

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université de Biskra

Faculté des Sciences exactes et des sciences de la Nature et de la Vie

Département des sciences agronomiques

Eléments fondamentaux en Biologie végétale

Destinés aux étudiants :

1^{ère} année SNV

Préparés par : ***Dr. Benaziza Abdelaziz***

Année Universitaire 2021/2022

Introduction :	1
I. Classification des végétaux :	2
1. Les procaryotes :	3
2. les eucaryotes :	3
2.1 Les thallophytes :	3
2.1.1 Les algues :	3
2.1.2 Les champignons :	4
2.1.3 Les Lichens :	4
2.2.1 Les Cryptogames :	5
2.2.1.1 Les ptéridophytes :	5
2.2.1.2 Les Bryophytes : (Mousses) :	5
2.2.2 Les Phanérogames :	6
2.2.2.1 Les Gymnospermes :	6
2.2.2.2 Les Angiospermes :	6
II. Cytologie :	8
1. Paroi squelettique ou pecto cellulosique :	8
1.1 La Paroi primaire :	8
1.2 La paroi secondaire :	8
2. Lamelle moyenne :	8
3. Membrane cytoplasmique ou Plasmalemme :	8
4. Cytoplasme fondamental ou hyaloplasme :	9
4.1 Les vacuoles :	9
5. Le noyau : (cerveau de la cellule) :	10
5.1 Structure :	10
5.1.1 Enveloppe nucléaire :	10
5.1.2 Le nucléoplasme : (suc nucléaire) :	10
5.1.3 La chromatine :	10
5.1.4 Les nucléoles :	10
5.2 Rôle :	10
6. Les constituants cellulaires et leurs rôles :	10
6.1 Réticulum endoplasmique :	10
6.2 Les ribosomes :	11
6.3 Appareil de Golgi :	11
6.4 La Mitochondries :	11
6.5 Les plastes :	12
6.5.1 Les chloroplastes :	12
6.5.2 Les chromoplastes :	12
6.5.3 Les protéoplastes :	12
6.5.4 Les Amyloplastes :	13
III. HISTOLOGIE :	13
1. Les méristèmes :	14
1.1 méristèmes primaires :	14
1.2 Méristèmes secondaires :	14
2. Les parenchymes :	14
2.1 Parenchymes chlorophylliens :	15
2.2 Les parenchymes de réserves :	16
2.3 Parenchymes aquifères :	16
2.4 Parenchymes aérifères :	16
3. Les tissus protecteurs :	16
3.1 Les épidermes :	17
3.2 Le liège ou Suber :	18

4. Les tissus conducteurs :	18
4.1 Le xylème primaire:	19
4.1.1 Éléments conducteurs :	20
4.1.1.1 les Trachéides :	20
* Trachéides aréolées :	21
* Trachéides scalariformes :	21
4.1.1.2 Les vaisseaux ligneux :	21
* Le protoxylème :	22
* Le métaxylème :	22
4.1.2 Les fibres :	23
4.1.3 Les cellules parenchymateuses :	23
4.2 Le xylème secondaire ou bois :	23
4.2.1 Bois des gymnospermes :	24
4.2.2 Bois des angiospermes :	24
4.3 Le phloème primaire:	24
*Les cribles:	25
4.3.1 Le protophloème:	26
4.3.2 Le métaphloème:	26
4.4 Le phloème secondaire (Liber :	27
4.4.1 Liber des gymnospermes :	27
4.4.2 Liber des angiospermes :	27
4.5 Parenchyme libérien et fibres libériennes :	27
5. Tissus de soutien :	27
5.1 Le collenchyme :	28
5.2 Le sclérenchyme :	28
5.2.1 Les fibres :	28
5.2.2 Les sclérites :	28
6. Les tissus sécréteurs :	29
6.1 Les cellules sécrétrices isolées:	29
6.2 Épidermes et poils sécréteurs :	29
6.3 Poches et canaux excréteurs :	30
6.4 Les laticifères :	30
IV. Étude anatomique des différents organes végétatifs	30
I. La tige :	30
1. La structure primaire :	30
1.1 Structure primaire de la tige chez les angiospermes dicotylédones :	30
1.2 Organisation des faisceaux criblovasculaires :	31
1.3 Sens de différenciation des tissus conducteurs dans un faisceau criblo vasculaire :	32
1.3.1 Différenciation transversale :	32
1.3.2 Différenciation longitudinale:	33
1.2 Structure primaire de la tige chez les angiospermes monocotylédones :	33
2. structure secondaire :	34
2.1 Origine de la structure secondaire : Les zones génératrices.	34
2.1.1 La zone génératrice libéro ligneuse ou cambium :	34
2.1.1.1 La Formation :	34
2.1.1.2 Activité :	35
2.1.2 La zone génératrice subéro phellodermique ou phellogène :	35
2.1.2.1 La formation :	35
2.1.2.2 Activité :	36
2.2 Structure secondaire des tiges ligneuses :	36

2.2.1 Disposition des tissus conducteurs secondaires:	36
2.2.2 Disposition des tissus protecteurs secondaires (périderme):.....	37
2.2.3 Le devenir des tissus de la structure primaire :	38
2.3 Structure secondaire des tiges herbacées :	38
II. La racine :	38
1. Structure primaire des racines	38
1.1. Assise pilifère :	39
1.2 écorce :	39
1.3 Cylindre central :	39
2. Racines des spermaphytes (Angiospermes et gymnospermes):	40
2.1 Racines à évolution vasculaire complète :	40
2.2 Racines à évolution vasculaire incomplète :	41
2.3 Passage de la structure primaire de la racine à la structure primaire de la tige :.....	41
1. Base de l'hypocotyle :	42
2. Milieu de l'hypocotyle :	42
3. Sommet de l'hypocotyle :.....	42
2.4 Formation des racines secondaires :	42
3. Structure secondaire des racines :	42
3.1 Zone génératrice libéro ligneuse (cambium) :	42
3.2 Zone génératrice subéro phellodermique :	43
Références Bibliographiques :	44

Introduction :

Ce document pédagogique de Biologie végétale est consacré aux **Cormophytes et aux thallophytes. Les plantes à fleurs ou Phanérogames** (de phaneros : apparent et gamos : union).

Ce sont les végétaux les moins et les plus évolués qui constituent dans la nature actuelle la majeure partie des peuplements terrestre et font l'axe primordial de ce travail. La division du travail physiologique et la différenciation cellulaire y sont très marquées. La plante comporte plusieurs parties distinctes, ou organes, ayant chacun une structure et des fonctions propres.

L'appareil végétatif est typiquement constitué de racines, tiges et feuilles ; les organes reproducteurs sont groupés en rameaux très modifiés, les fleurs, qui conduisent à la formation des graines (d'où le nom de **Spermaphytes**, de sperma : semence, également donné à cet ensemble).

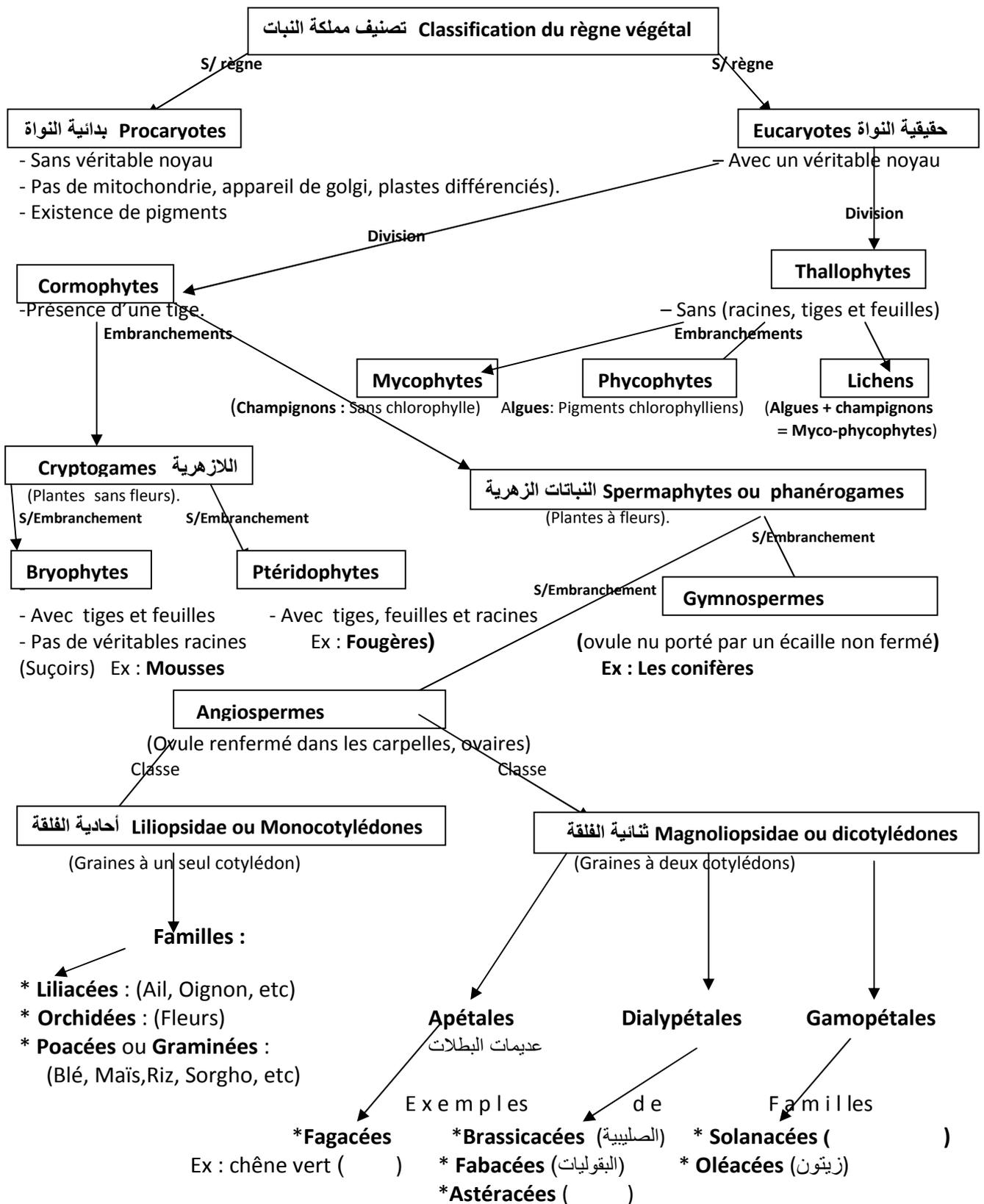
Dans ce polycopié les divers aspects sont traités notamment la classification des végétaux, la cytologie et les structures d'organes des principaux tissus des deux structures primaire et secondaire et sont illustrées clairement. Les données ont été revues et précisées au vu des nouvelles données de classification.

Le but est de présenter, de façon simple, une documentation nécessaire aux étudiants des sciences de la nature et de la vie en associant les données classiques aux résultats obtenus au niveau ultra-structural. L'illustration photographique est complétée par un texte et des schémas synthétiques se situant au niveau des programmes du tronc commun licence sciences de la nature et de la vie. Cet ouvrage sera également précieux pour la préparation aux concours de recrutement de l'enseignement en sciences expérimentale.

I. Classification des végétaux :

BIOLOGIE VEGETALE : ETUDE DES ETRES VIVANTS VEGETAUX

بيولوجيا نباتية : دراسة الكائنات الحية النباتية



Tous les êtres vivants sont répartis en : procaryotes et Eucaryotes

2. Les procaryotes :

-) Sont peu évolués
-) Les cellules sont peu évoluées
-) Le noyau est individualisé
-) Absence de membrane nucléaire
-) Bactéries : Microbes unicellulaires de formes : - allongée (Bacilles) ex : Colli bacile, E. Colli Sphérique (coques) ex : bacille de Coque
-) Cyanobactéries : Classes des bactéries voisins d'algues bleu (Cyano = bleu).

2. les eucaryotes : ils sont caractérisés par :

-) Des cellules plus évoluées
-) Des noyaux bien individualisés
-) La présence des mitochondries
-) La présence des plastes
-) Ils sont généralement autotrophes (hétérotrophes).

2.1 Les thallophytes : Ils sont caractérisés par :

-) Un appareil végétatif formé d'un thalle
-) Absence des feuilles
-) Absence des racines
-) Absence de tiges

On distingue :

les algues (), les champignons (الفطريات) et les lichens (الاشنيات).

2.1.1 Les algues :

Appartiennent à l'embranchement des phycophytes, contiennent un pigment et une chlorophylle. On compte environ 250.000 espèces, ils mènent une vie aquatique (mère et eau douce), ils sont non vasculaires (thallophytes). Cet embranchement contient trois sous embranchements :

-) Sous embranchement des **Chlorophytes** (algues vertes) : ils contiennent uniquement la chlorophylle.
-) Sous embranchement des **Chromophytes** (algues brunes) : ils contiennent la chlorophylle et un pigment brun.
-) Sous embranchement des **Rodophytes** (algues rouges) : ils contiennent la chlorophylle et un pigment rouge.

Certaines classifications placent les cyanophytes comme sous embranchement des phycophytes.

Le mode de reproduction des phycophytes est végétatif ou sexué.



Figure 1 : Les algues sous microscope.

2.1.2 Les champignons :

Ne contiennent pas de chlorophylle, vivent en parasite ou en saprophyte de la matière organique, appartiennent à l'embranchement des Mycophytes, leur paroi n'est pas cellulosique (exception des Oomycètes) mais à base de chitine, leurs réserves sont de la matière organique et du glycogène; probablement proviennent d'algues après disparition de la chlorophylle.

Leur appareil végétatif est un thalle filamenteux (hyphe) dont l'ensemble forme le mycélium.

Le mode de reproduction est asexué (végétatif) ou sexué (fusion des deux gamètes mâles et femelles).

Les champignons peuvent être associés aux plantes supérieures pour former les mycorhizes (ex : Betterave) ou avec les algues pour former les lichens.



Figure 2 : Les champignons des bois

2.1.3 Les Lichens :

Sont formés par l'association des algues et des champignons, les algues assurent la matière organique et les champignons assurent l'eau et les sels minéraux. Il existe environ 20.000 espèces, exemple : Xanthoria des murailles, ce sont des plaques jaunes-oranges fixés sur des vieilles pierres ou écorces d'arbres.



Figure 3 : Les Lichens sur arbres.

2.2 Les Cormophytes :

2.2.1 Les Cryptogames :

2.2.1.1 Les ptéridophytes : (Fougères, Ptéridos= aile ou plume),

C'est l'embranchement le plus ancien des végétaux vasculaires, ils sont formés de feuilles, tiges et racines. Ils poussent sur les vieux murs et émettent des rhizomes à fines racines et des feuilles appelées frondes, sous les quelles sont groupées des amas de sporanges en formes de lobes jaunes, portés par des pédicelles qui se rompent en libérant des spores monocellulaires, ovales et leur germination donne naissance à un nouveau matériel végétal.



Figure 4 : Les Fougères

2.2.1.2 Les Bryophytes : (Mousses) ; Cryptogames non vasculaires, ils sont formés de feuilles, de tiges et pas de véritables racines. Ils se multiplient par voie asexuée (végétatif) ou sexuée (gamètes).



Figure 5 : Mousses sur troncs d'arbres et Mousses sur une roche

2.2.2 Les Phanérogames :

(**Phanéros** : visible, **games** : fleurs) = (Spermaphytes = plantes à graines). Ils sont formés par des plantes à fleurs ou à graines, ils contiennent de véritables racines, tiges et feuilles. Leur multiplication se fait par voie sexuée (étamines et carpelles) ou asexuée (multiplication végétative). Tous les organes sont parcourus par des vaisseaux conducteurs des sèves « plantes vasculaires », ils portent des fleurs (étamines (pollen) et carpelles (ovules)). Les ovules fécondés se transforment en grain contenant une plantule et des réserves nutritives nécessaires à la germination (plantes à graines), ils sont divisés en deux sous embranchements :

2.2.2.1 Les Gymnospermes :

Ce sont des arbres ou des arbrisseaux, leurs feuilles possèdent de faible surface ou sous forme d'aiguilles (épines) ou d'écailles et persistantes.

Ils ont des fleurs, les unes réduites à des étamines les autres à des carpelles ; c'est des fleurs simples souvent en forme de cônes, les plus représentatifs de ce sous embranchement (conifères exemple : Le pin), se sont plus diversifiés.

Les carpelles ne sont jamais fermés. Ils portent des ovules mais ne les enferment pas. Les graines sont également nues, renferment une plantule à nombre variable de cotylédons.

La multiplication se fait par voie sexuée, ils sont généralement formés d'espèces monoïques (fleurs mâles et fleurs femelles sont portées par un seul pied) ou dioïques (fleurs mâles et fleurs femelles sont portées par deux pieds différents).

2.2.2.2 Les Angiospermes :

(**Angio** : cavité ou enveloppe, **spermes** = graines) : Ils sont caractérisés par :

- ✓ La présence d'un ovaire complètement clos dans lequel sont enfermés les ovules.
- ✓ Des plantes à port très variés (ligneux : ex. Palmier et herbacé : ex. Haricot).

- ✓ Des fleurs unisexuées ou hermaphrodites ; étamines typiques avec filet et anthère, le gynécée peut être constitué par un ou plusieurs carpelles libres ou soudés contenant un nombre variable d'ovules surmonté par des styles et des stigmates.
- ✓ La transformation de l'ovaire fécondé en fruit contenant des graines.
- ✓ Une grande diversité au niveau des espèces et des variétés et on les rencontre dans les divers milieux.

Une première classification en deux grandes classes (Monocotylédones et dicotylédones).

- les monocotylédones : (mono = un et cotylédon = lobe) ex. Blé, Mais,....
- Les dicotylédones : se caractérisent par un polymorphisme foliaire, disposition des nervures,

le type floral, ils sont divisés en :

- Apétales (sans pétales)
- Dialypétales (pétales libres ou séparés)
- Gamopétales (pétales soudés).

II. Cytologie :

Tous végétal est formé d'au moins d'une cellule, capable d'assurer les fonctions vitales de nutrition, de respiration et de synthèse. Chaque cellule est constituée d'une enveloppe plus rigide « paroi », qui limite le cytoplasme où baignent les inclusions telle que le noyau, vacuoles, plastes,

Deux enveloppes entourent la cellule végétale :

a. Paroi squelettique ou pecto cellulosique :

La paroi est épaisse, rigide, assure le maintien de la cellule et ses liaisons physiques avec les cellules voisines. Elle assure la tenue du végétal, elle est inerte et perméable, formée de plusieurs couches dont la structure et l'épaisseur varient selon l'âge et le type de la cellule et qui sont de l'extérieur à l'intérieur de la cellule.

i. La Paroi primaire :

De 1 à 3 μm d'épaisseur, elle existe chez les cellules méristématiques et de nombreux parenchymes jeunes. Elle est formée de micro fibrilles de cellulose, disposés en réseaux, des composés pectiques, des hémicelluloses, des protéines de structure et une forte proportion d'eau (jusqu'à 60 %). Ces parois primaires sont élaborées par le cytoplasme et sont formées d'une ou de plusieurs couches. C'est l'unique paroi des cellules indifférenciées et en voie de croissance.

ii. La paroi secondaire :

Elle apparaît dès que la paroi primaire à terminer sa croissance, elle est rigide, d'épaisseur très variable, formés de plusieurs couches dont les récentes sont les plus internes ; il s'agit de micro fibrilles de cellulose disposés en strates hélicoïdales parallèles ou croisées, elles contiennent aussi des hémicelluloses et d'autres glucides, elle peut s'imprégner de lignine, de silice ou de subérine (ex : le liège). Cette paroi n'existe pas chez tous les tissus adultes, elle est élaborée par des cellules spécialisées.

b. Lamelle moyenne :

Couche mitoyenne entre deux cellules, c'est un ciment de composé pectiques (pectates de calcium et de magnésium), insolubles dans l'eau, de ce fait elle assure la cohésion entre les cellules. Chez les cellules âgées, elle est imprégnée de lignine. Les composés pectiques peuvent être hydrolysés par des enzymes pectinases, cas de la plus part des fruits et deviennent solubles durant la maturité des fruits.

c. Membrane cytoplasmique ou Plasmalemme :

La membrane, fine et interne qui limite le cytoplasme : membrane plasmique. Elle limite le cytoplasme de toutes les cellules, invisible au microscope optique, assure les échanges d'eau, d'ions, de sucres, acides aminés, de protéines,...

Le plasmalemm est composé de trois feuillets ; deux bandes sombres entourant une bande claire. Cette membrane est appelée membrane unité ou unité membranaire. C'est la même composition que celles du réticulum endoplasmique, des vacuoles (tonoplaste) et corps de golgi, elle est doublée chez les mitochondries et les plastes.

Ces feuillets sont des phospholipides dont deux sont hydrophiles et un hydrophobe. Le feuillet clair est formé d'une double couche de phospholipides aux molécules opposées et le feuillet sombre par une couche de protéines et la partie hydrophile sont des phospholipides.

3. Cytoplasme fondamental ou hyaloplasme :

Au microscope photonique, il apparaît comme une substance colloïdale, homogène, transparente, plus au moins visqueuse et élastique. Il présente :

- ✓ Une structure fibreuse, formée de microfilaments et de microtubules de 5 à 25 nm
- ✓ Une composition organo minérale : 70 % à 90 % d'eau qui diminue à 10 % chez les graines mûres, 10% à 30 % de matières sèches qui se répartie en : 2 à 6 % de matières minérales, 8 à 24 % de matières organiques. Les éléments minéraux (Ca, P, S, K, Mg,...) sont en partie des sels dissous et d'ions et les substances organiques sont des glucides, lipides et protides.

4. Les vacuoles :

Ce sont des réserves régulateurs de la cellule végétale, occupe plus de 90 % du volume cytoplasmique et rempli d'un liquide riche en eau : suc vacuolaire.

Le développement est bien visible chez les cellules méristématiques, elles sont petites, nombreuses et filamenteuses, elles augmentent de volume et se rassemblent pour former une vacuole unique chez les autres types de cellules.

La variation de la teneur en eau des cellules est en fait due à la variation de la teneur en eau de la vacuole (turgescence ou plasmolyse), la vacuole tamponne cette variation par le phénomène d'osmose.

Le suc vacuolaire varie du liquide au solide, il contient de l'eau (constituant principal), glucides (glucose, fructose, saccharose,...), des acides organiques (acides malique, citrique, oxalique,...) des tanins, des acides aminés, des colorants (ex : anthocyanes,...), des sels minéraux et des ions (nitrates, phosphates,...) et des cristaux (ex : oxalate de calcium).

Chez les grains mûres, les vacuoles se déshydratent (10 % d'eau) pour former les grains d'aleurodes « vacuoles solides ».

5. Le noyau : (cerveau de la cellule)

5.1 Structure :

Il est de forme sphérique chez les cellules jeunes (méristèmes) et souvent lenticulaire chez les cellules végétales. Sa taille varie selon la taille de la cellule et du nombre de chromosomes, en dehors de la période de division le noyau comprend :

5.1.1 Enveloppe nucléaire :

Double membrane de type cytoplasmique, ponctué de pores nucléaires permettant les échanges avec le cytoplasme.

5.1.2 Le nucléoplasme : (suc nucléaire) :

Substance incolore, qui remplit l'espace libre du noyau, il assure la turgescence, riche en protéines simples et en phosphates sans acides nucléiques ni lipides, il possède des propriétés proches de celles du cytoplasme.

5.1.3 La chromatine :

Plus dense que le nucléoplasme, constitué de filaments enchevêtrés répartis dans tout le suc nucléaire. On parle d'euchromatine quand ils sont lâches et d'hétérochromatine quand ils sont tassés. La chromatine est la forme des chromosomes en dehors des périodes de division, elle est formée d'ADN (Acide désoxyribonucléique).

5.1.4 Les nucléoles :

Ce sont des inclusions nucléaires, de forme sphérique, leur nombre varie en fonction des espèces et leur forme selon l'état physiologique des cellules. Ils ne sont plus séparés du suc nucléaire. Ils sont formés de fibrilles et des granules qui renferment des ARN (acides ribonucléiques).

5.2 Rôle :

Le noyau est le cerveau de tout ce qui doit être exécuté dans la vie non seulement d'une cellule mais de l'individu tout entier.

6. Les constituants cellulaires et leurs rôles :

6.1 Réticulum endoplasmique :

Est un organite du hyaloplasme, sous forme de tubules ou de saccules anastomosées en réseaux (= réticulum), ils sont limités par une membrane simple d'environ 50 Å et entourant un espace interne transparent. Certains éléments du réticulum ont une membrane tapissée extérieurement (du côté du hyaloplasme) par des grains osmiophiles de 150 à 300 Å de diamètre (ribosomes), cette forme constitue le réticulum endoplasmique granuleux ou ergastroplasme (siège de la synthèse des protéines). Les parties du réticulum dépourvues de ribosomes constituent le réticulum endoplasmique lisse (siège de la synthèse des lipides). Cet organite pourrait intervenir dans la circulation intra et inter cellulaire de certaines substances, il est en rapport direct avec la

membrane nucléaire grâce aux évaginations tubuleuses formées par cette dernière, il joue le rôle d'entrepôt et avec l'appareil de golgi il prépare les molécules qui doivent être excrétées.

6.2 Les ribosomes :

Ce sont des grains très osmiophiles, épais dans le cytoplasme ou appliqués contre la membrane du réticulum endoplasmique. Ils sont constitués de protéines et un ARN (ARN ribosomal) et des lipides. Ils peuvent être groupés en polyribosomes par l'ARN messenger.

6.3 Appareil de Golgi :

Il est découvert dans les cellules du méristème racinaire de l'oignon, il est formé de plusieurs éléments, les dictyosomes; lignes parallèles et serrées, réunies deux à deux par un contour plus au moins délaté. Son aspect correspond à un empilement de saccules, limitées par une membrane simple, fortement aplatie mais renflés en ampoules sur leur bord qui peuvent se détacher et devenir indépendante (vésicules golgiennes séparées du dictyosome).

Les dictyosomes jouent un rôle sécrétoire (sécrétion), élaboration des parois cellulaires, accumulation des produits divers élaborés dans d'autres organites et transportés par les vésicules golgiennes vers les lieux d'excrétion.

Les saccules golgiennes contiennent des enzymes capables de greffer les sucres, les groupements phosphates et des acides gras sur des protéines envoyées par le réticulum endoplasmique et d'autres vésicules contiennent des enzymes capables de digérer des éléments cellulaires à renouveler (ex : mitochondrie vieillissantes) , se sont des digesteurs cellulaires ou lysosomes.

6.4 La Mitochondries :

Microcentrale énergétique de la cellule (chondriosomes) (chondrios = grain et mitos = fils), 5 à 10 μm de long et de 0.3 à 1 μm de section, elles sont souples déformables et se déplacent dans le cytoplasme grâce aux mouvements de cyclose, elles proviennent de la division des mitochondries préexistantes comme elles se fusionnent pour former une grosse mitochondrie.

Les mitochondries sont limitées par une double membrane de 4nm ; l'une est externe et l'autre est interne qui se prolonge à l'intérieur par des crêtes mitochondriales sur laquelle fixée des milliers de corpuscules sphériques qui sont des protéines-enzymes « ATP ases »capables de synthétiser l'ATP = ATP synthase = pompe à protons= pompe à ions H^+ .

La mitochondrie dispose d'un équipement autonome de multiplication ADN et ARN comme dans le noyau et des ribosomes responsables de la synthèse des protéines ; c'est organite semi-dépendant. Ils permettent la fabrication de l'ATP (Adénosine tri phosphate), source d'énergie à partir des glucides et de l'oxygène.

6.5 Les plastes :

Ce sont des organites cytoplasmiques de dimension plus grandes que celles des mitochondries, ils sont capables d'accumuler des produits variés qu'ils élaborent : ce pouvoir élaborateur qui définit les plastes. D'après la nature des produits élaborés, on distingue divers catégories de plastes, la plus importante et les chloroplastes (siège de la photosynthèse).

6.5.1 Les chloroplastes :

Ils ont la forme de disques lenticulaires de 4 à 6 μm , ils sont nombreux dans chaque cellule, organites proches des mitochondries et porteurs d'ADN, capables donc de se diviser sans appel au noyau. Ils sont entourés par une membrane double, enveloppant un liquide (stroma = nappe), cette membrane donne naissance à des lamelles et des empilements de pastilles verts (= thylakoides) de 0.5 μm de section dont la paroi contient un pigment vert ; la chlorophylle et des enzymes nécessaires à la photosynthèse. L'ensemble de ces thylakoides forme le granum, leur surface est ponctuée des milliers de corps sphériques qui sont des ATP somes = ATP synthase capables de synthétiser l'ATP qui sera stockée dans les glucides. Par contre chez les mitochondries l'ATP est fournie directement aux cellules pour leurs réactions exigeant l'énergie.

Les chloroplastes contiennent l'ADN, ARN, des ribosomes, des protéines et des enclaves d'amidon (grains d'amidon) qui constituent la forme de stockage du glucose synthétisé par les chloroplastes. Ils permettent l'utilisation de l'énergie solaire, de l'eau et du CO_2 pour synthétiser le glucose, tête de fil de toute réaction organique et de rejeter l' O_2 dans l'atmosphère. C'est grâce aux chloroplastes que les végétaux chlorophylliens sont autotrophes pour le carbone.

6.5.2 Les chromoplastes :

Ce sont des plastes colorés par des pigments autres que la chlorophylle ($\text{C}_{55}\text{H}_{72}\text{O}_5\text{N}_4\text{Mg}$), soit jaune comme les xanthophylles ($\text{C}_{40}\text{H}_{54}(\text{OH})_2$), soit oranges ou rouges comme les carotènes et lycopènes ($\text{C}_{40}\text{H}_{56}$). On rencontre les lycopènes chez les cellules épidermiques des pétales, dans le péricarpe des fruits (Tomates, Fraises,...), dans les cellules de certaines racines (carottes). On distingue deux catégories de chromoplastes :

- ✓ Chromoplastes fibrillaires dont les carotènes sont intégrés dans des structures fibrillaires.
- ✓ Chromoplastes globulaires dont les xanthophylles sont intégrés ou dissous dans des gouttelettes lipidiques dispersées dans la substance fondamentale du plaste.

6.5.3 Les protéoplastes :

Ils sont peu fréquents, on les observe dans le sac embryonnaire de certaines espèces, dans les cellules du parenchyme radiculaire,... Ils contiennent des réserves protéiques sous formes de faisceaux serrés de fibrilles protéiques.

6.5.4 Les Amyloplastes :

Ils sont abondants chez les tissus de réserves, ils se chargent d'amidon élaboré dans d'autres tissus (le stockage de l'amidon chez les chloroplastes est une phase de transition).

) Exemple de transformation des différentes catégories de plastes :

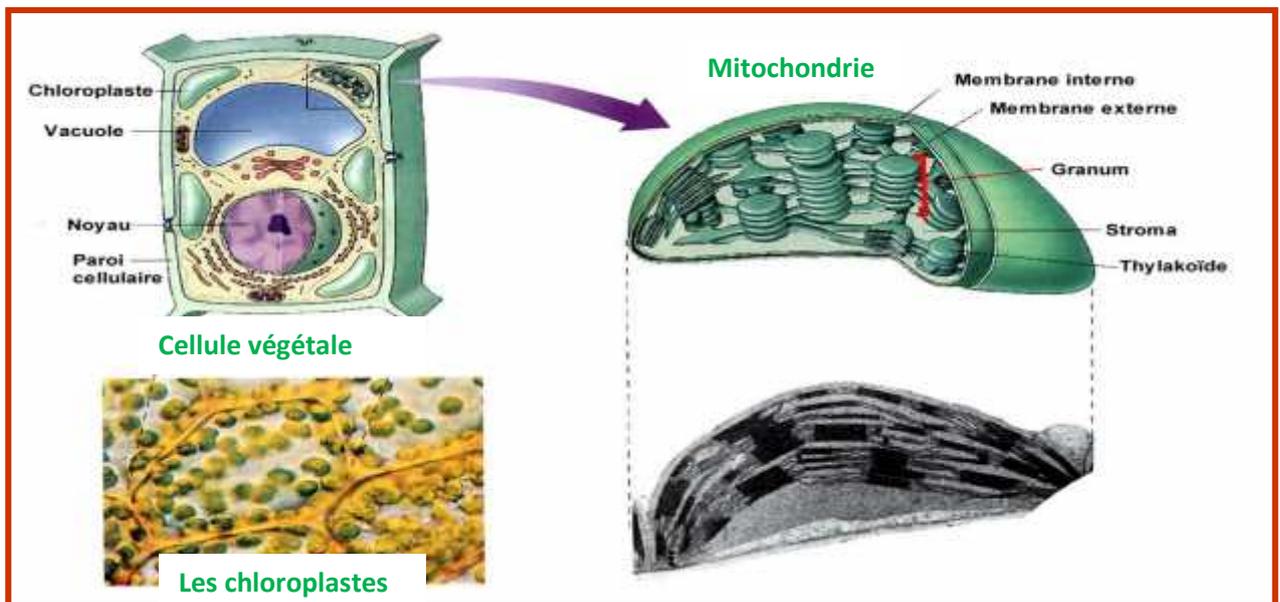
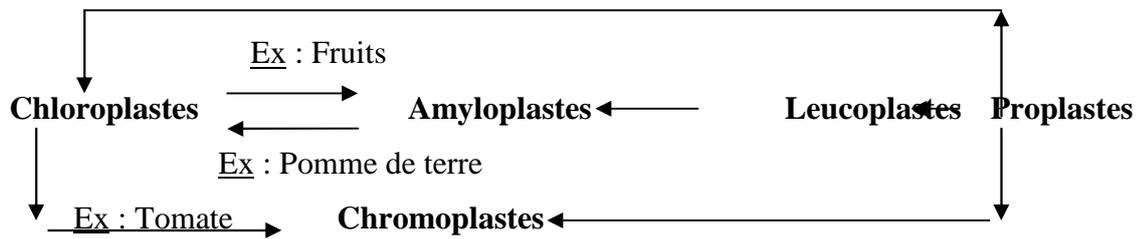


Figure 6 : Schéma des chloroplastes et des mitochondries

5. HISTOLOGIE

Dans les organes végétaux supérieurs, les cellules ayant la même organisation et même fonction sont groupées en ensembles appelés tissus. Chez les végétaux supérieurs (tissus vasculaires ; pourvus de tissus conducteurs très différenciés) on distingue les tissus suivants :

- Tissus de nutrition ou de réserves
- Tissus de protection
- Tissus de conduction
- Tissus de soutien
- Tissus de sécrétion

Tissus principaux, présents dans tous les organes des végétaux supérieurs

Les tissus adultes proviennent de tissus indifférenciés (les méristèmes), la transformation morphologique et physiologique des cellules méristématiques en tissus adultes différenciés constitue le processus de différenciation cellulaire.

1. Les méristèmes :

Les tissus adultes ou tissus différenciés sont construits à partir de cellules formées par des tissus végétaux indifférenciés appelés méristèmes dont les cellules se multiplient activement.

On distingue deux sortes de méristèmes, différents l'un de l'autre par leur localisation dans la plante, leurs caractères cytologiques et leurs rôles dans la construction des organes et des tissus : Les méristèmes primaires et méristèmes secondaires.

1.1 Les méristèmes primaires :

Ils sont localisés à l'extrémité des tiges et des racines dont ils assurent la croissance en longueur d'où leur appellation de méristèmes apicaux ou terminaux. Leurs cellules sont petites, isodiamétriques (pas d'allongement dans une direction privilégiée), et parfaitement jointives (pas de méat entre les cellules). Leur paroi est primaire, mince, uniquement formée de cellulose et de composés pectiques. Le cytoplasme est riche en ribosomes, le noyau contient autre la chromatine un ou plusieurs nucléoles volumineux. Le rapport nucléo-plasmique est plus grand dans les cellules méristématiques que celui des cellules différenciées. L'appareil vacuolaire est réduit (petites vacuoles), sont sphériques et disposées en un très fin réseau. Les mitochondries sont nombreuses et n'existent pas de plastides différenciés, uniquement des proplastides.

1.2 Méristèmes secondaires :

Ils sont localisés dans les parties âgées des tiges et des racines dont-ils assurent la croissance en épaisseur. Les cellules possèdent un contour rectangulaire, disposées en files très régulières et orientées suivant les rayons de l'organe considéré.

Ces cellules sont morphologiquement différentes de celles des méristèmes primaires, leur paroi cellulosique mince, de nombreux mitochondries et des proplastides, l'appareil vacuolaire est très développé contrairement à ce qu'on observe chez les méristèmes primaires, il est représenté par deux grandes vacuoles rejetant le cytoplasme et parfois le noyau à la périphérie de la cellule.

2. Les parenchymes :

Les parenchymes constituent un groupe fondamental de tissus, ils constituent une place importante dans les organes végétaux (feuilles, tiges vertes et jeunes racines) et ils remplissent des fonctions capitales (photosynthèse et accumulation des réserves).

Le parenchyme, tissu souvent le plus abondant est constitué par des cellules isodiamétriques, globulaires ou allongées dont les vacuoles sont bien développées et dans la paroi cellulaire est assez mince. Le parenchyme présente des spécialisations en relation avec sa position. On a ainsi des parenchymes chlorophylliens, sièges de la photosynthèse ; des parenchymes de réserve qu'on

trouve souvent dans les organes souterrains. Avec ses cellules vivantes au contenu cellulaire riche, le parenchyme participe surtout aux fonctions de nutrition et les parenchymes aquifères et aérifères.

2.1 Parenchymes chlorophylliens :

Ils sont caractérisés par la présence de nombreux chloroplastes dans leurs cellules, qui ont la forme arrondie, parfois séparées par de grandes lacunes assurant la circulation de l'air. Ce type de parenchymes sont abondant dans les organes aériens (feuilles, jeunes tiges) auxquels ils donnent la couleur verte. Il est homogène chez les monocotylédones (ex. Maïs, Iris, Poireau,...) par contre chez les dicotylédones est hétérogène ; il est formé de deux régions :

- Vers la face supérieure de la feuille se trouve le tissu palissadique formé par une ou deux assises de cellules allongées, serrées les unes contre les autres et riche en chloroplastes.
- Vers la face inférieure se trouve le tissu lacuneux, formé de cellules courtes, plus au moins arrondies, moins riches en chloroplastes que celles de tissus palissadiques et réservant entre elles de grandes lacunes où circule l'atmosphère interne de la feuille.

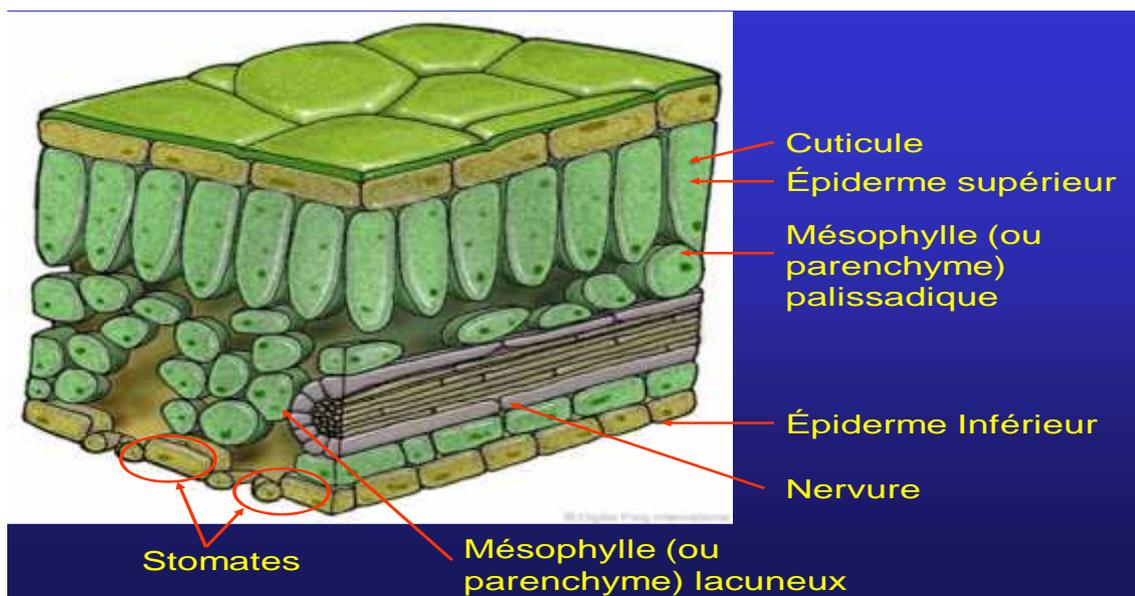


Figure 7 : Structure d'une feuille.

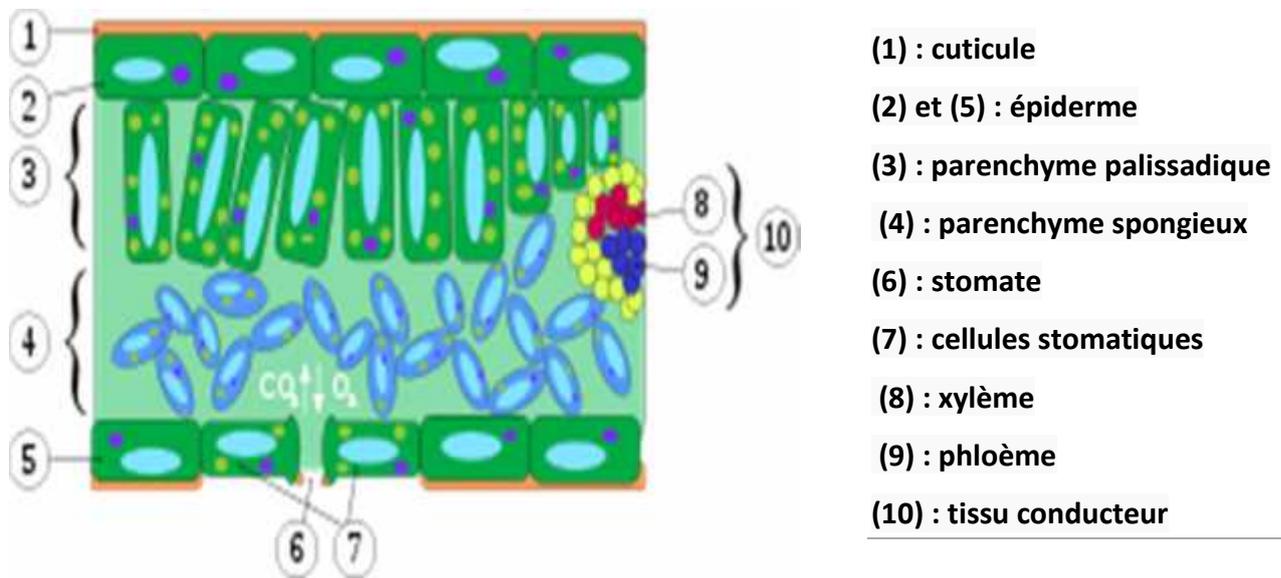


Figure 8 : Schéma d'une coupe transversale de feuille montrant ses différents constituants :

2.2 Les parenchymes de réserves :

Ils se localisent dans les organes souterrains tels que les racines (ex. carotte, radis, betterave,...) tiges souterraines (rhizomes, tubercules) et dans les graines. Ce type de parenchyme est dépourvu de chloroplastes mais leurs cellules contiennent d'abondants réserves : glucides solubles, grains d'amidon, huiles, ...

Dans les tiges aériennes, la moelle, les parties profondes de l'écorce et le parenchyme qui accompagne les tissus conducteurs sont constitués par un parenchyme de réserve souvent riche en grains d'amidon. D'une manière générale les substances accumulées sont des réserves de glucides, de protides et de lipides.

2.3 Parenchymes aquifères :

Ce sont des parenchymes à cellules de grands volumes, pourvues de vacuoles très développées, riches en eau et souvent mucilagineuses. Ils sont abondants soit dans les tiges soit dans les feuilles des plantes succulentes (plantes grasses) où ils constituent une réserve d'eau utilisable par les végétaux pendant la période de sécheresse. C'est une variété de parenchyme où l'eau est la substance mise en réserve.

2.4 Parenchymes aérifères :

Ces parenchymes sont assez fréquents chez les plantes aquatiques, se sont des tissus lacuneux où les lacunes sont très grandes et emmagasinent l'air.

3. Les tissus protecteurs :

Chez les végétaux terrestres les tissus parenchymateux dont les cellules ont des parois minces et perméables seraient rapidement tués par une déshydratation importante s'ils n'étaient pas séparés du milieu extérieur, relativement sec, par des tissus imperméables : Les tissus protecteurs.

On distingue deux types de tissus protecteurs : l'épiderme et le liège (suber). Ces tissus sont imperméables, ils ralentissent la transpiration, nuisible aux tissus mais interdisent les échanges gazeux entre les parenchymes et le milieu extérieur (respiration et photosynthèse). Ces échanges sont néanmoins permis au niveau des interruptions existantes au sein de l'épiderme et du liège, où l'oxygène et le gaz carbonique peuvent être échangés.

3.1 Les épidermes :

Un épiderme est un tissu qui recouvre les parenchymes des organes aériens (feuilles et jeunes tiges), les diverses pièces florales et les fruits.

L'épiderme est un tissu primaire constitué d'une assise de cellules vivantes jointives parfois recouvertes de cuticule. L'épiderme a un rôle de protection.

On distingue des cellules épidermiques, qui assurent la protection contre une déshydratation excessive et des stomates qui assurent les échanges gazeux. Chez certaines plantes, les cellules épidermiques portent des poils qui rendent plus au moins la surface des tiges et des feuilles duveteuse.

Chez la majorité des végétaux, elles constituent une seule assise de cellules formant un épiderme simple et d'autre type un épiderme composé.

Les cellules épidermiques ont des formes variables suivant les espèces considérées : isodiamétrique chez la vigne, Très allongées chez le poireau. Leurs contours sont rectilignes sauf pour certaines espèces (pomme de terre, tomate, laitue,..). Les cellules épidermiques sont étroitement juxtaposées et on ne distingue pas de méats intercellulaires.

Un stomate est essentiellement constitué par une ouverture (ostiole), délimité par deux cellules réniformes. Elles sont caractérisées par la présence de chloroplastes et un épaissement de la membrane cellulosique en cers de l'ostiole. En plus des stomates aérifères (assurant les échanges gazeux), il existe d'autre type de stomates (stomates aquifères), qui servent à l'émission de l'eau à l'état liquide (phénomène de guttation). Ils existent peu sur le bord des feuilles et leur nombre est plus faible que celui des stomates aérifères.

Chez de nombreuses plantes, les épidermes portent des poils de formes et de structures très variées :

- Poils unicellulaires (papilles) : formés par le prolongement d'une cellule épidermique (ex. pétales des roses).
- Poils pluricellulaires : formés par plusieurs cellules issues de la prolifération d'une cellule épidermique.

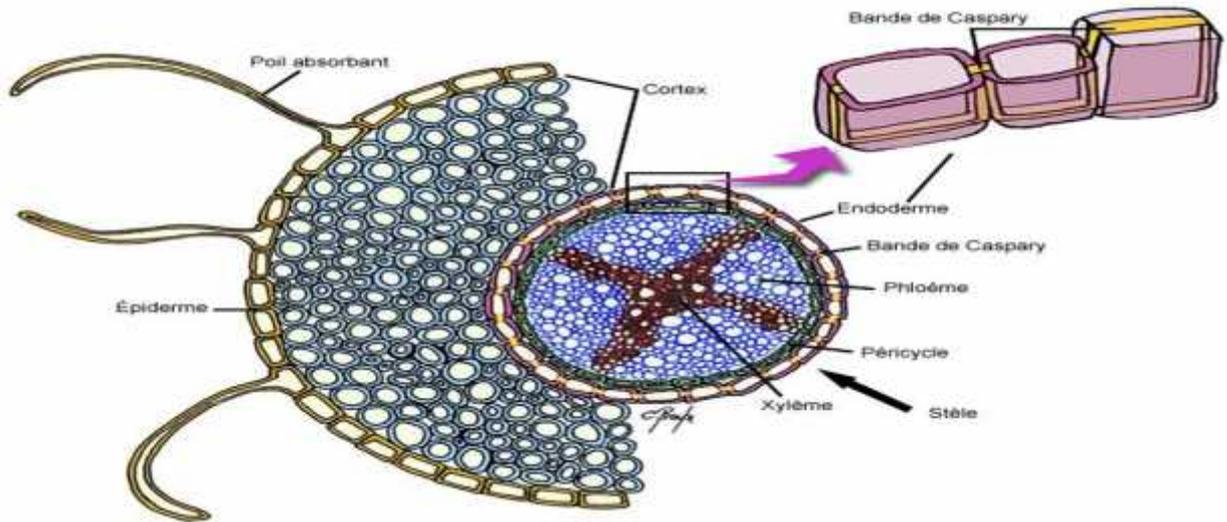


Figure 9 : Schéma d'une coupe transversale de racine montrant ses différentes composantes.

3.2 Le liège ou Suber :

Appelé couramment liège, le suber est un tissu végétal localisé à la périphérie d'une tige (ou tronc) ou d'une racine. C'est un tissu d'origine secondaire ; il provient de la différenciation de cellules méristématiques issues du fonctionnement d'un méristème secondaire, l'assise subéro phellodermique ou phellogène. Il a un rôle de protection. Les cellules étant imperméables, toutes les cellules situées à l'extérieur du suber sont vouées à mourir. Ces cellules mortes desquamantes constituent le rhytidome chez les plantes ligneuses, ou plus simplement l'écorce des arbres. L'assise subéreuse que l'on trouve à la surface des jeunes racines est, elle, d'origine primaire.

Le suber est un tissu de revêtement tardif des organes adultes ayant une croissance secondaire (croissance en diamètre). D'apparence jaune-brun, ce tissu de protection est issu du phellogène par différenciation centrifuge. De par sa croissance en épaisseur, il sépare l'épiderme et le cylindre cortical du reste de la racine ou de la tige, et peut ainsi partiellement ou totalement remplacer l'épiderme.

Le suber est constitué de cellules mortes, de forme rectangulaire, très jointives et remplies d'air, d'où sa légèreté. Leur paroi est imprégnée de subérine (polymère lipidique associé à des cires, imperméables à l'eau). C'est cette substance qui, en empêchant les échanges, entraîne la mort de la cellule. Pour permettre la survie du reste de l'organe, on observe localement des zones à méats dont les cellules ne sont pas jointives. Ce sont des lenticelles permettant les échanges gazeux entre l'atmosphère et les tissus profonds.

4. Les tissus conducteurs :

Les tissus conducteurs des angiospermes sont le xylème; tissus ligneux ou tissus vasculaires assurant essentiellement la conduction de la sève brute et le phloème, tissus criblés assurant la conduction de la sève élaborée.

4.1 Le xylème primaire:

Le xylème se compose :

De deux types de cellules conductrices de sève : les vaisseaux constitués de files de cellules mortes dont les parois sont imprégnées de lignine ; en fonction du degré d'imprégnation de lignine, on distingue les vaisseaux ponctués ou réticulés. Les trachéides, moins riches en lignine, sont dites annelées ou spiralées. Les trachéides ne se transforment jamais en vaisseaux.

-) De fibres ligneuses, constituées de cellules mortes.
-) De parenchymes ligneux formés de cellules vivantes qui regroupent le parenchyme vertical et le parenchyme horizontal. Le premier est surtout présent dans le xylème secondaire et joue un rôle de réserve, le second forme des rayons ligneux et résulte de l'activité du cambium libéro-ligneux (méristème secondaire).

Le xylème permet la circulation de la sève brute constituée d'eau et de sels minéraux puisés dans le sol par les racines. Dans les vaisseaux la circulation se fait essentiellement verticalement, alors que dans les trachéides la présence de paroi transversale provoque une circulation en chicanes. Le xylème a aussi un rôle de soutien.

Le xylème primaire provient de la différenciation du méristème primaire. Dans l'organe en cours d'élongation apparaît du procambium, tissu méristématique dont certaines cellules se différencient en trachéides capable d'élongation (le protoxylème) et d'autres en vaisseaux (le métaxylème).

La différenciation du procambium n'est pas identique dans la tige et dans la racine. Elle est centripète dans les racines et centrifuge dans les tiges. Cette différence permet de distinguer une racine d'une tige. Le xylème (du grec *xylon*, "bois") ou tissu xylémique, est un constituant des tissus végétaux formé de l'association de vaisseaux, de cellules mortes ou vivantes de soutien et de cellules associées.

Les vaisseaux du xylème sont constitués de faisceaux de cellules mortes alignées et entourées de lignine. Ils ont la capacité de transporter de grandes quantités d'eau et de nutriments depuis le sol jusqu'à l'usine photosynthétique : les feuilles. Le xylème conduit donc la sève brute (minérale).

Le xylème est composé de cellules mortes. Ainsi, les solutés n'ont pas besoin de franchir de membrane plasmique pour transiter dans la plante ce qui lui permet des gains substantiels d'énergie en évitant notamment l'utilisation de pompe ATP dépendante.



Figure 10 : Faisceau vasculaire de *Cucurbita pepo* L.

Chez quelques végétaux primitifs, comme chez les plantes cryptogames et les gymnospermes, les vaisseaux conducteurs sont appelés trachéides (protoxylème). Ils sont constitués uniquement de cellules étroites, allongées, terminées en biseaux et superposées sans perforations entre les vaisseaux ni disparition de la cloison transversale séparant les cellules.

Chez les plantes plus évoluées et notamment les angiospermes, on retrouve à côté des trachéides, d'autres cellules spécialisées dans le transport de la sève brute : les éléments de vaisseau (métaxylème). Ce sont généralement d'anciennes cellules larges et courtes dans lesquelles les parois des extrémités ont totalement disparu, créant ainsi des tubes "ouverts".

Les éléments des vaisseaux assurent un transport de la sève brute (minérale) plus efficace que les trachéides.

4.1.1 Éléments conducteurs :

L'étude du xylème des végétaux vasculaires a conduit à la distinction entre deux sortes d'éléments conducteurs : les trachéides, éléments primitifs, peu différenciés et les vaisseaux ligneux, plus spécialisés, mieux adaptés au rôle de conduction.

4.1.1.1 les Trachéides :

Ce sont des éléments conducteurs relativement peu spécialisés, qui constituent la presque totalité du xylème des végétaux vasculaires les moins évolués.

Ce sont des cellules allongées, aux extrémités effilées en biseau, dépourvues de protoplasmes lorsqu'elles sont complètement différenciées. Leurs parois sont rigides, leurs parois secondaires sont lignifiées, peu épaisse et la lumière des trachéides est relativement grande.

Les trachéides communiquent entre elles et entre les cellules parenchymateuses voisines par des ponctuations, suivant la forme et l'organisation de ces ponctuations, on distingue deux sortes de trachéides :

*** Trachéides aréolées :**

Ce sont des éléments conducteurs caractéristiques du xylème des gymnospermes (pin, sapin,). Autour de la ponctuation aréolée, le relèvement de la membrane secondaire est lignifiée et une membrane primaire cellulosique formant le diaphragme présentant un épaissement appelé Torus.

*** Trachéides scalariformes :**

Chez les ptéridophytes (fougères), les trachéides ont une section polygonale, très régulière, dans leur paroi, la membrane secondaire, lignifiée couvre les angles des trachéides, des rayures transversales ressemblent aux barreaux d'échelle, ces travées parallèles de lignine sont séparés par de mince bandes cellulosique qui représentent autant de ponctuations scalariformes. Les trachéides sont par leur structure adaptées au double rôle de soutien et de conduction, la paroi légèrement épaisse mais lignifiée confère aux trachéides une grande rigidité (le bois des conifères est formé uniquement que des trachéides). La grande lumière des trachéides permet une grande circulation de l'eau, tandis que les ponctuations bien développées dans leur paroi favorisent les échanges de liquide entre trachéides et entre trachéides et cellules voisines.

Ces trachéides en se cloisonnant forment des tubes cloisonnés que l'on appelé souvent vaisseaux imparfaits. Par opposé, les véritables vaisseaux « parfaits » sont dépourvus de cloisonnements transversaux. Ces trachéides très primitives sont rapidement étirées et écrasées pendant la croissance de l'organe et elles disparaissent ensuite.

*** Les vaisseaux ligneux :**

Ce sont des éléments conducteurs caractéristiques des végétaux vasculaires les plus évolués tel que les angiospermes. Ce sont des longs tubes dont la paroi présente vers l'intérieur des épaisissements lignifiés, de dispositions variées. Ces épaisissements correspondent à une paroi secondaire lignifiée doublant vers l'intérieur la paroi primaire cellulosique. Les vaisseaux peuvent être : * Des anneaux plus au moins rapprochés (vaisseaux annelés).* Une spire à tours plus au serrés (vaisseaux spiralés).

* Des bandes transversales plus au moins irrégulières, très rapprochées les unes des autres (vaisseaux rayés). Si les rayures sont nombreuses et irrégulières, en réseau (vaisseaux réticulés).

* Un revêtement de lignine continu sauf au niveau des ponctuations où la membrane est cellulosique est seule (vaisseaux ponctués).

Le revêtement de lignine rend la paroi des vaisseaux solide et maintien les ouvertures béantes (largement ouvertes). En fait, ce sont des éléments morts (pas de cytoplasme et noyau).Un vaisseau ligneux se différencie à partir d'une file de cellules vivantes qui s'allongent, dont la paroi

latérale forme des épaissements ligneux secrétés par des corps de golgi, le contenu cellulaire disparaît et les cloisons se percent complètement pour former un tube parfait.

Chez les premiers éléments ligneux différenciés dans un organe, les cloisons transversales restent cellulodiques, peuvent demeurer vaisseaux imparfaits, mais chez les véritables vaisseaux « parfaits », les cloisons transversales disparaissent. A la place de chaque cloison se trouve une ou plusieurs perforations faisant directement communiquer entre eux les éléments constituant un vaisseau. Contrairement à une trachéide qui est formée d'une seule cellule, un vaisseau est formé par un assemblage de cellules différenciées.

Les éléments conducteurs du xylème primaire sont disposés dans des organes végétaux en amas caractéristiques appelé faisceaux vasculaires ou ligneux. Leur disposition dans les organes végétaux est un élément important de la définition de la structure primaire de ces organes.

Suivant le moment de leur différenciation, au cours de la formation et de l'allongement d'un organe, on distingue deux catégories d'éléments conducteurs dans le xylème primaire : protoxylème et métaxylème.

*** Le protoxylème :**

Il est formé par des éléments conducteurs apparaissant au début de la différenciation du xylème, lorsque la croissance de la partie de l'organe qui les contient n'est pas encore achevée (tige ou racine). Ce sont des trachéides annelées ou spiralées de petits calibres. Ils s'observent chez toutes les plantes vasculaires (ptéridophytes et gymnospermes comprises).

Les vaisseaux du protoxylème peuvent s'allonger pendant la croissance de l'organe par écartement des anneaux et des tours de spires, ils sont étirés et écrasés. Dans les parties des tiges et des racines dont la croissance est achevée, on observe que des traces du protoxylème en voie de résorption.

*** Le métaxylème :**

Il est formé par des éléments conducteurs différenciés lorsque la croissance de la partie de l'organe qui les contient est achevée. Ce sont des trachéides chez les ptéridophytes et les gymnospermes, des vaisseaux de forts calibres, rayés, réticulés, ponctués, chez les angiospermes. Ces éléments ne sont soumis à aucun étirement et persistent longtemps que ceux du protoxylème. Quand tous les éléments du xylème primaire sont différenciés, les plus anciens sont les plus étroits (trachéides annelées et spiralées), les plus récents sont les plus larges (trachéides scalariformes et aréolées, vaisseaux rayés ou ponctués).

4.1.2 Les fibres :

Ce sont des éléments assurant uniquement le rôle de soutien et qui constitue une grande part du bois des angiospermes (50 à 80 %). Les fibres sont des cellules allongées, étroites dont les

extrémités sont effilées. Leurs parois, lignifiées, très épaisses et la lumière cellulaire est très réduite. Ces parois présentent des punctuations de petits calibres et moins nombreuses. Les fibres sont alors des éléments morts dépourvus de protoplasme.

4.1.3 Les cellules parenchymateuses :

En plus des éléments conducteurs et des fibres, qui sont des éléments morts, le xylème contient des cellules parenchymateuses vivantes qui accumulent fréquemment dans leurs cytoplasmes des grains d'amidon et rarement des huiles, qui sont utilisés ultérieurement par la plante, les cellules parenchymateuses constituent donc un tissu de réserve (parenchyme ligneux).

La distinction du parenchyme longitudinal dans le bois est variable selon les espèces. Les files cellulaires peuvent être disposées au sein des autres constituants du bois (parenchyme diffus, exemple des genres *Malus* et *Quercus*) ou groupées autour des vaisseaux (parenchyme périvasculaire exemple du genre *Fraxinus*).

L'épaisseur des rayons ligneux est variable selon les espèces ; rayons unisériés (une seule couche exemple du saule, peuplier), rayons multisériés (plusieurs couches exemple pommier, chêne) et on peut trouver aussi de très large rayons ligneux et des rayons unisériés (exemple d'hêtre).

4.2 Le xylème secondaire ou bois :

Le xylème secondaire ou bois, situé dans les zones de croissance secondaires et qui dérive du méristème secondaire. Il est caractérisé par un alignement radial de ses cellules du fait des caractéristiques de fonctionnement du cambium libéro-ligneux (méristème secondaire) : il se forme en position interne par rapport au cambium et mène à la formation de vaisseaux, de fibres, de parenchymes verticaux et horizontaux.

Le bois est formé de couches concentriques bien visibles, le bord extérieur foncé contrastant avec le bord interne de couche suivante qui est plus claire. Chaque couche est un anneau ligneux ou cerne correspondant à une formation annuelle de bois ; la partie claire est le bois initial ou bois du printemps. La partie sombre est le bois final ou bois d'automne. Les rayons ligneux peuvent être observés à l'œil nu.

Chez certaines espèces, la partie profonde du bois, le cœur ou duramen est plus sombre et plus dure que sa partie externe ; l'aubier qui est un bois vivant du tronc qui assure seul la conduction de la sève brute, alors que le duramen est un bois mort. La transformation des couches profondes de l'aubier en bois du cœur au cours de la croissance du tronc est marquée par une accumulation de tanins, de résines dans les parois et les cavités cellulaires. De ce fait le bois du cœur devient plus dur et imputrescible. Les vaisseaux sont fréquemment obturés par des thylles qui s'opposent aux passages des substances. Enfin les cellules parenchymateuses meurent.

4.2.1 Bois des gymnospermes :

Il est plus simple, plus homogène que celui des angiospermes. Il est essentiellement formé de trachéides et est dépourvu de fibres. Dans le bois initial ou bois de printemps, les trachéides sont larges et pourvues de ponctuations abondantes à larges ouvertures. Le bois final ou bois d'automne ne présente que des trachéides étroites à parois épaisses traversées par des ponctuations réduites.

Le bois des gymnospermes, dépourvu de fibres et ne présente comme élément lignifié que des trachéides est dit homoxylé. Les cellules du parenchyme sont dispersées au travers des trachéides. Les rayons ligneux ou médullaires ont généralement une épaisseur formée par une seule file de cellules ; ce sont des rayons unisériés. Ces cellules sont vivantes à paroi cellulosique avec certaines à membrane lignifiées et irrégulières sont dépourvues de protoplasme. Toutes possèdent des ponctuations.

4.2.1 Bois des angiospermes :

Il est généralement plus complexe que celui des gymnospermes, ces constituants sont plus variés. On observe des vaisseaux, des fibres, parfois des trachéides et du parenchyme ligneux.

Ce type de bois qui contient des éléments conducteurs et des fibres est un bois hétéroxylé. Les vaisseaux sont des éléments à larges ouvertures qui se distinguent facilement des fibres dont les parois sont très épaisses et l'ouverture très réduite ; il apparaît sous forme de trou au sein du bois. On distingue deux sortes de bois suivant la répartition des vaisseaux dans un anneau ligneux :

- Le bois à pores diffus où les vaisseaux sont dispersés dans toute l'étendue de l'anneau ligneux.
- Le bois à pores en anneaux où les vaisseaux sont surtout abondants dans le bois initial, le bois final ne comprend que des fibres. C'est dans ce type de bois qu'il existe une distinction entre le bois du printemps et le bois d'automne et les anneaux ligneux sont plus visibles.

4.3 Le phloème primaire:

Le phloème a un rôle conducteur, il permet la conduction verticale de la sève élaborée qui est une solution riche en matière organique. Il a aussi un rôle de réserve avec les parenchymes et un rôle de soutien avec les fibres libériennes. Le phloème primaire formé par différenciation des cellules procambiales.

Le phloème peut faire partie de l'écorce, pour cette raison son nom provient d'un dérivé du mot grec *phloos* qui signifie écorce.

Le phloème primaire issu de la différenciation du procambium. Plusieurs types cellulaires constituent le tissu du phloème :

- Des tubes criblés, cellules vivantes allongées, qui ont des parois longitudinales et transversales possédant des pores appelés cribles. Ces cellules n'ont pas de noyau mais un contenu hyaloplasmique particulier avec des protéines allongées. Le plasmalemme persiste permettant des échanges.
-

- Des cellules compagnes accolées aux tubes criblés.- Des cellules parenchymateuses libériennes verticaux jouant un rôle de réserve, et horizontaux formant les rayons libériens et les fibres libériennes.

- Des fibres libériennes, cellules dont la paroi est épaisse et lignifiée ou cellulosique.- Les cellules compagnes accolées aux tubes criblés.

Le mouvement de la sève élaborée dans le phloème est bidirectionnel, tandis que dans les cellules de xylème, il est continu (ascendant).

4.3.1 Les cribles:

Les parois transversales des cellules du tube criblé sont complètement traversées par de nombreux parois ou orifices interrompant les membranes cellulosiques ainsi que la lamelle moyenne. Les cloisons transversales constituent donc des cribles (tubes criblés).

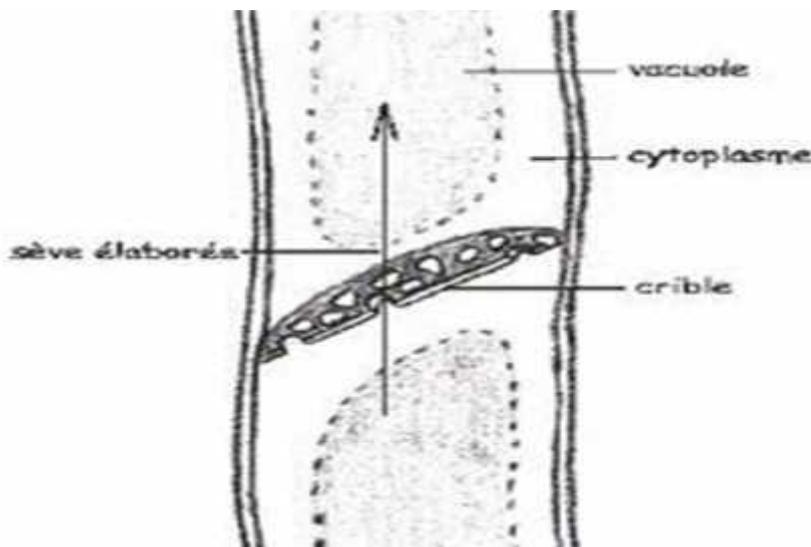


Figure 11 : Schéma d'un tube criblé

Chez les gymnospermes les cribles sont répartis sur toutes les parois des cellules criblées (paroi transversale et longitudinale), mais chez la plus part des angiospermes ne présentent des pores que sur leur cloison transversal, leurs parois longitudinales sont imperforées. Pour ce type de végétaux, il existe deux modes de répartitions des pores, cribles simples (exemple des courges) où les pores sont répartis sur toute la surface transversale et cribles composés (exemple tabac, vigne) où les cribles sont répartis en plages criblées séparées par des zones dépourvues de pores.

Les cellules criblées sont vivantes à cytoplasme sans vacuole, le noyau disparaît en cas de différenciation complète des cellules. Les cytoplasmes des cellules criblées se fusionnent pour former enfin un tube criblé.

Le fonctionnement d'un tube criblé est de courte durée, avant la mort des cellules criblées un dépôt de callose constitue une cal qui se forme de part et d'autre de chaque crible ou de chaque

plage criblées et les cellules criblées meurent ensuite cas des végétaux annuels. Chez les végétaux pérennes, les tubes criblés demeurent vivant plus d'une année, cependant à l'automne où le fleuve de la sève s'arrête, des calcs apparaissent sur les plages criblées, au printemps le cytoplasme des cellules criblées dissout les calcs et le passage au travers des pores est de nouveau libre (calcs temporaires).

Les cellules compagnes ou cellules annexes accompagnent le long des cellules criblées, elles sont allongées, étroites et séparées de la cellule criblée par de fine membrane cellulosique. Ces cellules sont pourvues de noyau volumineux et ne contiennent pas d'amidon. Les cellules criblées anucléés ont une vie courte ; lorsqu'elles meurent la cellule compagne se divise dans le sens de la longueur et fournir deux cellules dont l'une se différencie en cellule criblée remplaçant la cellule criblée morte qui sera ensuite résorbée.

Les éléments du phloème primaire sont disposés dans les organes végétaux en amas caractéristiques appelés faisceaux criblés.

Dans les tiges, racines et feuilles, la disposition des faisceaux criblés associés à des faisceaux ligneux permet de définir la structure primaire de ces organes. Suivant le moment de leur différenciation au cours de la formation de l'organe on distingue deux catégories d'éléments conducteurs dans le phloème primaire : protophloème et métaphloème.

4.3.1.1 Le protophloème:

Il est formé par des tubes criblés apparaissent au début de la différenciation du phloème, lorsque la croissance de la partie de l'organe qui les contient n'est pas encore achevée. La croissance de l'organe se poursuit, les tubes criblés sont étirés et écrasés. Dans la partie de la tige ou racine dont la croissance est achevée on observe que des traces du protoxylème en voie de résorption.

4.3.1.2 Le métaphloème:

Il est formé par des tubes criblés différenciés lorsque la croissance de la partie de l'organe qui les contient est achevée, la croissance étant achevée lorsqu' 'ils se différencient, les éléments du métaphloème ne sont soumis à aucun étirement, ils persistent plus longtemps que ceux du protophloème. Le protophloème et le métaphloème ne se distinguent pas comme le métaxylème et le protoxylème par leur calibre et la différenciation, ils se distinguent par leur ordre d'apparition car ils sont fondamentalement identiques.

4.4 Le phloème secondaire :

Le phloème secondaire (ou liber) issu de la différenciation du cambium (assise génératrice libéro-ligneuse). Dans les racines cette formation est centripète, alors que dans les tiges elle est centrifuge. C'est-à-dire : pour une formation centripète le phloème va se former de l'extérieur vers

l'intérieur du cylindre central et inversement pour une formation centrifuge (intérieur vers extérieur). On retrouve le même type de formation pour le xylème.

4.4.1 Liber des gymnospermes :

Il est formé de tubes criblés dépourvus de cellules compagnes, mêlés à des cellules du parenchyme libérien longitudinal qui contiennent fréquemment des grains d'amidon et des vacuoles riches en tanins. Suivant les familles des végétaux, les fibres libériennes peuvent être présentes (exemple du pin) ou manquer (exemple du cyprès). En cas de leur présence, elles sont disposées en strates concentriques. Comme les rayons ligneux qu'ils traversent le cambium, les rayons libériens sont unisériés (une seule assise de cellules).

4.4.2 Liber des angiospermes :

Il est plus complexe et plus diversifié. Les cellules criblées sont associées à des cellules compagnes, leurs parois transversales plus au moins inclinées selon les espèces possèdent des cribles simples ou composés.

Les files cellulaires du parenchyme longitudinal peuvent être dispersées dans le liber ou former de fines strates concentriques alternant avec des strates de tubes criblés.

La diversité dans l'organisation du liber est due à la disposition des fibres; lorsqu'elles sont peu abondantes, elles sont dispersées dans les tubes criblés et le parenchyme libérien. Lorsqu'elles sont nombreuses, elles constituent des strates concentriques alternant avec les strates des tubes criblés et le parenchyme libérien (liber stratifié, exemple de la vigne).

Les rayons libériens ont la même organisation que les rayons ligneux ; rayons unisériés (exemple du saule) ou rayons multisériés (exemple du chêne).

4.5 Parenchyme libérien et fibres libériennes :

Les tubes criblés et les cellules compagnes sont fréquemment associés des cellules parenchymateuses dont les parois cellulodiques sont plus minces que celles des tubes criblés.

Les fibres sont moins abondantes dans le phloème que dans le xylème, elles se distinguent par leur paroi épaisse et leur lumière étroite. Elles peuvent manquer chez plusieurs espèces.

5. Tissus de soutien :

Les tissus de soutien assurent la rigidité et la solidité des organes qui les contiennent (organes aériens essentiellement). C'est une modification de la paroi cellulaire qui confère aux cellules des tissus de soutiens leurs propriétés et d'après les caractères de cette paroi on distingue deux catégories : collenchyme et sclérenchyme.

5.1 Le collenchyme :

C'est un tissu primaire constitué de cellules vivantes à paroi pecto cellulodique importante, un noyau et une vacuole volumineuse. Les cellules du collenchyme sont souvent allongées et

étroitement accolées les unes aux autres. Le collenchyme occupe généralement des positions externes, et joue surtout un rôle de soutien.

Lorsque l'épaississement de la paroi est uniforme sur toute l'étendue de celle – ci le collenchyme est dit annulaire (les membranes apparaissent comme des anneaux sur les coupes transversales). Si l'épaississement cellulosique est localisé aux angles des cellules, il s'agit d'un collenchyme angulaire. Quant l'épaississement affecte uniquement les parois tangentielles des cellules (paroi parallèles aux bords de l'organe), le collenchyme est dit tangentiel.

Le collenchyme existe chez les organes aériens des végétaux herbacés, il est situé généralement à leur périphérie formant des faisceaux indépendants ou un manchon continu immédiatement sous l'épiderme ou séparé de celui-ci par quelques couches de cellules parenchymateuses. Les parois demeurent cellulosiques et le collenchyme conserve une certaine élasticité et les organes qui le contiennent demeurent souples.

5.2 Le sclérenchyme :

C'est un tissu primaire. C'est l'ensemble des cellules mortes, allongées à paroi épaisse, imprégnées de lignine et présentes sous forme de fibres. Le sclérenchyme se trouve généralement plus en profondeur que le collenchyme. Les parois cellulaires sont lignifiées et imperméables, ces cellules sclérifiées sont dépourvues de protoplasme.

Ces tissus assurent le soutien de la plante. On les trouve donc essentiellement dans les parties aériennes comme la tige et la feuille et rarement dans les racines.

Selon la forme et les dimensions, on distingue deux sortes de cellules :

Les fibres, cellules très allongées et des sclérites, cellules courtes de formes irrégulières.

5.2.1 Les fibres :

Ce sont des cellules fusiformes, très allongées (chez certaines espèces arrivant à quelques Centimètres). On désigne aussi sous le nom de fibre des cellules très allongées dont la paroi est peu ou pas lignifiée ; c'est le cas des fibres du lin (non lignifiées), chanvre (partiellement lignifiée). Ces fibres essentiellement cellulosiques sont des fibres textiles.

Les fibres du xylème et du phloème se diffèrent des fibres sclérenchymateuses par leur présence dans au sein du tissu conducteur et qu'elles ont la même origine, tandis que les fibres du sclérenchyme sont des différenciations locales à l'intérieur du parenchyme.

5.2.2 Les sclérites :

Ce sont des cellules courtes aux parois très épaisses et lignifiées. Les sclérites peuvent être isolées au sein du parenchyme (exemple des sclérites des feuilles du théier), groupées en amas

(exemple des sclérites des poires), ou assemblées en une assise continue (exemple du tégument de la graine d'haricot).

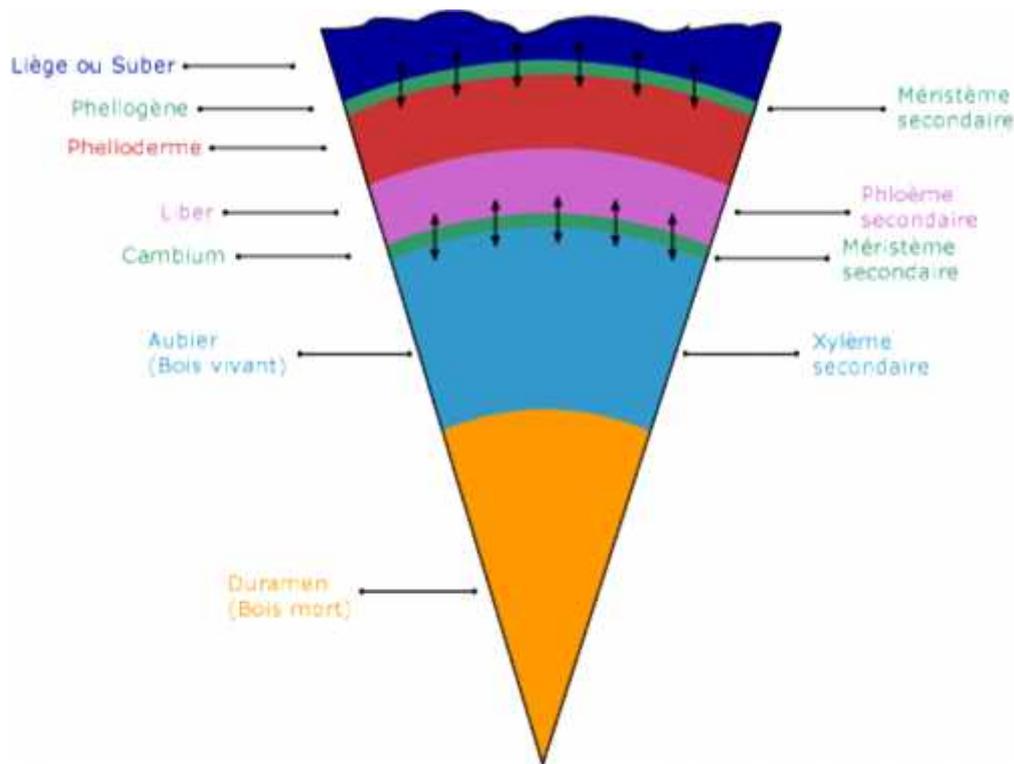


Figure 11 : Schéma de la structure secondaire d'une tige

6. Les tissus sécréteurs :

Ce sont des tissus spécialisés dans la synthèse de certaines substances (essences, tanins, résine, latex,...). Ce pouvoir de synthèse définit une sécrétion.

Les tissus sécréteurs peuvent accumuler les produits synthétisés au sein même de leurs cellules ou de les rejeter hors de celles –ci dans des cavités aménagées dans les organes végétaux. Dans ce cas on parle d'excrétion des produits sécrétés.

On distingue différentes catégories de tissus sécréteurs : cellules sécrétrices, les épidermes sécréteurs, les poches et les canaux excréteurs et les laticifères.

6.1 Les cellules sécrétrices isolées:

Elles se localisent au sein du parenchyme, dispersées, isolées et accumulent dans leurs vacuoles le produit qu'elles ont sécrété ; cas des cellules à tanin dispersées dans le parenchyme cortical (écorce) ou dans le parenchyme médullaire des tiges de nombreuses plantes et dans le parenchyme des feuilles du camphrier qui accumulent du camphre.

6.2 Épidermes et poils sécréteurs :

Les cellules épidermiques peuvent élaborer et accumuler dans leur cytoplasme des essences volatiles, en se vaporisant à travers la cuticule, assez mince de ces épidermes, produisant des

parfums, agréables ou non, de certaines plantes (exemple d'épiderme des pétales des rose, de violette,...).

La fonction de sécrétion peut être réservée à un certains poils épidermiques (poils sécréteurs). Ce sont des poils composés dont la ou les cellules terminales accumulent des essences. Chez certains poils sécréteurs (exemple du thym, lavande) l'essence sécrétée est accumulée entre la paroi cellulosique et al cuticule qui c'est décollée de celle -ci : la rupture de la cuticule libère ensuite l'essence qui se vaporise.

6.3 Poches et canaux excréteurs :

Ce sont des cavités situées dans les parenchymes des feuilles, des tiges et des fruits. Chez certaines espèces, ces cavités sont bordées de cellules qui y excrètent les produits qu'elles ont élaborées.

Les poches excréteurs sont nombreuses dans le péricarpe des oranges, mandarines, citrons,... où on peut les déceler à l'œil nu sous forme de petites masses translucides. Il se montre au microscope optique comme une cavité sphérique contenant l'essence et entouré de petites cellules sécrétrices.

Les canaux excréteurs sont des poches sécrétrices très allongées, tubuliforme et orienté dans le sens de la longueur de l'organe (feuille, pétale et tige). Une coupe transversale montre une cavité circulaire, limitée par une ou deux assises de petites cellules sécrétrices très régulièrement disposées, fréquemment doublées extérieurement par une gaine de cellules protectrices.

6.4 Les laticifères :

A chaque goutte de latex (liquide visqueux, aspect laiteux ou limpide et blanc dans la plus part des cas) issu d'une feuille de laitue, tige d'euphorbe,... correspond un élément sécréteur tubuleux « laticifère ». En fait c'est une solution des glucides, acides organiques, sels minéraux, alcaloïdes, tanins et même des enzymes protéolytiques.

Étude anatomique des différents organes végétatifs

I. La tige :

1. La structure primaire :

1.1 Structure primaire de la tige chez les angiospermes dicotylédones :

Sur une coupe transversale internodale d'une tige d'aristoloche, on observe de l'extérieur vers l'intérieur les tissus suivants :

* Un épiderme formé d'une assise de cellules dont la paroi externe est chitinisée, il présente des poils et des stomates.

* Une écorce ou zone corticale constituée par un parenchyme peu épais, dont les cellules arrondies, irrégulièrement disposées sont séparées par des méats, contenant des chloroplastes (parenchyme chlorophyllien).

* Les deux ou trois assises cellulaires superficielles de l'écorce situées sous l'épiderme sont constituées par du collenchyme. On peut observer aussi un anneau continu de sclérenchyme dans la partie profonde de la zone corticale.

* Les tissus conducteurs (xylème et phloème) groupés en faisceaux criblo vasculaires formant un cycle régulier sous l'écorce. Chez certaines espèces ils sont appliqués les uns contre les autres et formant un anneau continu de tissus conducteurs; cas du chêne, genre *Prunus*,... Dans chaque faisceaux on observe vers l'intérieur de la tige les vaisseaux ligneux du xylème et vers l'extérieur les tubes criblés du phloème, ces deux types de tissus sont superposés (faisceaux de type collatéral).

* Une moelle au centre de la tige, formée par un parenchyme à larges cellules avec méats, dépourvues de chloroplastes, riche en grains d'amidon ou en vacuoles tanifères. Elle est généralement continue le long de la tige. En vieillissant la paroi des cellules de la moelle peut se lignifier (moelle lignifiée), cette lignification est généralement associée à un épaissement des membranes qui n'affecte uniquement sa partie externe qui se distingue de la partie interne, il en résulte une zone pérимédullaire et une moelle profondes.

Entre les faisceaux criblo vasculaires se trouvent de larges travées de parenchyme reliant la moelle à l'écorce, il constitue le parenchyme inter fasciculaire ou rayons médullaires.

1.2 Organisation des faisceaux criblovasculaires :

Les tissus conducteurs sont superposés, le xylème étant vers l'intérieur de la tige et le phloème vers l'extérieur.

Chez les gymnospermes les tubes criblés du phloème sont dépourvus de cellules compagnes. Les éléments du protoxylème sont des trachéides annelées, spiralées comme les angiospermes mais ceux du métaxylème sont des trachéides aréolées.

Chez les angiospermes dicotylédones, cas des solanacées (exemple de la tomate), cucurbitacées (exemple du concombre), les faisceaux criblo vasculaires présentent du phloème interne. Dans ce genre de faisceaux, le xylème est encadré par deux îlots de phloème, appelé faisceau bi collatéral par opposition au type collatéral qui ne présente que le phloème externe.

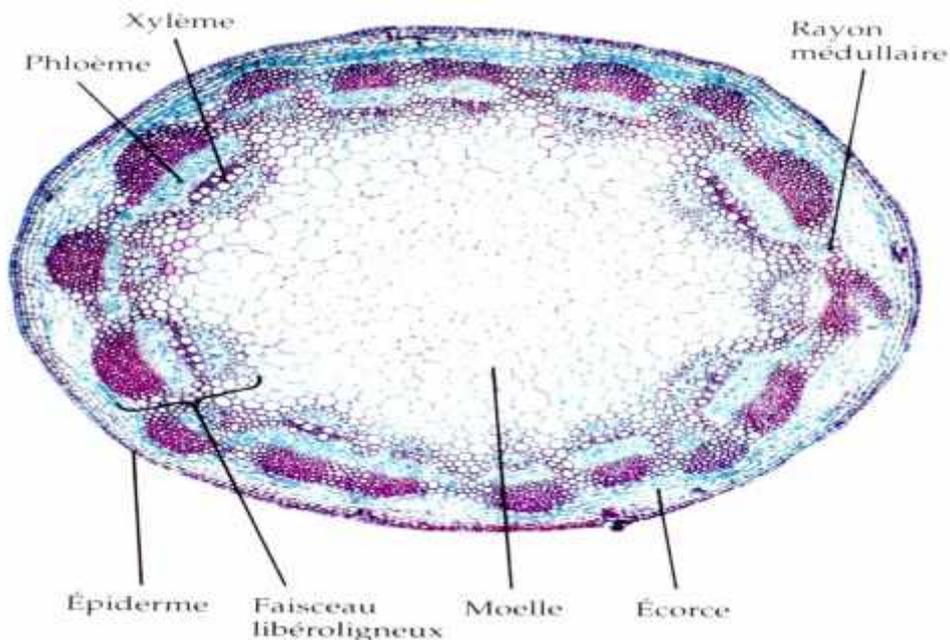


Figure 12 : Structure primaire d'une tige de dicotylédone.

Chez certaines espèces (exemple du lin), les cellules parenchymateuses du protoxylème se différencient en fibres après la résorption des éléments conducteurs du tissu criblé (fibres textiles). Chez les renonculacées (exemple d'anémone), ne se forme pas de tissus secondaires, ils ne possèdent pas de cambium ou s'il est présent, il ne se différencie jamais (cambium non fonctionnel).

1.3 Sens de différenciation des tissus conducteurs dans un faisceau criblo vasculaire :

Les éléments conducteurs d'un faisceau criblo vasculaire se différencient à partir d'un tissu embryonnaire appelé procambium ou pro conducteur.

Dans une jeune tige, il se situe immédiatement sous le point végétatif, on observe des faisceaux de procambium disposés de la même façon que les faisceaux criblovasculaires d'une tige différenciée.

L'analyse de la différenciation d'un faisceau procambial se fait en distinguant :

- * Une différenciation transversale : on étudie l'ordre d'apparition des éléments conducteurs différenciés (phloème et xylème) par rapport à l'axe de la tige, donc dans un sens radial.
- * Une différenciation longitudinale : on étudie comment progresse la différenciation d'un élément conducteur dans le sens de la longueur d'un faisceau du procambium.

1.3.1 Différenciation transversale :

Pour l'étudier on pratique une série de coupes transversales successives pour le point végétatif et on suit l'ordre d'apparition d'un faisceau criblo vasculaire :

Coupe 1 : Une des cellules les plus externes d'un faisceau du procambium est différenciée en cellules criblées (protophloème). Le phloème est donc le tissu qui se différencie le premier et sa différenciation commence sur la face externe du faisceau.

Coupe 2 : De nouvelles cellules criblées apparaissent dans le faisceau, au pôle opposé du faisceau s'observent deux faisceaux ligneux de petits calibres (protoxylème), le xylème se différencie donc après le phloème et sa différenciation débute de la face interne du faisceau.

Coupe 3 : Le nombre de cellules criblées est remarquable de nouveaux éléments (métaphloème) ; tandis que des vaisseaux ligneux de calibres plus grand (métaxylème) se sont différenciés plus profondément dans le faisceau conducteur. Il apparaît entre le phloème et le xylème. Une mince couche de cellules aplaties, non différenciée qui constitue le cambium du faisceau criblo vasculaire.

En conclusion on remarque :

- Le phloème primaire se différencie le premier avant le xylème primaire.
- La différenciation du phloème primaire est centripète, les tubes criblés se différencient successivement de la périphérie vers le centre de la tige.
- La différenciation du xylème primaire est centrifuge ; les vaisseaux ligneux se différencient successivement du pôle ligneux vers la périphérie de la tige.

1.3.2 Différenciation longitudinale:

Par des coupes sériées dans le procambium, on étudie le niveau où débute la différenciation des premiers éléments du phloème et dans quelle directions cette différenciation se produit, de même que le xylème.

* Les premiers tubes criblés apparaissent à la base de chaque faisceau, la différenciation du protophloème se poursuit ensuite du bas vers le haut ; elle est basifuge.

* Les premiers faisceaux ligneux apparaissent à mi-hauteur de chaque faisceau, généralement au voisinage d'un nœud, la différenciation du protoxylème se poursuit ensuite à partir du nœud dans deux directions simultanées : vers le haut en direction d'une feuille et vers la base du faisceau, la différenciation du xylème est alors nodifuge.

1.2 Structure primaire de la tige chez les angiospermes monocotylédones :

Sur une coupe transversale d'une tige d'asperge, on observe les tissus suivants :

- * Un épiderme formé d'une assise de cellules fortement chitinisées et contient des stomates.
- * Un parenchyme fondamental contenant de nombreux faisceaux criblo vasculaires disposés sur un grand nombre de cercles concentriques (la grosseur du faisceau diminue du centre vers la périphérie et pas de distinction entre l'écorce et la moelle). * Un anneau continu de sclérenchyme entoure les faisceaux conducteurs les plus externes. Chaque faisceau criblo vasculaire est collatéral (xylème et phloème superposés) ; le xylème est en forme de v dont les branches couvrent latéralement le phloème. Le point du v est le pôle ligneux dont les trachéides de petit calibre

(protoxylème) sont écrasées dans les faisceaux âgés. Le phloème est formé de tubes criblés et de cellules campagnes, les tubes criblés du protophloème sont de petits calibres et peuvent être écrasés, ceux du métaphloème de grand calibre sont appliqués contre le xylème. (pas de cambium intercalaire ou fasciculaire).

Chez le palmier dattier, la tige est appelée stipe, chaume chez les graminées, elle est puissante, dressée, malgré sa taille et son port ne doit pas être confondue avec le tronc des gymnospermes et des dicotylédones arborescentes, il diffère par les caractères suivants :

- Il n'est pas ramifié, alors qu'un tronc soutient plusieurs branches, le stipe s'achève par un bourgeon et un bouquet de feuilles (palmes) pressées les unes aux autres, les entrenœuds sont pratiquement inexistantes.

- sa structure anatomique est primaire, typique de monocotylédones. La rigidité du stipe est due à l'abondance des faisceaux criblo vasculaires et des fibres dans le parenchyme fondamental. Les troncs sont au contraire formés essentiellement par des tissus secondaires dont le bois est très abondant qui confère la rigidité et la solidité.

2. structure secondaire :

Chez certaines plantes vasculaires (ptéridophytes, monocotylédones et certaines dicotylédones), la tige conserve pendant toute sa vie une structure primaire et la croissance en épaisseur est assurée par l'agrandissement des tissus primaires sans qu'il y ait adjonction de tissus nouveaux.

Chez d'autres végétaux tels que les gymnospermes et la plus part des dicotylédones, la croissance en épaisseur résulte de l'addition de tissus secondaires à ceux de la structure primaire. Ces nouveaux tissus réalisent une nouvelle structure appelée structure secondaire qui acquiert un très grand développement dans les tiges ligneuses.

2.1 Origine de la structure secondaire : Les zones génératrices.

Les méristèmes secondaires constituent dans les tiges deux manchons cylindriques appelés zones génératrices ; on distingue la zone génératrice libéroligneuse ou cambium qui apparaît entre le xylème et le phloème et la zone génératrice subéro phellodermique ou phellogène, formé plus tard, qui est situé dans l'écorce généralement près de l'épiderme.

2.1.1 La zone génératrice libéro ligneuse ou cambium :

2.1.1.1 La Formation :

Dans chaque faisceau criblo vasculaire de la structure primaire, on observe entre le xylème et le phloème un arc de cambium fasciculaire qui est formé par le reste du procambium non différencié d'origine primaire.

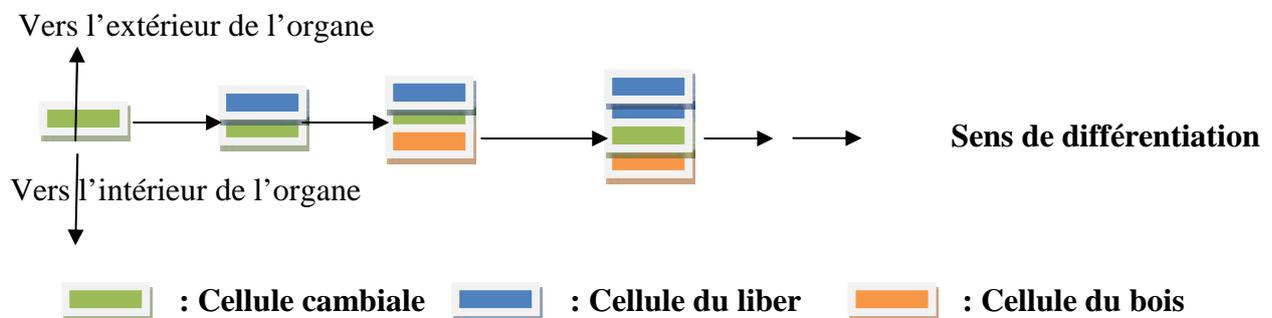
Le cambium fasciculaire commence très tôt à produire des tissus secondaires, ces arcs de cambium constituent les premiers éléments de la zone génératrice libéro ligneuse. Ils sont ensuite

raccordés en un manchon continu par des arcs de cambium situés dans les rayons médullaires entre les faisceaux criblovasculaires (cambium inter fasciculaire), il se forme par le retour à l'état méristématique des cellules du parenchyme inter fasciculaires (dédifférenciation). Cette dédifférenciation débute près des faisceaux conducteurs et s'étend ensuite dans le parenchyme des rayons médullaires.

2.1.1.2 Activité :

Les cellules du cambium se divisent activement suivant une direction radiale (les axes des mitoses coïncidentes avec les rayons de la tige), ces divisions tangentielles permettent la croissance en épaisseur de la tige. Malgré les divisions cellulaires répétées le cambium a une épaisseur constante, la différenciation compense la prolifération cellulaire.

Le cambium produit des tissus secondaires de la tige, il forme à partir des cellules fusiformes vers l'extérieur le liber (phloème secondaire) et vers l'intérieur le bois (xylème secondaire). Sur les deux faces du cambium les initiales des rayons produisent les rayons ligneux et libériens.



Les initiales d'un rayon peuvent disparaître et le rayon qui leur correspond prend alors fin. Il peut aussi s'en former par cloisonnement des cellules fusiformes et un nouveau rayon commence alors à apparaître.

L'activité du cambium est saisonnière, elle a eu lieu au printemps et en été dans les régions à climat tempéré et pendant la saison des pluies dans les régions où le régime des pluies définit le climat. Cette activité débute dans les jeunes tiges, généralement avec le débourrement des bourgeons, puis gagnent successivement les branches, le tronc et enfin les racines, l'arrêt de l'activité cambiale se fait dans le même ordre.

2.1.2 La zone génératrice subéro phellodermique ou phellogène :

Cette zone apparaît plus tardivement que le cambium (une ou plusieurs années après), chez les végétaux herbacés présentant une structure secondaire, cette zone ne se forme pas.

2.1.2.1 La formation

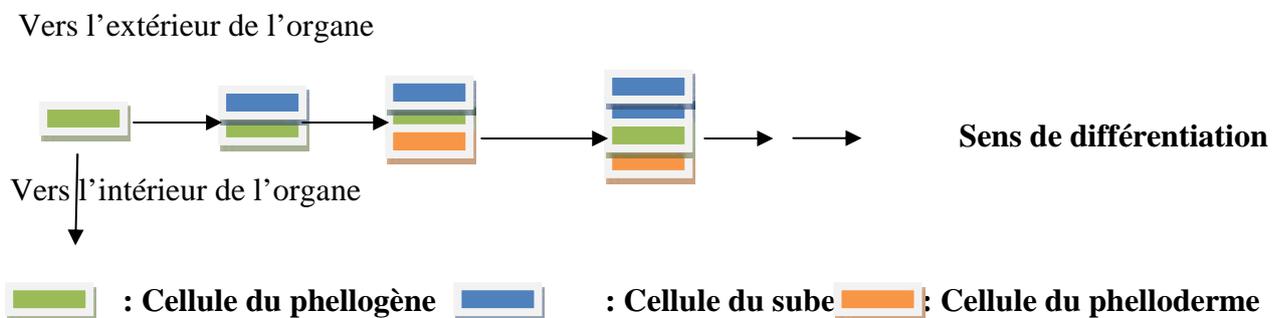
Le plus souvent elle se constitue à partir de l'assise cellulaire sous épidermique mais elle peut être plus profondément dans l'écorce (exemple du pin) et parfois dans le phloème primaire (exemple : vigne, cyprès). Quelque soit son lieu de formation, cette zone résulte d'une

dédiﬀérenciation de cellules parenchymateuses et souvent même de cellule du collenchyme (cas des assises sous épidermiques).

Les premières divisions qui marquent le début d'une zone subéro phellodermique peuvent apparaître de façon continu tout autour de la tige, mais le plus souvent elles se forment dans des zones localisées qui correspondent aux futures lenticelles puis s'étendent ensuite sur tout le pourtour de la tige.

2.1.2.2 L'activité :

Comme celle du cambium, les cellules de cette zone se divisent selon une direction radiale. Le premier tissu formé par cette zone est le lige ou suber qui se différencie sur la face externe, sur la face interne apparaissent quelques assises d'un tissu parenchymateux pouvant être chlorophyllien (Phelloderme). Comme le cambium, cette zone présente une activité saisonnière. La zone subéro phellodermique et les tissus produits forment un ensemble protecteur appelé périoderme.



2.2 Structure secondaire des tiges ligneuses :

2.2.1 Disposition des tissus conducteurs secondaires:

Lorsque le manchon du cambium est formé, la formation de tissus secondaires sur les deux faces peut se réaliser suivant deux modèles :

1- Le liber et le bois ne sont produits qu'au niveau des faisceaux conducteurs de la structure primaire par le cambium fasciculaire. Dans les rayons médullaires primaires, le cambium inter fasciculaire ne forme pas de tissus conducteurs mais un parenchyme secondaire constituant de larges rayons ligneux et libériens (exemple : vigne ; hêtre), il en résulte la formation d'un anneau discontinu de tissus conducteurs secondaires (pachyte discontinu, pachyte = épaisseur).

2- Le liber et le bois sont formés sur toute l'étendue du cambium. Il en résulte la formation d'un anneau continu de tissus conducteurs ne présentant que d'étroits rayons ligneux et libériens (pachyte continu des conifères, chêne,...).

Le bois d'une tige ligneuse âgée de trois ans est disposé en couches concentriques (cernes), l'épaisseur de chaque couche correspond à l'épaisseur du bois formé pendant une année par le

cambium. Elle comprend un bord interne clair (bois du printemps ou bois initial) et un bois externe foncé (bois d'automne ou bois final).

L'épaisseur de ces couches est variable, elle est de quelques millimètres (cas du chêne) à quelques centimètres (cas du saule, peuplier). Chez les angiospermes (bois hétéroxylé), le bois initial renferme des vaisseaux nombreux et peu de fibres et le bois final renferme peu de vaisseaux, étroits et beaucoup de fibres. Chez les gymnospermes (bois homoxylé), les trachéides du bois initial sont beaucoup plus larges que celles du bois final.

Comme le bois le liber est formé de couches concentriques dont chacune correspond à l'épaisseur du liber formé pendant une année par le cambium. Les couches annuelles du liber sont peu épaisses, réduites à de minces feuillets de quelque dixième de millimètre. Souvent les feuillets plus externes se désagrègent puis sont résorbés. Chaque couche annuelle de liber correspond à un liber initial formé de tubes criblés larges et nombreuses et un liber final à tubes criblés étroites.

2.2.2 Disposition des tissus protecteurs secondaires (péricorde):

Lorsque la zone génératrice subérophellodermique est formée, la prolifération puis la différenciation de ces cellules produisent du liège, épais à l'extérieur, du phelloderme réduit à l'intérieur. Le liège est souvent formé de couches annuelles ; liège initial, à large cellules et un liège final à cellules étroites.

La zone génératrice formée dans l'écorce persiste et fonctionne durant toute la vie de la plante ou au moins durant de nombreuses années. Au début de son fonctionnement, la couche de liège est mince, la surface de la tige ligneuse débarrassée de son épiderme est lisse et quand cette couche devient épaisse, la surface de la tige se fissure et se craquelle (la surface extérieure est mécaniquement brisée par la croissance en épaisseur).

Dans la plus part du temps, la première zone formée sera remplacée par une seconde qui se différencie sous elle dans le phloème. La première cesse de fonctionner et de nouveaux tissus protecteurs sont formés par la nouvelle zone sous les anciens. Les phénomènes se répètent et il peut s'en former tous les ans de nombreuses zones génératrices subéro phellodermiques se succédant à la périphérie de la tige.

Selon les espèces, la formation de ces assises ultérieures se fait selon deux modalités :

- 1- Elles apparaissent sous la forme de manchon continu, tout comme la première (ex. vigne)
- 2- Elles apparaissent sous la forme de manchon discontinu en forme d'écailles concaves vers l'extérieur et se raccordent les unes aux autres par leur bords.

Lorsqu'il y a formation de plusieurs péricordes successifs, les tissus extérieurs meurent et se détachent (rhytidomes = état ride) sous forme de manchon continu (ex. vigne), de plaques (ex. platane) ou d'anneaux (ex. cerisier).

Chez de nombreuses plantes les rhytidomes successifs adhèrent étroitement les uns avec les autres et ne se détachent pas, la surface de la tige se craquelle, se fissure et des lambeaux plus au moins épais de périderme se détachent (ex. pin, certains chênes) ce qu'on appelle improprement écorce.

2.2.3 Le devenir des tissus de la structure primaire :

L'épiderme et les couches de l'écorce primaire, sous les quelles la zone génératrice est formée sont isolés et meurent, puis sous l'effet de la croissance en épaisseur de la tige, ils se brisent et s'exfolient. Les parties profondes de l'écorce primaire ainsi que le phloème primaire sont rapidement écrasés par les formations secondaires et disparaissent. Seuls le xylème primaire et la moelle demeurent au centre et ne tardent pas à former le cœur des tiges âgées.

Au cours de la première année le cambium ne traverse pas la lacune foliaire (position nodale), pendant la deuxième année, généralement le cambium traverse la lacune et les traces foliaires entre le xylème et le phloème. Ce cambium continu ensuite à former des anneaux complets de bois et de liber.

La formation des tissus secondaires dans les branches se fait de la même modalité que la tige principale. Au point d'insertion d'un rameau sur une tige, les anneaux conducteurs de l'un et de l'autre se raccordent très exactement.

Chez les végétaux ligneux le développement des bourgeons axillaires a lieu un an après celui de la tige qui les supporte ; les anneaux ligneux de première année d'une branche se raccorde à l'anneau ligneux de seconde année du tronc.

2.3 Structure secondaire des tiges herbacées :

Chez les tiges annuelles, la croissance en épaisseur est peu marquée, les tissus secondaires peuvent se former mais sans élimination de la structure primaire, formée essentiellement des parenchymes de l'écorce et de la moelle. Chez quelque espèces, la structure secondaire est réduite aux cambiums fasciculaires (pas de manchon continu ni de zone subéro phellodermique). La formation secondaire est limitée aux faisceaux criblo vasculaires qui s'ajoutent aux faisceaux d'origine primaire. Dans certains cas, il peut avoir formation de manchon continu.

II. La racine :

1. Structure primaire des racines

Comme chez les tiges, l'activité du méristème terminal produit des tissus primaires dont la disposition définit la structure primaire des racines.

On distingue dans les racines des végétaux vasculaires de l'extérieur vers l'intérieur les parties suivantes :

1.1. Assise pilifère :

Elle est constituée par une couche continue de cellules aux membranes minces, cellulósiques, parfaitement unies les unes aux autres. Beaucoup d'entre elles ont émis un prolongement vers l'extérieur de la racine : Les poils absorbants.

La membrane des poils absorbants est mince, entourant une couche de cytoplasme avec une vacuole volumineuse, le noyau de la cellule se trouve généralement à l'extrémité du poil. La forme des poils absorbants varie avec l'état physique du milieu où il se trouve (si le milieu est humide, le poil absorbant est cylindrique et perpendiculaire à la racine principale), il est irrégulier fréquemment ramifié dans un sol sec.

Pendant l'élongation de la racine, la hauteur de la zone pilifère demeure constante, elle est située toujours à la même distance de la coiffe (les poils absorbant de la partie supérieure se flétrissent et meurent tandis que de nouveaux poils se différencient à sa base).

L'assise pilifère est continuellement renouvelée pendant la croissance en longueur d'une racine.

1.2 L'écorce :

Elle est épaisse, constituée par un parenchyme non chlorophyllien avec méats, peut accumuler d'abondants réserves (souvent amylofère). Lorsque l'assise pilifère meure et se détache, les cellules périphériques de l'écorce mises à nu se subérifient, elles constituent une couche subéreuse formée par un ou plusieurs assises.

Vers l'intérieur de la racine, l'écorce se termine par l'endoderme, c'est la couche la plus profonde qui est en contact avec le cylindre central, c'est une assise de cellules irrégulièrement disposées et allongées. Les membranes latérales des cellules portent des épaissements imprégnés de lignine et de subérine (bande de caspary) entourant complètement chacune des cellules.

Au niveau du coté subérifié, le cytoplasme adhère étroitement à la membrane squelettique même en cas de plasmolyse des cellules (impose au passage des substances absorbées par les racines vers d'autres couches). Chez les végétaux supérieurs (vasculaires), l'endoderme présente cette organisation au niveau de l'assise pilifère (zone d'absorption) et sur d'autres parties de la racine.

1.3 Cylindre central :

C'est la partie de la racine où sont localisées les tissus conducteurs, séparés par une ou plusieurs couches de cellules parenchymateuses « péricycle ». Lorsque le péricycle comprend une assise de cellules, celle-ci alterne avec celle de l'endoderme et lorsqu'elle est formée de plusieurs assises, elles alternent entre elles. Les parois de ces cellules demeurent cellulósiques. L'organisation du cylindre central est essentiellement définie par la disposition des tissus

conducteurs qui se réalisent au cours de la différenciation des tissus par phases successives constituant l'évolution vasculaire primaire de la racine.

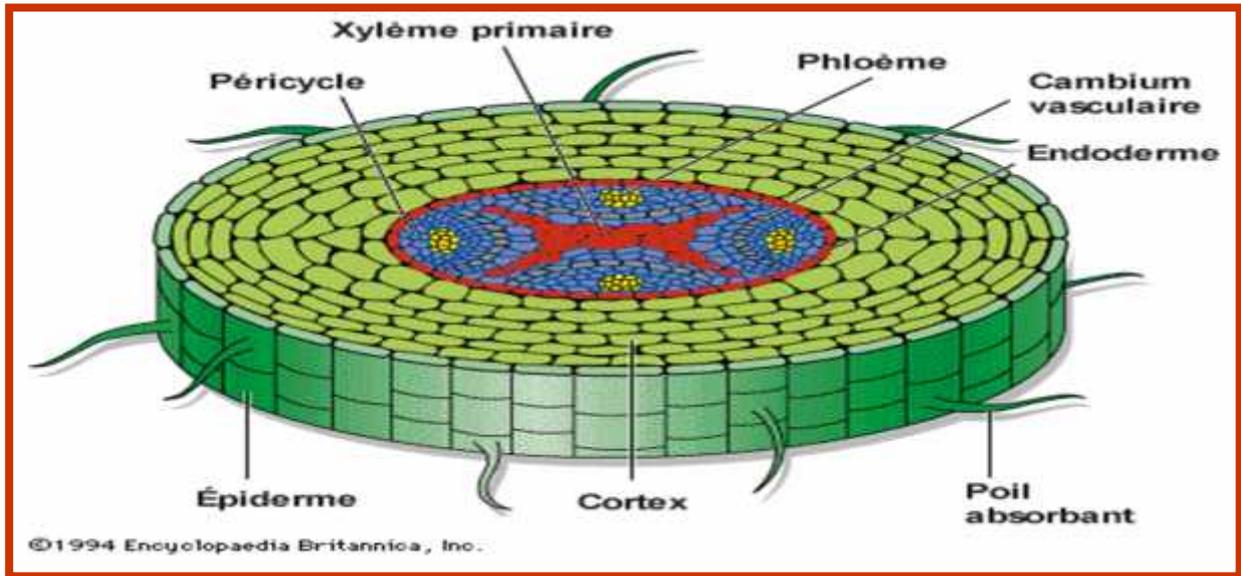


Figure 13 : Coupe schématique d'une racine

2. Racines des spermaphytes (Angiospermes et gymnospermes):

2.1 Racines à évolution vasculaire complète : (cas de la fève : *Faba vulgaris* L.)

L'organisation du cylindre central est étudié sur des coupes transversales de racines, à la même distance du collet, dans des racines plus en plus âgées. On suit toutes les étapes de l'évolution des tissus conducteurs primaires dans le cylindre central.

1^{ère} coupe : Elle montre le début de la différenciation dans le cylindre central ; contre le péricycle on observe en quatre points quelques tubes criblés du protophloème, le reste du cylindre central est indifférencié.

2^{ème} coupe : Le métaphloème est différencié « centripète », il contient des fibres sclérifiées à parois peu épaisses. En alternance avec les massifs du phloème, contre le péricycle quatre faisceaux du xylème sont différenciés. Le pôle ligneux (protoxylème) de chacun d'eux est adossé au péricycle, les vaisseaux se différencient dans une orientation centripète. Ils constituent alors le xylème alterne à différenciation centripète.

Par ailleurs, on remarque dans les cellules situées contre le bord interne des faisceaux du phloème des cloisonnements qui marquent le début de la formation d'un cambium précoce.

3^{ème} coupe : Les quatre faisceaux du phloème primaires sont complètement différenciés et de nombreux éléments du protophloème sont écrasés et résorbés.

Aux vaisseaux du xylème alterne centripète s'ajoute de nouveaux vaisseaux qui se sont différenciés tangentiellement (parallèle au bord du péricycle)). Ils constituent le xylème intermédiaire à différenciation tangentielle.

Un manchon continu du cambium est formé à partir des cellules du péricycle au niveau des pôles ligneux et les arcs du cambium de la face interne du phloème. A ce stade il prend un contour sinueux (il passe sur la face interne du phloème et le contour externe des pôles ligneux).

4^{ème} coupe : Elle présente la dernière phase de la différenciation du xylème primaire. Les derniers vaisseaux du xylème différenciés sont formés de l'intérieur de la stèle vers l'extérieur en direction du massif du phloème. Ces vaisseaux sont superposés au phloème primaire dont ils ne sont séparés que par le cambium. Ils constituent le xylème primaire superposé à différenciation centrifuge. A ce moment, le cambium commence à différencier les tubes criblés et les vaisseaux ligneux secondaires. Comme la tige, pas de continuité entre la structure primaire et secondaire chez la racine. En conclusion en remarque que :

- Le phloème se différencie avant le xylème et sa différenciation est centripète.
- Les pôles ligneux sont situés à la périphérie du cylindre central, contre le péricycle « xylème exarche », ils alternent régulièrement avec les massifs du phloème.
- La différenciation du xylème dans la racine comprend trois étapes successives :
 - Une phase à différenciation centripète donnant le xylème alterne.
 - Une phase à différenciation tangentielle donnant le xylème intermédiaire.
 - Une phase à différenciation centrifuge donnant le xylème superposé.

Le nombre des pôles ligneux est variable selon les espèces.

2.2 Racines à évolution vasculaire incomplète :

Chez les dicotylédones qui ne forment pas de structure secondaire, l'organisation vasculaire des racines est plus simple. Le xylème est représenté par des vaisseaux alternes, quelques vaisseaux intermédiaires différenciés et des vaisseaux superposés ne se forment pas.

L'évolution des vaisseaux alternes rejoint le cylindre central ou non en laissant une partie parenchymateuse qui constitue la moelle.

La plus part des monocotylédones ne produisent pas de structure secondaire, elle est réduite au xylème interne et le centre de la stèle est occupé par une moelle abondante. Le nombre de pôle ligneux est généralement supérieur à cinq.

2.3 Passage de la structure primaire de la racine à la structure primaire de la tige :

La structure primaire de la tige est caractérisée par les tissus ligneux superposés au phloème qui se différencient à partir d'un pôle ligneux situé à l'intérieur de la tige « xylème endarche ». Celle de la racine est définie par une disposition en alternance des massifs du phloème et les premiers éléments du xylème, ce dernier tissu se différencie à partir du pôle ligneux situé à la périphérie du cylindre central « xylème exarche ».

L'observation de trois coupes transversales (base, milieu et sommet) de l'hypocotyle permet de dégager les caractères essentiels de cette évolution :

1. Base de l'hypocotyle :

On observe deux faisceaux de phloème en alternance à deux faisceaux du xylème. Dans le cylindre central d'un plant âgé le xylème interne s'ajoute au xylème intermédiaire et le xylème superposé.

2. Milieu de l'hypocotyle :

Les deux massifs du phloème sont étirés le long du péricycle et chacun deux est aminci en son milieu. Le xylème est représenté par des faisceaux intermédiaires et quelques faisceaux superposés (pas de faisceaux alternes, représentés sous forme de traces en résorption).

3. Sommet de l'hypocotyle :

On observe quatre massifs de phloème provenant du partage des deux massifs observés dans la base de l'hypocotyle. Le xylème est constitué par quatre vaisseaux ligneux superposés aux vaisseaux du phloème primaire ; ce sont quatre faisceaux criblo vasculaires, cependant quelques traces de vaisseaux intermédiaires sont en voie de résorption.

2.4 Formation des racines secondaires :

Les racines secondaires se forment à certaines distances du point végétatif dans les tissus profonds : dans le péricycle chez les spermatophytes et dans l'endoderme chez les ptéridophytes.

La formation des racines secondaires débute par la division de quelques cellules du péricycle bien localisées, ce sont des cellules parenchymateuses qui se différencient en cellules méristématiques, il se forme un massif de cellules « primordium radulaire », appliqué contre le cylindre central qui repousse vers l'extérieur en écrasant l'endoderme et quelques assises de l'écorce. La croissance du primordium se poursuit « purement mécanique », les cellules corticales sont écrasées et détruites par la poussée de la jeune racine. Pendant la traversée, le primordium s'organise en une coiffe et un point végétatif, bientôt les tissus de la racine secondaire commencent à se différencier en écorce, cylindre central,...

Chez les cucurbitacées, papilionacées, la formation des racines secondaires est assurée par l'endoderme, une ou deux assises de l'écorce et les cellules du péricycle.

3. Structure secondaire des racines :

3.1 Zone génératrice libéro ligneuse (cambium) :

Elle débute par le cloisonnement des cellules situées sur la face interne des faisceaux du phloème, ces arcs de cambium s'épaississent grâce aux divisions radiales des cellules. Ultérieurement les cellules du péricycle (en face des pôles ligneux) se cloisonnent radialement, ces nouveaux arcs de cambium formés se raccordent avec les anciens en formant un manchon continu de cambium, sinueux au début et circulaire après la différenciation des tissus secondaires. L'activité du cambium est similaire à celle observée au niveau de la tige.

3.2 Zone génératrice subéro phellodermique :

Chez la plus part des dicotylédones herbacées formant une structure secondaire, ils sont limités aux tissus d'origines cambiales. Par contre les végétaux ligneux produisent dans leurs racines des tissus protecteurs secondaires à partir de la zone subéro phellodermique. Généralement cette zone se forme profondément dans le péricycle, rarement au milieu de l'écorce (en fonction des espèces) et sous l'assise pilifère.

En effet, la division des cellules du péricycle qui donne vers l'intérieur des arcs de cambium et vers l'extérieur des premiers éléments de la zone génératrice subéro phellodermique sous forme d'une zone continue encerclant les tissus conducteurs primaires et secondaires produit par le cambium. Son activité est la même que celle de la tige (à l'extérieur du suber et phelloderme à l'intérieur), la croissance en épaisseur provoque la rupture et exfoliation de l'écorce primaire.

Références bibliographiques

M. BLAMEY et C. GREY-WILSON. La flore d'Europe occidentale, Flammarion, Paris, 2003.

J.-L. BONNEMAIN et C. DUMAS. La biologie végétale. Que sais-je ? PUF, Paris, 1998.

R. BUVAT. Ontogeny, cell differentiation and structure of vascular plants. Springer International, Amsterdam, 1988.

- M. BOURNERIAS et C. BOCK.** Le génie des végétaux. Belin, Paris, 2006.
- H. CAMEFORT.** Morphologie des végétaux vasculaires. Cytologie, anatomie, adaptations.
- H. CAMEFORT et H. BOUÉ.** Reproduction et biologie des principaux groupes végétaux. Les Cormophytes ou Archégoniates. Doin, Paris, 1998 et 1994.
- G. CUSSET.** Botanique, Les Embryophytes. Masson, Paris, 1996.
- F. HALLÉ.** Éloge de la plante. Point, Paris, 2004.
- C. HARTMANN, C. JOSEPH et B. MILLET.** Biologie et physiologie de la plante. Âge chronologique, âge physiologique et activités rythmiques. Nathan, Paris, 1998.
- R. HELLER, R. ESNAULT et C. LANCE.** Physiologie Végétale, tome 2. Développement. Dunod, Paris, 2004.
- WS. JUDD, SS. CEMPBELL, Y. KELLOG, R. STEVENS,** Botanique systématique, De Boeck, Bruxelles, 2002.
- L. LUTTGE, M. KLUGE et G. BAUER.** Botanique. Lavoisier Tec. et Doc., Paris, 2001.
- P. MAZLIAK** (sous la direction de). Physiologie végétale, tome II. Croissance et développement. Hermann, Paris, 1998.
- P. PESSON et J. LOUVEAUX.** Pollinisation et productions végétales. INRA, Paris, 1984.
- A. RAYNAL-ROQUES.** La botanique redécouverte. INRA Belin, Paris, 1999.
- D. ROBERT et J.C. ROLAND.** Biologie Végétale. Tome 1 : Organisation cellulaire. Doin, Paris, 1998.
- D. ROBERT et A.M. CATESSON.** Biologie Végétale. Tome 2. Organisation végétative. Doin, Paris, 2^e édition, 2000.
- D. ROBERT, C. DUMAS et C. BAJON.** Biologie Végétale. Tome 3. Reproduction. Doin, Paris, 1998.
- A. LE THOMAS.** L'origine des plantes à fleurs. Dossier Pour la Science : l'évolution, 1997.
- G. SALLÉ, C. TUQUET et A. RAYNAL-ROQUES.** Biologie des Phanérogames parasites. C. R. Soc. Biol., **192**, 9-36, 1998.