

Les Tissus Secondaires

1. Les méristèmes secondaires :

Sont à l'**origine des tissus secondaires**, ils sont constitués d'**assises génératrices** sous forme d'anneaux formés de cellules capables de se diviser rapidement, ces cellules diffèrent des cellules du méristème primaire par la forme (rectangulaire), et le contenu.

Les cellules du méristème secondaire permettent une **croissance en épaisseur** autour de la tige et des racines des plantes.

On trouve deux méristèmes secondaires qui se différencient tardivement :

- La **zone génératrice libéro-ligneuse, ou cambium, se localise entre le xylème et le phloème**, il est responsable de la **formation des tissus conducteurs secondaires**.

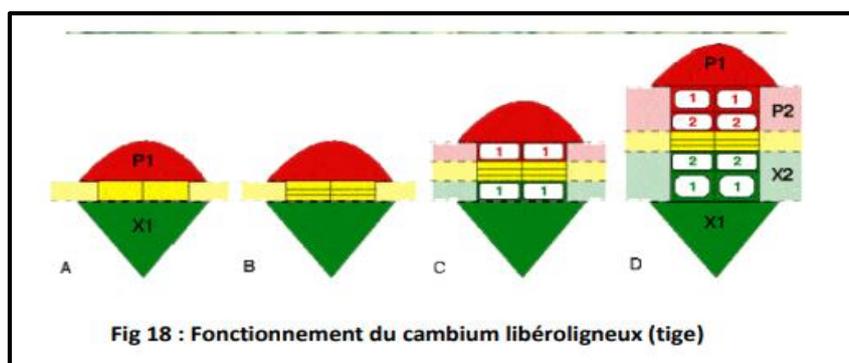
Le cambium est composé que d'une seule assise de cellules, sous la forme d'un cylindre appelé parfois « anneau cambial », il est créé à partir de cellule de parenchyme inter-fasciculaire qui subissent une dédifférenciation. Un anneau complet est issu de la fusion de deux types de zones cellulaires : les cellules de cambium inter-fasciculaire et les cellules du cambium intrafasciculaire. Cette fusion forme ainsi l'anneau cambial.

- La **zone génératrice subéro-phéllodermique, ou phellogène**, responsable de la formation des **tissus protecteurs secondaires**, il se trouve dans l'écorce, il est responsable de l'apparition **du liège (suber)** vers l'**extérieur** et du **phelloderme** vers l'**intérieur**.

2. Les tissus conducteurs secondaires

Ces tissus secondaires vont se développer et permettre la croissance en épaisseur du végétal, ils vont **assurer le transport de la sève** et auront **un rôle de soutien du végétal**.

- **Le liber** (Phloème II), Il est disposé vers l'extérieur. Sa formation, centrifuge, est rythmique et donne des couches concentriques minces de cellules aplaties.
- **Le bois** (Xylème II) , Il se développe vers l'intérieur. Il a une croissance rythmique centripète, synchronisée avec les saisons. Il forme donc des couches annuelles.



3- Les tissus protecteurs

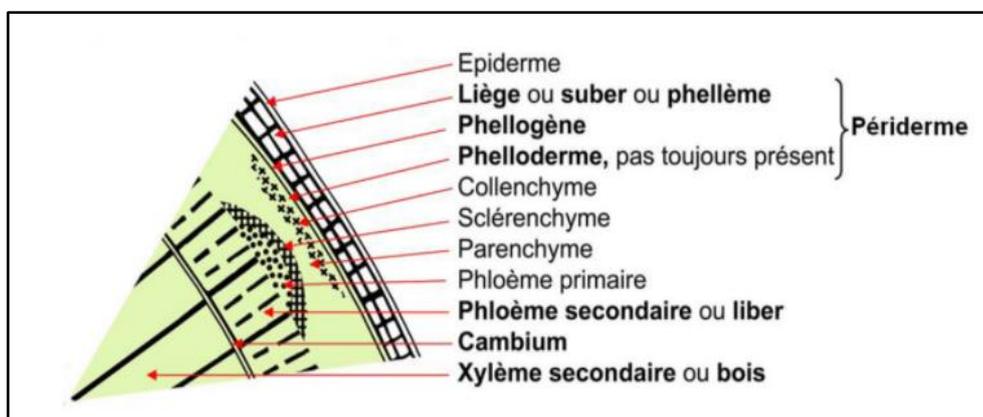
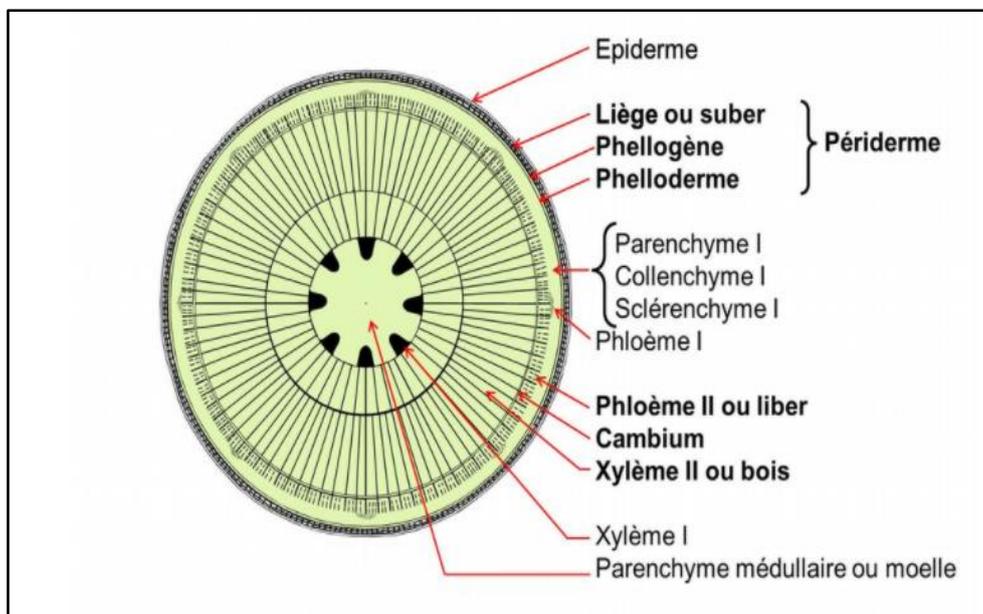
Ils proviennent du phellogène, il produit le liège = suber vers l'extérieur et le phelloderme vers l'intérieur.

- **Le suber** (ou liège) est le deuxième tissu de remplacement des cellules épidermiques ; il peut également remplacer l'assise pilifère
- **le phelloderme**, une croissance interne

L'Epiderme disparaît quand les tissus secondaires apparaissent. Il y a donc un nouveau tissu de surface = le périclerme.

Le périclerme 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 2 parties : – **une croissance externe = le liège**, – **une croissance interne = le phelloderme**.



Chapitre 3 : Anatomie des organes végétaux

L'anatomie est définie comme étant l'étude de la disposition des tissus au sein d'un organe (Racine, tige, feuille).

Les plantes possèdent deux structures : une structure primaire (méristème primaire) qui leur permet une croissance en longueur. Cette première structure est commune à toutes les plantes (ptéridophytes, et spermatophytes). Dans un deuxième temps et au sein de la première structure s'installe une structure secondaire qui permet la croissance en épaisseur de la plante.

Les méristèmes secondaires « le Cambium et le Phellogène » **sont absents chez les monocotylédones.**

Une plante possède une structure relativement simple :

- Les racines ancrent la plante au sol et permettent l'assimilation de l'eau et des nutriments nécessaires à son fonctionnement.
- Les tiges jouent le rôle de support des organes photosynthétiques.
- Les feuilles sont les usines à photosynthèse où se fait la transformation de l'énergie solaire en énergie chimique

La différence entre les plantes monocotylédones et dicotylédones

Les Angiospermes ou plantes à fleurs, les monocotylédones comprennent des végétaux dont la plantule typique ne présente qu'un seul cotylédon sur l'embryon. À cette particularité principale s'ajoutent les caractéristiques suivantes :

Tiges : pas de formation de bois secondaire et absence d'un véritable tronc ; même si certaines monocotylédones (palmiers, bananiers,...) ont un port arborescent, on ne rencontre pas dans cette classe de vrais arbres au sens strict.

Feuilles : présentant généralement des nervures parallèles.

Fleurs : fondamentalement trimères : 3 sépales, 3 pétales, 2x3 étamines, 3 carpelles

En général, les dicotylédones présentent une plantule à deux cotylédons, et on observe, au niveau des tiges et racines, la présence de cambium permettant la formation de bois et de liber, les grains de pollen ont 3 ouvertures (zones de faiblesse permettant le passage du tube pollinique), les monocotylédones ont une seule ouverture.

Les monocotylédones	Les dicotylédones
L'embryon végétal possède un seul cotylédon (= « feuille embryonnaire ») 	L'embryon végétal possède 2 cotylédons 
Les feuilles ont des nervures parallèles   	Les feuilles ont des nervures ramifiées   
Les racines ne sont pas ramifiées 	La racine principale se ramifie en plusieurs petites racines secondaires 

Anatomie de la Racine

La racine est l'organe souterrain d'une plante servant à la fixer au sol et à y puiser l'eau et les éléments nutritifs nécessaires à son développement, la racine peut aussi jouer le rôle d'organe de réserve.

La structure anatomique d'une racine

La racine présente une symétrie axiale et une structure bien définie ; une coupe transversale d'une racine jeune présente une symétrie axiale et nous permet de distinguer deux zones essentielles : **Ecorce** (Composé de rhizoderme (rh) et parenchyme cortical (Pc)) et **cylindre central** (composé de l'endoderme (En), péricycle (Pe), tissus conducteur (Xy, Ph) et parenchyme médullaire (Pm)).

Sur des coupes effectuées dans la racine, on distingue de l'extérieur vers l'intérieur plusieurs structures : (fig)

- a- Les poils absorbants** qui se trouvent sur le rhizoderme, sont les prolongements des cellules du rhizoderme. Ils permettent l'absorption de l'eau et des sels minéraux. Ils ont un diamètre de 12 à 15 micromètres et de 1 à plusieurs millimètres de long.
- b- Le parenchyme cortical** est formé de cellules jointives à la forme d'un parallélépipède, (prisme à six faces parallèles deux à deux), allongées dans le sens de l'axe de la racine.
- c- L'endoderme** est une couche de cellules qui se trouve entre l'écorce (le cortex) et la stèle (cylindre central), il constitue un anneau unistratifié (composé d'une seule assise de cellules), joue le rôle de barrière sélective qui règle le passage des substances provenant du sol vers les tissus conducteurs de la stèle. Les cellules sont en forme de parallélépipède dont les parois possèdent un épaissement formant **les bandes de Caspary**.
- d- Le péricycle** formé d'une seule assise de cellules responsable de l'apparition des racines secondaires
- e- Le cylindre central (la stèle)** situé dans le centre de la racine protégé par l'endoderme. Il est limité par le péricycle. Plus au centre, des vaisseaux du xylème, facilement reconnaissables par leur épaisse paroi. Ils alternent régulièrement et sur un seul cercle, avec les tubes criblés du phloème. Les uns et les autres représentent les tissus conducteurs de la racine. Les cellules du xylème ont des tailles différentes selon leur emplacement dans le cylindre central. Près du péricycle, elles sont jeunes et petites (protoxylème), vers le centre, elles sont grandes et âgées (métaxylème). La différenciation du xylème est centripète dans la racine. Même si ceci est moins visible, il en est de même pour le phloème (Différenciation centrifuge).

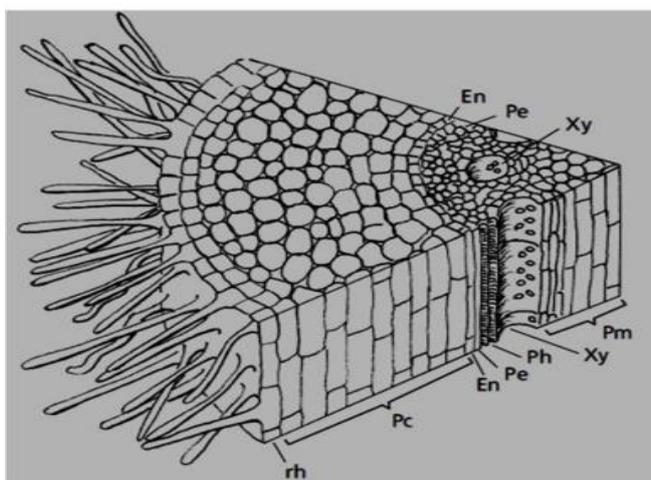


Fig. 1 : Schéma tridimensionnel d'une racine jeune

1- La structure anatomique d'une racine dicotylédone

A- structure primaire :

- Une petite stèle.
- Le parenchyme cortical sclérifié, seules les parois radiales de l'endoderme sont subérifiées (bande de Caspary) souvent moins visible que chez les monocotylédones.
- L'endoderme présente une subérolignification en forme de cadre.
- Les faisceaux criblovasculaires sont au nombre de 5 ou 6.
- La moelle est composée de xylème.
- L'apparition des formations secondaire ; Présence fréquente d'un cambium qui apparaît toujours entre Xylème primaire et Phloème primaire qui donnera les tissus conducteurs secondaires.

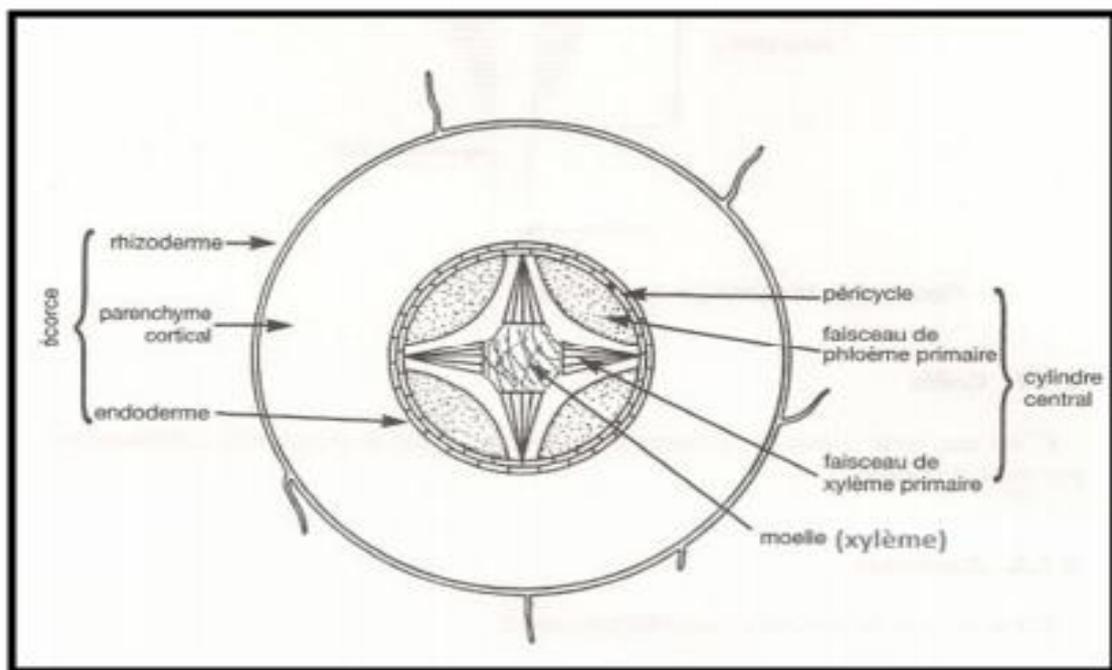


Figure 04: structure anatomique d'une racine dicotylédone primaire

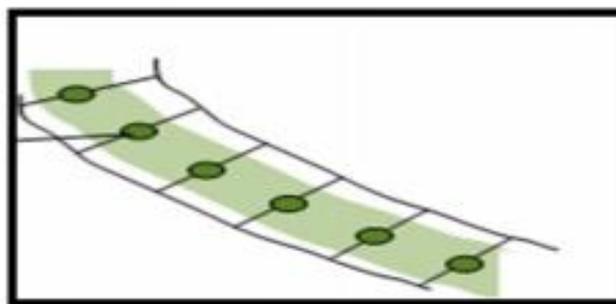


Figure 05 : Endoderme d'une racine dicotylédone

B- structure secondaire :

La structure secondaire d'une racine ne concerne que les plantes dicotylédones, elle est totalement absente chez les plantes monocotylédones.

Dans la racine des plantes dicotylédones, des cellules situées sur la face interne des faisceaux de phloème entrent en division mettent en place des arcs cambiaux discontinus. Plus tard au niveau des pôles du xylème, des cellules se différencient et construisent de nouveaux arcs cambiaux. Ceux-ci se raccordent aux massifs précédents réalisant un manchon cambial continu (cambium).

Le cambium (assise libéro-ligneuse) va créer les tissus de conduction secondaires (xylème secondaire vers l'intérieur (développement centripète) et du phloème secondaire vers l'extérieur (développement centrifuge).

L'apparition de l'**assise subéro-phellodermique (phellogène)** est toujours beaucoup plus tardive. Chez les plantes herbacées, elle est même souvent absente.

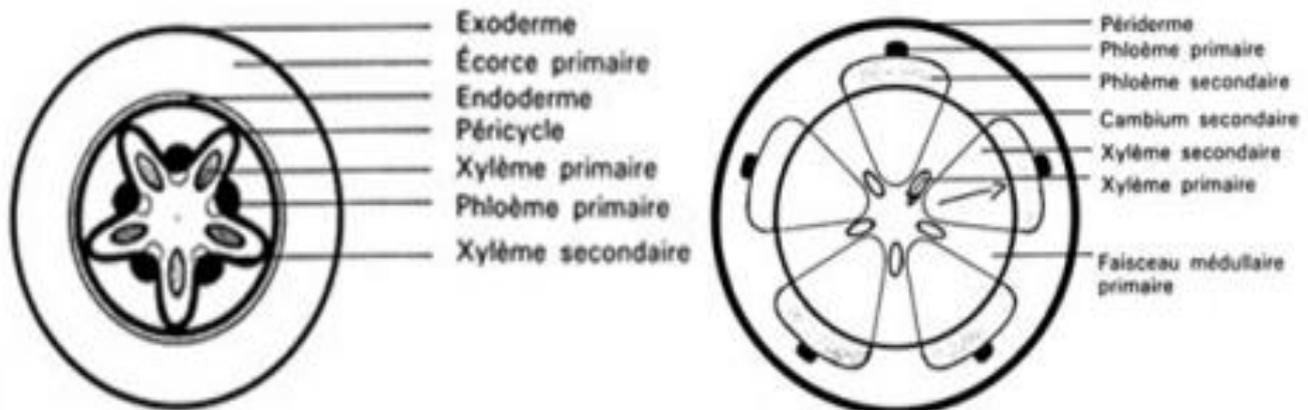


Figure 06 : l'organisation secondaire de la racine

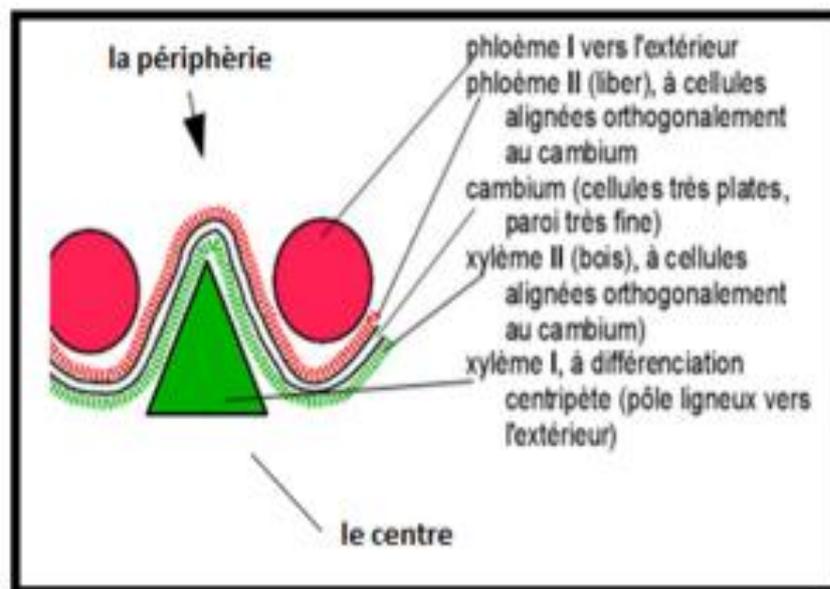


Figure 07 : L'apparition du cambium dans une racine dicotylédone

2. La structure anatomique d'une racine monocotylédone

A- structure primaire :

- La stèle des racines monocotylédones est bien plus développée que chez les racines dicotylédones,
- Le parenchyme cortical présente de grands méats entre les cellules,
- L'endoderme présente une subérolignification en forme de U. (Les cellules à Les parois des cellules sont complètement subérifiées à l'exception de la paroi externe, en face du xylème)
- Les faisceaux criblovasculaires sont plus nombreux, de 8 jusqu'à 20, entourant un parenchyme
- La moelle est composée par un parenchyme médullaire
- Absence de formation secondaire

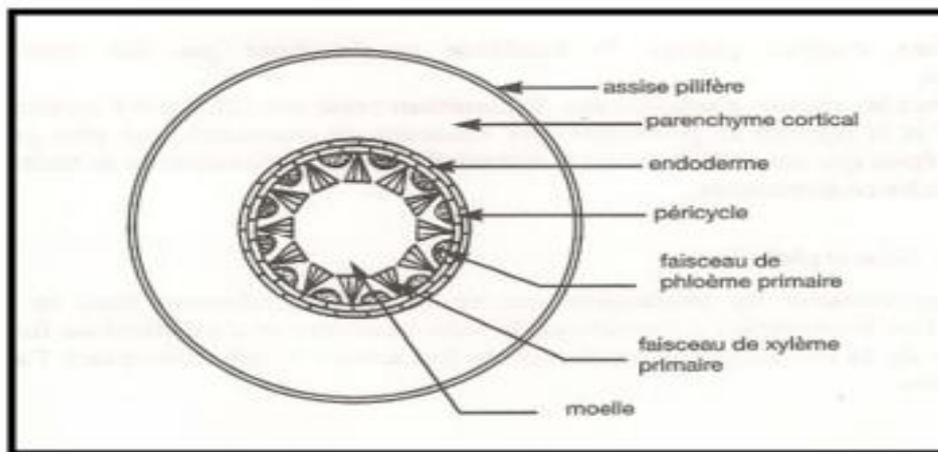


Figure 08: structure anatomique d'une racine monocotylédone primaire

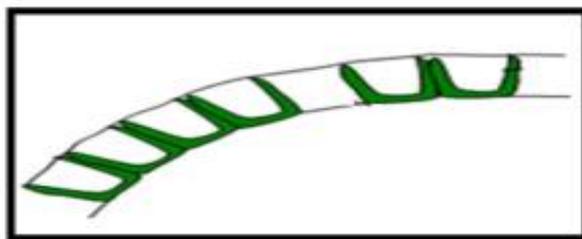


Figure 09 : l'endoderme dans une racine monocotylédone

B- structure secondaire : Chez les plantes Monocotylédone il n'existe pas de formation secondaire

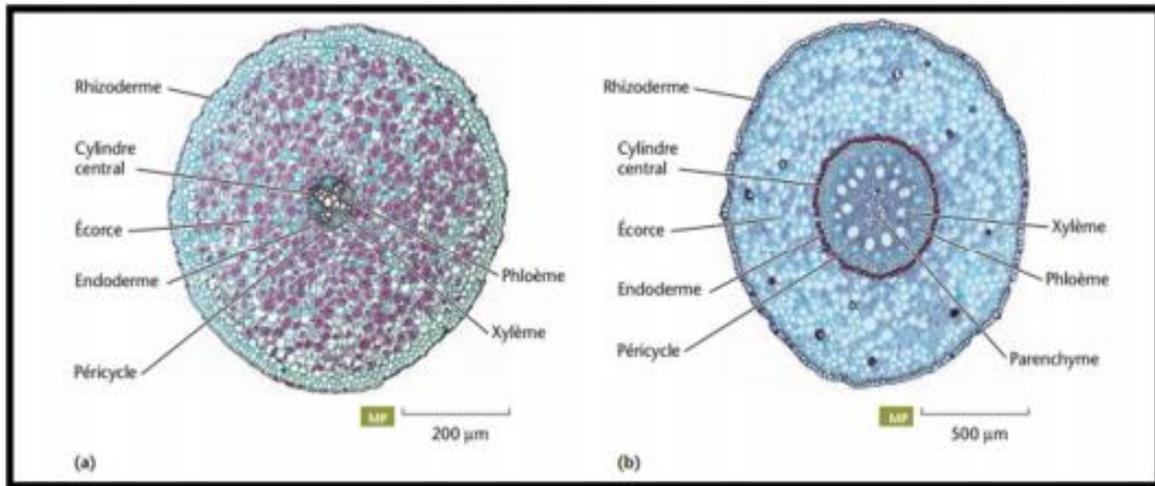


Figure 10 : la différence entre une racine dicotylédone (a) et monocotylédone (b)

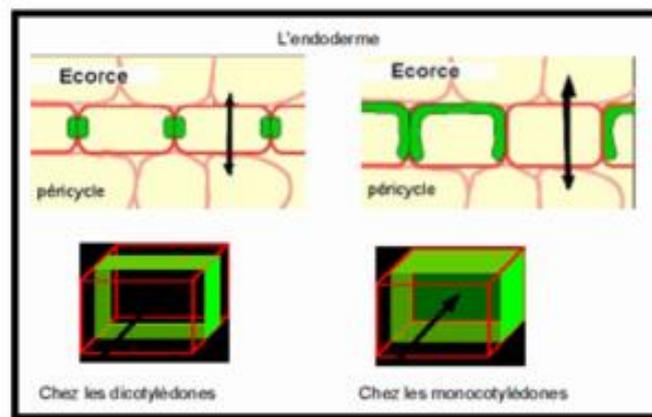


Figure 11 : l'endoderme des monocotylédones et des dicotylédones

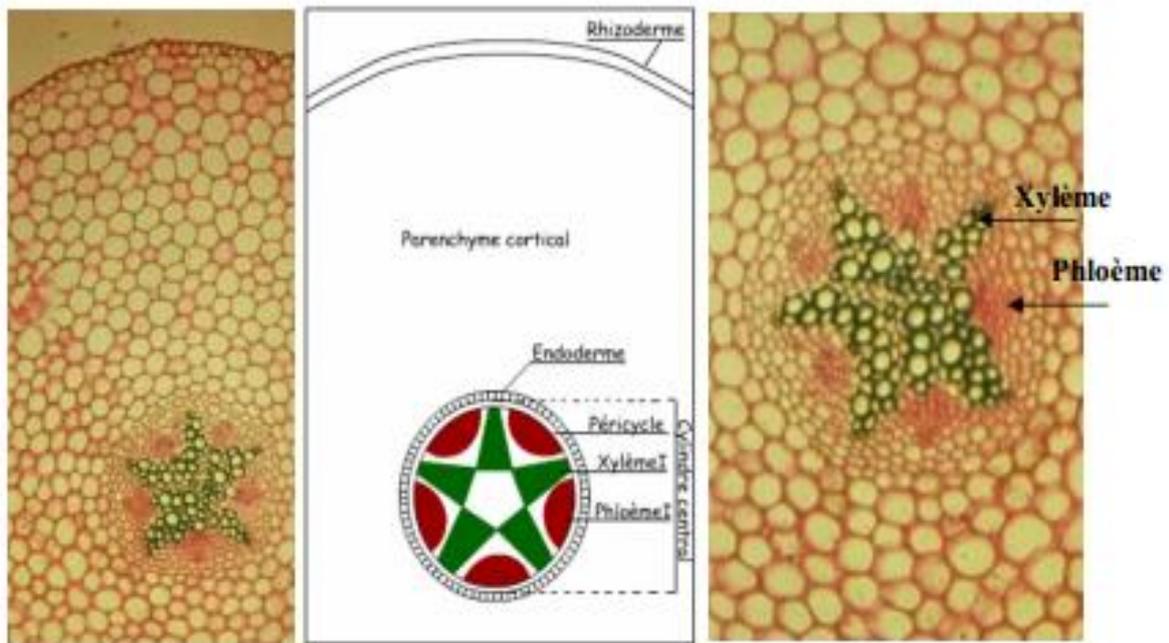


Figure 12: Structure primaire d'une racine dicotylédones, l'Héllébore

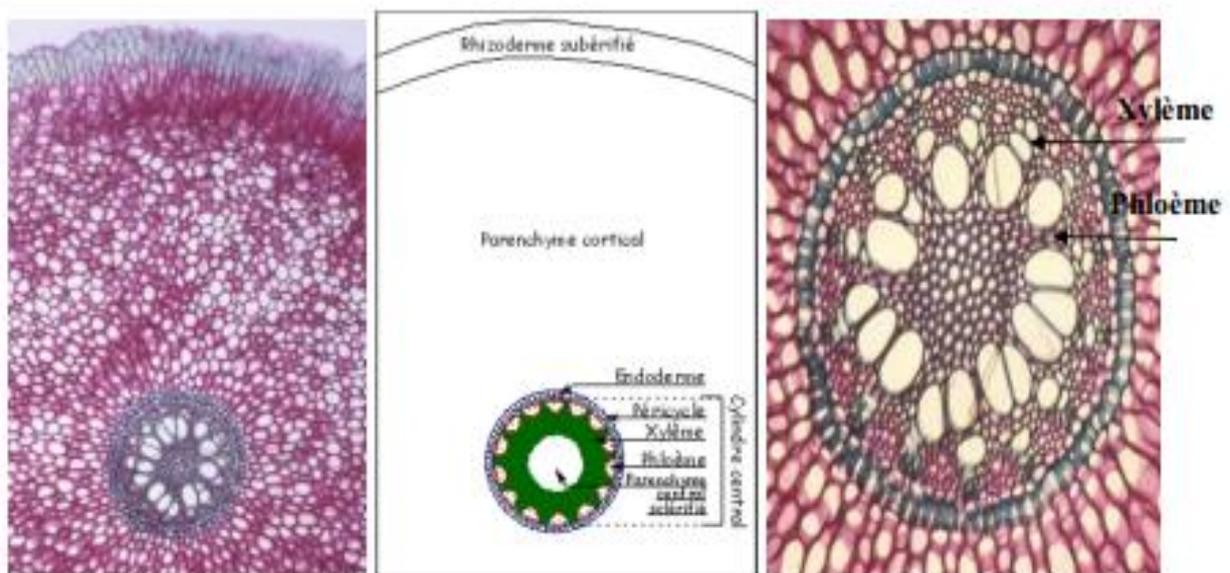
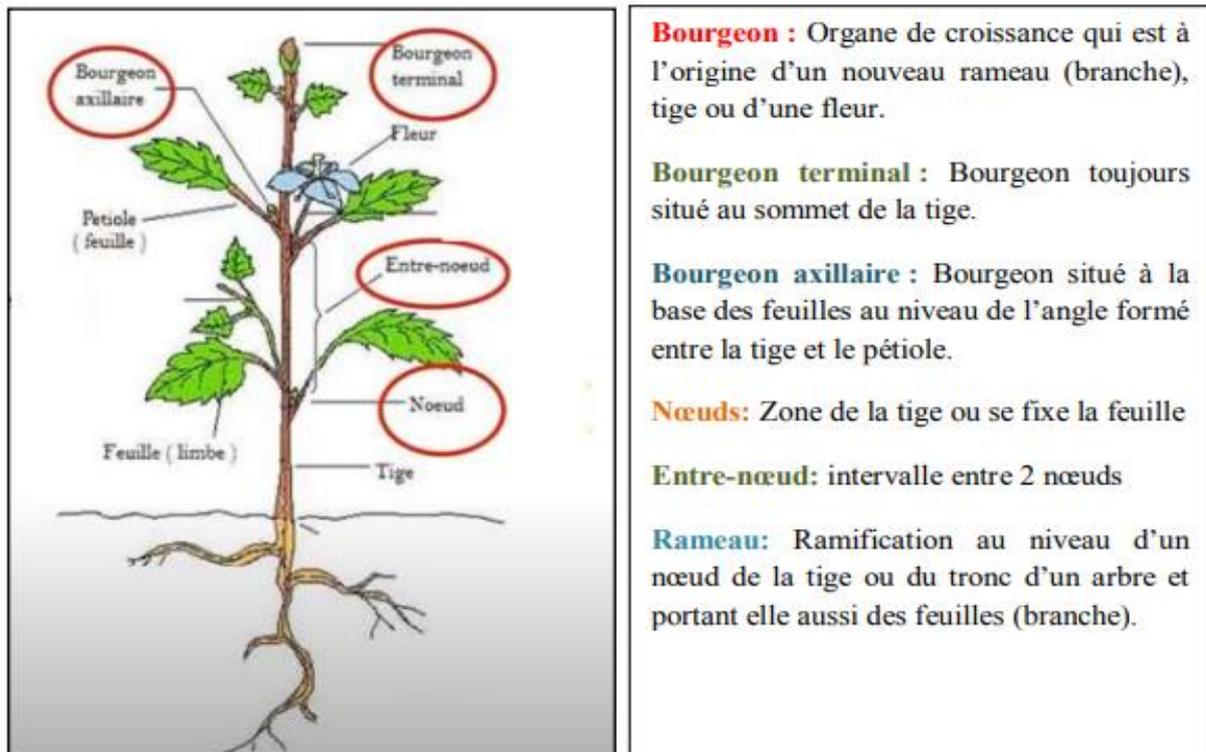


Figure 13 : Structure primaire d'une racine monocotylédone, l'Iris

Anatomie de la tige

La tige, représente généralement l'axe aérien de la plante, qui prolonge la racine et porte les bourgeons et les feuilles. La tige se ramifie généralement en branches et en rameaux (tiges secondaires) formant l'appareil caulinaire. Chez les arbres et les plantes ligneuses on distingue le tronc. La tige assure une fonction de soutien et une fonction de transport des éléments nutritifs entre les racines et les feuilles. Elle diffère de la racine par la présence de nœuds où s'insèrent les bourgeons axillaires et les feuilles ainsi que par sa structure anatomique. La transition entre racine et tige se fait dans le « collet ». La tige se compose d'une suite de nœuds et d'entre-nœuds. Elle possède généralement une forme cylindro-conique, quadrangulaire ou bien triangulaire. Son sommet est occupé par un bourgeon, qui est qualifié de terminal (apical) à cause de sa position. Sur les côtés de la tige, au niveau des nœuds, se remarquent d'autres bourgeons dits axillaires. Ces bourgeons sont destinés à assurer la ramification de la tige.



La croissance de la tige s'effectue dans le sens opposé à l'attraction terrestre (géotropisme négatif) et vers la lumière (phototropisme positif).

Fonctions de la tige

La tige d'une plante est un organe dont la fonction principale est de soutenir le système foliacé, de mener l'eau et les sels minéraux des racines aux feuilles et de transférer les nourritures produites par les feuilles aux autres parties de la plante. Ainsi on peut lui attribuer quatre fonctions principales qui sont :

- Le soutien et l'élévation des feuilles, des fleurs et des fruits. Les tiges gardent les feuilles exposées à la lumière et fournissent un lieu d'implantation de ses fleurs et fruits.
- Le transport de fluides entre les racines et les pousses dans le xylème et le phloème.
- Le stockage des éléments nutritifs (troncs, tiges souterraines).

Structure anatomique de la tige

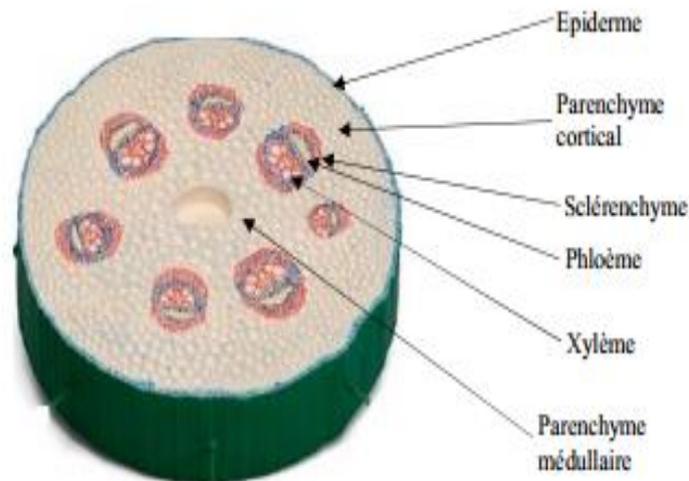


Figure 14: schéma d'une coupe transversale dans une tige

Ce qui caractérise la tige de point de vue anatomique c'est la disposition du xylème et phloème, ils n'alternent plus (comme c'est le cas de la racine) mais ils sont superposés (fig.14), le xylème est interne (qui tend vers le centre) montre une différenciation centrifuge (le protoxylème près du centre et le métaxylème près de la périphérie) le phloème est externe (qui va vers la périphérie) et on observe un parenchyme médullaire important ainsi qu'une présence de tissus de soutien.

La coupe transversale d'une tige jeune (fig.14 et fig.15) présente plusieurs zones :

- **L'épiderme**, constitué d'une couche de cellules juxtaposées. Leur paroi est peu épaisse et elles ne contiennent pas de chloroplaste. On peut rencontrer des cellules de collenchyme avant le parenchyme cortical.
- **Le parenchyme cortical**, composé de grandes cellules polyédriques. Les cellules de la périphérie renferment des chloroplastes, mais leur nombre diminue au fur et à mesure qu'on s'enfonce vers l'intérieur.
- **Les tissus conducteurs** rassemblés xylème et de phloème superposés. Le xylème, vers le centre de la tige et le phloème vers l'extérieur. Ce sont les faisceaux criblovasculaires (parfois encore appelés faisceaux libéroligneux). Les diamètres des cellules de xylème ne sont pas identiques, ils diminuent au fur et à mesure que l'on se rapproche du centre (le protoxylème à petit diamètre près du centre et le métaxylème à grand diamètre près de la périphérie. La différenciation du xylème est centrifuge dans la tige.
- On observe une **moelle** remplie par **parenchyme** formé de cellules très large.

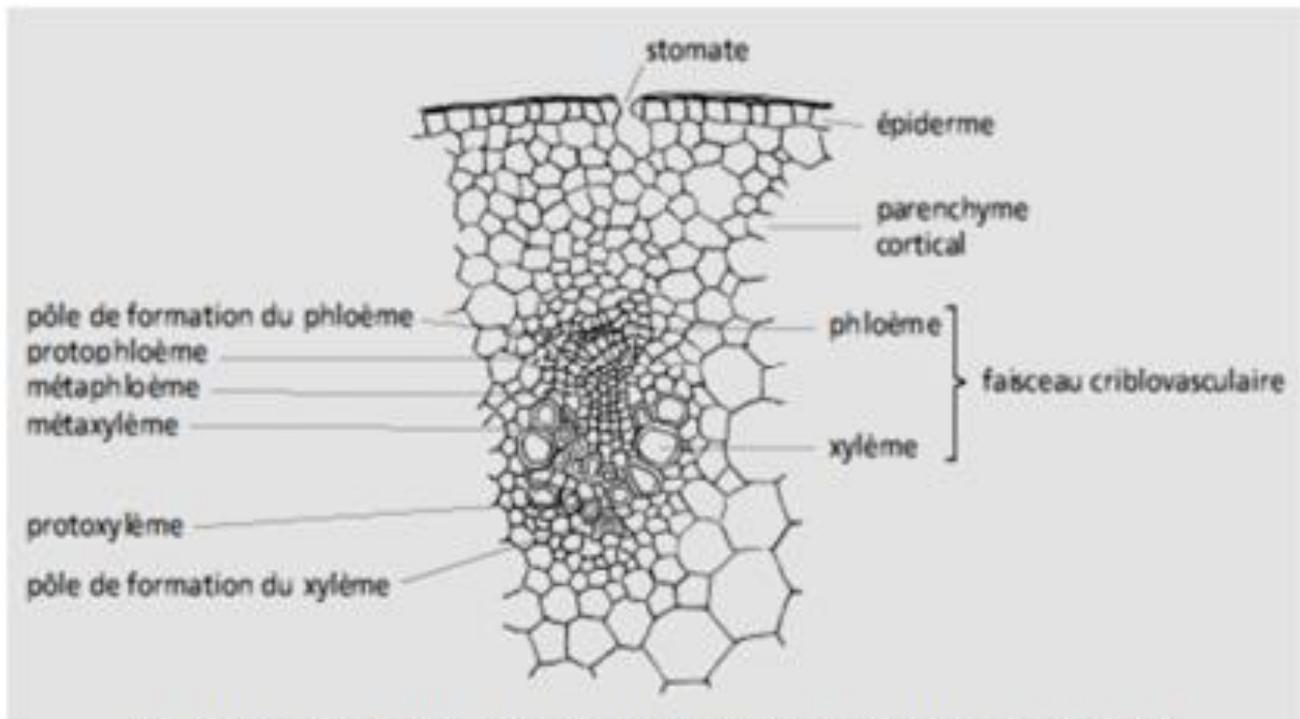


Figure 15 : schéma d'une partie d'une coupe transversale dans une tige.

1. La structure anatomique d'une tige dicotylédone

A- Structure primaire

On observe d'abord un épiderme puis on peut trouver quelques assises superficielles de collenchyme, un parenchyme cortical très réduit et un anneau de sclérenchyme continu existe dans la partie profonde de l'écorce, au-dessus du xylème se trouve le phloème et entre les deux on trouve des cellules du cambium qui seront à l'origine des structures secondaires.

- Le cylindre central comporte de nombreux faisceaux disposés sur un seul cercle chez les dicotylédones.
- Le parenchyme médullaire plus important que le parenchyme cortical, parfois il existe une lacune au centre de la tige.
- Ces observations correspondent à une tige jeune de dicotylédone. Mais très rapidement des formations secondaires vont apparaître et compliquer ces structures.

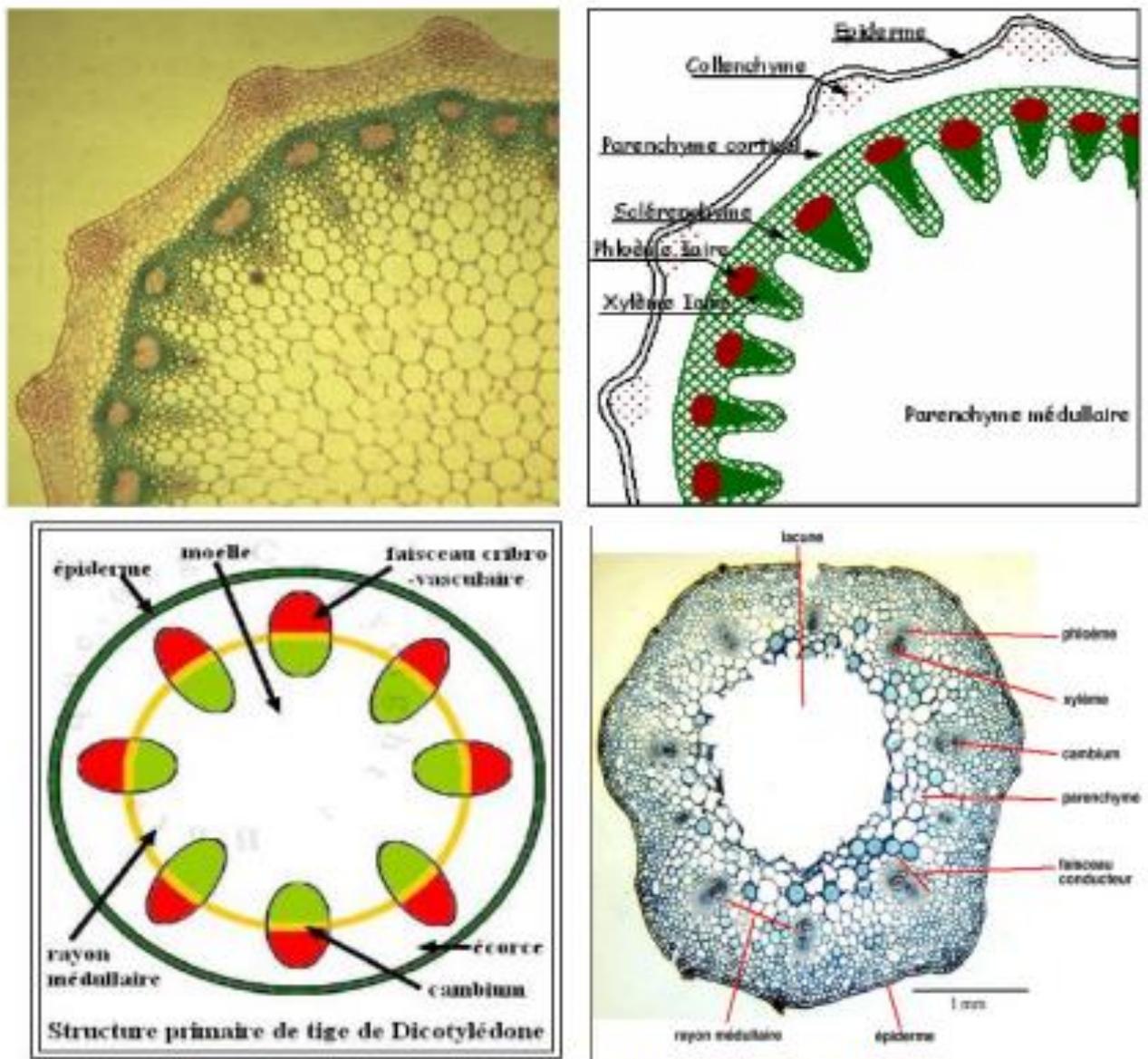


Figure 14 : Structure primaire d'une tige dicotylédone

B- Structure secondaire

Entre le phloème primaire et le xylème primaire un cambium se forme et fonctionne en donnant vers l'intérieur du xylème secondaire et vers l'extérieur du phloème secondaire, et dans l'écorce apparaît le phellogène qui va donner le suber vers l'extérieur et le phelloderme vers l'intérieur

On observe donc de l'extérieur de la tige, vers l'intérieur :

Un périderme, collenchyme, parenchyme cortical, phloème primaire, phloème secondaire, cambium, xylème secondaire, puis xylème primaire et la moelle.

Dans la tige, le cambium apparaît très tôt au niveau des faisceaux cribrovasculaires (entre le xylème et le phloème). Plus tard à la suite d'une dédifférenciation des cellules du parenchyme apparaissent des arcs de cambium interfasciculaire qui peuvent se relier avec les cellules du cambium intrafasciculaire (celui qui se trouve à l'intérieur du faisceau (entre xylème et phloème)) et constituer un manchon méristématique continu.

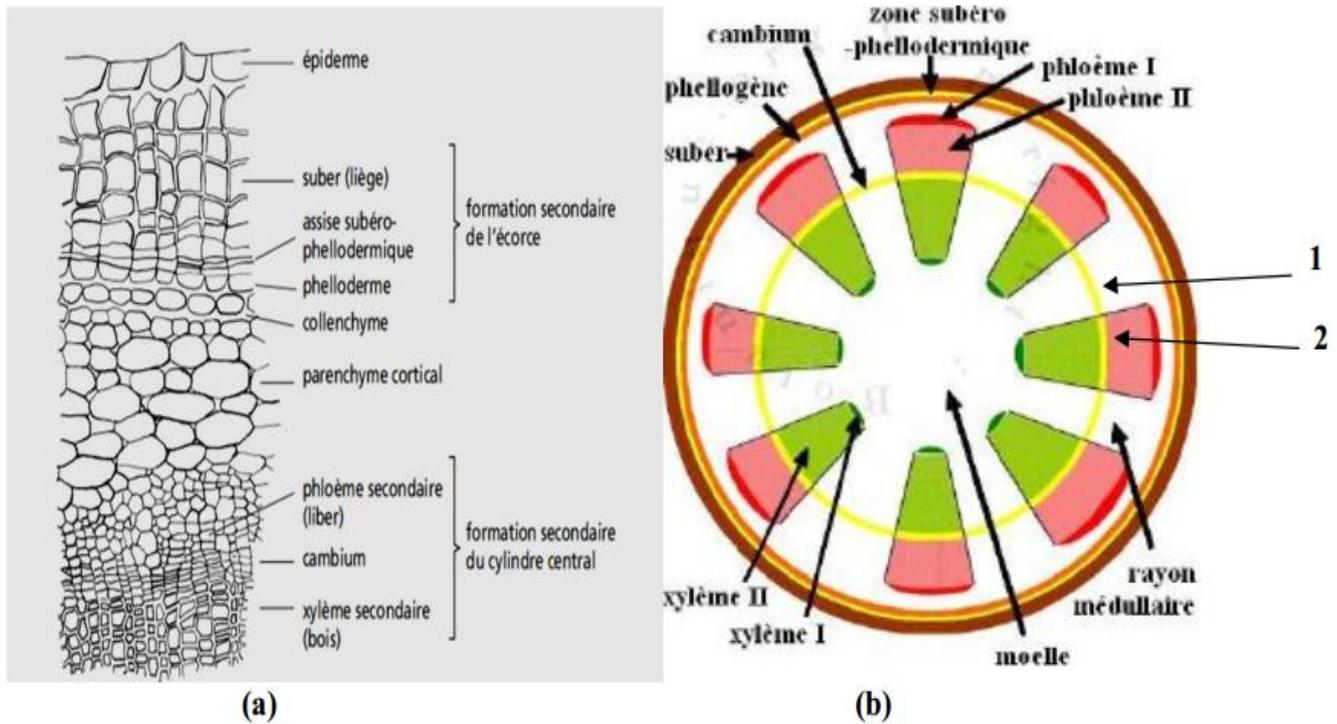


Figure 16 : schéma d'une coupe transversale de tige âgée (a) : une partie (b) coupe entière ;(1:cambium interfasciculaire 2: cambium intrafasciculaire)

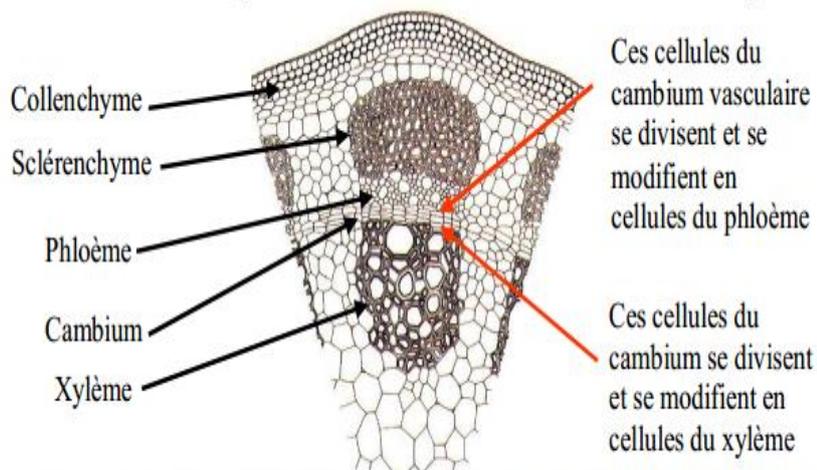


Figure 17 : Une partie d'une coupe transversale dans une tige dicotylédone

2. La structure anatomique d'une tige monocotylédone

A- Structure primaire

Chez les Monocotylédones, il n'y a pas de formations secondaires. On retrouve donc de l'extérieur vers l'intérieur :

- Un épiderme, un parenchyme cortical très réduit et la moelle est très développée et souvent lignifiée .
- **Plusieurs cercles concentriques** de faisceaux cribrovasculaires.
- Un anneau de sclérenchyme qui entoure le cercle externe des faisceaux.
- Le diamètre des faisceaux cribrovasculaires diminue en allant du centre vers la périphérie de la tige, les plus anciens sont repoussés vers le centre.
- La croissance en épaisseur chez les monocotylédones se fait par la multiplication du nombre de faisceaux conducteurs. Le centre de la tige peut être creux

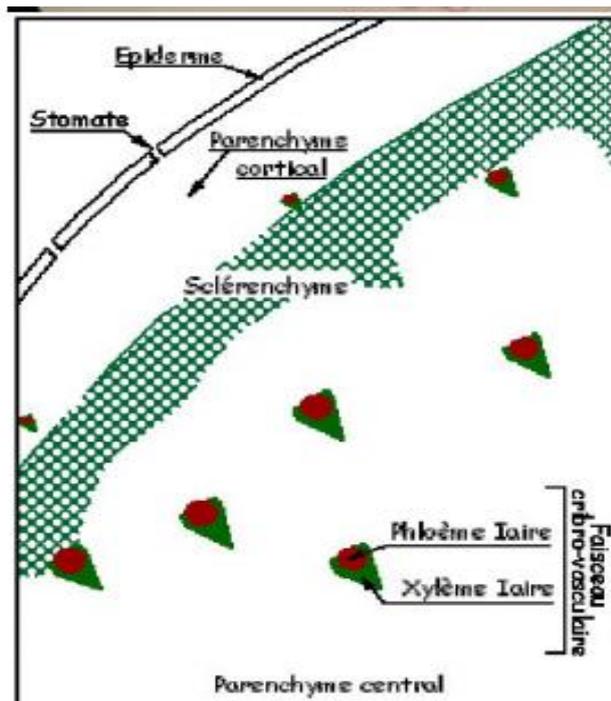
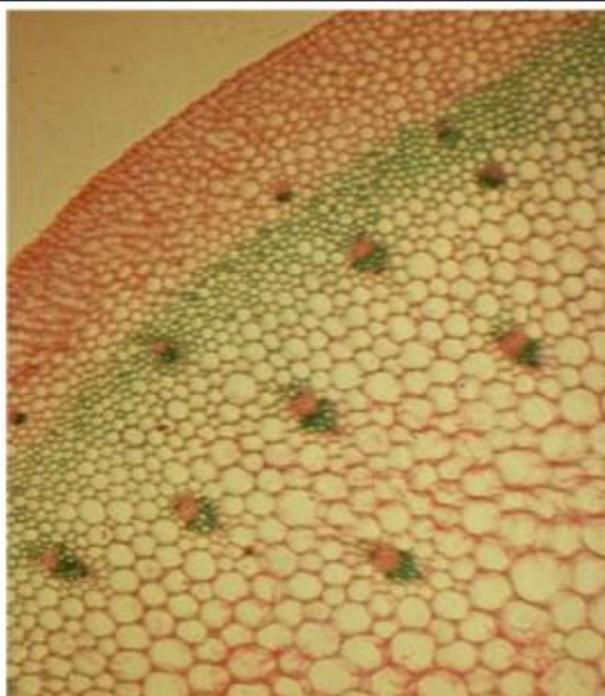
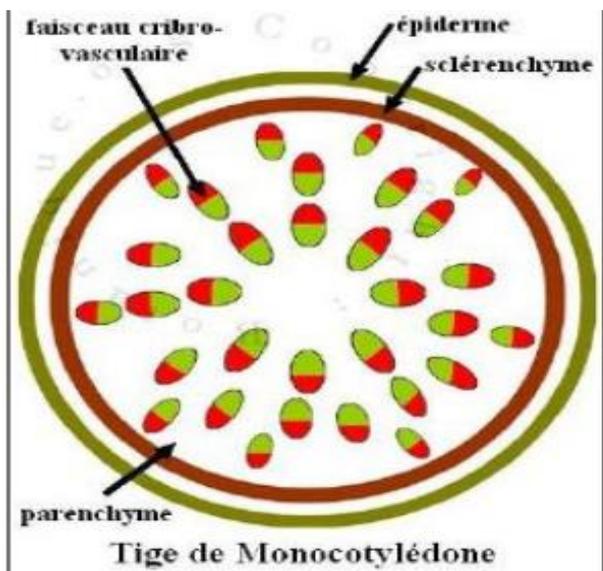


Figure 18 : Structure primaire d'une tige monocotylédone

B- Structure secondaire : Absence totale de structure secondaire chez les plantes monocotylédone

Anatomie de la feuille

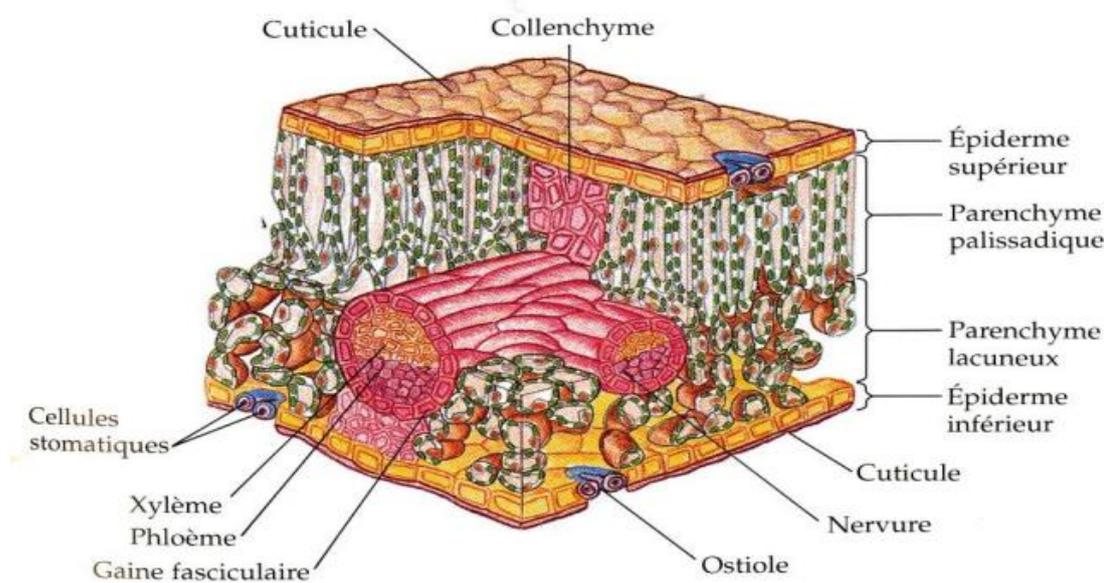
Les feuilles sont le centre de la photosynthèse. Les vaisseaux conducteurs de xylème (dans les nervures de la feuille) apportent l'eau et les sels minéraux nécessaires à la photosynthèse. Les stomates permettent l'entrée des gaz et donc l'apport du CO₂. La photosynthèse permet la synthèse de matières organiques qui seront redistribuées aux autres organes par le phloème.

La structure anatomique de la feuille

La feuille est un appendice latéral de la tige (prolongement) sur laquelle elle s'insère au niveau d'un nœud .

Elle se met en place grâce au fonctionnement du méristème caulinaire situé à l'apex d'un bourgeon.

La feuille se compose le plus souvent d'un pétiole et d'un limbe. Sa forme aplatie lui permet de capter un maximum de lumière ce qui permet la photosynthèse dans les cellules du parenchyme



Selon la figure 19, la feuille est composée de :

L'épiderme supérieur : constitue toute la face supérieure (ventrale) du limbe. Il est formé de cellules serrées les unes contre les autres et recouvertes d'une cuticule qui protège la feuille.

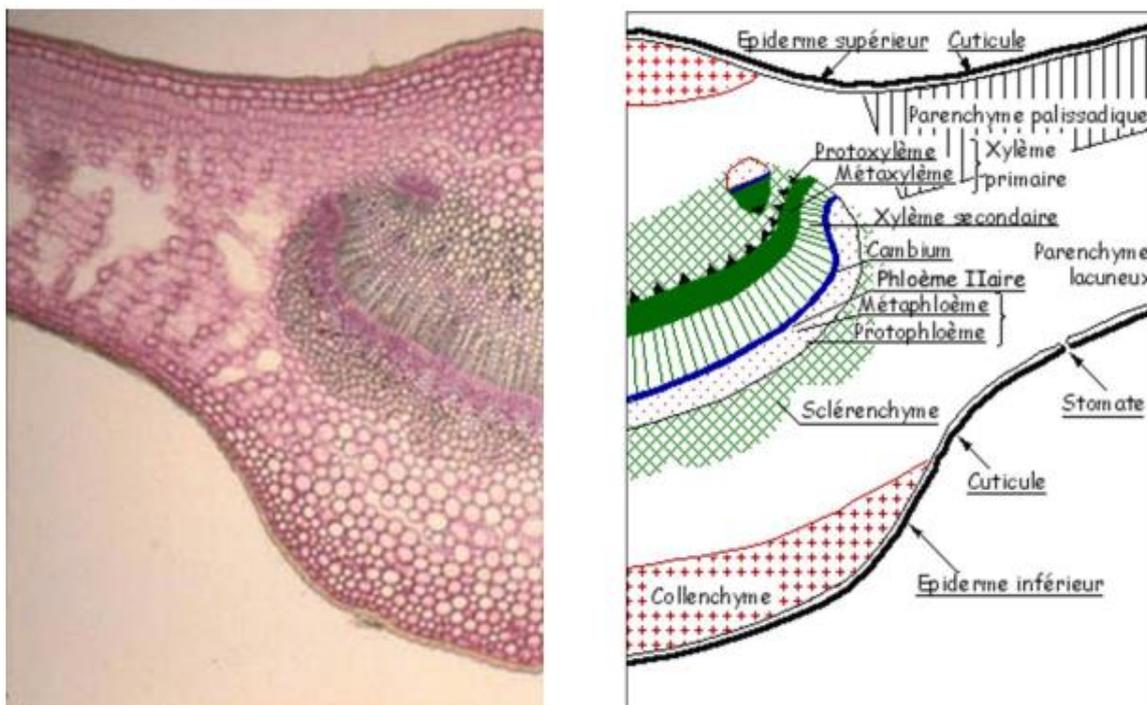
Le parenchyme palissadique : est logé sous l'épiderme supérieur. Il se compose de cellules remplies de chloroplastes.

Le parenchyme lacuneux : constitué d'une couche de cellules moins régulières, peu jointives et laissant entre elles d'importantes lacunes. Ces cellules sont pauvres en chloroplastes.

Les faisceaux criblovasculaires : ce sont les tissus conducteurs superposés, les faisceaux criblovasculaires, sont identiques à ceux observés dans la tige. Ils sont en réalité, la suite de ceux de la tige et du pétiole et correspondent aux nervures du limbe.

L'épiderme inférieur est aussi formé de cellules serrées les unes contre les autres et recouvertes d'une couche cireuse. Il est perforé de cellules stomatiques qui permettent à l'air de passer dans la feuille ou d'en sortir. **L'ostiole** est l'ouverture au centre du stomate.

1. La structure anatomique d'une feuille dicotylédone



Sur cette coupe (fig), on observe de l'extérieur vers l'intérieur :

- **2 épidermes**, l'épiderme supérieur sur la face ventrale, bordés d'une épaisse cuticule où il y a moins de stomates et l'épiderme inférieur sur la face dorsale pourvu d'une cuticule mince et riche en stomates.
- **un parenchyme dit mésophylle**, non homogène, c'est le parenchyme de la feuille, c'est un parenchyme chlorophyllien le plus souvent bifacial asymétrique. Il comprend **un parenchyme palissadique** se trouvant sur la face ventrale, riche en chloroplastes, il est situé sous l'épiderme supérieur **et le parenchyme lacuneux**, se trouvant sur la face dorsale, moins riche en chloroplastes, il contrôle les échanges gazeux entre la feuille et l'atmosphère.
- **un système vasculaire** composé de phloème I et II et de xylème I et II de part et d'autre et du cambium. La nervure principale présente des tissus de soutien, du collenchyme, près de l'épiderme, et du sclérenchyme près des vaisseaux
- Les feuilles des dicotylédones sont caractérisées par une nervation pennée (une grosse nervure centrale et des nervures secondaires qui partent obliquement)

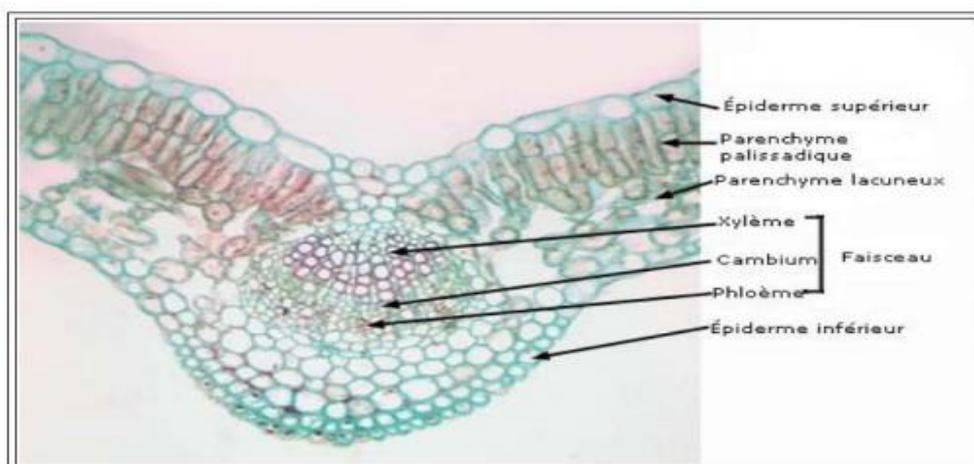


Figure 21 : Coupe transversale de la nervure principale d'un limbe de Houx

2. La structure d'une feuille monocotylédone

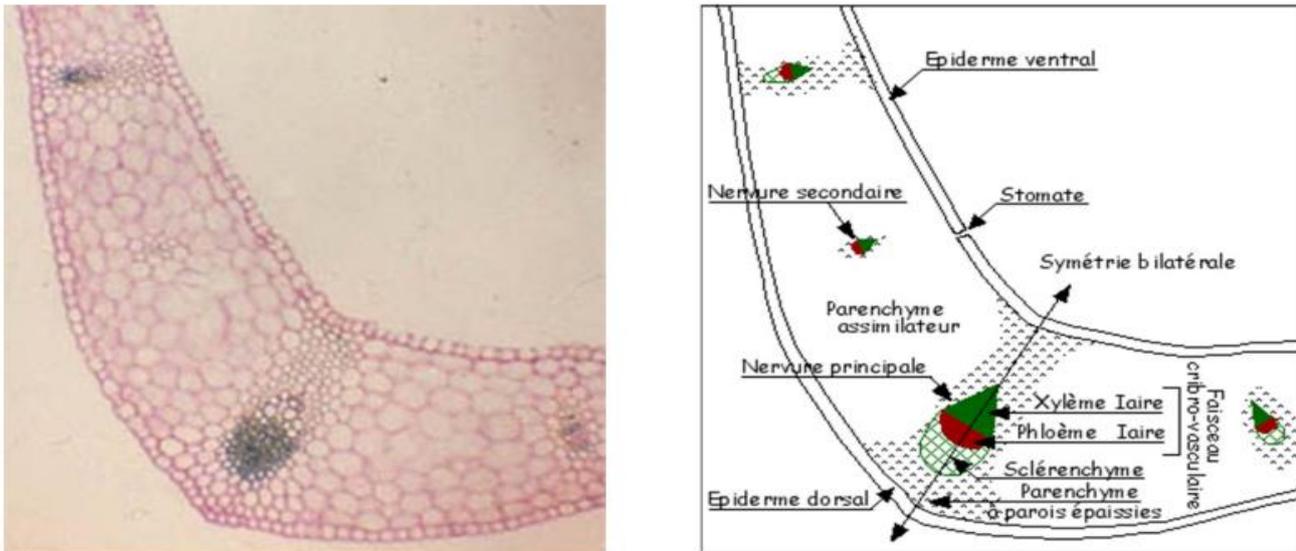


Figure 22 : Coupe transversale dans le limbe de Muguet

Sur cette coupe (fig.22), on observe de l'extérieur vers l'intérieur :

- un épiderme à la surface de l'organe (les jeunes feuilles possèdent une cuticule plus ou moins épaisse non visible sur cette coupe),
- les stomates sont répartis de façon égale sur l'épiderme de la face ventrale et dorsale,
- un parenchyme dit mésophile est homogène,
- un système vasculaire, qui correspond aux nervures, composé de xylème primaire ventral et de phloème primaire dorsal,
- un sclérenchyme protégeant les tissus conducteurs,
- Les nervures des feuilles sont parallèles, et reliées entre elles par des fines nervures transversales.

Bibliographie

<http://www.mabiologie.com/2017/08/les-tissus-secondaires.html>

<https://planet-vie.ens.fr/thematiques/vegetaux/anatomie-vegetale-et-histologie-vegetale/la-structure-secondaire-des-tiges>

<https://fac.umc.edu.dz/snv/faculte/tc/2017/cours/Cours%20de%20biologie%20v%C3%A9g%C3%A9tale%20pour%20L1%20BOUZID%20salha.pdf>