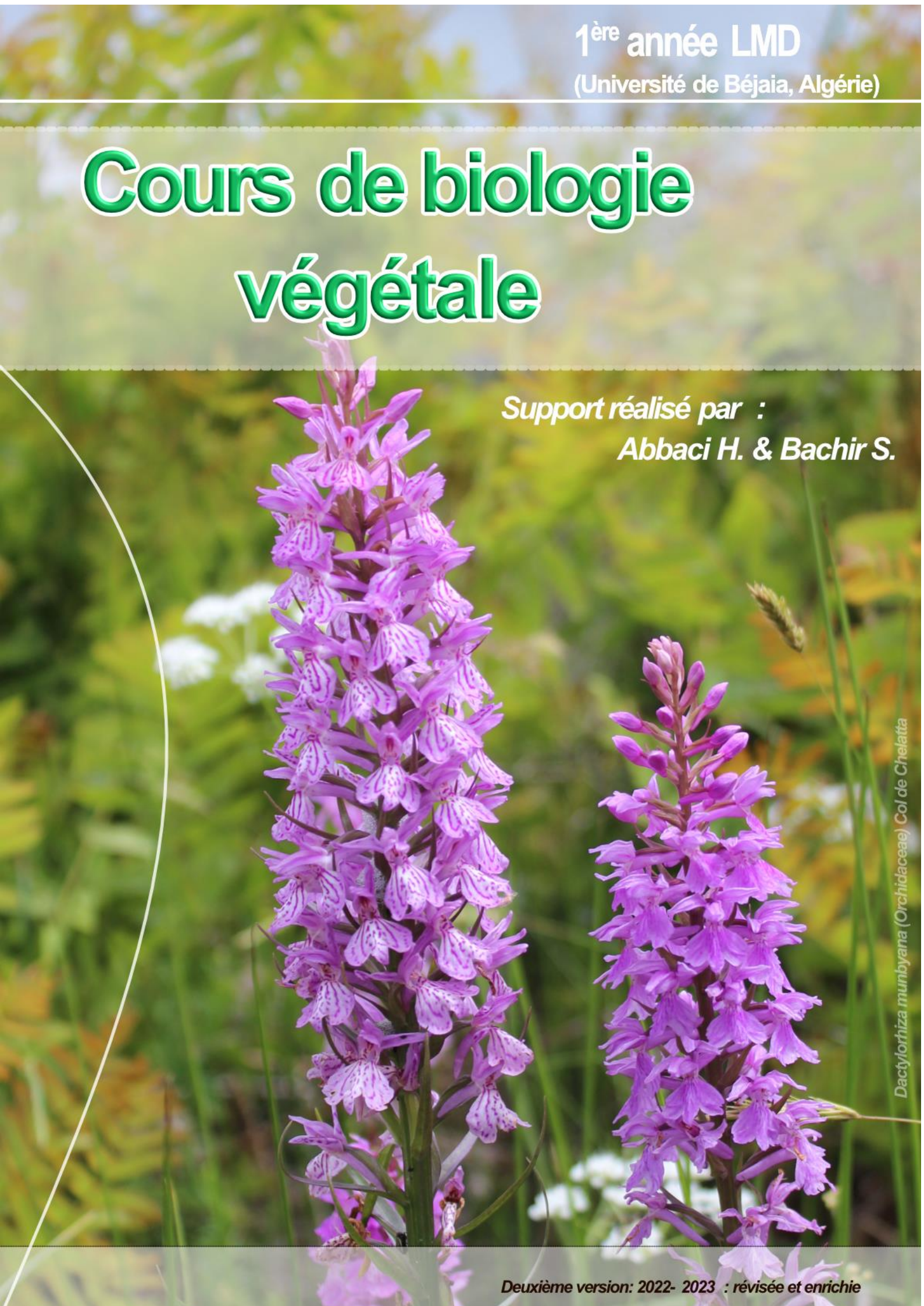
1ère année LMD

(Université de Béjaia, Algérie)

Cours de biologie végétale

Support réalisé par :

Abbaci H. & Bachir S.



Dactylorhiza munbyana (Orchidaceae) Col de Chelatta

Deuxième version: 2022- 2023 : révisée et enrichie

Table des matières

Chapitre II : Les tissus végétaux chez les Angiospermes

A-Les formations (tissus)primaires.....
1- Les méristèmes primaires .....
1-1 - Le méristème caulinaire .....
1-2 –Le méristème radiculaire .....
2-Les tissus primaires .....
2-1-Les tissus de revêtement (protection) .....
2-1 -1- L'épiderme .....
2-1-2-Le rhizoderme .....
2-1-3- L'endoderme .....
3-1-Les tissus de remplissage (Parenchymes) .....
3-1-1-Le parenchyme chlorophyllien (Chlorenchyme) .....
3-1-2-Le parenchyme chlorophyllien palissadique .....
3-1-3- Le parenchyme chlorophyllien lacuneux……
3-2-Les parenchymes de réserve .....
3-2-1 –Les parenchymes aquifères .....
3-2-2 –Les parenchymes aérifères .....
3-2-3 – Les Parenchymes lacuneux
3-3- Les tissus de soutien .....
3-3-1- Le collenchyme .....
3-3-2- Le sclérenchyme .....
3-4-Les tissus sécréteurs .....
3-5- Les tissus conducteurs primaires .....
B- Les tissus secondaires.....
1- Les méristèmes secondaires .....
1-1-Les tissus conducteurs secondaires .....
1-2-Les tissus protecteurs secondaires .....

1ère année LMD (Université de Béjaia, Algérie)

Chapitre II

Les tissus végétaux chez les Angiospermes

Moricandia arvensis (Crucifirae) Campus EL Kseur mars 2022

Programme du Cours valable uniquement pour l'année 2022-2023

A- Les formations primaires

1-Les méristèmes primaires

Les méristèmes primaires sont des tissus indifférenciés et sont à l'origine des premiers tissus qui s'installent au niveau de la plante : production d'organes nouveaux (feuilles, racines, fleurs). Ils assurent la croissance en longueur des tiges et des racines et cela, de la germination (au niveau de la gemmule et de la radicule) jusqu'à la mort de la plante. Ils sont localisés aux extrémités des tiges et des racines. On les trouve déjà au niveau de l'embryon des Angiospermes sous forme d'ébauches représentant les futurs méristèmes : du grec meris = partie et stema = filament. Ils sont dénommés tissus primaires pour les différencier des tissus secondaires car on les retrouve au niveau des organes jeunes des Dicotylédones et les organes jeunes et âgés des Monocotylédones. On distingue deux sortes de méristèmes : méristèmes primaires et méristèmes secondaires et ils différent par leur localisation au sein de la plante, leur caractères cytologiques et leurs fonctions dans la genèse des tissus et des organes .Ces tissus primaires constituent également la tige et les feuilles des Bryophytes, le cormus et les racines des Ptéridophytes. Il faut noter que les tissus secondaires apparaissent chez certaines plantes ultérieurement avec l'âge. Les cellules méristématiques sont facilement reconnaissables dans la plante : le méristème primaire est caractérisé par des cellules de petite taille, isodiamétriques dont le noyau est volumineux de forme sphérique, localisé au centre de la cellule et très riche en chromatine. Le cytoplasme est dense et riche en vacuoles de très petite taille dont le contenu est très concentré .La paroi est mince de nature pecto-cellulosique, riche en plasmodesmes .On trouve également des plastes non différenciés (proplastes) noyés dans le cytoplasme et d'autres organites (ribosomes, mitochondries, appareils de Golgi).Par un phénomène de différenciation, ces méristèmes primaires interviennent dans la formation des tissus primaires notamment les tissus de revêtements primaires, les parenchymes, les tissus de soutien primaires, les tissus conducteurs primaires et les tissus sécréteurs.

Les méristèmes primaires qui favorisent la croissance en longueur se retrouvent depuis la germination (au niveau de la gemmule et de la radicule) et persistent dans la plante adulte jusqu'à sa mort :

- A l'extrémité ou apex des tiges et racines :

On trouve les méristèmes apicaux ou terminaux (caulinaire et radiculaire)

- A la base des feuilles :

On rencontre les méristèmes intercalaires (nœuds) ou axillaires (latéraux ou bourgeons axillaires)

1-1-Le méristème caulinaire

Les méristèmes apicaux sont des sites de croissance primaire, de division cellulaire active tout à fait répétitive et indéfinie, jusqu'à la mort de la plante. Le méristème caulinaire est responsable dans la construction et structuration de la partie aérienne de la plante. En se différenciant, il donnera la tige, les branches latérales, les feuilles ainsi que les bourgeons axillaires et floraux **(figure 1)**. Il est aussi responsable de l'initiation du premier système vasculaire (pro cambium).

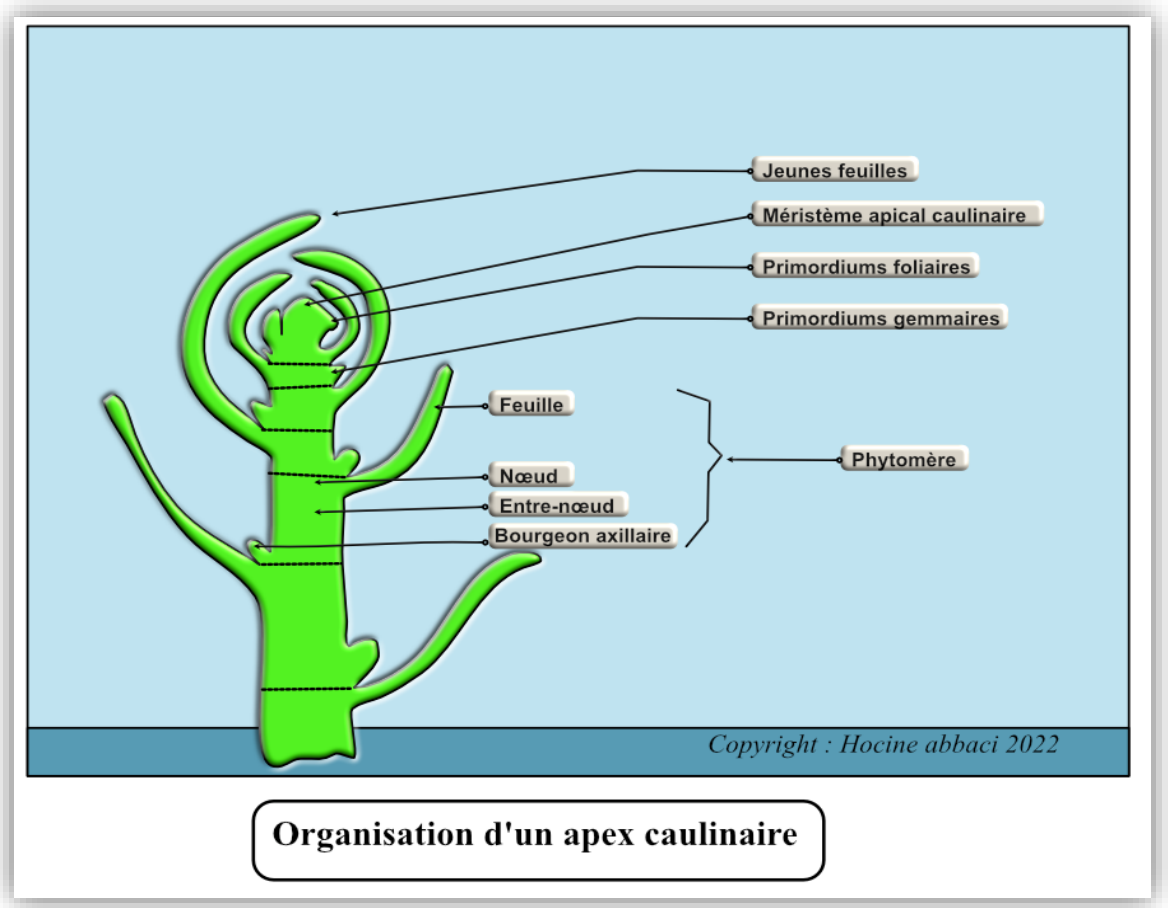


Figure 1 : Organisation du méristème végétatif caulinaire (coupe longitudinale axiale)

En forme souvent arrondie (dôme) et rarement de nature plate, le méristème apicale ou caulinaire est constitué de plusieurs empilements de cellules de quelques millimètres dont l'activité métabolique est différente selon les régions. Sur le plan structural, les cellules de la zone axiale sont nettement plus volumineuses avec des vacuoles plus grandes que les cellules latérales. Cependant, le cytoplasme et les vacuoles occupent des espaces pratiquement similaires. La durée du cycle cellulaire est plus longue dans la zone axiale que la zone latérale et de durée intermédiaire dans le méristème médullaire.

Selon leur position, on distingue différents types de méristème caulinaires.

- le méristème caulinaire apical est formé au cours de l'embryogenèse.
- le méristème axillaire prend naissance à l'aisselle des feuilles. Sur le plan fonctionnel et structural, il est semblable aux méristèmes caulinaires dont il dérive. Il peut toutefois être inhibé par le méristème caulinaire apical et on parle alors de dominance apicale.
- le méristème adventif dont le fonctionnement est identique à celui du méristème caulinaire apical.

Au niveau de ce méristème apical, il existe une zonation fonctionnelle difficile à observer sans avoir recourt à une coloration. On peut observer trois régions définies d'après des critères cytologiques : dimension cellulaire, densité des constituants, fréquence des divisions, vacuolisation **(figure 2)** :

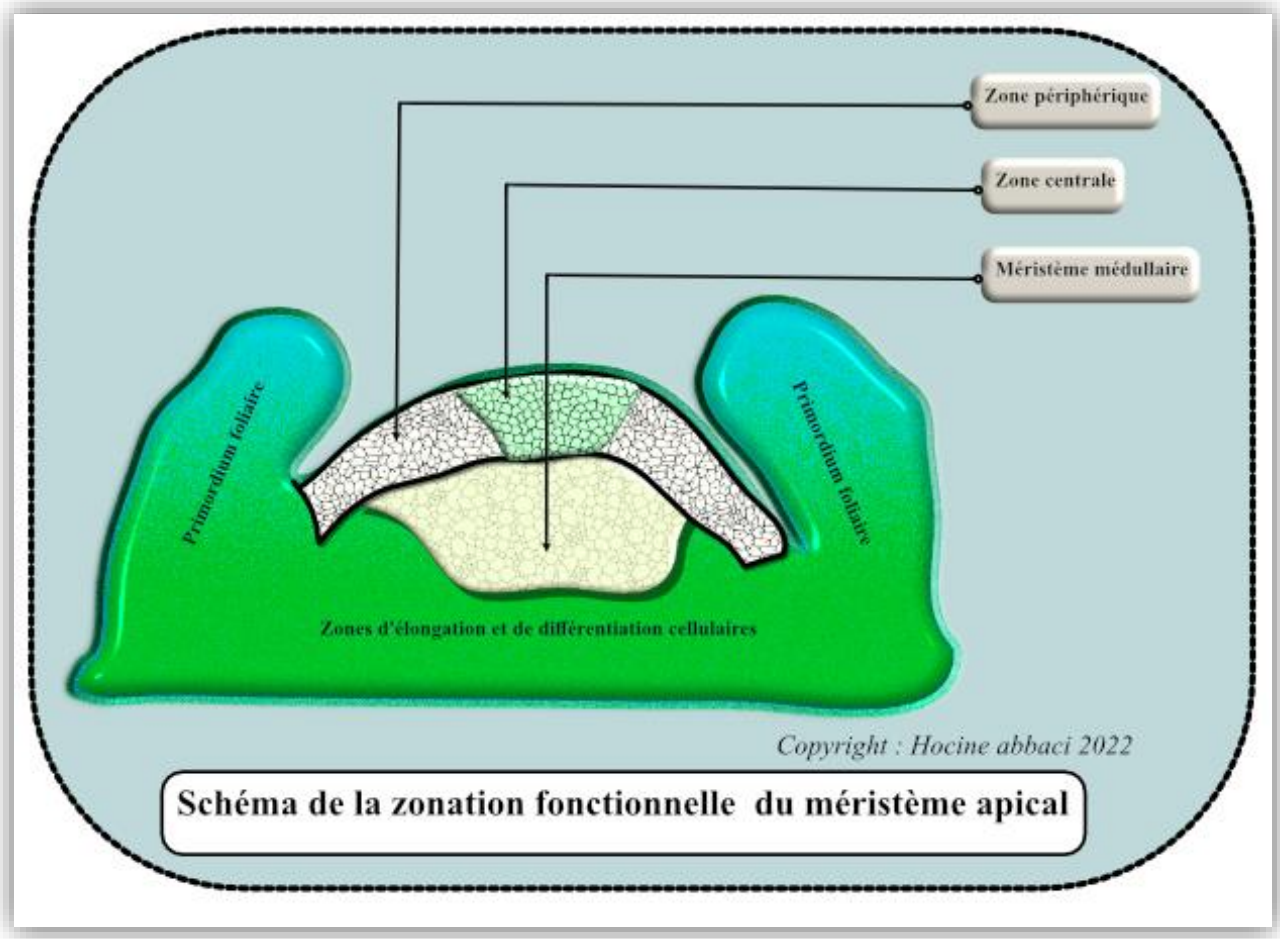


Figure 2 : Localisation des différentes zones fonctionnelles du méristème végétatif caulinaire

- **La zone périphérique ou zone latérale :** Elle entoure la zone centrale. Elle comprend des cellules de petite taille avec un cytoplasme dense, vacuoles très petites et noyaux occupant presque tout le volume cellulaire .Le contenu cellulaire est plus riche qu'en zone centrale en ARN et protéines. En conséquence, on y assiste à une activité mitotique importante et une synthèse active d'ADN. Sur le plan fonctionnel, il s'agit d'une zone organogène qui initie les feuilles et mis en place quelques tissus notamment les tissus conducteurs.
- **La zone centrale ou zone axiale :** Nommée méristème d'attente, elle comprend des cellules assez vacuolisées mais très peu actives : elles se divisent rarement .Ces cellules dont les noyaux ont de petits nucléoles sont pauvres en ARN et protéines. On y rencontre une ou plusieurs couches superficielles : les tunicas ou tuniques**,** sièges de division quasi exclusivement perpendiculaire à la surface (dans le sens anticline) et le corpus, sous-jacent constitué de cellules se divisant pratiquement dans toutes les directions. Sur le plan fonctionnel, cette zone contient les cellules souches assurant le maintien du méristème et cela, en régénérant les cellules de la zone périphérique et celles de la zone médullaire.

- **Le Méristème médullaire :** Il est enchâssé entre les deux autres zones : sous la zone centrale (axiale) et entre la zone latérale (périphérique). Le Méristème médullaire comprend des cellules très vacuolisées se divisant presque exclusivement de façon péricline .On note une activité mitotique relativement réduite avec des durées du cycle cellulaire intermédiaires relativement au deux zones précédentes. Il s'agit là d'une région histogène responsable de l'édification au niveau de la moelle des tissus centraux de la tige.

1-2-Le méristème radiculaire (racinaire)

Le méristème racinaire est responsable dans la construction et structuration de la partie souterraine de la plante notamment les tissus de la racine et la coiffe. Son fonctionnement est plus simple que le méristème caulinaire .Ce n'est pas un méristème organogène (ne produit pas d'organes latéraux), il a uniquement une fonction histogène. Les ramifications de la racine (les racines latérales) sont initiées par le péricycle en région plus profonde entre l'écorce et la stèle à quelque distance de l'apex. Au niveau de la partie terminale des racines, on distingue une coiffe qui protège le méristème. La coiffe est surmonté par une zone sans division cellulaire appelé zone quiescente .Juste au-dessus du centre quiescent on y rencontre la zone méristématique à forte activité mitotique, tapissée par le méristème apical et les méristèmes qui en dérivent (zone de multiplication ou de division). Au-dessus de la zone de division cellulaire, on observe une zone d'élongation où les cellules s'allongent de plus en plus permettant à la racine de s'enfoncer plus profondément dans le sol. Avant d'avoir terminé leur croissance, les cellules commencent à se spécialiser au niveau de la zone de différenciation **(figure 3)**.

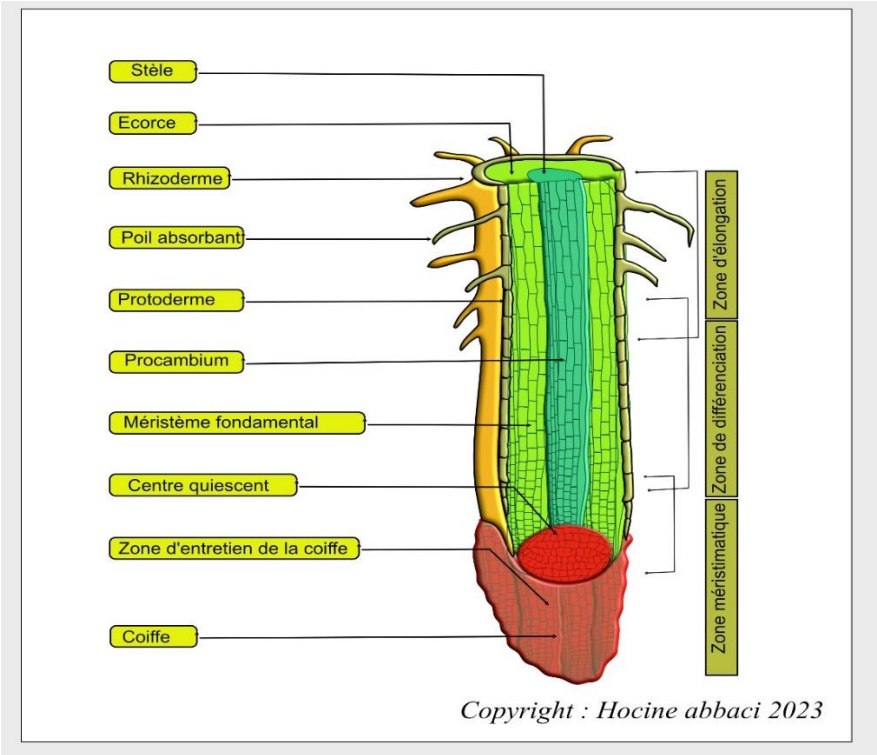


Figure 3 : Zonation schématique d'un apex racinaire

(Coupe longitudinale axiale)

2-Les tissus primaires

Les méristèmes primaires sont à l'origine de l'édification des tissus primaires .Ces tissus sont souvent localisés à des endroits précis.

Ces tissus primaires sont observables au niveau des organes jeunes des Spermaphytes et les organes jeunes et âgés des Monocotylédones.

Ils constituent substantiellement la tige et les feuilles des Bryophytes, le cormus et les racines des Ptéridophytes.

En considérant les tissus conducteurs qui s'organisent de manière très différente selon les plantes**,** on peut rencontrer différentes types de stèle au niveau du cylindre central (la partie au centre de la tige)

Il y a une grande diversité de tissus primaires qu'on peut regrouper en plusieurs catégories où plusieurs types sont observables:

• Les tissus de revêtement ;

• Les parenchymes ;

• Les tissus de soutien ;

• Les tissus conducteurs ;

• Les tissus sécréteurs.

2-1-Les tissus de revêtement (tissus protecteurs) :

Les plantes ont besoin de tissus de protection agissant contre les diverses agressions externes notamment les températures élevées (protection contre des évaporations trop importantes), contre des blessures, les attaques des parasites…Parmi ces tissus on peut citer : l'épiderme, l'assise pilifère, le suber (liège) et l'endoderme.

2-1-1-L' épiderme

Formé souvent (il y a quelques exceptions) d'une seule assise **(**couche**)** de cellules marquant la frontière entre le végétal et l'environnement extérieur. On trouve ce tissu végétal superficiel au niveau de tous les organes, recouvrant les feuilles, les fleurs, les racines et les tiges. L'épiderme a plusieurs fonctions: sécrète des composés métaboliques, fournit une protection contre les agressions extérieures, la dessiccation (protège contre la perte d'eau), régule les échanges gazeux, tout en permettant surtout dans les racines (on parle ici de rhizoderme au lieu d'épiderme) une absorption de l'eau et les nutriments minéraux (voir partie rhizoderme). Les cellules épidermiques sont généralement transparentes avec moins de chloroplastes .Les parties aériennes contiennent de la cutine et sont recouvertes d'une cuticule dont le rôle majeure est la réduction de la perte d'eau. Cette cuticule est absente au niveau des plantes aquatiques.

Selon les espèces, l'âge, l'organe considéré …l'épiderme peut présenter des fonctions et des anatomies différentes. Comme exemple, l'épiderme est l'un des composants principaux du système tissulaire des feuilles. Dans la plupart des cas pour les feuilles, les tissus sont structurés dorso ventralement avec les éléments supérieure (adaxiale) et inférieure (abaxiale) remplissant souvent des fonctions différentes et ayant une construction quelque peu différente.

Par endroit, l'épiderme peut présenter des poils uni ou pluricellulaires (trichomes) protecteurs ou sécréteurs. Leurs formes et leurs nombres dépendent des espèces et d'autres facteurs externes. Ils peuvent assurer plusieurs fonctions et contenir diverses substances : huiles essentielles, pigments ….

L'épiderme de la feuille et notamment de la tige est tapissé par de petites ouvertures appelées stomates constitué chacun d'un orifice l'ostiole entouré de chaque côté de cellules riches en chloroplastes : les cellules de garde. Ces cellules de garde sont souvent les seules cellules chlorophylliennes de l'épiderme **(figure 4)**. Au niveau de ce complexe, il y a régulation des échanges gazeux et de vapeur d'eau entre milieu extérieur et le milieu interne de la feuille. Le plus souvent, les stomates sont plus nombreux sur l'épiderme inférieur de la feuille que sur l'épiderme supérieur .Cependant, au niveau de certaines plantes aquatiques à feuilles flottantes, la plupart ou la totalité des stomates sont distribués sur la surface supérieure (non en contact avec l'eau). Il faut noter que chez les plantes où la croissance secondaire est possible, l'épiderme des tiges est généralement remplacé par des structures secondaires grâce à l'activité du cambium qui installe un périderme. (Voir partie tissus secondaires).

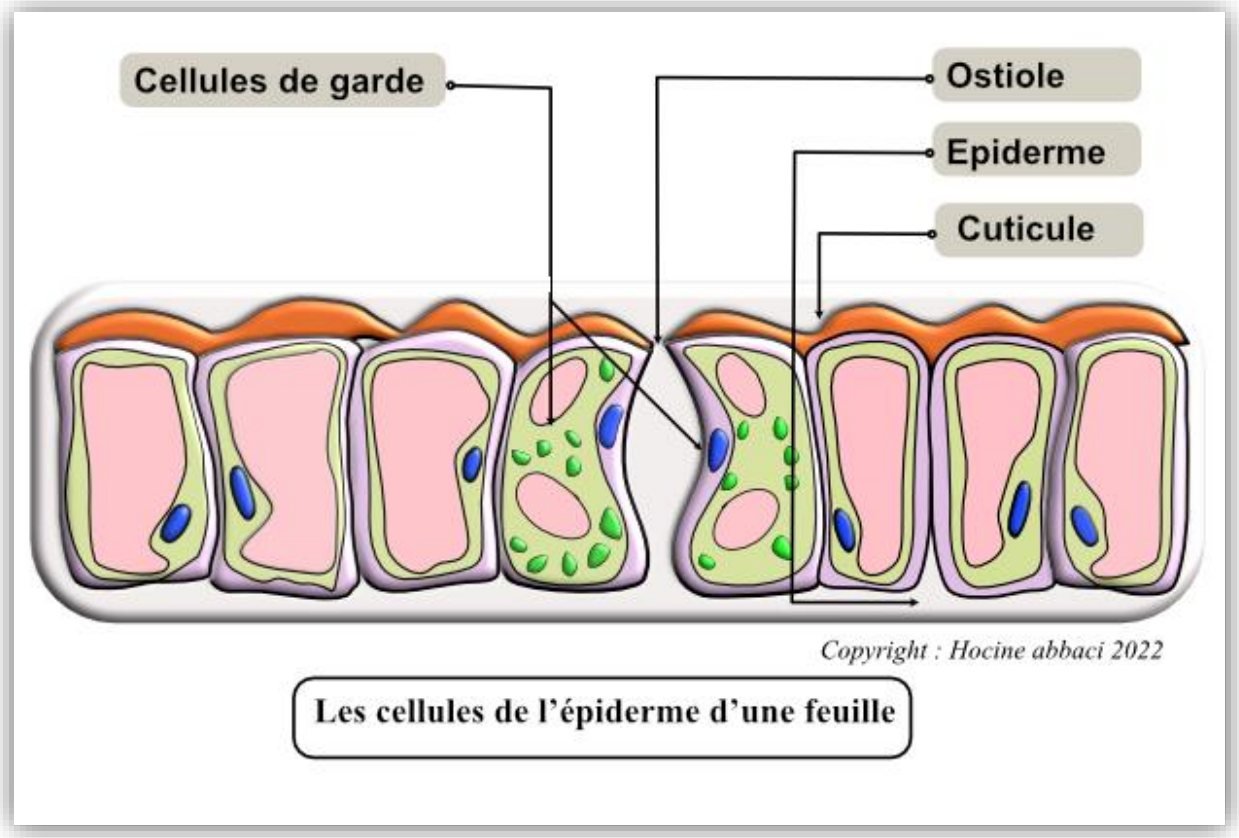


Figure 4 : Détails des cellules de l'épiderme d'une feuille

2-1-2- Le rhizoderme

Le rhizoderme se trouvant à la périphérie des organes racinaires est appelé également épiderme racinaire, équivalent de l'épiderme des tiges et feuilles de la plante. Il présente à certains endroits des cellules différenciées en poils absorbants (on dit aussi trichoblaste, ou simplement poil racinaire) dont l'ensemble forme l'assise pilifère. Ce système de poils absorbants est présent chez les jeunes racines au niveau de la région absorbante. Cette assise formée de cellules hypertrophiées allongées, est très perméable et indispensable à l'assimilation par la plante de l'eau et des nutriments solubles **(figure 5)**. Selon les espèces et le degré de maturité du végétal, les couches sous-jacentes au rhizoderme formées de cellules parenchymateuses peuvent se subérifier en assise subéreuse ou subéroïde. La racine alors à certains endroits devient incapable d'absorption mais plus rigide assurant sa protection.

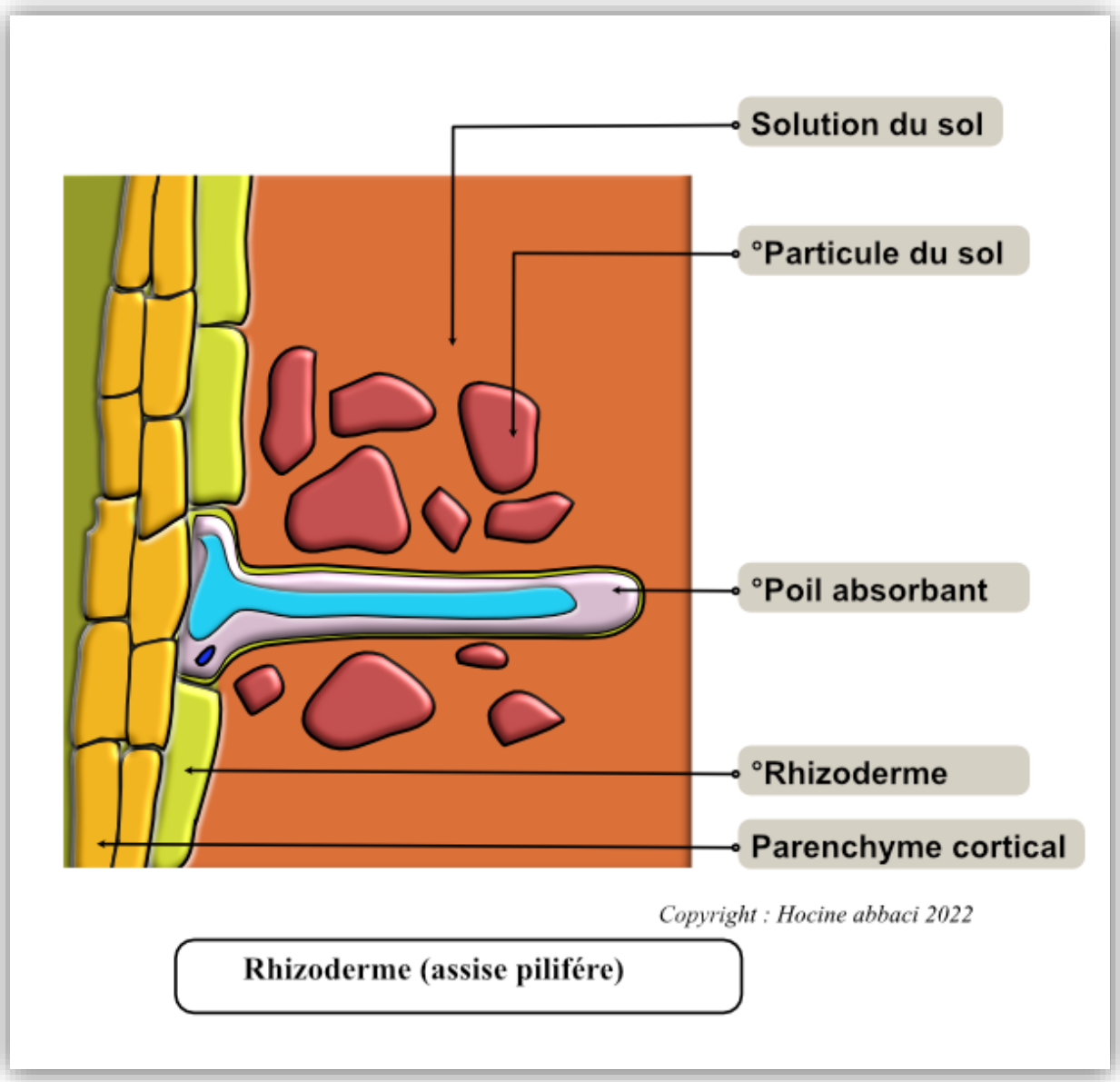


Figure 5 : Schéma du rhizoderme en contact du sol

2-1-3-L’ endoderme

L’endoderme est difficile à observer sans coloration car il est formé d’une seule couche de cellules correspond à la couche la plus interne de l'écorce des jeunes tiges ou des jeunes racines. C'est une couche de cellules cylindriques située entre l'écorce et le cylindre central où se trouve souvent les vaisseaux **(figure 6 a)**. L’endoderme est édifié en une assise présentant une lignification et subérification à des endroits précis de la paroi dont l’ornementation caractéristique qui en résulte nous indique est ce qu’ on est devant des Dicotylédones (endoderme à cadre) ou des Monocotylédones (endoderme en fer à cheval).Avec le vieillissement de la plante , on peut observer chez certaines espèces des épaississements ou dépôts subéreux en forme de cadre formant une barrière entre l'écorce et le cylindre central : les cadres de Caspary jouant un rôle de filtre **(figure 6 b)**. L’endoderme ainsi comme point de contrôle, assure une sélectivité des substances assimilées (transport de l'eau et des solutés) via des voies de transport symplasmique (à travers le cytoplasme) plutôt qu’apoplasmique (à travers les parois)

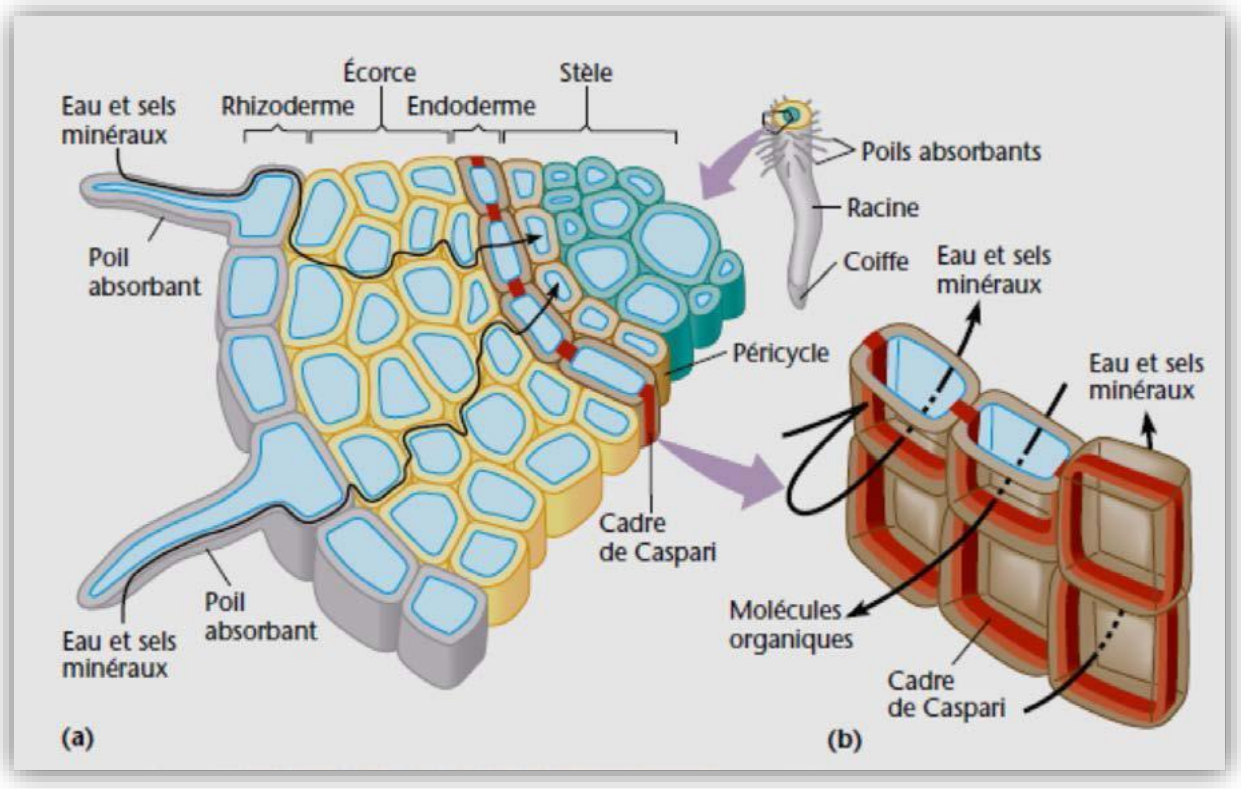


Figure 6 : Emplacement et détails des dépôts subéreux de l’endoderme (image : source inconnue !)

3-1-Les tissus de remplissage (Les parenchymes)

Les parenchymes sont des tissus fondamentaux appelés communément tissus de remplissage. Ils sont fréquents au sein de la plante et constituent l'essentiel des organes végétaux jeunes : feuilles, tiges et racines. Ils sont mis en place dès le début de développement de la plante et certains autres types peuvent apparaître ultérieurement. Ils se présentent sous forme de cellules volumineuses délimitées par une paroi cellulaire primaire mince et flexible de nature cellulosique (pas de paroi secondaire) qui peuvent parfois être lignifiés. Ces tissus sont dits de remplissage car ils représentent environ 90 % des cellules trouvées dans une plante à graines herbacée. Le parenchyme est de nature vivante, métaboliquement actif, capable de se diviser. Les parenchymes peuvent être simples ou spécialisés. Ils possèdent un haut degré de plasticité car les cellules parenchymateuses peuvent selon les cas subir une dédifférenciation. Leurs différenciations répondent à certaines activités de la plante, telles que la photosynthèse, l'assimilation des nutriments, la respiration, le stockage et la sécrétion. On distingue divers tissus parenchymateux spécialisés suivant leurs rôles au sein de la plante. Ces tissus sont localisés au niveau du cortex (la région corticale) et la région médullaire (la moelle) des tiges et des racines. Au niveau des feuilles ils se trouvent dans le mésophylle structurant la majorité du limbe.

On distingue non exhaustivement selon certaines fonctions, les parenchymes suivants:

3-1-1- Les chlorenchymes ou parenchymes chlorophylliens

Les cellules du parenchyme dans ce cas sont hautement spécialisées car elles font partie d'un tissu complexe contenant des chloroplastes. Ce parenchyme est nommé chlorenchyme et effectue une photosynthèse abondante. Les cellules du chlorenchyme sont bien adaptées à l'activité photosynthétique car leurs fines parois cellulaires primaires permettent une diffusion plus efficace de la lumière, de l'eau, des gaz. Ces échanges s'effectuent au niveau des cellules de revêtement ou l'épiderme, plus exactement au niveau des stomates. Les stomates, ou stomas, sont des organes différenciés se trouvant surtout à la face inférieure des feuilles et qui sont impliqués dans les échanges gazeux. Les cellules de garde sont les seules cellules épidermiques renfermant des chloroplastes et qui jouent un rôle clé dans l'ouverture des stomates et leurs fermetures. Les feuilles renferment principalement ce type de parenchyme **(figure 7)** où on note chez les dicotylédones deux ensembles:

3-1-2- Le parenchyme chlorophyllien palissadique

C'est un ensemble qui se trouve sur la face supérieure du limbe. Il est constitué de cellules jointives allongées perpendiculairement à la surface du limbe et riches en chloroplastes. Ce parenchyme palissadique entouré par l'épiderme, parcouru par les nervures est le siège principal de la photosynthèse.

3-1-3- Le parenchyme chlorophyllien lacuneux

Ce tissu dit également parenchyme spongieux présente de nombreuses lacunes entre les cellules plus irrégulières formant des méats permettant la circulation et le stockage des gaz. Il se trouve sur la face foliaire inférieure au contact de l'épiderme inférieur où on note des cellules avec de larges espaces intercellulaires mais un nombre réduit de chloroplastes. Le parenchyme chlorophyllien lacuneux participe aux échanges gazeux par les stomates.

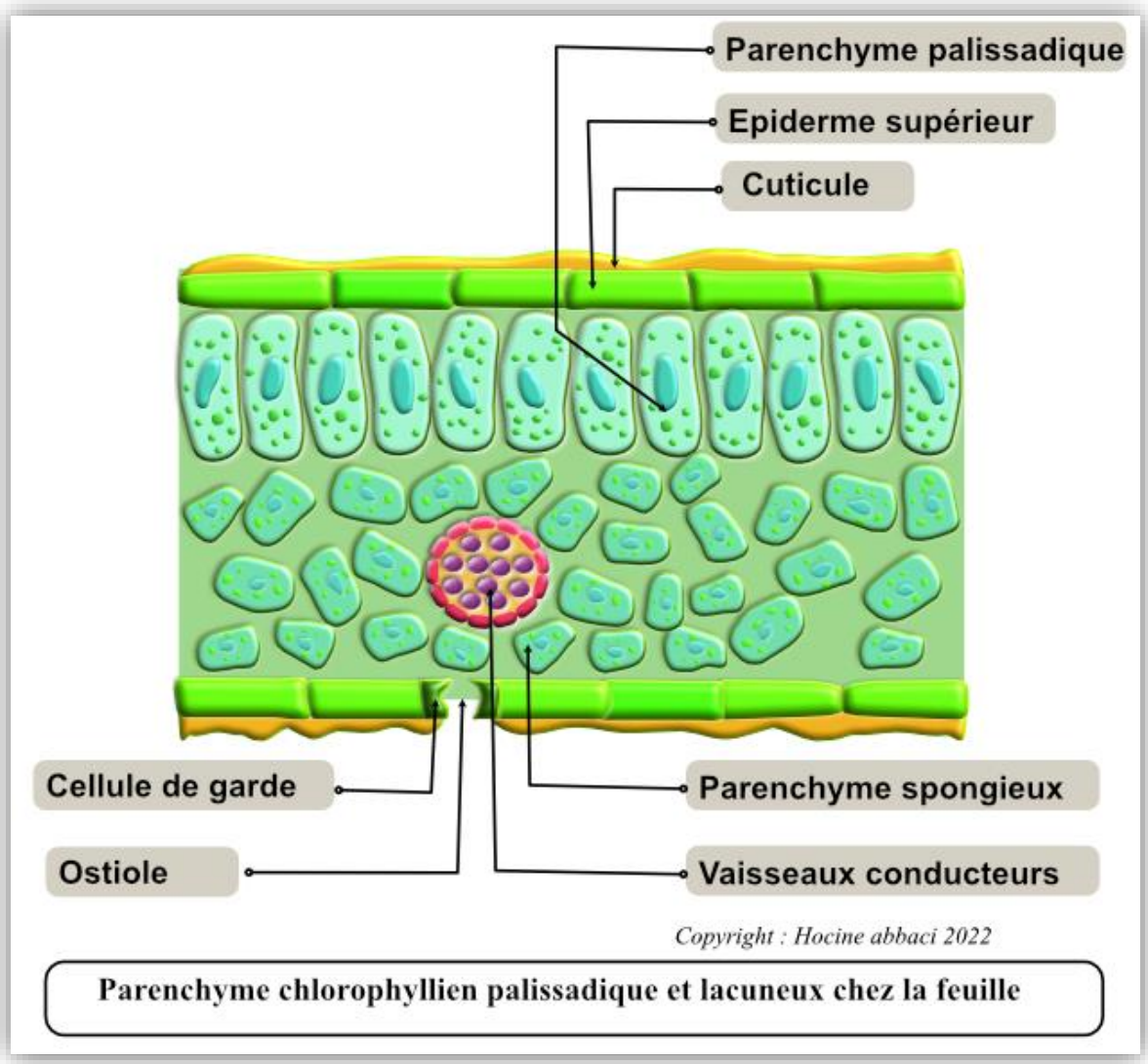


Figure 7 : Coupe au niveau d'une feuille montrant les différents éléments constitutifs

3-2- Les parenchymes de réserve

Les parenchymes de réserve sont constitués d'une variété d'éléments qui se présentent sous diverses formes (amidon, glucides, lipides.) au niveau des tiges ou des racines **(figure 8)**. Mais on peut aussi trouver des parenchymes de stockage au niveau des graines et des tubercules contenant de grandes quantités de glucides, principalement sous forme d'amidon ou d'huiles. Ces tissus de réserve constitués de cellules vivantes sont utilisés pour entretenir les tissus de la plante des divers types d'organes. Parmi ces parenchymes de réserve on peut citer :

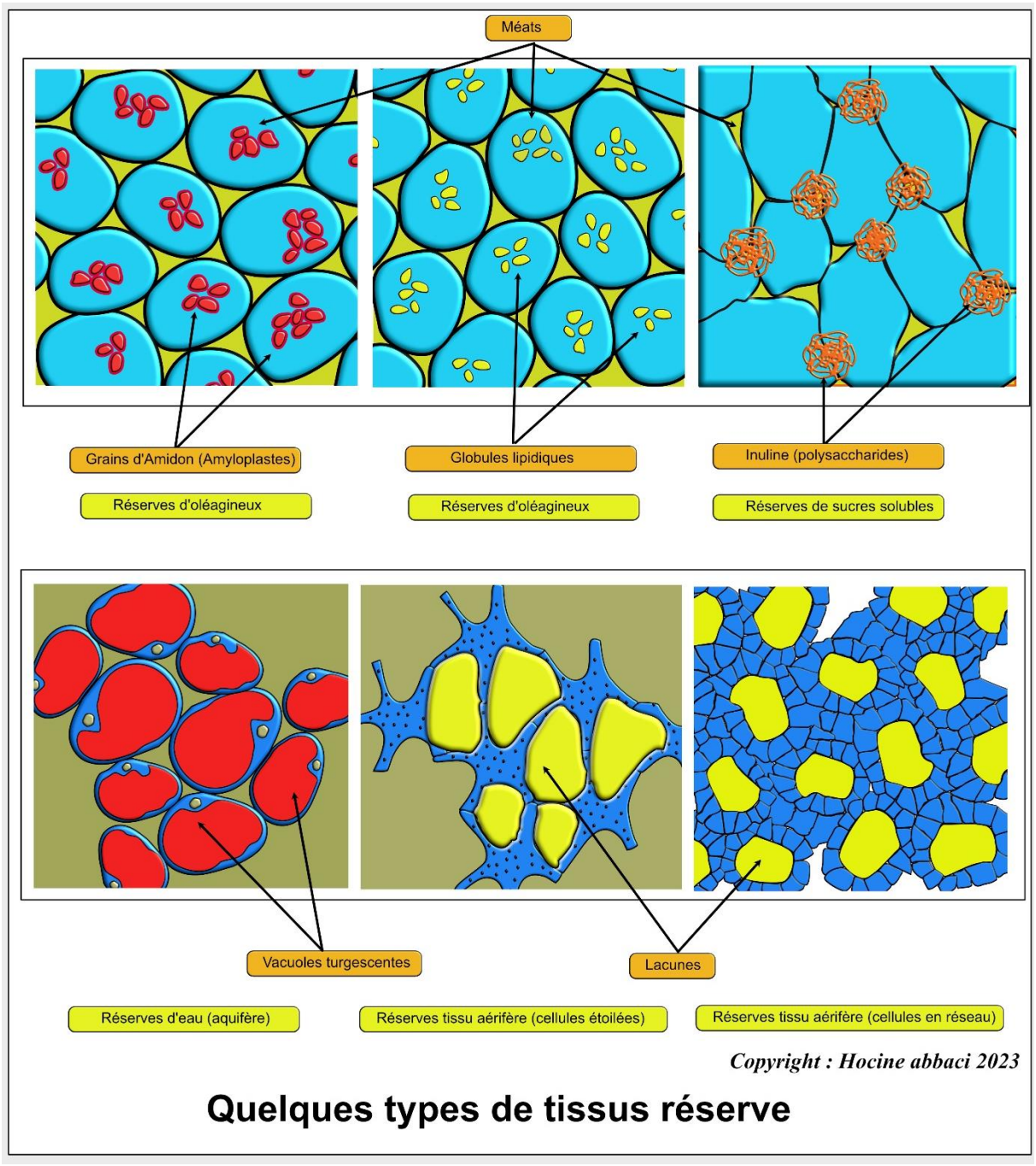


Figure 8 : Illustrations de certains types de tissus de réserve

3-2-1- Les parenchymes amyliféres

C'est un tissu présent et abondant au niveau des organes souterrains notamment les racines et les rhizomes. Le parenchyme amylifére est constitué de cellules renfermant de volumineux grains d'amidon dispersés dans le cytoplasme. Ces grains sont contenus dans des organites appelés amyloplastes. Ces réserves sont surtout utilisées en période de reprise active de la végétation.

3-2-2- Les parenchymes aquifères

Ce sont des parenchymes dont les cellules sont de grande taille pour emmagasiner le maximum de réserves en eau, utilisables par les plantes pendant les périodes de sécheresse. Ces tissus sont très abondants soit dans les tiges, soit dans les feuilles. On les retrouve surtout au niveau des plantes xérophytes vivant dans des milieux à approvisionnement pauvre en eau.

3-2-3- Les aérenchymes ou parenchymes lacuneux

.Les aérenchymes sont des parenchymes lacuneux assez communs dans les feuilles, les tiges et les racines des plantes aquatiques. L'air contenu dans les lacunes sert non seulement à l'aération en emmagasinant le CO_2 et O_2 mais également à donner aux plantes une flottabilité permettant ainsi de capter la lumière à la surface de l'eau pour une photosynthèse efficace. Ce système de poches aérifères permet à l'oxygène de se diffuser à partir des endroits à forte concentration aux endroits de pénurie dans les autres tissus.

3-3-Les tissus de soutien

Ce sont des tissus de renforcement indispensables à la plante qui a le plus souvent un port dressé .On les trouve principalement au niveau des Angiospermes. Le collenchyme et le sclérenchyme appartiennent à ce groupe de tissus végétaux primaires appelés tissus de soutien ou tissus mécaniques.

3-3-1-Les collenchymes

Le collenchyme fait partie des tissus de soutien, rencontré souvent en position périphérique (sous l'épiderme) des tiges ou apparaît sous forme d'amas discrets ou également sous la forme d'un cylindre périphérique qui se trouve, selon les espèces, séparé de l'épiderme par plusieurs couches de parenchyme. Le collenchyme se trouve également en bordure de la nervation des feuilles de dicotylédones mais rarement observable au niveau des racines.

Le collenchyme est absent au niveau des Mousses, de nombreuses Fougères et des Monocotylédones.

Chez les Apiaceae (Ombellifères), il forme des amas bien localisés au niveau des cannelures saillantes des tiges.

Chez les Lamiacées (voir notre TP sur la tige de dicotylédones, *Melissa officinalis*) il est présent aux quatre angles de la tige quadrangulaire, sous l'aspect d'amas en forme de croissant.

Il peut également se présenter sous forme d'un anneau continu sous l'épiderme des tiges. Il est aussi très présent dans les pétioles et les nervures de beaucoup de Dicotylédones comme il a été sus souligné.

Le collenchyme peut également s'associer avec les faisceaux vasculaires en entourant partiellement ou complètement le phloème ou le xylème. Le collenchyme est composé de cellules vivantes isodiamétriques ou allongées appelées sclérites .Les cellules sont flexibles et élastiques, toujours maintenues à l'état primaire sans imprégnation ni de subérine ni de lignine. Cependant, les parois des cellules du collenchyme sont riches en hémicellulose, cellulose et pectine.

Le collenchyme peut avoir comme origine une dédifférenciation du parenchyme. Le collenchyme peut également subir une différenciation réversible par une sorte de dégénérescence vers des états méristématiques. Les parois des cellules du collenchyme sont caractérisées par des dépôts de cellulose et de pectine souvent limités à des épaississements pariétaux au niveau de certaines parties uniques de la paroi.

Selon la position on peut remarquer :

- Collenchyme périphérique dit cortical sous-jacent à l'épiderme
- Collenchyme fasciculaire localisé au niveau des faisceaux cribro-vasculaires

Ces formes de l'épaississement cellulosique ou dépôts à des points précis de la paroi nous permettent de distinguer trois types principaux de collenchymes :

Collenchyme angulaire : Tissus avec absence de méats et présence de dépôts ou épaississements le long des bords des cellules conférant une certaine élasticité donc relativement moins résistant que les autres types. On peut le rencontrer chez certaines espèces présentes en Algérie appartenant aux genres *Pelargonium* , *Ficus, Polygonium, Rumex, Morus* et *Vitis.*

Collenchyme lamellaire ou tangentiel : On le rencontre au niveau de l'écorce de la tige des arbres. Les cellules sont de forme régulière avec des épaississements plus marquants sur leurs parois tangentielles, conférant à ce type de tissu une plus grande solidité que le collenchyme angulaire.

Collenchyme annulaire ou rond : Ce type de tissu parenchymateux se trouve dans certaines tiges et pétioles. Il se caractérise par la présence d'espaces intercellulaires dues aux diverses lacunes qui s'y trouvent. Les dépôts s'observent au niveau de ces espaces intercellulaires où la paroi devenue plus épaisse rend le collenchyme plus résistant.

3-3-2-Les sclérenchymes

Le sclérenchyme est un tissu de soutien dont les cellules ont une paroi primaire de plus en plus épaissie (lignifiée) avec l'âge. Les cellules que l'on qualifie de scléreuses, également appelées sclérocytes acquièrent une fonctionnalité après leurs morts en participant à la dureté et à la rigidité de la plante. C'est donc un tissu qui a la propriété d'édifier un type de paroi qui confère une grande dureté aux cellules donc aux organes qui les contiennent. Le sclérenchyme mature est constitué de cellules mortes rigides et non extensibles dues à l'imprégnation de lignine de la paroi qui garde souvent des teneurs élevées en cellulose (60 % à 80 %).

Le sclérenchyme ne présente ni méats ni lacunes et les parois cellulaires sont soit primaires de nature cellulosique soit secondaires lignifiées. Tissu devenant très dur plus tardivement par le dépôt de la lignine au niveau la lamelle moyenne et fournissant un support plus permanent et plus rigide que le collenchyme. Il faut toutefois noter, que chez les plantes ayant d'importants tissus secondaires, le rôle de soutien est plutôt assuré par les tissus conducteurs secondaires plutôt que par la présence du collenchyme ou du sclérenchyme.

Les cellules de sclérenchyme varient considérablement en ce qui concerne leur origine, leur distribution, leur forme et leur structure. Cependant, elles peuvent être classées en fonction de la taille .Ainsi, deux types de cellules sclérenchymateuses (interdépendantes) sont à noter : les scléréides et les fibres. Un troisième type de sclérenchyme, appelé élément trachéaire ne sera pas mentionné ici mais sera traité au niveau de la partie tissus conducteurs. Cet élément fournit un conduit pour l'eau de la transpiration (flux qui s'écoule des racines vers les feuilles)

- **Les fibres** : Les fibres sont des cellules à paroi épaisse, mortes à maturité, se différencient tôt en cellules allongées (jusqu'à 2 mm) et étroites à lumière réduite, terminées en pointe (généralement 20 μm). Généralement, les fibres ne sont pas associées avec conduction de l'eau, bien qu'un type de fibre notamment la fibre trachéide ait des fosses simples latérales dans leurs parois cellulaires .Les fibres se trouvent dans divers parties de plantes, soit en anneaux continus dans l 'écorce, soit en amas plus ou moins profond associées aux tissus conducteurs. Les fibres sont souvent en association avec des tissus vasculaires, en particulier le phloème dans la croissance primaire et le xylème secondaire (bois). Il faut toutefois noter que les fibres dérivent du pro cambium, alors que les sclerites apparaissent suite à la dédifférenciation de cellules parenchymateuses.

- **Les sclérites ou scléréides :** Les scléréides sont des cellules réduites de sclérenchyme qui se produisent seuls ou en amas (grappes) à divers endroits du corps de la plante tels que les tiges, les téguments, la pulpe des fruits et les feuilles (en particulier dans le mésophylle) .Les cellules sont plus courtes et plus variées (en formes) que les fibres. Les sclérites sont de grandes cellules irrégulières aux parois secondaires épaisses qui sont fortement lignifiées et se présentent souvent sous des formes étoilées. Il existe une grande diversité de scléréides qui sont classés comme : brachyscléréides, astroscléréides, ostéoscléréides ou macroscléréides.Les sclérites sont surtout abondantes dans les organes des xérophytes, plantes adaptées à la sécheresse.

3-4-Les tissus sécréteurs

Les appareils sécréteurs peuvent être constitués de cellules isolées ou groupées hautement spécialisées, capables de produire et secréter certaines substances qui sont des produits du métabolisme secondaire (non constantes dans tout le règne végétale) comme les latex, les huiles essentielles, les tanins, les nectars, l'oxalate de calcium, les gommes, les mucilages… ces produits de sécrétion peuvent s'accumuler au sein même de ces structures sécrétrices ou bien être rejetés hors de leurs contenus … ces produits de sécrétion peuvent êtres utilisables immédiatement ou ultérieurement par la plante ou éliminés à l'extérieur du végétal.

Sur la base de leur localisation on distingue deux catégories de tissus sécréteurs :

- Tissus sécréteurs externes **(**tissus à sécrétion exogène)

Tissus ayant des structures sécrétrices externes comme l'épiderme : les poils sécréteurs (trichomes) et glandes sécrétrices.

- Tissus sécréteurs internes **(**tissus à sécrétion endogène)

Structures sécrétrices internes : cellules sécrétrices isolées, laticifères.

a-Les tissus sécréteurs externes

Les tissus sécréteurs externes peuvent êtres d'origine épidermique ou parenchymateuse : tissus se différenciant soit à partir des cellules épidermiques soit sous épidermiques (tissus plus profonds).Les produits comme les huiles ou les nectars seront éliminés/rejetés à l'extérieur du végétal par des appareils sécréteurs. On peut citer :

a-1- Les cellules sécrétrices de l'épiderme

Les cellules sécrétrices de l'épiderme **(figure 9)** élaborent et accumulent des essences volatiles ou pour certaines d'entre elles, des mucilages….Ces essences sous certain facteurs internes ou externes s'échappent de la cuticule mince et produisent des parfums agréables ou désagréables.

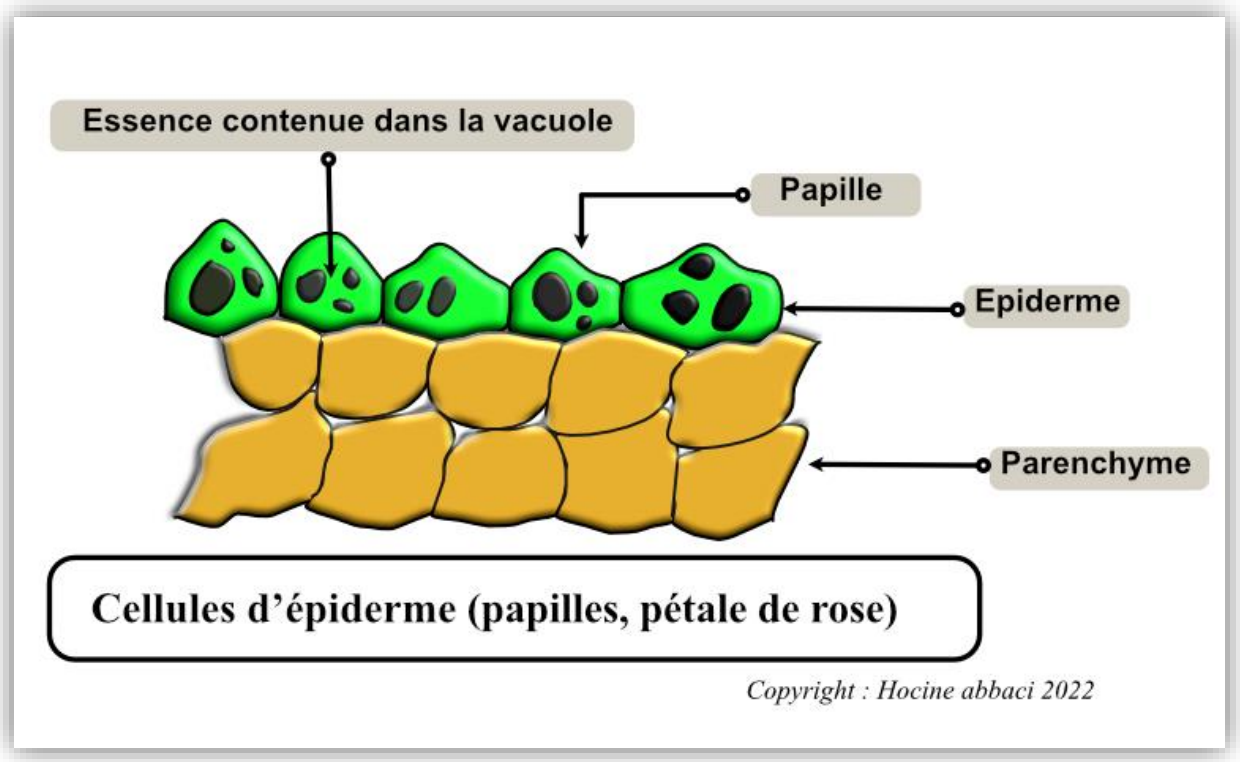


Figure 9 : Schéma de quelques cellules épidermiques (papilles au niveau des pétales de rose)

a-2-Les poils épidermiques

Poils sécréteurs ou poils glandulaires sont des éléments particuliers aux épidermes. Ils sont unicellulaires ou pluricellulaires possédant des cellules terminales accumulant des essences volatiles dont la libération du contenu se fait par la déchirure de la cuticule de l'épiderme.

b-Les tissus sécréteurs internes

b-1- Les cellules sécrétrices isolées

On peut rencontrer des cellules sécrétrices isolées au sein du parenchyme, contenant des

vacuoles remplies de substances du métabolisme secondaire. On peut citer divers produits synthétisés comme le camphre issu de cellules sécrétrices des feuilles du camphrier.

b-2- Les poches sécrétrices

Poches de forme arrondie localisées dans les parenchymes de certaines espèces et certains organes comme les feuilles, les tiges (résine du Pin) et les fruits (péricarpe des agrumes : oranges, mandarines, citrons). Ces cavités sphériques sont délimitées par une série de cellules qui peuvent ou non jouer un rôle dans la sécrétion. La substance peut être libérée avec ou sans destruction de la membrane des cellules dans l'espace intercellulaire correspondant à la lumière de la cavité ou du canal.

b-3-Les canaux sécréteurs

Ce sont des canaux allongés de forme tubulaire avec une orientation dans le sens de la longueur de l'organe. Ces canaux sont entourés par deux assises de cellules : les unes, sécrétrices bordant la lumière dans laquelle le produit est excrété les autres, protectrices entourant les cellules sécrétrices.

b-4- Les laticifères

C'est un ensemble de cellules hautement spécialisées vivantes allongées, ramifiées ou non à paroi primaire cellulosique, observables dans les racines et les parties aériennes. Ces vaisseaux laticifères se développent dans le liber et ont la particularité de contenir du latex. Le mot laticifère vient du latin latex : un liquide visqueux parfois coloré ou non .Le latex est une émulsion d'eau et de substances variées pouvant contenir des glucides , acides organiques, alcaloïdes, sels minéraux, tannins, mucilages, enzymes, terpènes …Comme exemple d'intérêt économique : l'Hévéa, *Hevea brasiliensis* est une plante exploitée pour ses capacités laticifères : la récolte caoutchouc est obtenue en faisant des saignées ou incision dans l'écorce .Un laticifère représente une structure végétale vivante formée de files de cellules allongées ou de tubes coenocytiques dans lesquels les vacuoles souvent de grande taille sont remplies de latex. Suivant leur mode de formation, on distingue deux catégories de laticifères :

- **Les laticifères vrais :** un laticifère vrai dit non-articulé, prend naissance à partir d'une seule cellule parenchymateuse qui se développe donc en s'allongeant considérablement pendant la croissance des organes. Ainsi, le laticifère peut se présenter suivant les espèces, soit sous forme d'un vaisseau non-ramifié, soit un réseau complexe de ramifications dont la cellule est toujours très allongée et multi nucléés. On retrouve souvent les laticifères non-articulés chez les Euphorbiacea.

- **Les laticifères articulés :** C'est un ensemble de cellules vivantes (chaque cellule est un laticifère) qui s'organise en files placées bout à bout formant de longs tubes dont les parois transversales peuvent disparaitre ou persister avec l'apparition de perforations. Dans ce dernier cas, les laticifères peuvent communiquer entre eux.

3-5-Les tissus conducteurs primaires

L'évolution de la vascularisation a été une avancée majeure et indispensable à la colonisation des milieux terres par les plantes. En effet, dépourvues de système vasculaire, les

Bryophytes sont inféodées à des milieux humides en puisant l'eau d'une façon différente. Les plantes terrestres sont dotés de deux systèmes conducteurs principaux, appelés xylème et phloème. Le xylème un tissu souvent présent plus en profondeur dans la plante conducteur d'eau

et de substances dissoutes acheminées du sol à travers les racines vers les tiges et ensuite vers les feuilles. Le phloème plus à la surface transportant les produits de la photosynthèse notamment les sucres fabriqués à partir des tissus chlorophylliens vers d'autres parties de la plante, ainsi que le déplacement d'une variété de régulateurs de croissance.

a-1- Le xylème primaire

Du grec « *xylon* » qui veut dire bois, le xylème est un tissu avec plusieurs types de cellules qui assurent un transport dit ascendant par la conduction de la sève brute de bas en haut. Le xylème primaire prend naissance du procambium , tissu méristématique dont certaines cellules se différencient en bois primaire initial ou protoxylème (cellules de taille réduite, composées de trachéides dont les parois peu lignifiées sont annelées ou spiralées) et du métaxylème se différenciant après le protoxylème au niveau d'un faisceau conducteur dont les cellules sont plus grosses que celles du protoxylème **(figure 10)**. Le xylème est constitué de cellules non vivantes très allongées aux parois épaissies par des dépôts de lignine. Il est composé de deux ensembles distincts **:** des éléments conducteurs (trachéides et les vaisseaux) ainsi que des éléments non conducteurs notamment les fibres et les parenchymes ligneux.

Il faut toutefois noter que deux types d'éléments trachéaires : les trachéides et les éléments vasculaires sont surtout présents chez angiospermes alors que chez les gymnospermes, le xylème est composé habituellement de trachéides et ne différencie pas d'éléments vasculaires (vaisseaux). Les éléments du xylème sont :

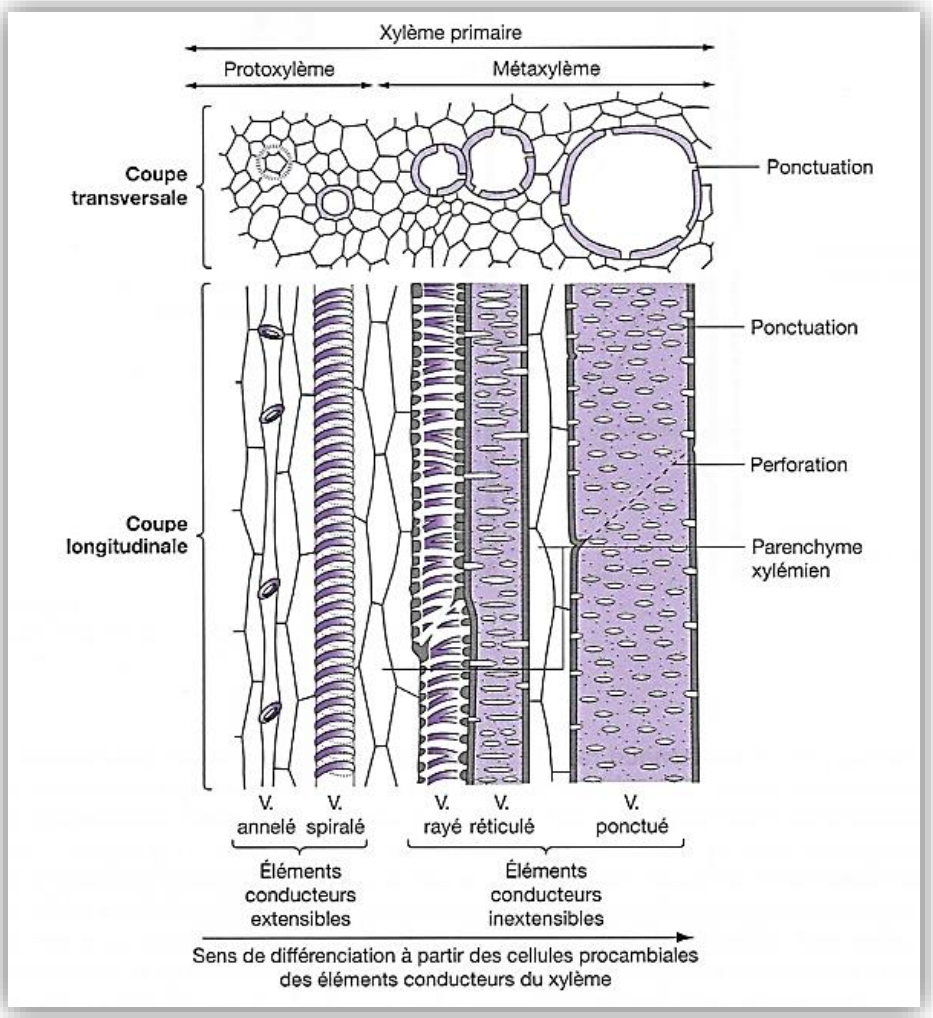


Figure 10 : Evolution des éléments conducteurs du xylème primaire (Tige dicotylédones) (D'après Breuil, 2007)

a-1- 1-Les éléments conducteurs

- **Les trachéides**

Chez les Gymnospermes : À quelques exceptions près, les Gymnospermes n'ont que des trachéides (non perforés), alors que les Angiospermes contiennent à la fois des trachéides et des éléments vasculaires (éléments trachéaires perforés). Cependant, les trachéides des Gymnospermes sont plus variées que les trachéides Angiospermes. Cette diversité à maturité en trachéides peut différer considérablement dans les proportions, la taille, la forme et l'épaisseur de paroi cellulaire : résultat du développement du xylème influencé par des changements saisonniers notamment la demande en eau

Chez les Angiospermes :

Le xylème des Angiospermes renferme des éléments de vaisseaux, aussi appelés vaisseaux vrais et ils sont bien plus développés que chez les autres groupes

de plantes. Le xylème contient deux formes principales d'éléments trachéaires imperforés : les trachéides et les trachées (vaisseaux imparfaits) **(figure 11)**. Tous dérivés du cambium, ces éléments trachéaires partagent des caractéristiques communes notamment la présence d'une paroi cellulaire secondaire et l'absence de perforations. Ces éléments trachéaires ont une forme générale longue et étroite aux extrémités effilées et parois épaisses.

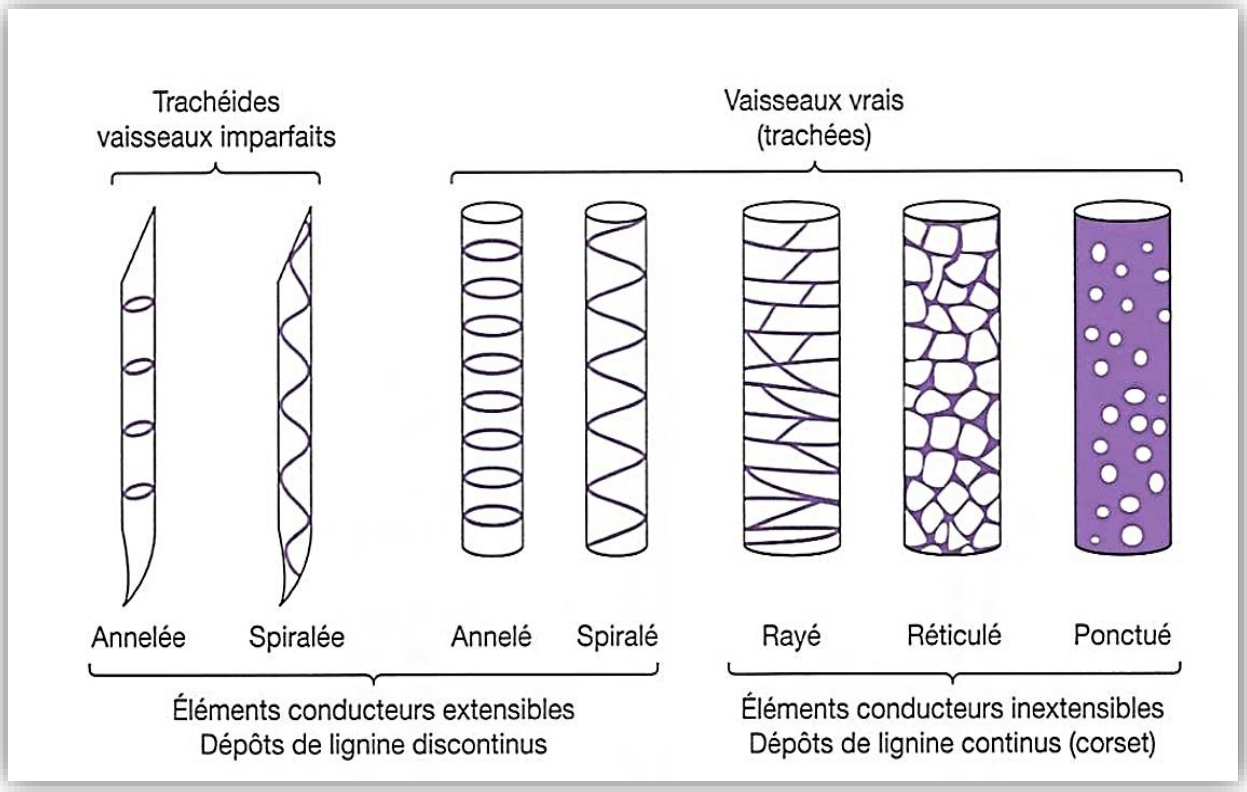


Figure 11: Trachéides et vaisseaux vrais (trachées) illustrant les

principaux modèles de base d'épaississement de la paroi latérale (D'après Breuil, 2007)

- **Les trachéides**

Ce sont des conduits composées d'une suite de cellules mortes vidées de leurs contenus, de forme allongée et sont fusionnées verticalement pour former un conduit creux permettant le transport de la sève brute .Les trachéides appelés également vaisseaux imparfaits sont des éléments primitifs peu différenciés issus du xylème primaire ou protoxylème, pourvus d'épaississements latéraux i m p r é g n é s de lignine présentant des ponctuations aréolés ou spiralés.

- **Les vaisseaux**

Ce sont également de longs tubes constitués d'un ensemble de cellules mortes de forme très allongée .Les cellules sont disposées les unes sur les autres mais

cette fois ci, sans membranes transversales. Les parois latérales sont optimisées pour l'écoulement d'eau latéral. Ces vaisseaux sont caractéristiques des Angiospermes où on note selon le dépôt de la lignine sur les parois latérales, cinq modèles de base d'épaississement de la paroi latérale : annelé, hélicoïdal ou en spiralé, scalariforme, réticulé, et ponctué .Ce dernier présente une paroi presque continue tapissée de perforations (ponctuations) .À quelques exceptions près, cette séquence organisée par degré de complexité, est également ordonnée sur une base évolutive. Comme exemple de la forme la plus simple et la plus économique de modelage de paroi d'élément de vaisseau, est la forme annelée où l'élément de vaisseau présente des épaississements secondaires annulaires lignifiées au niveau des anneaux individuels (séparés les uns des autres)

a-1- 2-Les éléments non conducteurs

- **Les fibres**

Ce sont des prolongements cellulaires non vivants, assurant uniquement un rôle de soutien (par la nature de leurs parois lignifiées très épaisses).

- **Le parenchyme ligneux**

Les éléments vasculaires du xylème, les trachéides et les fibres sont morts à maturité. Cependant, les cellules du parenchyme ligneux sont vivantes impliquées dans le métabolisme du xylème, accumulation des réserves souvent de l'amidon et protection (responsable de la réponse aux agents pathogènes et de la réparation du bois)

b-1- Le phloème primaire

Du grec « phloos » qui signifie écorce, le phloème est un tissu avec plusieurs types de cellules qui assurent un transport descendant mais aussi ascendant par la conduction de la sève élaborée ou sève organique formée par les organes chlorophylliens responsables de la

photosynthèse notamment les feuilles. Les sucres synthétisés sont acheminés vers des compartiments de mise en réserves ou utilisables immédiatement par la plante. Le phloème primaire prend également naissance du procambium, tissu méristématique dont certaines cellules se différencient en proto phloème et méta phloème .La différenciation du phloème primaire se fait toujours de manière centripète au niveau des tiges et les feuilles, il en résulte une disposition superposée faisceaux cribro-vasculaires tandis que le xylème et le phloème sont alternés dans les racines. Le phloème a aussi un rôle de réserve avec les parenchymes et un rôle de soutien avec la présence des fibres libériennes. Le phloème primaire comprend principalement deux types de cellules : les cellules criblées et les cellules compagnes **(figure 12)**.

b-1-1- Les cellules criblées ou tubes criblés

Un tube criblé est une structure sous l'aspect d'un tube continu formé d'une succession de cellules vivantes de petite taille, de forme allongée sans vacuoles. Les cellules communiquent entre elles par des parois transversales adjacentes en forme de tamis (perforées) appelées cribles. Ces cloisons transversales laissent passer la sève élaborée.

b-1- 2- Les cellules compagnes

Ce sont de petites cellules vivantes spécialisées à noyau de forme allongée jouxtant les tubes criblés du phloème. Elles participent au maintien des cellules criblées en les chargeant ou les déchargeant des matériaux acheminés par le phloème.

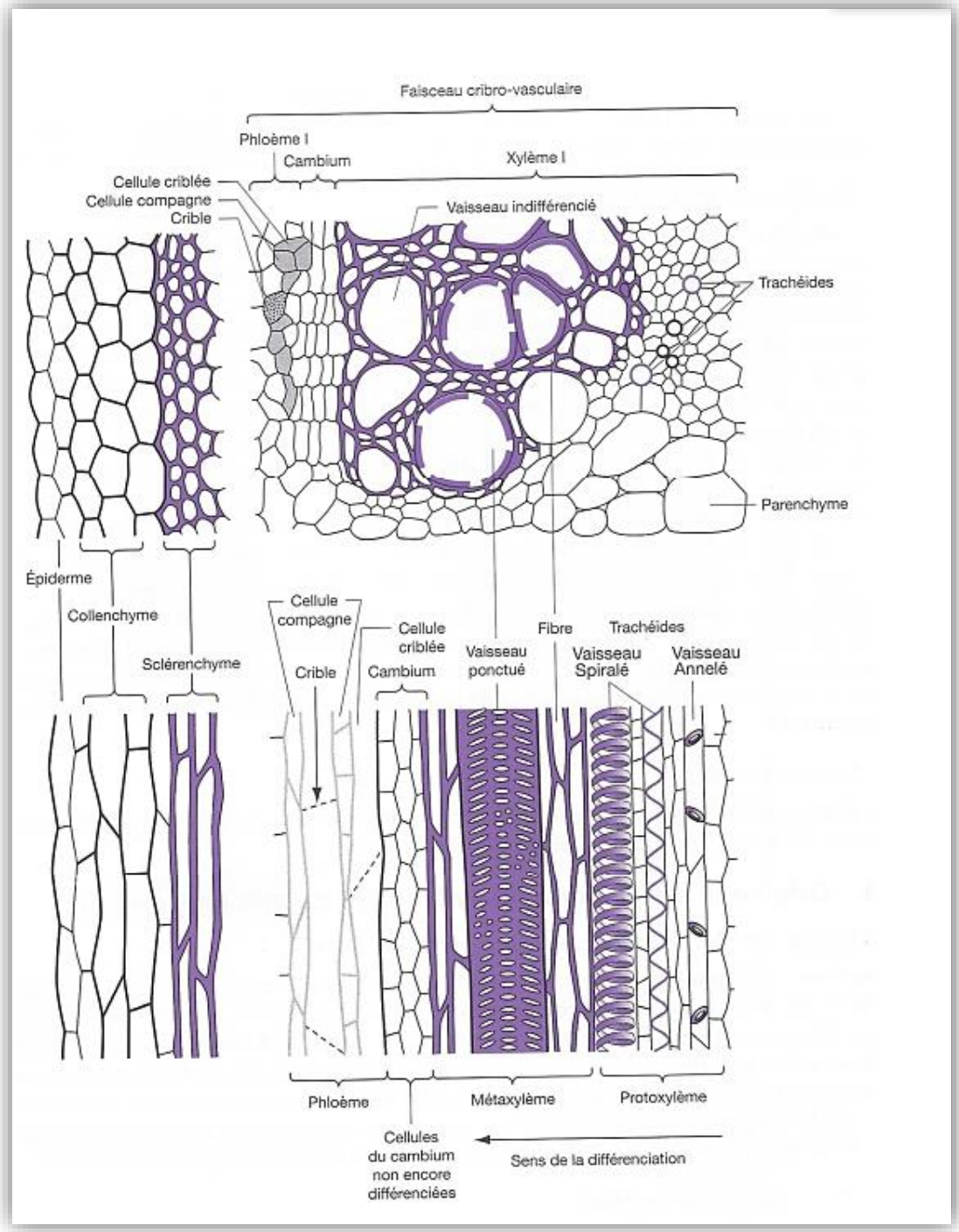


Figure 12 : Organisation des faisceaux cribro-vasculaires (D'après Breuil, 2007)

B- Les tissus secondaires

On note deux types de tissus ou assises génératrices : Cambium libéro-ligneux et subéro-phellodermique (phellogène) responsables de l'édification des éléments secondaires notamment le xylème II, phloème II…….

1-Les méristèmes secondaires

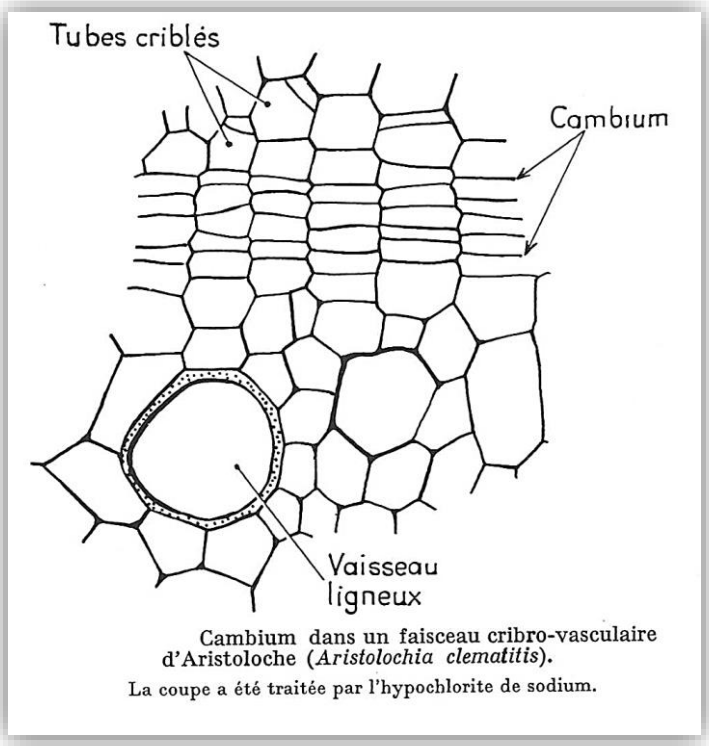
Les méristèmes secondaires ou cambiums sont des structures qui ne se trouvent que dans les organes de Gymnospermes et Angiospermes Dicotylédones et ils assurent leurs croissances en épaisseur. Ces structures sont assez reconnaissables avec leurs contours rectangulaires disposés en rangées régulières présentant des vacuoles très développées.

1-1-Les tissus conducteurs secondaires

Ce sont des tissus conducteurs des sèves brute et élaborée présents dans les organes âgés des Angiospermes Dicotylédones notamment les tiges, les feuilles ou les racines et également présents chez les Gymnospermes. Ils prennent naissance de l'assise génératrice libéro-ligneuse ou cambium libéro-ligneux.

- **Le cambium libéro-ligneux**

L'assise génératrice libéro-ligneuse ou cambium libéro-ligneux (souvent en plusieurs couches et en files régulières*)* est une assise générant le xylème II et phloème II intercalés initialement entre le xylème primaire et le phloème primaire **(figure 13)**.
La zone génératrice formée de cellules vivantes (de forme rectangulaire et à paroi cellulosique) donne naissance au bois (xylème secondaire) dirigé vers l'intérieur et le liber (phloème secondaire) dirigé vers l'extérieur. Ils remplacent graduellement le xylème I et le phloème I tout en assurent également le transport des sèves et le rôle de soutien.



Cambium dans un faisceau cribro-vasculaire d'Aristoloche (*Aristolochia clematitis*).
La coupe a été traitée par l'hypochlorite de sodium.

Figure 13 : Localisation du cambium libéro-ligneux entre xylème et phloème. (D'après Camefort ,1977).)

1-2-Les tissus protecteurs secondaires

Les tissus protecteurs secondaires sont mis en place à partir d'une zone génératrice appelée zone subéro-phellodermique ou phellogène .Ce même phellogène dont l'origine est due à un phénomène de dédifférenciation souvent du parenchyme cortical.

- **Assise subéro-phellodermique**

Le phellogène ou assise subéro-phellodermique se mis en place par un phénomène de dédifférenciation souvent du parenchyme cortical ou parfois du collenchyme. Sur le plan anatomique, le phellogène ressemble à l'assise libéro-ligneuse : c'est un tissu formée de cellules vivantes alignées en files régulières, de forme rectangulaire et à paroi cellulosique mais cette fois situé plus en position corticale de l'organe permettant ainsi de générer des couches protectrices externes dont la paroi est riche en subérine notamment du liège / suber (phellogène) et d'autres vers l'intérieur (phelloderme) dont l'ensemble forme le périderme.

REFERENCES :

BREUIL, M. (2007). Biologie 1re année BCPST-véto. Tec & Doc, Lavoisier, Paris.

CAMEFORT, H. (1977). Morphologie des végétaux vasculaires. *Cytologie. Anatomie. Adaptations.* Doin, Paris, 2e édition (1e édition 1962)

RAYNAL-ROQUES, A. (2006). La botanique redécouverte. *La botanique redécouverte*, 1-520.

Important : Vu le nouveau programme de l'année prochaine qui étalera le module sur deux semestres, ce contenu est valable uniquement pour la préparation des examens pour les L1, semestre II de l'année 2022/2023.

- ***Le texte intégral et certaines illustrations sont le résultat des efforts personnels des enseignants : toute reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement des auteurs est considérée comme plagiat. Il en est de même pour la traduction, l'adaptation ou la reproduction de ce support. Exception faite pour les étudiants de l'Université de Bejaia pour préparer leurs examens.***