vitamines et des acides gras. Les mitochondries sont constamment en mouvement, elles tournent, se tordent et se déplacent d'un endroit à l'autre de la cellule ; elles fusionnent également et se divisent. Les mitochondries ont tendance à se rassembler là où il existe une demande d'énergie.

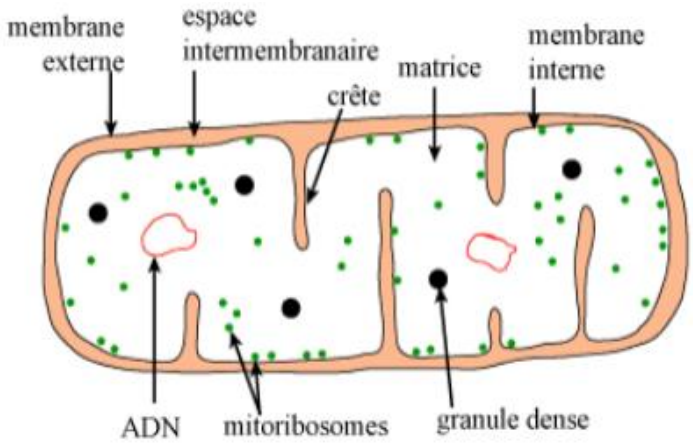


Figure 13 : Structure et organisation d'une mitochondrie.

1.2.1.5. Les membranes cellulaires

Les lipides et les protéines sont les constituants majoritaires d'une membrane cellulaire, qui est formée d'une bicouche de phosphoglycérolipides en plus de cholestérol.

a- Le plasmalemme ou membrane plasmique, doté d'une épaisseur de 6 à 9 nm, il délimite le cytoplasme en montrant la caractéristique d'une perméabilité très sélective, il a pour rôle la protection et le contrôle des échanges entre le milieu interne et celui de l'externe de la cellule. Il existe des ponts cytoplasmiques ou des canaux qu'on appelle : plasmodes au sein du plasmalemme.

1.2.1.6. La paroi cellulaire

Elle offre une certaine rigidité qui est essentielle au maintien d'une forte pression osmotique à l'intérieur de la cellule, ainsi qu'au port de la plante. La paroi cellulaire possède des **ponctuations** appelées **plasmodesmes**, qui se définissent par des petits orifices assurant la communication entre les cellules. Cette paroi se trouve formée de 10% de protéines et 90% de glucides. Elle renferme trois groupes de glucides à savoir : la pectine, l'hémicelluloses et la cellulose. Plusieurs parties mises en place successivement sont :

La lamelle moyenne ou mitoyenne : C'est la partie externe de la paroi cellulaire, sa nature est pectique et se forme pendant la division cellulaire constituant le ciment assurant la jonction entre les cellules.

La paroi primaire : elle se situe entre la paroi secondaire et la lamelle moyenne. Son épaisseur est variable, seule les cellules juvéniles qui en contiennent. Elle est constituée d'un réseau de microfibrilles de cellulose, pectine, hémicellulose, glycoproteines et d'eau, elle est **flexible et extensible** ce qui permet la croissance cellulaire.

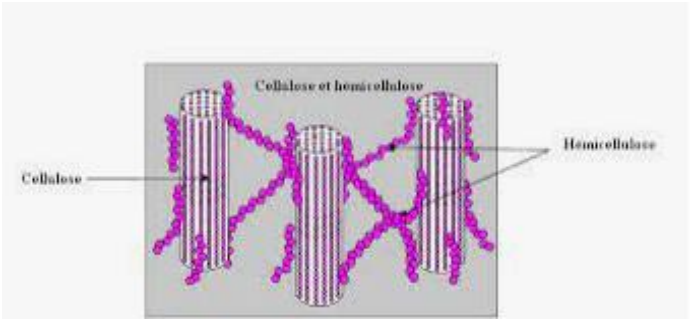


Figure 14 : Architecture de paroi primaire

La paroi secondaire : elle se forme principalement quand la croissance de la cellule est terminée et quand la surface de la paroi primaire ne s'accroit plus. La cellulose est plus abondante dans les parois secondaires que dans les primaires. Les pectines et les glycoproteines peuvent en être absentes. La matrice de la paroi secondaire est composée d'hémicellulose.

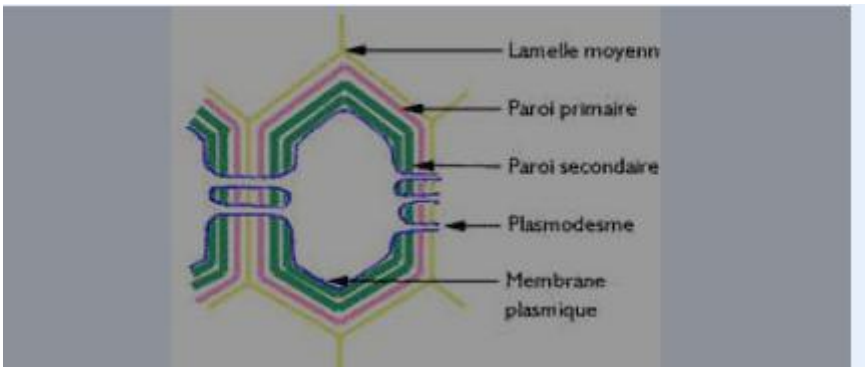


Figure 15: La paroi pectocellulosique

1.2.1.6.1. Communication cellulaire

Les plasmodesmes :

Minces tubules de cytoplasme reliant les protoplastes de cellules végétales voisines, sont aussi des voies de communication importantes entre les cellules. Ils peuvent se rencontrer dans toute la paroi ou dans les ponctuations. Au microscopie électronique, les plasmodesmes apparaissent comme d'étroits canaux (d'environ 30à 40nm de diamètres), borgés par une membrane plasmique et traversés par un tubule modifié du réticulum endoplasmique, le desmotubule.

Les ponctuations

Elles apparaissent comme une sorte d'étranglement de la paroi qui les porte (Figure 16)

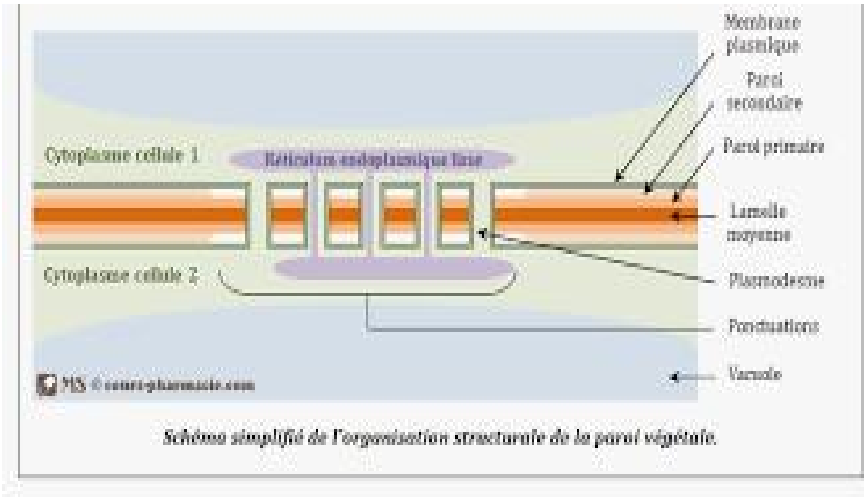


Figure 16 : Schéma de l'organisation structurale de la paroi cellulaire

1.2.1.6.2. Modifications chimiques de la paroi cellulaire :

a-Modifications assurant la rigidité :

Lignification ou sclérification :

La lignification correspond à un dépôt de lignines à la fin de la formation de la paroi primaire et secondaire et effectuent des soudures irréversibles entre les cellules.

Elle renforce la rigidité de la cellule. Les lignines sont des molécules imperméables à l'eau. Les cellules lignifiées sont considérées comme mortes. La lignine est nécessaire à la fabrication des vaisseaux qui servent au transport de l'eau dans les végétaux vasculaires.

Minéralisation :

Il s'agit du dépôt de **silice** (SiO_2) (= silification) ou de calcaire (carbonate de calcium, $CaCO_3$) (= calcification qui s'effectue au niveau des poils) au niveau de tissus spécifiques de la plante.

b- Modifications assurant l'imperméabilité :

Ce sont des appositions de substances lipidiques telles que la cutine, la cire et la subérine.

Ces appositions sont appelées selon la substance :

- Une cutinisation.
- Une cérification.
- Une subérification.

Cutinisation et cérification

La cutine se forme au niveau de l'épiderme, constituant un film protecteur ou cuticule, cette dernière se trouve légèrement perméable aux gaz et à la vapeur, et imperméable à l'eau. Elle ralentit la transpiration chez les végétaux afin de préserver l'eau.

Les cires se dépose sur ou dans la cuticule, on parle de cire supracuticulaire ou de cire intracuticulaire. Les cires sont hydrophobes ou imperméable à l'eau et aux gaz, empêchant ainsi la transpiration chez les plantes.

Subérification

Elle s'imprègne la paroi cellulaire en la rendant imperméable. La subérine fait partie du **suber** qui présente une structure lamellaire.

La subérine est une molécule polymérique hydrophobe, imperméable aux gaz qui se dépose sur la face interne des parois cellulaires en couches concentriques. Les cellules imprégnées de subérine sont mortes.

Gélification

Elle se définit comme une solubilisation de la lamelle moyenne en pectines solubles sous l'action de pectinase, une enzyme rompant les liaisons glycosidiques. De ce fait les cellules se trouvent dispersées dans la gelée.

On peut l'observer :

∗ au moment de la maturation de fruit (melon, tomate)

∗ dans la formation des méats et lacunes

∗ dans la chute des organes comme les feuilles et les pétales.

Chapitre 2

Différents types de tissus

Les cellules associées de manières diverses en unités de structure et de fonction forment les tissus issus à partir des méristèmes dont les cellules sont bien vivantes accomplissent à la fois toutes les fonctions. Ce tissu méristématique se trouve à l'extrémité des racines et des tiges et donne naissance à tous les tissus végétaux. On peut distinguer les tissus suivants :

2.1. Les méristèmes

Le méristème est le tissu indifférencié, qui assure la production d'organes nouveaux tels que feuilles, racines, fleurs (Figure 17).

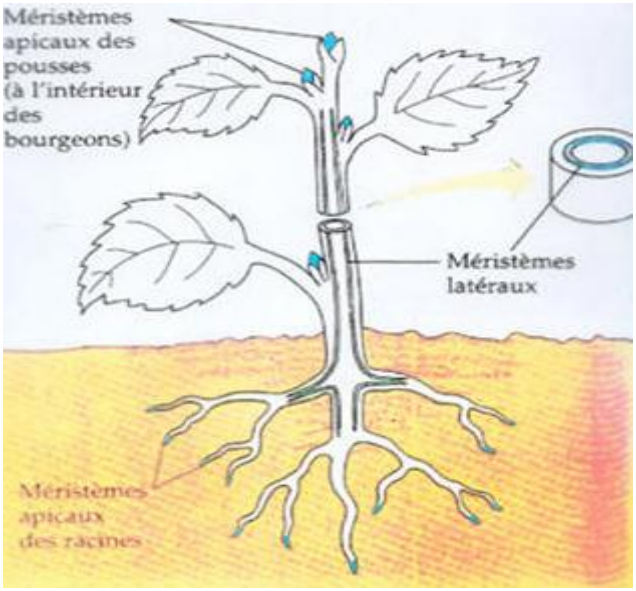


Figure 17 : Emplacement des méristèmes primaire et secondaire.

(www.uvt.rnu.tn)

On distingue deux types de méristèmes :

2.1.1. Les méristèmes primaires : situés à l'extrémité des tiges (méristèmes caulinaires) et des racines (méristèmes racinaires) (Figure17) et à la base des feuilles. Ils constituent les tissus primaires. Les cellules méristématiques primaires sont isodiamétriques, petites, leur noyau est, volumineux, sphérique, beaucoup de vacuoles mais de taille très petites et des plastes non différenciés (proplastes). Ils assurent la croissance en longueur.

2.1.2. Les méristèmes secondaires : appelés également le phellogènes et cambium, ils se forment après les méristèmes primaires en assurant la croissance en épaisseur. Ils représentent les tissus secondaires.

Les cellules du méristème secondaire principal (le cambium) effectuent des divisions radiales d'une façon à créer du xylème secondaire ou bois à l'intérieur et le phloème secondaire ou liber à l'extérieur.

Le cambium est constitué de deux sortes de cellules : des initiales longues ou initiales fusiformes et des initiales courtes ou initiales radiales ; càd la présence de deux systèmes : le système vertical**,** contenant les éléments longs spécialisés dans la conduction à longue distance et le système horizontal ou radial, renfermant des cellules courtes ou rayons.

- Le cambium permet l'élargissement du cylindre central.
- Le phellogène ou assise génératrice subéro-phellodermique effectue des divisions radiales créant ainsi du phelloderme qui a pour fonction de néo former le phellogène vers l'intérieur et du suber, (liège) qui a un rôle de protection de la plante, vers l'extérieur.
- Le phellogène permet l'élargissement du cortex.

2.2. Les tissus de remplissage (parenchyme)

Le parenchyme est un tissu d'origine primaire, constitué de cellules vivantes avec une paroi primaire mince à rôle très différents.

On distingue deux sortes de parenchymes : le parenchyme chlorophyllien **et** parenchymes de réserve**.**

2.2.1. Les parenchymes chlorophylliens

Les parenchymes chlorophylliens sont caractérisés par la présence de nombreux chloroplastes. On distingue 3 types de parenchymes chlorophylliens.

-Parenchyme chlorophyllien à méat

Il est formé de cellules arrondies avec des méats et caractérisé par la présence de nombreux chloroplastes.

-Parenchyme chlorophyllien lacuneux

Il est constitué de petites cellules arrondies laissant entres elles des lacunes. Il participant aux échanges gazeux par les stomates (Figure 18).

-Parenchyme chlorophyllien palissadique

Il est composé par une ou deux assises de cellules allongées et riches en chloroplastes.

Le parenchyme chlorophyllien des jeunes tiges et le mesophylle des feuilles de certains monocotylédones (exemple : le maïs) est homogène. Par contre le mesophylle des feuilles de la plupart des dicotylédones est hétérogène càd le parenchyme lacuneux s'oriente vers la face inferieure et le parenchyme palissadique se penche vers la face supérieure.

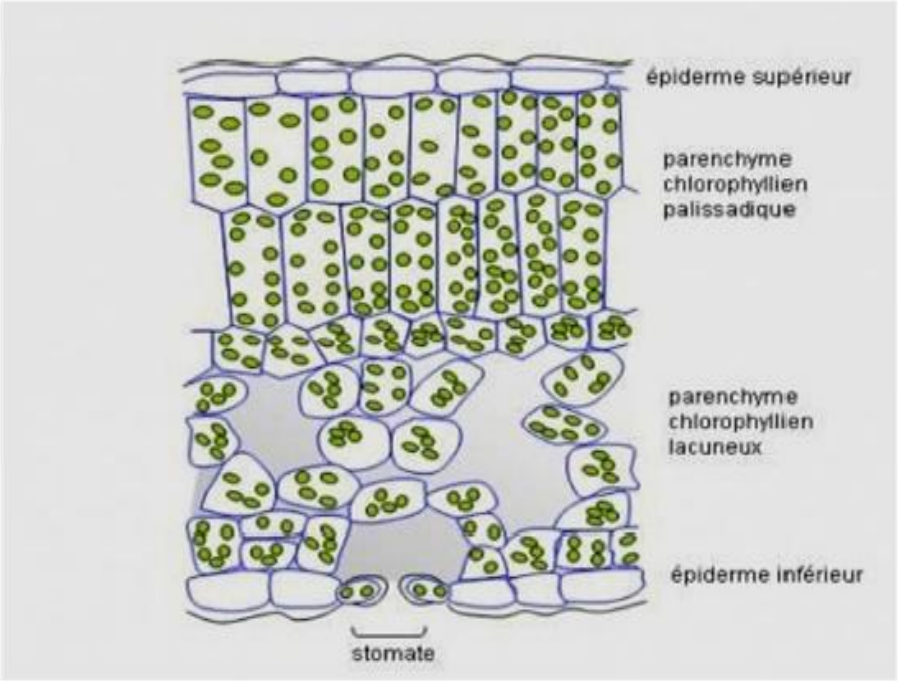


Figure 18 : Schéma des parenchymes palissadiques et lacuneux dans une feuille**.**

(http://kelnoize.free.fr/)

2.2.2. Le parenchyme de réserve

Il est formé de cellules vivantes contenant d'abondantes réserves qui peuvent être sous diverses formes telles que les glucides comme dans la betterave à sucre, l'amidon présent

chez la pomme de terre, les lipides présentes dans les graines d'arachide et les protides qui se présentent dans les graines de céréales par exemple (figure 19).

2.2.3. Le parenchyme aquifère

Il est composé de cellules de grandes tailles avec une vacuole très bien développée. Il se présente abondamment dans les tiges ainsi que dans les feuilles des plantes grasses.

2.2.4. Le parenchyme aérifère

Il est constitué d'un tissu lacuneux où les lacunes sont emprisonnées de l'air. On le trouve chez les plantes aquatiques (Figure 20).

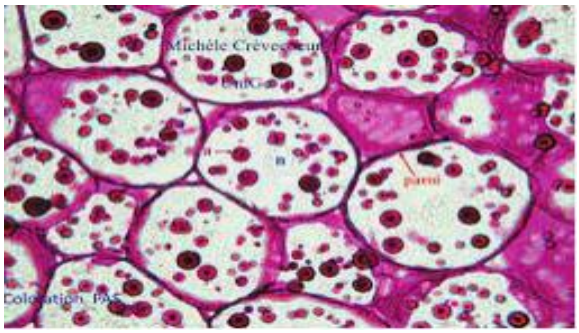


Figure 19: parenchyme de réserves nutritives (amidon).

(https://www.unige.ch/)

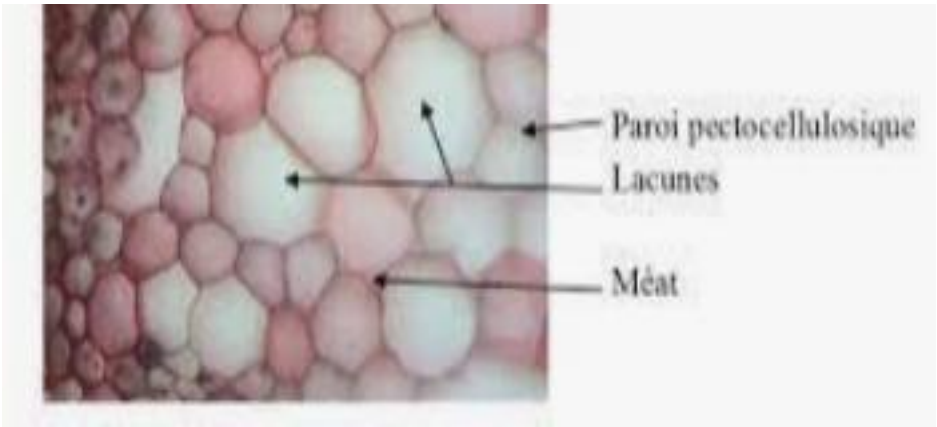


Figure 20 : Parenchyme aérifère.

(https://biologievegetales.wixsite.com/)

2.3. Les tissus protecteurs

Ce tissu a pour fonction la protection des tissus parenchymateux de la dessiccation et des agressions extérieurs.

2.3.1. Epiderme

Tissu de nature primaire composé d'une seule couche de cellules superficielles vivantes, son rôle est de protéger la feuille contre la dessiccation et les attaques externe, ceci permet de réguler les échanges gazeux. Ces cellules sont épaissies par la cuticule dans certains endroits. Elles ne possèdent pas de chloroplastes (figure 21).

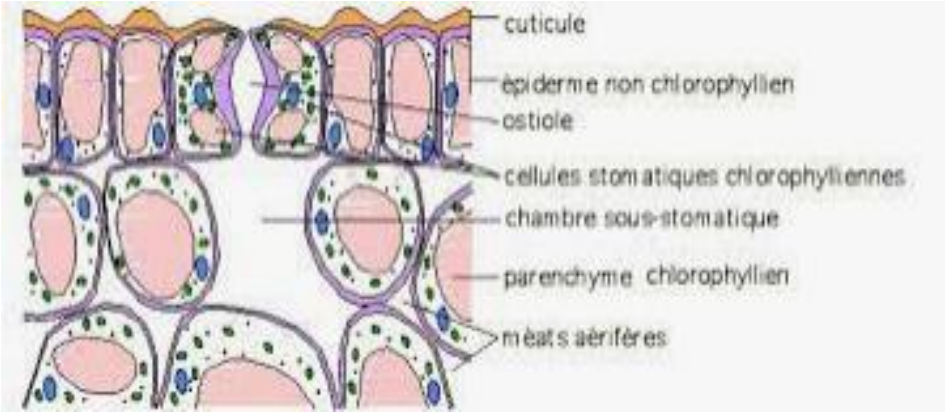


Figure 21 : L'épiderme d'une feuille.

(slideplayer.fr)

Dans un épiderme, on peut trouver des cellules épidermiques, des stomates et des poils épidermiques. Les cellules épidermiques sont jointives, non chlorophylliennes avec un cytoplasme présentant de grandes vacuoles.

Les stomates sont constituées d'une ouverture appelé ostiole qui est délimité par deux cellules chlorophylliennes nommées cellules de garde présentant un épaississement de la paroi du coté de l'ostiole et sont entourées par des cellules compagnes. Sous les cellules stomatiques se présente une grande lacune nommée la chambre sous stomatique. Certaines cellules épidermiques émettent des prolongements qui forment poils uni et pluricellulaires. On trouve deux types : poils tecteurs et poils sécréteurs.

-Rhizoderme ou Assise pilifère

Le rhizoderme est un épiderme racinaire qui forme une assise pilifère. Elle renferme des cellules très étirés nécessaire à l'absorption de l'eau et des sels minéraux. Le rhizoderme protège le cortex racinaire des agressions physiques, chimiques et biologiques du sol. Cet épiderme racinaire donne naissance aux poils absorbants (Figure 22).

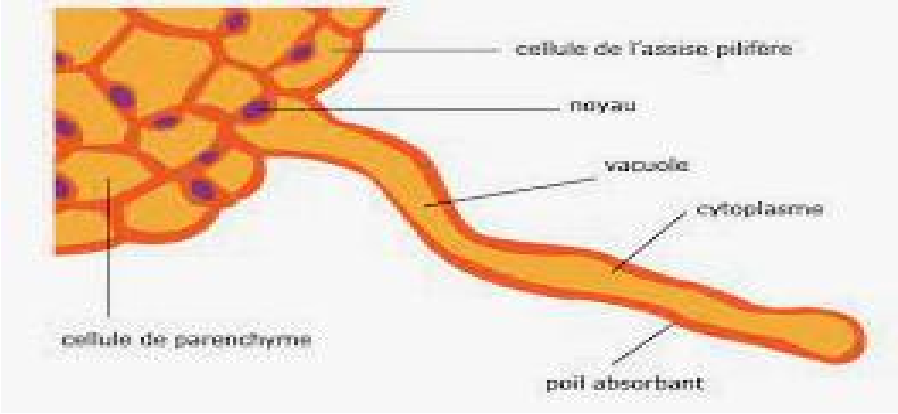


Figure 22 : Le rhizoderme.

(fac.umc.edu.dz)

-Assise subéreuse

L'assise subéreuse est composée d'une seule assise de cellules jointives, leurs parois sont épaisses et subérifiées, elle se trouve à la périphérie de la racine âgée dans la zone subéreuse. Elle a un rôle protecteur.

2.3.2. Tissus de revêtement secondaires : Suber ou Liège

Le phellogène donne naissance au suber qui constituent un assemblage régulier de cellules jointives, leur paroi se subérifient, le lumen se remplit d'air. Des ouvertures appelées lenticelles peuvent se former en profondeur, permettant les échanges gazeux entre les tissus internes et le milieu extérieur (Figure 23).

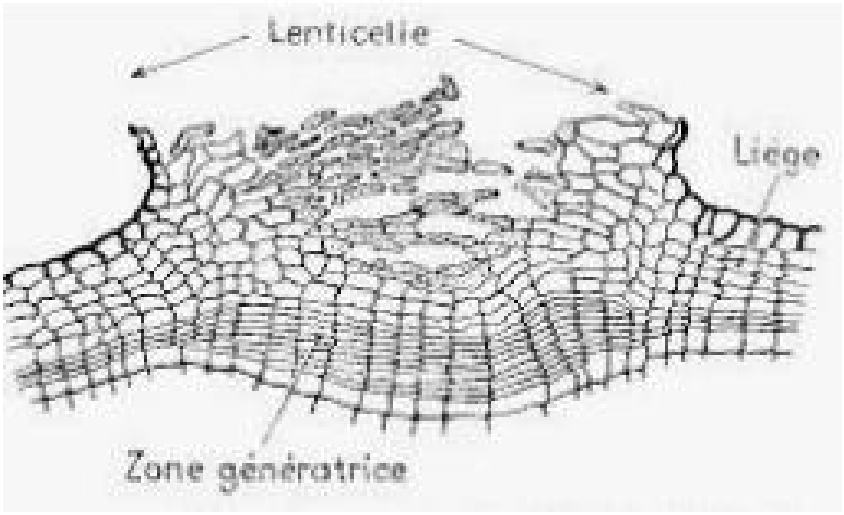


Figure 23 : Coupe transversale d'une lenticelle de tige de sureau noir (Gx40).

(https://www.fichier-pdf.fr/2016/02/24/echangeurs-gazeux-angio).

2.4. Les tissus de soutien (collenchyme et sclérenchyme)

Ce tissu est constitué de cellules à paroi épaisse, ils confèrent une certaine rigidité, souplesse et le maintien aux organes de la plante on en distingue deux types : le collenchyme et le sclérenchyme.

2.4.1. Le collenchyme :

C'est un tissu primaire qui se forme dans les organes jeunes aériens essentiellement, en croissance, constitué de cellules vivantes dont les parois sont épaissies par un dépôt cellulosique. (Figure 24).

On peut trouver différents types de collenchyme selon l'épaississement de la paroi

Le collenchyme annulaire, dont l'épaississement cellulosique de la paroi est uniforme.

Le collenchyme angulaire, où le dépôt de cellulose est concentré sur les angles de la paroi.

Le collenchyme tangentiel où seules les parois parallèles à la surface externe sont épaissies.

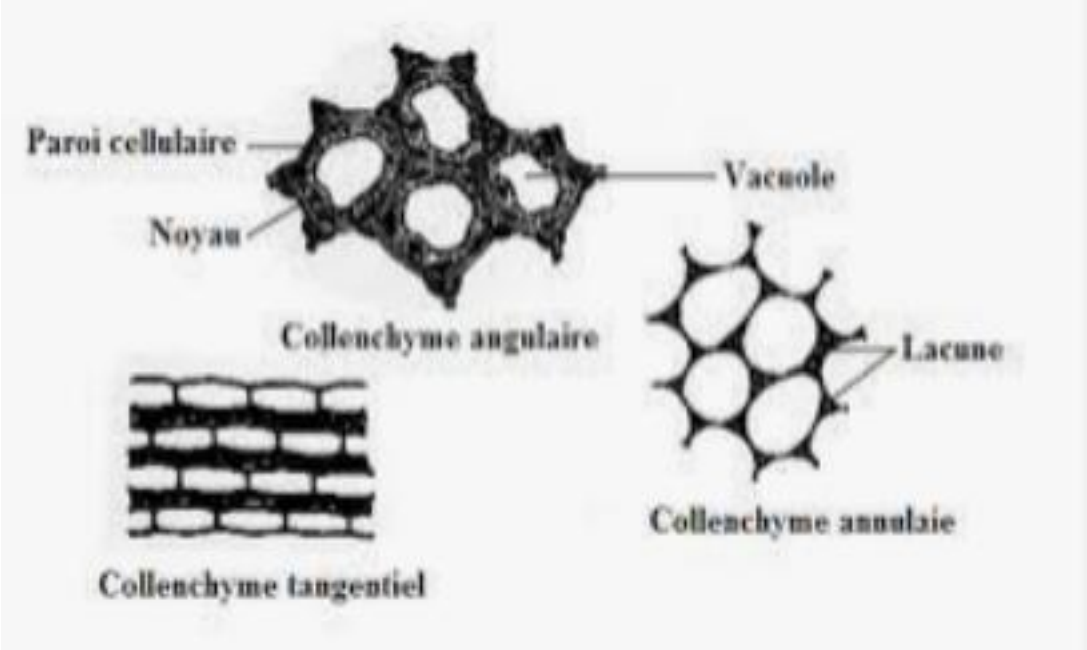


Figure 24 : Les différents types de collenchyme.

2.4.2. Le sclérenchyme

Le sclérenchyme se définit comme un tissu primaire constitué de cellules mortes dont les parois sont épaissies de lignine, qui donne une dureté à la plante (figure 25). La paroi est très souvent traversée par de longues ponctuations simples.

On distingue différents types de sclérenchyme en fonction de la forme et la dimension des cellules :

Sclérenchyme à cellules polyédriques :

Cellules plus ou moins allongées en coupe longitudinale et petites à forme polyedrique en coupe transversale, la paroi est légèrement épaisse.

Fibres scléreuses :

Cellules très allongées en fuseau, Section transversale circulaire, elliptique ou polygonale.

Sclérites :

Cellules courtes de forme diverse, regroupées en amas ou en assises continues. Elles offrent la rigidité des organes.

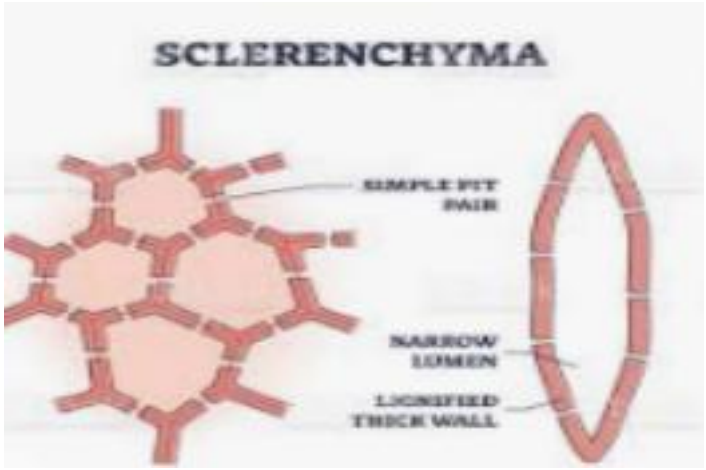


Figure 25 : Le sclérenchyme

2.5. Les tissus conducteurs

Ils ont pour rôle le transport de l'eau, les sels minéraux et des nutriments au sein de la plante. Selon leur origine on distingue :

- Les tissus conducteurs d'origine primaire formés par le méristème primaire : le xylème et le

Phloème.

-Les tissus conducteurs d'origine secondaire formées par le méristème secondaire, le cambium : le bois et le liber.

-Le xylème et le bois assurent la conduction de la sève brute contenant de l'eau et les sels minéraux des racines vers les feuilles.

- Le phloème et le liber assurent la conduction de la sève élaborée renfermant des substances organiques des feuilles vers les autres organes de la plante.

On rencontre ces tissus conducteurs dans tous les organes des plantes vasculaires, au niveau du cylindre central des racines et des tiges ainsi qu'au niveau des nervures foliaires.

2.5.1. Tissus conducteurs primaires

2.5.1.1. Xylème

Le xylème est un tissu vasculaire primaire. Il est constitué d'éléments conducteurs et non conducteurs.

2.5.1.1.1. Eléments conducteurs

a. Les trachéides et les vaisseaux sont les deux sortes d'éléments conducteurs, Appelés aussi Vaisseaux imparfaits.

Les trachéides sont les seuls éléments conducteurs chez les gymnospermes. Ils s'agissent des cellules mortes très effilées aux extrémités en biseau, qui possèdent une paroi transversale. Les ponctuations des trachéides laissent l'eau les sels minéraux passer d'une trachéide à l'autre.

Selon la surface occupée par la paroi secondaire lignifiée, il existe trois types de trachéides :

-La trachéide annelée à paroi secondaire lignifiée en anneaux (Figure 26).

-La trachéide spiralée à paroi secondaire lignifiée en spirale (Figure 26).

- Trachéide aréolée (Figure 26): Sa paroi secondaire lignifiée occupe toute la surface sauf au niveau des ponctuations (= les Gymnospermes). Elles se différencient après les trachéides annelées et spiralées.

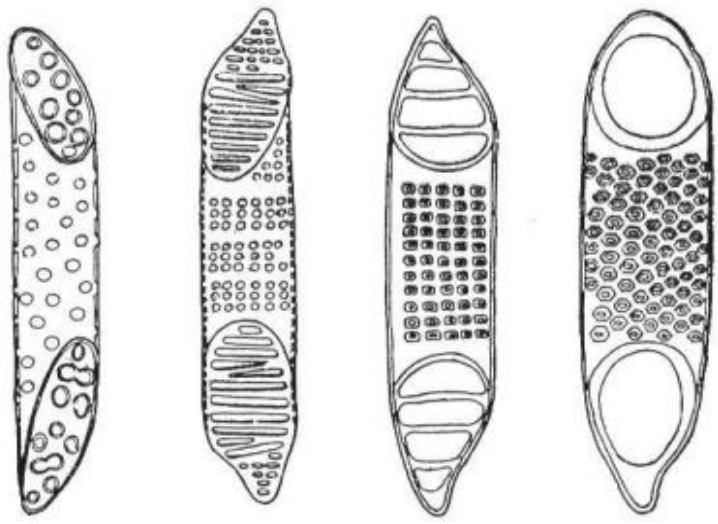


Figure 26 : Les trachéides

Les vaisseaux sont des cellules mortes, ses parois longitudinales sont épaisses et lignifiées qui communiquent entre eux par des perforations résultant de la lyse partielle ou totale de la paroi transversale (Figure 27). Les vaisseaux sont plus larges, plus courts, et moins fusiformes que les trachéides.

En se basant sur la surface occupée par la paroi secondaire lignifiée on distingue :

Le vaisseau annelé, spiralé, rayé, réticulé ou ponctué.

Le vaisseau annelé est le premier différencié des vaisseaux ; le vaisseau ponctué est le dernier différencié, les deux autres vaisseaux sont intermédiaires.

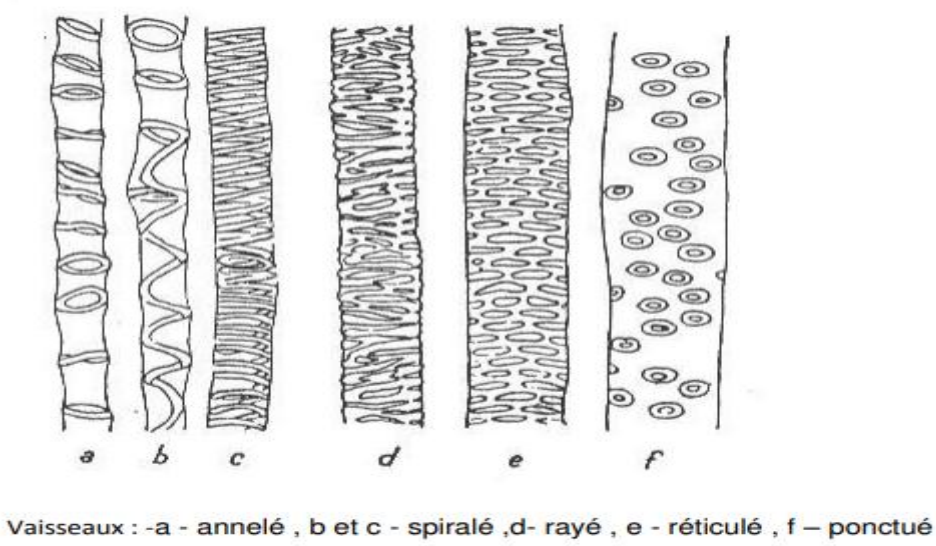


Figure 27 : Schéma des différents types de vaisseaux

2.5.1.1.2. Éléments non conducteurs

-Parenchyme ligneux

Il accompagne les éléments conducteurs. Il peut être à paroi pectocellulosique ou à paroi secondaire lignifiée.

-Fibres de sclérenchyme

Elles assurent un rôle de soutien. Ce sont des cellules à paroi relativement épaisses lignifiée,

2.5.1.1.3. Différenciation du xylème

L'ensemble des éléments conducteurs et non conducteurs constitue donc le xyleme appelé aussi faisceau vasculaire. Il est formé du protoxyleme et du metaxyleme.

Protoxyleme

Il est constitué de vaisseaux spiralés et annelés. Il est visible au début de la croissance.

Metaxyleme

Il est formé de vaisseaux rayés et ponctués. Ces éléments apparaissent dans les organes à croissance achevée

2.5.1.2. Phloème

Il s'appelle aussi le tissu criblé primaire. Il comprend des éléments conducteurs et non conducteurs. Les parois de ces éléments sont de nature pectocellulosiques.

2.5.1.2.1. Éléments conducteurs

Ils sont des cellules vivantes, allongées à paroi épaisse et cellulosique. Au niveau des parois transversales, les cribles sont entourés par la membrane plasmique, permettant à la sève élaborée de passer d'une cellule à une autre, sans passer par les membranes plasmiques et les parois cellulaires (Figure 28).

Les éléments criblés sont anucléés et leur cytoplasme a disparu. Ils caractérisent les Angiospermes.

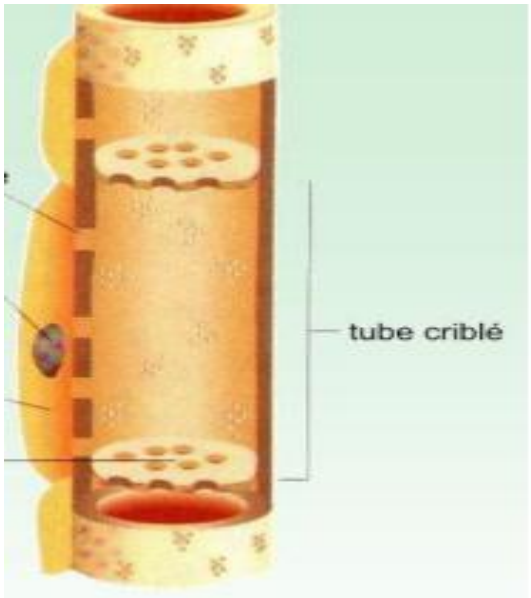


Figure 28 : Tube criblé.

La cellule criblée ne contient pas de noyau, elle offre une répartition homogène des perforations sur toutes ses faces. Elle caractérise les Gymnospermes.

2.5.1.2.2. Éléments non conducteurs

Les éléments criblés, sont associés à des cellules parenchymateuses, pourvues de cytoplasme et de ribosome, dite cellules compagnes. Les cellules compagnes restent en vie les éléments

criblés en leur donnant toutes les molécules indispensables. Elles caractérisent le phloème des Angiospermes. Le **Parenchyme phloémien** protège les éléments conducteurs assurant un rôle de réserve. Il est disponible dans le phloème des Gymnospermes et des Angiospermes.

2.5.2. Tissus conducteurs secondaires :

La croissance en épaisseur des organes est faite par le fonctionnement de méristèmes secondaires (= cambiums ou assises génératrices) chez les Gymnospermes et les angiospermes Dicotylédones. Les cellules du cambium se divisent en produisant vers l'intérieur les cellules du xylème secondaire (= bois) et vers l'extérieur les cellules du phloème secondaire (= liber). Par la suite de son activité, le cambium est poussé vers l'extérieur.

2.5.2.1. Bois

Il est aussi appelé tissu vasculaire secondaire ou tissu ligneux secondaire ou encore xylème secondaire. Il est constitué d'éléments conducteurs et d'éléments non conducteurs.

2.5.2.1.1 Éléments conducteurs

Le bois des gymnospermes est représenté par les trachéides aréolés qui sont produites par divisions periclines des initiales fusiformes du cambium. Elles font partie du système vertical du bois homoxylé (Figure 30).

Le bois des Angiospermes Dicotylédones est constitué de vaisseaux rayé, réticulé et ponctué. Ils sont produits par divisions periclines des initiales fusiformes de cambium. Ils constituent la majeure partie du système vertical du bois heteroxylé (Figure 29).

2.5.2.1.2 Eléments non conducteurs

Parenchyme ligneux vertical

Il est formé de cellules dont les parois sont très souvent secondaire lignifiées et rarement pectocellulosique. Il fait partie du système vertical du bois des Angiospermes Dicotylédones.

Parenchyme ligneux horizontal

C'est un parenchyme cellulosique ou lignifié formant les rayons ligneux qui constituent le système horizontal du bois. Ces rayons sont unisériés et/ou plurisériés chez les Angiospermes Dicotylédones et sont unisériés chez les Gymnospermes.

Fibres ligneuses

Ce sont des fibres de sclérenchyme d'origine secondaire a parois lignifiées assurant un rôle de soutien dans le bois des Angiospermes Dicotylédones. Elles sont très souvent absentes ou rares dans le bois des Gymnospermes.

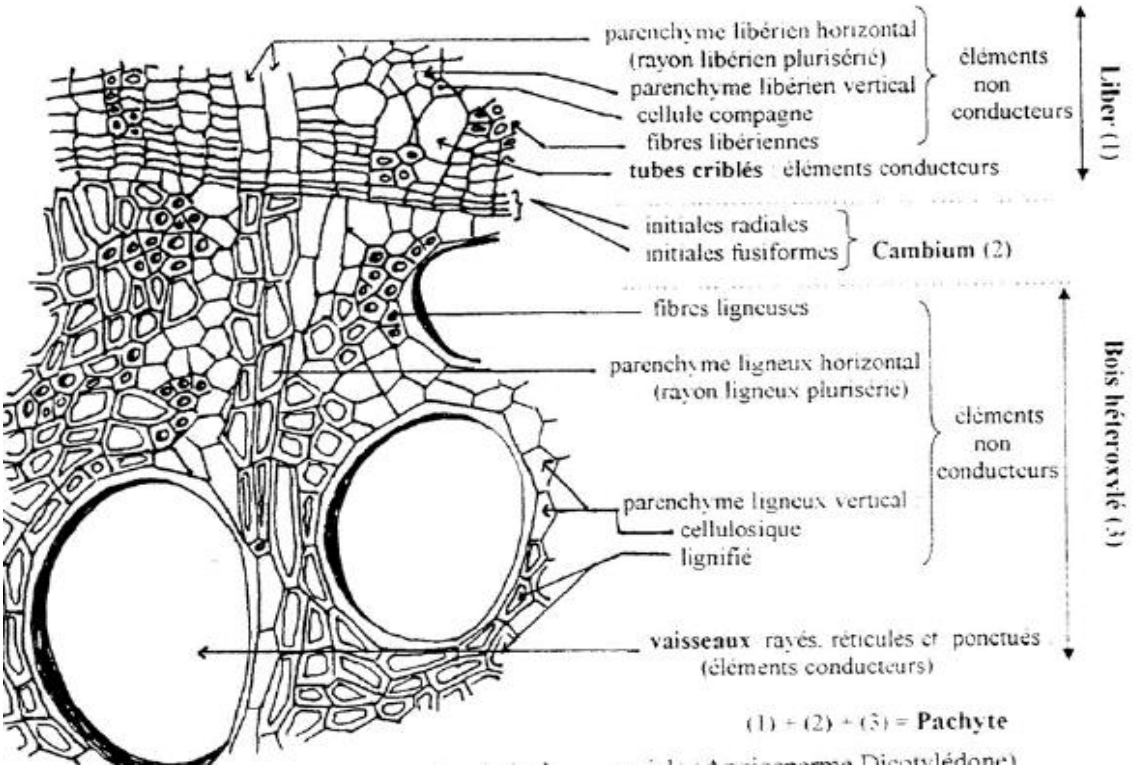


Figure 29 : Coupe transversale d'une tige âgée Angiosperme dicotylédone montrant le bois hétéroxylé et le liber.

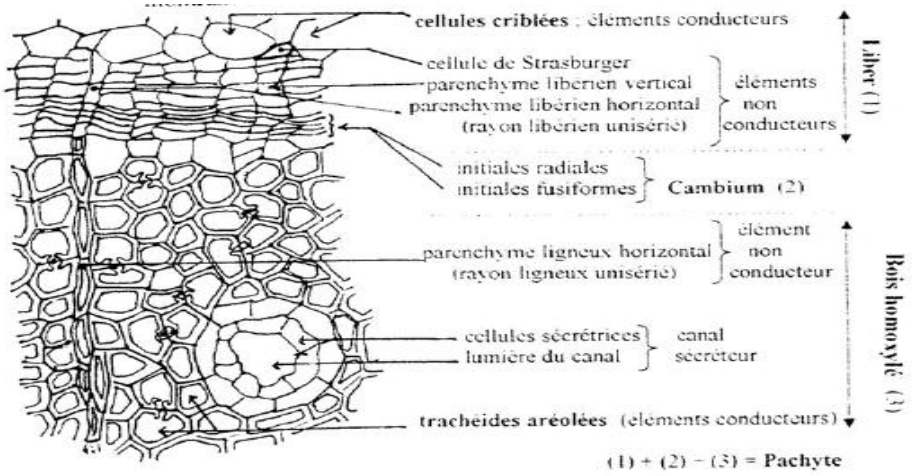


Figure 30 : Coupe transversale d'une tige âgée de pin (Gymnosperme) montrant le bois homoxylé et le liber.

2.5.2.2. Liber

Appelé aussi le tissu criblé secondaire ou encore phloème secondaire. Il est formé comme le phloème, d'éléments conducteurs et d'éléments non conducteurs.

2.5.2.2.1. Éléments conducteurs

Tube criblé

Les tubes criblés à cribles simples ou composés sont obtenus par divisions periclines des initiales fusiformes et font partie du système vertical du liber des Angiospermes Dicotylédones (Figure 29).

Cellule criblée

Les cellules criblées sont obtenues par divisions periclines des initiales fusiformes et font partie du système vertical du liber des Gymnospermes (Figure 30).

2.5.2.2.2. Eléments non conducteurs

Cellules compagnes chez les Angiospermes Dicotyledones

Parenchyme libérien vertical

C'est un parenchyme constitué de cellules à paroi pectocellulosique. Il est formé par divisions periclines des initiales fusiformes du cambium ; ces éléments font partie du système vertical du liber des Angiospermes Dicotylédones et des Gymnospermes.

Parenchyme libérien horizontal

C'est un parenchyme constitué de cellules à paroi pectocellulosique. Il est obtenu par divisions periclines des initiales radiales du cambium. Il forme les rayons libériens qui du système horizontal du liber. Ces rayons sont unisériés et/ou plurisériés aussi bien chez les Angiospermes Dicotylédones que chez les Gymnospermes.

Fibres de sclérenchymes libériennes

Des fibres souvent très épaisses peuvent être observées dans le liber des Angiospermes Dicotylédones et de certaines Gymnospermes.

2.6. Les tissus sécréteurs

Les tissus sécréteurs sont variés chez les végétaux. Ils élaborent des substances chimiques comme les hétérosides, les alcaloïdes, le latex et les essences. On retrouve plusieurs types de tissus sécréteurs :

2.6.1. Les cellules sécrétrices

Ce sont des cellules de type parenchymateux, spécialisées dans l'accumulation de déchets.

Elles deviennent sécrétrices en libérant ces accumulations. Elles génèrent des essences ou des résines.

2.6.2. Les poils sécréteurs

Ce sont des extensions de l'épiderme. Ils sont formés de plusieurs cellules épidermiques. Les poils sécréteurs sont uni ou pluricellulaires qui émettent ces secrétions à l'extérieur de la plante.

2.6.3. Les poches sécrétrices

Elles sont formées d'un ensemble de cellules qui entourent une cavité dans laquelle elles vont libérer leurs sécrétions. Exemples : résines des feuilles de Pin et péricarpe de l'orange…ect.

2.6.4. Les canaux sécréteurs

Tubes allongés délimitant un canal limité par deux assises de cellules : Cellules sécrétrices bordant la lumière dans laquelle le produit est excrété et Cellules protectrices entourant les cellules sécrétrices.

2.6.5. Laticifères

Ce sont des éléments allongés, ramifiés ou non, renfermant un liquide blanc comme le lait (latex). Ils renferment de l'eau, glucose, acides organiques, sels minéraux, alcaloïdes, tannins, mucilages, enzymes, terpènes et amidon. Suivant leur mode de formation, on distingue deux types de laticifères :

• Laticifères vrais : chaque laticifère provient d'une cellule parenchymateuse qui s'allonge considérablement pendant la croissance des organes. Au cours de cette croissance, les noyaux

subissent des mitoses. Ainsi, chaque laticifère est formé d'une grande cellule très allongée, contenant plusieurs noyaux (cénocytes).

• Laticifères articulés : ils s'organisent à partir de nombreuses cellules parenchymateuses disposées en files. Les parois transversales qui séparent les différents articles, peuvent persister ou être perforées ou encore être résorbées. Dans ce cas, le laticifère est devenu un faux cénocyte.

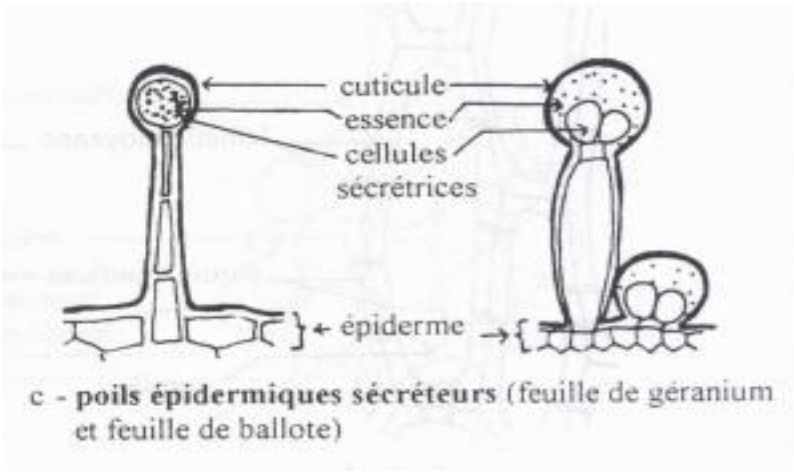


Figure 31 : Eléments sécréteurs de l'épiderme en coupe transversale

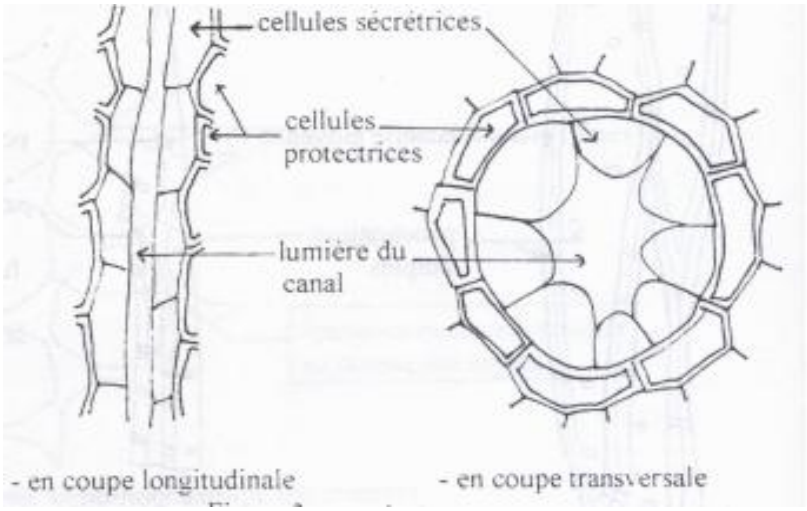


Figure 32 : Canal sécréteur

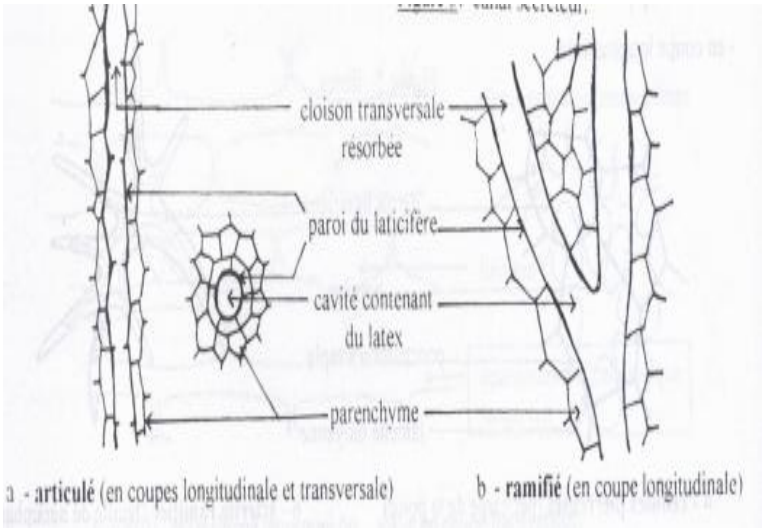


Figure 33 : Les laticifères

Chapitre 3

Anatomie des végétaux supérieurs

C'est est l'étude de la structure interne des végétaux, c'est-à-dire la disposition des tissus au sein d'un organe. Deux structures sont distinguées dans les organes végétaux :

• La structure primaire (méristème primaire) est la caractéristique des organes jeunes et âgés des Angiospermes Monocotylédones et de certains Angiospermes Dicotylédones herbacées et de toutes les Gymnospermes.

•La structure secondaire (méristème secondaire) est la propriété des organes âgés de nombreuses Angiospermes Dicotylédones et de toutes les Gymnospermes.

3.1. La structure anatomique de la racine

3.1.1. Structure anatomique primaire de la racine

3.1.1.1. Chez les Angiospermes Dicotylédone (Figure 34)

C'est la structure anatomique des jeunes racines. Sur une coupe transversale de la racine on distingue deux zones : cortex et cylindre central

A/ **L écorce :** ensemble de tissus qui comprend :

Le rhizoderme

Le rhizoderme est une assise pilifère formée d'une seule couche de cellules qui émettent les poils absorbants qui ont pour rôle l'absorption de l'eau et des sels minéraux. Le rhizoderme évolue avec l'âge de la racine et peut être doublé ou remplacé par un exoderme constitué d'une ou plusieurs assises de cellules dont la paroi peut être subérifiée.

Le parenchyme cortical

Le parenchyme cortical est constitué de cellules à méats. Souvent elles stockent des substances de réserves (amidon, glucides, inuline, …) dans des plastes modifiés.

L'endoderme (Figure 35)

L'endoderme correspond à la couche la plus profonde de l'écorce des racines. Elle est constituée d'une seule assise de cellules cylindriques étroitement jointives, ses parois radiales sont subérifiées (bandes de Caspary). Dans les racines jeunes, l'endoderme assure le transit de l'eau et des sels minéraux dans la zone d'absorption.

B/ Le cylindre centrale appelé aussi stèle. C'est à ce niveau que se trouvent les tissus conducteurs primaires. Il est composé de :

Le péricycle

C'est la couche la plus externe du cylindre central. Elle est constituée d'une seule couche cellulaire à paroi le plus souvent pectocellulosique qui a pour origine l'apparition des racines secondaires.

Le système vasculaire

Le système vasculaire est caractérisé par une alternance de xylème et de phloème primaires disposés sur un même cercle. Près du péricycle, les cellules du xyléme se caractérisent par leur jeunesse dotées de tailles petites (protoxylème), vers le centre, elles sont volumineuses et âgées (métaxylème). La différenciation du xylème est centripète dans la racine.

Le parenchyme médullaire

Le parenchyme médullaire est constitué d'un parenchyme médullaire dont les cellules sont isodiamétriques ou allongées plus ou moins arrondies.

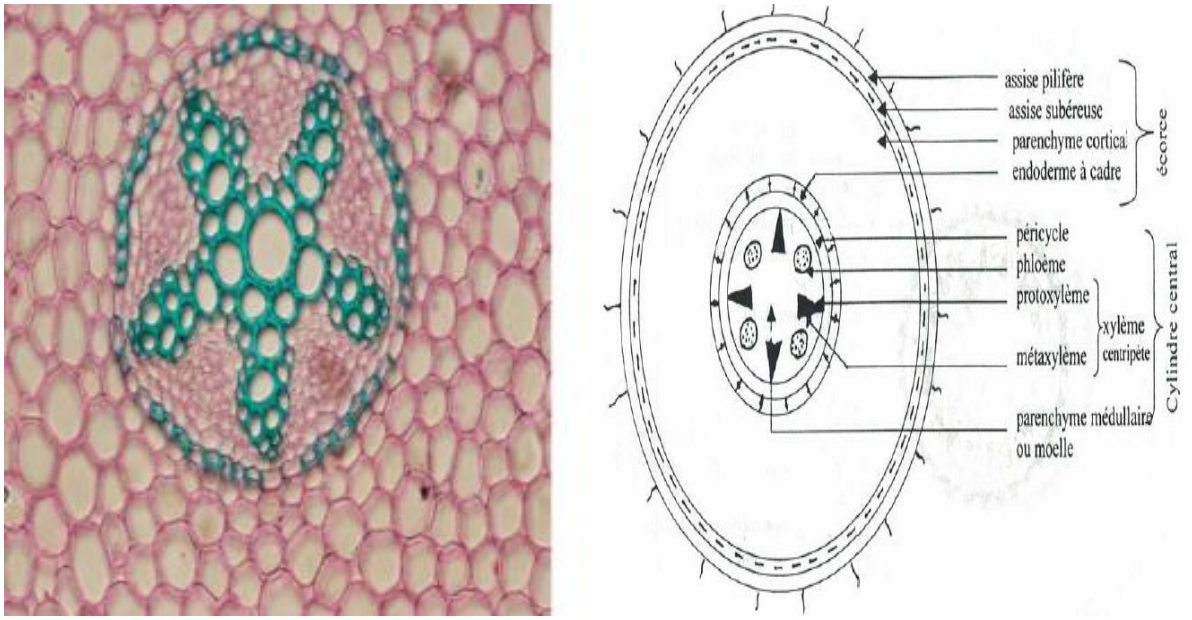


Figure 34 : Structure primaire d'une racine jeune d'Angiosperme Dicotylédone

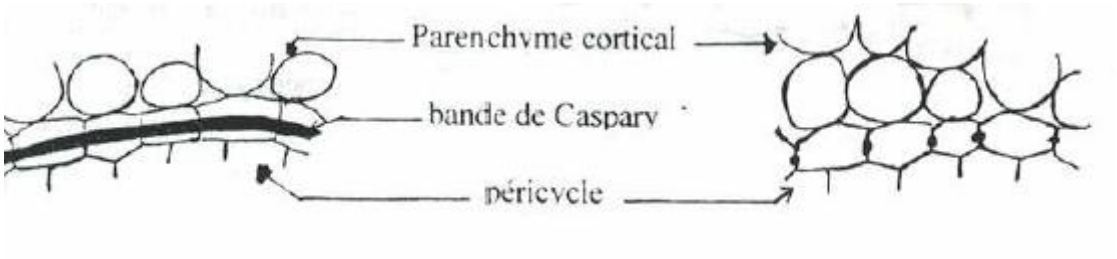


Figure 35 : Coupe transversale de l'endoderme à cadre

3.1.1.2. Chez les angiospermes monocotylédones (Figure 36-37)

En coupe transversale, la racine est formée d'une région externe ou écorce et une région centrale ou stèle bien développée chez les monocotylédones en comparaison avec les dicotylédones et caractérisée par une moelle abondante remplie par le parenchyme médullaire. Le cylindre central délimité par une assise de cellules, le péricycle contient les tissus conducteurs ; le phloème et le xylème se trouve disposés en alternance. Chez les monocotylédones, les faisceaux criblo-vasculaires sont abondants, son nombre est plus de 6 et souvent se trouve 12 à 20.

Chez les monocotylédones, l'endoderme se caractérise par un épaississement en fer à cheval ou endoderme en U. Les parois latérales sont subérifiées, seule la paroi externe qui se situe du côté du parenchyme cortical reste de nature cellulosique.

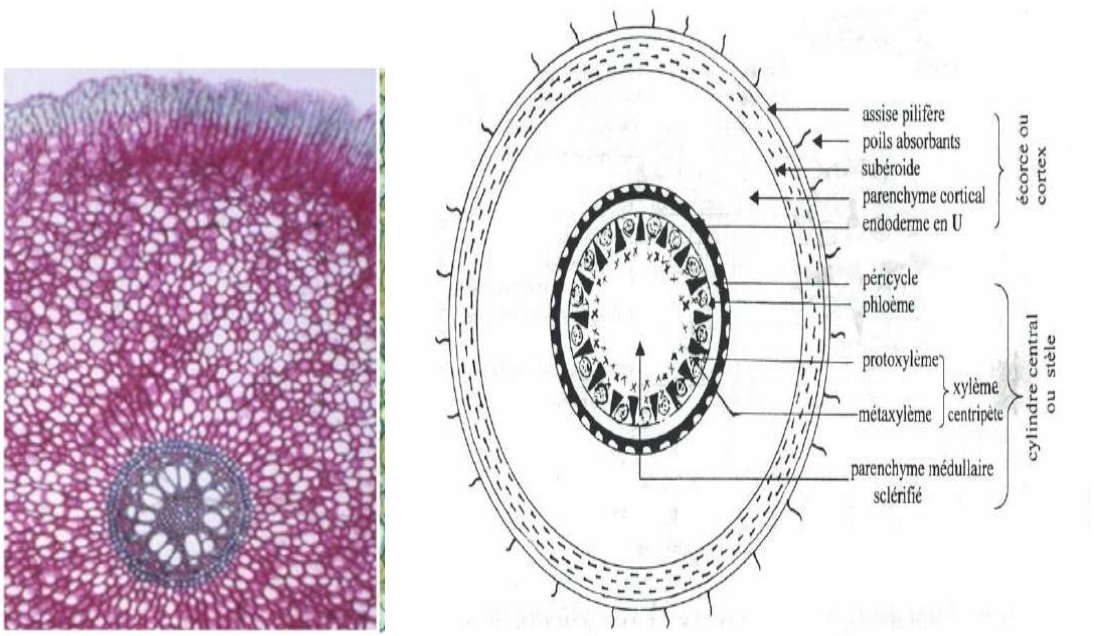


Figure 36 : Structure primaire d'une racine Angiosperme Monocotylédone

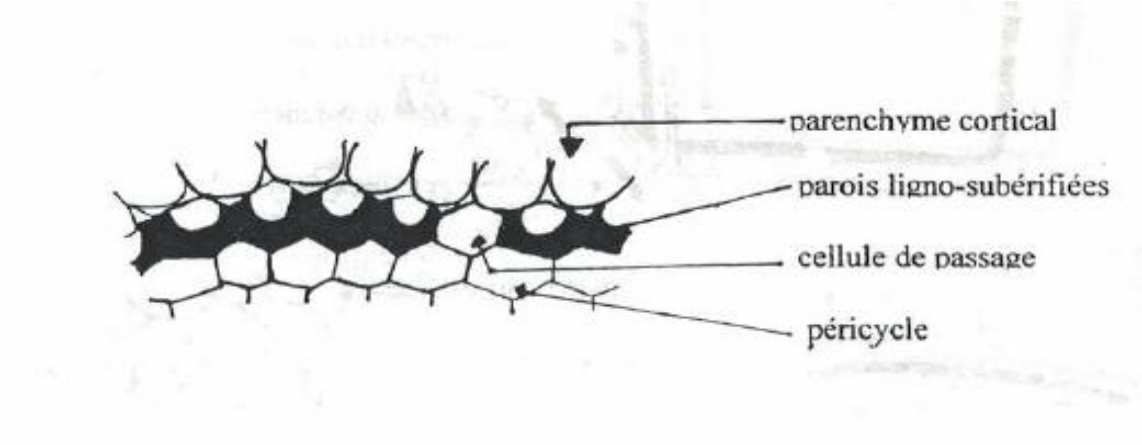


Figure 37 : Coupe transversale d'un endoderme en fer à cheval

3.1.2. Structure anatomique secondaire de la racine (Figure 38) :

La structure secondaire est mise en place après la structure primaire par l'activité de méristèmes secondaires. Des tissus secondaires s'ajoutent aux tissus primaires, qui peuvent s'en trouver masqués. Dans la racine des plantes dicotylédones, le cambium est sous forme d'arcs à la face interne des faisceaux de phloème et à la face externe du xylème. Ils se lient pour constituer un cambium sinueux générant du bois ou xylème secondaire vers l'intérieur et du liber ou phloème secondaire vers l'extérieur. L'excès de formation des tissus conducteurs secondaires résulte une pression sur le cambium sinueux devenant circulaire. L'ensemble formé du cambium, bois et liber constitue le pachyte.

Le phellogène ou assise subéro-phellodermique, crée une couche externe de suber ou liège et une couche plus interne de phelloderme. Ces tissus secondaires, phelloderme, phellogène et suber constituent l'écorce ou périderme.

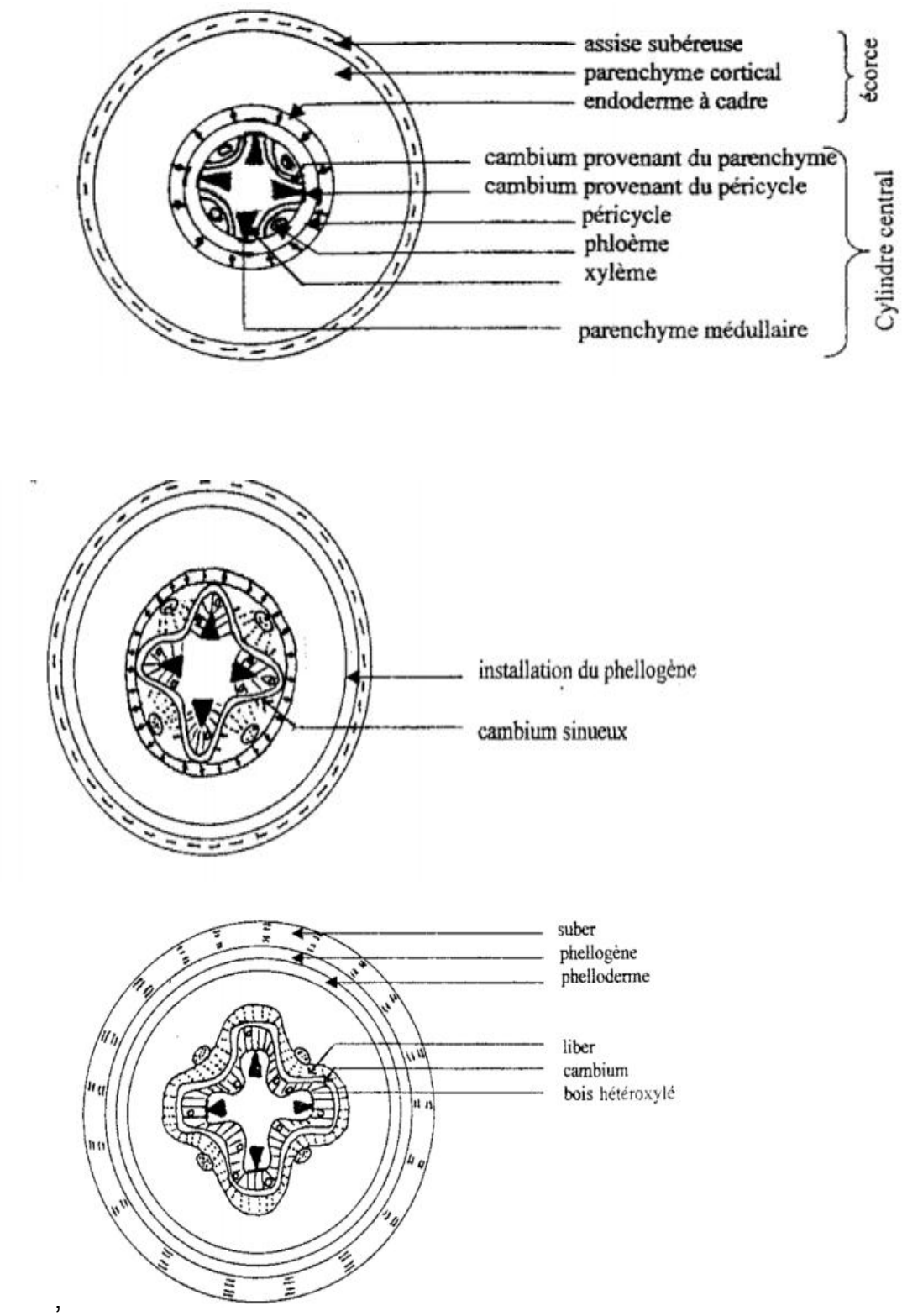


Figure 38 : Structure anatomique secondaire de la racine.

3.2. Structure anatomique de la tige

3.2.1. Structure anatomique primaire de la tige

3.2.1.1. Chez les Angiospermes Dicotylédones (Figure 39):

Sur une coupe transversale de tige jeune, on différencie deux zones concentriques, l'écorce et le cylindre central. Notant que le cylindre central est assez large par rapport à l'écorce.

A. Ecorce ou cortex : le cortex comprend de l'extérieur vers l'intérieur les tissus suivants :

Un épiderme est formé d'une couche de cellules juxtaposées caractérisées par une paroi peu épaisse et dépourvues de chloroplaste. On peut détecter des cellules de collenchyme avant le parenchyme cortical.

Un parenchyme cortical : Tissu formé de cellules plus ou moins arrondies à paroi pectocellulosique mince avec des méats. Il occupe une zone très serrée. On peut rencontrer des tissus de soutien.

L'endoderme : est l'assise la plus interne du cortex, il contient de la subérine.

B. Cylindre central ou stèle :

Les tissus observés de l'extérieur vers le centre du cylindre central sont (Figure 39):

• **Tissus conducteurs primaires :** Le xylème et le phloème sont superposés en constituant des faisceaux criblo-vasculaires sur le même cercle. Le xylème est caractérisé par une différenciation centrifuge. Le phloème est souvent surmonté de fibres dites périphloémiennes.

On distingue les rayons médullaires qui se situent entre les faisceaux criblo-vasculaires, constitués majoritairement de parenchymes. Dans les tiges de dicotylédones ayant ensuite une croissance secondaire, un cambium inter-fasciculaire racoorde le cambium des faisceaux.

• **Moelle :** se définit comme un parenchyme médullaire, à cellules volumineuses renfermant les réserves. La moelle se disparaît peu à peu au cours de la formation de la structure secondaire.

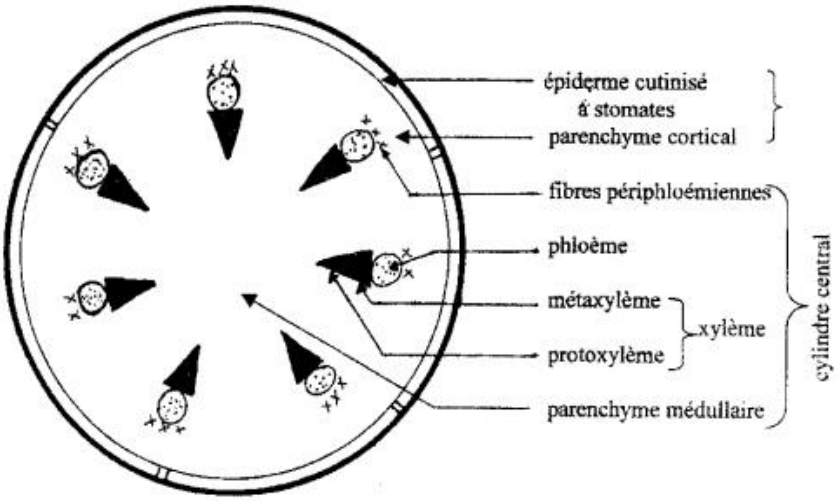


Figure 39 : Structure primaire d'une tige d'Angiosperme Dicotylédone

3.2.1.2. Chez les Angiospermes Monocotylédones (Figure 40) :

L'étude anatomique faite sur une coupe transversale de tige jeune montre que le cylindre central est assez large par rapport à l'écorce.

A. Écorce ou cortex : L'écorce comprend de l'extérieur vers le centre des tissus suivants :

• **Epiderme :** constitué de cellules à paroi pecto-cellulosique de type primaires. Il peut présenter des poils épidermiques.

• **Parenchyme cortical** : il est se trouve chlorophyllien, ses cellules sont plus ou moins arrondies générant des méats, le parenchyme cortical occupe une zone très réduite.

L'endoderme : c'est la couche la plus profonde du cortex, il contient de la subérine.

B. Cylindre central : Les tissus rencontrés de l'extérieur vers le centre sont :

Zone péricyclique sclérifiée : Elle entoure le cylindre central, elle est constituée d'un tissu de soutien nommé sclérenchyme.

Tissus conducteurs primaires : La superposition du xylème et le phloème forme un faisceau criblo-vasculaire. Ils se trouvent avec un nombre élevé répartis sur plusieurs cercles concentriques. Les cellules de xylème ont des diamètres différents, ils se réduisent au fur et à mesure en se rapprochant du centre. Le xylème est à différenciation centrifuge, les faisceaux criblo-vasculaires sont délimités par un tissu de soutien, le sclérenchyme forme une gaine sclérifiée.

Moelle : C'est un parenchyme médullaire, composé de cellules volumineuses plus ou moins arrondies.

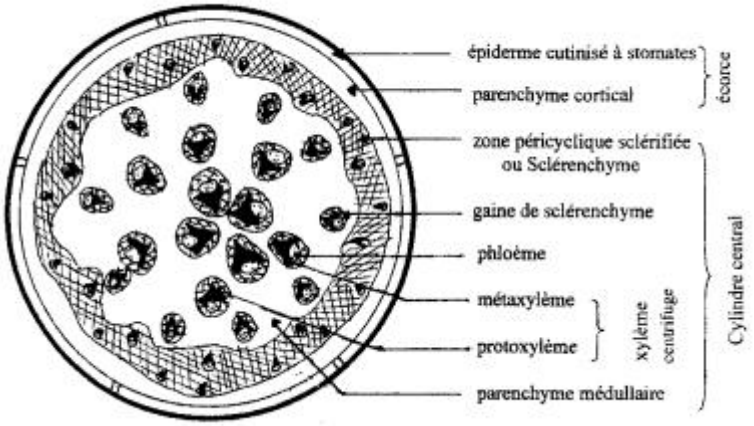


Figure **40** : Structure primaire d'une tige Angiosperme Monocotylédone.

3.2.2. Structure anatomique secondaire

La structure secondaire correspond à la croissance en épaisseur des tiges et elle se trouve surtout chez les dicotylédones et les conifères.

Le cambium apparaît dans la tige précocement au niveau des faisceaux criblovasculaires situant entre le xylème et le phloème. Ces faisceaux donnent naissance au liber, éloignant le phloème vers l'extérieur et le bois, repoussant le xylème vers l'intérieur. Ultérieurement à la suite d'une dédifférenciation cellulaire du parenchyme, vient l'apparition des arcs de cambium, inter fasciculaire qui peuvent se raccorder avec les le cambium intra fasciculaire et constituer un pachyte continu (Figure 41).

La zone génératrice subero-phellodermique ou phellogène apparaît directement sous l'épiderme ou plus ou moins profondément dans l'écorce. Son fonctionnement produit :

i) vers l'extérieur, un tissu de revêtement, le suber (liège).

ii) vers l'intérieur un tissu parenchymateux à fonction d'accumulation de réserves essentiellement : le phelloderme.

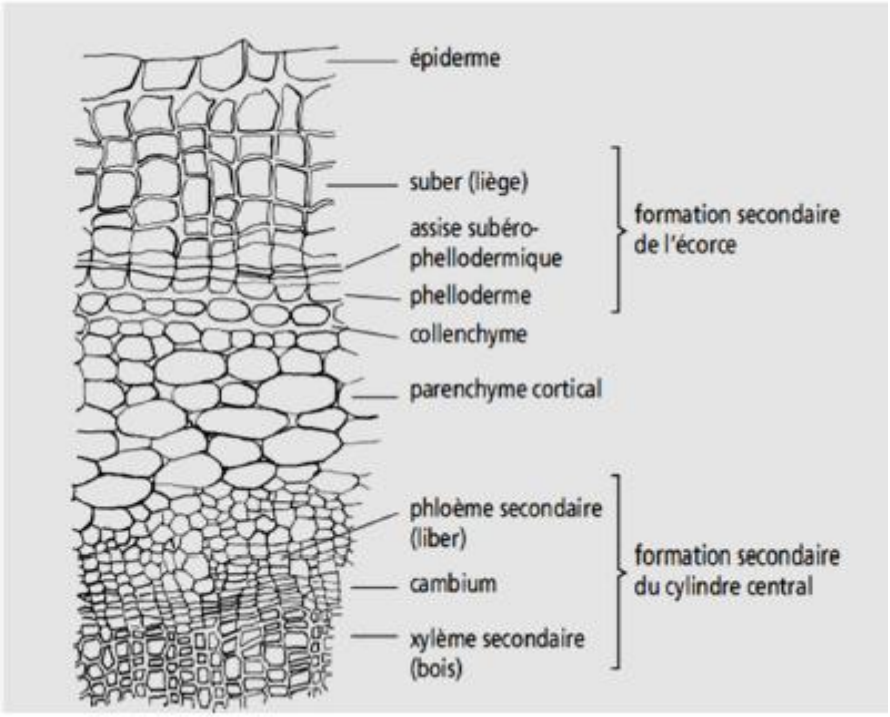


Figure 41 : Schéma d'une coupe transversale de tige agée.

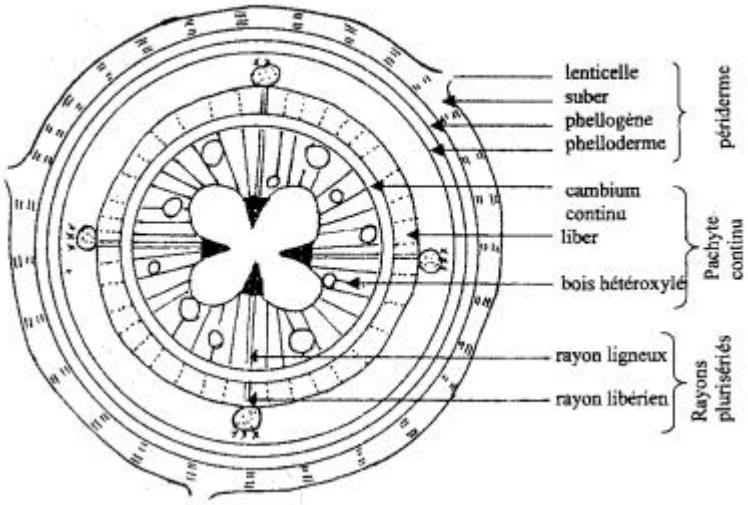


Figure 42 : Schéma général d'une coupe transversale de tige agée d'Angiosperme Dicotylédone.

3.3. Structure anatomique de la feuille

Cet organe foliaire est un prolongement de la tige sur laquelle elle se forme sur un nœud. Elle se forme généralement d'un pétiole et d'un limbe. Sa forme aplatie lui permet d'attraper le

maximum de lumière ce qui favorise le phénomène de la photosynthèse au niveau des cellules parenchymateuses.

3.3.1. L'anatomie de la feuille des dicotylédones

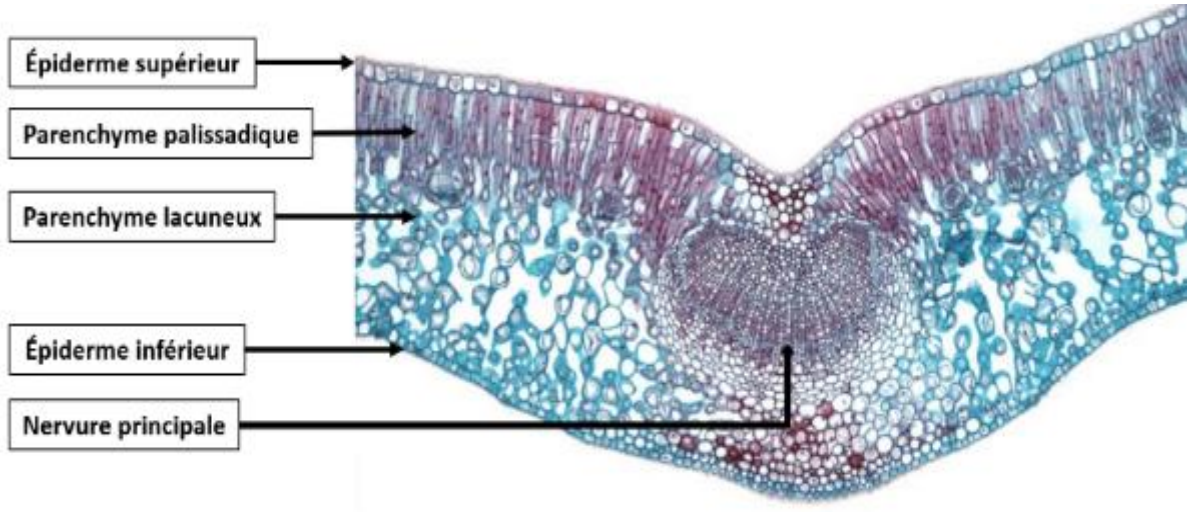


Figure 43 : Coupe transversale d'une feuille dicotylédone.

www.biologie101.fr

D'après la figure 43, la feuille est formée de l'extérieur vers l'intérieur de :

L'épiderme supérieur : représente la face ventrale du limbe. Il est constitué de cellules serrées les unes contre les autres sans laissant des méats ou des lacunes et recouvertes d'une cuticule assurant la protection de la feuille.

- **Le mésophylle** : c'est la partie interne d'une feuille, le plus souvent bifacial asymétrique. Il est formé de deux tissus parenchymateux différenciés :
Le parenchyme palissadique : se situe sous l'épiderme supérieur. Il se forme de cellules chlorophylliennes.

Le parenchyme lacuneux : formé d'une couche de cellules peu jointives et laissant entre elles beaucoup de lacunes. Ces cellules sont dépourvues de chloroplastes. Il contrôle les échanges gazeux entre la feuille et le milieu externe.

Les faisceaux criblovasculaires : sont les tissus conducteurs qui sont composés de phloème primaire et secondaire et de xylème primaire et secondaire de part et d'autre et du cambium.

3.3.2. La structure anatomique d'une feuille monocotylédone :

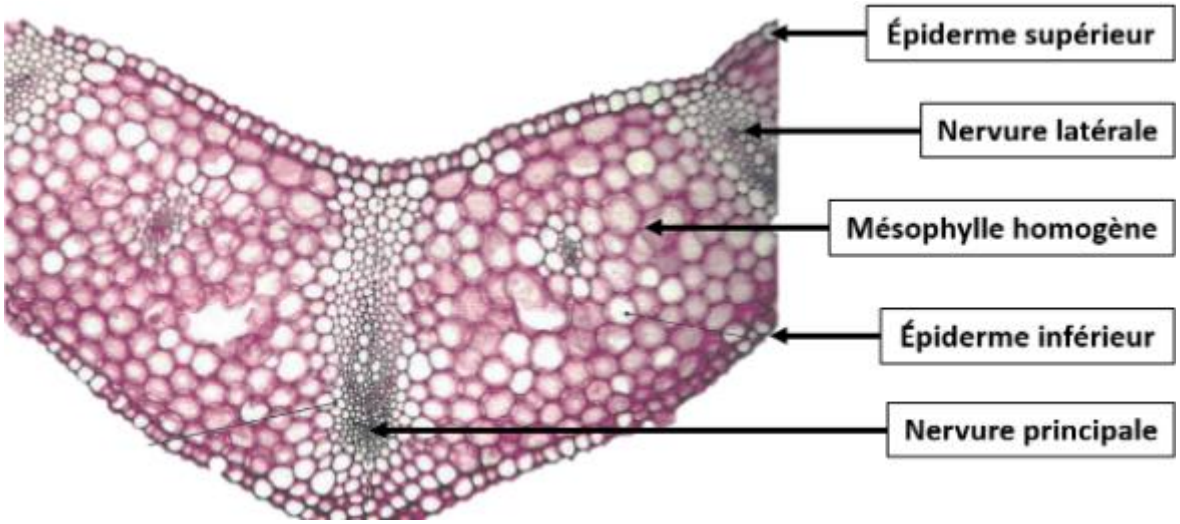


Figure 44 : Coupe transversale d'une feuille monocotylédone.

www.biologie101.fr.

Selon la figure 44, on remarque de l'extérieur vers l'intérieur :

-Un épiderme formé de cellules allongées et possèdent des parois rectilignes portant des stomates

-un mésophylle dit homogène

-un tissu conducteur, correspondant aux nervures, formé de xylème I ventral et de phloème I dorsal,

-un sclérenchyme qui protège les vaisseaux conducteurs.

3.4. Anatomie comparée entre monocotylédone et dicotylédone

Les tableaux ci-après, résume les principales différences qui existent entre les mono et les dicotylédones (tableau1, 2 ,3).

Tableau 1 : Comparaison entre la racine des Monocotylédone et Dicotylédones.

Caractères	Les monocotylédones	Les dicotylédones
Tissus protecteurs	subéroide	Assise subéreuse
endoderme	En fer à cheval avec des cellules de passage	en bande de Caspary.
Péricycle	Plus ou moins sclérifié	unistratifié
Nombre de Faisceaux libéroligneux	Important (8 faisceaux de xylème ou de phloéme)	Réduit (= 6)
Formations secondaires	absentes	Suber et tissus conducteurs secondaires

Tableau 2 : Comparaison entre la tige des Monocotylédone et Dicotylédones.

Caractères	Les monocotylédones	Les dicotylédones
Faisceaux libéroligneux	Nombreux et disposés sur plusieurs cercles	Faisceaux nombreux et plus au moins serrés, disposés sur un seul cycle.
Bois I aire	En forme V avec le liber I aire	En triangle avec le liber I aire
Formations secondaires	Pas d'ébauche cambiale séparant le phloème du xylème.	Suber et tissus conducteurs secondaires

Tableau 3 : Comparaison entre la feuille des Monocotylédone et Dicotylédones.

Caractères	Les monocotylédones	Les dicotylédones
Mésophylle	Homogène	Hétérogène : parenchyme palissadique et parenchyme lacuneux
Faisceaux libéroligneux	Nombreux	Au niveau de la nervure principale et parfois au niveau du limbe.
Formations secondaires	absente	sur la nervure principale xylème Iaire et phloème IIaire
Nervation	Parallèle	réticulée

Chapitre 4

Morphologie des végétaux supérieurs

Cette partie explique la forme externe des plantes ainsi que leurs organes souterrains ou aériens : taille, forme, tiges ou troncs, feuilles, fleurs et fruits, racines, bulbes, tubercules ...etc.

4.1. Racine :

C'est l'organe souterrain de la plante, elle sert à sa fixation au sol et à l'absorption de l'eau et les éléments minéraux primordiaux au développement ainsi qu'au stockage des réserves nutritives.

Dès la germination, on peut observer une racine principale ou dite séminale, résultant de la croissance de la radicule de l'embryon présent dans la graine. De cette racine principale ou pivot sortent des ramifications des racines secondaires de premier ordre, etc. jusqu'aux ramifications les plus fines ou dites radicelles.

On peut distinguer 4 zones dans une racine :

- La zone subéreuse qui est la partie la plus âgée de la racine; portant les racines secondaires ou radicelles.
- La zone pilifère dispose des poils absorbants. Responsable à l'absorption de l'eau et des sels minéraux.
- La zone d'accroissement positionnée derrière la coiffe, son rôle est la multiplication cellulaire.
- La coiffe est la pointe qui protège la racine, permettant la pénétration dans le sol.

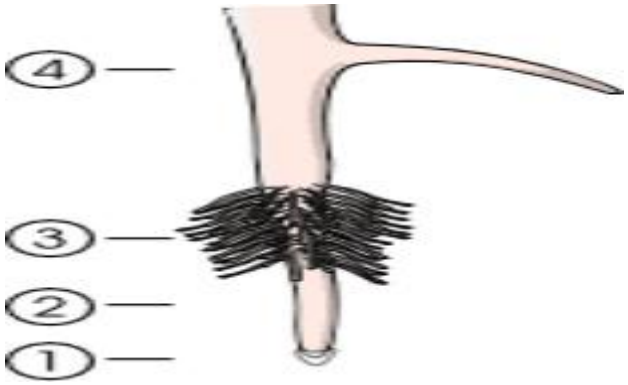


Figure 45 : Les différentes parties de la racine

4.1.1. Les différents types de racines

- Les racines pivotantes : une racine principale qui forme un pivot central se ramifiant en générant de nombreuses racines secondaires ; permet de fixer avec force la plante au sol et de supporter ainsi l'action du vent, ce système racinaire caractérise les dicotylédones (Figure 46).

- Les racines fasciculées : formées de nombreuses racines identiques très fines qui se poussent à quelques centimètres de la surface du sol ; permettant à la plante une bonne fixation dans le sol. Ce système racinaire caractérise les monocotylédones (Figure 46).

-Les racines adventives : Les racines démarrent leur croissance sur une tige (souterraine ou aérienne) exemple : les stolons du fraisier. Ces racines Servent à la multiplication végétative et au bouturage des plantes (Figure 46).



Pivotante Fasciculée Adventive

Figure 47 : les différents types de racines.

4.1.2. Adaptations particulières des racines

La fixation dans le sol et l'absorption de l'eau et des éléments nutritifs sont des tâches à remplir par des racines. D'autres fonctions adaptatives sont réalisées par le système racinaire suites à des modifications de la racine :

- Les racines tubérisées sont des racines gonflées par accumulation des réserves exemple : betterave, navet, carotte….etc, Les racines tubérisées vivent deux ans permettant la reprise de la vie végétative après une saison défavorable (Figure 48**)**.

-Les racines crampons

Ce sont de fines racines adventives qui se développent le long de la tige. Ex : le lierre. Ces racines se fixent avec force sur un support ou un mur (Figure 49**)**.

-Les racines suçoirs

Observées chez les plantes parasites comme la cuscute. Dans ce cas, les racines s'infiltrent à l'intérieur de la plante parasitée et pénètrent jusqu'aux tissus conducteurs (Figure 50).

-Les racines respiratoires : les pneumatophores

Se définit comme des racines à géotropisme négatif poussant verticalement en milieu submergé et permettant une absorption en oxygène atmosphérique, ils sont caractéristiques des arbres de marais (Figure 51).

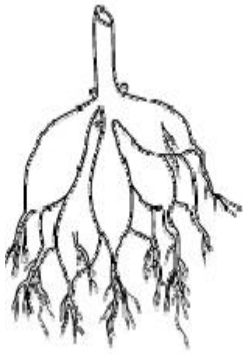
-Les racines échasses

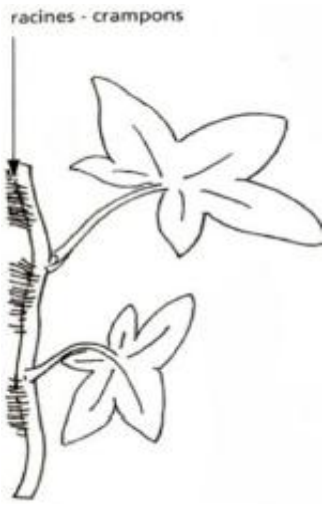
Dans de nombreuses plantes des mangroves, on rencontre ce type de racines adventives qui assurent la fonction d'un support en étayant le tronc de l'arbre (Figure 52).

-Les racines contreforts

Se définit comme des racines aériennes qui poussent sur des rameaux de certaines espèces arborescentes apparues dans les zones tropicales assurant une stabilisation dans un sol superficiel (Figure 53).

-Les racines succulentes : ce sont des racines adaptées au stockage de l'eau.





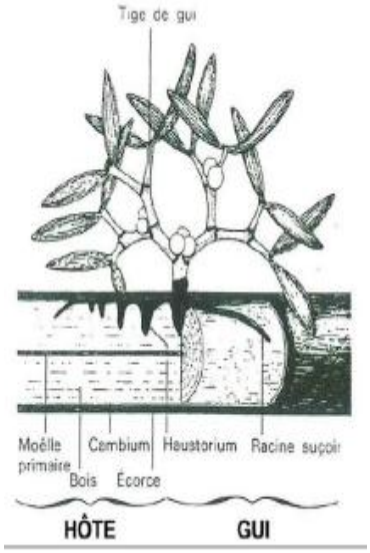
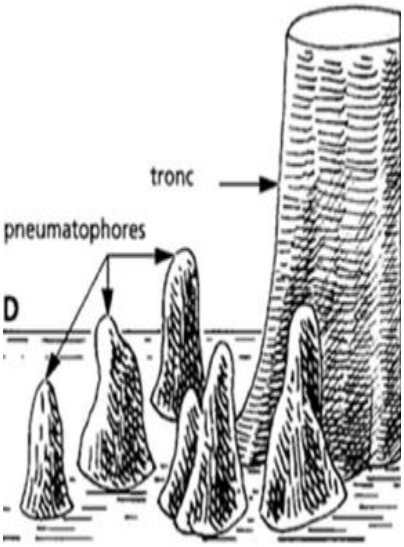


Figure 48 : Racine fasciculée. **Figure 49 :** Racine crampon. **Figure 50 :** Racine suçoir.



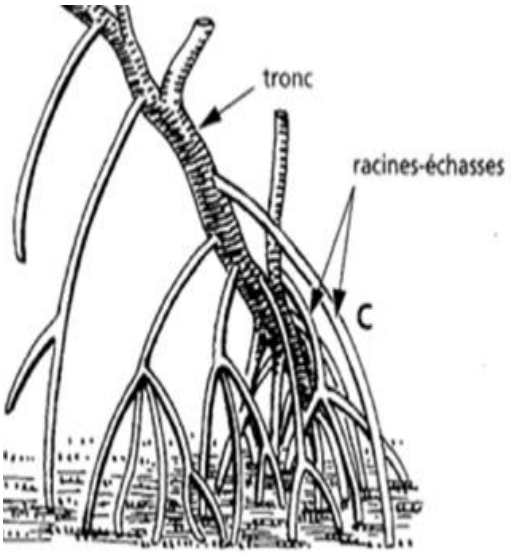


Figure 51 : Racine respiratoire. **Figure 52 :** Racine échasse.

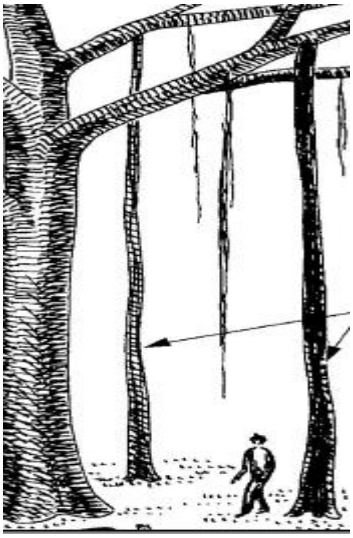


Figure 53 : Racine contrefort.

4.2. Tige

C'est l'organe aérien portant les feuilles et les fleurs et aussi les fruits et les graines. La tige joue une fonction de soutien et de transport des nutriments entre les racines et les feuilles. Elle est reliée à la racine par le collet qui est une zone de raccordement des deux organes. La tige montre un géotropisme négatif et un phototropisme positif.

-La tige est composée de plusieurs parties (Figure 54) :

• Axe principal : Il supporte les feuilles, les bourgeons et les rameaux feuillés, montrant la tige principale.

• Nœuds et entre nœuds : Le nœud est le lieu où est insérée une feuille ou un rameau feuillé. Deux nœuds consécutifs sont parcourus par un entre nœud.

• Bourgeons : Ils sont constitués par des ébauches de feuilles qui protègent le méristème apical. Le bourgeon permet l'extension apicale de la tige, l'élaboration des feuilles et des rameaux. A l'aisselle de chaque feuille se situe un bourgeon axillaire dont certains générant des tiges secondaires.

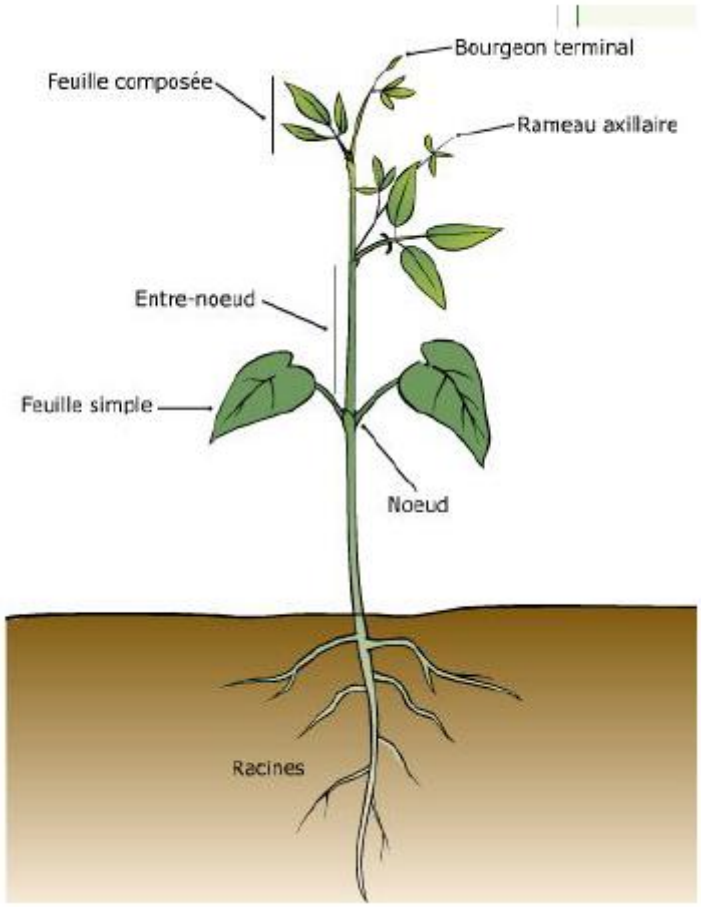


Figure 54 : Morphologie générale de la tige.

4.2.1. Les différents types de la tige

4.2.1.1. Tiges herbacées

Ce sont des tiges de plante annuelle, dotées d'une tige à faible épaisseur, caractérisée par sa couleur verte et sa souplesse. Les tiges herbacées prennent plusieurs types :

- Tiges dressées : son axe principal est dressé verticalement.

- Tiges rampantes : Ces tiges sont très longues à croissance horizontale. Elles s'étalent sur le sol (Figure 55).

- Tiges grimpantes :

Ce sont des tiges qui poussent au-dessus du sol en s'enroulant autour d'un support (Figure 56) ou en utilisant des vrilles ou des crampons pour se fixer.



Figure 55 : Stolon de fraisier.



Figure 56 : Tige grimpante volubile.

4.2.1.2. Tiges ligneuses

Les tiges ligneuses sont caractérisées par leur épaississement, leur couleur foncée (marron) et leurs duretés. Elles sont vivaces. Suivant la ramification des tiges ligneuses on peut distinguer les différents types morphologiques suivants (Figure 57) :

• port arborescent : Ce type est propre pour les arbres, les arbustes et les arbrisseaux. La tige principale s'appelle tronc, il est épais générant des branches.

• port buissonnant : C'est un ensemble de tiges ligneuses très ramifiée dès la base du végétal, formant une touffe, et parmi lesquelles, on ne peut distinguer un tronc.



Figure 57 : Tige ligneuse (biologievégétale.be).

4.2.1.3. Autres types de tiges

On rencontre d'autres types de tiges comme (Figure 58):

• Stipe : C'est un axe en colonne non ramifié surmonté d'un énorme bouquet de feuilles (palmes tombées). C'est la propriété des Angiospermes Monocotylédones arborescentes.

• Chaume : une tige herbacée creuse, garnie de nœuds. Le chaume est la caractéristique des espèces de la famille des Poaceae. C'est une tige cylindrique, légère et résistante, à port dressé.

• Tiges souterraines : sont des tiges qui vivent dans le sol, modifiées par le milieu où elles vivent. Elle fait sortir des bourgeons, des feuilles en écailles non chlorophylliennes et des racines adventives.



Stipe.

(fr.wikipedia.org)



Chaume de blé.

(pikist.com)



Tige souterraine.

(fr.wikipedia.org)

Figure 58 : Différents types de tiges.

4.2.1.4. Adaptations fonctionnelles de la tige

Certaines tiges sont adaptées à différents milieux ou à des fonctions spécifiques.

• Au transport de la sève : La tige est caractérisée par la présence d'un important tissu conducteur et par la diminution du parenchyme cortical. Cela apparaît clairement chez les deux types de tiges : grimpant et ligneux.

A l'assimilation chlorophyllienne: cas des cladodes qui sont des rameaux courts aplaties, simulant parfaitement aux feuilles exemple : Cladode du figuier de barbarie (Figure 59).



Figure 59 : Cladodes du fragon épineux (Ruscus aculeatus).

(fr.wiktionary.org).

• A la fonction de réserve : quelques tiges souterraines peuvent se renfler et concentrer des substances de réserves, exple : Tubercules de pomme de terre.

•A la sécheresse : La tige des plantes grasses est gorgée d'eau. Elle renferme un parenchyme aquifère, un épiderme pauvre en stomates ; les feuilles sont absentes ou très petites sous forme d'écailles, ou encore réduites en épines, et cela pour réduire au maximum l'évaporation de l'eau. Cette modification correspond à une adaptation à la sécheresse.

4.3. Feuille

C'est un organe aérien, fixée sur la tige au niveau d'un nœud. À l'aisselle de la feuille, il y a toujours un bourgeon, nommé bourgeon axillaire. Spécialisée dans la photosynthèse, elle absorbe de l'eau, de la lumière et du gaz carbonique et expulse de l'oxygène. Elle se compose de 3 parties (Figure 59) :

-Le limbe, est une lame verte et élargie, parcouru de nervures qui jouent un rôle d'un système conducteur des sèves.
-Le pétiole qui relie le limbe à la tige et donne une grande flexibilité à la feuille.
-La gaine est la partie renflée du pétiole qui s'attache à la tige. Elle porte parfois des stipules.

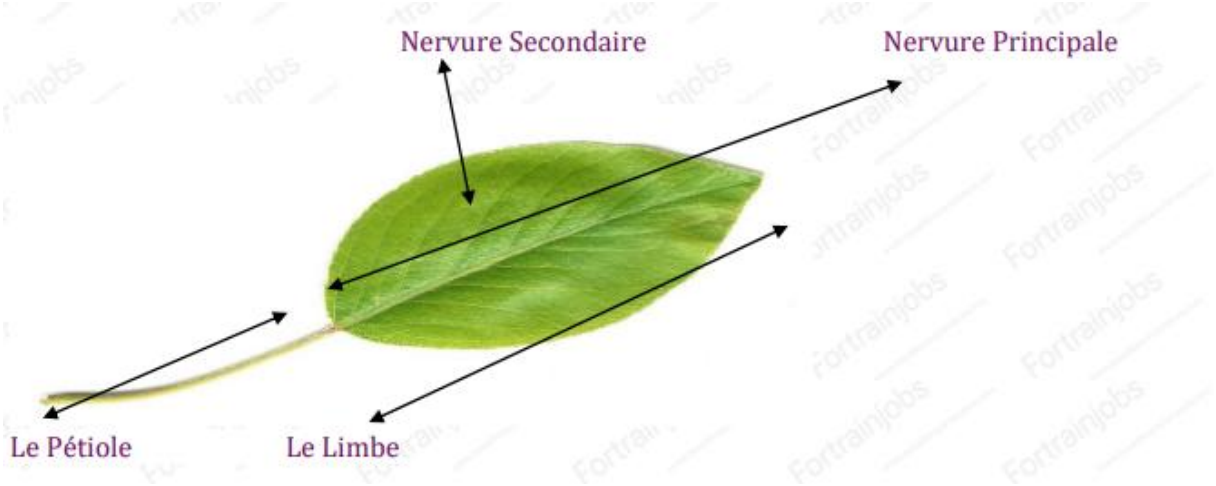


Figure 59 : Structure de la feuille.

(admin.fortrainjobs.com)

4.3.1. Les différents types de feuilles

On distingue les feuilles simples et les feuilles composées

La feuille simple : Elle est composée d'un unique limbe continu avec un pétiole non ramifié. Elle peut avoir plusieurs formes : ronde, triangulaire ou encore ovale.

La feuille Composée : le limbe se divise en plusieurs pièces appelées folioles qui sont insérées de part et d'autre du pétiole. Dans ce cas on distingue (Figure 60) :

-Feuilles composées pennées

Les feuilles composés pennées ont deux rangs de folioles qui sont disposées de chaque côté. Parmi ces feuilles on distingue les feuilles composées paripennées qui ont un nombre pair de folioles et les feuilles composées imparipennées dont le nombre de folioles est impaire

-Feuilles composées bipennées

Ce sont des feuilles pennées dont les folioles sont pennées à leur tour. Le rachis principal porte des rachis secondaires portant des folioles.

- **Feuilles composées palmées**

Toutes les folioles sont rattachées en un même point du pétiole.

-Feuille composées trifoliées

Elle est composée de trois folioles distinctes.

-Feuille composées pédalées

Elles présentent un pétiole qui se ramifie en trois pétiolules dont les deux latéraux se divisent à leur tour deux fois.

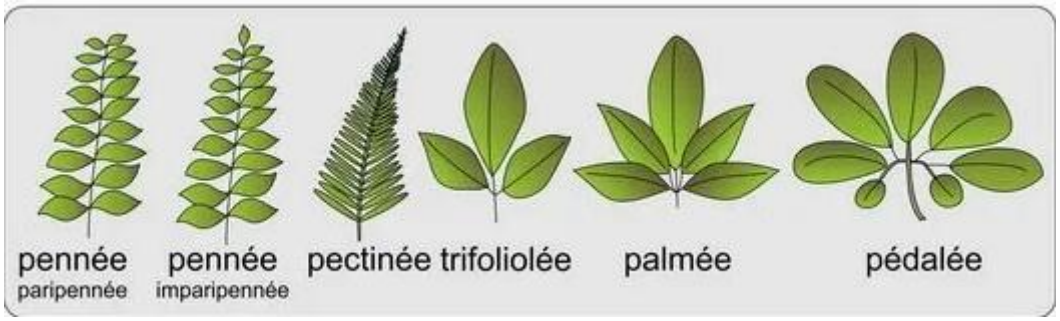


Figure 60 : les différents types de feuilles composées.
(www.jardinsdugue.eu)

4.3.2. Disposition des nervures à l'intérieur du limbe de la feuille (Figure 61)

La nervation d'une feuille désigne la disposition du réseau de nervures dans le limbe. On différencie la nervure principale et les nervures secondaires.

La disposition des nervures change selon les espèces ou les familles. On peut différencie comme suit :

- Les feuilles uninerves : la feuille comporte une seule nervure, avec un limbe étroit, exemple aiguilles de pin.

-Les feuilles à nervation parallèle : dans ce cas-là, les nervures sont en parallèles, exemple feuilles des Monocotylédones.

-Les feuilles à nervation penné : la nervure principale divise le limbe en deux parties identiques selon l'axe de symétrie et les nervures secondaires en partent latéralement.

−Les feuilles à nervation palmée : dont plusieurs nervures en nombre impair se séparent du pétiole au point de contact avec le limbe.

-Nervation réticulée : les nervures forment un réseau quadrillé à l'intérieur du limbe.

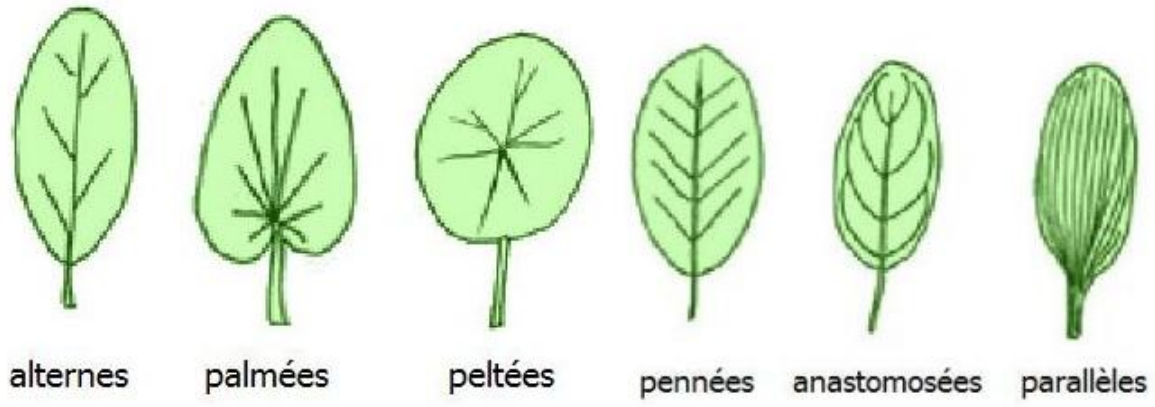


Figure 61 : Disposition des nervures dans les feuilles.
(http://lespetitesherbes.unblog.fr/)

4.3.3. La forme de la feuille

La forme générale du limbe est la figure géométrique formée par son contour extérieur. Cette forme est un élément indispensable lors de l'identification des espèces.

On peut distinguer diverses formes telles que :

-Feuille entière : limbe qui ne dispose ni division, ni dent, ni découpure et sans saillie. Exemple : Laurier cerise.

-Feuille ovale : limbe qui a de la forme d'un œuf, c'est-à-dire la base se trouve un peu plus large que le sommet.

-Feuille elliptique : dont le limbe est en forme d'ellipse.

-Feuille lancéolée : limbe est sous forme de fer de lance, 3 à 4 fois plus long que large, la partie la plus large étant du côté du pétiole.

-Feuille réniforme : le limbe est sous forme de rein, plus large que long, échancré à sa base et arrondi au sommet.

-Feuille sagittée : le limbe ayant la forme d'une pointe de flèche.

-Feuille falciforme : (ou falquée) Le limbe est sous forme de faux ou de faucille.

-Feuille oblongue : le limbe est nettement plus long que large avec des bords quasiment parallèles.

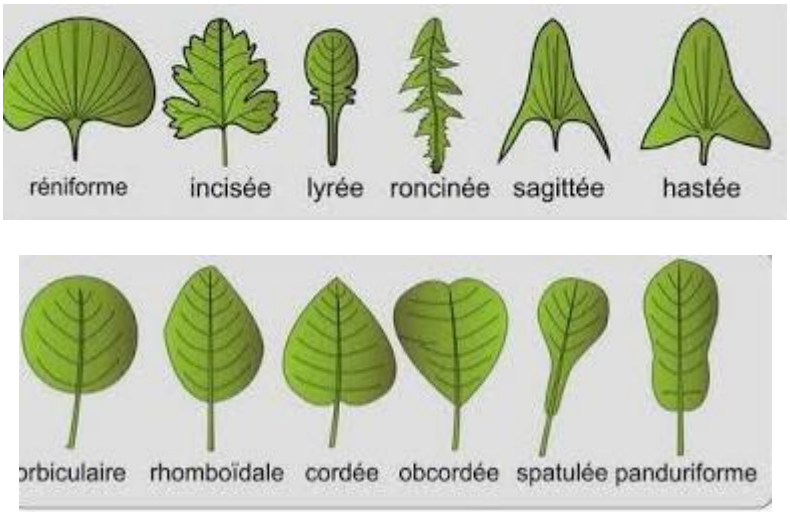


Figure 62 : Les différentes formes de feuilles.

4.3.4. La Phyllotaxie

Le terme Phyllotaxie signifie en grec *phullon,* « feuille », et *taxis,* « ordre », et aussi la disposition des feuilles sur la tige d'une plante. Il existe plusieurs sortes de phyllotaxies dépendant surtout sur le nombre de feuilles insérées par nœud (Figure 63).

La disposition est alterne lorsqu'une seule feuille apparaît par noeud.

Lorsque deux feuilles apparaissent par nœud, la disposition de celles-ci est dite opposée.

La disposition est qualifiée verticillée, quand plus de deux feuilles sont insérées sur un nœud.



Feuilles alternes. **Feuilles opposées.** **Feuilles verticillées.**

Figure 63 : Position des feuilles sur la tige.

4.3.5. Les variations adaptatives et fonctionnelles des feuilles

Les feuilles sont adaptées à certaines fonctions, autres que la photosynthèse et la transpiration. Elles peuvent jouer un rôle de protection ou celui de réserve (Figure 64) :

-Feuilles-épines : elles sont transformées partiellement ou totalement en épines limitant les pertes d'eau par évaporation.

-Feuilles-vrilles : La feuille peut être partiellement ou totalement transformée en vrilles afin d'assurer la fonction de soutien.

-Les Phyllodes : c'est est un pétiole largement aplati et développé, ce qui lui donne un aspect semblable à celui d'une feuille. Le phyllode est une caractéristique des plantes xérophytes et la photosynthèse étant sa fonction principale.

-Les Nepenthes : sont des plantes vivaces carnivores qui peuvent être terrestres ou épiphytes, à feuillage persistant. Leurs feuilles lancéolées ou rubanées possèdent une nervure centrale qui se prolonge au-delà du limbe, en urne.



Feuille de Nepenthe **Phyllode** **Feuille-épine**

Figure 64 : Quelques adaptations fonctionnelles des feuilles.

4.4. La fleur :

La fleur est une structure présente uniquement chez les Angiospermes (plantes à fleurs). Elle se développe à partir d'un bouton floral. La fleur est constituée d'un ensemble de pièces florales fixées sur l'extrémité élargie ou réceptacle floral, d'un axe nommé pédoncule qui est inséré sur une tige où on retrouve une feuille modifiée appelée bractée.

Une fleur peut être hermaphrodite et contenir à la fois organes mâles (étamines) et femelles (carpelles), ou seulement mâles ou femelles (fleur unisexuée ; fleur mâle ou femelle). Une fleur est dioïque, si chaque individu ne porte que des fleurs mâles ou femelles, la fleur est monoïque, si chaque individu porte à la fois des fleurs mâles et femelles.

De l'extérieur vers l'intérieur d'une fleur hermaphrodite, on distingue généralement quatre types de pièces florales regroupés en verticilles (Figure 65) ;

• Deux ensembles de pièces florales stériles formant le périanthe :

a-Le calice : est formé de pièces chlorophylliennes appelées sépales. Ce sont des pièces stériles présentes dans le verticille le plus externe de la fleur. Ils jouent un rôle dans la photosynthèse mais leur principale utilité est de protéger les autres pièces florales.

b-La corolle : possède des pièces plus ou moins colorées, dépourvues de chlorophylle nommées les pétales. Ils sont généralement plus grands que les sépales, très colorés et ont pour fonction d'attirer les insectes pollinisateurs. Les pétales sont considérés comme des pièces stériles. Chez les dicotylédones, certaines fleurs sont dépourvues de pétales (apétales), d'autres sont à pétales séparés (dialypétales) et d'autres enfin à pétales soudés (gamopétales).

• Deux ensembles de pièces fertiles impliqués dans les phénomènes de reproduction :

-L'androcée : est la partie mâle de la fleur ; il est constitué de l'ensemble des étamines. Ce sont les pièces fertiles mâles.

-Le gynécée ou pistil : représente la partie femelle de la fleur. Il est constitué par l'ensemble des carpelles libres ou soudés entre eux, au centre de la fleur

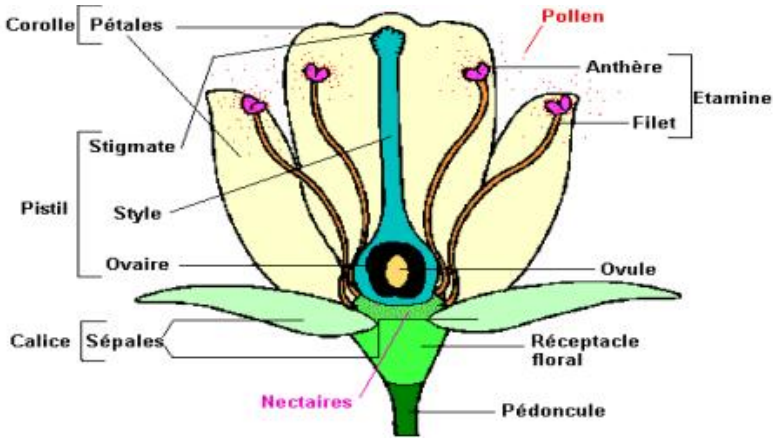


Figure 65 : Structure d'une fleur hermaphrodite.

4.4.1. Périanthe :

Ensemble des pièces florales qui forment le calice et la corolle, c'est la partie stérile de la fleur. Les caractéristiques du périanthe sont souvent en rapport étroit avec le type de pollinisation. Chez les plantes anémophiles, les pièces périanthaires, lorsqu'elles existent, sont souvent réduites, ne gênant pas le transport du pollen vers les organes reproducteurs de la fleur. Chezles plantes entomophiles, les fleurs ont des pièces périanthaires plus grandes, de couleur vive avec un parfum attractif.

Lorsque les pièces périanthaires ne sont pas distinguées en pétales et sépales, on les nomme tépales (quand les sépales et les pétales sont de forme et de coloration identiques).

-Calice : Enveloppe extérieure de la fleur, généralement de couleur verte (pièces chlorophylliennes), recouvrant le plus souvent la base de la corolle et constitué par l'ensemble des sépales qui peuvent être libres jusqu'à la base (calice dialysépale) ou plus ou moins soudés entre eux (calice gamosépale). Dans certaines fleurs, le calice est coloré comme les pétales, on parle alors de sépales pétaloïdes ou de tépales (Figure 66).

-Corolle : Ensemble formé par les pétales d'une fleur. Généralement colorée, non chlorophyllienne. La corolle a pour rôle d'attirer les insectes pollinisateurs. Elle est persistante ou caduc. Les pétales peuvent être libres (corolle dialypétale) ou plus ou moins soudés entre eux (calice gamopétale) (Figure 66).

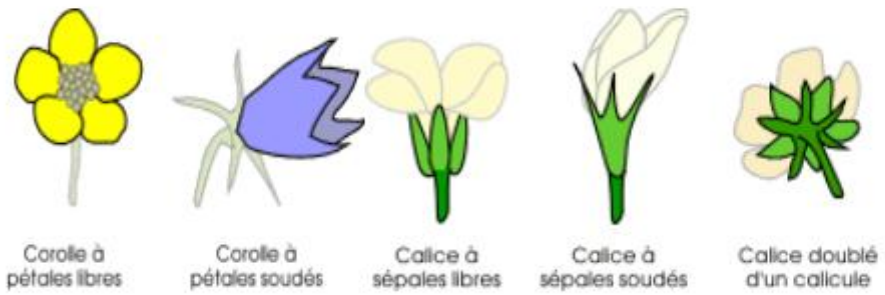


Figure 66 : Soudure des pièces périanthaires.

Ainsi pour des variations au niveau du périanthe on distingue aussi :

•Fleur actinomorphe : quand elle est régulière c'est-à-dire quand elle présente une symétrie radiale (par rapport à un axe) (Figure 67).

• Fleur zygomorphe : quand elle est irrégulière et présente un plan de symétrie (par rapport à un plan) (Figure 67).

• Fleur asymétrique, quand elle est dépourvue de tout plan de symétrie.

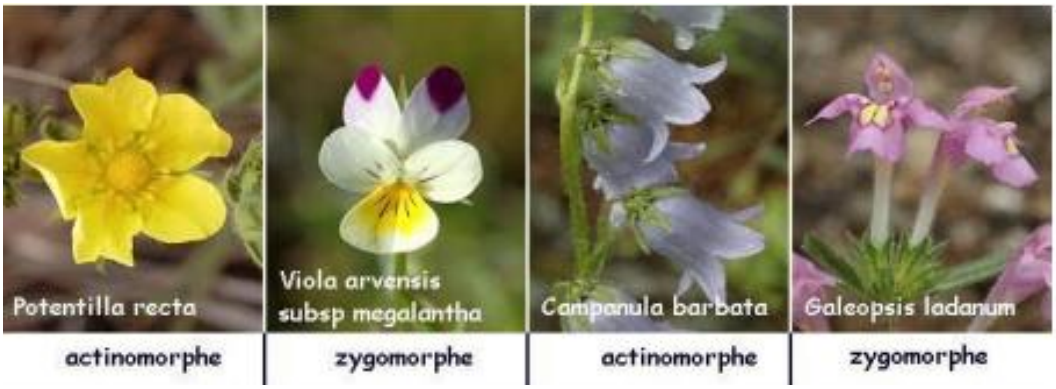


Figure 67 : Symétrie des fleurs.

4.4.2. Pièces reproductrices

- Androcée

C'est l'ensemble des étamines, constituant la partie mâle d'une fleur d'Angiospermes. L'étamine est l'organe mâle d'une fleur, porté par le réceptacle et placé entre la corolle et le pistil. Une étamine est généralement formée d'une partie allongée nommée filet terminé par une partie renflée appelée anthère. Celle-ci est le lieu de formation des grains de pollen dans les sacs polliniques qui sont au nombre de quatre, souvent fusionnées en deux loges séparées par un connectif. Les étamines peuvent être libres jusqu'à la base ou plus ou moins soudées entre elles ou aux autres parties de la fleur (pétales, pistil). Les fleurs qui n'ont que des étamines sans pistil sont appelées fleurs staminées. A maturité l'anthère s'ouvre et laisse échapper le pollen, qui permet la fécondation (Figure 68**)**.

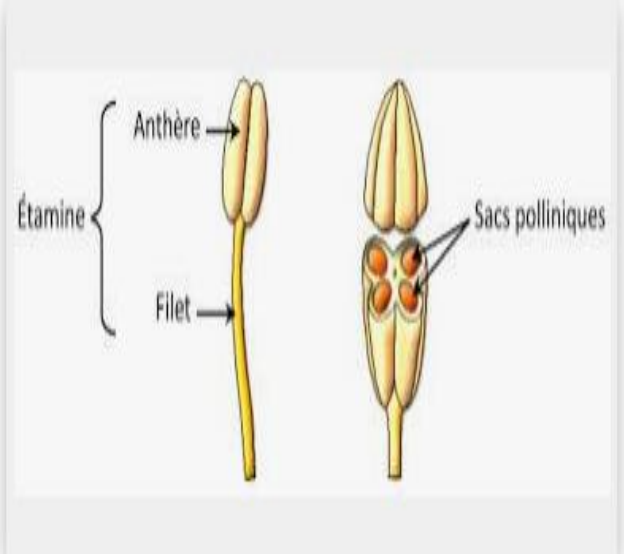


Figure 68 : Structure d'une étamine.

- **Gynécée Ou pistil**,

C'est un organe reproducteur femelle de la plante, composé par un ou plusieurs carpelles d'une même fleur libres ou soudés entre eux. Chaque carpelle est formé de la base au sommet (Figure 69) :

- D'une partie renflée (l'ovaire) renfermant le ou les ovules ;
- D'un style prolongeant l'ovaire ;
- D'un stigmate coiffant le style et permettant de retenir le pollen. Le gynécée est parfois réduit à un seul carpelle. Il existe des espèces unisexuées, c'est-à-dire qui possèdent seulement un gynécée (fleurs pistillées), ou possèdent seulement un androcée (fleurs staminées). On peut également rencontrer des fleurs stériles ; sans étamines ni carpelles. Si les fleurs mâles et femelles sont produites sur un même individu, la plante est dite monoïque; Si ces fleurs sont produites sur des individus séparés, la plante est appelée dioïque.

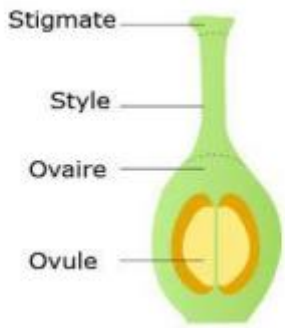


Figure 69 : Structure du génycée.

La placentation signifie l'implantation des ovules à l'intérieur de l'ovaire. Celle-ci est très variable. Ainsi on peut distinguer différentes sortes de placentation (Figure 70) :

* Placentation axile : les ovules sont fixés au centre d'un ovaire formé de plusieurs loges.

* Placentation pariétale : les ovules sont insérés sur la paroi périphérique d'un ovaire non compartimenté.

* Placentation centrale : dans un ovaire uniloculaire provenant de la soudure de plusieurs carpelles fermés dont les cloisons se sont résorbées seule reste une colonne centrale sur laquelle sont fixés les ovules.

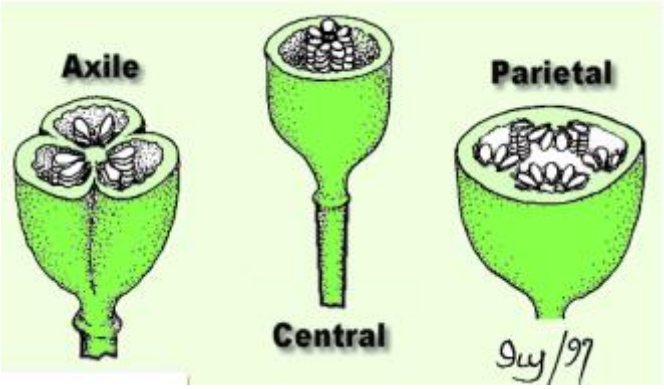


Figure 70 : Différentes sortes de placentation.

4.4.3. Le diagramme floral :

c'est le plan en projection horizontale de cette fleur, c.-à-d. des différents verticilles qui la composent. Les pièces de ces verticilles viennent se placer sur des cercles concentriques, les sépales sur la circonférence la plus extérieure, les pétales sur la deuxième circonférence, les étamines sur la troisième, etc., selon le nombre de verticilles que comprend l'androcée, enfin l'ovaire sur la circonférence la plus interne (Figure 71).



Figure 71 : Diagramme floral.

4.4.4. Formule florale :

Afin de décrire plus rapidement une fleur, on utilise la formule florale. Les différentes pièces étant disposées en verticilles, il suffit d'indiquer le type de pièce et leur nombre : nS + nP + nE + nC ; S représentant les sépales, P les pétales, E les étamines, C les carpelles. On utilise T pour les tépales.

4.5. La graine

La graine est un organe de dissémination chez les spermaphytes, représentant la phase finale de la transformation d'un ovule fécondé, ou même sans accomplissement d'un processus

sexuel (agamospermie). La transformation de ce dernier en graine, comporte le développement de l'embryon, l'accumulation de réserves, l'épaississement des téguments et le passage à l'état de vie ralentie. Les graines conservent la forme de l'ovule dont elles dérivent ; seule la taille évolue de manière remarquable. Les graines se composent essentiellement de :

• l'embryon comprend une radicule, que prolonge une tigelle portant les cotylédons (ou le cotylédon unique dans le cas des monocotylédones)

• l'albumen, dont la durée de vie au sein de la graine est variable ;

• les téguments séminaux, c'est l'enveloppe qui protège les tissus de réserve nutritive plus ou moins importante selon les graines.

4.5.1. Les différentes sortes de graines

On distingue trois sortes de graines déterminées par leurs méthodes de stockage de réserve nutritive.

-Graines albuminées: l'albumen se développe et se charge de réserves beaucoup plus vite que l'embryon qui a un développement moins important et qui occupe une faible partie. Exemple: graine de blé, d'orge, de maïs et graine de Ricin (Figure 72).

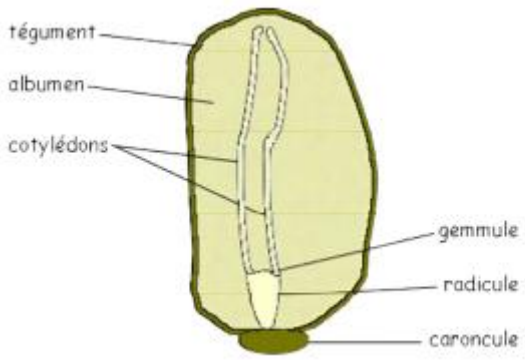


Figure 72 : Les Graines albuminées.

- Gaines exalbuminées : tout l'albumen est digéré par l'embryon. Les réserves sont alors mobilisées et accumulées dans les cotylédons qui occupent la principale partie (Figure 73). Ce type de graine se rencontre chez de nombreuses familles, entre autre, les Légumineuses (=Fabacées) et les Composées. (Graine de Haricot).

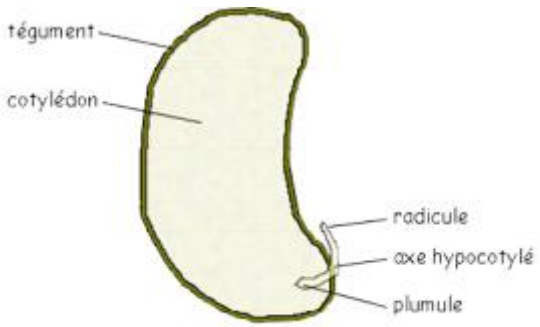


Figure 73 : Les graines exalbuminées.

- Graine à périsperme : Les réserves de cette graine sont peu développées. Ce sont donc les cotylédons qui sont capables d'être fonctionnels dès leurs sorties qui donnent au végétal une autonomie précoce en fournissant la photosynthèse (exemple : poivre). (Figure 74).

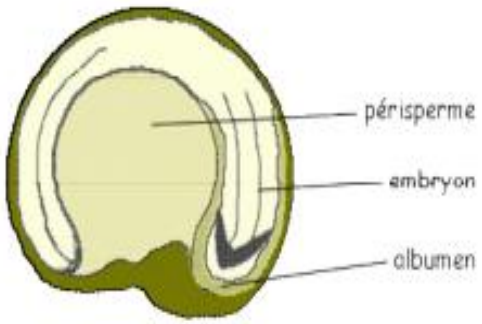


Figure 74 : Les graines à périsperme.

4.6. Le fruit

Les fruits résultent de la transformation de l'ovaire ou des ovaires d'une fleur fécondée; ils renferment la ou les graines, provenant de l'évolution de(s) ovule(s). La paroi de l'ovaire est formé d'un parenchyme recouvert de deux épidermes, l'un interne et l'autre externe, au cours du développement du fruit, cette paroi se transforme en péricarpe, l'épiderme externe devient l'épicarpe, le parenchyme devient mésocarpe et l'épiderme interne devient endocarpe.

Les fruits peuvent être classés de différentes manières :

a-Fruits Simples : Suite à la fécondation, un vrai (simple) fruit résulte de la transformation du gynécée uniquement d'une seule fleur qui est composé d'un seul carpelle ou de plusieurs carpelles soudés. Certains auteurs considèrent que dès qu'il y a intervention, pour former le fruit, d'un élément autre que le gynécée, on parle de faux-fruit.

Lors de la formation du vrai fruit, la paroi de l'ovaire (qui donnera le péricarpe) se modifie selon 2 possibilités selon sa consistance : - elle se gorge de réserves, devient épaisse et juteuse, ce qui forme un fruit charnu - elle se dessèche, devient fibreuse et plus ou moins dure et on obtient un fruit sec.

- Les Fruits Charnues :

C'est un vrai fruit dont le péricarpe est gorgé de réserves, devient épais et juteux, il existe deux types de fruit charnu, selon que l'endocarpe est charnu ou lignifié (Figure 75), on distingue :

* Baie : ce sont les fruits à pépins. Ex : raisin, date, tomate, banane, pastèque, kiwi, avocat.

* Drupe : ce sont les fruits à noyaux car l'endocarpe lignifié (sclérifié) forme une coque dure ou « noyau » autour de la graine proprement dite « amande ». Ex : cerise, olive, amande, pèche, abricot, noix, noix de coco.

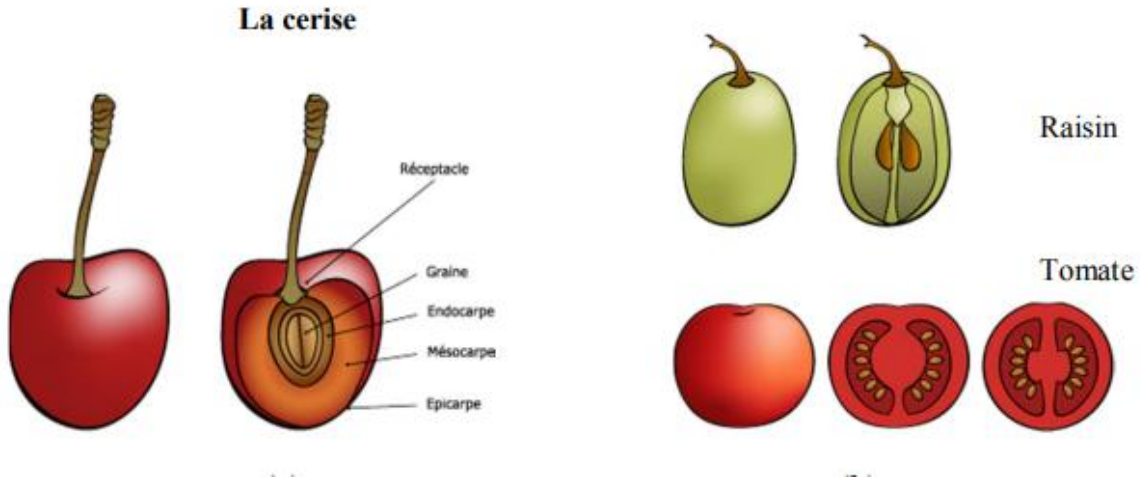


Figure 75 : Les fruits charnus.

- Les Fruits Secs : Le péricarpe se dessèche, devient fibreux et plus ou moins dure, les fruits secs se divisent en deux catégories :

*** Les fruits secs indéhiscents :** Ce sont des fruits secs qui ne s'ouvrent pas spontanément pour libérer leurs graines. A l'intérieur du fruit, la graine est libre en général. On distingue différentes sortes de fruits secs indéhiscents :

-les akènes : qui ne contiennent qu'une seule graine. Les akènes sont souvent protégés par une cupule ex : noisette, châtaigne.

***Les fruits secs déhiscents :** Ils s'ouvrent à maturité pour libérer les graines. La déhiscence se réalise le plus souvent longitudinalement par rapport à l'axe du fruit. On distinguera principalement les types de fruits suivants :

- La Gousse : C'est un fruit caractéristique des fabacées (Légumineuses). Ex : fève, petit pois, haricot, soja.

- La Silique : C'est un fruit caractérisé au Brassicacées. Ex : les Choux.

- La capsule : Elle est dérivée de n carpelles soudés. Ex : le pavot.

b-Faux fruit

-**Fruits multiples** : Le fruit multiple résulte de la transformation d'un gynécée composé de plusieurs carpelles libres (indépendants) (gynécée polycarpe) d'une seule fleur. Dans ce cas, une seule fleur produit plusieurs fruits, ça peut être un fruit poly- follicules, poly-akènes, polydrupe, c'est le cas par exemple de la mûre qui est composée de multiples drupes (Figure 76).

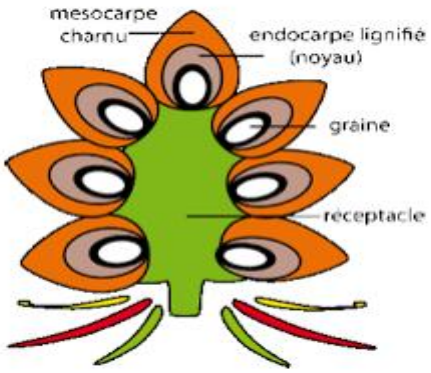


Figure 76 : Fruit multiple.

- Fruits complexes : Il s'agit de fruits qui ne dérivent pas uniquement du gynécée, mais qui intègrent d'autres parties de la fleur (réceptacle, pièces périanthaires, etc.), ex ; fraise, pomme (Figure 77). Chez la pomme ou la poire, l'ovaire infère est soudé au réceptacle floral. Le fruit comprend un mésocarpe charnu provenant en partie du réceptacle hypertrophié et pour une autre part de la paroi externe des carpelles. L'endocarpe coriace s'est constitué à partir de la paroi interne des 5 anciennes loges carpellaires.

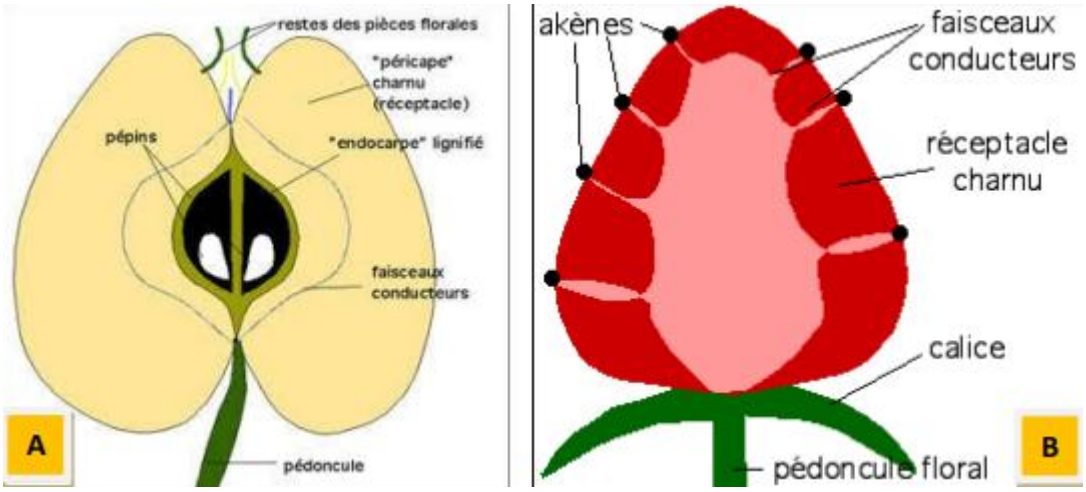


Figure 77 : Coupe longitudinale ; Pomme (A) ; Fraise.

-Fruits composés : Ce sont des fruits formés à partir d'une inflorescence donc composés de plusieurs fleurs complète et dans ce cas-là le fruit est appelé infrutescence, ex ; ananas, figue… (Figure 78).

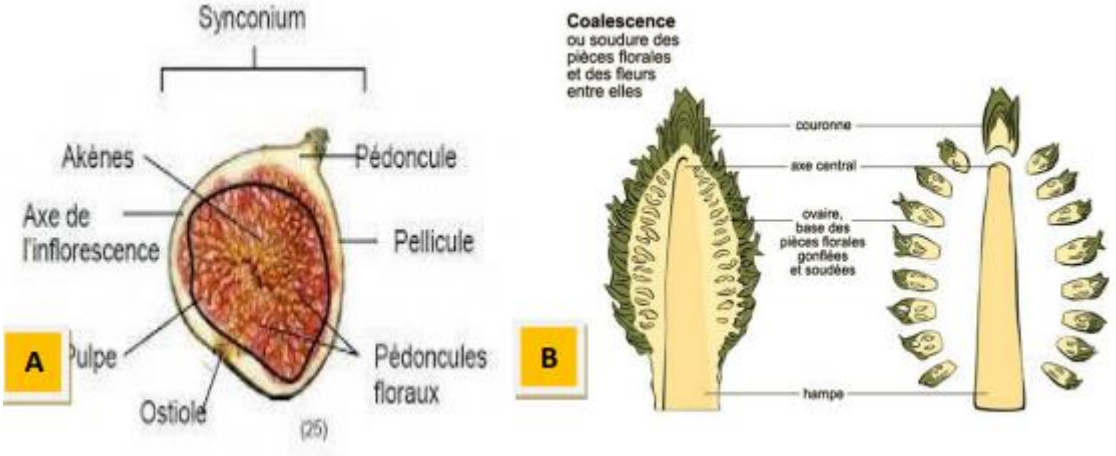


Figure 78 : Fruits composés ; Figue (A), Ananas (B)

Chapitre 5

La gamétogenèse

Introduction

Les Angiospermes développent des fleurs à fin de produire des graines qui permettront la dissémination de l'espèce et subiront une germination. Une fleur provient de la reproduction dont l'étape initiale est la gamétogenèse.

On appelle Méga gamétogenèse la formation du sac embryonnaire (gamétophyte femelle ou méga gamétophyte) et l'oosphère (gamète femelle).

La méga sporogénèse est la formation des méga spores qui donnent le sac embryonnaire.

On appelle Microgamétogénèse la constitution du grain de pollen (gamétophyte mâle ou micro gamétophyte) et des cellules spermatiques (gamètes mâles).

La microsporogénèse est la constitution des microspores qui donnent le grain de pollen.

5.1. La gamétogenèse femelle ou méga gamétogenèse

La gamétogénèse femelle est la constitution du gamétophyte femelle ou sac embryonnaire qui se trouve à l'intérieur de l'ovule (cas des Angiospermes).

5.1.1. L'ovule (Figure 79)

C'est un organe de très petite taille de 1 à 2 mm de diamètre. Il est formé d'un funicule qui se situe à la base étroite de l'ovule en assurant son emplacement sur le placenta et d'un massif cellulaire de nature parenchymateuse : le nucelle qui renferme le sac embryonnaire et entouré de deux enveloppes ou téguments.

Le sommet de l'ovule est perforé par une ouverture nommée micropyle. Le point où se ramifie le faisceau conducteur de l'ovaire est appelé la chalaze.

On peut distinguer trois types d'ovules : les ovules droits (orthotropes), les ovules couchés (campylotropes) et les ovules renversés (anatropes).

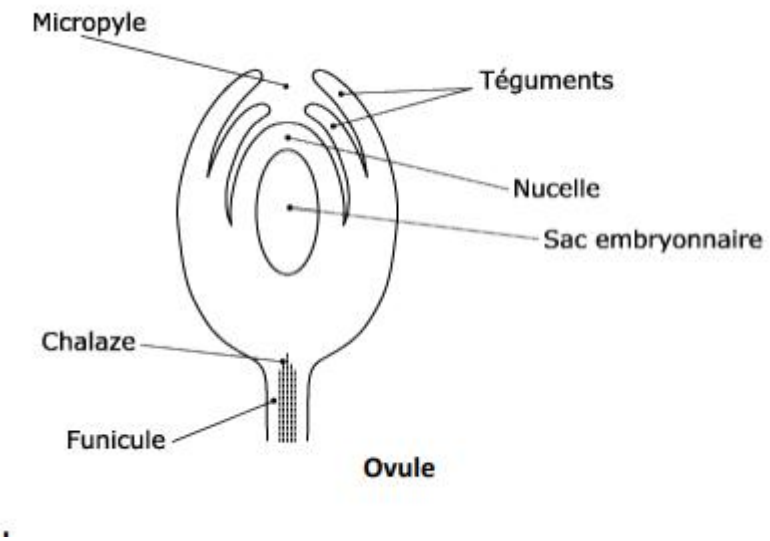


Figure 79 : Schéma d'un ovule.

a.La formation de l'ovule

L'ovule est formé par une prolifération locale du placenta : un massif cellulaire se détache d'abord pour former le nucelle; par la suite se développent deux bourrelets enveloppant : Ce sont les téguments (T1 et T2). Ces téguments se développent en couvrant peu à peu le nucelle en laissant un pore appelé le micropyle. L'ovule ayant atteint sa taille maximale est insérée au placenta par le biais d'un petit pédicelle, le funicule. Téguments et nucelle sont soudés à la base.

b. La formation du sac embryonnaire (Figure 80, 81)

Une cellule le plus souvent sous épidermique située sous le micropyle du nucelle se distingue par sa grosseur : cellule mère, celle-ci subit une méiose donnant quatre cellules haploïdes : les macrospores dont les trois cellules proches du micropyle se désorganisent, la macrospore fonctionnelle subit un accroissement important, tandis que son noyau subit 3 mitoses consécutives conduisant à la formation de 8 noyaux qui se répartissent de façon suivante :

- au pôle micropylaire : 3 noyaux qui forment 3 cellules entourées d'une membrane protoplasmique : l'oosphère (gamète femelle) et les 2 synergides

- au pôle chalazien : 3 noyaux qui forment les 3 antipodes entourés d'une membrane cellulosique

- au centre : 2 noyaux du sac restent côte à côte qui forme la cellule centrale

L'ensemble de ces 7 cellules ainsi formées constitue le sac embryonnaire.

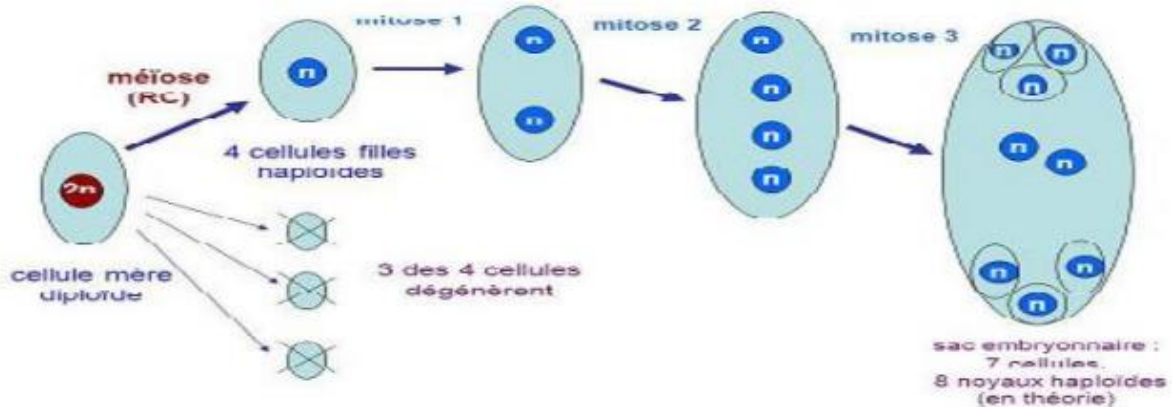


Figure 80 : Formation du sac embryonnaire.

(fac.umc.edu.dz)

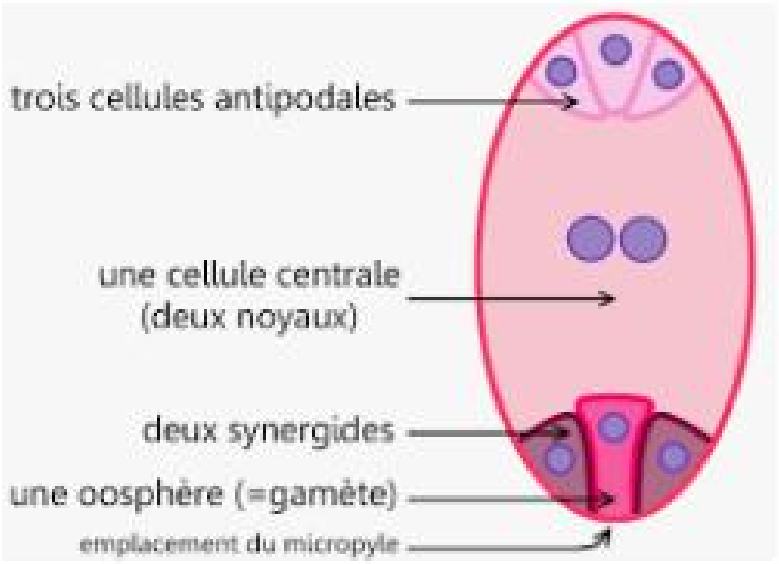


Figure 81 : Schéma du sac embryonnaire.

(fr.wikipedia.org)

5.2. La gamétogenèse male

a-Le grain de pollen

Les grains de pollen se forment dans les étamines. Ils sont généralement arrondies ou ovoïdes avec un diamètre qui s'étend entre 7 µm et 150 µm (Figure 82). Le grain de pollen est formé d'un manteau pollinique composé d'exine à l'extérieur et d'intine à l'intérieur ;

-L'exine est composé d'une molécule imputrescible nommée sporopollénine. Cette couche comporte des apertures qui permettront l'émission du tube pollinique, elle est ornementée.
-L'intine est fragile, formée de cellulose non modifiée et d'autres polysaccharides.
-D'une cellule végétative qui intervient surtout dans la germination et l'allongement du tube pollinique.
-D'une cellule reproductrice, excentrée et entourée par la cellule végétative, le noyau génératif, donnera les noyaux spermatiques ou les gamètes mâles.

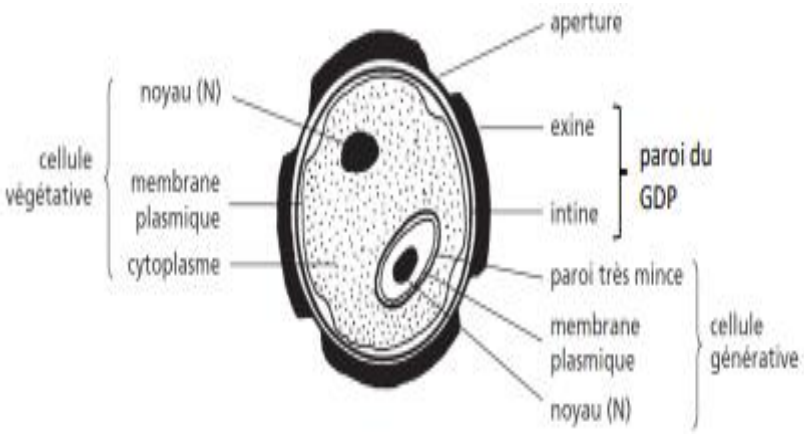


Figure 82 : Structure du grain de pollen d'après Peycru et al. (2010).

b-Formation du grain de pollen

Lors de la différenciation de l'étamine, les sacs polliniques s'individualisent en comportant des archéospores qui sont complètement entourées d'une assise nourricière, le tapis, qui se désintégrera au cours de la maturation du pollen. Vers l'extérieur de l'anthère, le tapis est renforcé par plusieurs assises cellulaires appelées assises intermédiaires et d'un épiderme.
Les archéspores évoluent en sporocytes ou cellules-mères de microspores qui subissent la méiose qui conduit à la formation d'une tétrade de cellules haploïdes. Celles-ci finissent par s'individualiser en microspores isolées possédant une paroi externe (l'exine) qui s'imprègne de

sporopollénine et une paroi interne (l'intine). Cette dernière subit une mitose asymétrique conduisant à la formation d'une grande cellule végétative et d'une petite cellule génératrice. Au moment de la fécondation le grain de pollen déposé sur le stigmate, évolue en tube pollinique, et la cellule génératrice subit une nouvelle mitose donnant lieu à deux cellules spermatiques, appelées gamètes mâles (deux spermatozoïdes). La cellule végétative est riche en tissus de réserves qui doit permettre la croissance du tube pollinique (Figure 83).

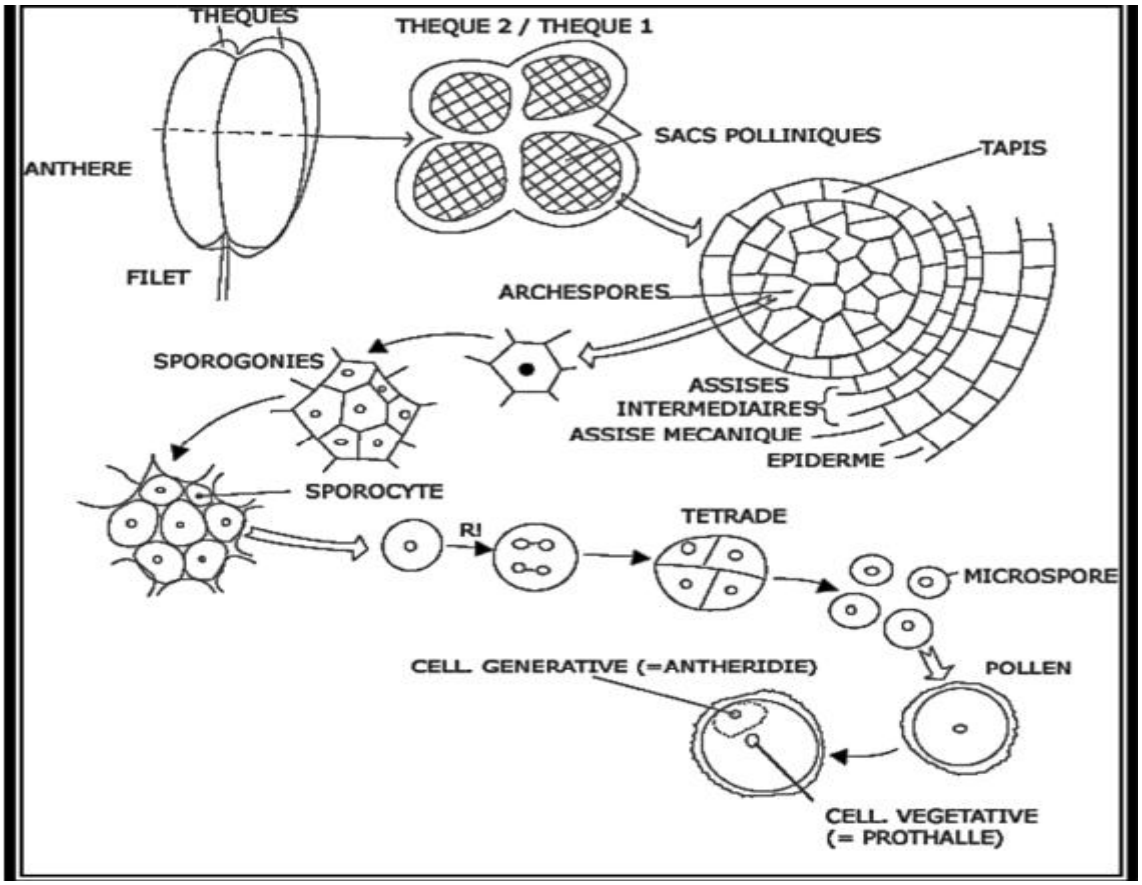


Figure 83 : La formation du grain de pollen

Chapitre 6

La fécondation

6.1. Œuf et embryon

La fécondation peut se décomposer en plusieurs phases :

-La pollinisation

C'est le transport du pollen des plantes de l'organe reproducteur mâle, l'étamine, à l'organe reproducteur femelle, le pistil. Elle permet la fécondation. Selon les espèces, la pollinisation peut impliquer une seule fleur (autopollinisation) ou deux fleurs distinctes (pollinisation croisée).

Dans la nature, les moyens de pollinisation sont nombreux :

- Le vent est un bon vecteur pour le pollen qui est très léger, c'est la pollinisation anémophile.
-Les insectes ont également un rôle important, ils servent pour le transport du pollen c'est la pollinisation entomophile.

-Si la pollinisation s'effectue grâce aux oiseaux on dit que c'est une pollinisation ornithophile.

- La germination du pollen

Après son transport par le vent ou les insectes, le grain de pollen se dépose sur le stigmate d'une fleur. Dans sa partie supérieure, le stigmate est recouvert de papilles dont le rôle est de recevoir et d'hydrater le grain de pollen. L'hydratation du grain de pollen favorise sa germination : il forme dans ce cas-là un tube pollinique qui va progresser dans le stigmate vers la base de la fleur. Le tube pollinique contient les gamètes males (les spermatozoïdes) qui vont ainsi être transportés jusqu'à l'ovule dans lequel se trouve le gamète femelle (l'oosphère). C'est à ce niveau que la double fécondation est réalisée.

-La double fécondation

Pendant qu'ils se rapprochent des ovules, les deux noyaux subissent des modifications telles que :

• Le noyau végétatif assure la formation du tube pollinique puis se désintègre et disparait.

• Le noyau reproducteur se divise en deux gamètes mâles à n chromosomes : les anthérozoïdes. Le tube pollinique digère le nucelle et pénètre dans le sac embryonnaire. Un anthérozoïde se fusionne à l'oosphère afin de former l'œuf principal ou œuf embryon à 2n (Fécondation 1). L'autre anthérozoïde féconde la cellule centrale diploïde à deux noyaux polaires en donnant naissance à une cellule à 3n appelée œuf accessoire ou œuf albumen (fécondation 2) (Figure 84).

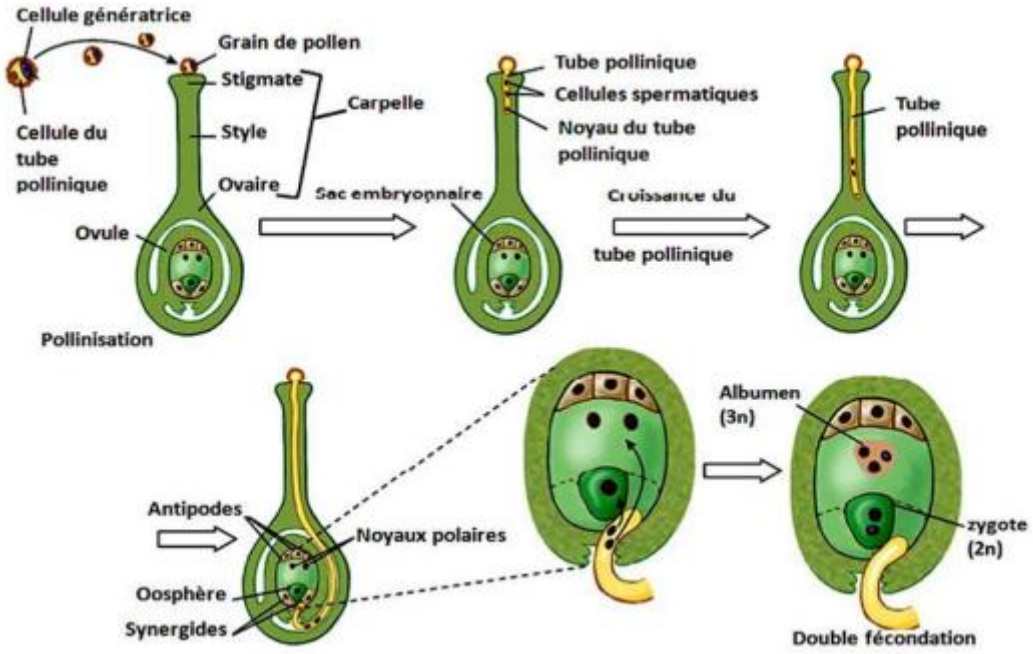


Figure 84 : Schéma du processus de la double fécondation.

-La formation de la graine

L'ovule fécondé se transforme en graine en 3 temps :

- l'œuf accessoire se divise en un grand nombre de cellule afin de donner un tissu de réserve disposé autour du sac embryonnaire : l'albumen qui grandit aux dépens du nucelle.

- L'œuf principal se divise graduellement en donnant un massif de cellule comprenant un suspenseur et un embryon ou plantule avec une radicule, une tigelle, un bourgeon ou gemmule et une ou deux cotylédons. Après la formation de l'embryon et de l'albumen, leur destinée dépend du type de graine :

- Si l'albumen grandit rapidement, l'embryon va grandir moins vite. La graine sera constituée ainsi d'un epais albumen et d'un petit embryon : on parle dans ce cas de graine à albumen.

- Si l'embryon grandit plus vite que l'albumen, il détruit entièrement le nucelle et développe d'énormes cotylédons. La graine ne contient donc qu'un embryon avec des cotylédons : on parle de graine sans albumen.

6.2. Notion de cycle de développement

Comme les animaux, les plantes naissent, croissent, se reproduisent, se développent et meurent. La graine est souvent le point de départ qui renferme une plantule, cette dernière grandira au cours de la germination. La plantule est alimentée par les cotylédons qui sont des petits sacs qui contiennent les réserves de la graine. Les grains de pollen sont déposés par le biais du vent ou les insectes, sur le pistil. Un seul grain de pollen qui assurer la fécondation d'un ovule. Les sépales et les pétales se flétrissent peu à peu et tombent. La base du pistil (appelé aussi ovaire) se transforme en fruit tandis que l'ovule se transforme en graine. Les fruits en tombant au sol donneront peut-être une nouvelle plante. Ce sera la germination. L'enveloppe du fruit pourrira, permettant à la graine de germer. Les premières racines se développeront et la plantule sortira de terre. La plante grandit et se nourrit encore grâce aux réserves de la graine. Elle devient adulte et se nourrit maintenant grâce aux racines. Elle portera des fleurs qui annoncent la période de la reproduction sexuée. Cette dernière se poursuivra par la formation des fruits contenant les graines (Figure 85).

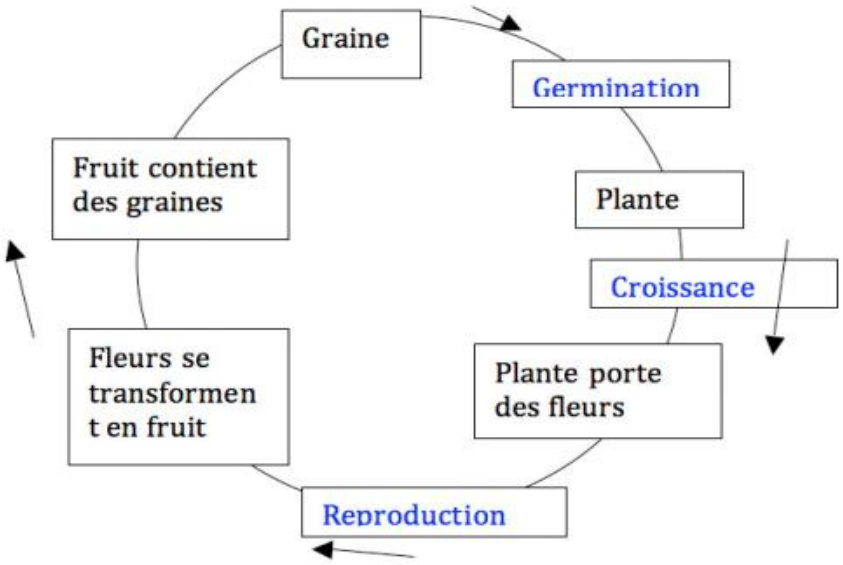


Figure 85 : Cycle de développement des spermaphytes.

Références bibliographiques

1. Remy, S., Bodson, M., Troussart, JP., Welcomme, L., Calmant, P., Vancleve, J., Depiereux, E. (2004). Atlas d'histologie et d'anatomie des plantes vasculaires [cédérom]. Presses universitaires de Namur.

2. Gorenflot. (1992). Biologie végétale. Plantes supérieures II – Appareil reproducteur. 3ème édition. Edition Masson. 255 pp.

3. DIEUMEGARD, P. Anatomie végétale - SVT en prépa BCPST.

4. Harmont, J. (2000).Biologie végétale. paréd. Deboeck université. 944 pp.

5. Robert, D., Catesson, AM.(2000). Biologie végétale, Organisation végétative. volume 2, part. 359 pp.

6. Terral, JF., Heinz, C. (2011). Diversité et fonction des structures morpho-anatomiques des végétaux : l'exemple des Angiospermes. FLBI204,Université Montpellier 2, Licence Biologie .

7. Rameau, J C., Mansion, D., Dumé Paris, G. (1995) Flore forestière française : guide écologique illustré. Montagnes Institut pour le développement forestier et Ministère de l'Agriculture et de la Forêt. 1993, 2424 pp.

8. UPMC Université de la Sorbonne. (1992). Reproduction et développement des végétaux. Dunod. Genevès. 233 pp.

9. UPMC Université de la Sorbonne. (2013). Bases de biologie végétale, aménagement et gestion écologiques des Paysages urbains (AGEPUR).

10. Ozenda, P. (2006). Les végétaux. Organisation et diversité biologique. 2ème Ed. DUNOD. Paris. 516p

11. Laberche, JC. (2010). Biologie végétale. 3ème Ed. DUNOD. Paris. 305

12. Raven PH., Evert, RF., Eichhorn, SE. (2008). Biologie végétale. 2ème Ed. De Boeck. 733