



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة وهران للعلوم والتكنولوجيا محمد بوضياف

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed BOUDIAF
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Biotechnologie

**POLYCOPIE de COURS
BIOLOGIE VEGETALE : HISTOLOGIE ET
ANATOMIE VEGETALES
L1- SNV**

Présenté par : Dr. Lahouari CHAA

2020-2021

SOMMAIRE

I. CHAPITRE I. Tissus végétaux	1
1. Méristèmes primaires.....	1
1.1. Méristème primaire racinaire.....	1
1.2. Méristème primaire caulinaire.....	4
1.2.1. Le modèle zoné.....	5
1.2.2. Le modèle en assises.....	6
2. Tissus primaires	8
2.1. Tissus de revêtement.....	8
2.1.1. Epiderme.....	8
A. Cutinisation et Cuticule.....	9
B. Les poils.....	10
2.1.2. Rhizoderme.....	11
2.2. Tissus de remplissage.....	12
2.2.1. Parenchyme Chlorophyllien.....	13
2.2.2. Parenchyme de réserve.....	13
2.2.3. Parenchyme aquifère.....	14
2.2.4. Parenchyme Aérifère.....	14
2.3. Tissus de Soutien.....	15
2.3.1. Le Collenchyme.....	15
2.3.2. Le Sclérenchyme.....	16
2.4. Tissus Conducteurs.....	18
2.4.1. Le xylème.....	18
Différenciation du Xylème I ^{aire}	21
2.4.2. Phloème.....	21
2.5. Tissus sécréteurs.....	22
2.5.1. Cellules sécrétrices.....	22
2.5.2. Epiderme et poils sécréteurs.....	22
2.5.3 Poches et canaux excréteurs.....	23
3. Méristèmes secondaires.....	24
3.1. Le cambium libéro-ligneux (ou cambium vasculaire).....	25
3.1.1. Le xylème secondaire ou bois.....	27
3.1.2. Le phloème secondaire ou liber.....	28
3.2. Le cambium subéro-phéllodermique (ou Phéllogène).....	28

CHAPITRE II. Anatomie des végétaux supérieurs.....	31
1. Etude de la racine.....	31
1.1. Types de racines.....	31
1.2. Anatomie de la racine.....	33
2. Etude de la tige.....	36
2.1. Anatomie d'une structure primaire de tige de dicotylédones.....	36
2.2. Anatomie d'une structure primaire de tige de monocotylédones.....	38
3. Etude de la feuille.....	39
3.1. Anatomie du limbe des dicotylédones.....	39
3.2. Anatomie du limbe des monocotylédones.....	41
4. Etude de la fleur.....	43
4.1. Le périanthe.....	43
4.2. L'androcée.....	45
4.3. Le gynécée.....	45
Références Bibliographiques.....	47

Ce présent manuel, a pour objectif de présenter les bases de la biologie Végétale pour les étudiants de première année, du domaine des Sciences de la Nature et de la Vie.

Dans ce manuscrit, nous avons mis l'accent, essentiellement sur l'aspect anatomique et histologique du végétal.

I. Différents types de tissus

Chez les animaux, l'initiation des organes se termine au cours de l'embryogenèse, mais les plantes maintiennent l'organogénèse des cellules souches situées dans les méristèmes tout au long de leur cycle de vie (Aichinger et al., 2012; Murray et al., 2012).

Ces méristèmes contiennent des cellules caractérisées par leur état indifférencié. Généralement de taille réduite, isodiamétriques, elles ne sont pas encore ou peu vacuolisées. Leur paroi, dépourvue d'incrassations tertiaires, est pecto-cellulosique, peu épaisse. Le cytoplasme y est relativement dense, le noyau volumineux. Les organites qui s'y accumulent n'ont eux-mêmes pas commencé - ou peu - leur différenciation. Leur nombre est encore faible. Ces cellules sont situées dans une zone très active, dans laquelle s'initient des divisions cellulaires, donnant ainsi naissance à un ensemble de nouvelles cellules, capables de se spécialiser en n'importe quel tissu ou organe végétal.

On distingue deux catégories de méristèmes : les méristèmes primaires qui assurent la croissance longitudinale, en mettant en place des tissus primaires et les méristèmes secondaires, assurant la croissance radiale, par la mise en place des tissus secondaires.

1. Méristèmes primaires

Situés à l'extrémité des racines et des tiges, ces méristèmes sont à l'origine de tous les tissus primaires des divers organes (tige, racine, feuille). En raison de leur fonction et de leur situation dans le végétal, ces ensembles de cellules sont nommés méristèmes apicaux caulinaires (du grec *caulos*, « tige ») à l'origine de la tige et racinaires à l'origine de la racine.

1.1. Méristème primaire racinaire

Le système racinaire est un des éléments essentiels d'une plante. Il existe une grande diversité de type, de morphologie et d'architecture dans les systèmes racinaires. Il sert à de multiples fonctions. Notamment il permet à la plante :

- de s'ancrer au sol. Selon la granulométrie du substrat, la racine se développe et se ramifie plus ou moins. C'est le développement du système racinaire qui assure le maintien des sols et limite ainsi l'érosion.

- d'accumuler des réserves. Ces réserves en carbone (sucres) et nutriments se constituent pour certaines poacées dans les rhizomes.

Le méristème racinaire se situe dans l'apex derrière la coiffe. Le méristème apical est le point de croissance qui donne naissance aux cellules formant les tissus primaires construisant la racine.

La zone où se produit la croissance est protégée par une coiffe, qui est une masse de parenchyme protégeant ainsi le méristème apical sousjacent et favorisant la pénétration de la racine dans le sol (**Fig. 01**).

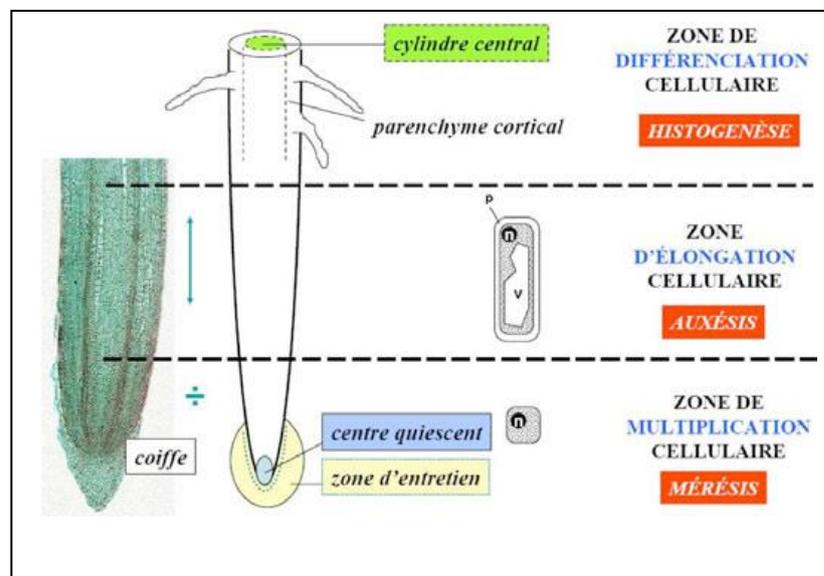


Figure 01. Représentation de l'extrémité apicale d'une racine, montrant ses différentes zones.

A mesure que la racine s'allonge et que la coiffe est poussée en avant, les cellules périphériques de la coiffe, couvertes de polysides constituant le mucigel (pectine), se détachent. Ces cellules suberifiées ont ainsi une durée de vie de quelques jours (De Kroon & Visser, 2003 ; Raven et al., 2003) et se renouvèlent constamment, grâce au méristème d'entretien de la coiffe, constitué de cellules aplaties, au cycle cellulaire très court.

Au dessus du méristème d'entretien de la coiffe se trouve le centre quiescent, une zone sphérique d'environ 0.1 millimètre de diamètre, dont les cellules se divisent très rarement.

Au sein de la coiffe, des cellules possèdent plus d'amyloplastes que les autres parties de la plante, les statocytes (**Fig. 02**). Ces cellules riches en amyloplast (Statolytes), dont la décantation est responsable de l'orientation de la racine dans le sens de la gravité (**Fig. 02**).

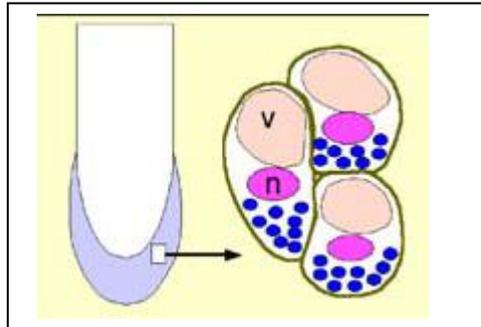


Figure 02. Représentation de phénomène de décantation des statolytes, responsable de la géoperception chez la racine.

Il en suit une zone d'allongement limitée à quelques millimètres (**Fig. 03**), suivie d'une zone pilifère (zone de différenciation cellulaire). Dans cette dernière zone, chaque poil absorbant est constitué d'une seule cellule très allongée à grande vacuole, dont les parois nues facilitent l'absorption de l'eau et des sels minéraux par osmose.

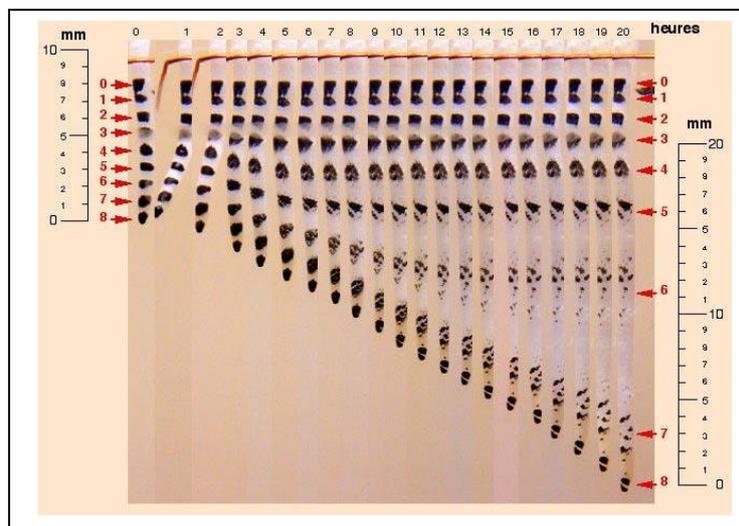


Figure 03 : Reproduction d'une expérience de suivi de croissance racinaire réalisée par Von Sachs en 1882 (<http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/racine/01-sachs.htm>)

1.2. Méristème primaire caulinaire

La tige est, chez les plantes, l'axe généralement aérien prolonge la racine et porte les bourgeons et les feuilles. La tige se ramifie généralement en branches et rameaux, formant l'appareil caulinaire.

Il existe des tiges souterraines, comme il existe des racines aériennes. La transition entre la tige et la racine est appelée «Le Collet».

Au niveau de la plante, l'appareil caulinaire assure différents rôles, à savoir, le soutien, l'acquisition de l'énergie lumineuse et les échanges gazeux.

Le méristème apical caulinaire :

C'est une structure dynamique, qui ne se contente pas d'ajouter des cellules à la structure laire de la plante : Elle produit, en outre, de façon répétée des primordiums de feuilles et des bourgeons.

Contrairement au méristème apical racinaire, protégé par sa coiffe, celui de la tige ne possède aucune protection spécialisée au cours de la croissance végétative. Il est, cependant, souvent enveloppé par la courbure des jeunes feuilles qui assure sa protection (**Fig. 04**)

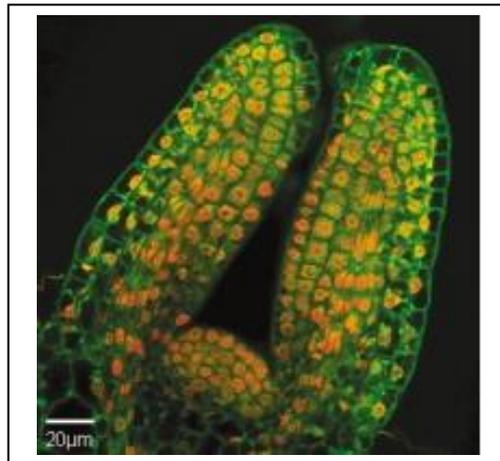


Figure 04. Observation en microscopie confocale du méristème apical végétatif d'une plantule d'*Arabidopsis* au stade 6 jours après germination (Autran et Traas, 2001)

Le méristème apical caulinaire, met en place :

- Les tissus de la tige (Fonction histogène) : de revêtement, de soutien et de conduction.
- Les feuilles (Fonction organogène).

Les botanistes ont proposé deux modèles d'organisation du méristème apical caulinaire : Le modèle zoné et le modèle en assises cellulaires.

1.2.1. Le modèle zoné Proposé par Buvat R. (1952):

Selon ce modèle, proposé en 1952, par Buvat R., le méristème apical caulinaire est un dôme, divisé en trois zones, définies sur la base de critères cytologiques, tels que la taille cellulaire, la densité cytoplasmique et le taux de prolifération cellulaire. (**Fig. 05**)

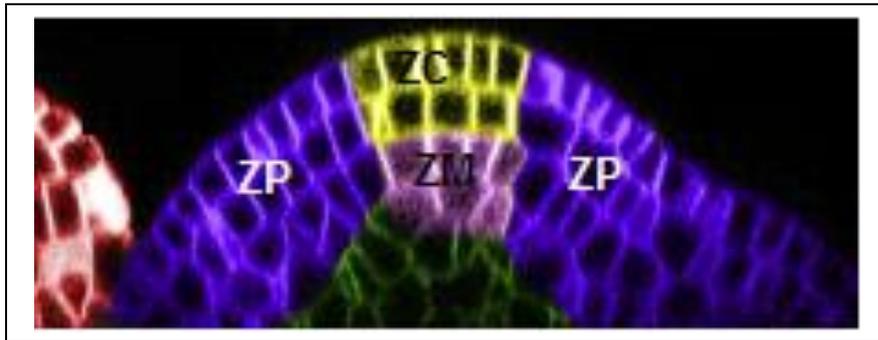


Figure 05. Vue schématique des zones de développement du méristème apical caulinaire chez *Arabidopsis*. (ZC. Zone centrale ; ZP. Zone périphérique ; ZM. Zone médullaire). (Soyars et al., 2016)

La Zone Centrale : Elle est peut fonctionnelle, nommée méristème d'attente, constituée de cellules, dont l'activité mitotique est faible et dont le cycle cellulaire est de longue durée. Ces cellules sont assez vacuolisées, pauvres en ARN et protéines, dont les noyaux ont de petits nucléoles.

Cette zone, assure la régénération des cellules de la zone périphérique et celles de la zone médullaire.

La Zone Périphérique : Contient des cellules ayant une activité mitotique intense et dont le cycle cellulaire est 2 à 3 fois plus court que celui des cellules de la zone centrale. Ces différences observées dans la durée du cycle cellulaire peuvent varier significativement d'une espèce à l'autre : ainsi, chez le riz, les cellules de la zone périphérique se divisent huit fois plus vite que celles de la zone centrale, alors que chez le pois, ce rapport varie entre 1,2 et 2,4 (Lyndon, 1976 ; Francis et al., 1998).

Les cellules de cette zone, sont de taille plus petite qu'en zone centrale, plus riches en ARN et protéines. Le cytoplasme y est dense et les vacuoles très petites. Les noyaux occupent presque tout le volume cellulaire et les nucléoles sont de grande taille.

Il s'agit d'une zone organogène, qui initie les organes latéraux (feuilles, pièces florales, bourgeons axillaires).

La Zone Médullaire : Constituée de cellules, dont l'activité mitotique et la durée du cycle cellulaire, ont des caractères intermédiaires entre ceux des deux zones précédentes. En coupe longitudinale, ces cellules apparaissent aplaties. Elles sont très vacuolisées et contiennent des grains d'amidon relativement gros. Elles se divisent presque exclusivement de façon péricline.

Il s'agit d'une région histogène qui met en place les tissus centraux de la tige.

1.2.2. Le modèle en assises

Appelé également modèle *tunica-corpus*. Proposé en 1924 par Schmidt A., ce modèle suggère que les initiales du méristème apical caulinaire constituent plusieurs assises cellulaires (**Fig. 06**).

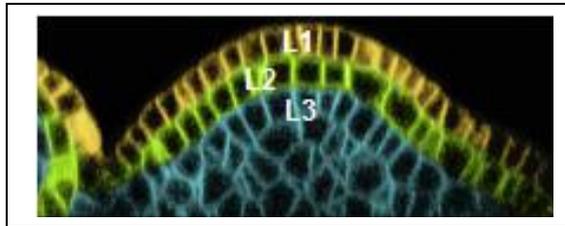


Figure 06. Vue schématique des couches cellulaires du méristème apical caulinaire chez dans *Arabidopsis*. (Cellules de la couche L1 (en jaune), de la couche L2 (en vert) et de la couche L3 (en bleu)). (Soyars et al., 2016)

Selon ce modèle, La zone superficielle de l'apex est constituée de trois couches L1, L2 et L3, dont l'ensemble est nommé *tunica*. Les couches L1 et L2 ne se divisent que de façon anticline, alors que la couche L3 subit à la fois des divisions anticlines et périclines (**Fig.07**). La *tunica* assurerait donc la croissance en surface, le corpus par contre contribuerait à l'accroissement en volume du méristème.

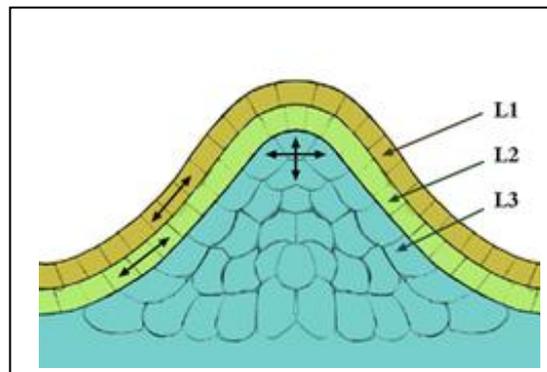


Figure 07. Représentation schématique montrant le sens de divisions des cellules des couches L1, L2 (anticlines) et L3 (anticlines et periclines) de la zone *tunica* de l'apex caulinaire.

En général, la L1 produit le protoderme puis l'épiderme des feuilles tandis que la L2 et la L3 et le corpus contribuent à la mise en place des tissus internes de la tige et des feuilles.

2. Tissus primaires

2.1. Tissus de revêtement

Les tissus de revêtement protègent la plante. Ils sont constitués de cellules parenchymateuses qui sont ensuite modifiées, afin de protéger la plante contre les détériorations physiques et la dessiccation.

2.1.1. Epiderme :

C'est un tissu superficiel, recouvrant les tissus des organes aériens (tige, feuille, fleurs et fruit). Il est formé d'une seule couche de cellules, possédant, habituellement une forme régulière et étroitement juxtaposées.

Les cellules épidermiques, sont des cellules vivantes, dont le cytoplasme possède des pigments responsables de la couleur de certains organes, tels que les fleurs, les fruits et certaines feuilles.

Elles sont interrompues par des ouvertures appelées *Ostioles*, donnant accès à la chambre sous-stomatique. L'ostiole est bordée par deux cellules épidermiques, spécialisées et réniformes, appelées *Cellules de garde*. L'ensemble constitue une structure appelée *Stomate* (**Fig. 08**).

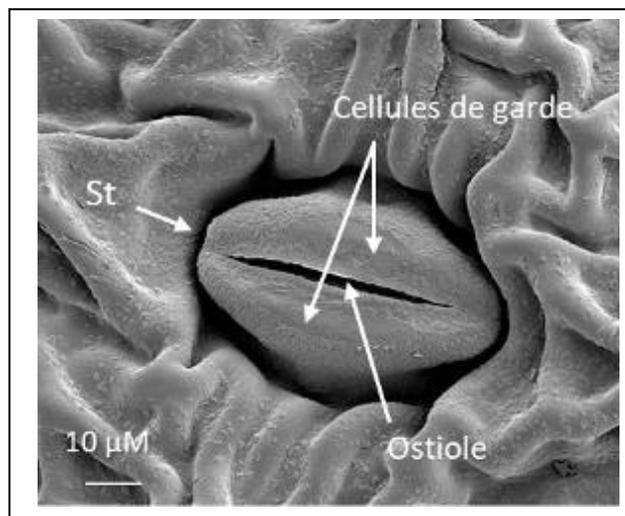


Figure 08 : Observation microscopique d'un stomate d'une feuille de *Haemanthus albiflos*. St. Stomate. (Dulnik, 2015)

Les stomates sont généralement, situés sur la face inférieure des feuilles. Ils sont rares chez les tiges, à l'exception des végétaux où le système foliaire est réduit (Ex. Plantes adaptées à la sécheresse – Les xérophytes-). Leur nombre varie selon l'espèce et l'emplacement sur la feuille (absents chez les plantes immergées, présents seulement sur les faces supérieures au contact de l'atmosphère chez les

plantes flottantes ; chez les Dicotylédones ils sont plus nombreux sur les faces inférieures, protégées de la lumière) (Willmer et Frickker, 1996).

Ces stomates sont considérés comme des pores épidermiques intervenant dans la régulation des échanges gazeux, l'absorption du CO₂ photosynthétique et l'évaporation de la majeure partie de l'eau absorbée par la plante (~95%), mécanisme indispensable à la montée de la sève brute et donc au transport des solutés depuis les racines (Willmer et Fricker, 1996 ; Maricle et al., 2009).

Les deux cellules de garde sont isolées du réseau symplasmique des cellules de l'épiderme et du mésophylle puisqu'elles ne présentent aucun plasmodesme (Wille et Lucas, 1984). De plus, elles possèdent une paroi interne épaissie et un réseau de microfibrilles de cellulose à orientation radiale. Ces propriétés structurales leur permettent de gonfler et de se déformer en réponse à un changement de turgescence (Franks et al., 1998; Franks et al., 2001). La régulation de l'état de turgescence des cellules de garde permet donc de moduler l'état d'ouverture du pore stomatique.

A. Cutinisation et Cuticule :

La paroi externe de l'épiderme est épaisse, imprégnée d'une substance de nature lipidique, imperméable, produite par le cytoplasme, formant la cuticule. C'est une couche hydrophobe, extracellulaire recouvrant l'épiderme de toutes les plantes terrestres. (Fig. 09).

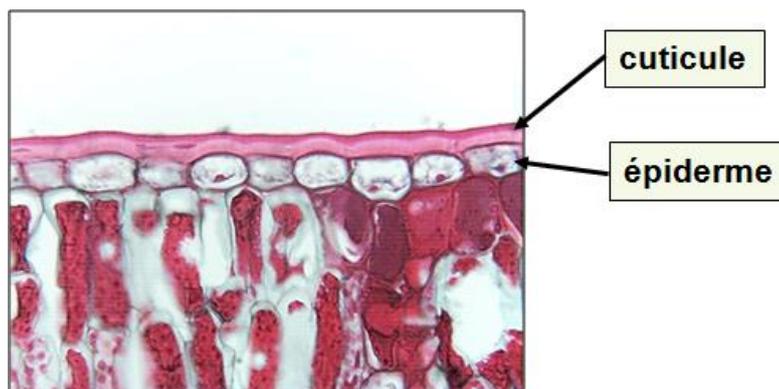


Figure 09 : Observation microscopique d'un épiderme de feuille cutinisé.

L'épaisseur de la cuticule varie d'une espèce à une autre ; Elle est faible chez les plantes qui vivent dans le milieu humide et importante chez les plantes qui vivent en milieu sec.

Grâce à ses propriétés hydrophobes, la cuticule offre, à la plante, une protection contre la dessiccation et les contraintes environnementales externes.

La cuticule peut être recouverte d'une couche de cire, plus ou moins, épaisse (Ex. épiderme des feuilles de chou ou du palmier).

La cuticule de la plante présente enfin une barrière physique aux agents pathogènes (champignons, par exemple), du moins contre ceux qui entrent dans la feuille via les stomates ou les blessures. Certains agents pathogènes peuvent hydrolyser le polymère de cutine en monomères qui agissent alors comme éliciteurs de réponses de défense de la plante (Yeats et Rose, 2013).

B. Les poils :

Chez de nombreuses plantes, l'épiderme porte des poils de forme et de structure variées (**Fig. 10**), ayant essentiellement comme rôle : la protection et le stockage.

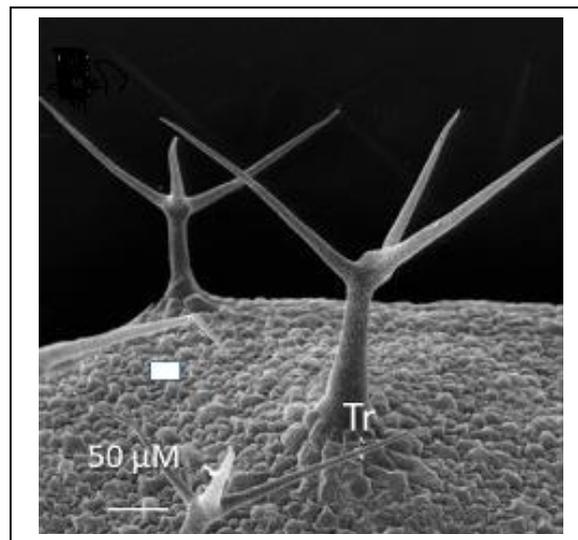


Figure 10. Observation microscopique de la surface inférieure d'une feuille d'*Arabidopsis thaliana*, montrant des poils.

Pouvant contenir des terpènes, des composés phénoliques, des alcaloïdes ou d'autres substances répulsives qui jouent un rôle important dans les réactions de défense de la plante face aux insectes ou autres prédateurs.

2.1.2 Rhizoderme :

Le rhizoderme est le tissu primaire de revêtement, le plus externe de la racine, dérivant des initiales de la coiffe, ou d'écorce, selon l'espèce. Il recouvre la partie jeune de la racine, de la zone subapicale jusqu'aux couches subéreuses.

Le rhizoderme est formé de deux types de cellules :

Les Trichoblastes, celles qui développent des poils absorbants et les Atrichoblastes, celles qui n'en développent pas. Ces Cellules sont caractérisées par la présence d'une paroi cellulaire mince et sans cuticule.

De petites tailles, les poils absorbants sont très nombreux, leur densité pouvant atteindre 400 par cm². Aussi développent-ils une surface de contact pouvant être plusieurs dizaines de fois supérieure à celle des feuilles. Ceci est d'un grand intérêt pour la plante, puisque c'est à leur niveau que se fait l'absorption de l'eau et des sels minéraux.

Après la chute des poils absorbants, la zone pilifère se transforme en zone subéreuse, composée de cellules mortes à paroi subérifiée.

2.2. Tissus de remplissage

C'est un tissu à cellules vivantes, vacuolisées, peu différenciées, à parois généralement minces et pectocellulosiques. Tout en représentant un état peu avancé dans l'évolution des tissus, les cellules parenchymateuses, peuvent se dédifférencier.

Il constitue un groupe fondamental de tissus, en considérant la place importante qu'il occupe dans les organes végétaux (Racine, Tige, Feuille et fruits) (**Fig. 11**).

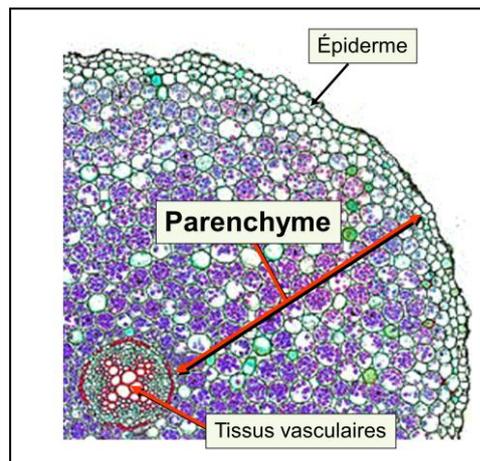


Figure 11. Coupe transversale de racine, montrant la place importante qu'occupe le parenchyme.

La fonction capitale qu'il remplit est la Photosynthèse et l'accumulation des réserves. Ses cellules peuvent être jointive (*parenchyme compact*) (**Fig. 12-A**). Parfois, elles sont séparées par de petits espaces, où on parle de parenchyme à méats (*méatifère*) (**Fig. 12-B**). Elles peuvent être également séparées par de grands espaces, où on parle de *parenchyme lacuneux* (**Fig. 12-C**).

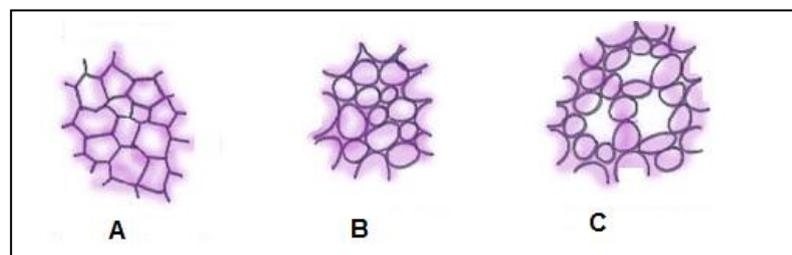


Figure 12. Représentation des trois types du parenchyme (A. Compact ; B. méatifère ; C. Lacuneux)

En fonction de leur rôle, on distingue plusieurs sortes de parenchymes :

2.2.1. Parenchyme Chlorophyllien

Il est caractérisé par la présence de nombreux chloroplastes dans ses cellules. Il est abondant dans les organes aériens. Dans les tiges, le parenchyme chlorophyllien est appelé Chlorenchyme. Dans les feuilles, il est appelé Mésophylle (**Fig. 13**).

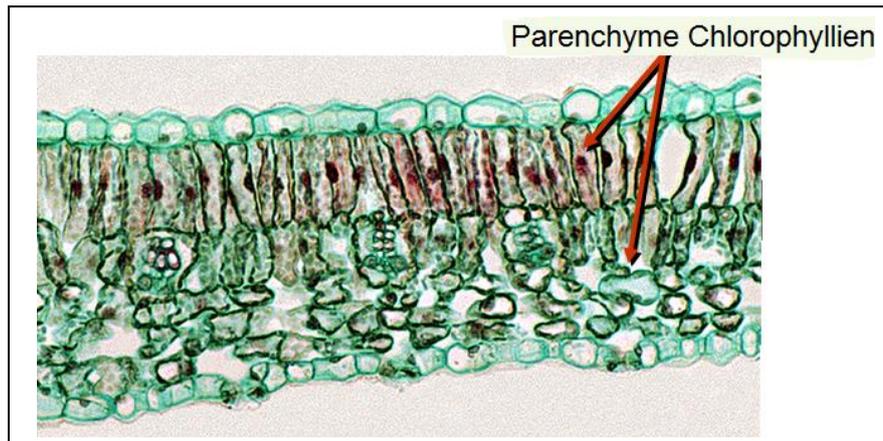


Figure 13. Coupe montrant le parenchyme Chlorophyllien d'une feuille.

2.2.2. Parenchyme de réserve

Dans les organes souterrains, tels que les racines (Carotte, Betterave) et les tiges souterraines (Rhizomes), les parenchymes sont dépourvus de chlorophylle, mais leurs cellules contiennent d'abondantes réserves, tels que :

- L'amidon, au niveau des plastes (**Fig 14**).
- Protéines (aleurone) et glucides dans les vacuoles.
- Lipides dans le cytoplasme (parenchyme des graines et fruits oléagineux)

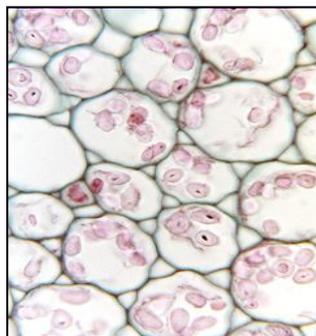


Figure 14. Cellules parenchymateuses riches en amyloplast.

2.2.3. Parenchyme aquifère

Il est formé de cellules de grandes dimensions, à cytoplasme réduit, pourvues de vacuoles très développées, riches en eau et mucilage (Substances glucidiques).

Les parenchymes aquifères sont abondants au niveau des tiges et des feuilles (**Fig. 15**) des plantes succulentes (Plantes grasses), où ils constituent une réserve d'eau vitale en période de sécheresse.

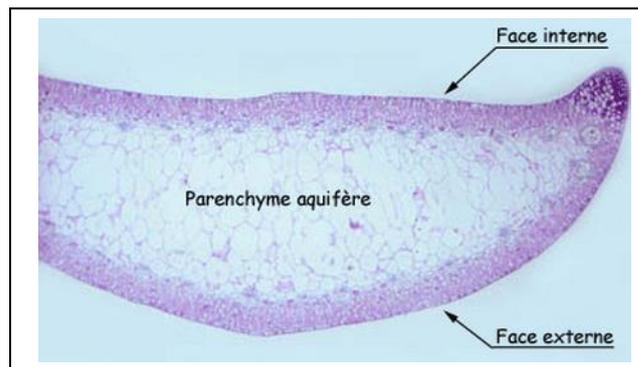


Figure 15 : Observation d'une coupe transversale d'un limbe d'Aloes (*Aloe vera*), où le parenchyme aquifère occupe la quasi-totalité de la feuille (source : www.snv.jussieu.fr)

2.2.4. Parenchyme Aérifère

Il est fréquent chez les plantes aquatiques. Il est caractérisé par la présence de grands espaces intercellulaires (Lacunes), emmagasinant de l'air (**Fig. 16**). Il est appelé, aussi, Aérenchyme.

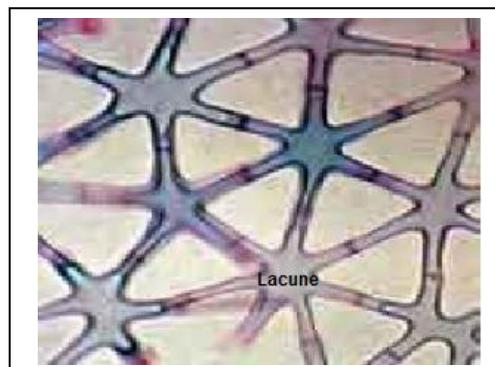


Figure 16. Parenchyme Aérifère dans une tige de Jonc (*Juncus effusus*)

2.3. Tissus de Soutien

Il assure la rigidité et la solidité des organes (généralement les organes aériens). Leurs cellules diffèrent des cellules du parenchyme par l'épaisseur et/ou la nature chimique de leur paroi. On distingue deux types de tissus :

2.3.1. Le Collenchyme

Tissus vivant, cellulosique, présent dans les organes aériens, en croissance. Localisé immédiatement sous l'épiderme, où il se trouve, au niveau des tiges et des pétioles, sous forme d'anneaux ou d'îlots (**Fig. 17**), ou accolé à des vaisseaux conducteurs dans les pétioles ou les limbes des feuilles. Le collenchyme est formé d'un ensemble de cellules, de forme isodiamétrique ou allongée, appelées Collocytes, dont les parois sont épaissies par un dépôt de cellulose.

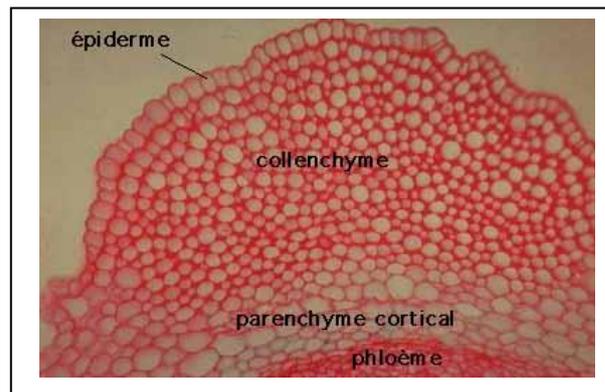


Figure 17. Observation microscopique d'une portion de collenchyme, au niveau d'une coupe transversale de tige de lamier (source :http://uel.unisciel.fr/biologie/module1/module1_ch03/co/observer_ch3_01.html)

En fonction de l'épaississement des parois, on distingue différents types de collenchyme :

Collenchyme angulaire : épaississement cellulosique de la paroi aux angles. Il est le moins résistant mais le plus étirable.

Collenchyme tangentiel : épaississement des parois tangentielles seulement (parois parallèles à la surface externe).

Collenchyme Rond (annulaire) : dépôt de cellulose uniformément réparti tout autour de la paroi. Il est rencontré essentiellement au niveau de certaines tiges et des pétioles.

Les parois du collenchyme sont plastique (élastique) donc, il y'a possibilité d'extension des organes.

2.3.2. Le Sclérenchyme

Se trouvant généralement plus en profondeur que le collenchyme, le Sclérenchyme est formé de cellules allongées, appelées Sclérocytes, à paroi secondaire entièrement lignifiée. Il est inextensible, donc présent dans les organes âgés à croissance achevée. D'après la forme des Sclérocytes, on distingue :

- Les Fibres : Cellules fusiformes, très allongées, à lumière étroite. Leur parois est lignifiée, mais il existe, également, des fibres cellulosiques (Ex. Fibres du Cotton).
- Les sclérites : Cellules courtes, de forme variable à parois épaisse et lignifiée. Elles peuvent être isolées au sein du parenchyme ou groupés en amas ou en assises continues.

Le Sclérenchyme est observé surtout dans les organes aériens et plus rarement dans les racines. L'épaisseur et la lignification des parois, donnent au sclérenchyme une dureté et une rigidité plus grande que celle du collenchyme.

Chez les végétaux pourvus d'importants tissus secondaires comme les arbres, le rôle de soutien n'est plus assuré ni par le collenchyme ni par le sclérenchyme, mais par les tissus conducteurs (xylème et phloème).

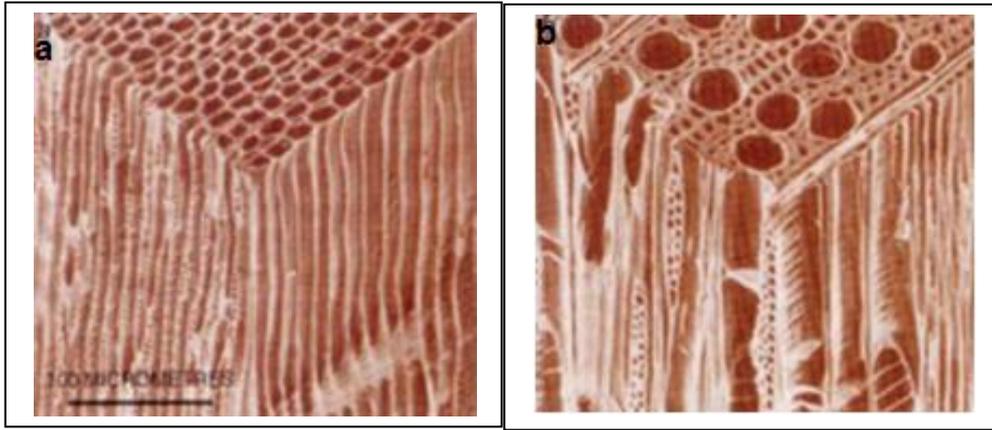


Figure 18. Eléments conducteurs de la sève brute : Les trachéides (a) dans le cas des gymnospermes et des vaisseaux (b) dans le cas des angiospermes (Cruziat et al., 2003)

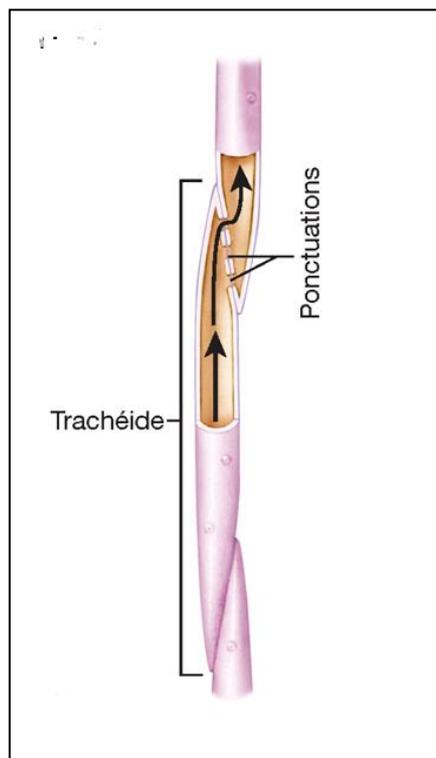


Figure 19. Représentation d'un alignement de trachéides, qui communiquent entre elles par des ponctuations.

2.4. Tissus Conducteurs

Les tissus conducteurs, assurent la conduction de l'eau, des sels minéraux et des substances nutritives au sein du végétal. On distingue deux types de tissus : Le xylème et le Phloème.

2.4.1. Le xylème

La conduction de la sève brute (eau et ses minéraux), absorbée par les racines, dans l'ensemble de la plante, s'effectue au sein du système Vasculaire, dans des éléments conducteurs spécialisés rigides, lignifiés et dépourvus de Protoplasme, appelés éléments xylémiens.

On distingue deux types d'éléments conducteurs : les trachéides, caractéristiques des gymnospermes, et les vaisseaux, caractéristiques de la majorité des Angiospermes (Esau, 1977) (**Fig. 18**)

D'un point de vue évolutif, Les trachéides sont les 1^{ères} cellules conductrices de l'eau qui sont apparues chez les plantes (Carlquist 2001) ; elles dérivent d'une seule initiale cambiale.

Appelés aussi Vaisseaux imparfaits, les trachéides, représentent les seuls éléments conducteurs chez les gymnospermes, présentes sous forme de files longitudinales de cellules cloisonnées, s'alignant les unes au dessus des autres, d'un diamètre de 10 à 40 μm (**Fig. 19**).

Les punctuations des trachéides permettent à l'eau et aux sels minéraux de passer d'une trachéide à l'autre, qu'elle soit située au dessus, au dessous ou à côté.

En plus des trachéides, le xylème des angiospermes, est caractérisé par la présence d'un autre type d'éléments conducteurs, appelés *éléments de vaisseaux*, assurant une conduction plus rapide que les trachéides.

Comme les trachéides, les vaisseaux sont des cellules mortes, dont les parois, longitudinales sont épaisses et lignifiées. Ces derniers communiquent entre eux par des perforations résultant de la lyse partielle ou totale de la paroi transversale (Nakashima et al. 2000) constituent un tube creux. Les vaisseaux sont plus courts, plus larges et moins fusiformes que les trachéides (peuvent transporter beaucoup plus d'eau que les trachéides). La longueur des vaisseaux varie entre 150 μm et 2 mm suivant les espèces ; le diamètre varie entre 10 et 500 μm .

Dans le vaisseau, la disparition des parois transversales et son remplacement par des perforations, facilite largement la conduction. Les vaisseaux possèdent, également, des ponctuations sur les cotés, permettant le déplacement latéral de la sève (**Fig. 20**).

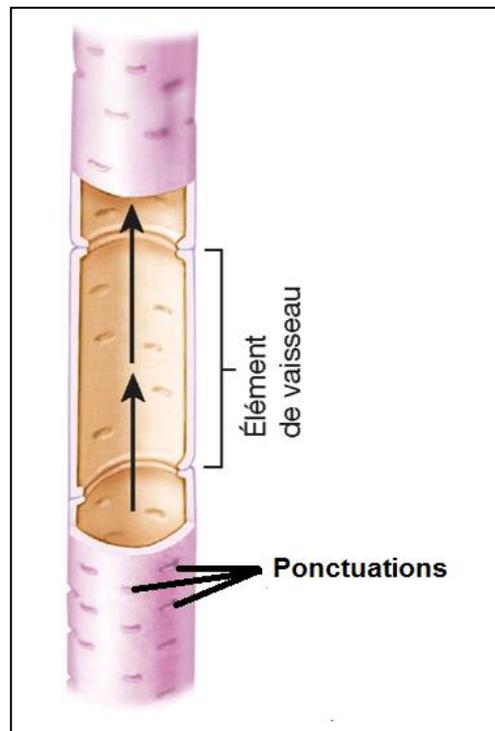


Figure 20. Représentation d'éléments de vaisseaux, avec une paroi transversales perforées et présence de ponctuations sur les parois longitudinales

Les parois des éléments de vaisseaux présentent vers l'intérieur, des épaissements lignifiés, de dispositions variées : Rayée, annelée, spiralée et ponctuée (**Fig. 21**).

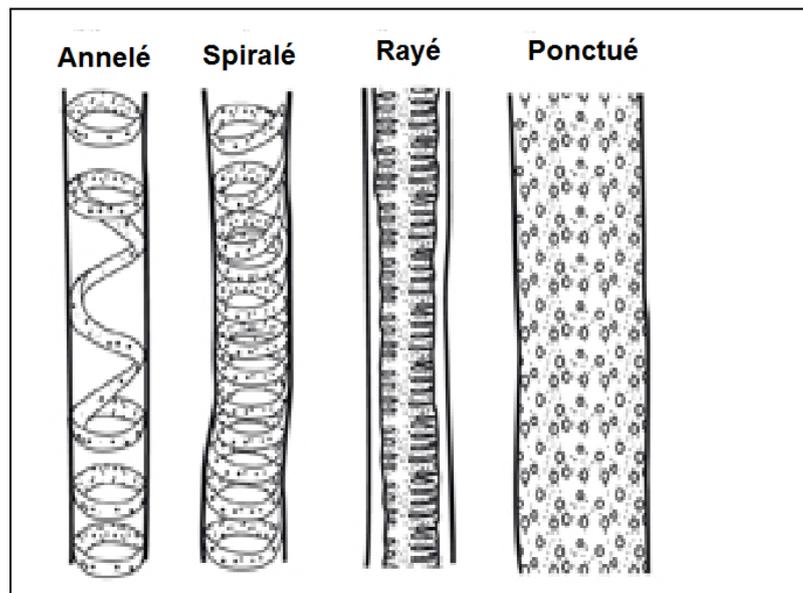


Figure 21. Représentation des différents types de vaisseaux, en fonction des épaissements lignifiés de la paroi.

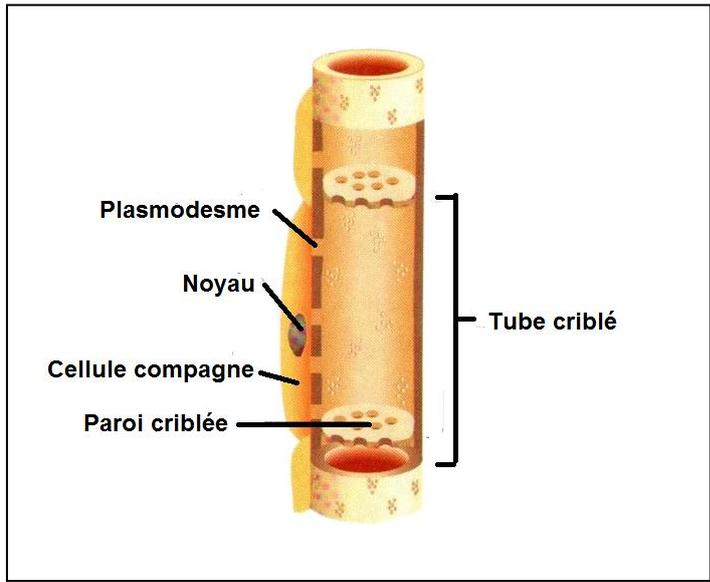


Figure 22. Représentation d'un tube criblé associé à une cellule compagne.

Les vaisseaux sont associés à des fibres et des cellules parenchymateuses :

- Les fibres : Elles assurent un rôle de soutien. Ce sont des cellules allongées et étroites, à parois épaisses et lignifiées.
- Les cellules parenchymateuses : En plus des éléments conducteurs et des fibres, qui sont des éléments morts, le xylème contient des cellules parenchymateuses, vivantes. Ces cellules accumulent, dans leur cytoplasme, des grains d'amidon ou, plus rarement, des lipides.

-

Différenciation du Xylème I^{aire} :

Les éléments conducteurs du xylème I^{aire}, sont disposés en amas, appelés faisceaux vasculaires. Leur disposition, est un élément important dans la différenciation des organes. Suivant le stade, on distingue 2 types d'éléments conducteurs, dans le xylème I^{aire} :

- Protoxylème : Il est formé de vaisseaux spiralés et annelés. Il apparaît au début de la croissance.
- Métaxylème : Il est formé de vaisseaux rayés et ponctués. Ces éléments apparaissent dans les organes à croissance achevée

2.4.2. Phloème

Le phloème assure la circulation de la sève élaborée (sève descendante), enrichie des substances issues de la photosynthèse. Il comprend des éléments conducteurs appelés éléments criblés, à cause de leurs parois transversales, percées de pores. Les éléments criblés, sont des cellules vivantes, allongées, à parois épaisses et cellulodiques.

Au niveau des parois transversales, les cribles sont limités par la membrane plasmique, ce qui permet à la sève élaborée de passer de cellule en cellule, sans devoir franchir les membranes plasmiques et les parois cellulaires.

Bien que vivantes, les éléments criblés sont anucléés et leur cytoplasme a disparu.

Les cellules criblées, sont associées à des cellules parenchymateuses, riches en cytoplasme et en ribosome, appelées Cellules compagnes (**Fig. 22**), supposées participer au contrôle des échanges entre les cellules criblées et les organes végétaux. Les 02 types cellulaires, proviennent de la même cellule méristématique. Lorsque les cellules criblées, sont perturbées ou endommagées, elles mettent en place, au niveau des cribles, de la callose (nature polysachardique).

2.5. Tissus sécréteurs

C'est un ensemble d'éléments anatomiques, spécialisés dans la synthèse et l'accumulation de certaines substances, appelées : Les sécrétions végétales, représentant des produits du métabolisme végétal qui, en principe, ne sont plus utilisés dans les processus métaboliques et qui n'interviennent pas dans les plantes en tant qu'agents physiologiques. Elles comprennent des huiles essentielles, des gommes, des mucilages, des gommes résines, le latex, des tanins, des alcaloïdes, l'oxalate de calcium, le nectar, etc.

Les tissus sécréteurs peuvent accumuler des produits synthétisés au sein même de la cellule, ou bien rejetés, hors cellules dans des cavités, appelées : Poches excrétrices ou canaux excréteurs.

2.5.1. Cellules sécrétrices

Ce sont des cellules isolées, Au sein des parenchymes, accumulant dans leur cytoplasme, la substance qu'elles élaborent.

Ex. Cellules à tanins (tige du rosier).

2.5.2. Epiderme et poils sécréteurs

Les cellules épidermiques, peuvent élaborer et accumuler dans leur cytoplasme des essences volatiles (Ex. La lavande et la menthe). Ces cellules sont souvent sous forme de poils, uni- ou pluricellulaire, à cuticule mince (**Fig. 23**).

L'essence est accumulée entre la paroi cellulosique et la cuticule. La rupture de la cuticule, libère l'essence qui s'évapore.

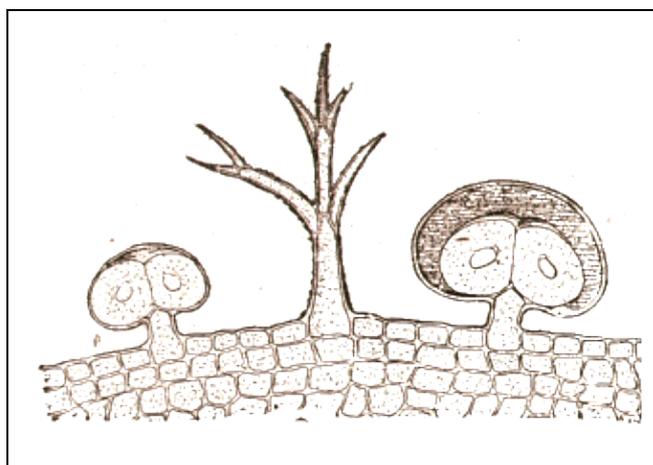


Figure 23: Représentation de deux glandes bicellulaires à essence, au niveau de la feuille de Lavande

2.5.3. Poches et canaux excréteurs

Ce sont des cavités situées dans les parenchymes des feuilles, des tiges et des fruits. Les poches excrétrices, sont abondantes dans le péricarpe des organes (Ex. Citron), où on peut les observer à l'œil nu sous forme de petites masses translucides (+ ou – transparent). Au microscope, elles se présentent sous forme de cavités sphériques, contenant une essence et bordée par des cellules, qui sont les *cellules sécrétrices*.

Les canaux excréteurs sont des poches excrétrices, allongées, tubuliformes, orientées dans le sens de la longueur de l'organe, qui les contiennent (**Fig. 24**).

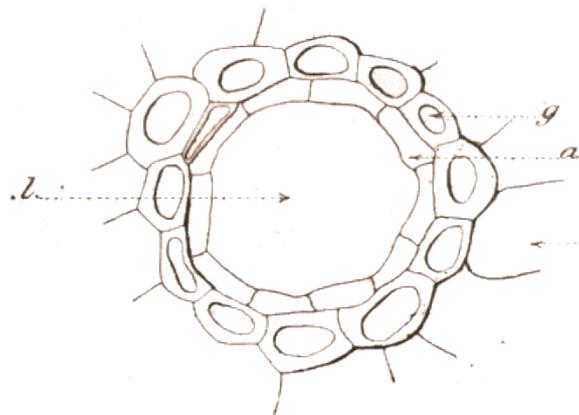


Figure 24 : Coupe transversale dans un canal résinitère d'une feuille de pin maritime. Le canal est bordé par des cellules sécrétrices.

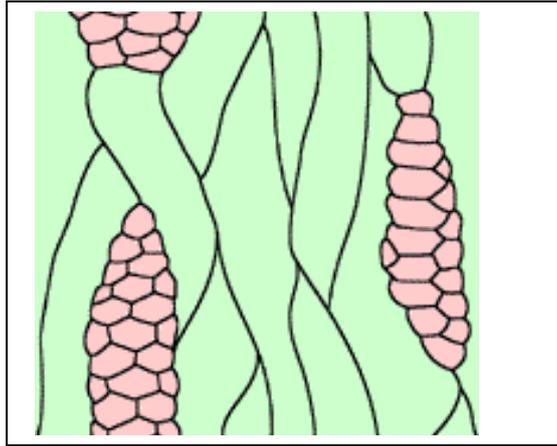


Figure 25. Représentation des initiales radiales (en rose) et des initiales fusiformes (en vert) dans une portion de cambium vasculaire (source : http://uel.unisciel.fr/biologie/module1/module1_ch04/co/apprendre_ch4_06.html, consulté le 01/10/2020)

3. Méristèmes secondaires

Chez les Gymnospermes et les angiospermes Dicotylédones, la croissance en épaisseur des organes à longue durée de vie (tiges, racines, rameaux ...) est assurée par le fonctionnement de méristèmes secondaires ou cambiums ou assises génératrices. Les tissus qui en sont issus, sont dits secondaires, par opposition aux tissus provenant des méristèmes primaires.

3.1. Le cambium libéro-ligneux (ou cambium vasculaire)

Le cambium libereux-ligneux joue un rôle important dans la croissance en épaisseur des tiges et racines des angiospermes dicotylédones et des gymnospermes. Il constitue un méristème secondaire placé entre le xylème primaire et le phloème primaire.

Historiquement, le mot cambium a été employé pour la première fois par Grew en 1682. Cependant, jusqu'à la moitié du 19^{ème} siècle, le cambium était présenté comme un liquide de nutrition situé entre le liber et le bois. De Mirbel (1828) a été le premier à avancer que le cambium n'était pas un liquide, mais un tissu dont la partie externe produisait le liber et dont la partie interne donnait naissance au bois. A l'opposé, Raatz (1892) a considéré le cambium comme étant composé de plusieurs couches de cellules.

Depuis les travaux de Sanio (1873) sur le pin sylvestre, le cambium est généralement présenté comme une monocouche cellulaire, qui se différencie entre le xylème I aire et le phloème I aire.

Cette monocouche est constituée de deux types de cellules méristématiques : les initiales fusiformes et les initiales radiales, qui diffèrent par leur taille et leur forme (Esau, 1965; Déjardin et al., 2010). Les initiales fusiformes, présentant une forme allongée, sont orientées verticalement et ont une section transversale de forme plus ou moins circulaire, tandis que les initiales radiales sont peu allongées, orientées horizontalement et ont une section de forme rectangulaire. (**Fig. 25**). Les initiales fusiformes produisent vers l'intérieur les éléments du bois (vaisseaux, parenchyme xylémien et fibres chez les Angiospermes Dicotylédones et trachéides chez les Gymnospermes) et vers l'extérieur les éléments du liber (tubes criblés, cellules compagnes et parenchyme phloémien) (Lachaud et al., 1999). Le rapport entre le nombre de cellules fusiformes et le nombre de cellules initiales des rayons varie en fonction de l'âge du cambium, mais aussi en fonction de l'espèce étudiée.

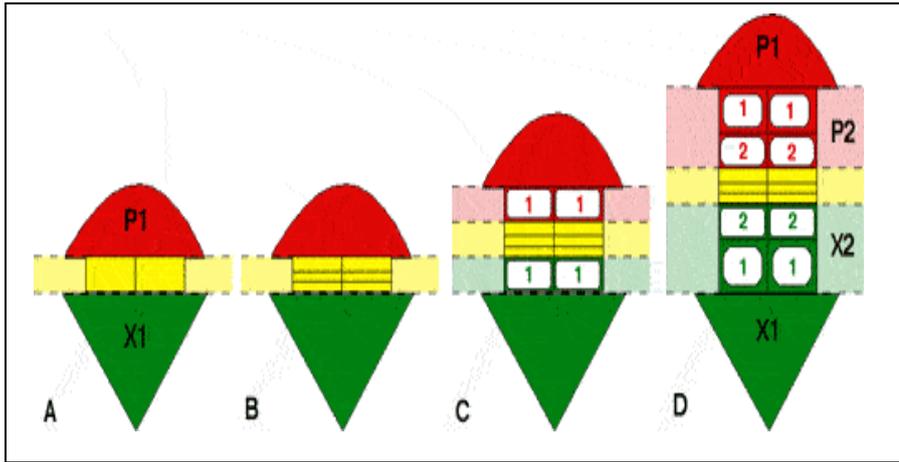


Figure 26: Représentation du fonctionnement du Cambium vasculaire (P1. Phloème I^{aire} ; X1. Xylème I^{aire} ; P2. Phloème II^{aire} ; X2. Xylème II^{aire})

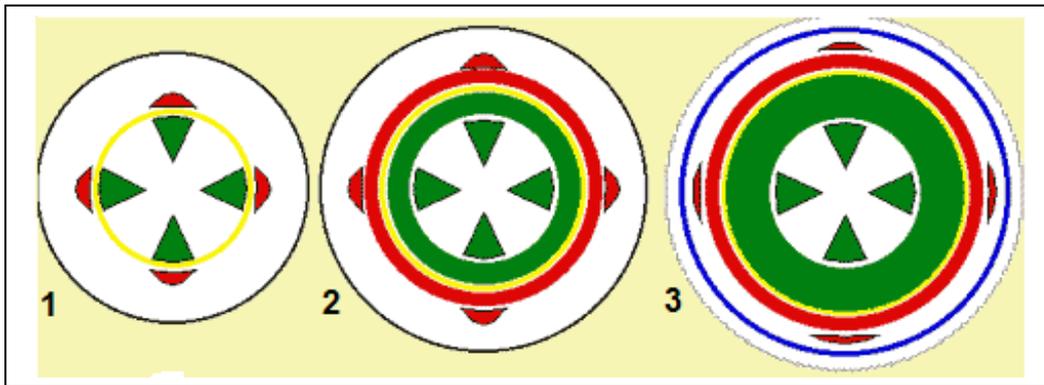


Figure 27 : Représentation du fonctionnement du cambium dans une tige

Les cellules du cambium vasculaire se divisent (essentiellement divisions périclines) et produisent vers l'intérieur les cellules du xylème II^{aire} (ou bois) et vers l'extérieur les cellules du phloème II^{aire} (ou liber). Par suite à son activité, le cambium vasculaire est repoussé vers l'extérieur (**Fig. 26**).

Le fonctionnement du cambium est asymétrique, produisant plus de xylème II que de phloème II. Son mode de fonctionnement par divisions periclinales met en place des files de cellules radiales caractéristiques des tissus secondaires.

Les conséquences de ce fonctionnement cambial sont visibles en coupes transversales (**Fig. 27**) :

- Les cellules les plus anciennes sont refoulées vers la périphérie et vers le centre, où elles sont plus ou moins comprimées. Dans le bois, seules les zones les plus proches du cambium sont fonctionnelles ; elles constituent l'aubier : il est plus clair et plus tendre que le bois de la partie centrale (Cœur ou duramen) qui ne conduit pas de sève.
- L'assise génératrice se déplace vers l'extérieur de l'organe.

3.1.1. Le xylème secondaire ou bois

Le xylème secondaire (ou bois), est un tissu complexe composé des éléments trachéaires, des fibres et des cellules du parenchyme (Růžička et al., 2015).

Les éléments trachéaires regroupent les trachéides et les vaisseaux, qui assurent la conduction de la sève brute montante, intervenant aussi, par leur paroi, au soutien mécanique de la tige.

Les trachéides matures sont des cellules sclérifiées, vidées de leur contenu, possédant une paroi épaisse ponctuée. Ce sont de longues cellules étroites ayant une structure tubulaire et une extrémité en biseau, formant des capillaires par leur arrangement bout à bout, à l'intérieur de la tige.

Les vaisseaux sont les éléments conducteurs les plus évolués (Růžička et al., 2015). Ils sont présents sous forme de longues structures tubulaires, constituées de très larges cellules à la forme cylindrique et agencées bout à bout. À la jointure entre les extrémités en biseau des éléments de vaisseaux, se trouvent des perforations qui permettent le flux d'eau. Les vaisseaux sont généralement plus larges et moins longs que les trachéides.

En plus de ces éléments conducteurs, le xylème secondaire contient des fibres sclérifiées. Disposant d'une forme allongée et d'une épaisse paroi secondaire lignifiée, ces cellules ont un rôle de support mécanique aux parties aériennes.

Le xylème secondaire est aussi composé de parenchyme, qui peut être axial ou vertical. Ses cellules assurent essentiellement un rôle de stockage des réserves ainsi que la distribution des photoassimilats vers le xylème en développement.

Dans le bois, on observe des cercles alternativement clairs et sombres (cernes) (**Fig. 28**), qui correspondent, respectivement, à la croissance printanière active et à la croissance estivale plus lente, de chaque année.



Figure 28 : Coupe transversale dans un tronc d'arbre, avec succession de cernes clairs (bois de printemps) et cernes sombres (bois d'été)

Le bois de printemps, comporte de nombreux vaisseaux larges, alors que le bois d'été est plus riche en fibres et possède des éléments de plus petits diamètre. On peut, ainsi, calculer l'âge du tronc (Dendrochronologie).

L'épaisseur relative des cercles, donne des indications sur les conditions climatiques, au cours des années successives (Dendroclimatologie).

Par exemple : un refroidissement et/ou des pluies moins abondantes en ralentissent la croissance, ce qui se traduit par l'amincissement des cernes.

3.1.2. Le phloème secondaire ou liber

Le phloème mature est constitué de tubes criblés, de cellules compagnes, et dans beaucoup de cas, de fibres du phloème. Les éléments conducteurs de la sève élaborée, appelés tubes criblés, constituent le tissu conducteur du phloème (Esau, 1965). Ils ont pour fonction de transporter les métabolites solubilisés dans la sève élaborée, des organes sources tels que les feuilles, aux organes puits, tels que les racines et la tige. Lors de leur différenciation, la majorité des organites des étubes criblés, y compris le noyau, sont dégradés. Cependant, ils conservent une membrane plasmique et un nombre suffisant d'organites pour être maintenus vivants. Les tubes criblés sont couplés au cytoplasme des cellules compagnes, qui contribuent largement au maintien de leur activité physiologique, et qui jouent également un rôle dans le transport de la sève élaborée (Lucas et al., 1993).

Le liber contient également des cellules parenchymateuses ayant pour rôle de favoriser les échanges entre types cellulaires et l'accumulation de réserves nutritives pour la plante. Notons également la présence de fibres à parois secondaire épaisse et lignifiée, assurant un renfort mécanique du phloème secondaire (Esau, 1965).

3.2. Le cambium subéro-phéllodermique (ou Phéllogène)

Il se différencie à la périphérie ; il fournit les tissus protecteurs II^{aires}, dont l'ensemble est appelé Périderme.

Au point de vue structural, il est composé de trois parties : Le phellogène, méristème qui est à l'origine du périderme ; le liège, tissu protecteur, produit vers l'extérieur par le phellogène ; et le phelloderme, tissu parenchymateux vivant, produit vers l'intérieur par le phellogène.

Au cours de leur différenciation, la face interne des parois des cellules du liège est subérifiée, ce qui rend le tissu complètement imperméable à l'eau et au gaz. Les parois de ces cellules, peuvent, aussi, se lignifier. A maturité, les cellules du liège sont mortes.

Les cellules du phelloderme, sont vivantes, elles ne possèdent pas de lamelles de subérine et ressemblent aux cellules parenchymateuses.

Les lenticelles : Commencent à se former au cours du développement du périderme. Dans la tige, elles apparaissent généralement en dessous d'un stomate ou d'un groupe de stomates. Ces lenticelles permettent, dans le cas des tiges et des racines pourvues de périderme, d'effectuer les échanges gazeux.



Figure 29. Photographie d'un système racinaire pivotant (source : <http://www.snv.jussieu.fr/>)



Figure 30 : Observation d'un système racinaire fasciculée chez la Jacinthe (Source : <http://www.snv.jussieu.fr/>)

II- anatomie des végétaux supérieurs

1. Etude de la racine

C'est en principe un organe souterrain spécialisé dans l'absorption de l'eau et des sels minéraux et assurant un rôle d'ancrage. Les tissus de soutien y sont peu développés, les parenchymes chlorophylliens en général absents et remplacés par des parenchymes de réserve (accumulant souvent de l'amidon).

Les racines s'accroissent en longueur par le fonctionnement de méristèmes apicaux ou primaires, racinaires.

Dans une racine à structures primaires, on ne rencontre que les tissus primaires, provenant du méristème primaire.

1-1. Types de racines

- Les racines pivotantes: Rencontrées particulièrement chez les dicotylédones et les Gymnospermes. Ce type est caractérisé par la présence d'une racine principale, la racine pivotante, à partir de laquelle naissent des racines secondaires (**Fig. 29**).

Ces racines peuvent être tubérisées, permettant le stockage de réserves (carotte, radis, betterave, navet...).

- Les racines fasciculées: Caractérisent les plantes monocotylédones. Les racines démarrent toutes à partir du même point, sans aucune dominance d'une racine principale (**Fig. 30**). Ce système permet à la plante de disposer d'une grande surface de contact avec les nutriments (Eau et sels minéraux).

- Les racines adventives: Prenant naissance sur une tige, les racines adventives sont souvent complémentaires d'un autre type de système racinaire (**Fig. 31**). Elles sont caractéristiques des plantes se multipliant par bouturage ou celles possédant des tiges rampantes capables de s'enraciner (menthe..) ou qui émettent des stolons (fraisiers..).

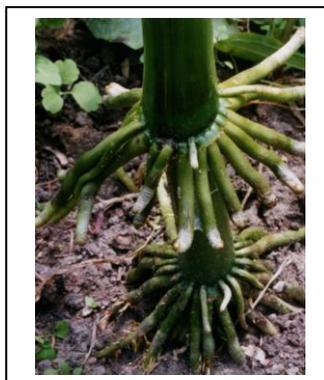


Figure 31 : Photographie de racines adventives sur une tige de maïs (source : <https://www.gerbeaud.com/jardin/decouverte/systeme-racinaire,1375.html>)

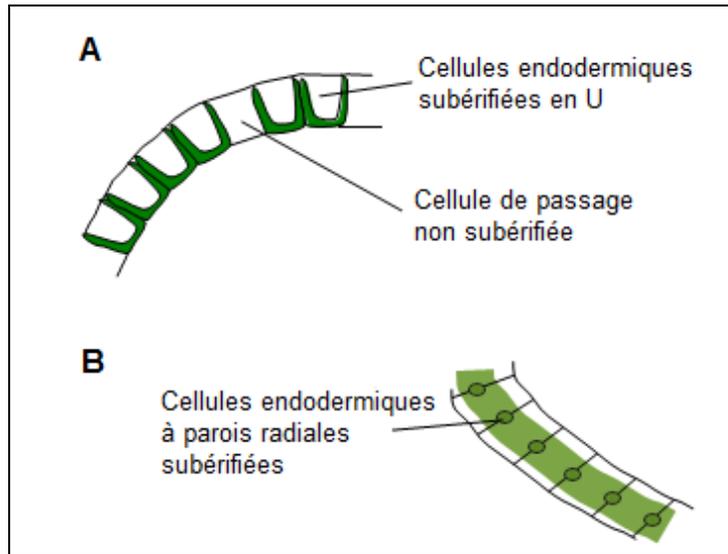


Figure 32 : Aspect des cellules endodermiques chez les monocotylédones (A) et les dicotylédones (B)

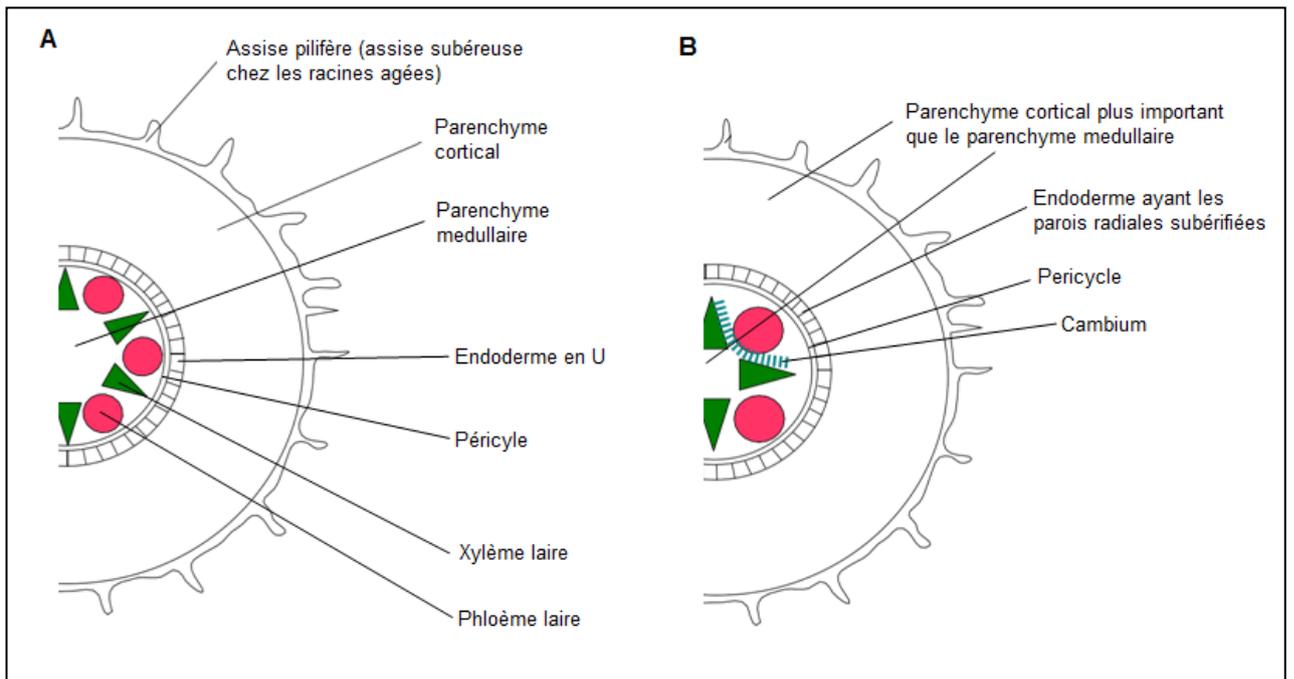


Figure 33 : Coupe transversale réalisée dans une racine de monocotylédone (A) et dicotylédones (B)

1-2. Anatomie de la racine

En coupe transversale, une racine présente une symétrie axiale et nous permet de distinguer deux zones essentielles : l'Ecorce et cylindre central, avec un rapport Ecorce / Cylindre central >1.

- L'écorce : Constituée par :
 - Une couche externe, l'assise pilifère ou rhizoderme qui émet des prolongements cellulaires, les poils absorbants, rapidement caducs et bien visibles seulement à 1 ou 2 mm de la pointe de la racine.
 - Une zone subéreuse (plusieurs couches de cellules) assure un rôle de protection et de soutien (une seule couche de cellules chez les dicotylédones).
 - Vers l'intérieur, le parenchyme cortical.
 - La couche la plus interne de l'écorce est l'endoderme. Chez les dicotylédones, les cellules y montrent un cadre subérifié caractéristique, appelé bande de Caspary (**Fig. 32 A**), empêchant le passage de l'eau par les parois et l'obligeant à transiter par le cytoplasme. Tandis que chez les monocotylédones, les cellules de l'endoderme se subérifient sur toutes les faces, sauf l'externe, donnant une forme de U (**Fig. 32 B**).

- Le cylindre central :

Le transport des substances dissoutes s'effectue dans le cylindre central, qui est limité par le péricycle.

L'appareil conducteur est constitué de xylème primaire, exarche, en alternance avec les massifs de phloème primaire. Pas de moelle dans une racine

L'appareil vasculaire ou stèle de la racine est ainsi une actino-stèle (en grec, aktinos : rayon), l'aspect en coupe transversale est plus ou moins étoilé. Les monocotylédones, ont souvent plus de 08 pôles de xylème laire et les formations secondaires sont absentes (**Fig. 33 A**). Les dicotylédones ont rarement plus de 05 pôles de xylème laire (**Fig. 33 B**).

Les principaux caractères différentiels entre les racines de monocotylédones et les racines des dicotylédones sont cités dans le tableau ci-dessous :

Monocotylédones	Dicotylédones
Zone subéreuse	Assise subéreuse
Pas de suber à maturité	Présence de suber à maturité
Endoderme en fer à cheval (en U)	Endoderme à cadre
Faisceaux de phloème et de xylème nombreux	Faisceaux de phloème et de xylème peu nombreux
Pas de tissus conducteurs secondaires à maturité	Présence de tissus conducteurs à maturité

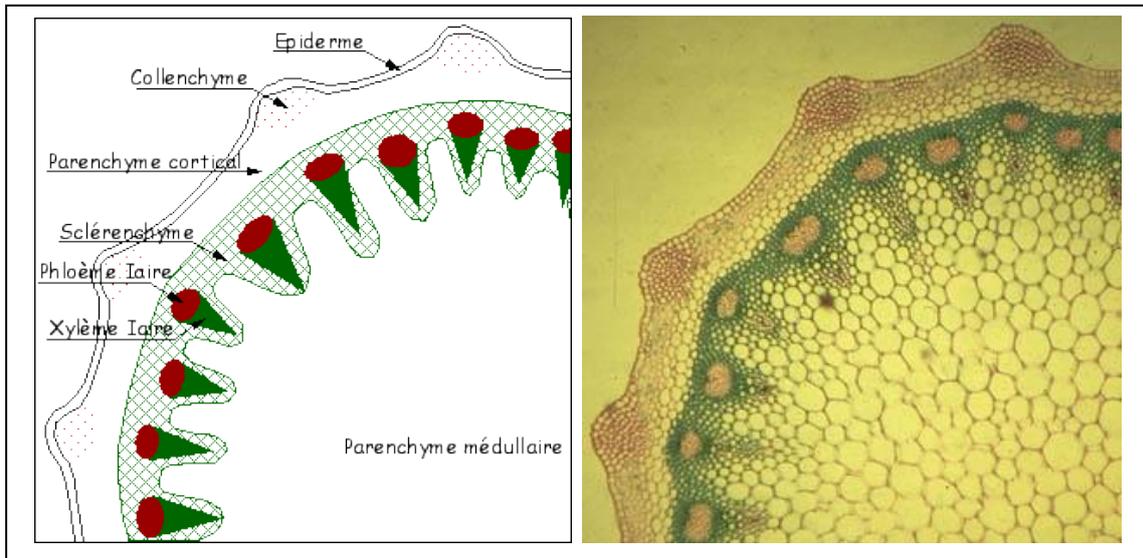


Figure 34 : Schéma et observation d'une coupe transversale réalisée dans une tige de dicotylédones (Source : <http://www.snv.jussieu.fr/>)

2. Etude de la tige

Généralement aérienne, dressée ou rampante, la tige est constituée d'une succession de nœuds et d'entre-nœuds. Elle porte les feuilles, et les organes reproducteurs. Sa structure primaire est mise en place grâce au fonctionnement du méristème primaire apical ou point végétatif. Chez la plupart des Dicotylédones, cette structure primaire se complète par la suite avec la formation d'une structure secondaire grâce au fonctionnement de deux nouveaux méristèmes :

- La zone génératrice libéro-ligneuse qui produit les tissus conducteurs secondaires.
- le phellogène ou zone génératrice subéro-phellodermique qui donne naissance aux tissus protecteurs secondaires.

Certaines tiges sont souterraines, appelées rhizomes, ou stolons, si elles accumulent des réserves.

Les tiges peuvent être rencontrées sous plusieurs formes :

- Rhizomes : Tige souterraine, ressemblant à une racine mais portant des nœuds, des feuilles écailleuses, des bourgeons et des racines adventives.
- Stolon : Tige adventive rampante dont le bourgeon terminal s'enracine, donnant un nouveau plant.
- Tubercule : Tige tubérisée, souterraine gonflée de réserves.
- Les bulbilles : Des bourgeons dont les parenchymes se sont épaissis à cause des réserves.

2.1. Anatomie d'une structure primaire de tige de dicotylédones

Si on réalise une coupe transversale dans une tige de dicotylédones, on distingue la présence de (**Fig. 34**) :

- L'épiderme : Formé d'une assise de cellules jointives à paroi cutinisée. Cet épiderme est pourvu de poils et de stomates.
- L'écorce ou zone corticale, constituée par un parenchyme à méats fait de cellules arrondies de petit diamètre, séparées par des méats. La zone externe de l'écorce présente généralement des amas de collenchyme. La zone interne présente quand à elle un anneau de sclérenchyme
- Le cylindre central est situé sous l'écorce et réunit, dans un parenchyme médullaire, des faisceaux libéro-ligneux répartis sur un même cycle. Les faisceaux sont tous constitués de la même manière : xylème primaire et phloème primaire sont superposés, on parle de structure collatérale. Le massif de

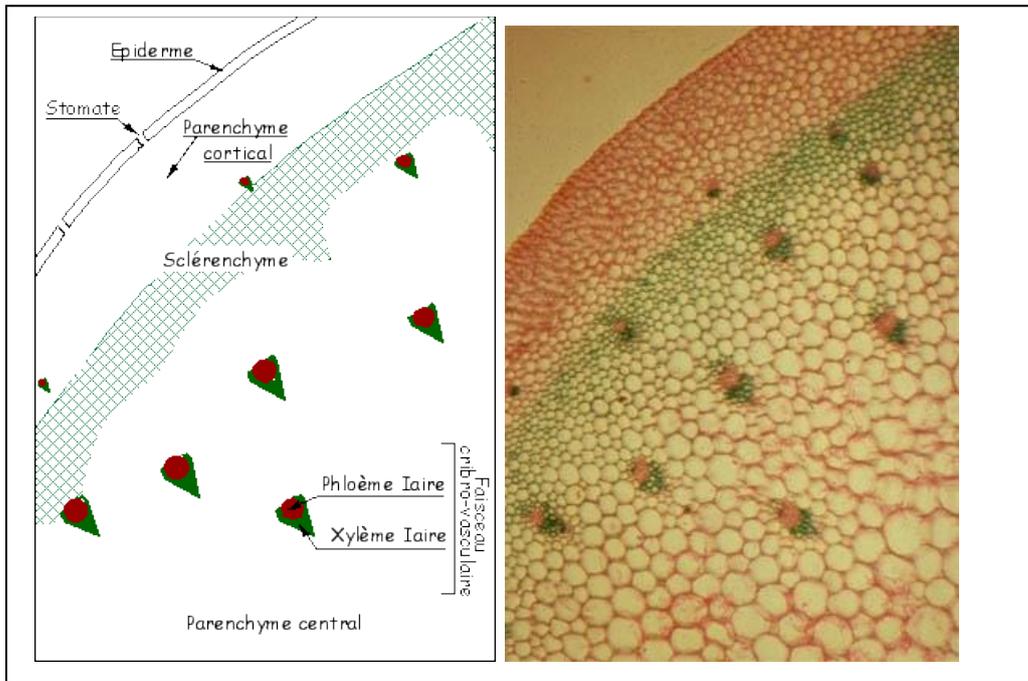


Figure 35 : Schéma et observation d'une coupe transversale réalisée dans une tige de monocotylédones (Source : <http://www.snv.jussieu.fr/>)

- phloème a une différenciation centripète alors que le xylème a une différenciation centrifuge, il est dit endarche (situé du côté du centre de l'organe). Entre xylème et phloème des plus gros faisceaux s'observe un début de fonctionnement cambial qui donne peu de formations secondaires. Chaque faisceau cribrovasculaire est surmonté d'un petit massif de sclérenchyme.

En résumant, les caractéristiques anatomiques d'une structure primaire de la tige de Dicotylédone sont: - organe à symétrie axiale, - présence d'un épiderme cutinisé à stomates, - écorce relativement réduite en comparaison du cylindre central, - moelle abondante ou lacune centrale, - phloème et xylème superposés, - xylème à pôles endarches et développement centrifuge.

2.2. Anatomie d'une structure primaire de tige de monocotylédones

Chez les Monocotylédones la structure primaire persiste pendant toute la vie du végétal.

L'épiderme formé d'une assise de cellules à paroi externe cutinisée, présentant des stomates donnant accès à une petite chambre sous-stomatique.

Le parenchyme cortical est réduit à 3 ou 4 assises cellulaires seulement.

Le cylindre central qui occupe la plus grande partie de l'organe est limité extérieurement par un anneau de sclérenchyme fait de petites cellules.

Dans le parenchyme médullaire sont dispersés sans ordre de nombreux faisceaux vasculaires (**Fig. 35**). C'est la structure dite atactostèle (a : privatif ; tact : ordonné).

Sauf cas très rare, les monocotylédones n'ont pas de méristèmes secondaires. Chaque faisceau vasculaire comporte un massif de phloème externe enserré dans un massif de xylème, en forme de V, dont la pointe est dirigée vers le centre de la tige.

La taille des faisceaux augmente de la périphérie vers le centre.

3. Etude de la feuille

C'est un organe à symétrie bilatérale, comportant un pétiole et un limbe, issu du fonctionnement du méristème primaire caulinaire, intervenant dans l'assimilation chlorophyllienne et les échanges avec l'atmosphère gazeux.

La feuille comporte un limbe relié à la tige par un pétiole, portant parfois de part et d'autre de la tige deux stipules (petites lame foliacées). Les nervures sont très ramifiées et la nervation (disposition relative des nervures) est donc rarement parallèle (**Fig. 36**). Le limbe peut être :

- Simple, avec ou sans pétiole.
- Composé, formé de plusieurs folioles.

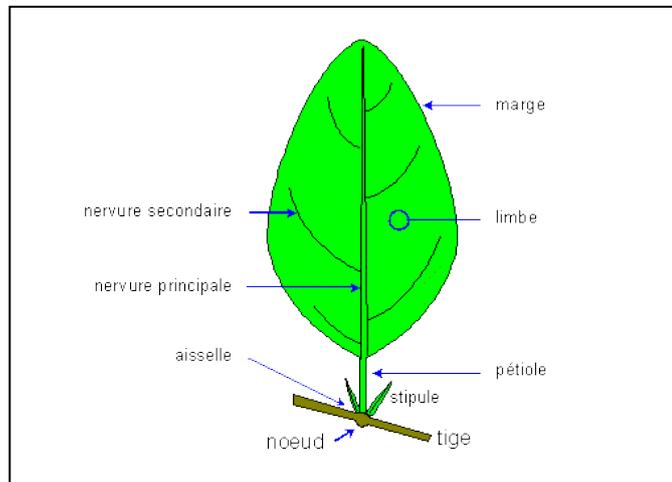


Figure 36. Structure d'une feuille simple.

3.1. Anatomie du limbe des dicotylédones

Sur le plan anatomique la feuille montre une symétrie par rapport à un plan.

L'épiderme supérieur est recouvert d'une cuticule et pauvre en stomates. Le parenchyme de la feuille est appelé mésophylle, 02 types chez les dicotylédones (**Fig. 37**) :

- La face supérieure (dorsale) comporte un parenchyme dit palissadique formé de cellules très hautes, sans méats, riches en chloroplastes. C'est là où s'effectue l'essentiel de la photosynthèse. Ce parenchyme est dit assimilateur, il donne à la feuille sa teinte verte.
- La face inférieure (ventrale) est constituée au contraire d'un tissu lâche,

spongieux, le parenchyme lacuneux, où s'effectuent les échanges gazeux ; L'épiderme inférieur est abondamment pourvu de stomates. L'épiderme inférieur est recouvert d'une cuticule mince et dans certains cas de poils.

Des nervures plus ou moins importantes apportent l'eau et les sels minéraux et exportent les produits de la photosynthèse vers tous les organes de la plante :

- La nervure principale, fortement saillante à la face inférieure, est renforcée par du collenchyme de part et d'autre. Elle comporte un ou plusieurs faisceaux, formés de xylème et phloème- phloème toujours coté face inférieure.
- Les nervures secondaires, à cause de l'angle qu'elles forment avec la nervure principale, sont souvent coupées obliquement.

Les nervures présentent des formations secondaires et des faisceaux de taille inégale.

L'épaisseur des cuticules, la densité des stomates et des poils varient en fonction des conditions climatiques et des espèces.

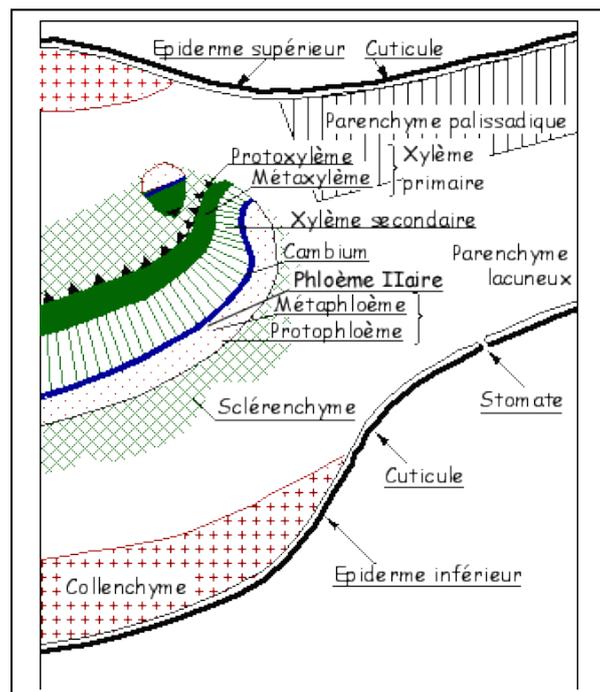


Figure 37 : structure d'une feuille de dicotylédones (source : www.jussieu.fr)

3.2. Anatomie du limbe des monocotylédones :

Les feuilles des monocotylédones ont un mésophylle homogène. Le parenchyme est chlorophyllien sous toute l'épaisseur, la richesse en chloroplastes diminue vers l'intérieur.

La nervation est parallèle, faisceaux de taille peu variable non renforcés par du tissu de soutien. Epiderme supérieur et inférieur sont pourvus de stomates (**Fig. 38**).

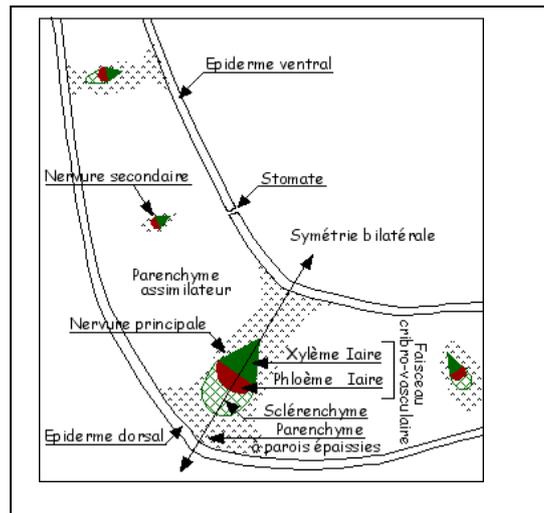


Figure 38. Structure d'une feuille de monocotylédones. (Source : www.jussieu.fr)

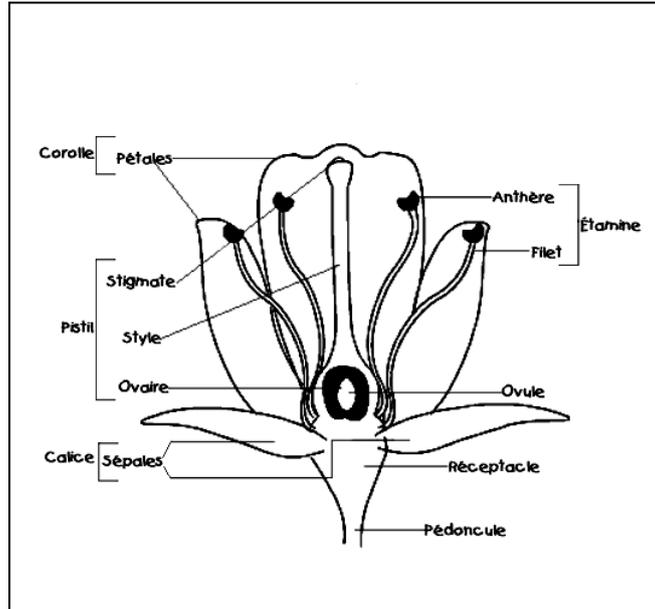


Figure 39 : Schéma d'organisation d'une fleur d'angiospermes

4. Etude de la fleur

La fleur est l'extrémité modifiée d'une tige dont les pièces foliaires assurent directement ou indirectement la reproduction sexuée de la plante qui la porte.

Elle prend naissance à partir d'un bourgeon terminal ou d'un bourgeon axillaire (localisé à l'aisselle des feuilles) qui se développe en bouton floral contenant les pièces florales embryonnaires.

Lorsque le bourgeon s'épanouit, il montre les différentes pièces florales. Celles-ci sont portées sur une surface : le réceptacle inséré sur une tigelle : le pédoncule.

Une fleur peut porter les organes mâles (androcée) et femelles (gynécée) isolement (fleur male, fleur femelle) ou réunis (fleur hermaphrodite).

Une plante qui porte des fleurs mâles et femelles, séparément sur le même pied, est une plante monoïque (en grec : mono-oïkos : une seule maison) ; une plante ne portant que des fleurs mâles ou femelles est une plante dioïque.

Les pièces florales s'organisent plus ou moins régulièrement autour de l'axe floral. On distingue ainsi les fleurs polysymétriques et actinomorphes (symétrie radiaire, ex : Lys), des fleurs monosymétriques ou zygomorphes (symétrie dorsiventrale, un seul plan de symétrie, ex : orchidée)

4.1. Le périanthe

Le périanthe est constitué d'un ou de plusieurs cycles de pièces : Les sépales, dont l'ensemble forme le calice et d'un ou plusieurs cycles de pièces internes : les pétales dont l'ensemble forme la corolle (**Fig. 39**).

Les sépales et pétales peuvent être libres (dialysépalie, dialypétalie) ou soudés (gamosépalie, gamopétalie).

Les sépales sont généralement colorés en vert, les pétales, qui ne contiennent pas de chlorophylle, sont diversement colorés, grâce à la présence dans les cellules de pigments variés : anthocyanes (rouge), substances flavonoïdes (jaune pale) ou caroténoïdes (jaune, orange).

Les pétales peuvent porter dans une fossette ou un éperon, des glandes nectarifères ou nectaires qui sont attractifs pour les insectes.

Lorsque les pièces externes et internes du périanthe se ressemblent, on les nomme tépales. Les tépales s'observent surtout chez les monocotylédones.

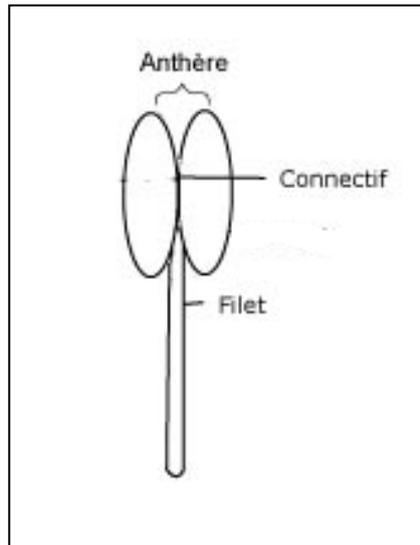


Figure 40 : Morphologie d'une étamine

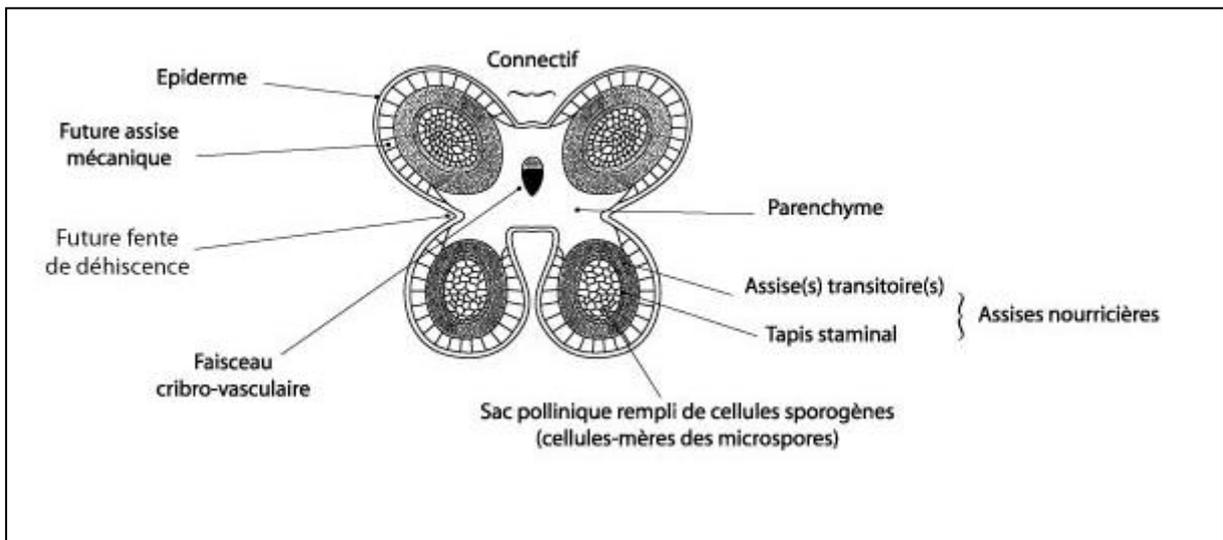


Figure 41 : Schéma d'une coupe transversale d'anthère

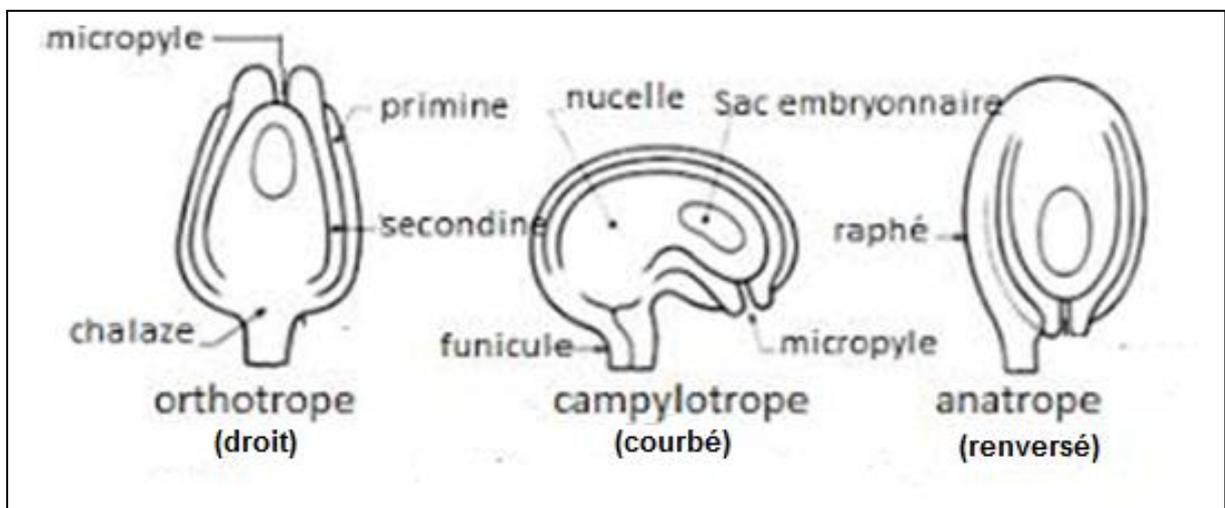


Figure 42 : Les principaux types d'ovules

4-2. L'androcée

L'androcée regroupe l'ensemble des organes reproducteurs mâles d'une fleur c'est-à-dire les étamines.

Les étamines sont formées d'une anthère et d'un filet. L'anthère comporte deux loges portant chacune deux sacs polliniques. Elle se raccorde au filet par un connectif. (**Fig. 40**) A maturité, les sacs s'ouvrent et libèrent le pollen : c'est la déhiscence. Il existe plusieurs dispositifs de déhiscence : fentes, valves ou clapets, pores.

Les étamines s'insèrent le plus souvent directement sur le réceptacle soit en hélice soit en verticille, mais peuvent également être soudées aux pièces périnthaires. Les étamines peuvent être libres ou soudées entre elles.

Anatomie de l'anthère : Une coupe transversale d'anthère en révèle la structure (**Fig. 41**) : Elle est formée de deux loges séparées par un sillon plus ou moins prononcé. Chaque loge comporte deux sacs polliniques. Le sac montre de l'extérieur vers l'intérieur : un épiderme, une assise mécanique discontinue qui sera responsable de la déhiscence de l'anthère, une assise moyenne, une assise nourricière ou tapis, un tissu sporogène qui sera le siège de la méiose à l'origine des microspores elles mêmes à l'origine des futurs grains de pollen (gamétophyte mâle).

Dans le parenchyme de la région opposée au sillon, se situe les tissus conducteurs.

4-3. Le gynécée

Le gynécée est également appelé pistil, il est constitué de l'ensemble des carpelles ou feuilles carpellaires.

Le carpelle est formé par une base renflée : l'ovaire surmonté par une partie effilée : le style, terminé en un organe récepteur du pollen : le stigmate, dont la surface porte des papilles stigmatiques. Ces papilles stigmatiques joueront un rôle dans la reconnaissance du grain de pollen.

Les ovules s'insèrent sur le bord charnu des feuilles carpellaires : le placenta.

Les ovules peuvent être droits (orthotrope), renversés (anatropes) ou courbés (campylotropes) (**Fig 42**).

La placentation peut être axile, centrale ou pariétale

Organisation de l'ovule mature : C'est une masse généralement ovoïde, portée par un pédicelle que l'on appelle le funicule fixé contre la paroi de l'ovaire.

On nomme hile, la région de contact entre l'ovule et le funicule.

Chez les ovules anatropes, le funicule adhère à l'ovule et constitue un renflement nommé raphé.

En coupe longitudinale, l'ovule présente deux téguments périphériques, l'un externe (primaire), l'autre interne (secondaire), qui engainent une masse centrale : le nucelle. Celui-ci communique avec l'extérieur en un endroit nommé micropyle. Un faisceau conducteur irrigue le nucelle à sa base en un lieu nommé chalaze (**Fig. 43**).

Dans la région située sous le micropyle se localise le sac embryonnaire qui est le gamétophyte femelle issu de la méiose d'une cellule mère.

Il comporte vers le micropyle, trois cellules uniclées : l'oosphère entouré des deux synergides, vers le hile trois cellules uninuclées : les antipodes et au centre une cellule binuclée comportant les deux noyaux polaires.

L'ovaire peut être simple : un ou plusieurs carpelles, mais tous libres entre eux.

Il peut être formé de plusieurs carpelles qui ont fusionnés et dans ce cas il faut définir le type de placentation.

Si l'ovaire se trouve au dessous de la base d'insertion des autres pièces florales, il est dit supère et la fleur est dite hypogyne.

Si l'ovaire se trouve en dessous de la base d'insertion des autres pièces florales, il est dit infère et la fleur est dite épigyne.

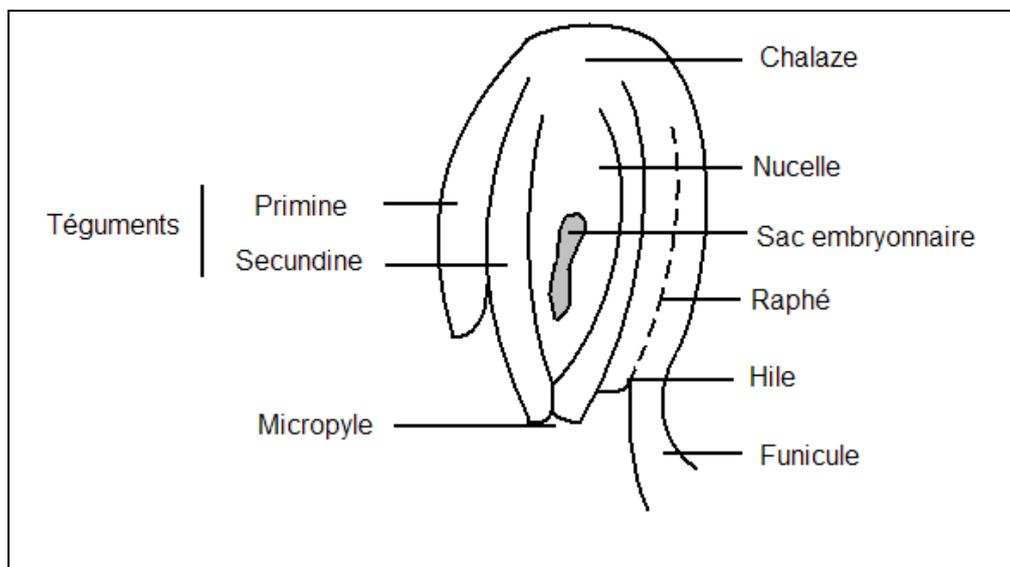


Figure 43 : Schéma d'une coupe longitudinale d'un ovule anatrophe

Références Bibliographiques

- Aichinger, E., Kornet, N., Friedrich, T., and Laux, T. (2012). Plant stem cell niches. *Annu. Rev. Plant Biol.* 63, 615–636.
- Autran D. et Traas J., 2001. Organisation et fonctionnement des cellules souches végétales : Le méristème apical d'Arabidopsis. *Médecine / sciences*, 17 : 836-844.
- Buvat R., 1952. Structure, évolution et fonctionnement du méristème apical de quelques Dicotylédones. *Annales des Sciences Naturelles, Botanique*, 11(13): 199-300.
- Carlquist S., 2001. Comparative wood anatomy. 2nd ed. SpringerVerlag, Heidelberg, Germany.
- Cruiziat P., Cochard H., Améglio T., 2003. L'embolie des arbres. *Pour La Science*, 305 : 50–56.
- Déjardin A, Laurans F, Arnaud D, Breton C, Pilate G., 2010. Wood formation in angiosperms. *C. R. Biologies* 333 : 325 – 334.
- De Kroon H. et Visser E.J.W., 2003. Root Ecology, *Ecological Studies* 168. Eds. Springer,
- De Mirbel M., 1828. Mémoire sur l'origine, le développement et l'organisation du liber et du bois. *Mém. Muséum Hist. Nat.* 16, 9-36.
- Dulnik J., 2015. Physiology Biochemistry Ecology Cytology Genetics. European Science Photo Competition, November 20.
- ESAU K., 1977. *Anatomy of Seed Plants*, 2nd ed. Wiley, NewYork.
ESAU, K. 1965. *Plant Anatomy*, 2nd ed. Wiley, New York.
- Francis D., Dudits D., Inzé D., 1998. *Plant cell division*. London : Portland Press.
- Franks PJ, Buckley TN, Shope JC, Mott K.A., 2001. Guard cell volume and pressure measured concurrently by confocal microscopy and the cell pressure probe. *Plant Physiol* 125: 1577-1584
-
- Franks PJ, Cowan IR, Farquhar GD., 1998. A study of stomatal mechanics using the cell pressure probe. *Plant Cell Environ* 21: 94-100
- Grew N., 1682. *The Anatomy of Plants*. Rawlins, London.

Lachaud S., Catesson A.M., Bonnemain J.L., 1999. Structure and functions of the vascular cambium. *Comptes Rendus De l' Academie Des Sciences* 322, 633-650.

Lucas, W.J., Ding, B. et Van der Schoot, C., 1993. Plasmodesmata and the supracellular nature of plants. *New Phytol.* 125 435–476.

- Lyndon R.F. 1976. The shoot apex. In : YeomanMM, eds. *Cell division in higher plants*. London : Academic Press.
- Maricle, B.R., Koteyeva, N.K., Voznesenskaya, E.V., Thomasson, J.R., Edwards, G.E., 2009. Diversity in leaf anatomy, and stomatal distribution and conductance, between salt marsh and freshwater species in the C 4 genus *Spartina* (Poaceae). *New Phytol.* 184, 216–233.
- Murray, J.A., Jones, A., Godin, C., and Traas, J. (2012). Systems analysis of shoot apical meristem growth and development: integrating hormonal and mechanical signaling. *Plant Cell* 24, 3907–3919.
- Nakashima J., Takabe K., Fujita M., Fukuda H., 2000. Autolysis during in vivo tracheary element differentiation: formation and location of the perforation. *Plant and Cell Physiology* 41, 1267-1271.
- Raatz W., 1892. Die Stabbildungen im secundären Holzkörper der Bäume und die Initialentheorie. *Jahrb. Wiss. Bot.* **23**, 567-636.
- Raven P.H., Evert, R.F., Eichhorn S.E., 2003. *Biologie végétale*, De Boeck University, 968 p.
-
- Růžička K., Ursache R., Hejátko J. et Helariutta Y., 2015. Xylem development – from the cradle to the grave. *New Phytologist*, 207 (3) : 519-535.
- Sanio K., 1873. Anatomie der gemeinen Kiefer (*Pinus Sylvestris* L.). *Jahrb. Wiss. Bot.* **9**, 50-126.
- Schmidt A., 1924. Histologische Studien an Phanerogram Vegetationspunkets. *Bot. Arch.*, 8: 345-404
- Soyars C.L., James S.R. et Nimchuk Z.L., 2016. Ready, aim, shoot: stem cell regulation of the shoot apical meristem. *Current Opinion in Plant Biology* 2016, 29:163–168.
- Velappan, Y., Signorelli, S., Considine, M.J., 2017. Cell cycle arrest in plants: what distinguishes quiescence, dormancy and differentiated G1? *Ann. Bot.* 120 (4), 495–509.

- Wille AC, Lucas WJ., 1984. Ultrastructural and histochemical studies on guard cells. *Planta* **160**: 129-142
- Willmer, C.M., Fricker, M., 1996. *Stomata*, second ed. Chapman & Hall, London.
- Yeats T.H. et Rose J.K.C., 2013. *The Formation and Function of Plant Cuticles*. *Plant Physiol.* 163, 5-20.