1. Racine

1.1. Introduction

La racine est, avec la tige et la feuille, l'une des composantes fondamentales des végétaux supérieurs. En botanique, la racine représente la partie souterraine et l'organe vital de la plante et le prolongement de la tige vers le bas, qui se forme très tôt dès le début de la germination, elle en diffère par plusieurs caractères : **sa structure interne**, la présence d'une coiffe terminale et de poils absorbants ainsi que par **l'absence de feuilles et de bourgeons**. Les racines **ne sont pas chlorophylliennes** (sauf certaines orchidées épiphytes) et **ne portent jamais de feuilles**, elles croissent généralement vers le bas **(géotropisme positif)** et fuient la lumière **(lucifuges)**. On peut distinguer :

- **Une racine principale** appelée **pivot** : Elle s'enfonce droit dans le sol et ses proportions sont différentes selon l'espèce et le milieu.

- **Les radicelles** : Ce sont les ramifications les plus fines qui se développent à partir des **racines secondaires** (Figure 1).

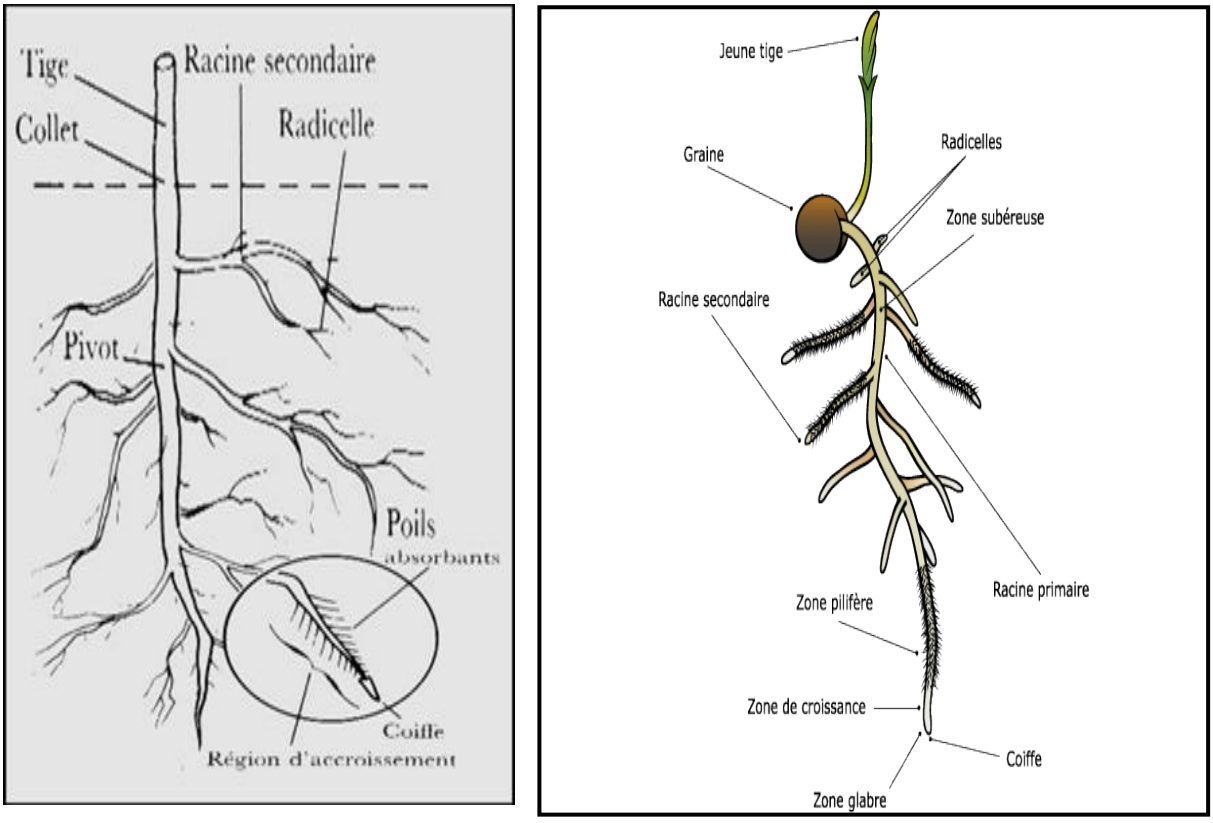


Figure 1 : Système racinaire

1.2. Fonctions de la racine

La racine a plusieurs rôles au sein de la plante, elle assure principalement la nutrition en éléments minéraux et l'ancrage du végétal sur son support. Mais on lui reconnait aussi d'autres fonctions :

- **Absorption de l'eau et des nutriments du sol**, et leur transport au reste de la plante pour sa croissance et aux feuilles pour la photosynthèse.
- **Ancrage** au sol ou sur une paroi ; selon la granulométrie du substrat, la racine se développe et se ramifie plus ou moins. Les racines ligneuses, dont le diamètre peut aller de quelques millimètres à plusieurs décimètres, se développent et se ramifient plus ou moins. L'aspect du système racinaire change généralement d'une espèce de plante à une autre, exemple un chêne a des racines développées en profondeur, alors qu'un peuplier a un système racinaire de surface. La coiffe conique appelée aussi **coiffe radiculaire**, représente la terminaison d'une racine, elle est composée de cellules **subérifiées** se renouvelant constamment, par la **sécrétion de polyosides** ce qui lui procure **un rôle lubrifiant** afin de permettre une meilleure **pénétration de la racine dans le sol**.

- **Accumulation de réserves** (tubérisation, racine pivotante) : Cette fonction a un rôle primordial dans les régions à climat saisonnier contrasté. Pendant la saison défavorable, une partie de ces réserves est utilisée **pour la respiration et l'entretien des divers tissus**. Au cours de la saison favorable, le redémarrage de la croissance est facilité par la mobilisation de ces ressources qui sont essentiellement **sous forme de glucides, de lipides (triglycérides,) et de protéines de réserve (albumines, globulines, prolamines stockées dans le phloème).**

- **Fonction de tuteur**, certains végétaux **développent des racines aériennes** (situées au-dessus de la surface du sol) qui ont pour origine des méristèmes apicaux racinaires situés dans une partie plus haute de la plante qu'habituellement. Ces racines ont une fonction de tuteur en s'ancrant dans le sol de part et d'autre de la plante et en l'empêchant de se courber.

- **Support d'associations symbiotiques** complexes avec les micro-organismes (bactéries et champignons) qui vont, par exemple, **aider à la solubilisation du phosphore, à la fixation de l'azote atmosphérique, au développement de racines secondaires** (Figure 2).



Figure 2 : Associations symbiotiques subaquatiques de bactéries filamenteuses et cyanophylacées autour d'une racine.

- **Décolmatage et création de sol** : Les molécules et enzymes sécrétés par les racines et leurs manchons symbiotiques contribuent à la formation du sol. Les racines de nombreux arbres sécrètent des acides organiques assez puissants pour ronger les pierres calcaires et en libérer le calcium et d'autres minéraux utiles pour les espèces qui produisent et exploitent **l'humus** (Figure 3).

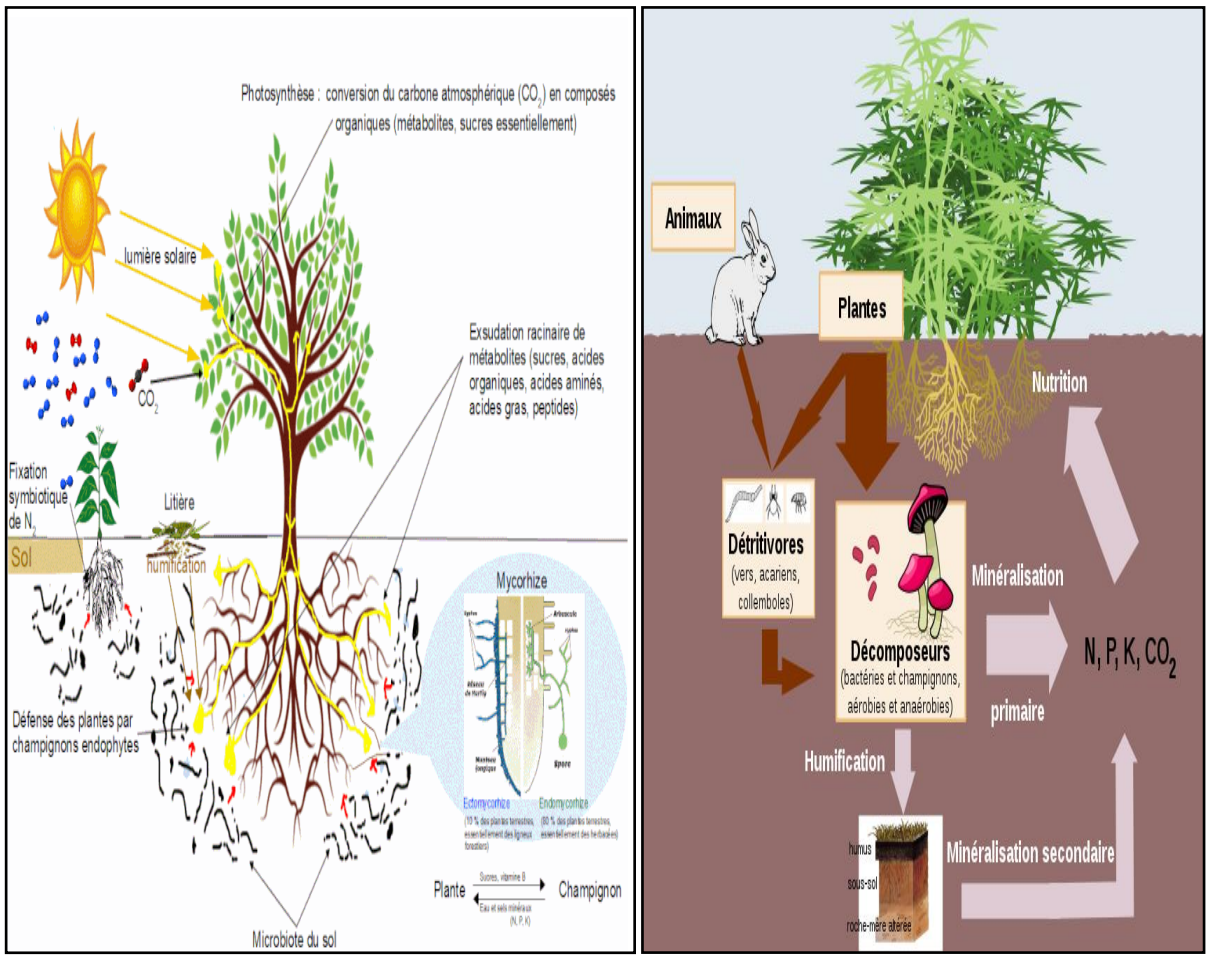


Figure 3 : Cycle de la matière organique : minéralisation et humification (formation de l'humus).

-Communication : Certaines espèces d'arbres **peuvent anastomoser leurs racines** à celles des arbres de la même espèce et ainsi mettre en commun des ressources hydriques et nutritives. Ces anastomoses peuvent aider une souche ou un arbre gravement blessé à survivre et à mieux résister à l'érosion des sols.

1.3. Structure et morphologie de la racine

La jeune racine présente, en partant de son extrémité distale les zones suivantes (Figure 6-7-8) :

1.3.1. Zone embryonnaire (ou méristématique)

La racine qu'elle soit longue ou courte, sa croissance, comme celle de la tige, commence par des divisions dans le méristème apical, situé à son extrémité distale. Au niveau du méristème on trouve un petit groupe de cellules capables de se diviser, appelées : **initiales**. Les initiales du méristème apical racinaire sont localisées dans une petite zone sphérique, d'environ 0,1 millimètre de diamètre, et se divisent très lentement, cette zone est appelée : **centre quiescent** (du mot latin *quiescere*, se reposer). Elle constitue le pôle de croissance, **protégée par une coiffe conique** qui protège le **point végétatif ou apex racinaire**. La coiffe protège les cellules du méristème apical racinaire durant la progression de la racine entre les particules solide du sol. Au fur et à mesure que la racine croît, les cellules périphériques de la coiffe sont endommagées et meurent, ce qui rend indispensable leur renouvellement par la zone d'entretien.

La zone embryonnaire est composée également **de cellules subérifiées** se renouvelant constamment, la coiffe, par la sécrétion **de polyosides**, **ayant un rôle lubrifiant afin de permettre une meilleure pénétration et progression de la racine dans le sol** (une gaine de mucilage polysaccharidique).Toutes les cellules des plantes possèdent l'information génétique permettant de sécréter le mucilage, mais **seules les cellules externes de la coiffe expriment cette capacité**.

Toujours au niveau de la coiffe, des cellules spécifiques, **les statocytes**, sont impliquées dans la perception de la gravité grâce à leurs statolithes (organites spécifiques des cellules végétales). Ce sont des amyloplastes spécialisés impliqués dans la perception de la gravité chez les plantes.

Au-dessous du centre quiescent, la **zone d'entretien de la coiffe** est constituée de cellules aplaties, au cycle cellulaire très court, qui sont à l'origine de l'ensemble de la coiffe.

Au-dessus du centre quiescent, le **méristème apical** est constitué de cellules se divisant très fréquemment et dont les dérivées sont à l'origine du **protoderme**, **du méristème fondamental et du procambium**.

Les mitoses qui ont lieu dans ces trois zones produisent des cellules qui se différencieront en tissus. **Le protoderme, qui donne naissance au rhizoderme**, se développe à partir des cellules externes du méristème apical. **Le méristème fondamental, qui produit les tissus fondamentaux**, est localisé au-dessous du protoderme. **Le procambium, à l'origine des tissus conducteurs primaires**, est interne par rapport au méristème fondamental.

1.3.2. Zone d'allongement ou d'élongation

La zone d'allongement est limitée à quelques millimètres, suivie par une **zone pilifère**. Elle correspond à l'endroit où les cellules ne se divisent plus et commencent à s'allonger. **Cette zone et la précédente se chevauchent légèrement** car certaines cellules sont encore en train de se diviser alors que d'autres ont cessé et commencent à s'allonger. La zone d'élongation est l'endroit où s'effectue la majeure partie de la croissance racinaire, permettant à la racine de s'enfoncer plus profondément dans le sol.

La zone d'élongation recouvre un peu la **zone de différenciation** où les cellules commencent à se spécialiser en différentes catégories cellulaires, comme les cellules du rhizoderme ou les cellules conductrices. Les cellules du méristème deviennent environ 10 fois plus longues et permettent à la racine de s'enfoncer dans le sol.

1.3.3. Zone pilifère (ou assise pilifère)

C'est au niveau de la zone pilifère qu'on note la présence de nombreux poils qui permettent d'augmenter considérablement la surface d'absorption de la racine. Ces poils racinaires sont très nombreux, leur densité peut atteindre **400 par cm^2**. Ils développent une surface de contact pouvant être plusieurs dizaines de fois supérieure à celle des feuilles. Ceci a un effet avantageux pour la plante, puisque c'est à leur niveau que se fait l'absorption de l'eau et des sels minéraux.

Les poils absorbants **meurent très vite et sont remplacés par d'autres au fur et à mesure de la croissance de la racine**, ce qui fait que **la zone pilifère est globalement toujours de la même taille (Figure 4 -5).**

C'est aussi au niveau de cette zone que les ramifications apparaissent (racines secondaires) ayant les mêmes caractéristiques que la racine principale. Ces ramifications sont fréquemment absentes chez les plantes aquatiques et les plantes épiphytes, mais on ne peut pas considérer

que le milieu aquatique entraîne leur disparition, car certains Poaceae cultivées sur l'eau forment de longs poils. D'autre part, les racines aériennes et chlorophylliennes d'Orchidaceae épiphytes de la forêt tropicale en sont dépourvues, mais présentent à leur place un **manchon** de cellules mortes, ou voile, permettant l'absorption de l'humidité atmosphérique.

RQ : La surface développée par le système racinaire, sans les poils absorbants, est toujours supérieure de 10 à 35% à celle de l'ensemble de l'appareil aérien.

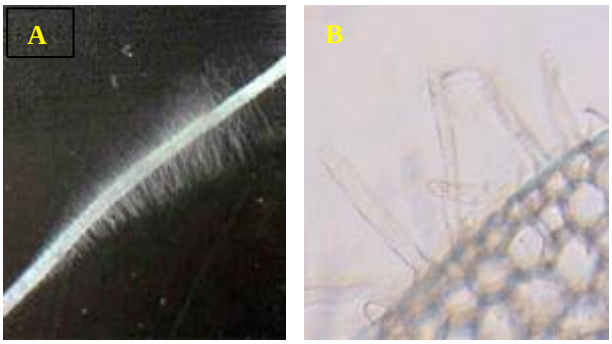


Figure 4 : A/ Aspect global d'une zone pilifère dans une radicelle de *Raphanus ;* **B/** coupe transversale de l'épiderme d'une racine, ou l'on voit que certaines cellules de l'épiderme présentent un prolongement qui constitue le poil absorbant.

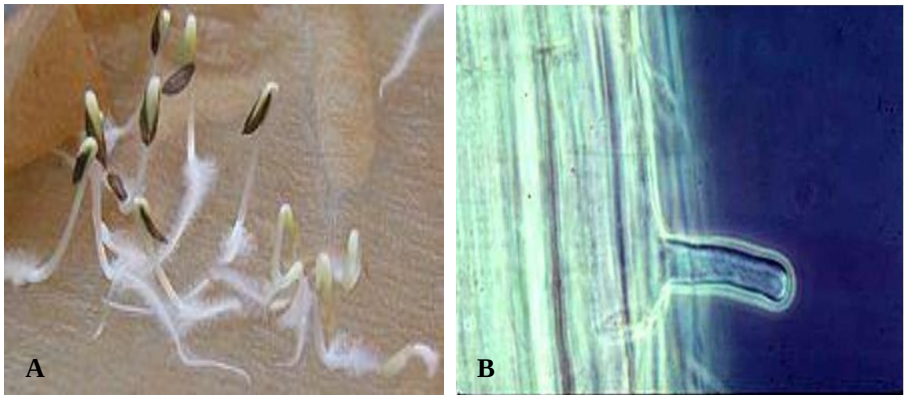


Figure 5 : A/ Poils absorbants sur des racines de graines germées de laitue ;
B/ poils absorbants de la racine, produit dans la zone pilifère

1.3.4. Zone subéreuse (ou assise subéreuse)

La zone subéreuse est une couche de **cellules enrichies en subérine**. Elle représente **la partie la plus âgée de la racine qui porte les racines secondaires ou radicelles** ; Elle est surtout présente chez les végétaux âgés. La racine est épaisse et entourée de suber hydrophobe, ce qui empêche l'absorption de l'eau à son niveau.

La zone subéreuse représente la partie la plus importante en longueur et en masse; à son niveau se forment toutes les ramifications du système radiculaire dont les radicelles qui constituent les dernières ramifications.

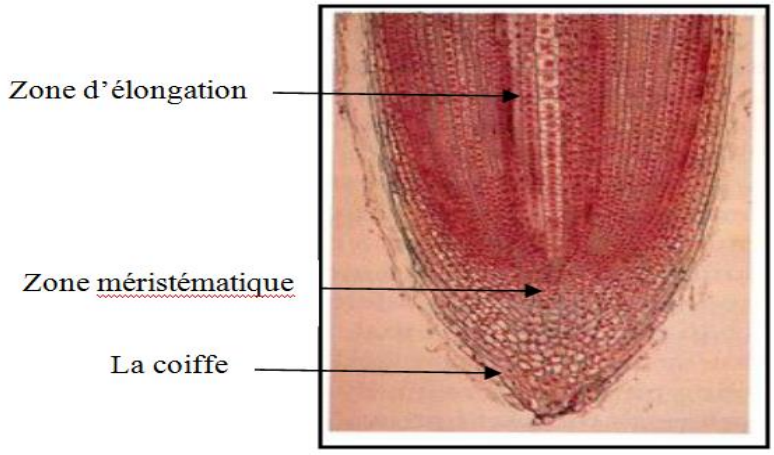


Figure 6 : Méristème racinaire

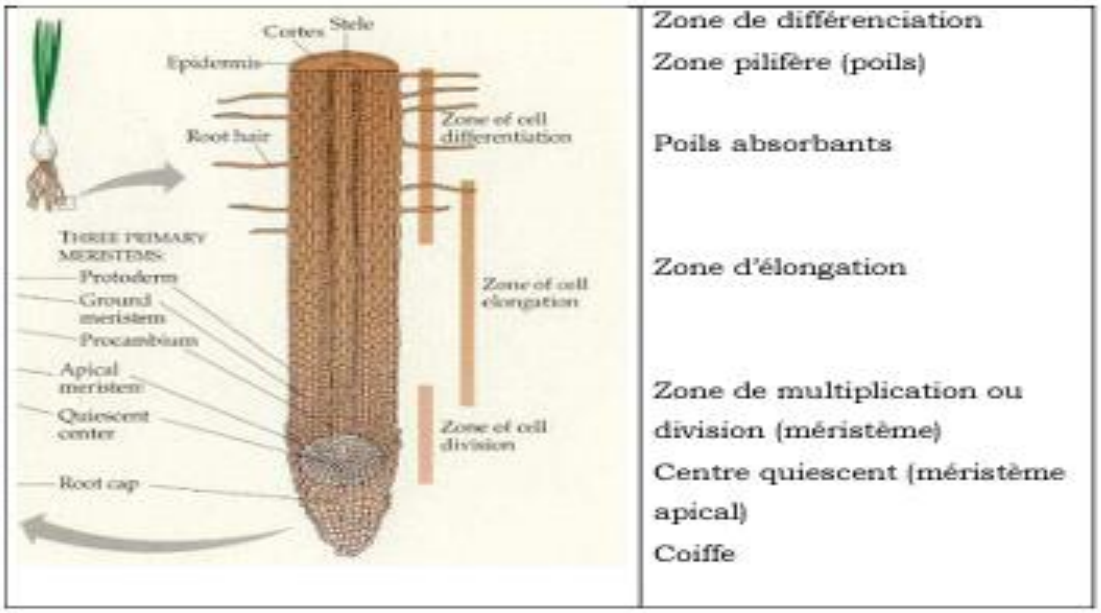


Figure 7 : Différentes zones au niveau de la racine

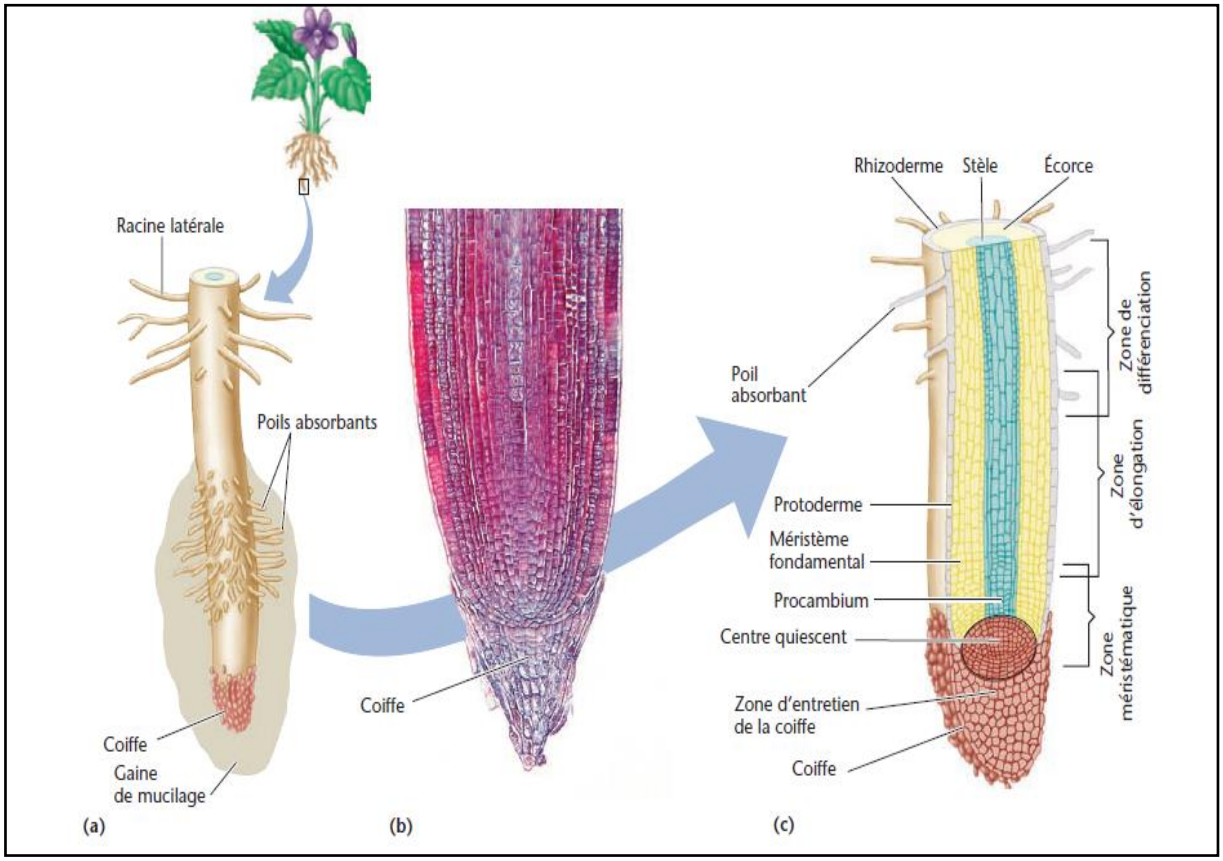


Figure 8 : Méristème apical racinaire (a) extrémité d'une racine, (b) coupe longitudinale de l'extrémité d'une racine observée au microscope optique (c) le méristème apical racinaire avec les principales zones.

Les **racines secondaires** prennent naissance dans le péricycle situé autour du faisceau conducteur et croissent vers l'extérieur en traversant l'écorce puis le rhizoderme, elles permettent d'accroître la surface d'absorption racinaire. Si la racine principale est dotée de géotropisme positif, c'est à dire qu'elle se forme de haut en bas, les racines secondaires font avec elle un angle sensiblement constant pour une espèce donnée. En revanche, les racines d'ordres supérieurs ne sont pas orientées par rapport à la verticale, mais relativement à celle qui les porte. Leur morphologie est comparable à celle de la racine principale. Les plus fines racines secondaires sont appelées : **les radicelles,** c'est à leur niveau que l'absorption est la plus élevée. Les racines fines représentent moins de 10 % de la masse totale d'un arbre mais forment un chevelu racinaire (appelé aussi tapis racinaire) (Figure 9).

Enfin, La région qui sépare la racine de la tige porte le nom de **collet**.



Figure 9 : Formation d'une racine latérale.

1.4. Structure anatomique de la racine

La stèle, par définition de nature primaire, reste parfaitement visible, ainsi que les tissus primaires propres à la jeune racine : endoderme, péricycle et rhizoderme pouvant être doublé de l'exoderme. Tout cet ensemble reste parfaitement observable dans les racines jeunes chez tous les groupes.

Ainsi dans une coupe transversale d'une racine jeune, on note une symétrie axiale qui nous permet de distinguer deux zones concentriques: **écorce (cortex)** et **cylindre central (stèle)** dont l'écorce est légèrement supérieure au cylindre central (Figure 10-11).

1.4.1. Ecorce

1.4.1.1. Rhizoderme (assise pilifère)

L'assise pilifère porte d'abord les poils absorbants (prolongement des cellules rhizodermiques) de la racine qui 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.

1.4.1.2. Parenchyme cortical

Il est formé de cellules laissant entre elles d'importants méats. Le parenchyme cortical, assure le transport des éléments absorbés jusqu'au centre de la racine pour leur transport à travers toute la plante.

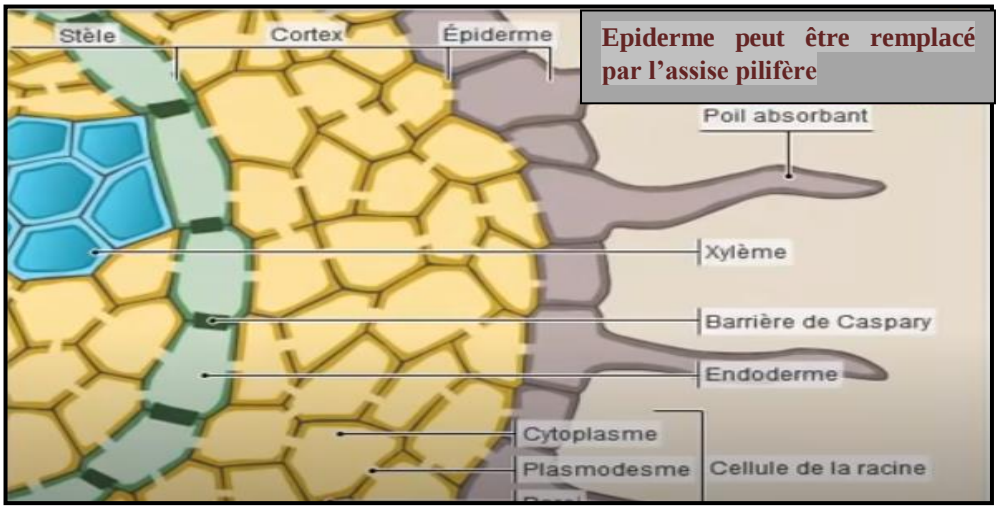


Figure 10 : Structure anatomique d'une racine

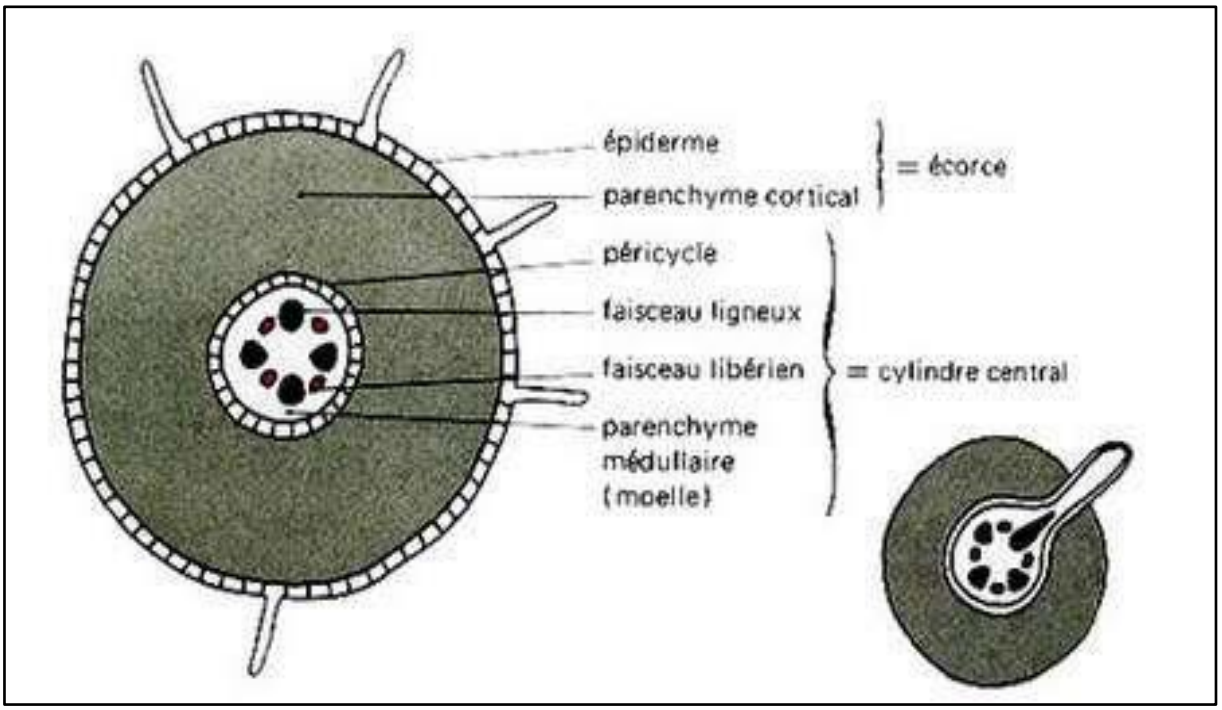


Figure 11 : Schéma descriptif d'une racine en coupe

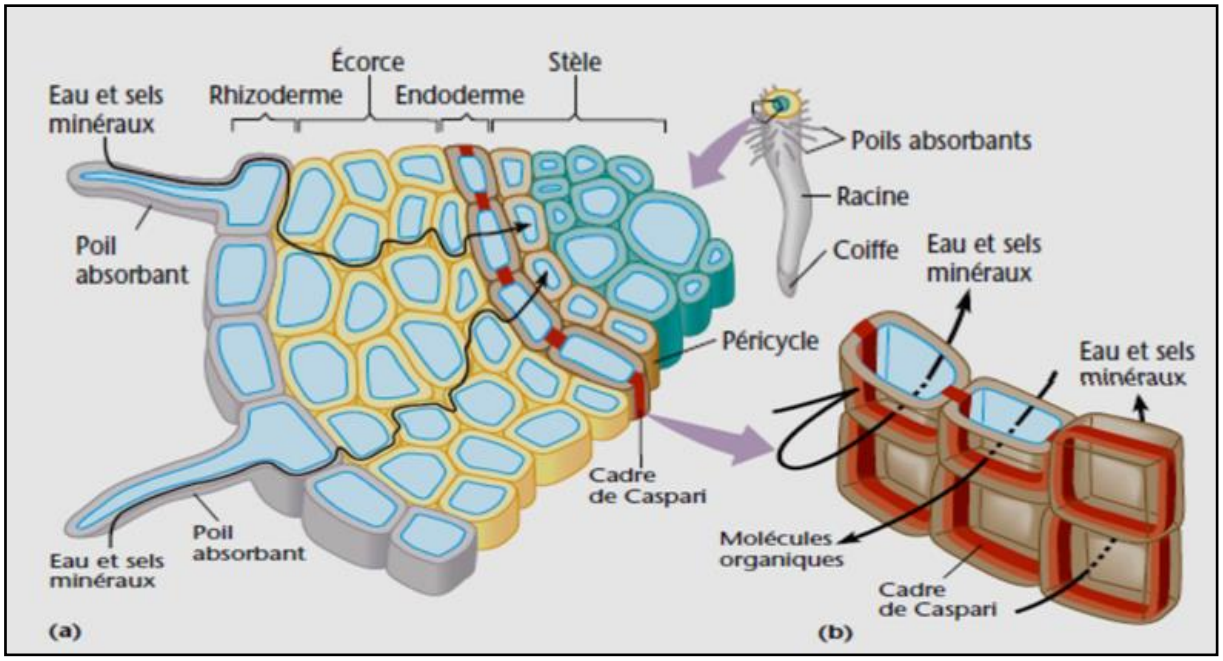
1.4.2. Cylindre central (Stèle)

Le cylindre central d'une racine est entouré par l'écorce, est connu sous le nom de **stèle** (du grec *stêle,* **pilier ou colonne**). La plupart des racines présentent le type de stèle le plus simple et le premier observé au cours de l'évolution, appelé : **protostèle** (du grec *proto,* avant). Dans toutes les protostèles, les tissus conducteurs forment un cylindre central entouré par l'écorce, mais la disposition de ces tissus conducteurs peut varier. La stèle est constituée par les parties suivantes :

1.4.2.1. Endoderme

C'est une couche de cellules qui se trouve entre l'écorce (le cortex) et la stèle (cylindre central) dont **la fonction est de réguler le flux de substances entre l'écorce et les tissus conducteurs**. L'endoderme est l'assise la plus interne de l'écorce et constitue une seule assise formée de cellules étroitement jointives de forme parallélépipède entourant le péricycle (un anneau unistratifié). Les parois tangentielles externes et internes de ces cellules sont cellulosiques, tandis que les autres possèdent **une bande imprégnée de subérine**, **voire de lignine appelée : cadre de Caspari**, **totalement imperméable**. Ainsi, le cadre de Caspari oblige l'eau et les sels minéraux qui, jusqu'alors se déplaçaient par **l'apoplaste**, à traverser la membrane plasmique et à se déplacer au sein du cytoplasme des cellules endodermiques **symplaste**. Ainsi, les parois des cellules endodermiques contrôlent les éléments minéraux qui se déplacent dans le sens radial, de l'écorce vers les tissus conducteurs.

Lorsque la racine est jeune en pleine croissance, les premières cellules endodermiques, avec leur cadre de Caspari, peuvent être observées dans la zone des poils absorbants où l'absorption de l'eau et des sels minéraux est importante (Figure 12).



(a) L'eau et les sels minéraux peuvent progresser entre les cellules du rhizoderme et de l'écorce mais ils doivent passer à l'intérieur des cellules de l'endoderme à cause de la présence du cadre de Caspari. (**b**) Le cadre de Caspari oblige l'eau et les minéraux dissous provenant du sol à progresser dans les cellules de l'endoderme au lieu de passer entre elles.

Figure 12 : Endoderme

1.4.2.2. Péricycle

Le **péricycle** correspond à l'assise la plus externe du cylindre central. Il est formé de cellules qui, après dédifférenciation, donnent des racines latérales. Il est formé d'une seule assise de cellules jointives à paroi mince, à partir de laquelle vont se former les ramifications de la racine et l'apparition des racines secondaires (origine profonde). Elles doivent traverser l'écorce et le rhizoderme avant d'émerger à l'extérieur.

1.4.2.3. Tissus conducteurs

Plus au centre, viennent les deux tissus conducteurs le **xylème** et le **phloème**, facilement reconnaissables par leur épaisse paroi. Ils **s'alternent** régulièrement **sur un seul cercle**, et assurent la circulation de **la sève brute (xylème ou bois)** vers les feuilles et **la sève élaborée (phloème ou liber)** dans toute la plante. 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** (différenciation repoussée vers le centre de la racine).

Le xylème et le phloème de chaque racine latérale sont en continuité avec les tissus conducteurs de la racine d'origine et ont la même organisation anatomique (Figure 13).

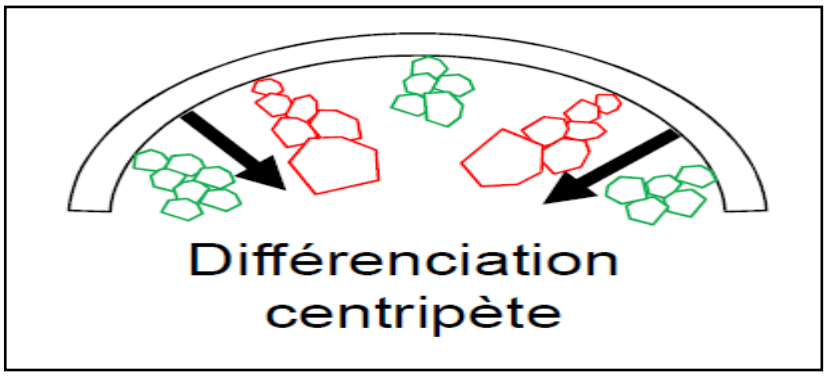


Figure 13 : Différenciation centripète du xylème

1.4.2.4. Moelle

La moelle est située au centre de la racine, elle est composée de parenchyme médullaire et n'a pas de fonction particulière, si ce n'est, un rôle de réserve. Dans les racines de la plupart des monocotylédones, la stèle possède un parenchyme central, entouré par un anneau de xylème puis un anneau de phloème.

RQ : Même si cette zone est appelée **moelle** à cause de sa localisation, elle ne fait pas partie des tissus fondamentaux. Elle est mise en place par le procambium et non par le méristème fondamental (Figure 14). Certains chercheurs (les paléobotanistes) supposent que, chez les monocotylédones, le tissu occupant le centre de la stèle demeure du parenchyme, sans jamais se transformer en tissu conducteur.

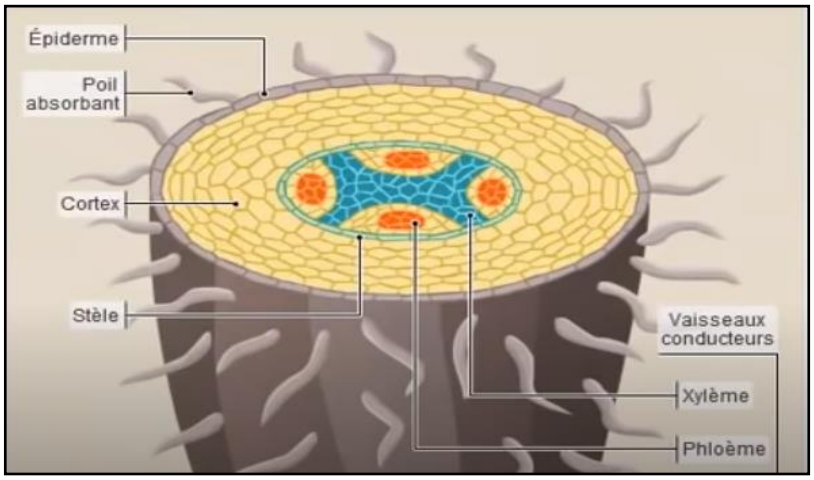


Figure 14: Structure anatomique d'une racine

1.5. Structure anatomique d'une racine dicotylédone

1.5.1. Structure primaire

La structure anatomique d'une racine dicotylédone, présente les particularités suivantes :

- **Une stèle réduite de taille petite.**

- **Le parenchyme cortical est sclérifié**, mais seules les parois radiales de l'endoderme sont subérifiées (bande de Caspary **imprégnée de subérine**, **voire de lignine,** totalement imperméable) souvent moins visible que chez les monocotylédones.

- **L'endoderme** présente une subérolignification **en forme de cadre.**

- **Les faisceaux criblovasculaires, s'alternent régulièrement sur un seul cercle** et sont au nombre **de 5 ou 6.**

- La **moelle** est composée de **xylème.**

- **Le développement des formations secondaires**; le cambium (assise libéro-ligneuse) va créer les tissus de conduction secondaire. (Figure 15 - 16)

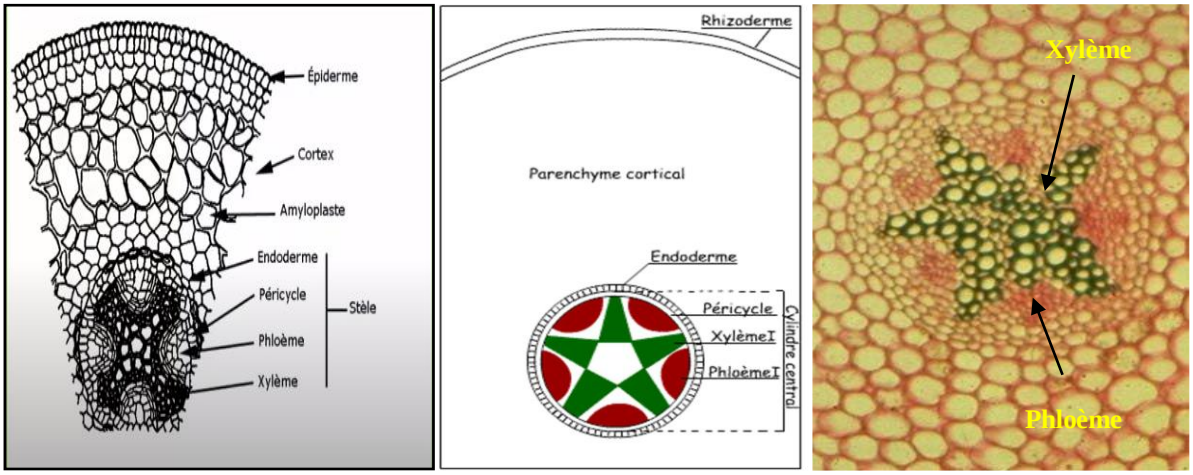


Figure 15: Structure primaire d'une racine dicotylédone, l'Héllébore

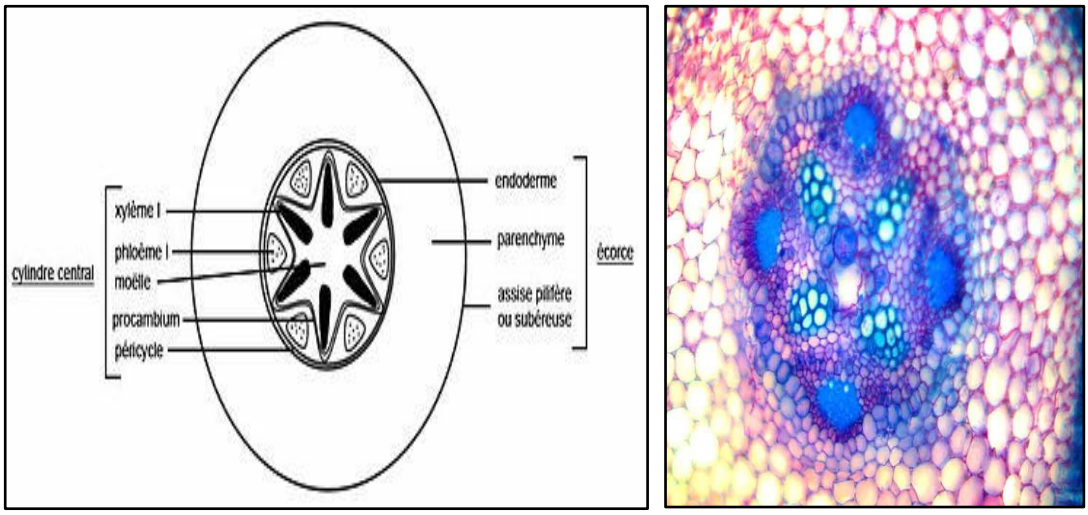


Figure 16 : Structure primaire d'une racine
a: racine complète ; **b :** racine d'haricot

1.5.2. Structure secondaire

Au niveau de la racine des plantes dicotylédones, on note des divisions cellulaires tangentielles à la surface entre les faisceaux de phloème et les côtés des faisceaux de xylème. Le nouveau cambium (assise libéro-ligneuse) forme des arcs qui pourront se réunir au niveau des pôles de xylème. Il met en place des cellules vers le centre (développement centripète) : elles se différencieront en xylème secondaire, et vers la périphérie (développement centrifuge) : elles se différencieront en phloème secondaire (Figure 16-17-18-19).

Le cambium cortical, situé vers la périphérie de la racine ou assise subéro-phellodermique (phellogène), assure la formation d'une couche externe de suber (liège) ainsi qu'une couche plus interne le phelloderme, le liège et le phelloderme assurent la protection de la racine.

L'apparition de l'assise subéro-phéllodermique est toujours beaucoup plus tardive chez les plantes herbacées, elle est même souvent absente.

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

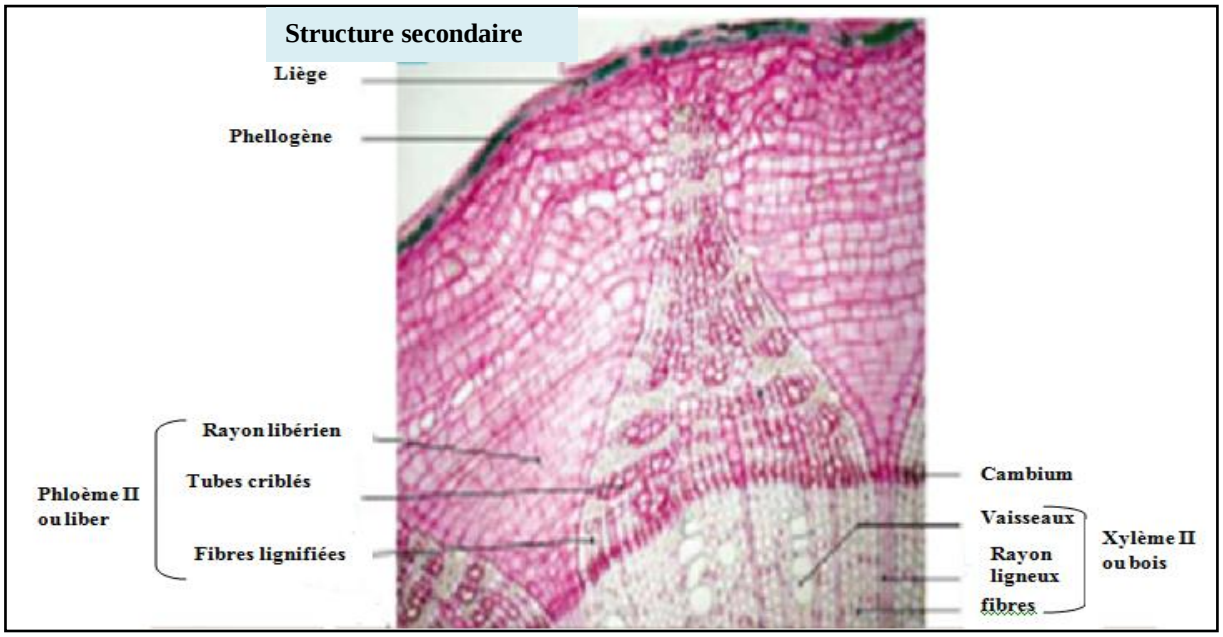


Figure 16 : Structure secondaire d'une racine (Xylème II et Phloème II)

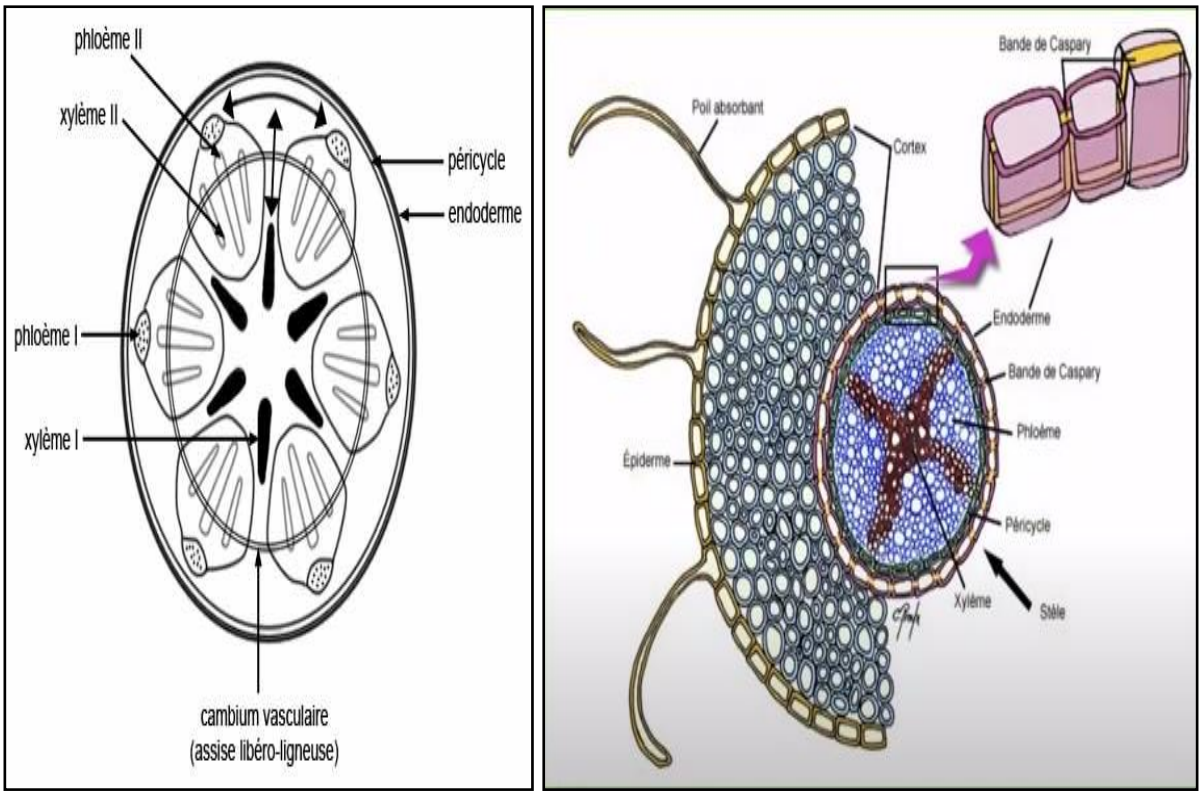


Figure 17 : Structures secondaires dans une coupe de racine (cylindre central)

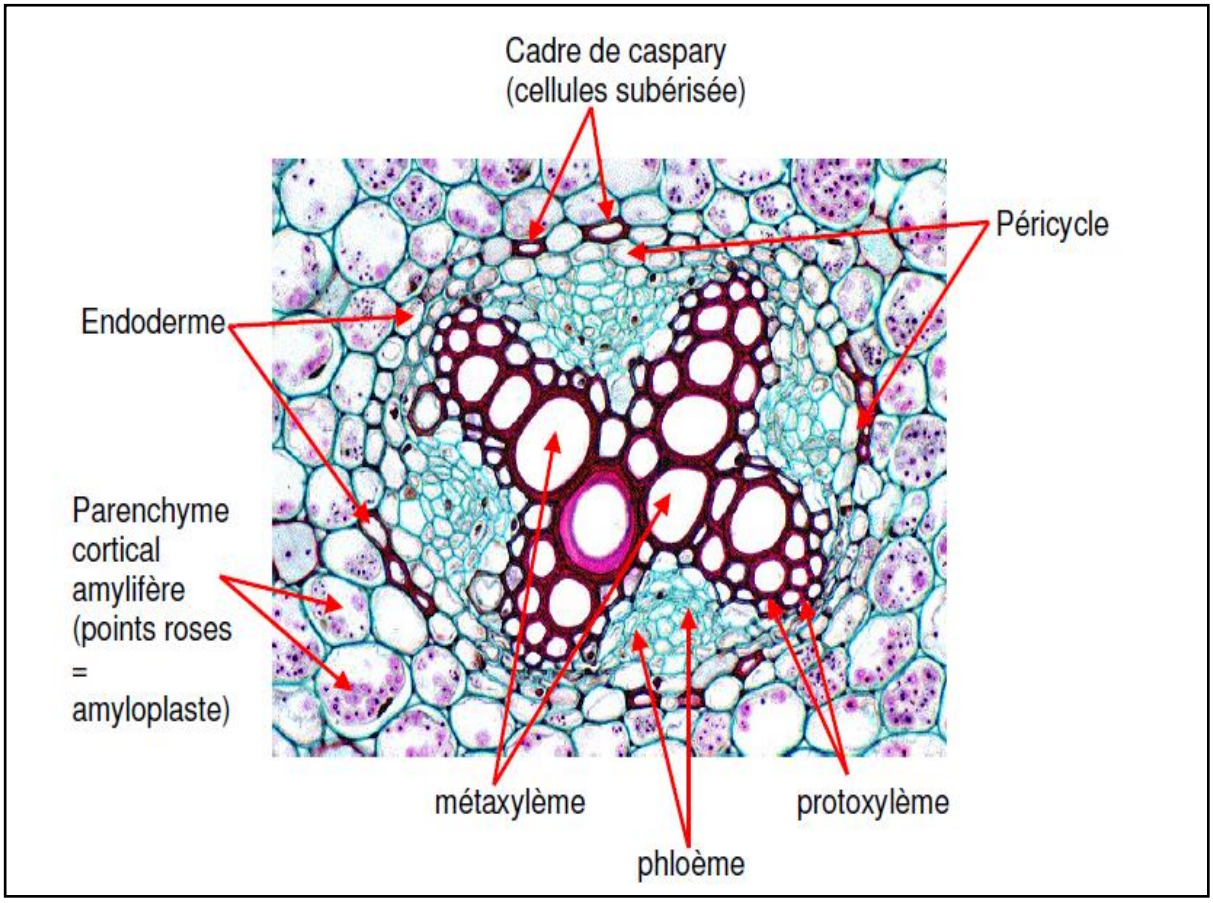


Figure18: Coupe transversale de la racine de renoncule (dicotylédone archaïque).

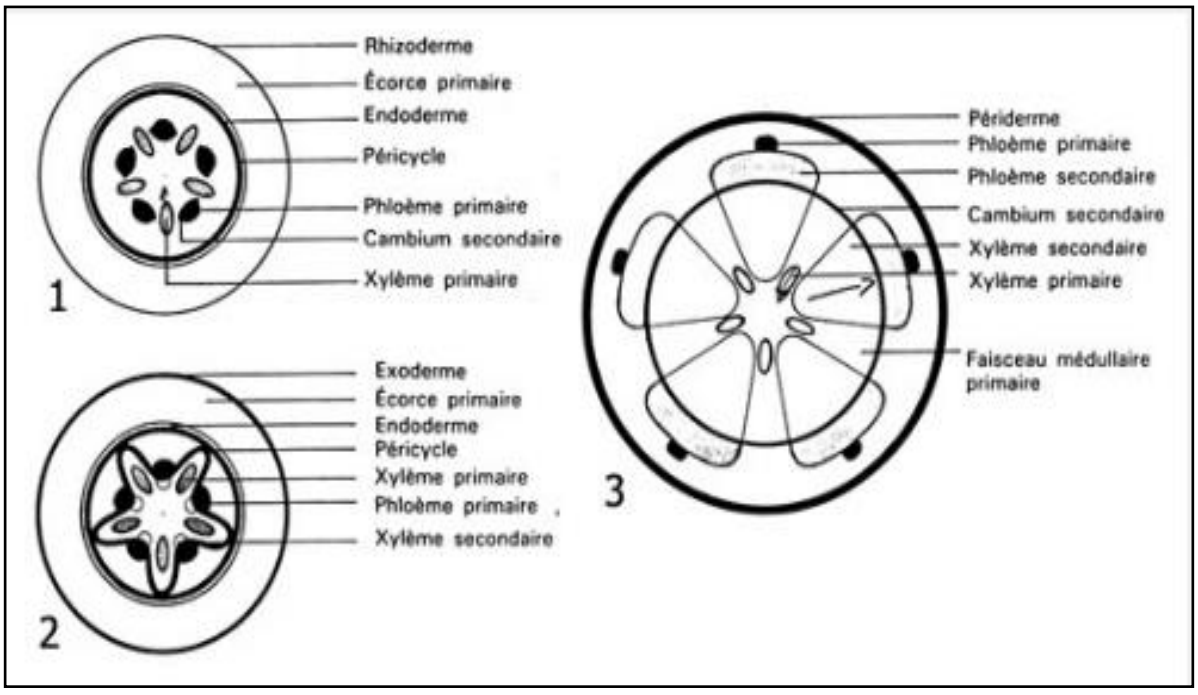


Figure 19 : Evolution de la croissance des structures secondaires dans une racine

1.6. Structure anatomique d'une racine monocotylédone

1.6.1. 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 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**
- A**bsence** de formation secondaire. (Figure 20- 21)

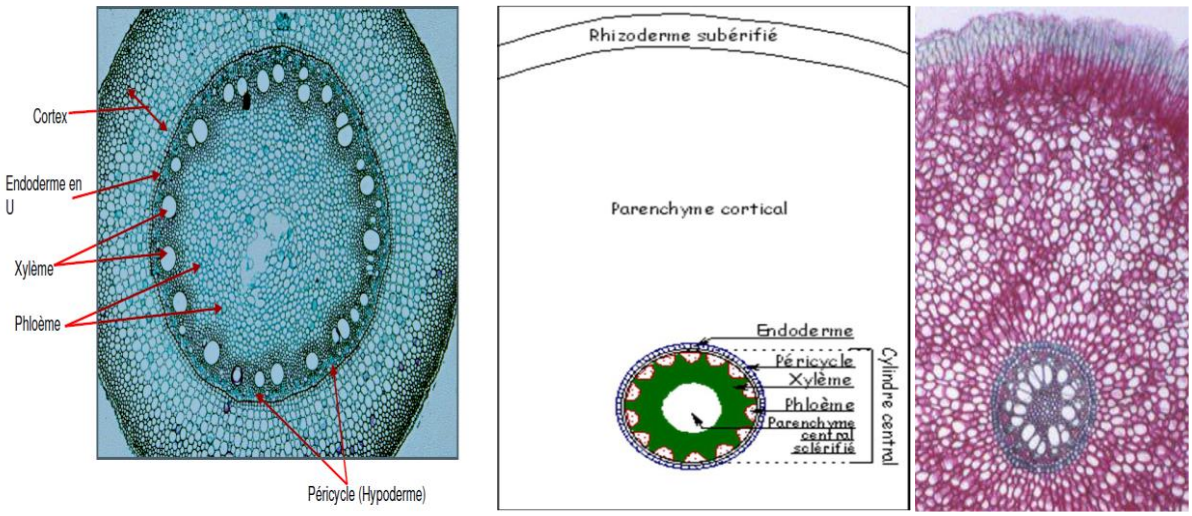


Figure 20: Structure primaire d'une racine monocotylédone

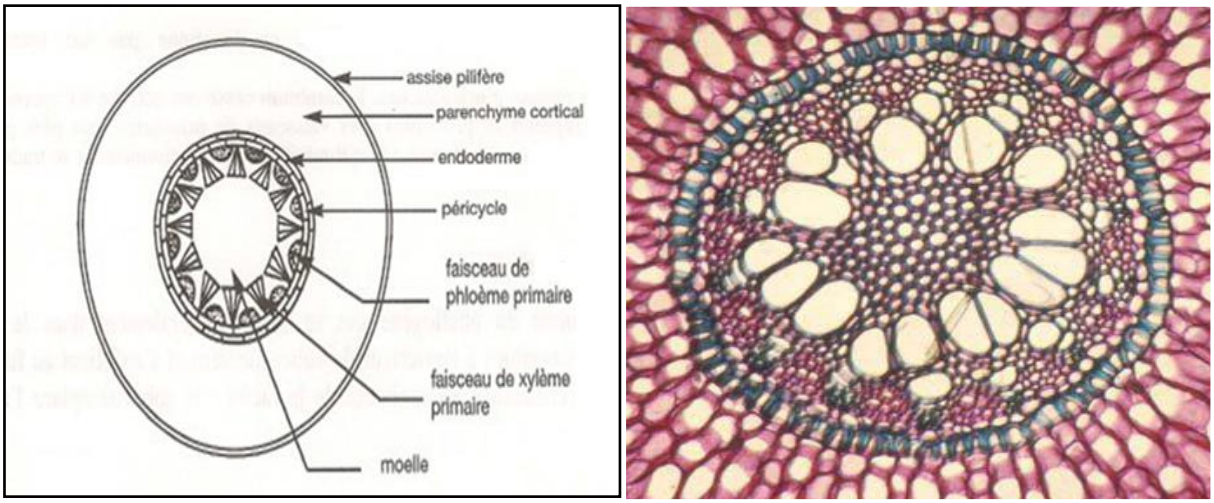


Figure 21 : Structure anatomique d'une racine monocotylédone primaire

1.6.2. Structure secondaire

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

1.7. Différences anatomiques des racines des plantes monocotylédones et des plantes dicotylédones

Sur une coupe transversale d'une racine, la différence anatomique entre les monocotylédones et dicotylédones, on peut les résumés dans les points suivants (Figure 23) et (Tableau 1) :

- **La stèle** est **bien développée chez les monocotylédones** que chez les dicotylédones,
- **La moelle est abondante** remplie par le parenchyme médullaire **chez les monocotylédones**
- **Le cylindre central** est limité par une assise de cellules, **le péricycle**, les tissus conducteurs le xylème et le phloème sont disposés en **alternance**.

-Chez les **dicotylédones**, il existe de **deux à cinq faisceaux**. La structure est pratiquement la même chez les monocotylédones mais les faisceaux sont **plus nombreux**, plus de 6 et souvent au nombre de 12 à 20.

-**L'endoderme** chez les monocotylédones est caractérisé par un épaississement en **fer à cheval** (**endoderme en U**). Les parois latérales et profondes sont lignifiées et subérifiées à la fois, seule la paroi externe située du côté du parenchyme cortical reste cellulosique. Chez les **dicotylédones,** il s'agit d'un **endoderme à cadre** (Figure 22).

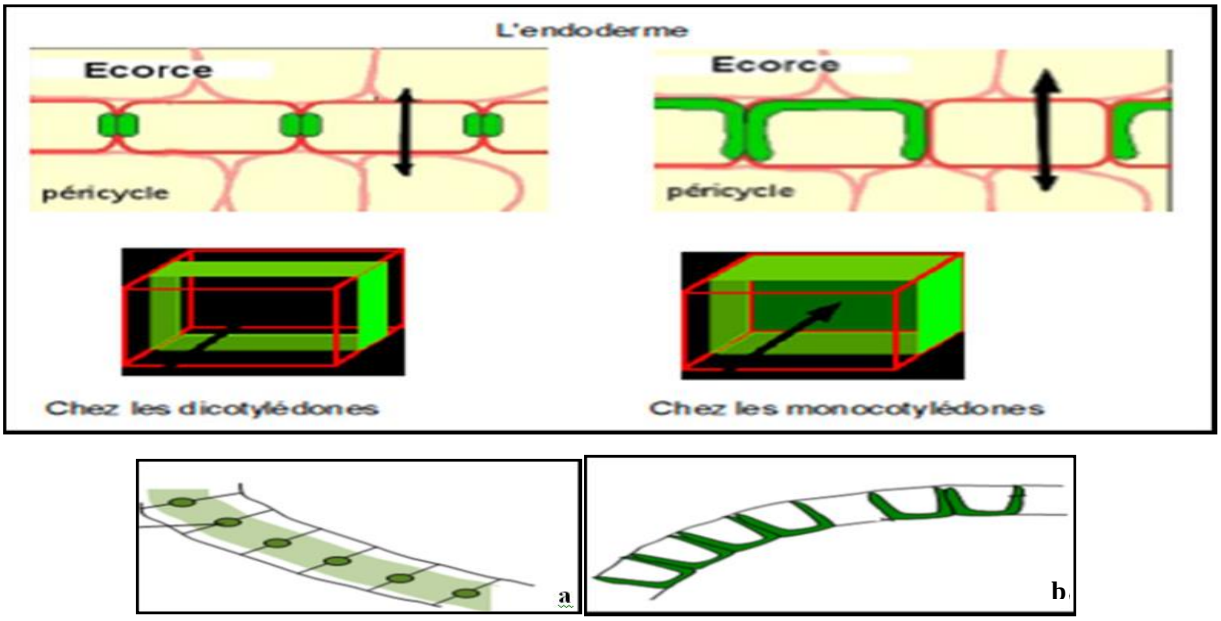
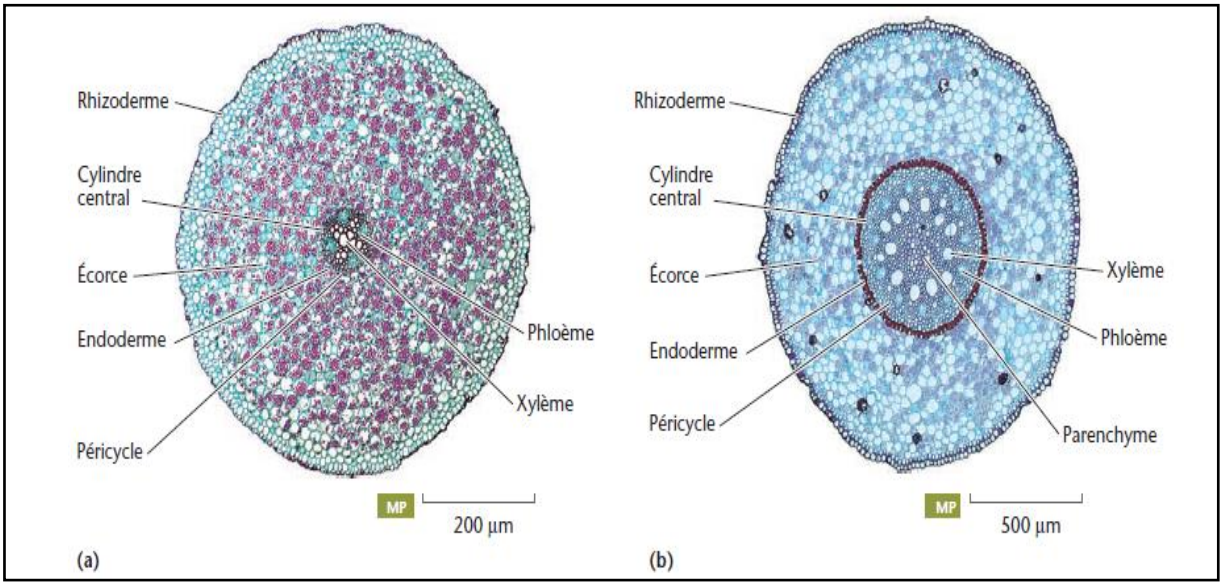
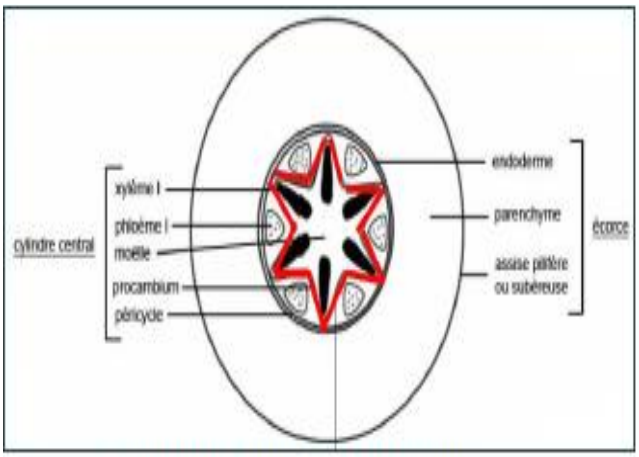


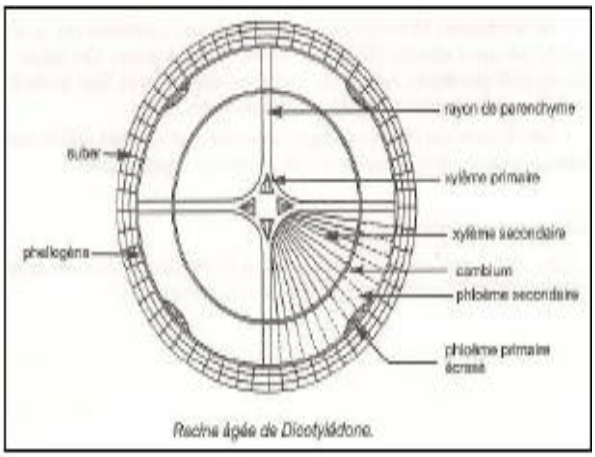
Figure 22 : Endoderme des monocotylédones et des dicotylédones

a : Endoderme d'une racine dicotylédone b : Endoderme d'une racine monocotylédone





Structure primaire de la racine



Structure secondaire de la racine

Figure 23: Différence entre une racine dicotylédone (a) et une racine monocotylédone (b)

Tableau 1: Différences anatomiques de la racine chez 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) > 10**	**Peu de faisceaux (2 à 5) < 8**
Péricycle	**Une ou plusieurs assises cellulaires (dédoublement)**	**Une seule assise cellulaire**
Moelle	**Abondante**	**Absente (ou bien remplacée par le xylème)**
Structures secondaires	**Absence**	**Présence**

1.8. Différents types de racines

1.8.1. Racines pivotantes

Le système racinaire pivotant, c'est le système que l'on voit **quand la racine principale et beaucoup plus importante que les racines secondaires**. Les racines pivotantes **s'enfoncent en général très profondément dans le sol verticalement et fixe solidement la plante**. Ce système racinaire caractérise **les dicotylédones**. La racine va chercher l'eau en profondeur. Ce sont les arbres et les plantes des régions sèches qui possèdent ce système racinaire (exemple : la luzerne).



Figure 24 : Racine d'une luzerne grâce à sa puissante racine, résiste à la sécheresse et améliore la structure du sol.

1.8.2. Racines fasciculées

Ce système racinaire est formé **de racines très fines** entre lesquelles, il **est impossible de distinguer la racine principale des racines secondaires**. Les plantes qui possèdent ce système racinaire sont **des monocotylédones**. Les racines s'enfoncent juste sous la surface du sol (exemple des graminées : blé, orge).

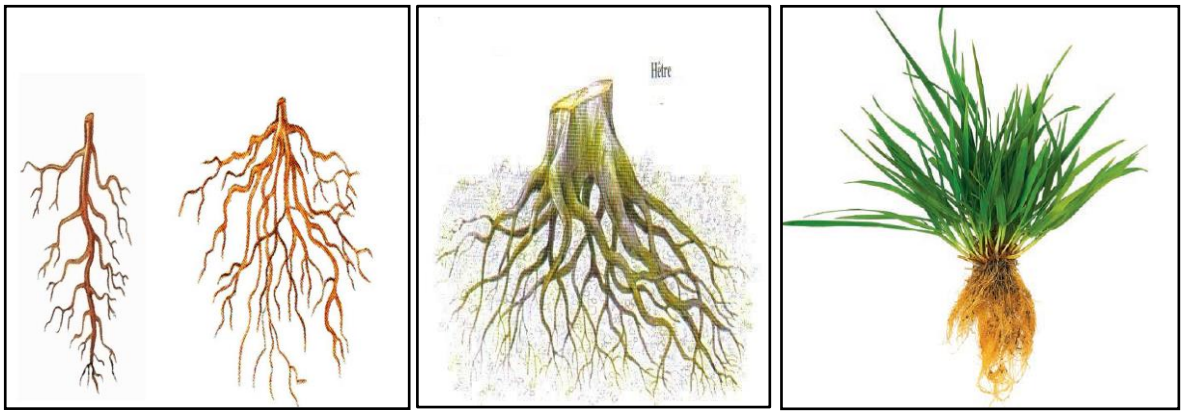


Figure 25 : Racines fasciculées

1.8.3. Racines adventives

Elles peuvent **se former ailleurs qu'à la base de la tige**, par exemple **sur les entre-nœuds des tiges rampantes**. Exemple : Stolon de fraisier (sert à la multiplication végétative, au bouturage des plantes), parfois sur les tiges souterraines : Iris, chiendent, ou sur les tiges grimpantes, par exemple le lierre. La quasi-totalité des Liliopsides, les racines séminales

apparues lors de la germination ne sont pas persistantes et sont remplacées par des racines adventives ayant sensiblement le même calibre.

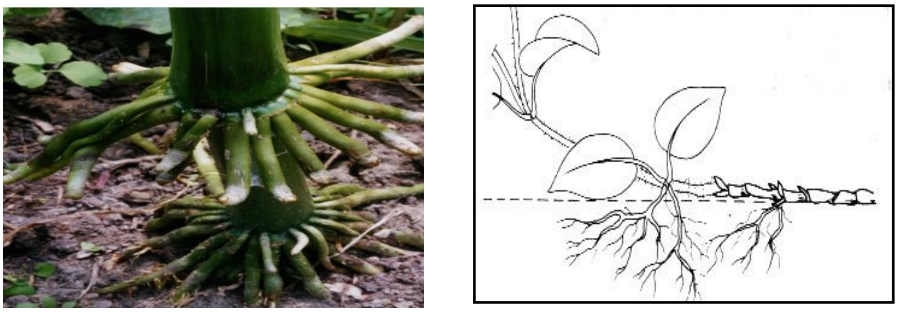


Figure 26: Racine adventive sur une tige de maïs

1.8.4. Racines tubérisées

Ce sont **des racines renflées par accumulation de substances de réserves**. Ex : carotte, betterave, radis, navet.

Les racines tubérisées vivent généralement deux ans, mais pendant la mauvaise saison leur appareil végétatif aérien disparait. Les réserves accumulées dans les tubercules serviront l'année suivante à nourrir la plante.



Figure 27 : Racines tubérisées : A /*Raphanus sativus* le radis ; B/ *Daucus carota* la carotte ; C/ *Ranunculs ficaria* ; D/ chez *Dalhia* sp.



Figure 28 : Racine tubérisées de carotte

1.8.5. Racines crampons

Ce sont **des racines adventives qui se développent le long de la tige** (exemple : le lierre). Ces racines **servent à se fixer sur un support (un mur)**. Le lierre développe des racines adventives qui forment, au bout, une sorte de ventouse pour adhérer au support.

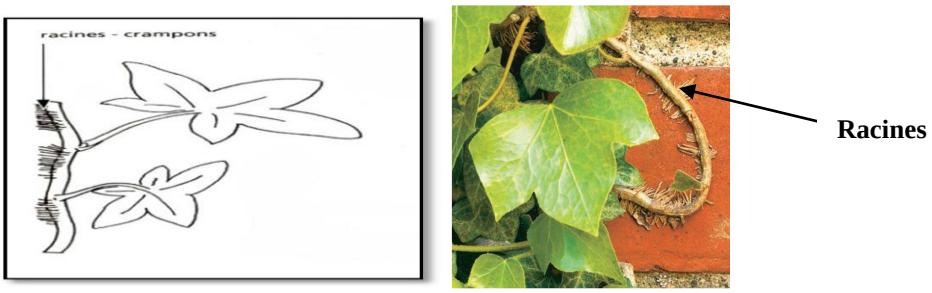


Figure 29 : Racines crampons

1.8.6. Racines-crampons aériennes.

Les racines crampons aériennes, qui se développent sur les tiges du lierre, **assurent l'accrochage de la plante sur des surfaces verticales**.



Figure 30: Racines aériennes (*Metrosideros excelsa*)

1.8.7. Racines traçantes

Les racines traçantes s'étendent très loin dans le sol de manière horizontale et émettent des drageons ou des tiges adventives. Sur le sol sableux, les résineux étalent parfois largement leurs racines.



Figure 31 : Racines traçantes

1.8.8. Racines suçoirs

Elles sont présentes chez les plantes parasites comme la cuscute. Au niveau de ces plantes, **les racines s'infiltrent à l'intérieur de la plante qui est parasitée et passent jusqu'aux vaisseaux conducteurs**. Les racines de certaines phanérogames (parasites) appelées : haustoriums ou suçoirs, elles pénètrent dans les tiges (cas du gui) ou les racines (cas du Striga et de l'Orobanche) des plantes hôtes afin d'y puiser l'eau, les sels minéraux et les substances organiques nécessaires à leur développement. Le genre Striga, dans les zones intertropicales, et le genre Orobanche, dans les pays du pourtour méditerranéen, sont devenus de véritables fléaux agronomiques. Toutes ces transformations reflètent des changements évolutifs qui se sont avérés efficaces dans certaines conditions environnementales.

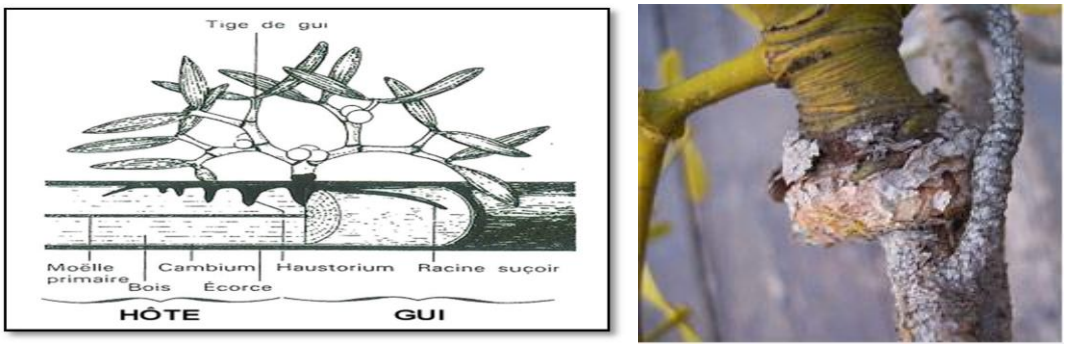


Figure 32: Racine suçoir et tige de gui

1.8.9. Racines respiratoires (les pneumatophores ou aérifères)

Ce sont **des racines secondaires**, **à géotropisme négatif poussant verticalement en milieu inondé et permettant de s'approvisionner en oxygène** (elles sortent des sols asphyxiques où la concentration en oxygène dissous dans l'eau est très faible),

- En Algérie, **dans la région d'El-Kala, le lac de Tonga (Cyprès chauve)**.
- Chez les arbres de la mangrove, mais aussi chez des arbres de marécages d'eau douce (*Taxodium distichum*) où les racines sont immergées dans un milieu saumâtre, non favorable à la vie, donc elles vont émettre des racines respiratoires **appelées : pneumatophores**, elles assurent les échanges gazeux par l'absorption d'air qui remplira des lacunes aérifères qui permettent une meilleure respiration de la plante.



Figure 25: Racines pneumatophores de *Taxodium ascendens et distichum*

1.8.10. Racines échasses

Les **racines échasses** (**racines piliers)** sont des racines adventives. Elles jouent un rôle de support en étayant le tronc de l'arbre (racines échasses des *Pandanus*, des Rhizophoraceae de la mangrove), ou en assurant le maintien des branches latérales (racines piliers de certains *Ficus*).

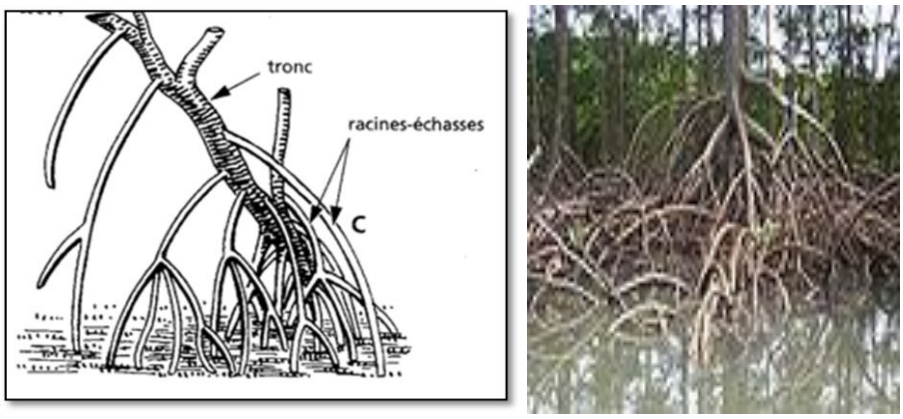


Figure 26 : Racines échasses du palétuvier

1.8.11. Racine contreforts

Ce sont des racines aériennes (adventives) qui naissent sur des rameaux de certaines espèces arborescentes des zones tropicales. Leur développement en direction du sol et leur ancrage dans ce dernier font qu'elles jouent un rôle de soutien. Les racines contreforts sont des racines évasées qui se développent à la base des troncs, contribuant ainsi au support de l'arbre. Certains arbres tropicaux développent d'énormes contreforts qui aident à stabiliser leur ancrage dans les sols légers. Les **racines contreforts** de divers arbres des régions équatoriales (Bombacaceae), rubanées-verticales, en remontant contre la base du tronc **jouent un rôle de consolidation**.



Figure 33 : Racines-contreforts de fromager Excroissances latérales, situées à la base de certains arbres tropicaux, qui permettent de stabiliser la plante dans les sols légers en apportant un support additionnel au tronc.

1.8.12. Racines aquatiques (hydrophytes)

Elles sont dépourvues de poils absorbants et de coiffe exemple : lentille d'eau. Les racines contractiles, observées chez le lys, par exemple, et chez d'autres plantes, assurent une meilleure pénétration de la plante dans le sol en se contractant à un certain moment de son développement. Certaines racines modifiées ont évolué dans le sens d'une meilleure reproduction asexuée, ou multiplication végétative, en produisant directement, chaque année, des bourgeons ou drageons qui sortent du sol pour produire de nouvelles pousses chez les plantes vivaces.



Figure 34 : Racines aquatiques libres de saule

Quelques définitions

- **Drageons racines traçantes:** Stolon souterrain se développe à partir du méristème.

- **Géotropisme :** Orientation de la croissance de certains organes (tige, racine) par rapport à la pesanteur, **géotropisme positif : du haut vers le bas et géotropisme négatif : du bas vers le haut.**

- **Humus :** Couche supérieure du sol créée et entretenue **par la décomposition de la matière organique, essentiellement par l'action combinée des animaux, des bactéries et des champignons du sol**. L'humus est une matière souple et aérée, qui absorbe et retient bien l'eau, de pH variable selon que la matière organique est liée ou non à des minéraux, d'aspect foncé (brunâtre à noir), à odeur caractéristique, variant selon qu'il s'agit d'un humus forestier, de prairie, ou de sol cultivé. L'humus est absent des déserts et, plus généralement, de tout milieu dépourvu de végétation (la haute montagne, par exemple).

- **Phototropisme :** Phénomène d'attraction ou de répulsion d'organes en croissance par rapport à la lumière, **phototropisme positif : attraction et phototropisme négatif : répulsion.**

- **Plante à dormance :** Arrêt du développement de la plante pendant la saison sèche.

- **Pruine :** couche cireuse légèrement poudreuse qui recouvre la surface de l'organe végétal ou animal.

Références bibliographiques

Anonyme 1 :
https://fr.wikipedia.org/wiki/Humus#/media/Fichier:Microbiote_du_sol.gif (consulté le 20/11/2021)

Anonyme2 :
https://fr.wikipedia.org/wiki/Humus#/media/Fichier:Cycle_min%C3%A9ralisation-humification.svg (consulté le 11/12/2021)

Anonyme3 :
https://www.actuenvironnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/humus.php4 (consulté le 20/11/2021)

Anonyme4 :
https://www.pearson.ch/download/media/9782744073069_sp_biologievegetale_chap04.pdf

Racines, tiges et feuilles : le corps primaire de la plante. 28p (consulté le 20/11/2021)

Anonyme5 :
https://fac.umc.edu.dz/snv/faculte/tc/2017/cours/Chapitre%20III%20partie%20I%20et%20II.pdf (consulté le 20/10/2020)

Anonyme 6 :
http://strozza.chez-alice.fr/stages/nouveaux%20programmes/terminale/tissus_20vegetaux%5B1%5D.pdf (consulté le 12/10/2020)

Boutin., V ; Fogelgesang., J.-F ; Beaux., J.-F; Ribola., F (2010). Atlas de Biologie végétale BCPST 1re et 2 e années. Dunod, Paris.

Dupont., F et Guignard., GL. (2007). Botanique Systématique moléculaire. 14e édition révisée. Elsevier Masson. 295 p

Harmont., J. (2000).Biologie végétale. éd. Deboeck université. 944 pp.
http://nico8386.free.fr/cours/BA/BVcoursresume.pdf

Introduction au Monde Végétal. Enseignement de Biologie des Organismes 1ère année de Licence STS BGS 52p. https://www.yumpu.com/fr/document/read/16669010/introduction-au-monde-vegetal-les-champignons-les-algues- (consulté le 28/09/2020)

Savoie., J-M. (2007). Cours de botanique l'appareil végétatif des végétaux supérieurs morphologie et anatomie de la racine, de la tige, et de la feuille. 108p. https://www.permatheque.fr/PDF/Cours_de_botanique_l_appareil_vegetatif_des_vegetaux_superieurs_jean_marie_savoie.pdf (consulté le 11/07/2019)

Différentes sources Internet (photos, schémas) dont…Wikipédia !