

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Tahri Mohammed-Béchar



Faculté des sciences de la Nature et de la Vie
Département de Biologie

Cours de Biologie végétale

Préparé par : Dr GOURI Saif – Enseignant chercheur à UTMB.

Polycopié Destiné aux étudiants de 1^{ère} Année Licence SNV.

Année Universitaire 2020/2021.

TABLE DES MATIERES

	Introduction générale	02
	CHAPITRE I : ORGANISATION CELLULAIRE DES VEGETAUX	
	Introduction	04
I.1	La classification des végétaux	04
I.1.1	Les Thallophytes	04
I.1.2	Les Cormophytes	04
I.1.2.1	Embranchement des Bryophytes	05
I.1.2.2	Embranchement des Ptéridophytes	05
I.1.2.3	Embranchement des Préspermaphytes	05
I.1.2.4	Embranchement des Spermaphytes	05
I.1.2.4.a	Sous-embranchement des Gymnospermes	05
I.1.2.4.b	Sous-embranchement des Chlamydospermes	06
I.1.2.4.c	Sous-embranchement des Angiospermes	06
I.2	Classification APG Angiosperm Phylogeny Group	06
I.2.1	Résumé des classifications APG	07
I.3	Organisation cellulaire	10
I.3.1	La théorie cellulaire	10
I.4	La cellule eucaryotique végétale	11
I.4.1	Les membranes cellulaires	11
I.4.2	La paroi cellulaire	12
I.4.3	Les vacuoles	13
I.4.4	Les plastes	14
I.4.5	Les cytosomes	15
I.4.5.1	Les lysosomes	15
I.4.5.2	Les glyoxysomes	15
I.4.5.3	Les peroxyosomes	15
	CHAPITRE II : DIFFERENTS TYPES DES TISSUS VEGETAUX	
	Introduction	17
II.1	Les méristèmes	17
II.1.1	Les méristèmes apicaux ou méristèmes primaires	17
II.1.2	Les méristèmes latéraux ou méristèmes secondaires	17
II.2	Les tissus protecteurs	19
II.2.1	L'épiderme	19
II.2.1. a	Les cellules épidermiques	19
II.2.1. b	Les stomates	19
II.2.1. c	Les trichomes épidermiques	20
II.2.1. d	Le liège	20
II.2.2	Le périoderme	20
II.3	Les parenchymes	21
II.3.1	Parenchyme chlorophyllien	21
II.3.1.a	Dans les jeunes tiges et les feuilles monocotylédones	21

II.3.1.b	Dans les feuilles dicotylédones	22
II.3.2	Parenchyme de réserve	23
II.3.2.a	Parenchyme des racines, des tiges souterraines, des graines	23
II.3.2.b	La moelle des tiges aériennes	23
II.3.3	Parenchyme aquifère	23
II.3.4	Parenchyme aérifère	24
II.4	Les tissus de soutien	25
II.4.1	Le collenchyme	25
II.4.2	Le sclérenchyme	27
II.5	Les tissus sécréteurs	29
II.5.1	Les cellules sécrétrices isolées	29
II.5.2	Les épidermes et les trichomes sécréteurs	29
II.5.3	Les poches et les canaux excréteurs	29
II.5.4	Les laticifères	30
II.6	Les tissus conducteurs	31
II.6.1	Les tissus conducteurs primaires	31
II.6.1.1	Organisation du xylème	32
II.6.1.1.a	Eléments conducteurs	32
II.6.1.1.a1	Les trachéides	32
II.6.1.1.a2	Les vaisseaux	33
II.6.1.1.b	Eléments non conducteurs	35
II.6.1.1.b1	Les parenchymes	35
II.6.1.1.b2	Les fibres	35
II.6.1.1.c	Structure du xylème	35
II.6.1.2	Organisation du phloème	36
II.6.1.2.a	Eléments conducteurs	37
II.6.1.2.b	Eléments non conducteurs	38
II.6.1.2.b1	Le parenchyme phloémien cellulosique	38
II.6.1.2.b2	Les fibres	38
II.6.2	Tissus conducteurs secondaires	38

CHAPITRE III : ANATOMIE DES VEGETAUX

	Introduction	44
III.1	Anatomie des racines	44
III.1.1	Assise pilifère	45
III.1.2	L'écorce	45
III.1.2.a	Parenchyme cortical	45
III.1.2.b	Endoderme	45
III.1.3	Le cylindre central ou stèle	45
III.1.4	Les racines à évolution vasculaire incomplète ou structure primaire	46
III.1.4.1	Chez les Monocotylédones	46
III.1.4.2	Chez les Dicotylédones	47
III.1.5	Racine à évolution vasculaire complète ou structure secondaire	48
III.1.5.1	Chez les Angiospermes Dicotylédones et les gymnospermes	48
III.1.5.1.1	Assise génératrice libéro-ligneuse ou cambium	48

Table des matières

III.1.5.1.2	Assise génératrice subéro-phéllodermique ou phelloderme	48
III.2	Anatomie des tiges	49
III.2.1	Structure primaire de la tige	49
III.2.1.1	Chez les Angiospermes Monocotylédones	49
III.2.1.2	Chez les Angiospermes Dicotylédones	50
III.2.2	Structure secondaire ou croissance en épaisseur de la tige	51
III.2.2.1	Cambium	51
III.2.2.1.a	La pachyte discontinue	52
III.2.2.1.b	La pachyte continue	52
III.2.2.2	Assise génératrice subéro-phéllodermique	52
III.3	Anatomie des feuilles	54
III.3.1	Chez les Angiospermes Monocotylédones	54
III.3.2	Chez les Angiospermes Dicotylédones	55
III.4	Anatomie comparée entre Monocotylédone et Dicotylédone.	57
	Glossaire d'histologie et d'anatomie des plantes vasculaires	62
	Références Bibliographiques	70

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE II : DIFFERENTS TYPES DES TISSUS VEGETAUX

Tableau n° II.1	Récapitulatif des différents types de tissus végétaux	40
------------------------	---	-----------

CHAPITRE III : ANATOMIE DES VEGETAUX

Tableau III.1	Différences anatomiques entre les Monocotylédones et les Dicotylédones	57
Tableau III.2	Différences entre les Monocotylédones et les Dicotylédones (structure anatomique de la tige et de la racine)	58
Tableau III.3	Différences entre une tige Monocotylédone et Dicotylédone	58
Tableau III.4	Différences entre une feuille Monocotylédone et Dicotylédone	58
Tableau III.5	Différences entre une racine, tige et feuille	59

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I : ORGANISATION CELLULAIRE DES VEGETAUX

Figure n° I.1	Résumé de l' APG II (2003)	07
Figure n° I.2	Classification APG III élaborée en 2009 par l'Angiosperm Phylogeny Group	08
Figure n° I.3	Arbre phylogénétique des ordres et certaines familles (APG IV, 2016)	09
Figure n° I.4	Les grands moments de la découverte de la biologie cellulaire	10
Figure n° I.5	Schéma des compartiments de la cellule végétale	12
Figure n° I.6	Schéma d'organisation des différentes parois dans les cellules	13
Figure n° I.7	Schéma tridimensionnel d'organisation d'une paroi cellulaire	13
Figure n° I.8	Différents types de plastes	15

CHAPITRE II : DIFFERENTS TYPES DES TISSUS VEGETAUX

Figure n° II.1	Les méristèmes apicaux (M. primaire) et latéraux (M. secondaires)	18
Figure n° II.2	Stomates	19
Figure n° II.3	Les différents types de trichomes chez les angiospermes	20
Figure n° II.4	Périderme (suber, phellogène et phelloderme)	21
Figure n° II.5	Parenchymes chlorophylliens	22
Figure n° II.6	Schéma d'une coupe transversale de feuille de plante dicotylédone, (Mésophylle hétérogène)	22
Figure n° II.7	Parenchymes de réserves	23
Figure n° II.8	Coupe transversale d'une feuille d' <i>Aloe vera</i>	24
Figure n° II.9	Parenchymes aérifères (étoilé ou en réseau)	24
Figure n° II.10	Collenchyme rond ou annulaire	25
Figure n° II.11	Collenchyme angulaire en coupe transversale	26
Figure n° II.12	Collenchyme tangentiel en coupe transversale	26
Figure n° II.13	Fibres	27
Figure n° II.14	Sclérites	28
Figure n° II.15	Récapitulation de la localisation du collenchyme et sclérenchyme dans une tige d'Aristolochie clématite. <i>Aristolochia clematitis</i>	28
Figure n° II.16	Types de trichomes de chanvre. (A) trichome non glandulaire unicellulaire; (B) les trichomes cystolythiques; (C) trichome bulbeux simple	29
Figure n° II.17	Poche Sécrétrice	30
Figure n° II.18	C.L laticifère ramifié (non articulé)	30
Figure n° II.19	Laticifère articulé en coupe longitudinale et transversale	31
Figure n° II.20	Les trachéides	33

Figure n° II.21	Différents types d'éléments de vaisseaux	34
Figure n° II.22	Coupe longitudinale d'un faisceau vasculaire d'une angiosperme	34
Figure n° II.23	Schéma montrant le parenchyme du xylème (xylenchyme)	35
Figure n° II.24	Xylème - C.T de tige de renoncule	36
Figure n° II.25	Phloème (tissu criblé) en coupe longitudinale	36
Figure n° II.26	Elément conducteur à cribles composés (<i>Vigna vitis</i>)	37
Figure n° II.27	Parenchyme phloémien	38
Figure n° II.28	Formations des structures secondaires	39
Figure n° II.29	La représentation conventionnelle des tissus	42
CHAPITRE III : ANATOMIE DES VEGETAUX		
Figure n° III.1	Structure d'une racine, organisation générale	44
Figure n° III.2	Assise pilifère et assise subéreuse	45
Figure n° III.3	Schéma montrant l'alternance entre phloème 1 et xylème 1	46
Figure n° III.4	Portion d'un cylindre central de racine d'iris	46
Figure n° III.5	L'endoderme	47
Figure n° III.6	Structure primaire d'une racine à évolution vasculaire incomplète (<i>Ficaria ranunculoïdes</i>)	47
Figure n° III.7	Série de schémas figurant la formation des zones génératrices et la formation des structures secondaires	49
Figure n° III.8	Structure d'une tige Monocotylédone	50
Figure n° III.9	Structure de la tige d'Aristolochie (Gx12)	50
Figure n° III.10	Formation des zones génératrices dans une tige (Hêtre)	51
Figure n° III.11	Pachyte discontinue à gauche, et pachyte continue à droite	52
Figure n° III.12	Installation et fonctionnement des méristèmes secondaires chez les Dicotylédones	53
Figure n° III.13	Dessin de détail du parenchyme foliaire	54
Figure n° III.14	Schéma d'une coupe transversale dans le limbe d'une feuille Monocotylédone (Muguet)	55
Figure n° III.15	Dessin de détail du parenchyme foliaire	56
Figure n° III.16	Schéma d'une coupe transversale dans une feuille Dicotylédone	56
Figure n° III.17	Coupe transversale de limbe d'une feuille Dicotylédone (Structure secondaire)	57
Figure n° III.18	Comparaison des interprétations des coupes transversales de racine Monocotylédone et Dicotylédone	59
Figure n° III.19	Comparaison des schémas des coupes transversales de tiges Monocotylédone (l'Iris) et Dicotylédone (la Sanicule)	60
Figure n° III.20	Comparaison des schémas des coupes transversales de limbes de feuilles Monocotylédone (Muguet) et Dicotylédone (Houx)	60

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

La Biologie Végétale est une discipline scientifique qui s'intéresse au monde des végétaux, elle traite la classification, l'aspect externe des plantes, les différents tissus et leurs dispositions, les structures internes des végétaux et leurs reproductions.

Ce cours met l'accent principalement sur les parties histologiques et anatomiques des végétaux Angiospermes Monocotylédones et Dicotylédones, il se veut un support, un outil d'aide aux étudiants de la 1^{ère} année Licence, Science de la Nature et de la Vie (1^{ère} LSNV).

Je souhaite que cette contribution, soit pour les étudiants un outil qui leur faciliterait la compréhension et l'assimilation de cette partie importante du programme.

Le cours est organisé autour de trois chapitres constituant les parties jugées par les étudiants les plus difficiles à comprendre, il s'agit des chapitres :

- ***Organisation cellulaire des végétaux*** : Dans ce chapitre deux aspects sont pris en charge, la classification des végétaux et quelques notions de la cellule végétale et de ces constituants.
- ***Différents types de tissus végétaux*** : études des tissus végétaux primaires et secondaires.
- ***Anatomie des végétaux*** : étude des structures internes des racines, des tiges et des feuilles, des plantes angiospermes Monocotylédones et Dicotylédones en montrant les principales différences entre eux, soit par tableaux comparatifs ou par des illustrations.

Ce polycopié a été réalisé à partir de livres, de cours et des sites trouvés sur internet. Les références de ce cours sont indiquées à la fin du document.

CHAPITRE I
ORGANISATION CELLULAIRE DES VEGETAUX

CHAPITRE I : ORGANISATION CELLULAIRE DES VEGETAUX

Introduction

Les organismes végétaux sont constitués comme ceux des animaux, par un assemblage de cellules. Les plus simples sont réduits à une seule cellule. Mais, le plus grand nombre d'entre eux particulièrement, les végétaux vasculaires sont pluricellulaires.

La comparaison de l'organisation d'une cellule animale et d'une cellule végétale nous permettra de montrer que les constituants essentiels d'une cellule se retrouvent dans les deux règnes, mais il s'y ajoute certaines particularités structurales propres au règne végétal. Avant d'étudier l'organisation cellulaire des espèces végétales, il est important de donner un aperçu succinct sur leur classification. À noter que cette partie du cours sera étudiée avec plus de détail dans le module de botanique en 2^e LSNV. Notre but est d'initier les étudiants à la Botanique.

I.1 Classification des végétaux

La classification **classique** des végétaux s'appuie sur des critères cytologiques, anatomiques et morphologiques, ainsi, dans le règne végétal, on distingue les procaryotes (=procaryotes), ce sont des êtres unicellulaires qui se reproduisent par simple multiplication cellulaire et les eucaryotes qui sont pour la plupart pluricellulaires et se multiplient essentiellement par reproduction sexuée. Chez les végétaux, on observe :

Les végétaux eucaryotes, **traditionnellement** subdivisé en deux grands groupes en fonction de l'organisation structurale du végétal : présence d'un **Thalle** ou d'un **Cormus**, et donc on distingue les Thallophytes et les Cormophytes.

I.1.1. Les Thallophytes

Leur appareil végétatif est appelé thalle (c'est une structure où toutes les cellules se ressemblent sans différenciation physiologiques, c'est à dire que toutes les fonctions sont réparties dans toutes les cellules). L'absorption de l'eau et des sels minéraux se fait au niveau de la surface de la paroi de toutes les cellules. Cependant, en fonction des espèces, le thalle présente des formes très variées allant de l'état unicellulaire jusqu'à des structures complexes.

I.1.2. Les Cormophytes

Ces végétaux ont en commun une structure appelée cormus, c'est à dire une tige avec des feuilles. Les cormophytes par rapport aux thallophytes présentent des fonctions physiologiques bien définies (absorption de l'eau et des sels minéraux par les racines, la photosynthèse par les feuilles et la reproduction par les tiges) et la différenciation cellulaire est importante chez les

cormophytes avec un certain nombre de tissus qui assurent des fonctions spécifiques ; ils sont divisés en plusieurs embranchements :

I.1.2.1. Embranchement des Bryophytes

Ils sont également appelés mousses. Ce sont des végétaux d'organisation relativement simple, de petite taille mais qui possèdent pour certains une véritable tige feuillée. Ils n'ont pas de véritable système racinaire. Ce sont les archizytophytes. Il n'existe pas de véritable feuille, et il ne possède pas de système vasculaire. Ils comprennent trois classes :

- Les Anthocérotes ;
- Les hépatiques ;
- Les mousses.

I.1.2.2. Embranchement des Ptéridophytes

C'est les fougères. Un groupe végétal important, plus de 10000 espèces. Ce sont des végétaux qui possèdent de véritables tissus conducteurs. Ce sont des cryptogames. Ils présentent des analogies avec le groupe des bryophytes au niveau des caractères de la reproduction sexuée. Chez les ptéridophytes, on observe trois classes :

- Les filicinées ou fougères ;
- Equisétinée ou prêles ;
- Les lycopodes.

I.1.2.3. Embranchement des Préspermaphytes

C'est la première plante où apparaît la graine. C'est un groupe qui a connu son apogée à l'ère primaire. Ils sont apparus il y a 400 millions d'années (au dévonien). Depuis, ce groupe a décliné pour faire place aux spermatophytes (plantes à graines), c'est un groupe intermédiaire entre les ptéridophytes et les spermaphytes.

I.1.2.4. Embranchement des Spermaphytes (Phanérogames)

Il est caractérisé par l'apparition de la **fleur et de la graine** d'où le nom de spermaphytes (*du grec, sperma : graine ; phytes : végétal...*), il a été subdivisé en 3 sous-embranchement :

I.1.2.4.a. Sous-embranchement des Gymnospermes :

(Gymnos : nu ; sperma : graine), donc les gymnospermes sont caractérisées par un ovule et une graine non protégée dans lesquelles les ovules (ébauches des futures graines) et les graines elles-mêmes ne sont pas entourées d'enveloppes closes.

Ils sont représentés par 700 espèces environ, beaucoup sont des arbres qui constituent les grandes forêts. Elles comprennent 7 classes, la plus importante est la classe des conifères qui compte

environ 550 espèces. Donc les gymnospermes sont des plantes à graines. La fleur des gymnospermes est réduite aux pièces reproductrices. Les espèces les plus importantes sont le sapin et le pin. L'appareil reproducteur est soit mâle soit femelle mais les deux appareils existent presque toujours portés par le même arbre mais dans des structures séparées.

I.1.2.4.b. Sous-embranchement des Chlamydospermes

(Chlamydos : enveloppe ; sperma : graine), leurs organes reproducteurs sont entourés d'une enveloppe simple. Ces végétaux sont isolés dans la flore actuelle et considérés comme des intermédiaires entre les gymnospermes et les angiospermes.

I.1.2.4.c. Sous-embranchement des Angiospermes

Regroupe les **plantes à fleurs**, et donc les végétaux qui portent des fruits. Angiosperme signifie « graine dans un récipient » en grec par opposition aux gymnospermes (graine nue). Ils représentent la plus grande partie des espèces végétales terrestres, avec 250 000 à 300 000 espèces. Les Angiospermes comprennent les **Dicotylédones** et les **Monocotylédones**.

La systématique, qui est l'étude de la diversité biologique en vue de sa classification, se concentre, à la lumière des découvertes récentes, sur une **nouvelle classification dite phylogénétique** remplaçant à présent la classification classique. Cette dernière établit des groupes ou taxons en fonction d'un simple critère de ressemblance globale. Une classification phylogénétique suppose que l'on regroupe les êtres vivants en fonction de leurs liens de parenté.

I.2. Classification APG Angiosperm Phylogeny Group

Depuis plusieurs années, un groupe constitué d'experts internationaux, l'Angiosperm Phylogeny Group (**APG**) revoit l'entière de la classification en se basant sur des caractères génétiques et en les croisant avec les données morphologiques et physiologiques. Une troisième version phylogénétique (APGIII) est disponible depuis 2009 une autre version (APGIV) est apparue en 2016.

D'après APG, les angiospermes sont divisées en trois grands clades : les paleodicots qui sont polyphylétiques et qui regroupent des lignées primitives, les monocots et les eudicots, les plus anciens sont des dicots, mais présentent un caractère commun avec les monocots (pollen monoaperturé). Il s'agit des :

- Ceratophyllales (ceratophyllum qui vit immergé).
- Laurales (ordre des lauriers).
- Magnoliales.
- Piperales.

I.2.1 Résumé des classifications APG :

-En 1998, **version initiale (APG I)**, un groupe de 26 systématiciens a proposé une classification des angiospermes (12650 genres) en 462 familles en utilisant 03 règnes (ARNr, rbcL, atpB).

-En 2003 ce même groupe publie une révision de la première APGII. Le résumé de cette classification est donné dans la figure suivante :

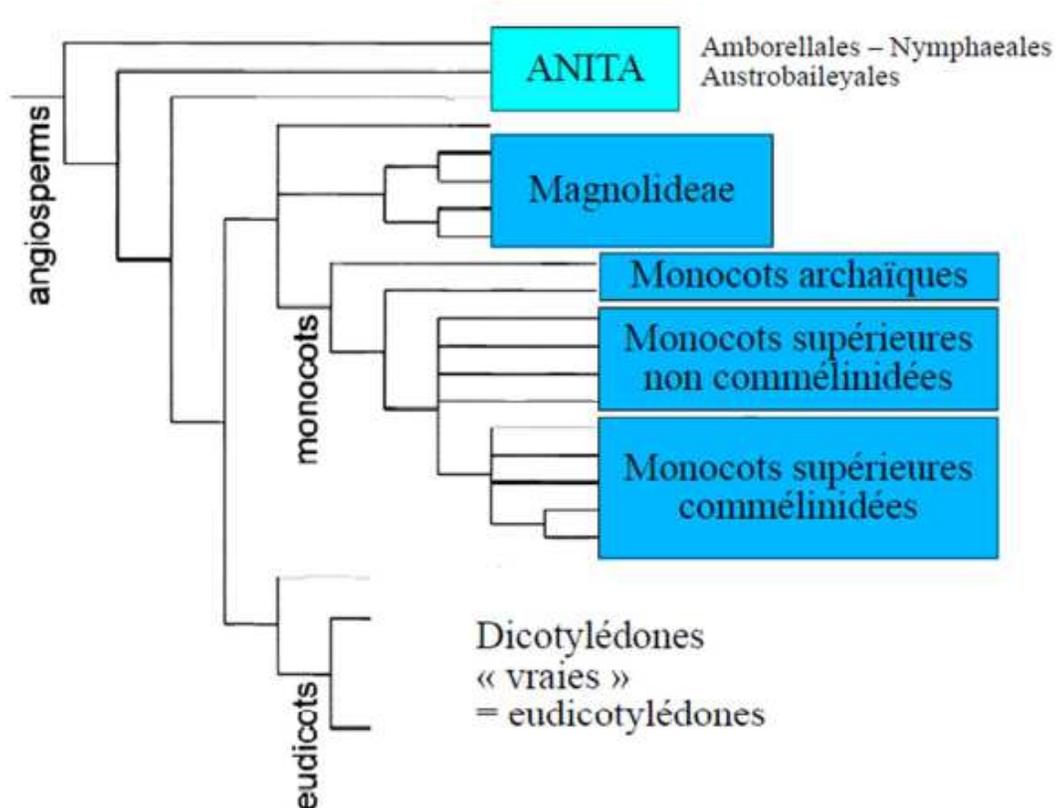


Figure n° I.1 : Résumé de l'APG II (2003), Saouli, N (2019).

Le groupe ANITA présente les dicotylédones basales (archaïques) (ANITA : Amborella, Nymphaea, Illicium, Trimenia et Austrobaileya).

-En 2009 dernière classification du groupe APGIII, Dans la nouvelle classification APGIII qui tient compte que des angiospermes On distingue maintenant les protoangiospermes et les euangiospermes ou angiospermes vrais de même les monocotylédones sont classés en archaïques et évolués.

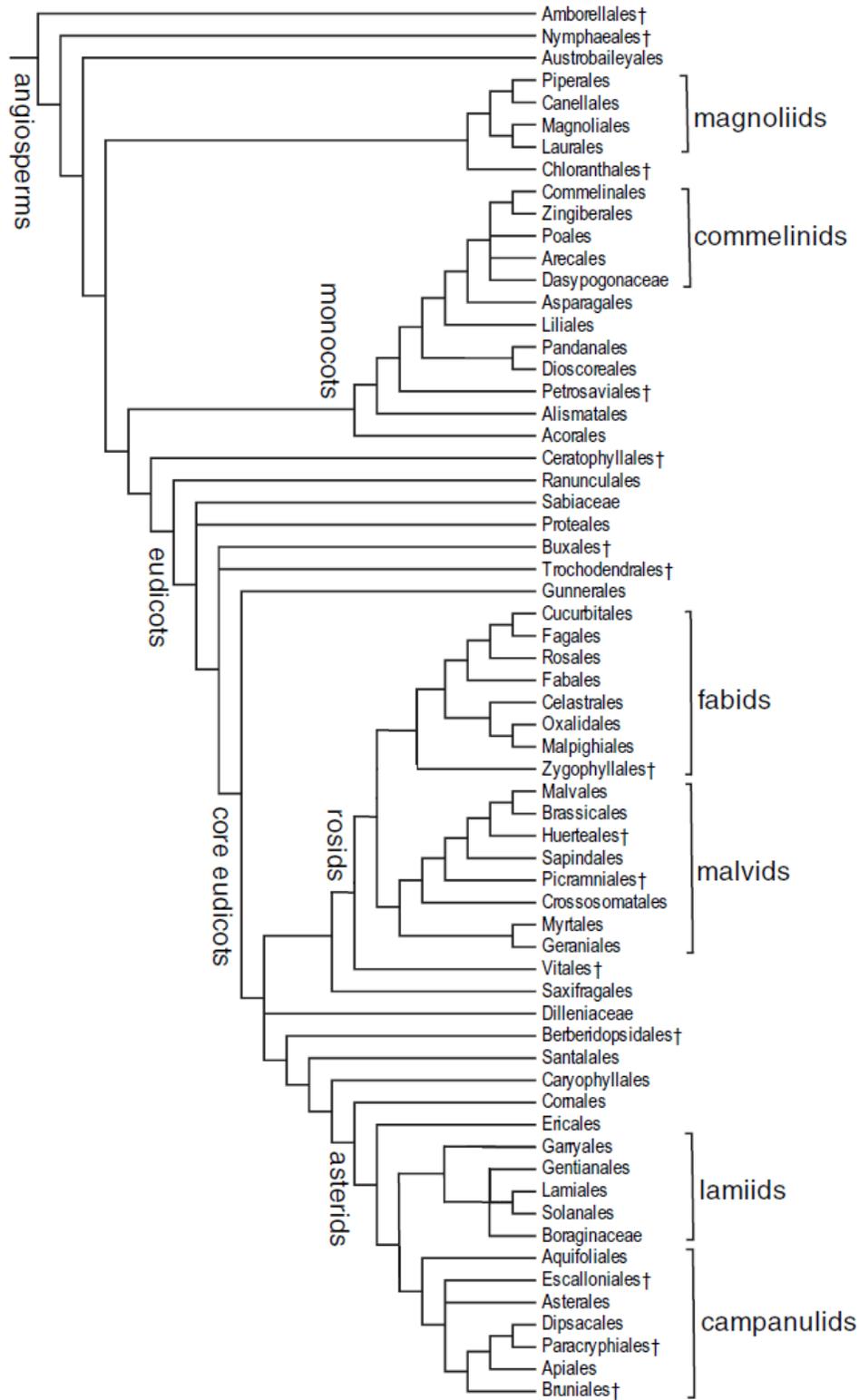


Figure n° I.2 : Classification APG III élaborée en 2009 par l'Angiosperm Phylogeny Group.

-En 2016 APG IV reconnaît 63 ordres et 416 familles avec 04 nouveaux ordres (Boraginales, ; Dilleniales, Icaciunales, Metteniusiales et Vahliales) et 02 nouveaux clades sont apparus, les Superrosidées dans le clade des rosidées et les Superasteridées dans le clade des Asteridées.

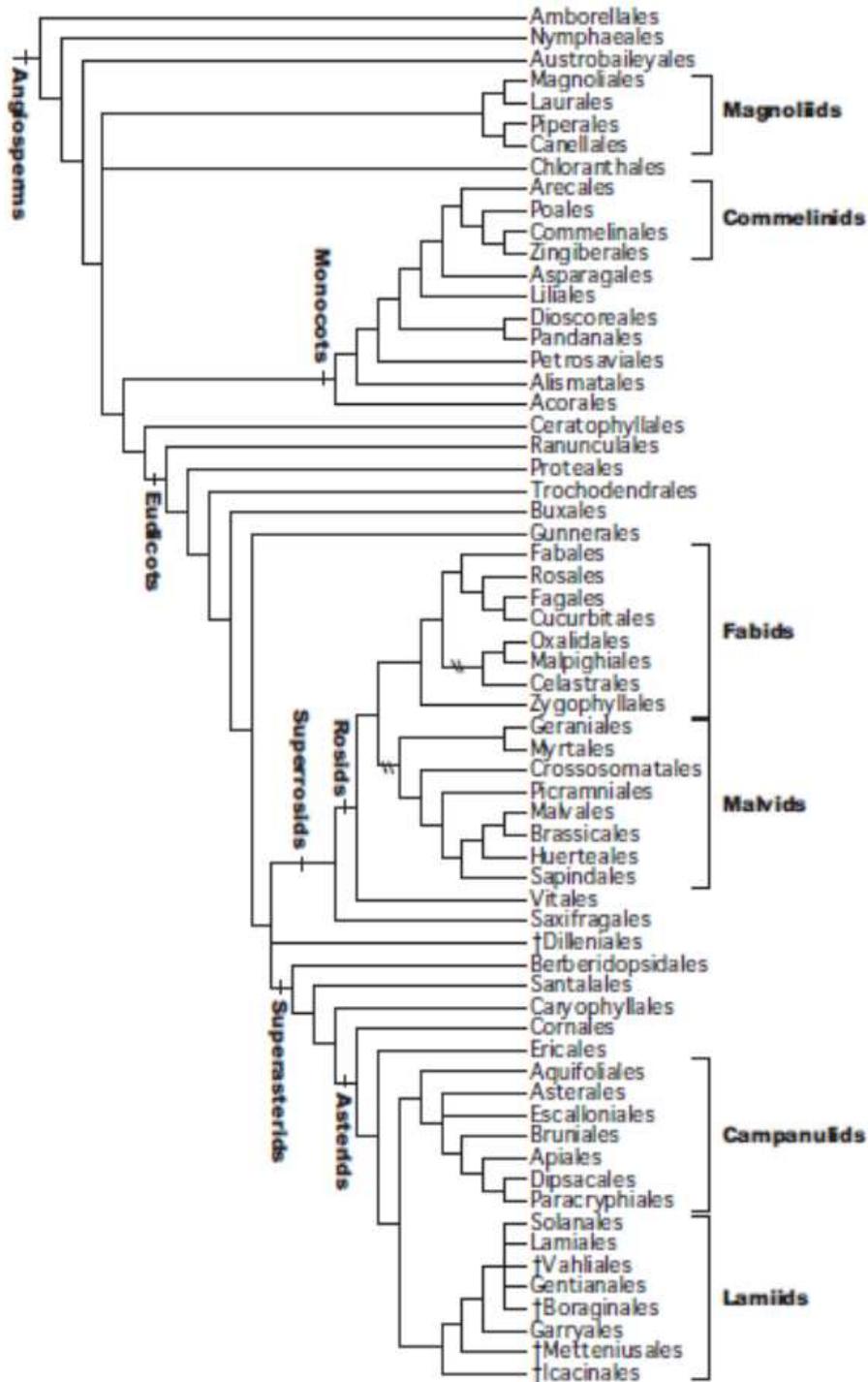


Figure n° I.3 : Arbre phylogénétique des ordres et certaines familles (APG IV, 2016)
Saouli, N (2019).

I.3. Organisation Cellulaire

La cellule est l'unité fondamentale de la vie. C'est aussi l'entité biologique la plus simple capable de vivre isolée. Dans un organisme unicellulaire, la cellule s'occupe de tous les processus vitaux, alors que dans un organisme pluricellulaire, les cellules tendent à se spécialiser. Elles dépendent les unes des autres, chaque cellule se chargeant de fonctions particulières.

I.3.1. La théorie cellulaire

Elle a été proposée par Schleiden et Schwann en 1838 et elle est basée sur trois principes :

- toute forme de vie est faite par une ou plusieurs cellules ;
- les cellules ne peuvent provenir que de cellules préexistantes ;
- la cellule est la plus petite forme de vie.

Comme l'homme est limité par les possibilités de son œil, la connaissance de l'organisation cellulaire est quelque chose de récent. Elle suit le progrès technique permettant de voir des structures invisibles à l'œil nu. La figure I.1 rappelle quelques dates et faits fondamentaux de la biologie cellulaire.

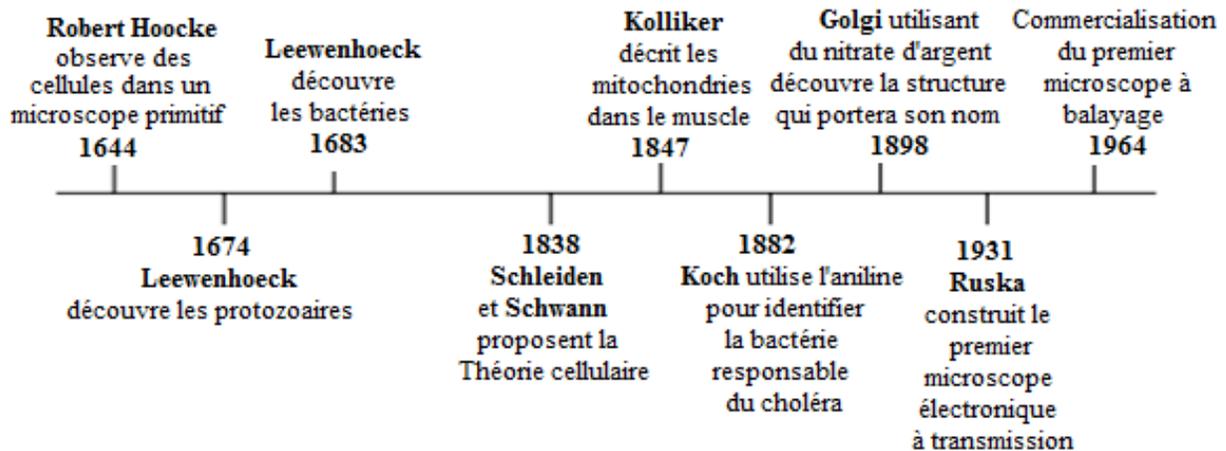


Figure n° I.4 : Les grands moments de la découverte de la biologie cellulaire (Laberche, 2004).

L'organisation cellulaire sera le premier niveau de connaissance du monde végétal. À l'œil nu, il est impossible de voir que le végétal est constitué de cellules. Mais il n'en est pas de même si on observe une coupe transversale de feuille au microscope optique (maintenant on dit plutôt photonique).

Il est aisé de voir que le limbe est constitué de **cellules**, plus ou moins polyédriques compartimentées. De l'extérieur vers l'intérieur, on distingue plusieurs zones.

- La **paroi** : zone épaisse opaque.

- Le **cytoplasme** : zone translucide, plus ou moins granuleuse plaquée contre la paroi et occupant une grande partie de la cellule. Il est composé du **cytosol** et des **organites** (baignant dans le cytoplasme).

- Un **noyau** à l'intérieur du cytoplasme. C'est un corps ovale situé en périphérie de la cellule.

- Des **chloroplastes** à l'intérieur du cytoplasme. De couleur verte, ils possèdent de la chlorophylle et participent activement à un phénomène physiologique fondamental : **la photosynthèse**.

- Une **vacuole** qui occupe toute la zone centrale de la cellule. Elle paraît vide tant elle laisse passer la lumière.

L'observation en microscopie photonique est insuffisante pour connaître l'intérieur du cytoplasme ou du noyau. Effectivement la microscopie électronique à transmission révèle d'autres structures. On distingue ainsi de nouvelles structures.

- À l'intérieur du cytoplasme apparaissent de nouveaux organites. Les **mitochondries** sont allongées et présentent, en coupe, des crêtes. Les **lysosomes** sont ronds.

Enfin les **corps de Golgi** se présentent sous forme de saccules aplatis. Tous ces corpuscules sont dans un réseau tubulaire dense, le **réticulum endoplasmique** ponctué de points noirs : les **ribosomes**.

- Des **membranes** entourent le cytoplasme et le noyau.

- Le **noyau** n'est pas homogène, des concrétions denses sont visibles. Il s'agit des **nucléoles**.

I.4. La cellule eucaryotique végétale

La cellule est le siège de nombreux processus biochimiques mettant en jeu un très grand nombre de molécules organiques (jusqu'à 10 000 chez certaines cellules) et d'ions inorganiques qui agissent de façon coordonnée dans des structures cellulaires précises. Les cellules contiennent 90 % d'eau et sur le 10 % de matières sèches restantes, il y a pratiquement 40 % de protéines, 14 % de glucides et de lipides. La cellule est compartimentée et ce sont des membranes qui délimitent les différents compartiments. Ce sont donc ces membranes qui seront en premier étudiées.

I.4.1. Les membranes cellulaires

Deux membranes sont particulièrement importantes.

• Le **plasmalemme**, appelé aussi **membrane plasmique**, délimite le cytoplasme de la périphérie de la cellule. Ce plasmalemme n'isole pas complètement la cellule car il existe entre les cellules,

un continuum symplasmique. Cette continuité du plasmalemme d'une cellule à l'autre s'effectue par l'intermédiaire de ponts cytoplasmiques passant dans les lumières des **plasmodesmes**.

- Le **tonoplaste** qui isole la vacuole du cytoplasme.

Les constituants les plus importants des membranes sont des lipides et des protéines. D'après le modèle de Singer et Nicholson, les membranes présentent une structure tridimensionnelle plane de protéines et de lipides.

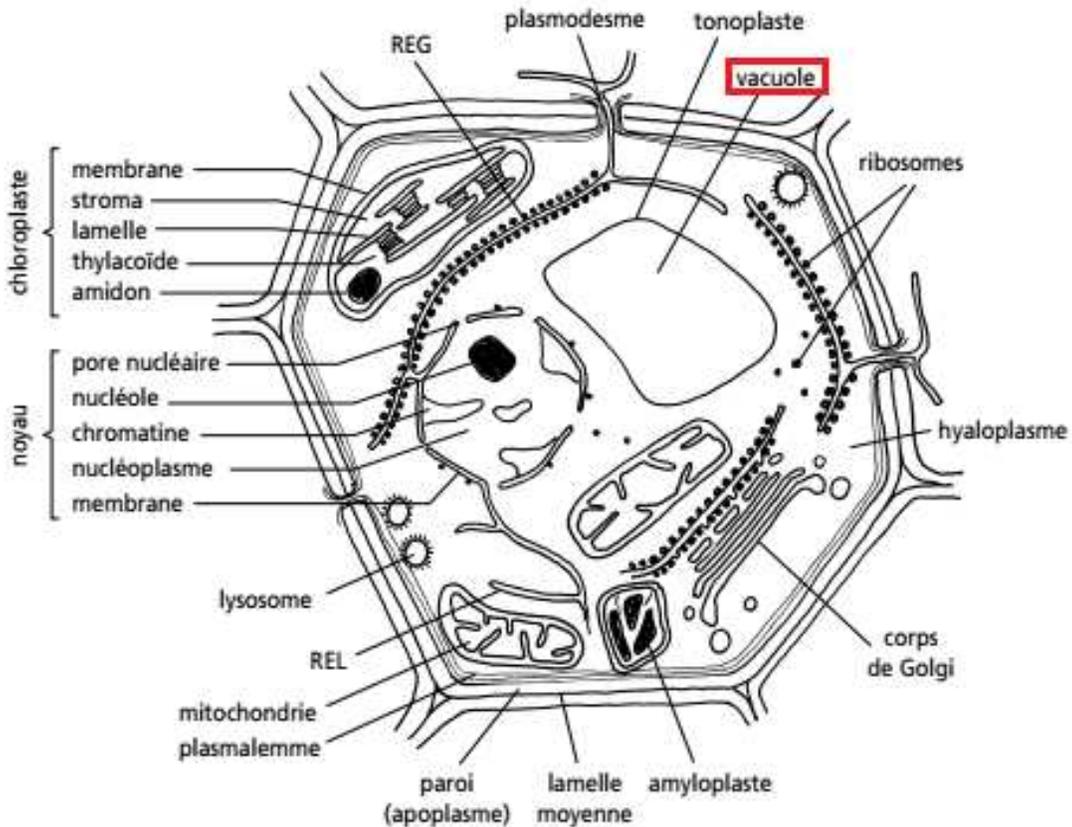


Figure n° I.5 : Schéma des compartiments de la cellule végétale. (Liberche, 2004).

I.4.2. La paroi cellulaire

Une originalité du monde végétal sur le monde animal est la présence d'une paroi cellulaire située au-delà du plasmalemme. Elle assure la rigidité de la cellule sans pour autant empêcher généralement l'eau et les solutés de la traverser pour atteindre le plasmalemme. Elle constitue un compartiment extracytoplasmique appelé **apoplasme**.

La paroi cellulaire est constituée de 90% de glucides et de 10% de protéines. Les trois groupes de glucides qui constituent les parois cellulaires végétales sont : la **pectine**, l'**hémicellulose** et la **cellulose**. Ce sont les constituants **permanents** de la paroi cellulaire.

Toutes les cellules ont une **paroi primaire**, comprenant quelques microfibrilles de cellulose et une **lamelle moyenne** (dépourvue de cellulose) qui constitue le ciment assurant la jonction entre les cellules d'un tissu. Les cellules de soutien, comme le sclérenchyme présentent une cavité centrale vide (la cellule est morte) et une **paroi secondaire** épaisse. Celle-ci est généralement composée de trois couches riches en cellulose orientées différemment : horizontalement en périphérie et verticalement au milieu.

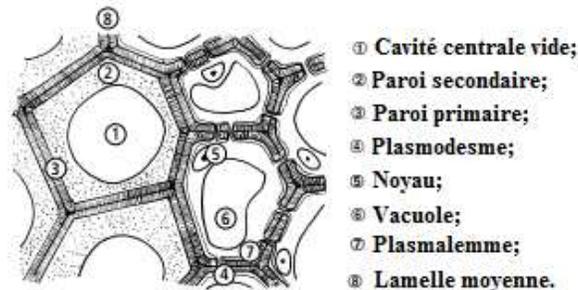


Figure n°I.6 : Schéma d'organisation des différentes parois dans les cellules. (Laberche, 2004).

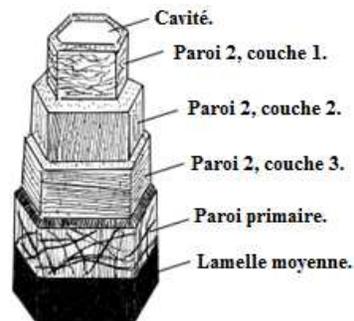


Figure n°I.7 : Schéma tridimensionnel d'organisation d'une paroi cellulaire (Laberche, 2004).

I.4.3. Les vacuoles

Les cellules végétales différenciées sont caractérisées par de grandes **vacuoles** centrales. Elles occupent généralement plus de 40 % du volume cellulaire total et finissent par repousser tout le contenu cellulaire contre la paroi. Chaque vacuole est entourée d'une membrane vacuolaire, le **tonoplaste**, produite par le cytoplasme et semblable à la membrane plasmique (plasmalemme).

Chaque vacuole contient un grand nombre de substances en solution : s'accumulent de nombreux métabolites. Cette accumulation correspond souvent à une détoxification du cytoplasme ; l'excrétion vers le milieu extérieur étant le plus souvent impossible. Elle contient aussi de nombreuses enzymes hydrolytiques.

Les vacuoles assurent un rôle important dans la régulation du métabolisme cellulaire mais c'est leur action dans la turgescence des cellules qui est la plus connue. De par ses substances dissoutes, la solution vacuolaire crée une **pression osmotique** permettant les mouvements d'eau.

L'eau entre dans la vacuole rendant la cellule turgescence. Ceci contribue grandement à assurer la tenue de la plante.

Les vacuoles se retrouvent chez les algues et les champignons ainsi que chez certains protistes aquatiques comme l'amibe et la paramécie. Chez ces dernières, elles se déplacent vers la membrane plasmique, se contractent et rejettent leur contenu à l'extérieur, on les appelle des vacuoles contractiles.

I.4.4. Les plastes

Les plastes sont des organites cellulaires présents dans le cytoplasme des **cellules végétales eucaryotes**, ils sont issus des **proplast**. Possédant leur **propre ADN**, limités par une double membrane ; une **interne** et une autre **externe** qui forment l'**enveloppe plastidiale**. On peut distinguer plusieurs types de plastes : les proplast, les étioplast, les chloroplast, les chromoplast, les leucoplast, les amyloplast, ...etc.....

- **Les proplast** sont des petits organites spécifiques des cellules végétales de structure simple et non différenciés que l'on trouve généralement dans les méristèmes.
- **Les chloroplast** sont des organites présents dans le cytoplasme des cellules végétales. Ils sont sensibles aux expositions des différentes ondes du spectre lumineux. Par l'intermédiaire de la chlorophylle qu'ils possèdent.
- **Les étioplast** sont soit des chloroplast pas encore différenciés, soit des chloroplast étiolés par manque de lumière. Ils sont généralement rencontrés dans les plantes ayant poussé à l'obscurité.
- **Un chromoplast** est un organite observé dans les cellules des organes végétaux riches en pigments non chlorophylliens, comme les xanthophylles, les carotènes, colorés de jaune à orange (par exemple les cellules de pétales de fleurs).
- **Les leucoplast** représentent une catégorie de plastes, n'ayant pas de pigments, les leucoplast ne sont pas verts, ce qui suggère une localisation dans les racines et dans les tissus non photosynthétiques. Ils peuvent se spécialiser pour stocker des réserves d'amidon, de lipides ou de protéines, ils sont alors respectivement appelés amyloplast, oléoplast, ou protéinoplast.
- **Un amyloplast** est un plaste qui s'est spécialisé dans le stockage de l'amidon. Il est présent en particulier dans les cellules des organes de réserves, comme les tiges souterraines hypertrophiées (tubercules) de pomme de terre.

- **Les oléoplastes** sont des organites spécifiques des cellules végétales spécialisés dans le stockage des lipides, essentiellement sous forme de plastoglobules (gouttelettes lipidiques sphériques).
- **Les protéinoplastes** (parfois appelés protéoplastes, aleuroplastes, ou aleuronoplastes) sont des organites spécialisés et spécifiques des cellules végétales. Ils contiennent des corps cristallins de protéines dont certaines peuvent être des enzymes. Les protéinoplastes sont présents dans de nombreuses graines, telles que les cacahuètes.

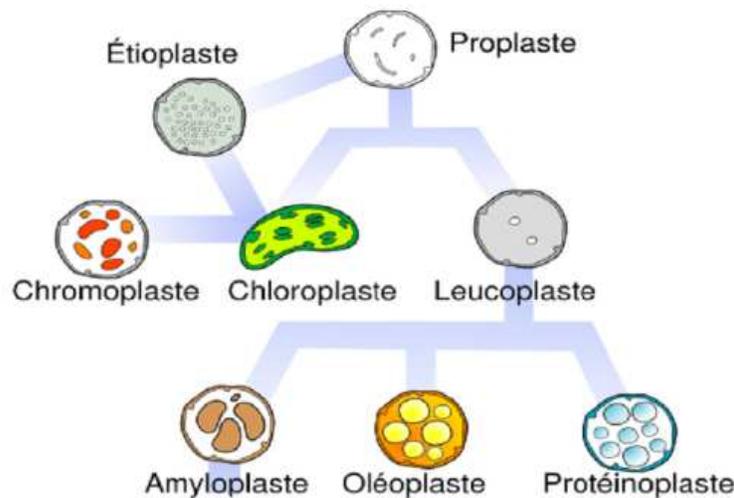


Figure n°I.8 : Différents types de plastides (Chelli . 2012).

I.4.5. Les cytosomes

Sont des organites cellulaires sphériques, limités par une membrane simple, contiennent un certain nombre d'enzymes :

I.4.5.1. Les lysosomes : contiennent des enzymes lytiques qui coupent de nombreuses macromolécules comme les polysaccharides et les acides nucléiques.

I.4.5.2. Les glyoxysomes : en collaboration avec les mitochondries, ils assurent la transformation des lipides de réserve en glucides.

I.4.5.3. Les peroxyssomes : se trouve dans les cellules photosynthétiques actives. Ils sont le siège des principales étapes de la photorespiration, en particulier le dégagement de CO₂.

CHAPITRE II
DIFFERENTS TYPES DES TISSUS VEGETAUX

CHAPITRE II : DIFFERENTS TYPES DES TISSUS VEGETAUX

Introduction

Chez les végétaux, les cellules présentent les mêmes fonctions qui sont groupées en un ensemble appelé tissu. Ces derniers résultent de la différenciation de cellules nées du fonctionnement des méristèmes. Ces cellules, au départ sont toutes semblables par leur forme, leur métabolisme et leurs fonctions. Chez les végétaux supérieurs, on distingue 6 types de tissus :

1. Les tissus méristématiques ;
2. Les tissus parenchymateux ;
3. Les tissus de revêtements ;
4. Les tissus de soutien ;
5. Les tissus conducteurs ;
6. Les tissus excréteurs.

Les tissus végétaux sont le sujet d'étude de **l'histologie végétale**.

II.1. Les méristèmes

Il existe deux types de méristèmes, les méristèmes apicaux, ces méristèmes se trouvent au niveau de l'extrémité des tiges et des racines. Dans ce groupe, on rajoute les méristèmes axillaires, ce sont des méristèmes primaires qu'on trouve à la base des feuilles et des rameaux de la tige. On trouve également les méristèmes latéraux ou méristèmes secondaires. En général, un méristème est constitué de jeunes cellules non différenciées et qui subissent de fréquentes divisions cellulaires.

II.1.1. Les méristèmes apicaux ou méristèmes primaires

Ce sont des méristèmes qui apparaissent très tôt, en fait ce sont les méristèmes qui assurent la production de tous les organes de la plante. Ces méristèmes sont formés d'un nombre plus ou moins élevé de cellules avec une activité lithotique intense et une multiplication cellulaire qui suit des règles bien déterminées. Les cellules de ces méristèmes sont de petites tailles, isodiamétriques, leur noyau est important, les vacuoles sont nombreuses et petites et le cytoplasme est très peu riche en substance plasmique. Ce sont des méristèmes que l'on rencontre chez tous les cormophytes.

II.1.2. Les méristèmes latéraux ou méristèmes secondaire

Ils ne se rencontrent que chez les gymnospermes et les angiospermes dicotylédones. Ils font défaut chez les angiospermes dicotylédones de type herbacé. Chez certains herbacé, on peut les observer mais leur fonctionnement est limité dans le temps. Ils sont totalement absents chez les monocotylédones. Les méristèmes secondaires sont constitués d'assises génératrices sous forme d'anneaux formés de cellules capables de se diviser rapidement. Ces cellules diffèrent des

cellules du méristème apical par la forme (rectangulaire et aplatie radialement) leur contenu cellulaire (une vacuole centrale avec un contenu peu concentré, un noyau qui occupe une position latérale, et un rapport nucléoplasmique (surface noyau / surface totale) plus faible). Les méristèmes latéraux assurent l'accroissement en épaisseur des organes. On peut les observer dans les tiges, ce sont les rameaux des tiges et dans les tissus. Il existe deux types de méristèmes secondaires, le cambium ou assise libéro-ligneuse et l'assise subéro-phéllodermique ou phellogène. Le cambium est situé à l'intérieur de l'organe, il forme du liber (phloème secondaire vers la périphérie de l'organe) et du xylème secondaire vers l'intérieur. Le phellogène est situé dans la racine et/ou dans la tige. Sa formation n'est pas obligatoire.

Le phellogène occupe une position variable dans les organes, mais généralement il est plus périphérique que le cambium.

Vers l'intérieur, le phellogène produit un tissu appelé phelloderme, c'est un parenchyme secondaire assimilateur (il fait de la photosynthèse) ou de réserve. Les cellules produites vers l'extérieur accumulent au niveau de leur paroi un composé hydrophobe appelé subérine. Il se transforme en liège ou suber. C'est un tissu mort qui joue un rôle de protection.

L'ensemble du phelloderme et du suber forme le périoderme.

Les méristèmes et les tissus qu'ils génèrent sont les parenchymes.

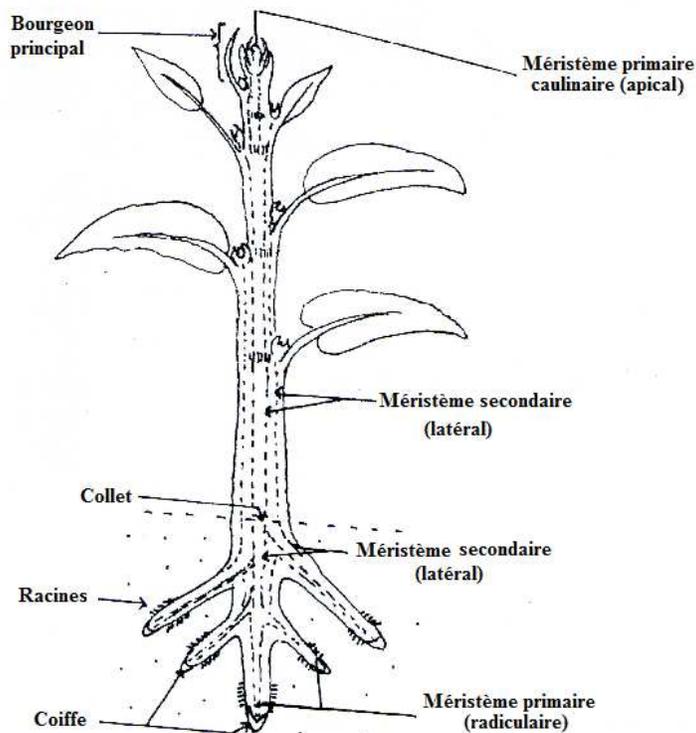


Figure n° II.1 : Les méristèmes apicaux et latéraux. (Gaceb-Terrak et al. 2009).

II.2. Les tissus protecteurs (tissus de revêtement)

A la surface des divers organes végétaux, se différencient des tissus de revêtement ayant un rôle de protection contre une transpiration excessive ce sont l'épiderme et le liège.

II.2.1. L'épiderme (épi = sur ; derma = peau)

C'est un tissu qui recouvre les parenchymes des organes aériens tel-que les feuilles, les jeunes tiges, les diverses pièces florales et les fruits. Dans la racine l'équivalent est l'assise pilifère (rhizoderme), celle-ci est dépourvue de cuticule et de stomates.

II.2.1. a. Les cellules épidermiques

Elles assurent la protection contre une déshydratation excessive. Chez des nombreux végétaux, les cellules épidermiques constituent une seule couche de cellules formant un épiderme simple mais chez certaines espèces comme le figuier, le parenchyme est entouré par plusieurs assises de cellules constituant un épiderme composé. Les parois latérales et profondes des cellules épidermiques restent le plus souvent minces et cellulósiques, la paroi externe est épaisse et cutinisée. L'épaisseur de la cuticule varie selon l'âge des organes, il varie aussi avec les conditions du milieu extérieur. Les plantes vivantes dans un milieu sec présentent une cuticule épaisse. Alors que celles vivants dans un milieu humide ne présentent qu'une cuticule mince. Quant aux plantes aquatiques, elles n'ont pas de cuticule.

II.2.1. b. Les stomates

Un stomate est essentiellement constitué par une ouverture ou ostiole délimitée par deux cellules réniformes les cellules stomatiques, reliées par leurs bords concaves. Les parties souterraines ne renferment pas des stomates. Ils se trouvent sur les organes aériens des plantes et particulièrement les feuilles. Ils peuvent être répartis sur les deux faces des feuilles, c'est le cas habituel des monocotylédones à feuilles dressées. Chez les dicotylédones où les feuilles sont habituellement horizontales, les stomates est plus abondantes sur la face inférieure (dorsale) qui est moins éclairée. Il n'y a pas de stomates sur les feuilles immergées des végétaux aquatiques.

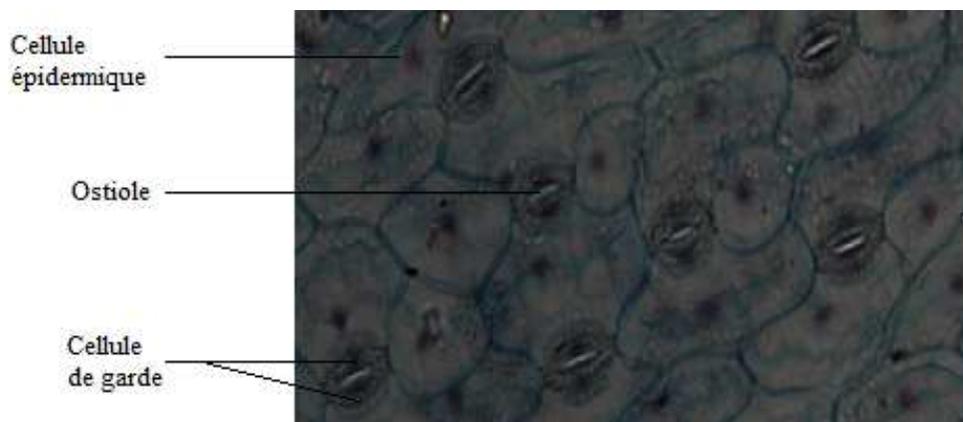


Figure n° II.2 : Stomates (*lames préparées ; LPB, Univ Béchar.2019*).

II.2.1. c. Les trichomes épidermiques

Le type classique de trichome est le poil. Chez les plantes, les poils peuvent être unicellulaire ou multicellulaire, ramifié ou non. Les poils multicellulaires peuvent avoir une ou plusieurs couches de cellules. Les poils ramifiés peuvent être dendritiques (arborescents), touffetés, ou étoilés. Chez certaines plantes des trichomes glandulaires produisent un exsudat collant qui piège les petits insectes et les empêche de s'établir sur la feuille et peuvent même les tuer.

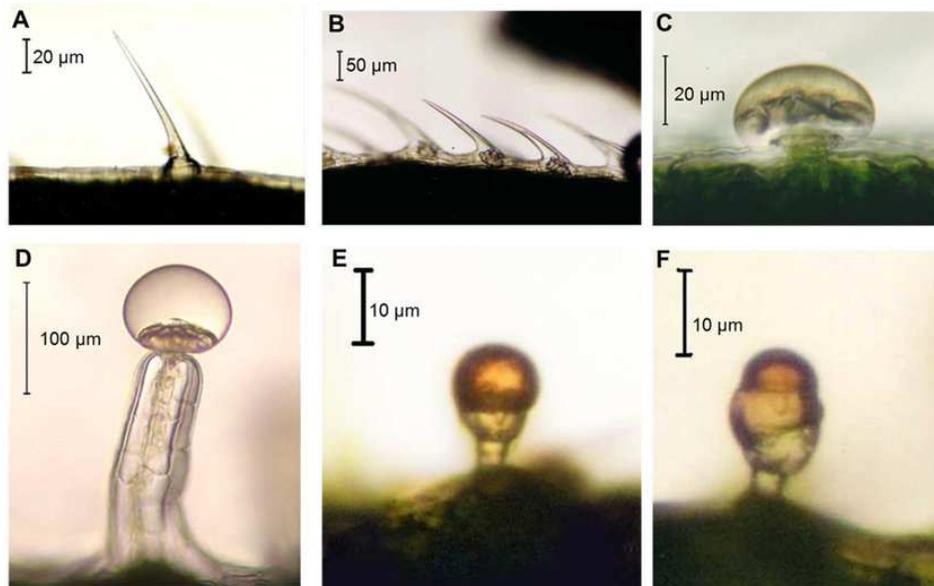


Figure n°II.3 : Les différents types de trichomes (Images fournies par le Dr David J. Potter).
Site internet [01]

II.2.1. d. Le liège

C'est un tissu protecteur qui recouvre les tiges âgées et les racines des gymnospermes et des Angiospermes dicotylédones. Ils sont constitués par un assemblage régulier de nombreuses couches de cellules rectangulaires étroitement juxtaposées, ces cellules imprègnent leur membrane de subérine imperméable. Le cytoplasme et le suc de la vacuole disparaissent et la cavité cellulaire se remplit d'air.

II.2.2. Le périderme

L'épiderme disparaît quand les tissus secondaires apparaissent. Il y a donc un nouveau tissu de surface c'est le périderme.

Le périderme se compose de 3 parties (le phelloderme + le phellogène + le liège). Tout d'abord, le **phellogène** apparaît. C'est le lieu de naissance des tissus secondaires qui remplaceront les tissus épidermiques de la croissance primaire.

Le phellogène se développe en deux parties :

- une croissance externe = **le liège**
- une croissance interne = **le phelloderme**

Le liège est une structure imperméable, protecteur, à la surface des tiges et des racines. Ces cellules ont une courte durée de vie mais restent longtemps autour des tiges et des racines, c'est l'écorce des arbres.

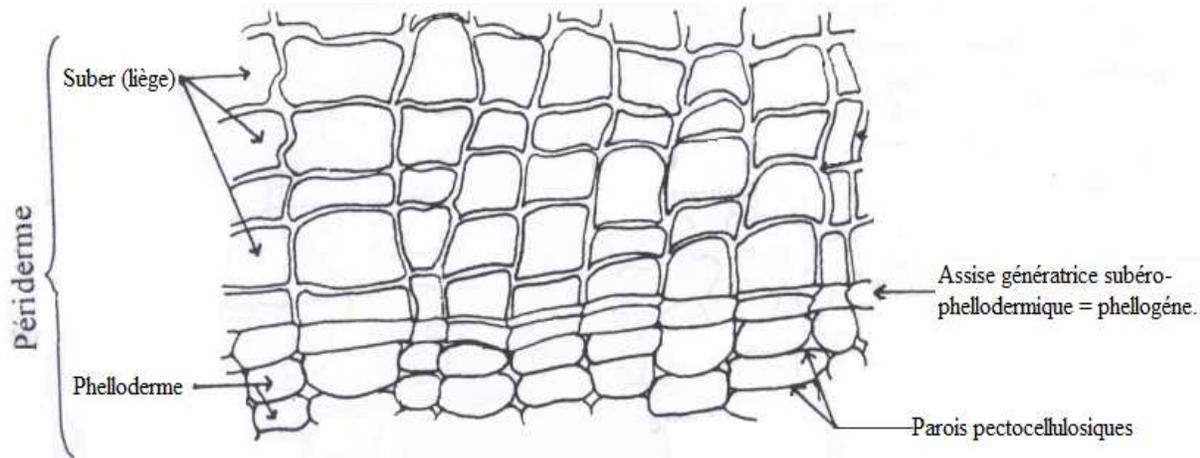


Figure n°II.4 : Périoderme (suber, phellogène et phelloderme). (*Gaceb-Terrak et al. 2009*).

II.3. Les parenchymes

Les cellules parenchymateuses sont isodiamétriques ou allongées, leurs vacuoles sont bien développées mais leurs parois cellulaires sont assez minces. On classe ces tissus d'après leur fonction en parenchyme chlorophyllien, de réserve, aquifère et aérifère.

II.3.1. Parenchyme chlorophyllien

Ils renferment de nombreux chloroplastes et sont abondants dans les organes aériens (feuilles, jeunes tiges) auxquelles ils donnent leur couleur verte.

II.3.1.a. Dans les jeunes tiges et les feuilles monocotylédones : Le parenchyme chlorophyllien est homogène, il est formé de cellules isodiamétriques avec des méats ou des lacunes.

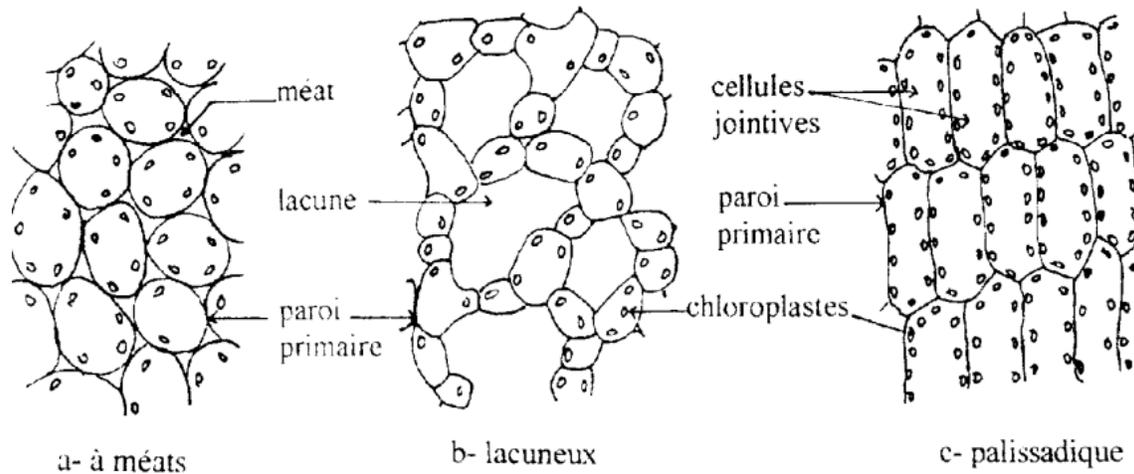


Figure n°II.5 : Parenchymes chlorophylliens. (Gaceb-Terrak et al. 2009).

II.3.1.b. Dans les feuilles dicotylédones : Le parenchyme chlorophyllien est hétérogène, il est formé de deux régions : d'abord vers la face supérieure ou ventrale, celle qui est plus éclairée, se trouve le parenchyme palissadique formé par une ou deux cellules allongées étroitement juxtaposées et riche en chloroplastes. Vers la face inférieure ou dorsale, on rencontre le parenchyme lacuneux formé de cellules courtes plus ou moins arrondies non riche en chloroplastes et laissant entre elles des lacunes.

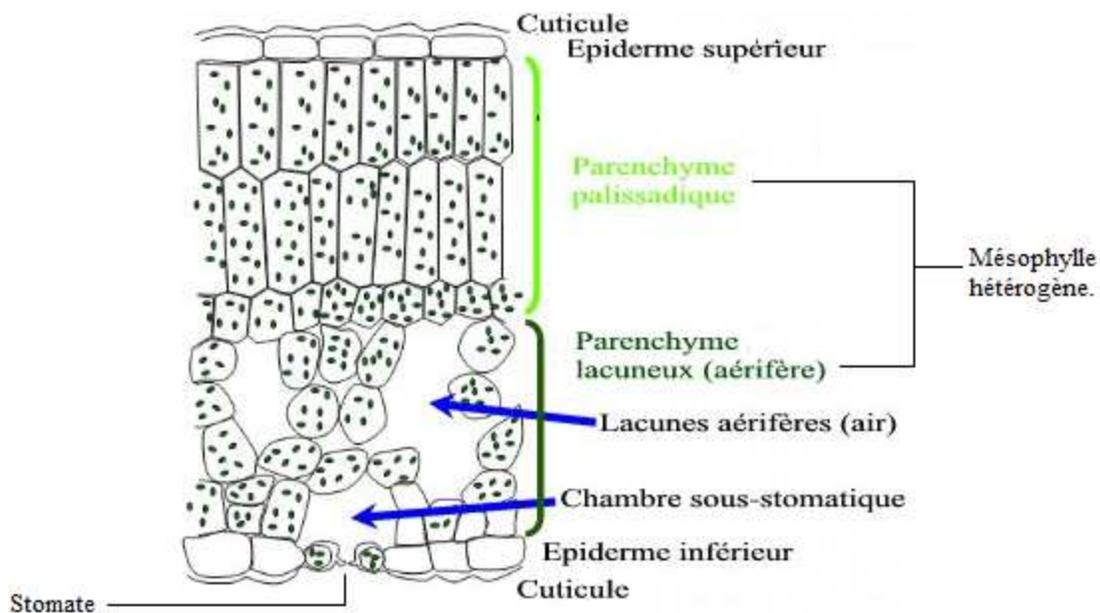


Figure n°II.6 : Schéma d'une coupe transversale de feuille de plante dicotylédone, (Mésophylle hétérogène). (Site internet [02]).

II.3.2. Parenchyme de réserve

II.3.2.a. Parenchyme des racines, des tiges souterraines, des graines : Les cellules du parenchyme de réserve ne renferment pas de la chlorophylle, elles contiennent des réserves très variées, celles-ci se présentent sous formes :

- Glucides solubles dissout dans les sucs vacuolaires, comme le glucose, le saccharose qui est un dioside dont l'hydrolyse donne du fructose et du glucose.
- Graines d'amidons dans les plastes (amyloplastes) parenchyme amylofère
- Globules huileuses se trouvant dans le cytoplasme.

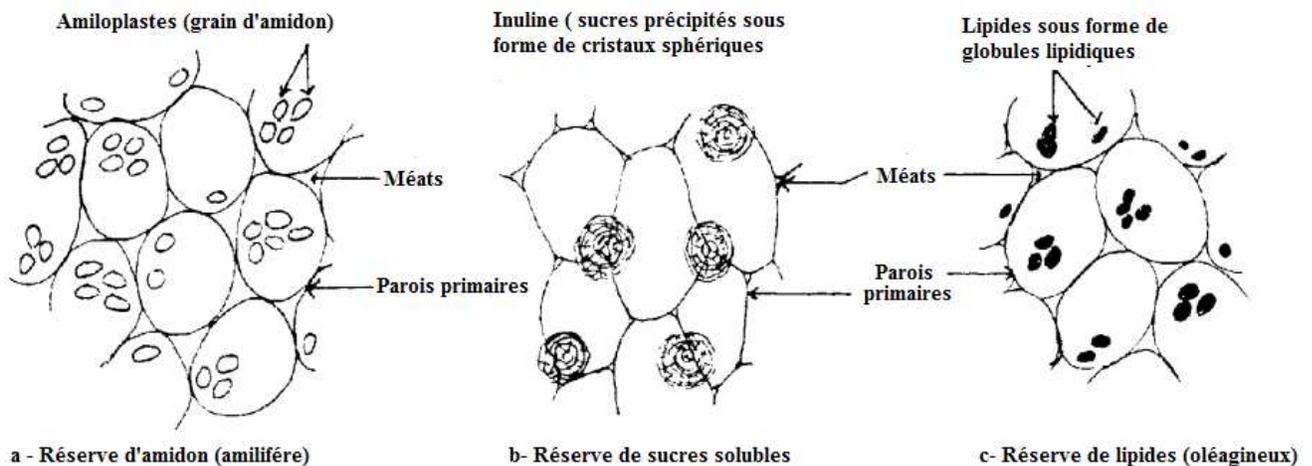


Figure n°II.7 : Parenchymes de réserves (*Gaceb-Terrak et al. 2009*).

II.3.2.b. La moelle des tiges aériennes : 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. Toutes ces réserves sont des substances énergétiques que la plante utilisera au moment convenable. Par exemple ces réserves peuvent être utilisées par les jeunes plantules au moment de la germination des graines.

II.3.3. Parenchyme aquifère (eau comme réserve)

Ce sont des parenchymes dont les cellules de très grandes dimensions présentent une vacuole très développée riche en eau. Ces parenchymes sont abondants soit dans les tiges, soit dans les feuilles de certaines plantes. Ils contiennent une réserve d'eau utilisable par la plante pendant les périodes de sécheresses.

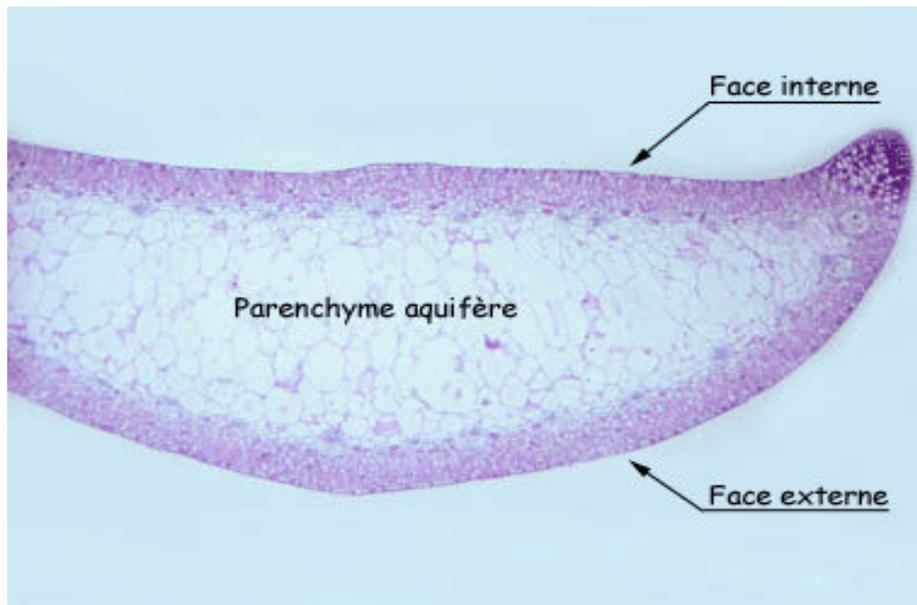


Figure n°II.8 : Coupe transversale d'une feuille d'*Aloe vera*. (Site internet [03]).

II.3.4. Parenchyme aérifère

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

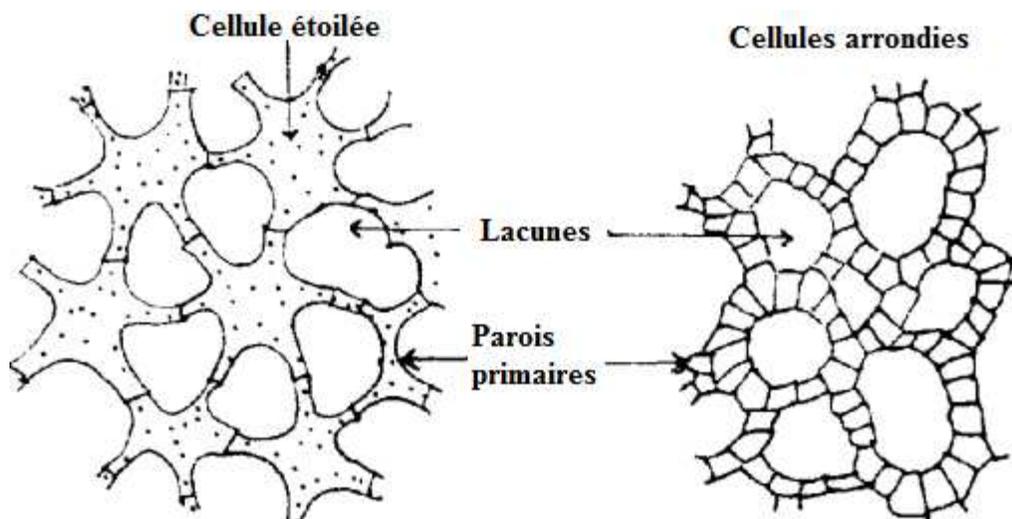


Figure n°II.9 : Parenchymes aérifères (étoilé ou en réseau) (Gaceb-Terrak et al. 2009).

II.4. Les tissus de soutien

Le rôle des tissus de soutien est la rigidité et la solidité des organes : paroi épaisse.

II.4.1. Le collenchyme

Le collenchyme est formé de cellules vivantes à paroi cellulosique, ces cellules ont des aspects différents selon le mode d'épaississement de leur paroi.

Le collenchyme se rencontre dans les organes aériens, tige et feuilles des végétaux supérieurs ainsi que dans les feuilles et dans les parties jeunes des tiges des végétaux ligneux. C'est le tissu de soutien des organes jeunes dont la croissance n'est pas achevée. Il se trouve surtout chez les angiospermes dicotylédones et situé généralement à la périphérie des organes aériens.

L'épaisseur des parois cellulosiques donne aux cellules du collenchyme une grande résistance aux forces de flexion et donne à ce tissu son caractère de soutien. , Cependant le collenchyme et un tissu qui conserve une certaine élasticité et les organes qui le contiennent demeurent souples.

Il existe trois types de collenchyme selon l'épaississement des parois :

- **Annulaire** : dépôt de cellulose uniformément réparti tout autour de la paroi.
- **Angulaire** : épaississement cellulosique de la paroi aux angles.
- **Tangentiel** : épaississement des parois tangentielles seulement (parois parallèles à la surface externe).

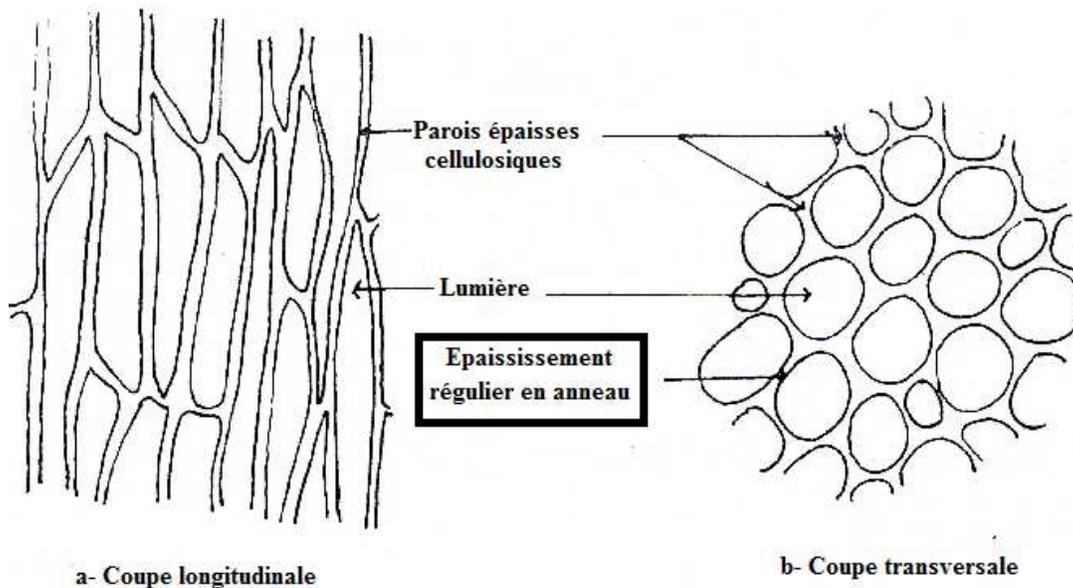


Figure n°II.10 : Collenchyme rond ou annulaire. (Gaceb-Terrak et al. 2009).

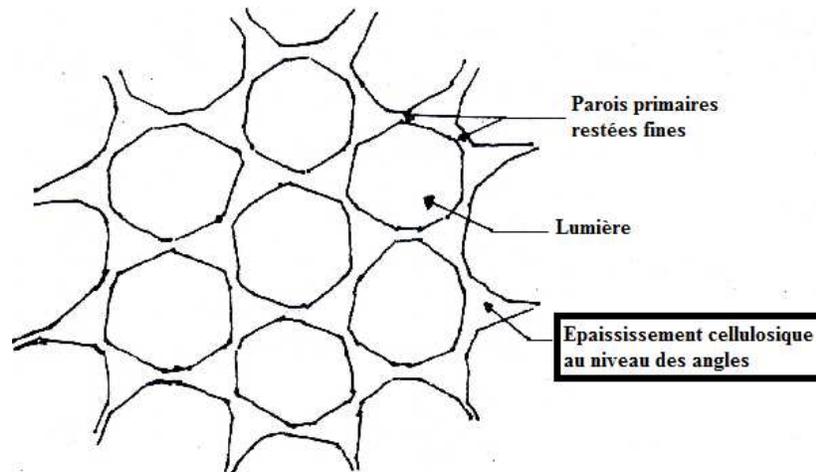


Figure n°II.11 : Collenchyme angulaire en coupe transversale. (Gaceb-Terrak et al. 2009).

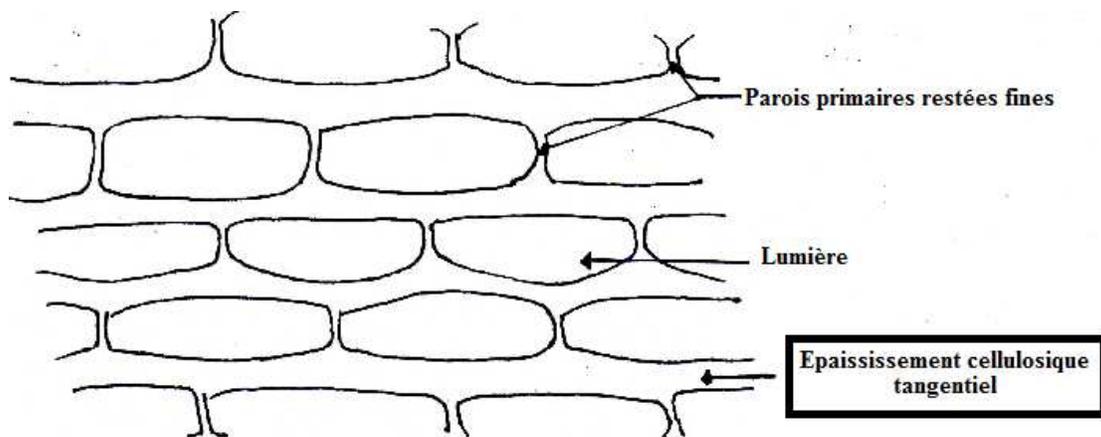


Figure n°II.12 : Collenchyme tangentiel en coupe transversale. (Gaceb-Terrak et al. 2009).

II.4.2. Le sclérenchyme

Il s'observe souvent dans les organes aériens, feuilles, tiges herbacées et ligneuses et plus, rarement dans les racines. Il est généralement situé dans les profondeurs de ces organes et coiffe les faisceaux des tissus conducteurs.

Le sclérenchyme est un tissu formé de cellules généralement allongées dont la paroi très épaisse est entièrement lignifiée. Il existe deux types de cellules :

- **Fibres scléreuses** : cellules très allongées en fuseau, à lumière étroite. Section transversale circulaire, elliptique ou polygonale. En anneau continu sous l'épiderme, proche du cylindre central ou regroupées en îlots.

- **Sclérites** : cellules courtes de forme variable, isolées dans les parenchymes, elles assurent la rigidité ou la consolidation des organes. Elles peuvent être :

- Groupées : sclérites ou cellules pierreuses du péricarpe de la poire, de la pomme.
- Isolées : sclérites ramifiée, isolée au sein du parenchyme de la feuille du Nénuphar.
- Assemblées : en une assise continue de sclérites, dans le tégument de la graine du haricot par exemple.

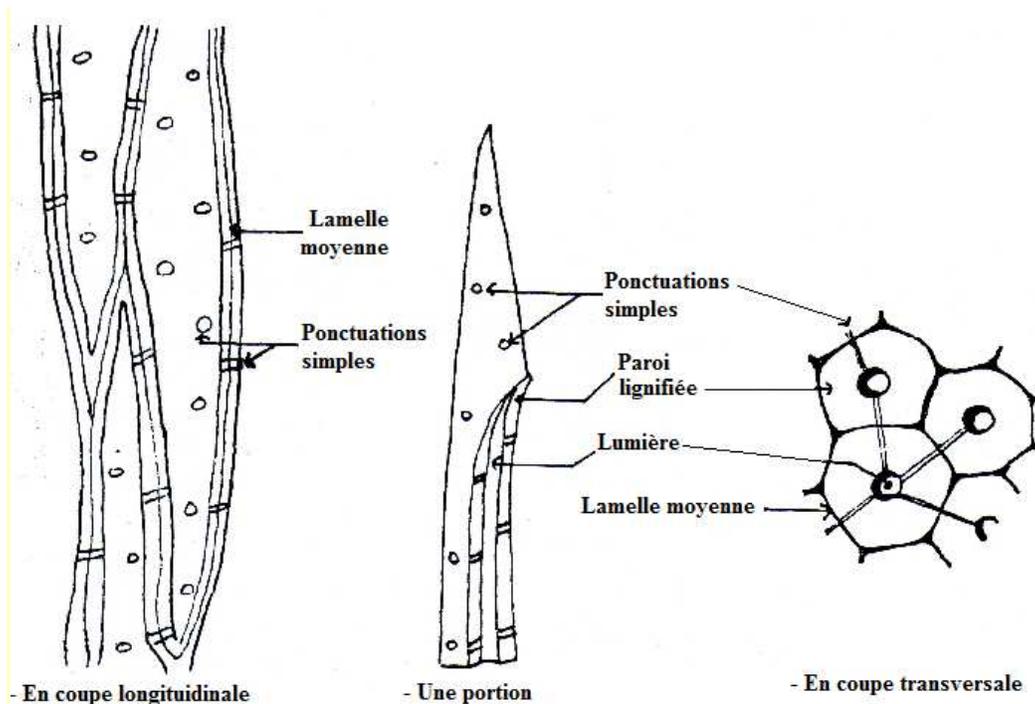


Figure n°II.13 : Fibres. (Gaceb-Terrak et al. 2009).

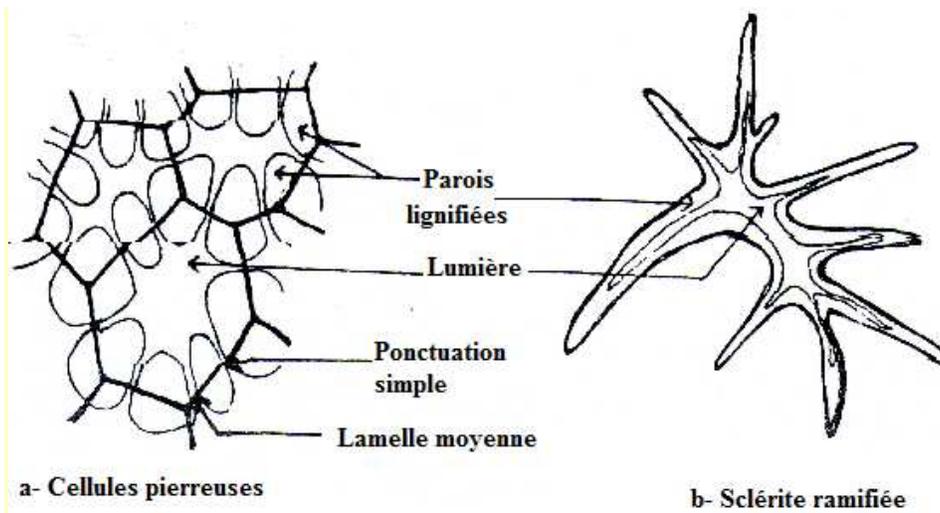


Figure n°II.14 : Sclérites. (Gaceb-Terrak et al. 2009).

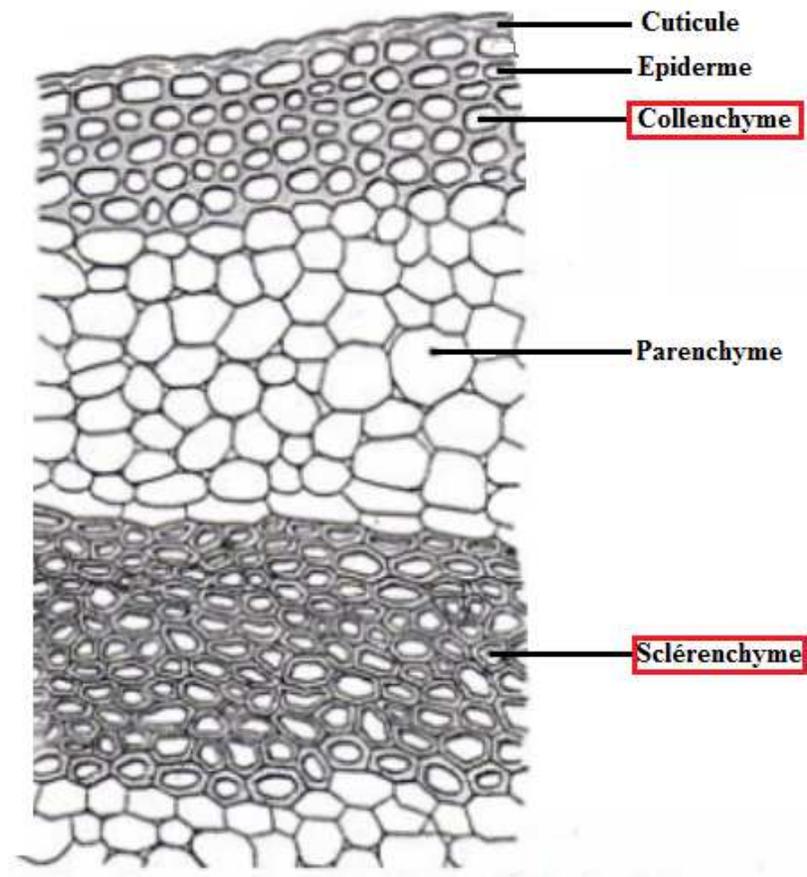


Figure n°II.15 : Récapitulatif de la localisation du collenchyme et sclérenchyme dans une tige d'Aristolochie clématite. *Aristolochia clematitidis* (Site internet [04]).

II.5. Les tissus sécréteurs

Ce sont des tissus spécialisés dans la synthèse de certaine substance comme les essences, les tannins, la résine et le latex. Les tissus sécréteurs peuvent accumuler les produits synthétisés dans les cellules ou bien le rejeter dans des cavités se trouvant dans les organes végétaux.

II.5.1. Les cellules sécrétrices isolées

A l'intérieur du parenchyme on peut observer des cellules isolées accumulent dans leur vacuoles le produit qu'elles ont secrété, ce sont des cellules sécrétrices, c'est le cas de cellules à tanin.

II.5.2. Les épidermes et les trichomes sécréteurs

Les cellules épidermiques peuvent élaborer et accumuler dans leurs cytoplasmes des essences volatiles, celles-ci en se vaporisant produisent des parfums de certaines plantes. La fonction des sécrétions peut être réservée à certains poils épidermiques appelés trichomes glandulaires.

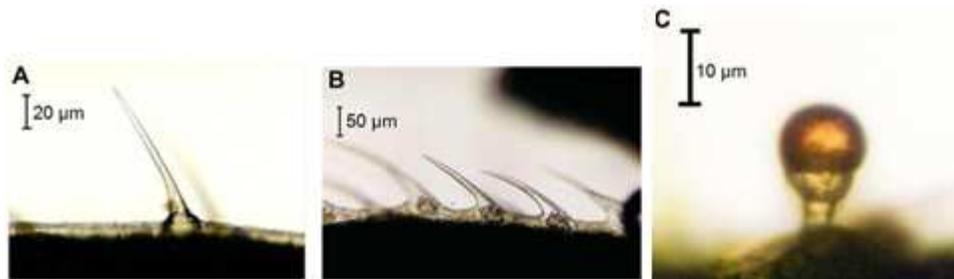


Figure n°II.16 : Types de trichomes de chanvre. (A) trichome non glandulaire unicellulaire; (B) les trichomes cystolythiques; (C) trichome bulbeux simple. (Images fournies par le Dr David J. Potter). (Site internet [01]).

II.5.3. Les poches sécrétrices et les canaux excréteurs

Ce sont des cavités situées dans les parenchymes des feuilles, des tiges et des fruits de certaines espèces. Les poches excrétrices sont nombreuses dans les péricarpes des agrumes. Elles sont composées d'une cavité sphérique remplis d'essence et bordée par une rangée de petites cellules sécrétrices. Les canaux excréteurs sont des poches excrétrices allongées tubuliformes et orienté dans le sens de la longueur de l'organe qui les contient (feuilles, tiges, pétale...).

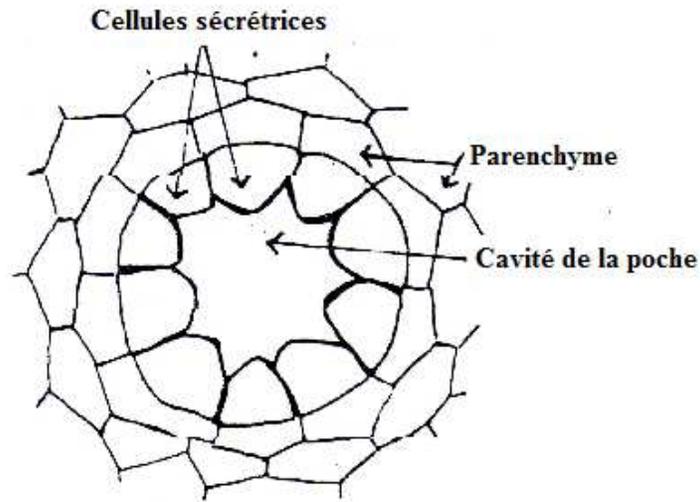


Figure n°II.17 : Poche Sécrétrice. (Gaceb-Terrak et al. 2009).

II.5.4. Les laticifères

Ce sont des éléments allongés en cordon ramifiés ou non, de diamètre légèrement supérieur à celui des cellules parenchymateuses voisines.

Les laticifères non articulés ou laticifères vrais : chaque laticifère non articulé provient d'une seule cellule qui s'allonge au cours de la croissance de la plante. Au cours de cette croissance, les noyaux transversaux se divisent de façon répétée sans qu'apparaissent des parois.

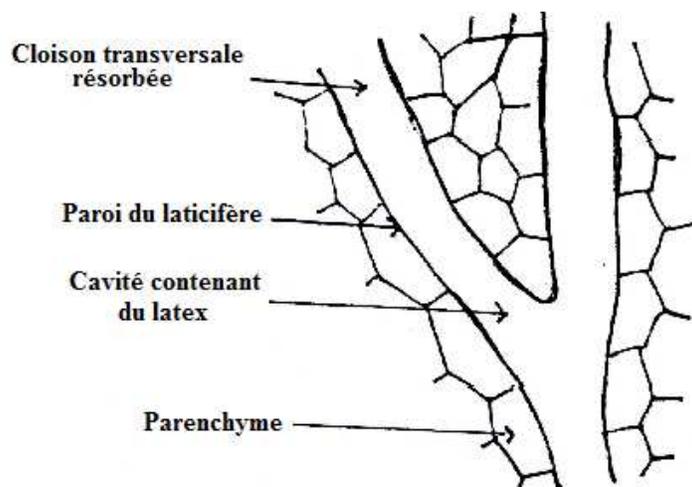


Figure n°II.18 : C.L laticifère ramifié (non articulé). (Gaceb-Terrak et al. 2009).

Les laticifères articulés : Chaque laticifère articulé s'organise à partir de nombreuses cellules disposées en rangées. Les parois cellulaires qui séparent à l'origine les divers articles peuvent être persistées ou être perforées par de nombreux pores ou bien complètement résorbées. *Le latex* : ce sont des liquides visqueux généralement d'aspect laiteux ou limpide, cependant chez certaines espèces, ils sont colorés en jaune ou en rouge ; certaines plantes contiennent des grains d'amidons en suspension dans leur latex.

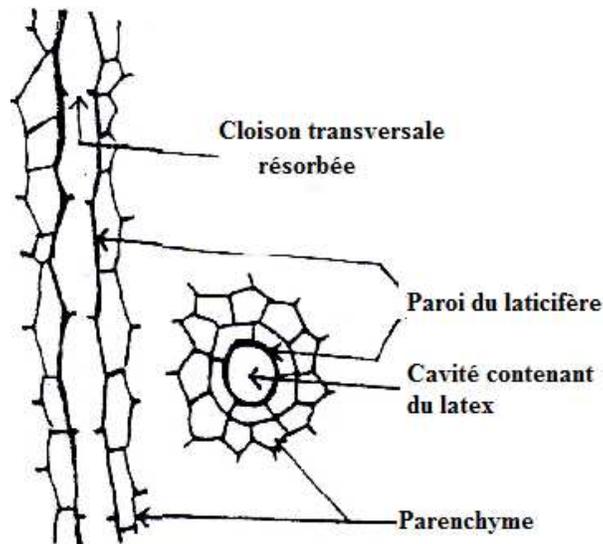


Figure n°II.19 : Laticifère articulé en coupe longitudinale et transversale. (*Gaceb-Terrak et al. 2009*).

II.6. Les tissus conducteurs

Les tissus conducteurs sont des tissus spécialisés dans le transport des sèves au sein du végétal. On en distingue deux sortes :

- **Xylème ou tissu ligneux** : assure la conduction de la sève brute (eau + sels minéraux) absorbée par les racines grâce à l'assise pilifère.
- **Phloème ou tissu criblé** : conduit la sève élaborée (substances organiques provenant de la photosynthèse) vers tous les organes de la plante. Les végétaux possédant des tissus conducteurs sont dits vasculaires (trachéophytes).

II.6.1. Les tissus conducteurs primaires

Xylème et phloème se mettent en place dans les organes jeunes (tiges, feuilles et racines). Ils sont situés en profondeur dans les organes au niveau du cylindre central ou moelle.

II.6.1.1. Organisation du xylème

Le xylème est constitué d'éléments conducteurs associés à des éléments accessoires non conducteurs.

II.6.1.1.a. Eléments conducteurs

Les éléments caractéristiques sont les trachéides et les vaisseaux. Ce sont des cellules lignifiées, mortes, qui deviennent fonctionnelles après la dégénérescence du cytoplasme.

II.6.1.1.a1. Les trachéides

Eléments primitifs peu différenciés, présents chez les végétaux vasculaires les moins évolués : Gymnospermes et Angiospermes archaïques. Ce sont des cellules allongées, fusiformes, à paroi secondaire épaisse, lignifiée et dépourvue de cytoplasme lorsqu'elles sont différenciées ; ce sont des cellules mortes. Elles communiquent entre elles (circulation de la sève) et avec les cellules parenchymateuses par les ponctuations.

Suivant l'organisation du dépôt de lignine ou suivant la forme des ponctuations, on distingue :

- **Trachéides annelées et spiralées** : (Gymnospermes et Angiospermes primitives), ce sont des éléments de petit calibre qui apparaissent les premiers dans tous les organes jeunes. Les parois secondaires latérales portent des épaisissements de lignine en anneaux ou en spirales.
- **Trachéides aréolées** : (Gymnospermes) présentant des ponctuations aréolées et paroi secondaire entièrement lignifiée.

Les trachéides ont un double rôle de soutien et de conduction :

- La paroi épaisse et lignifiée confère une rigidité.
- La grande lumière des trachéides permet une circulation rapide de la sève brute.

Remarque :

- Les trachéides sont également appelées vaisseaux imparfaits car elles possèdent des parois transversales.
- Ces trachéides primitives sont le plus souvent étirés et écrasés pendant la croissance de l'organe et peuvent donc disparaître.

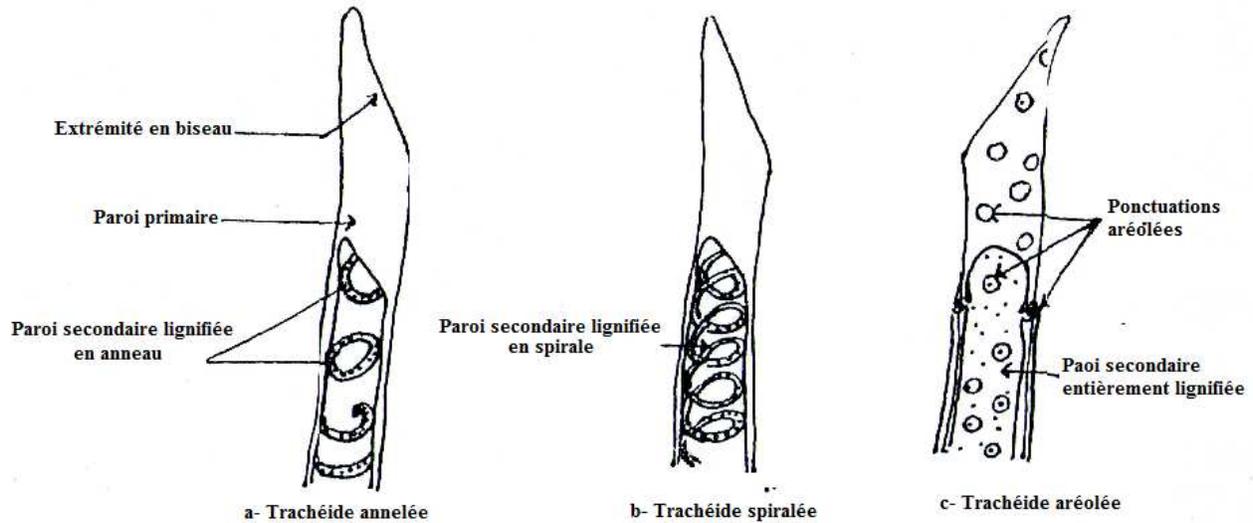


Figure n° II.20 : Les trachéides. (Gaceb-Terrak et al. 2009).

II.6.1.1.a2. Les vaisseaux

Se trouvent uniquement chez les végétaux vasculaires les plus évolués c'est à dire les Angiospermes. Ce sont de longs tubes partant de l'extrémité de la racine et se prolongeant dans les tiges et feuilles. La paroi secondaire épaisse est lignifiée de différentes façons :

- En anneau : vaisseaux annelés.
- En spirale : vaisseaux spiralés.
- En bandes transversales : vaisseaux rayés – vaisseaux réticulés.
- Revêtement de lignine continu sauf au niveau des ponctuations où la paroi secondaire est interrompue : vaisseaux ponctués.

Remarque :

- Les vaisseaux annelés et spiralés ont un petit calibre.
- Les vaisseaux rayés, réticulés et ponctués sont plus larges.
- Les vaisseaux sont dépourvus de paroi transversale : longs tubes.

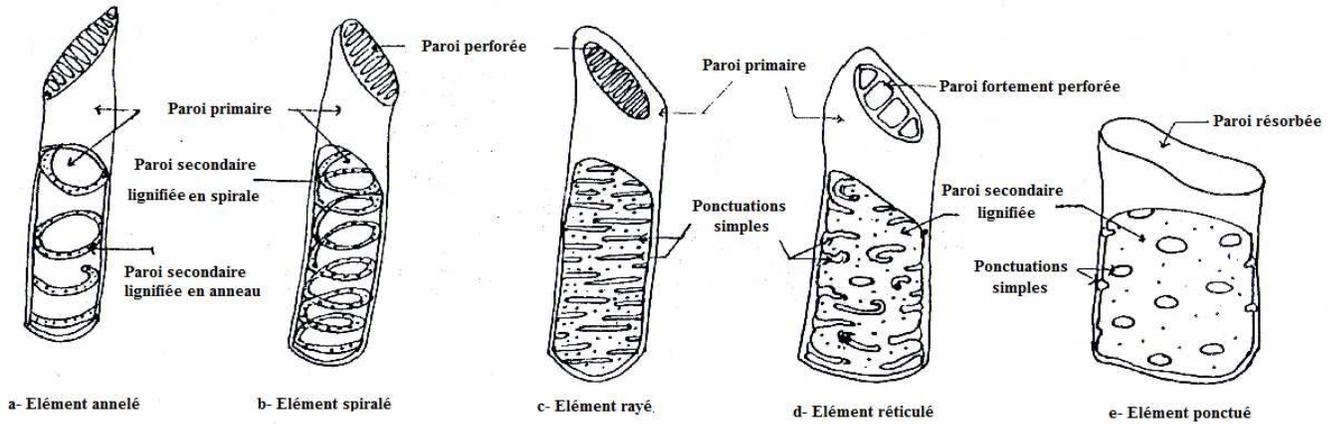


Figure n°II.21 : Différents types d'éléments de vaisseaux. (Gaceb-Terrak et al. 2009).

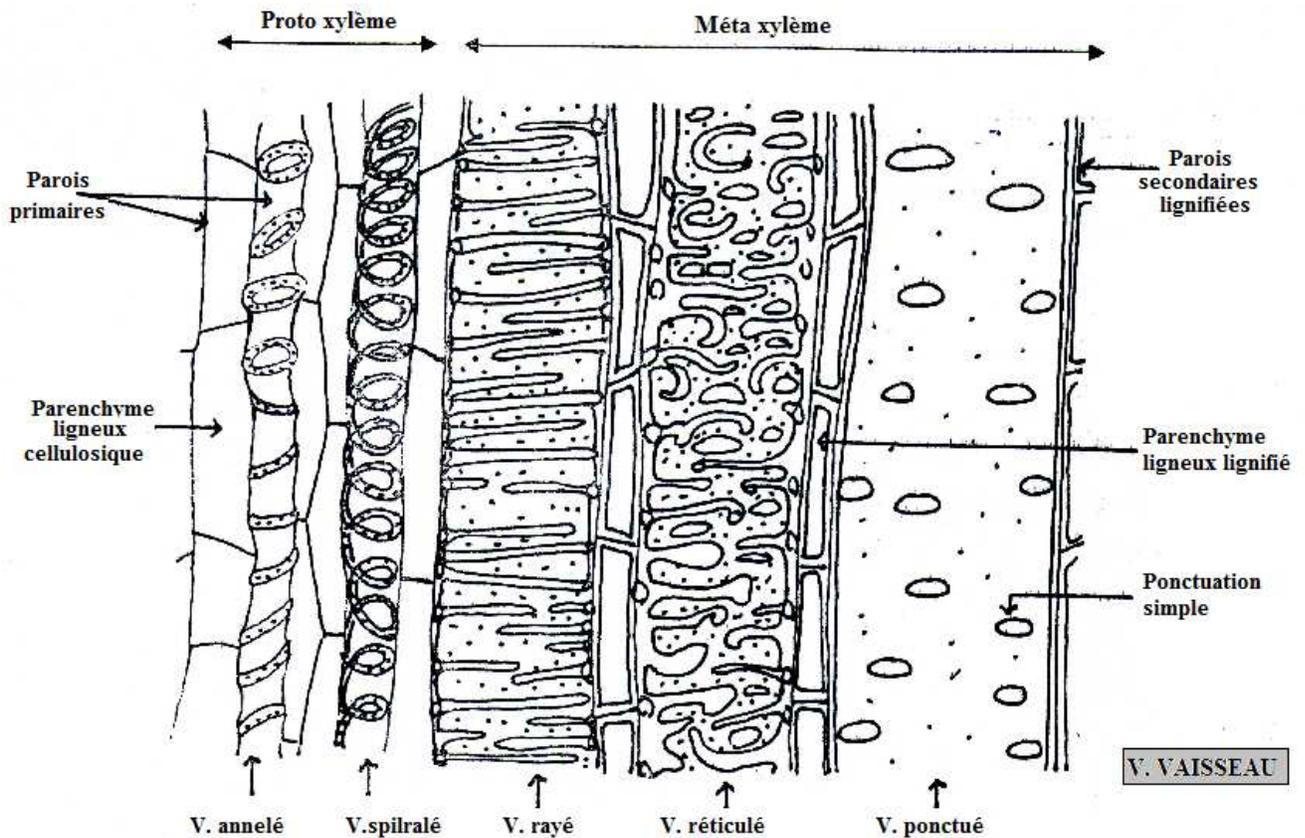


Figure n°II.22 : Coupe longitudinale d'un faisceau vasculaire d'une angiosperme. (Gaceb-Terrak et al. 2009).

II.6.1.1.b. Eléments non conducteurs

II.6.1.1.b1. Les parenchymes

Ce sont des cellules vivantes à paroi cellulosique. Ces cellules accompagnent les éléments conducteurs du xylème et ils jouent un rôle de réserve et de contrôle du pH. Des cellules parenchymateuses peuvent être légèrement lignifiées et associées au xylème, on parle de xylenchyme ou d'un parenchyme ligneux lignifié.

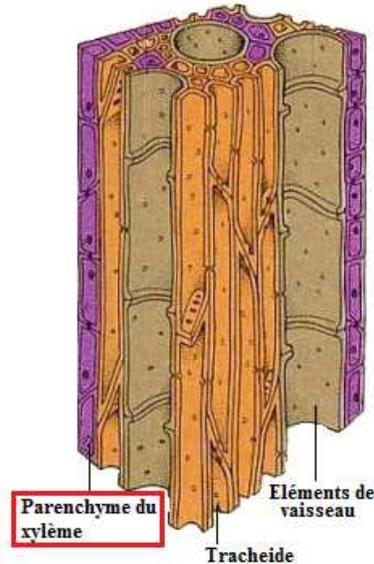


Figure n°II.23 : Schéma montrant le parenchyme du xylème. (Site internet [05]).

II.6.1.1.b2. Les fibres

Ce sont des cellules allongées, fusiformes, à parois épaisses, lignifiées et donc mortes, elles jouent un rôle de soutien. Elles peuvent être isolées ou en amas.

II.6.1.1.c. Structure du xylème

Suivant le moment de la différenciation, on distingue deux catégories d'éléments conducteurs disposés en faisceaux de xylème ou faisceaux vasculaires :

- **Protoxylème** : Ce sont les éléments qui apparaissent en premier dans les organes jeunes. Ces éléments conducteurs s'allongent pendant la croissance de l'organe. Ils peuvent être écrasés et disparaître dans les organes qui ont achevé leur croissance.
- **Métaxylème** : Ils se différencient dans les organes à croissance achevée.

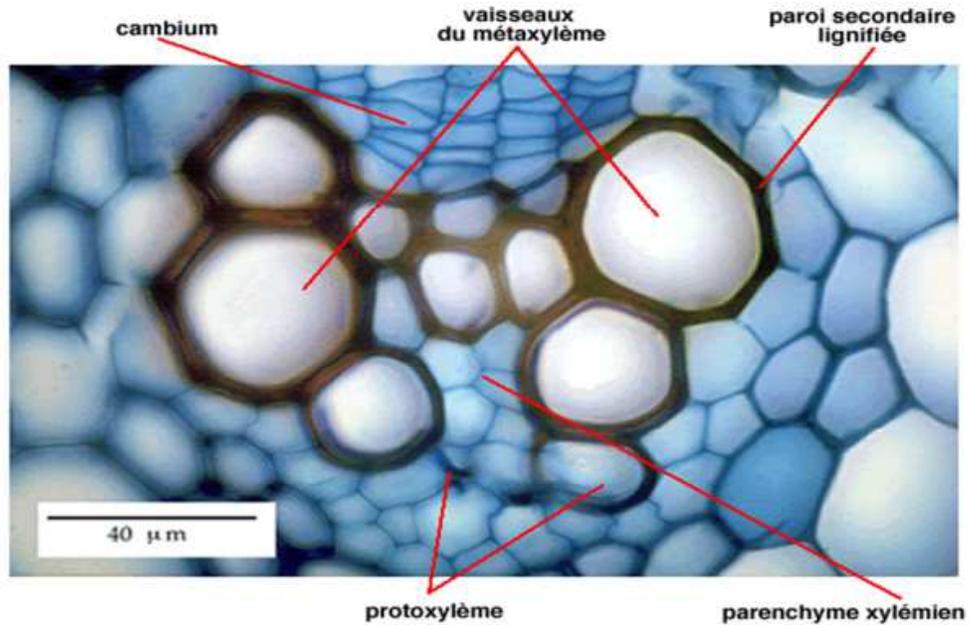


Figure n°II.24 : Xylème - C.T de tige de renoncule. (Site internet [06]).

II.6.1.2. Organisation du phloème

Le phloème est constitué d'éléments conducteurs de la sève élaborée et d'éléments non conducteurs.

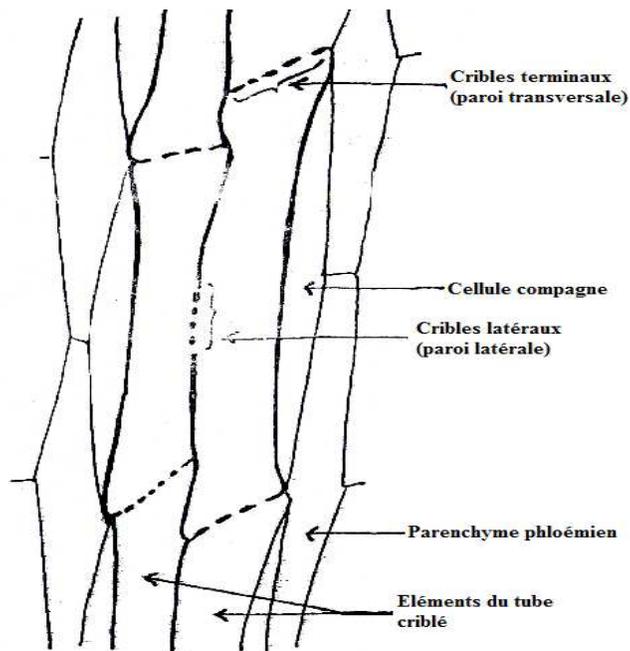


Figure n°II.25 : Phloème (tissu criblé) en coupe longitudinale. (Gaceb-Terrak et al. 2009).

II.6.1.2.a. Eléments conducteurs

Un ensemble de cellules placées bout à bout en file longitudinale, à paroi cellulosique \pm épaisse constituent un tube criblé chez les Angiospermes (on parle de cellules criblées chez les Gymnospermes). Les parois comportent des perforations ou pores au niveau desquels la lamelle moyenne et la paroi sont interrompues (plasmodesmes). Ces cloisons sont appelés cribles. Le long de chaque cellule criblée se trouve une cellule allongée étroite à paroi cellulosique mince (cellule compagne) à noyau volumineux et peu différenciée. Le fonctionnement d'un tube criblé est de courte durée :

- Végétaux annuels : tubes criblés vivent une année.
- Végétaux vivaces et pérennes : en hiver, il se forme des cals temporaires (dépôt de callose = polymère de glucose), lesquels sont dissous au printemps.

Remarque : Les cribles peuvent être simples ou composés.

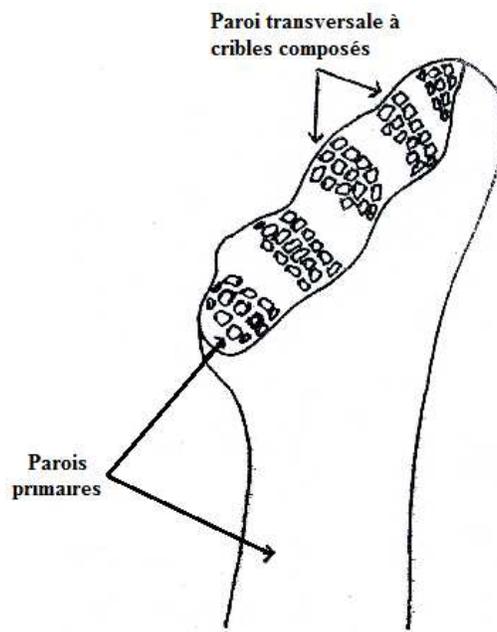


Figure n°II.26 : Elément conducteur à cribles composés (*Vigna vitis*).
(Gaceb-Terrak et al. 2009).

II.6.1.2.b. Eléments non conducteurs

II.6.1.2.b1. Le parenchyme phloémien cellulosique : Rôle de réserve, cellules à paroi cellulosique mince.

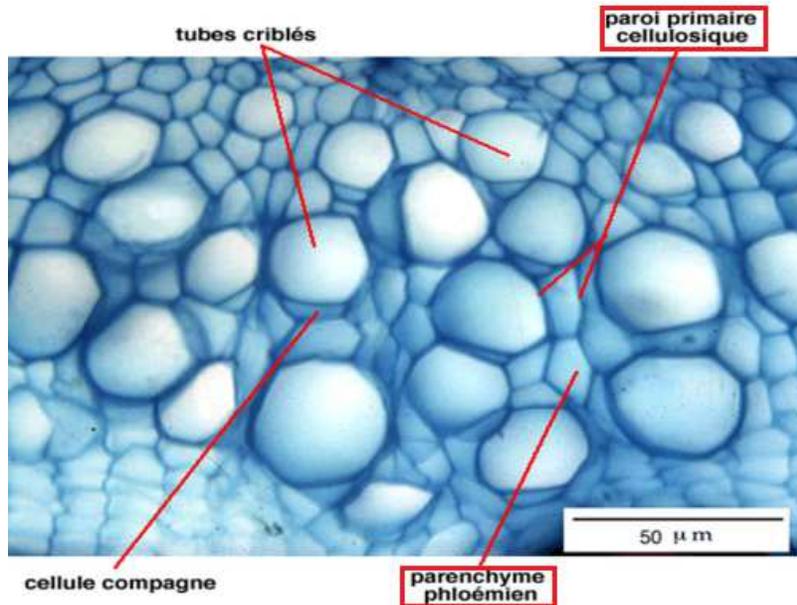


Figure n° II.27 : Parenchyme phloémien. (*Site internet [07]*).

II.6.1.2.b2. Les fibres : Moins abondantes, parfois absentes. Rôle de soutien.

Les tissus conducteurs primaires forment des complexes tissulaires constitués par des éléments conducteurs, du parenchyme et des fibres.

II.6.2. Tissus conducteurs secondaires

Ce sont des tissus conducteurs des sèves dans le corps du végétal. Ils proviennent du fonctionnement des méristèmes secondaires libéro-ligneux ou cambium, et donc présents dans les organes âgés des Gymnospermes et des Angiospermes Dicotylédones uniquement (tige, feuilles, racine).

Ils sont peu développés dans les tiges herbacées des Dicotylédones, mais très développés dans les tiges ligneuses des Gymnospermes et des Angiospermes Dicotylédones formant le "bois".

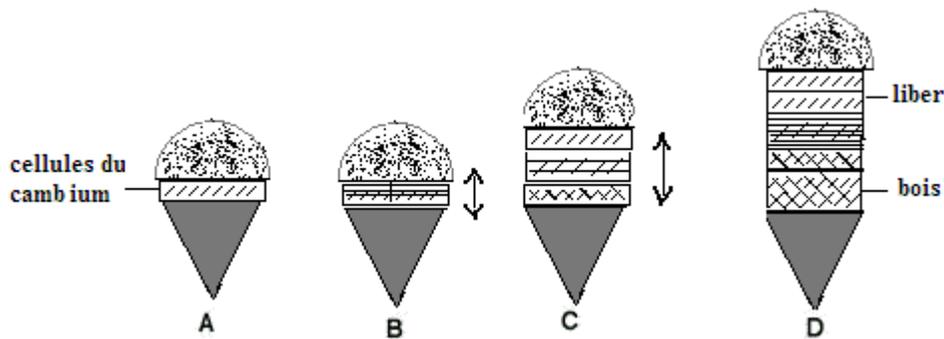
Formation de la structure secondaire

Les structures secondaires permettent la croissance en largeur et se traduisent par la formation du bois et du suber ou liège surtout chez les Dicotylédones et les Conifères.

Le faisceau cribro-vasculaire (ou libéro-ligneux) regroupe le phloème primaire et le xylème primaire séparés par le cambium.

D'une part, entre les faisceaux, les cellules cambiales se divisent pour donner des files radiales de cellules de parenchymes vers le centre et l'extérieur de la tige. D'autre part, dans les faisceaux, l'activité du cambium se traduit par :

- La formation de xylème secondaire, appelé aussi bois, avec des cellules disposées radialement vers le centre de la tige.
- La formation de phloème secondaire, appelé aussi liber, avec des cellules disposées radialement vers l'extérieur de la tige. Cependant, le fonctionnement du cambium est polarisé et il produit beaucoup moins de liber que de bois.



- Au niveau de l'écorce, l'assise subéro-phéllodermique permet la formation du suber ou liège à l'extérieur.

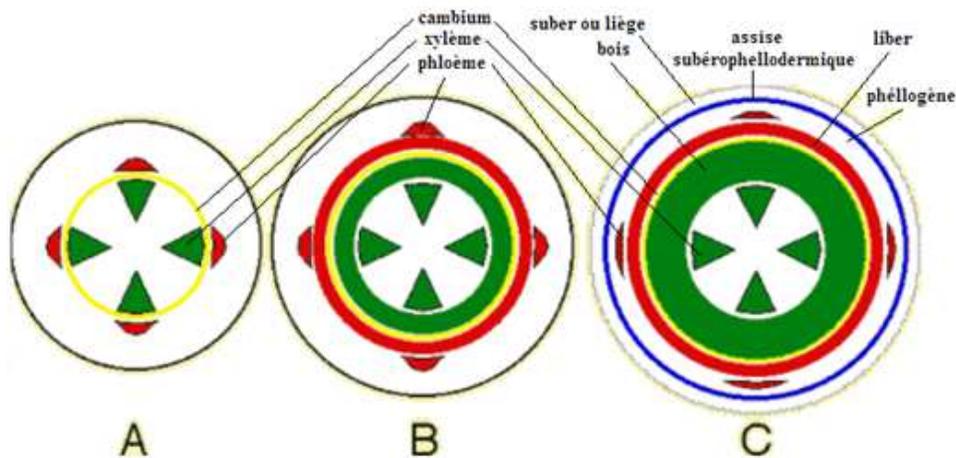


Figure n° II.28 : Formations des structures secondaires. (Site internet [08]).

Un cylindre continu de bois est formé par le cambium qui au fur et à mesure de son fonctionnement se déplace vers l'extérieur. Le liber est repoussé vers l'extérieur au fur et à mesure de sa formation. Il en est de même du phloème primaire qui est écrasé à la périphérie. L'épiderme sous tension éclate. La protection vis à vis du milieu extérieur sera alors réalisée par un nouveau tissu secondaire, le liège.

Tableau n° II.1 : Récapitulatif des différents types de tissus végétaux.

Tissus	Types de cellules	Forme des cellules	Paroi	Localisation
Tissus protecteurs (de recouvrement, de revêtement).				
Epiderme.	Vivantes, peu différenciées.	Une seule assise.	Paroi externe épaissie.	Organes aériens.
Rhizoderme.		Poils absorbants.	Paroi mince.	Assise pilifère de la racine.
Tissus fondamentaux (Parenchymes).				
Chlorophyllien (Chlorenchyme).	Vivantes	Cellules isodiamétriques ou allongées.	Paroi peu différenciée nombreux méats.	Intérieur des feuilles.
Parenchyme de réserve				Racines, tubercules...
Parenchyme aquifère				Plantes Succulents.
Tissus conducteurs (de transport).				
Le xylème (assure la circulation de la sève brute).				
Trachées (vaisseaux).	Mortes en fin de différenciation	Un vaisseau est constitué de cellules assez courtes disposées bout à bout et parallèles entre elles.	Paroi primaire rigide. La secondaire est constituée d'anneaux spiralés. Perforations sur les cotés.	Des les parties profondes de tout les organes.
Trachéides.		Chaque trachéide est constituée de cellules allongées et parallèles. Les extrémités sont en biseau	Paroi rigide mais peu épaisse. Paroi secondaire constituée d'anneaux et de spires, ponctuations sur les parois.	
Le phloème (assure la circulation de la sève élaborée).				
Tubes criblés.	Vivantes sans noyau quand différenciées.	Cellules allongées, dans le sens longitudinal. Aux parois obliques. Placées bout à bout.	Parois épaisses pectocellulosiques. Les parois transversales sont criblées de pores.	Des les parties profondes de tout les organes.
Cellules de compagnes.	Vivantes.	Une cellule étroite allongée le long du tube criblé.	Parois cellulosiques, non criblées.	

Tissus de soutien.				
Collenchyme.	Vivantes.	Cellules recloisonnées pourvues d'un noyau.	Paroi primaire épaissie, cellulosique.	A la périphérie des parties aériennes.
Sclérenchyme.	Mortes.	Grand allongement parallèle à l'axe de l'organe. Plusieurs cm de longueur.	Paroi lignifiée, épaisse.	Se développent dans les organes dont l'allongement est terminé.
Tissus de sécrétion (d'excrétion).				
Cellules isolées.	Vivantes, accumulent dans les vacuoles les produits élaborés.	Isodiamétriques.	Paroi pecto-cellulosique.	Parenchymes corticaux de tiges, parenchymes foliaires.
Canaux excréteurs.	Vivantes, excrètent les produits élaborés dans des poches et des canaux.		Paroi Cellulosiques.	

Source : (Liberche, 2004).

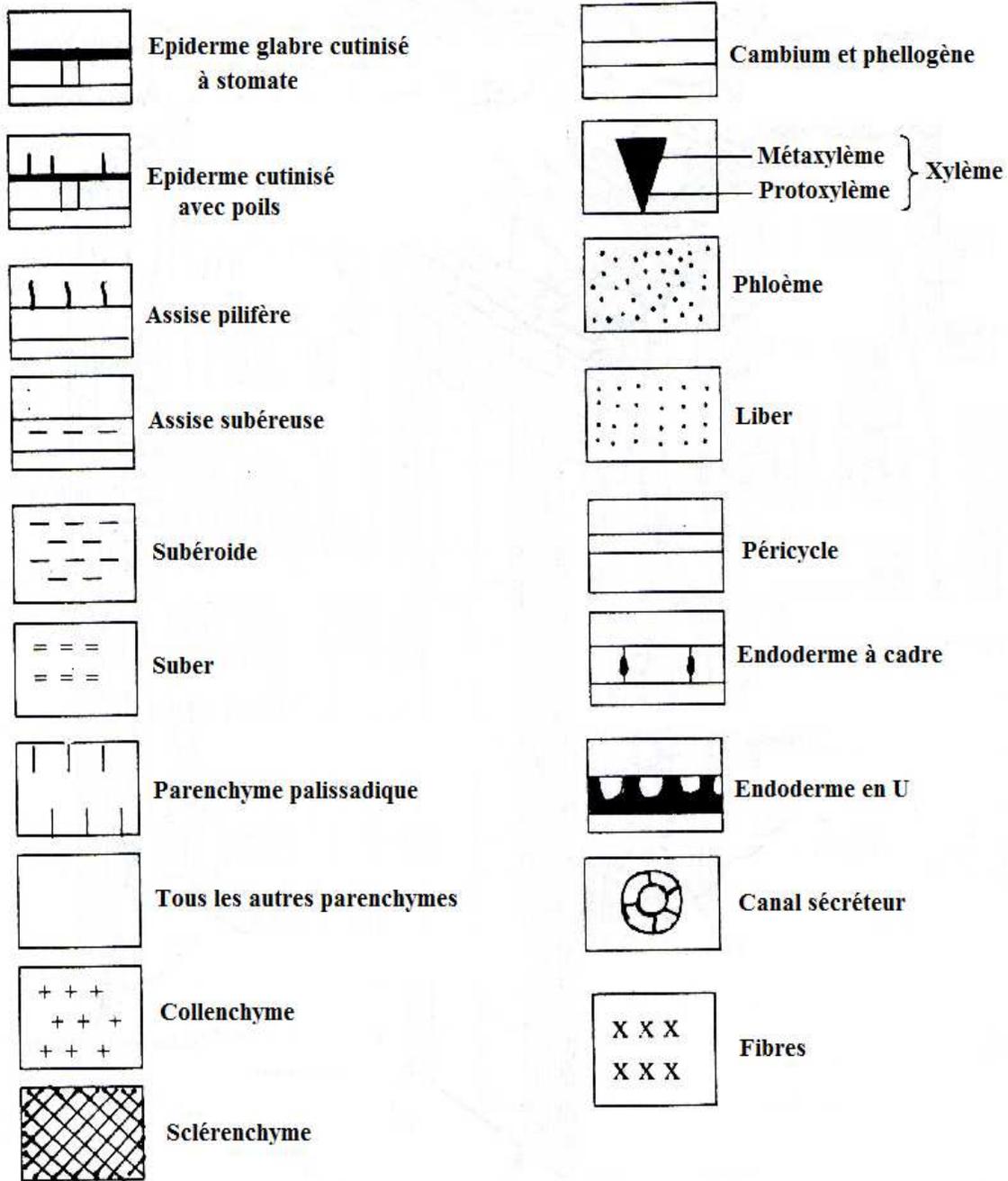


Figure n°II.29 : La représentation conventionnelle des tissus.
(Gaceb-Terrak et al. 2009).

CHAPITRE III
ANATOMIE DES VEGETAUX

CHAPITRE III : ANATOMIE DES VEGETAUX

Introduction

Le terme anatomie est une dérivation du grec ανατομή, anatomè = "**dissection**"; composé par ανά, anà = **à travers, vers le haut**, et τέμνω, tèmno = **incision**. L'*anatomie végétale* est l'étude de la structure cellulaire des organes végétaux et toutes les structures internes des plantes. Elle traite généralement des structures observées au microscope optique avec une bonne amplification ou avec des microscopes électroniques à transmission ou à balayage.

III.1. Anatomie des racines

On définit les grands traits par l'observation des coupes transversales pratiquées au niveau de l'assise pilifère d'une racine.

Dans les racines de tous les végétaux vasculaires, les parties des racines se présentent de l'extérieur vers l'intérieur comme suit :

- Assise pilifère ;
- Ecorce ;
- Cylindre central.

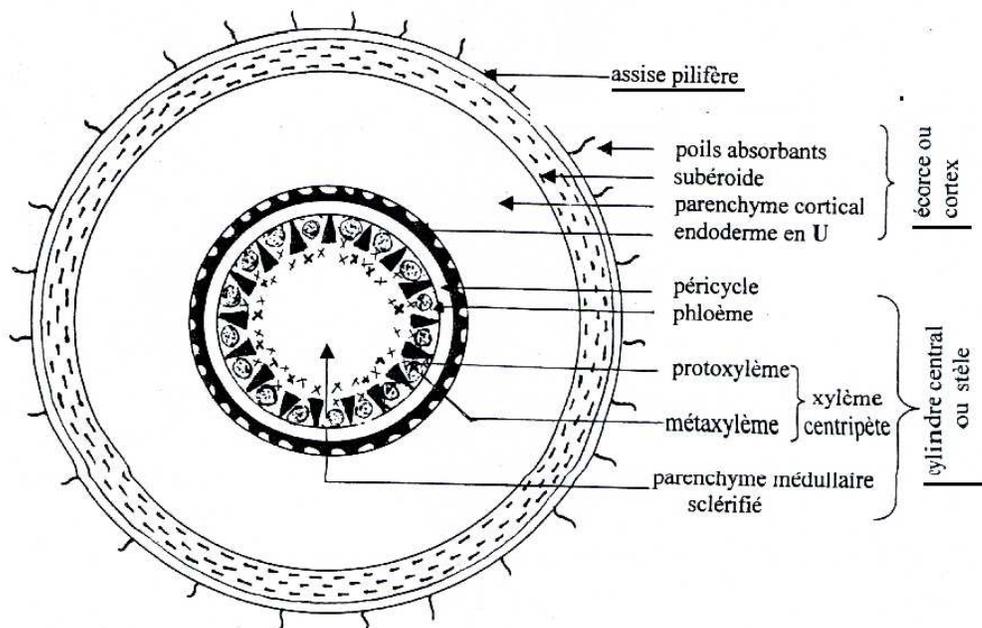


Figure n° III.1 : Structure d'une racine, organisation générale. (Gaceb-Terrak et al. 2009).

III.1.1. Assise pilifère

Elle est constituée par une couche de cellules dont les membranes sont minces, cellulosiques et parfaitement unis les unes aux autres. Beaucoup d'entre elles émettent un prolongement dirigées vers l'extérieur de la racine : le poil absorbant.

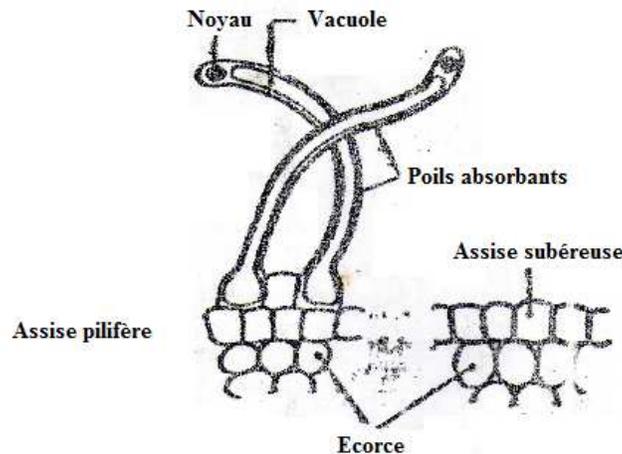


Figure n°III.2 : Assise pilifère et assise subéreuse. (Saidi. 1997).

Pendant l'inondation d'une racine, la hauteur de la zone pilifère demeure constante : cette zone est située à la même distance de la coiffe. En effet, les poils absorbants de la partie supérieure de la zone pilifère flétrissent (se fanent) et meurent, tandis que de nouveaux poils se différencient à la base.

L'assise pilifère est continuellement renouvelée durant l'accroissement en longueur d'une racine.

III.1.2. L'écorce : L'écorce des racines est constituée par :

III.1.2.a. Parenchyme cortical

Parenchyme non chlorophyllien avec de méats où peuvent s'accumuler d'abondantes réserves (parenchyme de réserve souvent riche en amidon).

III.1.2.b. Endoderme

Il correspond à l'assise la plus profonde de l'écorce, celle-ci est en contact avec le cylindre central. C'est une assise de cellules disposées et allongées dans le sens de la longueur de la racine. Le cylindre central doit porter des vaisseaux.

III.1.3. Le cylindre central ou stèle

C'est la partie où sont localisés les tissus conducteurs. Ils occupent une partie importante du cylindre. Au milieu, il peut s'y trouver une moelle mais souvent elle est absente si le centre de la stèle est occupée par le tissu vasculaire.

III.1.4. Les racines à évolution vasculaire incomplète ou structure primaire

III.1.4.1. Chez les Monocotylédones

Chez la plupart des monocotylédones, ils ne produisent pas de tissus secondaires et les racines ne présentent qu'une structure primaire. Celle-ci incomplète et réduite au xylème alterné.

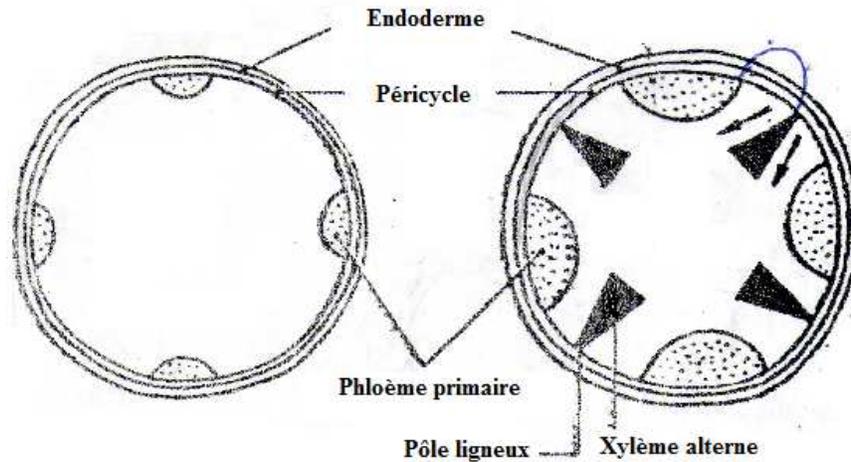


Figure n°III.3 : Schéma montrant l'alternance entre phloème 1 et xylème 1. (Saidi. 1997).

Ainsi dans une racine d'iris ou de maïs, on observe de nombreux massifs de phloème alternant avec les faisceaux de xylème dont les derniers qui sont différenciés sont beaucoup plus larges.

Le centre de la stèle est occupé par une moelle abondante. En plus de l'évolution incomplète, l'organisation des racines des monocotylédones montre un grand nombre de poils ligneux (généralement supérieure à 5) et une moelle bien développée.

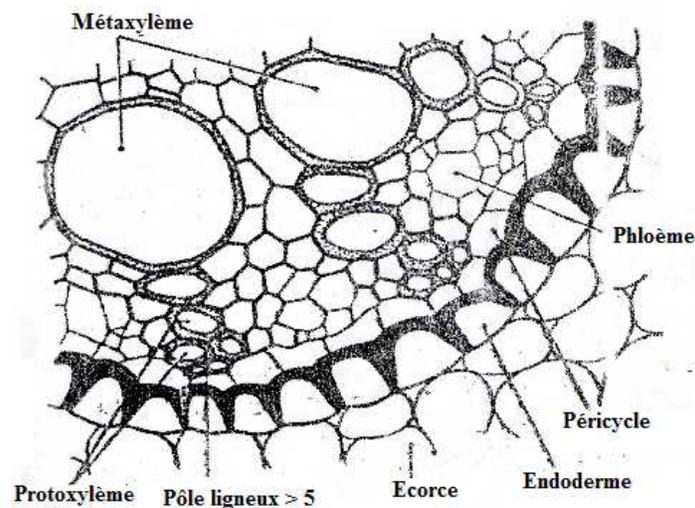


Figure n°III.4 : Portion d'un cylindre central de racine d'iris. (Saidi. 1997).

III.1.4.2. Chez les Dicotylédones

Quant ils ne forment pas ultérieurement de structure secondaire, ils ne possèdent que la structure primaire, ce ci est exceptionnel ex : *Ficaria ranunculoides*.

Dans une coupe transversale d'une racine de *Ficaria*, le cylindre est plus réduit, l'endoderme présente des cellules qui possèdent un cadre de caspary (subérifié).

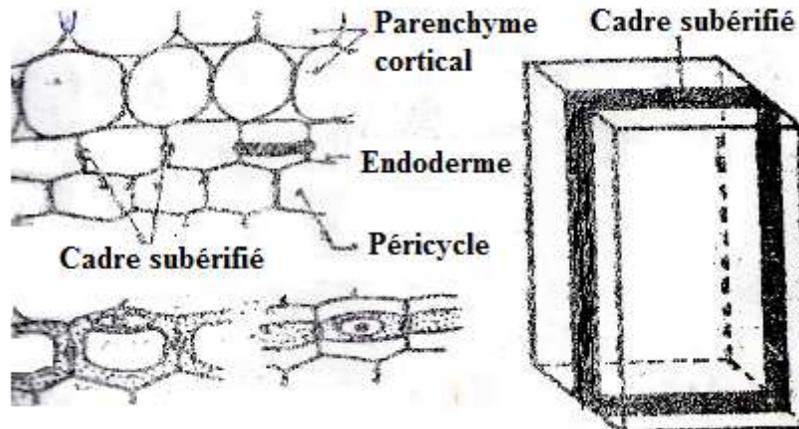


Figure n° III.5 : L'endoderme. (Saidi. 1997).

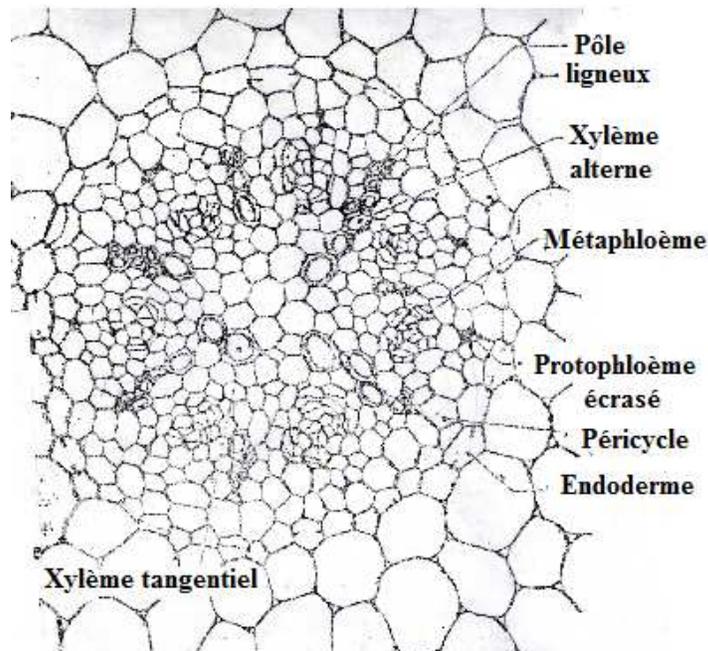


Figure n° III.6 : Structure primaire d'une racine à évolution vasculaire incomplète (*Ficaria ranunculoides*). (Saidi. 1997).

III.1.5. Racine à évolution vasculaire complète ou structure secondaire

III.1.5.1. Chez les angiospermes Dicotylédones et les gymnospermes

La formation de tissu secondaire dans la racine que chez certaines plantes vasculaires gymnospermes et la pluparts des dicotylédones, ainsi nous avons une croissance en épaisseur et donc une structure secondaire, ces tissus nouveaux sont nés à partir de deux assises génératrices :

- Assise génératrice libéro-ligneuse ou **cambium**.
- Assise génératrice subéro-phéllodermique ou **phelloderme**.

III.1.5.1.1. Assise génératrice libéro-ligneuse ou cambium

La formation du cambium débute très tôt, alors que l'évolution vasculaire primaire n'est pas achevée.

Les cellules du cambium des racines se divisent activement en direction essentiellement radiale ; ainsi s'explique leurs allongement en fil radial ce qui permet au cambium d'augmenter son rayon et ainsi l'augmentation de l'épaisseur de la racine. Le cambium produit des tissus conducteurs secondaires de la racine. Sur la face externe se différencie le phloème secondaire ou liber et sur la face interne se différencie le xylème secondaire ou bois.

La différenciation des tissus secondaire est d'abord localisée au niveau des arcs cambiaux situés sur la face interne des faisceaux du phloème primaire. Quand le manchon cambial continue est parfaitement réalisé, la production du bois et du liber se fait de façon régulière sur toutes les tendus du cambium.

III.1.5.1.2. Assise génératrice subéro-phéllodermique ou phelloderme

Les végétaux ligneux produisent dans leur racine des tissus producteurs secondaires à partir d'une assise génératrice subéro-phéllodermique. Elle se forme profondément le plus souvent à partir du péricycle, cependant chez certaines plantes, elle est située superficiellement et peut apparaître au milieu de l'écorce, ou immédiatement sous l'assise sous l'assise pilifère comme chez le jasmin.

Cette assise génératrice est continuée et encerclé totalement les tissus conducteurs primaires et secondaires. Les cellules de cette assise se divisent essentiellement suivant une direction radiale. Le premier tissu produit par cette assise subéro-phéllodermique est le liège ou suber qui se différencie sur la face externe. Toujours abondant présentant des lenticelles, il est fréquemment le seul tissu à être former. Sur la face interne de cette assise apparaissent quelques assises d'un tissu parenchymateux : le phélloderme.

La croissance en épaisseur de la racine, provoque la rupture et l'exfoliation de l'écorce : c'est la rupture de l'écorce.

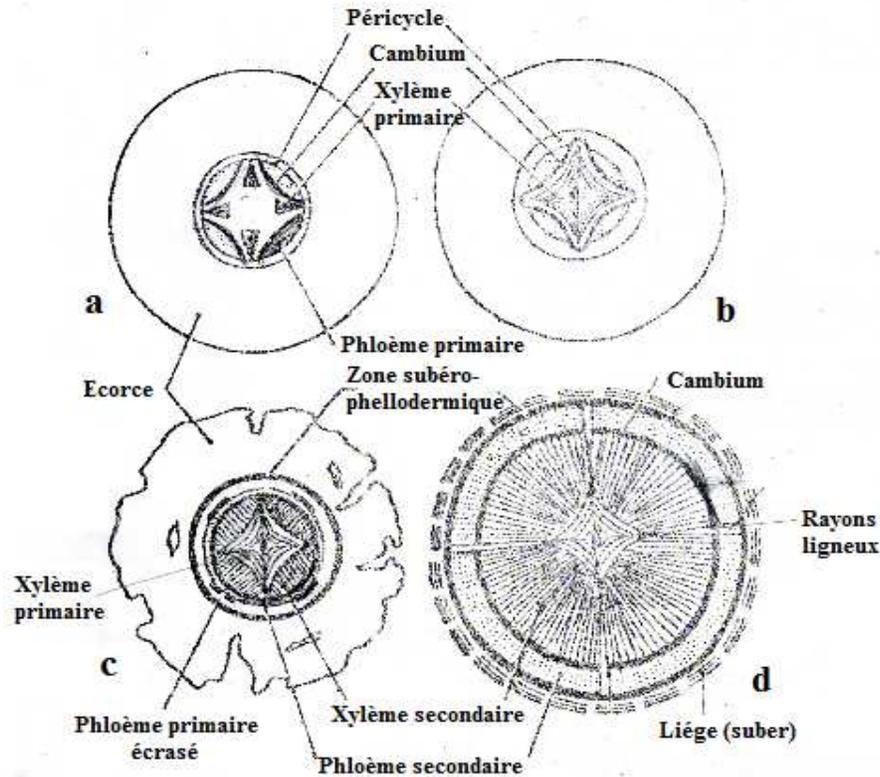


Figure n° III.7 : Série de schémas figurant la formation des zones génératrices et la formation des structures secondaires. (Saidi. 1997).

III.2. Anatomie des tiges

III.2.1. Structure primaire de la tige

III.2.1.1. Chez les angiospermes Monocotylédones

Dans une coupe transversale d'une tige monocotylédone (exemple : l'asperge), on observe de l'extérieur vers l'intérieure :

- Epiderme formé par une assise de cellule fortement cutinisée et présentent des stomates ;
- Parenchyme fondamental qui contient de nombreux faisceaux cribro-vasculaire disposés sur un grand nombre de cercles : la grosseur des faisceaux cribro-vasculaire diminue progressivement du centre de la tige vers la périphérie et le contraire est juste.

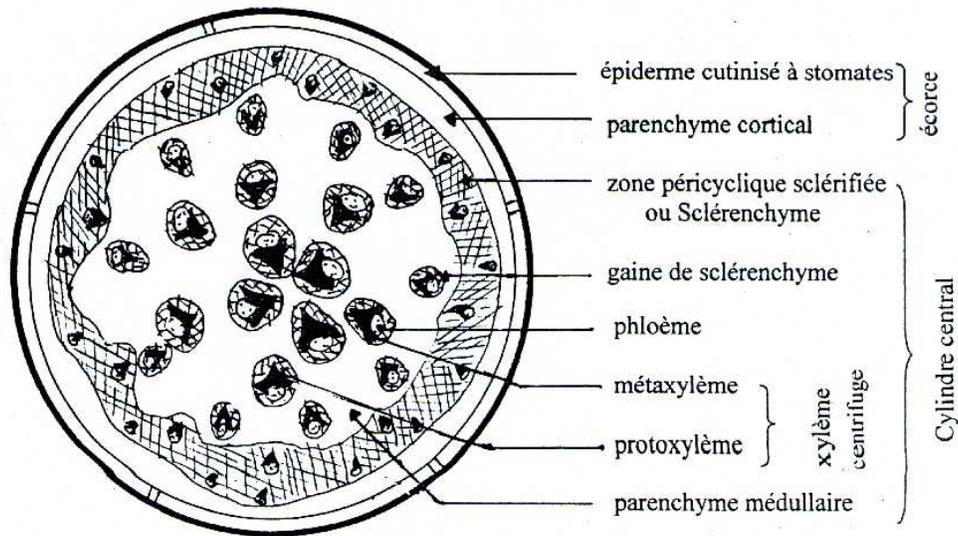


Figure n° III.8 : Structure d'une tige Monocotylédone. (Gaceb-Terrak et al. 2009).

Dans la tige, le xylème primaire et le phloème primaire sont superposés. Les monocotylédones ne présentent pas une structure secondaire.

III.2.1.2. Chez les angiospermes Dicotylédones : De l'extérieure vers l'intérieur, on observe :

- Epiderme ;
- Collenchyme, parenchyme coupé par un anneau de sclérenchyme ;
- De nombreux faisceaux cribro-vasculaire disposé sur un seul cercle ;
- La moelle.

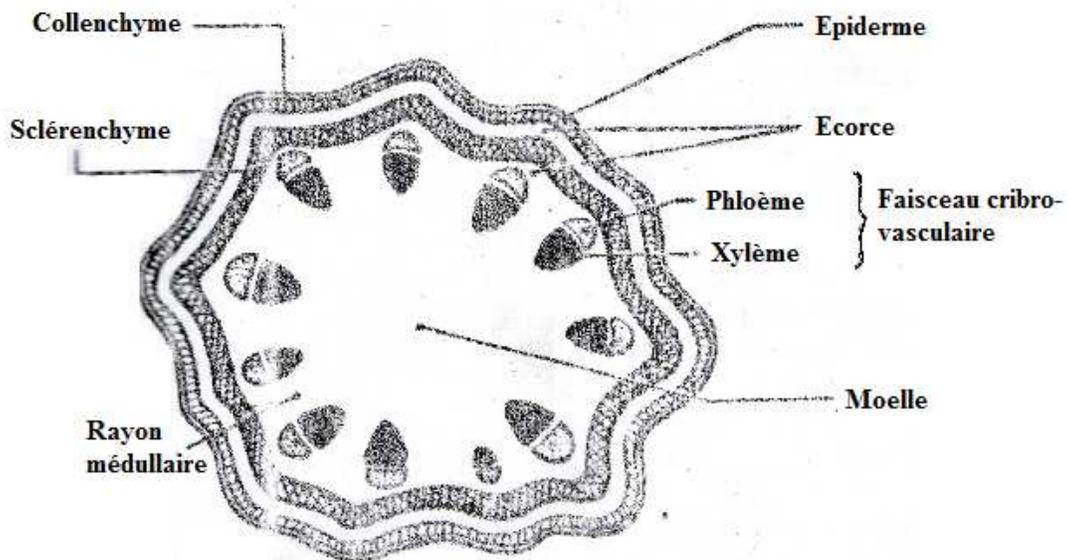


Figure n° III.9 : Structure de la tige d'Aristolochie (Gx12). (Saidi. 1997).

III.2.2. Structure secondaire ou croissance en épaisseur de la tige

Chez certaines plantes vasculaires telle que la plus part des ptéridophytes et de monocotylédones et quelques dicotylédones telles que Nymphéacées et certains ranunculoides, la tige conserve pendant toute sa vie les structures primaires.

La croissance en épaisseur, résulte chez ces végétaux du grandissement des tissus primaire sans qu'il n'y est adjonction de tissus nouveaux.

III.2.2.1. Cambium

On observe un arc (sous l'épiderme) de cambium entre le xylème primaire et le phloème primaire ; ces arcs fasciculés constituent les 1^{er} éléments de l'assise génératrice libéro-ligneuse, ces arcs peuvent en suite se raccorder en un manchon anneau continue par des arcs de cambium situé dans les rayons médullaires entre les faisceaux cribro-vasculaires. C'est le cambium intervasculaire.

Le cambium produit des tissus conducteurs secondaires de la tige vers l'extérieur, il se forme le phloème secondaire ou liber et vers l'intérieur, il se forme le xylème secondaire ou bois.

Disposition des tissus conducteurs secondaire

Selon la disposition, deux modalités de formation secondaire peuvent être réalisé chez les gymnospermes et la plus part des dicotylédones.

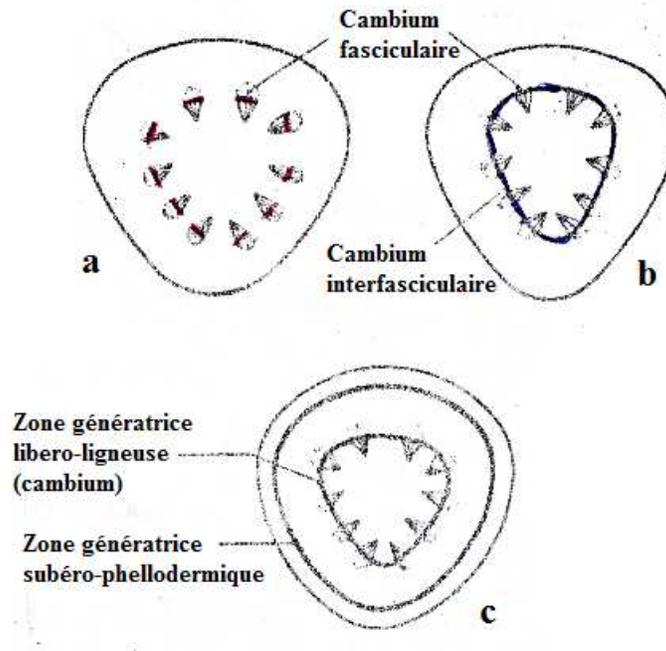


Figure n°III.10 : Formation des zones génératrices dans une tige (Hêtre). (Saidi. 1997).

III.2.2.1.a. La pachyte discontinue

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 primaire, le cambium intra fasciculaire ne forme pas de tissus conducteurs secondaires mais présente un parenchyme II, c'est la pachyte discontinue.

III.2.2.1.b. La pachyte continue

Le liber et le bois sont produits sur toute l'étendue du cambium. Il en résulte la formation d'un anneau continue de tissus conducteurs EX : il existe chez les conifères et les chênes...

Le bois d'une tige ligneuse âgée de plusieurs années et disposée en couches concentriques ou cernes. Chaque couche correspond à l'épaississement du bois produit durant une année par le cambium :

- Bord clair interne : le bois de printemps ou bois initial.
- Bord foncé externe : le bois d'automne ou bois final, l'épaisseur de ces couches et variable.

Elle est de quelques millimètres chez les arbres à bois dur et à croissance lente tel que les chênes, de 1 à 2 cm chez les peupliers à bois tendre dont l'épaississement est rapide.

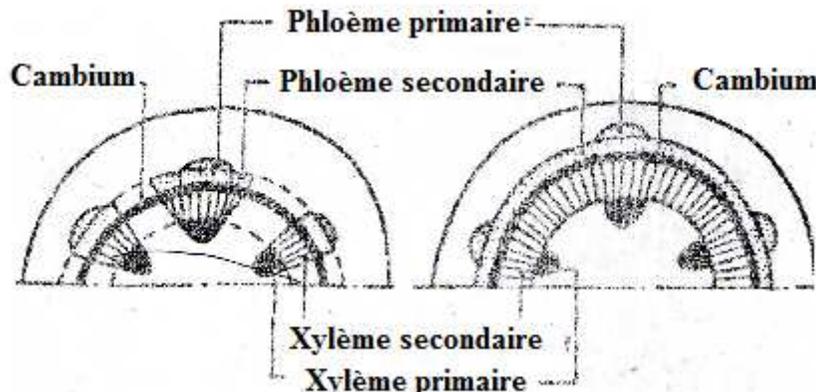


Figure n°III.11 : Pachyte discontinue à gauche, et pachyte continue à droite. (Saidi. 1997).

III.2.2.2. Assise génératrice subéro-phéllodermique

Elle apparaît plus tardivement que le cambium. Souvent elle ne se forme qu'un an après le cambium et parfois plusieurs années après. Cette assise comme son nom l'indique produit des tissus secondaires : le suber ou liège vers l'extérieure.

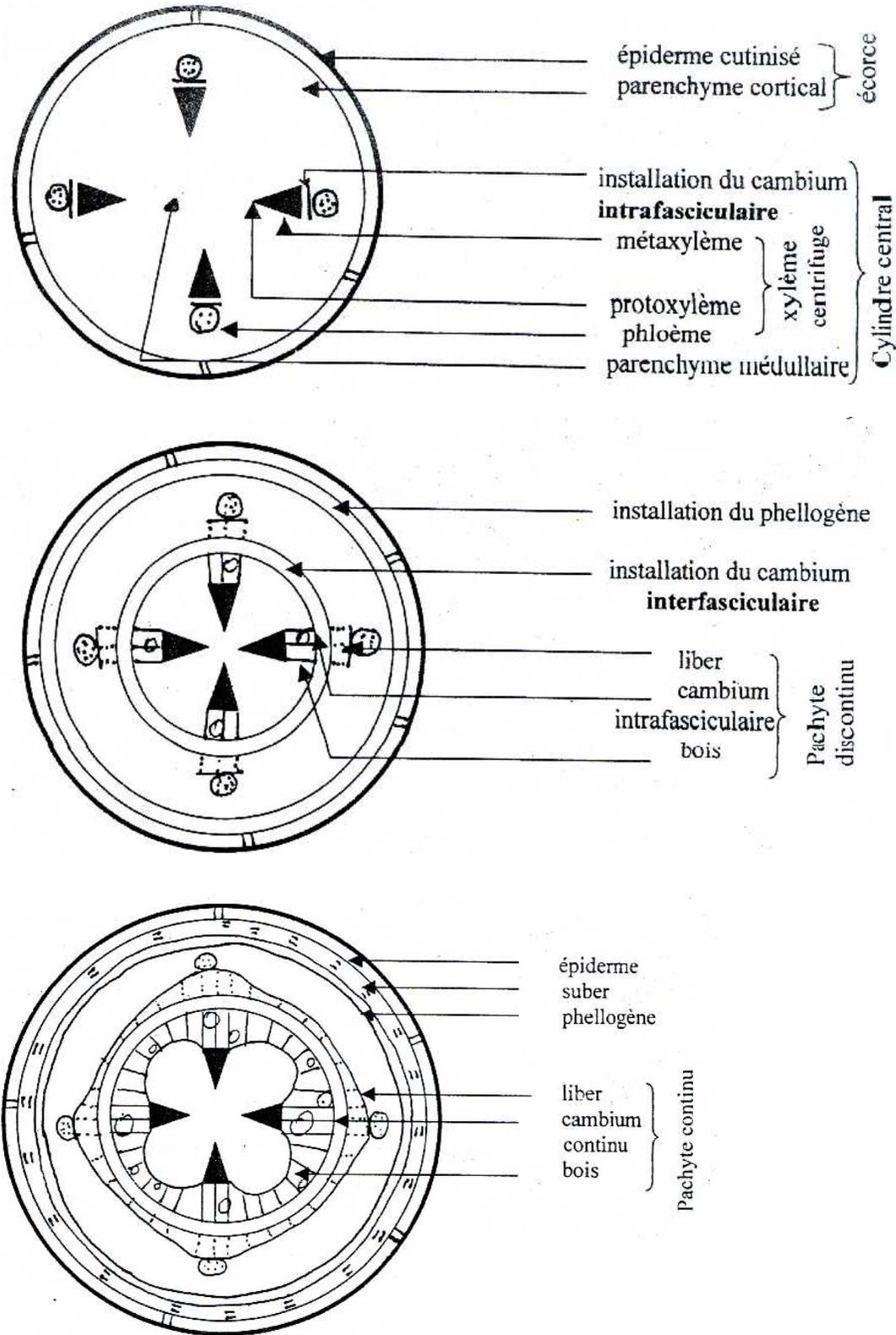


Figure n° III.12 : Installation et fonctionnement des méristèmes secondaires chez les Dicotylédones. (Gaceb-Terrak et al. 2009).

III.3. Anatomie des feuilles

III.3.1. Chez les Angiospermes Monocotylédones

L'étude d'une coupe transversale réalisée au niveau du limbe d'une feuille d'Angiospermes Monocotylédones permet de distinguer deux faces, une face ventrale exposée à la lumière et une face dorsale non exposée, la symétrie est bilatérale. Les tissus observés sont (**Fig.**) :

- **Epiderme ventrale (supérieur)** : Il recouvre la face supérieure de la feuille, il est cutinisée à nombre réduit de stomates.
- **Epiderme dorsale (inférieur)** : Il protège la face inférieure, il est aussi cutinisée présentant la même répartition en stomates que l'épiderme supérieur.
- **Mésophylle** : il est qualifié d' homogène chez les monocotylédones, il s'agit d'un seul type de parenchyme chlorophyllien (lacuneux ou à méat).
- **Tissus conducteurs primaires** : Ce sont plusieurs faisceaux cribro-vasculaires correspondant aux nervures ayant à peu près la même taille. Chaque faisceau cribro-vasculaire présente le xylème vers la face supérieure et le phloème vers la face inférieure, l'ensemble est entouré par une gaine de sclérenchyme.

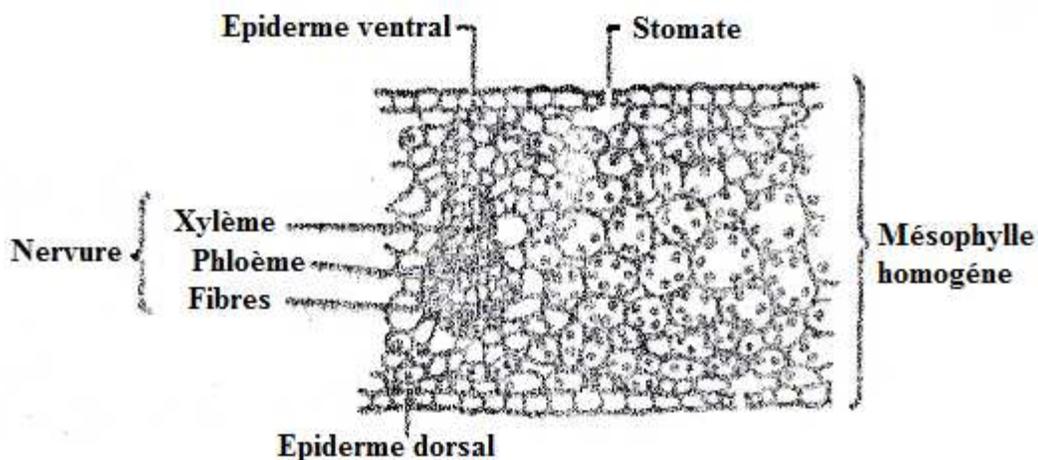


Figure n° III.13 : Dessin de détail du parenchyme foliaire monocotylédone. (Saidi. 1997).

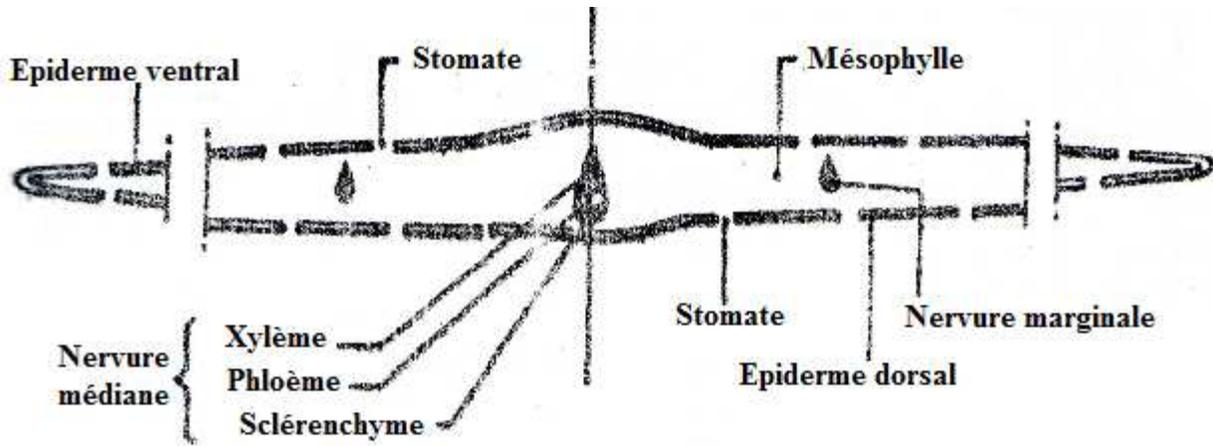


Figure n°III.14 : Schéma d'une coupe transversale dans le limbe d'une feuille Monocotylédone (Muguet). (Saidi. 1997).

III.3.2. Chez les Angiospermes Dicotylédones

Une coupe transversale réalisée au niveau du limbe d'une feuille d'Angiospermes Dicotylédones présente une symétrie bilatérale. Les tissus observés sont (**Fig. 2**) :

- **Epiderme supérieur** : C'est un épiderme cutinisée à stomates (nombre réduit).
- **Epiderme inférieur** : Il est cutinisée et présente un nombre plus important en stomates que l'épiderme supérieur.
- **Mésophylle hétérogène** : Il est formé de deux parenchymes chlorophylliens, le parenchyme palissadique vers la face supérieure et le parenchyme lacuneux vers la face inférieure.
- **Tissus conducteurs** : C'est des faisceaux cribro-vasculaires qui correspondent aux nervures dont la taille est différente. Une nervure principale très importante qui fait saillie vers la face inférieure, elle est formée de tissus conducteurs primaires (xylème et phloème) et secondaires (bois hétéroxylé et liber) et des nervures secondaires formées uniquement de tissus conducteurs primaires.
- **Tissus de soutien** : Du collenchyme et du sclérenchyme sont présents au contact des épidermes.

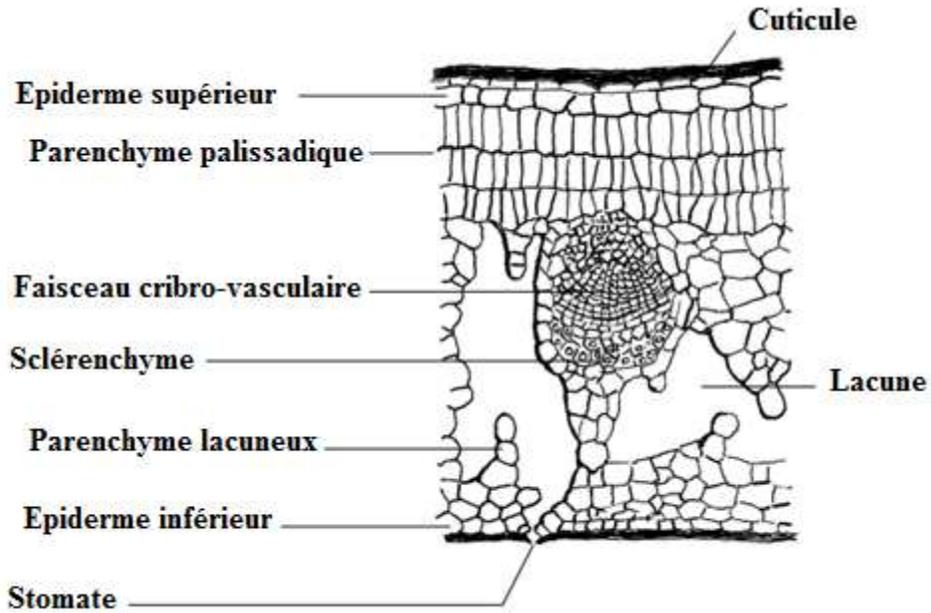


Figure n°III.15 : Dessin de détail du parenchyme foliaire dicotylédone. (Laberche, 2004).

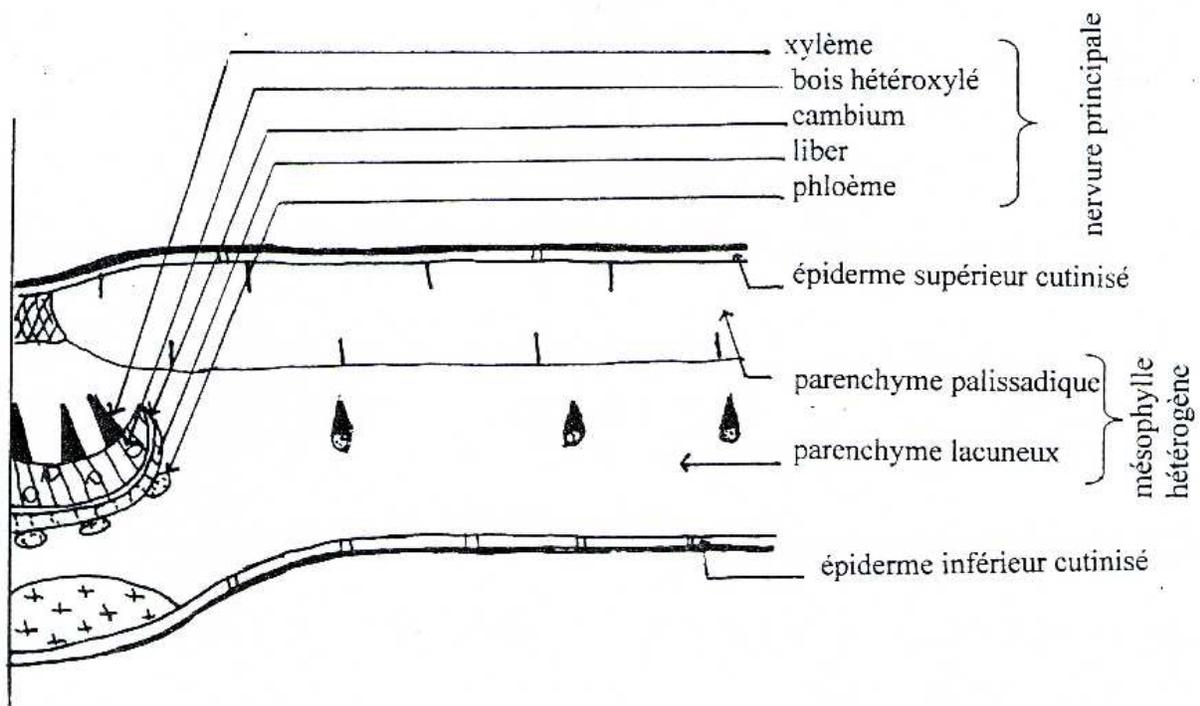


Figure n°III.16 : Schéma d'une coupe transversale dans une feuille Dicotylédone. (Gaceb-Terrak et al. 2009).

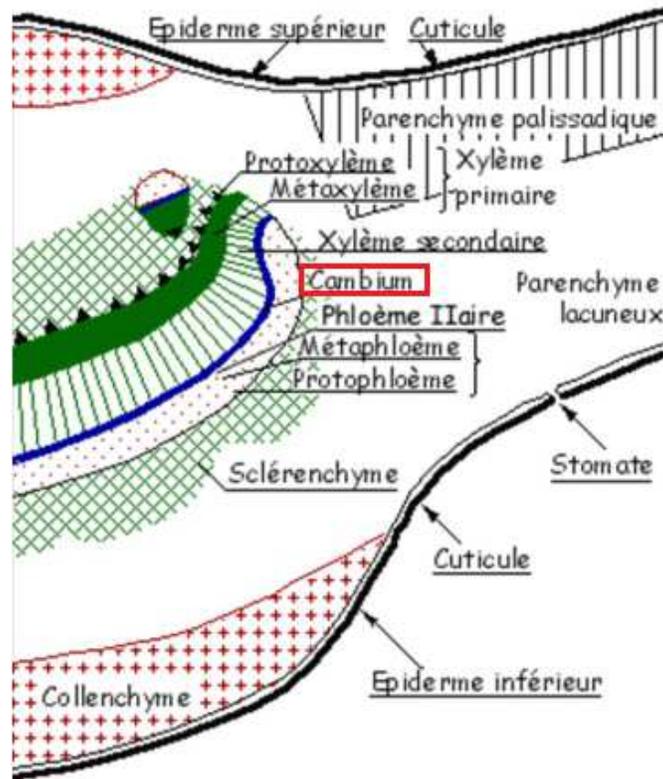


Figure n°III.17: Coupe transversale de limbe d'une feuille Dicotylédone (Structure secondaire).
(Site internet [09])

III.4. Anatomie comparée d'une racine, tige et feuille Monocotylédones et Dicotylédones

Dans le but de reconnaître les principales différences existantes entre les tiges, les racines et les feuilles des plantes monocotylédones et dicotylédones du point de vue anatomique, nous présentons les tableaux et les schémas ci-dessous :

Tableau n° III.1: Différences anatomiques entre les Monocotylédones et les Dicotylédones.

	Racine Monocotylédone	Racine Dicotylédone
Stèle	Importante	Réduite
Endoderme	Endoderme en U (fer à cheval)	Endoderme à cadre
Faisceaux de xylème et phloème	Nombre important (12 à 20)	Peu de faisceaux (2 à 5)
Moelle	Abondante	Absente (remplacée par xylème)
Structures secondaires	Absence	Présence

Source : Zeghad. 2018.

Tableau n° III.2 : Différences entre les Monocotylédones et les Dicotylédones (structure anatomique de la tige et de la racine).

	Racine	Tige
Ecorce	Importante (épaisse)	Réduite
Stèle	Présence de stèle (cylindre central) importante	Absence de stèle ou moins importante
Endoderme et péricycle	Présence d'endoderme et de péricycle	Absence d'endoderme et de péricycle
Moelle	Réduite	Importante
Faisceaux conducteurs	Faisceaux conducteur de xylème et phloème s' alternent	Faisceaux conducteur de xylème et phloème sont superposés (ceux du phloème étant les plus externes)
Xylème	Xylème présente une différenciation centripète	Xylème présente une différenciation centrifuge
Tissus de soutien	Absence des tissus de soutien	Présence des tissus de soutien

Source : Zeghad. 2018.

Tableau n° III.3 : Différences entre une tige Monocotylédone et Dicotylédone.

Monocotylédone	Dicotylédone
Plusieurs cercles concentriques de faisceaux cribro-vasculaires	Le cylindre central comporte de nombreux faisceaux disposés sur un seul cercle
Absence des structures secondaires	de structures secondaires
Ecorce absente ou réduite, moelle développée	Parenchyme médullaire plus abondant que le parenchyme cortical

Source : Zeghad. 2018.

Tableau n° III.4 : Différences entre une feuille Monocotylédone et Dicotylédone.

	Monocotylédones	Dicotylédones
Stomates	Les stomates sont répartis d'une façon égale sur l'épiderme de la face ventrale et dorsale.	Face dorsale riche en stomates.
Parenchyme	Homogène.	Hétérogène (parenchyme palissadique et lacuneux).
Faisceaux conducteurs	Nervures parallèles constituées d'un faisceau unique, très souvent uni à l'épiderme dorsal par les bandes de fibres sclérifiées.	Nervures ramifiées constituées d'un ou plusieurs faisceaux de xylème interne et de phloème externe, entourés de tissus de soutien.
Formations secondaires	Absences.	Peu développées en général au niveau de la nervure principale (xylème II et Phloème II).

Source : Zeghad. 2018.

Tableau n° III.5 : Différences entre une racine, tige et feuille.

Caractères	Racine	Tige	Feuille
Rapport écorce/cylindre central	-Ecorce développée -Cylindre central réduit -E>C	-Ecorce réduite -Cylindre central développé -E<C	-
Tissus de revêtement	Assise pilifère	Epiderme	Epiderme
Tissus de soutien	Rares	Fréquents	Fréquents
Tissus particulier	Péricycle et endoderme	-	Mésophylle
Tissus conducteurs	-Xylème I et phloème I alternes -Xylème I à différenciation centripète	-Xylème I et phloème I superposés -Xylème I à différenciation centrifuge	-Xylème I et phloème I superposés. -Xylème I orienté vers la face supérieure

Source : Zeghad. 2018.

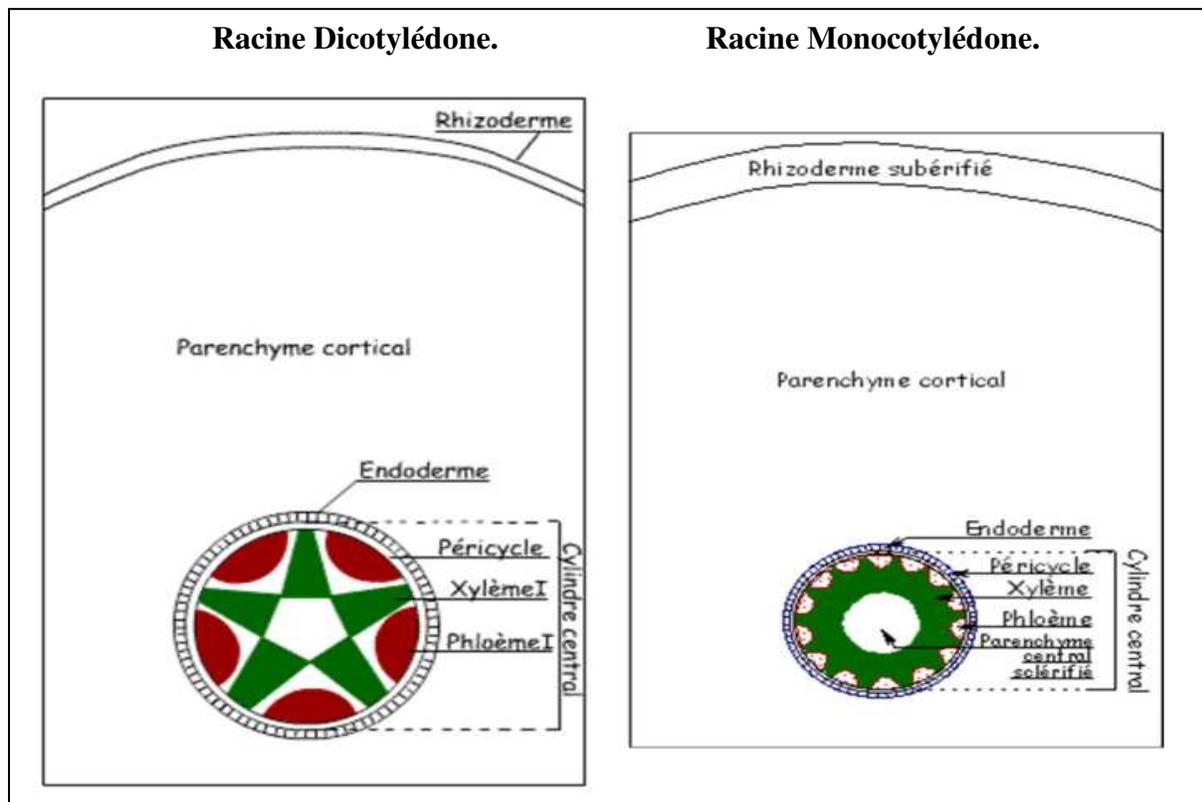
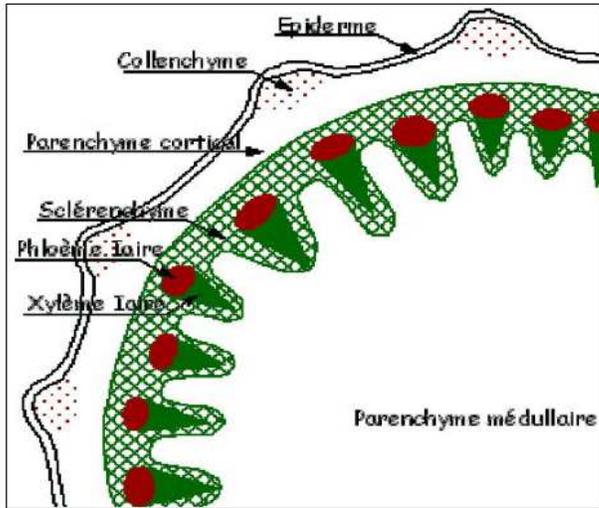
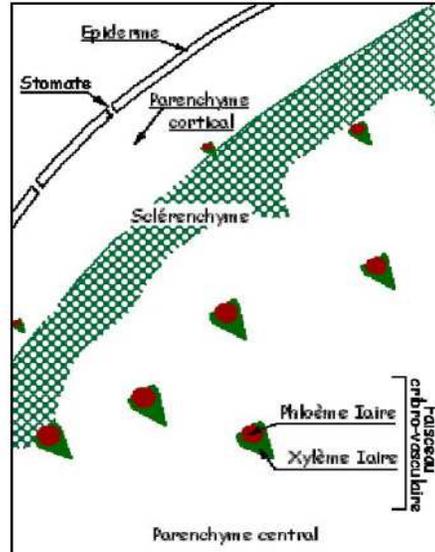


Figure n°III.18 : Comparaison des interprétations des coupes transversales de racine Monocotylédone et Dicotylédone. (Site internet [09]).

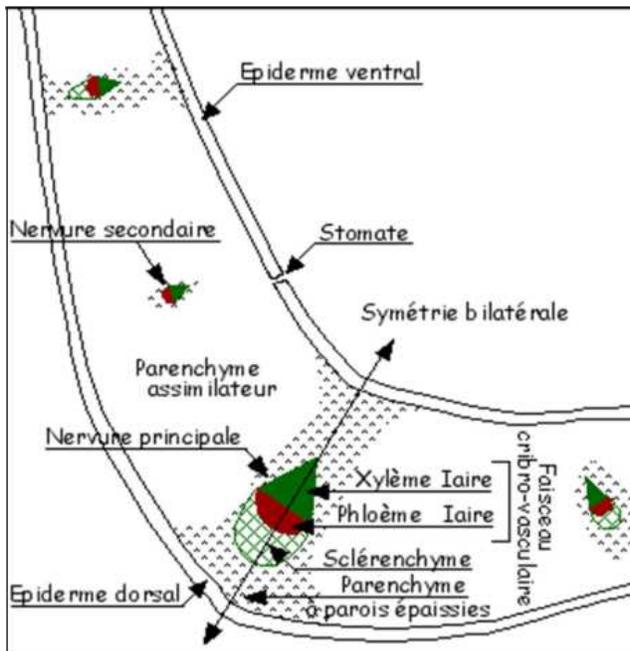


Tige Dicotylédone.

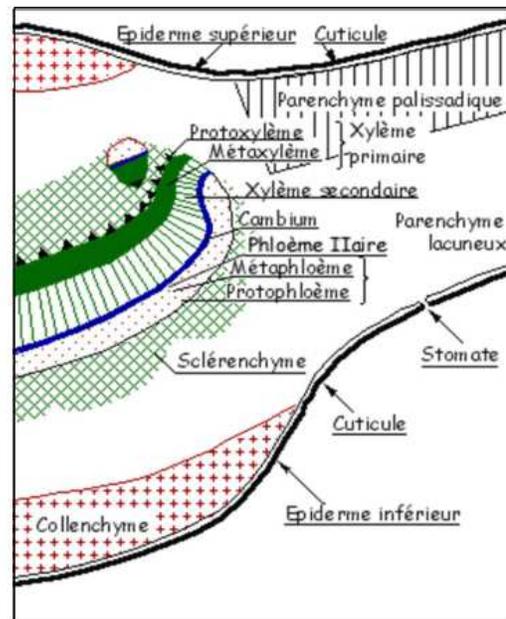


Tige Monocotylédone.

Figure n° III.19 : Comparaison des schémas des coupes transversales de tiges Monocotylédone (l'Iris) et Dicotylédone (la Sanicule). (Site internet [09]).



Feuille Monocotylédone.



Feuille Dicotylédone.

Figure n°III.20 : Comparaison des schémas des coupes transversales de limbes de feuilles Monocotylédone (Muguet) et Dicotylédone (Houx). (Site internet [09]).

**GLOSSAIRE D'HISTOLOGIE ET D'ANATOMIE
DES PLANTES VASCULAIRES**

GLOSSAIRE D'HISTOLOGIE ET D'ANATOMIE DES PLANTES VASCULAIRES.

Aubier : bois fonctionnel situé à la périphérie des troncs et des tiges ligneuses.

Bois : tissu hétérogène constitué de xylème secondaire et de tissu de soutien. Le bois conduit la sève minérale.

Bois (= Xylème) : tissu conduisant la sève brute.

Bois d'été : xylème secondaire formé suite à l'activité saisonnière du cambium libéro-ligneux, présentant des trachéides ou vaisseaux étroits.

Bois de printemps : xylème secondaire formé suite à l'activité saisonnière du cambium libéro-ligneux, présentant des trachéides ou des vaisseaux de large diamètre.

Bois hétéroxylé : chez les angiospermes, tissu hétérogène composé de vaisseaux, de parenchyme lignifié et de fibres.

Bois homoxylé : chez les gymnospermes, tissu homogène composé de trachéides et de parenchyme lignifié.

Cambium : (= cambium libéro-ligneux) : méristème secondaire situé latéralement, donnant naissance au xylème secondaire (bois) vers l'intérieur et au phloème secondaire (liber) vers l'extérieur. Il assure l'accroissement radial des tiges et des racines.

Canal résinifère : chez les conifères, espace intercellulaire allongé qui accumule la résine sécrétée par les cellules qui le bordent.

Cellule compagne : dans le phloème, cellule étroite et effilée, associée à un élément (ou tube) criblé et reliée à ce dernier par des plasmodesmes. Elle contient un noyau, des mitochondries et des ribosomes qui servent pour les deux cellules.

Cellule de passage : dans la racine, cellule de l'endoderme à paroi mince non subérisée contrôlant le passage de l'eau et des sels.

Cellule sécrétrice : cellule à aspect parenchymateux, se spécialisant en accumulant un produit (résine, oxalate de calcium...) dans ses vacuoles. Elle meurt à la concentration maximale du produit.

Cellule annexe : cellule épidermique de forme et de disposition particulière entourant le stomate.

Cellules de garde : paire de cellules épidermiques chlorophylliennes bordant l'ostiole du stomate.

Chambre sous-stomatique : espace aérifère situé sous le stomate.

Chlorenchyme : parenchyme chlorophyllien spécialisé dans la photosynthèse.

Chloroplaste : plaste contenant les chlorophylles, siège de la photosynthèse.

Coiffe : tissu parenchymateux en forme de capuchon recouvrant le méristème apical de la racine. La coiffe protège le méristème, lubrifie le sol en libérant des mucilages et oriente la croissance de la racine.

Collenchyme : tissu de soutien homogène, peu spécialisé, composé de cellules vivantes à paroi cellulosique épaissie, fréquent dans les tiges jeunes et dans les feuilles.

Cortex : (= cylindre ou manchon cortical = écorce) : dans la racine, ensemble des tissus périphériques (rhizoderme ou assise pilifère, exoderme, parenchyme cortical, endoderme).

Cuticule : pellicule imperméable constituée de cutine (polyester d'acides gras hydroxylés) et de cire recouvrant la paroi externe de l'épiderme.

Cylindre central : (= stèle) : dans la racine, ensemble des tissus centraux (péricycle, xylème, phloème, parenchyme, sclérenchyme).

Cylindre cortical : (= écorce = manchon cortical = cortex) : dans la racine, ensemble des tissus périphériques (rhizoderme ou assise pilifère, exoderme, parenchyme cortical, endoderme).

Dichotomique : qualifie des nervures qui se ramifient en donnant chaque fois deux nouvelles nervures (mode de ramification archaïque rencontré par ex chez le *Ginkgo biloba*)

Druse : cristal constitué d'oxalate de calcium et présent dans les vacuoles de cellules sécrétrices.

Ecorce : dans les tiges, ensemble des tissus externes au bois (cambium, liber et péridermes). Dans les racines, ensemble des tissus périphériques (rhizoderme ou assise pilifère, exoderme, parenchyme cortical, endoderme).

Endoderme : dans les racines des plantes supérieures, assise de cellules situées à la limite interne du cortex. Les parois transversales et longitudinales radiales des cellules de l'endoderme sont garnies d'une couche de subérine et de lignine (cadre de Caspary-endoderme en U ou en O).

Epiderme : tissu de protection externe des tiges et des feuilles, composé d'une seule couche de cellules jointives, vivantes, non chlorophylliennes à paroi cellulosique. L'épiderme peut comporter des stomates et des poils.

Eucaryote : qualifie une cellule possédant un vrai noyau ("eu" = vrai) protégeant le matériel génétique.

Exoderme : assise de cellules du manchon cortical de la racine, située sous le rhizoderme et le remplaçant lorsque ce dernier s'exfolie. L'exoderme est généralement composé d'une seule couche de cellules à parois subérisées et imperméables ; il joue un rôle de protection.

Faisceau conducteur : dans la tige, le pétiole et la feuille, structure associant l'ensemble des tissus conducteurs (xylème, phloème) ainsi que le cambium chez les dicotylédones et entourée d'une gaine fasciculaire améatique de parenchyme ou de fibres.

Fibre : cellule sclérenchymateuse fusiforme allongée à paroi secondaire très épaisse et lignifiée, morte à maturité. S'imbriquant étroitement, les fibres forment souvent des massifs ou des anneaux continus assurant une grande rigidité aux organes.

Gaine fasciculaire : tissu améatique parenchymateux ou fibreux, composé d'une ou de plusieurs couches de cellules jointives et entourant complètement le faisceau pour en assurer son étanchéité.

Hémiparasite (= Semiparasite) : plante chlorophyllienne sans racines et poussant donc sur une autre plante à partir du bois de laquelle elle puise eau et sels minéraux (ex, le gui).

Hétéroxylé : qualifie un bois formé de plusieurs types d'éléments : des vaisseaux et des cellules de parenchyme ligneux (ex chez les Angiospermes).

Homoxylé : qualifie un bois formé d'un seul type d'éléments (ex chez les Gymnospermes).

Laticifère : élément uni-ou pluri cellulaire ramifié, conducteur de latex.

Lacune : grand espace intercellulaire formé par la jonction de plusieurs méats ou par la dégénérescence de cellules, rempli d'air ou de déchets cellulaires.

Lamelle moyenne (ou mitoyenne) : couche mince composée essentiellement de pectine commune à deux cellules voisines servant de «ciment» entre leurs parois primaires.

Lame vasculaire : dans la stèle (ou cylindre central) des racines, disposition du xylème en lames radiales étroites. La différenciation du xylème y est centripète. Au protoxylème, composé de trachées de petit diamètre, succède le métaxylème composé de vaisseaux de diamètre croissant.

Liber (= Phloème) : tissu conduisant la sève élaborée.

Ligneux : qualifie un tissu résistant dont les cellules ont la paroi imprégnée de lignine.

Lignine : substance imprégnant la paroi de certaines cellules (bois, sclérenchyme) et la rendant très dure.

Lenticelle : à la surface de l'écorce des tiges ou des racines dans le liège, lacune formée par la dégénérescence de cellules parenchymateuses permettant les échanges gazeux entre la plante et le milieu.

Liber : (= phloème secondaire) : tissu constitué de tubes criblés, conducteur de sève organique.

Liège : tissu protecteur améatique de structure secondaire produit par le phellogène, composé de cellules mortes à maturité dont les parois sont imprégnées de subérine et donc imperméables.

Manchon cortical : (= cylindre cortical = cortex = écorce) : dans la racine, ensemble des tissus périphériques comprenant le rhizoderme ou assise pilifère, l'exoderme, le parenchyme cortical, et l'endoderme.

Massif phloémien : dans la stèle (ou cylindre central) des racines, disposition des éléments conducteurs du phloème en massifs alternant avec les lames vasculaires.

Méat : espace intercellulaire de petite taille se formant suite à la disparition de la lamelle moyenne (= mitoyenne) et à la séparation des parois primaires des cellules.

Méristème : tissu embryonnaire formé de cellules vivantes indifférenciées, siège de divisions cellulaires et assurant l'allongement ou l'accroissement du diamètre de l'organe. Par différenciation, il engendre tous les tissus des végétaux adultes.

Méristème apical : méristème situé à l'extrémité de la tige ou de la racine, responsable de l'allongement du végétal.

Méristème latéral : méristème (cambium libéro-ligneux et phellogène) situé latéralement dans la tige ou la racine, responsable de l'accroissement du diamètre du végétal.

Mésophylle : parenchyme chlorophyllien situé entre les épidermes supérieur et inférieur de la feuille.

Métaxylème : partie du xylème primaire se différenciant après le protoxylème lorsque la croissance est terminée. Il est constitué de trachéïdes chez les gymnospermes et les ptéridophytes et de vaisseaux chez les angiospermes.

Moelle : tissu fondamental constitué de parenchyme occupant le centre de la tige ou de la racine.

Nervure : dans la feuille, faisceau conducteur entouré de tissu de soutien.

Noyau cellulaire : «organite» de la cellule eucaryote limitée par une double membrane (enveloppe nucléaire) et contenant les chromosomes (ADNcellulaire).

Ostiole : orifice de diamètre variable formé par la dissolution de la lamelle moyenne (= mitoyenne) et présent entre les deux cellules de garde du stomate. L'ouverture et la fermeture de l'ostiole régulent l'évaporation de l'eau et l'absorption du CO₂ pour la photosynthèse.

Parenchyme : tissu fondamental composé de cellules peu différenciées à parois minces. Il joue essentiellement un rôle de remplissage, auquel peuvent être associés d'autres rôles tels que l'assimilation et le stockage des matières de réserve.

Parenchyme amylofère : parenchyme spécialisé dans le stockage de grains d'amidon dans les amyloplastés.

Parenchyme central : parenchyme présent dans le cylindre central de la racine.

Parenchyme cortical : parenchyme présent dans le cylindre cortical de la racine.

Parenchyme lacuneux : parenchyme présent dans le limbe de la feuille et présentant de grands espaces intercellulaires(lacunes).

Parenchyme lignifié : parenchyme dont les cellules présentent des parois lignifiées minces ou épaisses.

Parenchyme palissadique : parenchyme présent dans le limbe de la feuille, peu méatique, formé de cellules allongées perpendiculairement à la surface et très riches en chloroplastes.

Paroi primaire : paroi mince de nature essentiellement cellulosique qui se dépose sur la lamelle moyenne durant la croissance de la cellule.

Paroi secondaire : paroi d'épaisseur variable sécrétée sur la face interne de la paroi primaire d'une cellule lorsque sa croissance est terminée. Elle est constituée de cellulose imprégnée ou non de lignine ou de subérine ou de cutine.

Péricycle : couche de cellules méristématiques présente dans la stèle (cylindre central) de la racine, et impliquée dans la formation de racines latérales.

Périderme : dans la tige et la racine, tissu protecteur externe composé du liège, du phelloderme et du phellogène et qui remplace l'épiderme détruit lors de la croissance secondaire.

Phelloderme : tissu constitué de cellules à paroi cellulosique faisant partie du périderme et produit vers l'intérieur par le phellogène.

Phellogène : méristème latéral de la tige et de la racine producteur du phelloderme vers l'intérieur et du liège vers l'extérieur.

Phloème : tissu conducteur de la sève organique (= sève élaborée) chez les plantes vasculaires comprenant des éléments criblés et leurs cellules compagnes ainsi que des cellules parenchymateuses.

Plaque criblée : paroi transversale des éléments criblés du phloème présentant de grands pores ou cribles.

Poche sécrétrice : lacune dans laquelle s'accumule le produit de sécrétion issu des cellules qui la bordent.

Poil épidermique : excroissance des cellules de l'épiderme de la tige ou de la feuille.

Poil absorbant : excroissance des cellules de l'épiderme de la racine qui augmente la surface d'absorption de celle-ci.

Ponctuation aréolée : ponctuation dans laquelle la paroi secondaire se recourbe au-dessus de la cavité de la ponctuation.

Ponctuation : dépression de grande taille dans la paroi cellulaire, dépourvue d'épaississement secondaire.

Les ponctuations de deux cellules voisines se faisant face, ces dernières ne sont séparées l'une de l'autre, au niveau de la ponctuation, que par la lamelle moyenne et les parois primaires.

Primordium foliaire : protubérance latérale du méristème apical de la tige, génératrice de la feuille.

Primordium gemmaire : protubérance latérale du méristème apical de la tige, génératrice du bourgeon.

Procambium : dans les tiges et les racines, méristème primaire donnant naissance aux tissus conducteurs primaires.

Protoderme : dans les tiges et les racines, méristème primaire donnant naissance au tissu de protection.

Protoxylème : xylème composé de trachées de petit diamètre qui se différencient lors de l'élongation de l'organe de la plante auquel il appartient.

Parallèle (nervation) : les nervures sont plus ou moins parallèles (ex poireau).

Phylogénique (= phylogénétique) : qualifie une classification (végétale ou animale) envisageant la filiation entre les différents groupes.

Protiste : être unicellulaire eucaryote.

Rayon médullaire : ensemble des tissus situés entre les faisceaux conducteurs des tiges.

Rhizoderme : assise cellulaire superficielle de la racine présente de la coiffe jusqu'à l'extrémité supérieure de la zone pilifère. Les cellules à paroi cellulosique, ni cutinisée, ni subérisée peuvent se prolonger en poils absorbants. Le rhizoderme a une durée de vie très courte ; il a un rôle d'absorption plus important que son rôle de protection.

Rhizoïdes : files de cellules, ressemblant à des racines, fixant certaines plantes (Bryophytes) mais sans tissus conducteurs de sève.

Rhizome (n.m.) : tige souterraine vivace, le plus souvent horizontale, à partir de laquelle de nouvelles parties aériennes naissent chaque année.

Sclérenchyme : tissu de soutien améatique composé de cellules à paroi secondaire épaisse et lignifiée, mortes à maturité. Il est constitué de fibres ou de sclérites.

Sclérite : cellule sclérenchymateuse isodiamétrique ou peu allongée, parfois ramifiée, généralement morte à maturité. Elle possède une paroi secondaire lignifiée, épaisse, percée de nombreuses punctuations.

Semiparasite (= Hémiparasite)

Stèle : partie centrale des racines et des tiges des plantes vasculaires, renfermant l'ensemble des tissus conducteurs des sèves minérale et organique

Stomate : structure épidermique des tiges et des feuilles formée de deux cellules de garde entourant une ouverture (ostiole) permettant les échanges gazeux.

Tissu cortical : tissu parenchymateux situé entre le rhizoderme et la stèle (= cylindre central de la racine). Il est limité intérieurement par l'endoderme.

Totipotence : capacité qu'à n'importe cellule végétale (et à fortiori tissu ou organe) de pouvoir (théoriquement) redonner un individu entier.

Torus : dans les ponctuations aréolées, partie centrale épaissie de la paroi primaire des deux cellules adjacentes.

Trachéides : cellules à paroi lignifiée constituant le bois des Gymnospermes, à la fois éléments de conduction de la sève brute et éléments de soutien.

Trachée annelée : premiers éléments conducteurs du xylème se formant au cours de la croissance de la plante vasculaire. Ce sont des tubes creux (pas de paroi transversale) avec des épaississements secondaires peu importants disposés en anneau. Avec les trachées spiralées, ils constituent le protoxylème. Ils assurent la conduction de la sève minérale et jouent aussi un rôle de soutien.

Trachée spiralée : premiers éléments conducteurs du xylème se formant au cours de la croissance de la plante vasculaire. Ce sont des tubes creux (pas de paroi transversale) avec des épaississements secondaires peu importants disposés en spirale. Avec les trachées annelées, ils constituent le protoxylème. Ils assurent la conduction de la sève minérale et jouent aussi un rôle de soutien.

Trichome : ensemble des poils épidermiques.

Tube criblé : élément conducteur du phloème constitué de cellules allongées possédant des parois cellulodiques minces et des parois transversales percées de grands pores. Ces cellules sont vivantes mais ne contiennent ni noyau, ni ribosome, ni vacuole. Elles communiquent avec des cellules vivantes qui leur sont associées : les cellules compagnes. Le tube criblé véhicule la sève organique.

Vacuole : sac membraneux présent dans le cytoplasme de la cellule végétale et contenant une solution liquide aqueuse : le suc vacuolaire.

Vaisseau : éléments conducteurs du xylème formés de la superposition d'éléments courts, à paroi transversale inexistante et à paroi longitudinale ornée de ponctuations. Ils ne sont complètement différenciés et fonctionnels qu'au terme de la croissance du végétal ; ils constituent le métaxylème. Ils assurent la conduction de la sève brute et jouent aussi un rôle de soutien.

Xylème (Bois) : tissu conduisant la sève brute.

Xylème : tissu constitué de trachées, de trachéides et/ou de vaisseaux, conducteurs de la sève minérale chez les plantes vasculaires.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Bouzid S. 2018. Cours de Biologie Végétale. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département de Biologie Végétale et Ecologie. Université des Frères Mentouri-Constantine1.74p.

Bruno S. 2014. Les racines des plantes (Anatomie et fonctionnement). Mémoire N3. 57p.

Chassany V, Potage M et Ricou M. 2014. Mini manuel de Biologie Végétale 2^{ème} édition. Dunod. 226p.

Chelli A. 2012. Cours de biologie cellulaire. Université Mira-Bejaia. 12p.

Gaceb-Terrak Rabéa et al. 2009. Illustrations du cours Biologie Végétale troncs communs, 3^{ème} édition. Office des publications universitaires. Algérie. 65p.

Laberche JC. 2004. Biologie Végétale 3^{ème} édition. Dunod. 270p.

Roland JC, Roland F, Bouteau EH et Bouteau F. 2008. Atlas de Biologie végétale (organisation des plantes à fleurs) 9^{ème} édition. Dunod. 144p.

Saidi F. 1997. Cours de Biologie Végétale. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie. Université de Saad Dahlab-Blida 1. 55p.

Saouli, N. 2019. Cours de Systématique des Spermaphytes. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie. Université Ferhat Abbas-Setif 1. 21p.

Stephen D. Bresnick. 2004. Biologie en bref. De Boeck. 318p.

Zaffran J.1998. Initiation à la Biologie Végétale. Ellipse. 160p.

Zeghad N. 2018. Cours de Biologie Végétale. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département de Biologie Végétale et Ecologie. Université des Frères Mentouri-Constantine1. 90p.

كـاظم محمد. 1990. علم النبات. دار نجيب للطباعة و النشر. 288 ص.

Site internet :

- [1] https://www.researchgate.net/figure/Hemp-trichome-types-A-Unicellular-non-glandular-trichome-B-cystolythic-trichomes_fig2_293193768
- [2] <https://lewebpedagogique.com/arenysam/2011/10/10/anatomie-de-la-feuille/>
- [3] http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/anatomie/album/legendes/pages/faloes11_gif.htm
- [4] <https://docplayer.fr/62844483-Td2-anatomie-vegetale.html>
- [5] <https://etudz.com/telechargements/biologie-vegetale-s2/>. Consulter le : **05.03.2019.**
- [6] https://webapps.fundp.ac.be/umdb/histoplantvasc/mode_atlas/img36.htm
- [7] https://webapps.fundp.ac.be/umdb/histoplantvasc/mode_atlas/img41.htm
- [8] <https://docplayer.fr/34203726-Lyce-saint-joseph-izmir-biologie-vegetale-introduction-p-2-i-organisation-structurelle-des-vegetaux-p-3-i-1-l-origine-des-plantes-p.html>
- [9] <http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/anatomie/index.html>
- [10] <https://www.scribd.com/document/372809540/Cours-2-Biologie-Vegetale>.
- [11] <https://www.cours-pharmacie.com/biologie-vegetale/les-parois-vegetales.html>