

**Polycopié de Cours de Biologie Végétale**  
**1<sup>ère</sup> année Tronc Commun**  
**Sciences de la Nature et de la Vie**

***Intitulé***

**Biologie Végétale – Histologie Végétale**  
**Principaux types de tissus des**  
**Spermaphytes**

Préparé par :

**Benadjaoud Ali**

**Année universitaire : 2020 / 2021**

*"Il est bien plus beau de savoir quelque chose de tout  
que de savoir tout d'une chose."*

*Citation de **Blaise Pascal** ; Les pensées (1670)*

## **Avant-propos**

Ce polycopié s'adresse d'abord aux étudiants de la **1<sup>ère</sup> année** du **Tronc Commun des Sciences de la Nature et de la Vie**. Il peut aussi servir à tous les étudiants engagés en cursus de **Licence** et/ou de **Master**, notamment ceux qui s'intéressent au domaine de la **Biologie Végétale**.

Pour le concevoir, on s'est référé au programme enseigné en 1<sup>ère</sup> année de Biologie Végétale. Uniquement, la 1<sup>ère</sup> partie est traitée dans ce polycopié. Il s'agit de la partie **histologie végétale**, qui traite des différents **tissus végétaux** constitutifs de l'**appareil végétatif** des **Spermaphytes**.

Après avoir traité d'un chapitre introductif dédié au **monde vivant et aux éléments de classification**, les chapitres suivants ont été consacrés à l'étude de l'ensemble des tissus végétaux, d'origine primaire et/ou secondaire : **méristèmes**, **tissus de revêtements**, **parenchymes**, **tissus de soutien**, **tissus conducteurs des sèves** et **tissus sécréteurs**.

Pour présenter les différents tissus végétaux, le **texte explicatif** a été enrichi le cas échéant, d'illustrations **photographiques**, de **dessins** et de **schémas**. Ces illustrations sont par ailleurs, accompagnées d'**encadrés explicatifs**, apportant plus d'explications et de précisions sur le sujet développé. À la fin de chaque chapitre, les **termes scientifiques** utilisés sont repris et expliqués dans un glossaire.

Le dernier chapitre reprend les différents tissus étudiés, sous une **forme illustrée** en **fiches** avec une sorte de **diagnose concise**, permettant d'accéder au type de tissu et de le caractériser.

Les connaissances acquises dans cette présentation, permettront aux étudiants d'acquérir les connaissances requises pour accéder plus aisément au menu de la seconde partie du programme enseigné en biologie végétale, à savoir l'**anatomie** de l'appareil végétatif des Spermaphytes.



## ***Table des matières***

<b>I- Le monde vivant et éléments de classification</b>	
1- Bref aperçu sur les différents règnes et principaux embranchements	01
2- Eléments de classification	16
<b>II- Histologie végétale et méristèmes</b>	
1- Histologie végétale	27
2- Méristèmes primaires	27
3- Méristèmes secondaires	33
<b>III- Tissus de revêtements primaires et secondaires</b>	
1- Epidermes	40
2- Rhizoderme	45
3- Suber	48
<b>IV- Tissus fondamentaux : les parenchymes</b>	
1- Origine et caractéristiques	53
2- Différents types de parenchyme	54
<b>V- Tissus de soutien : collenchyme et sclérenchyme</b>	
1- Collenchyme	63
2- Sclérenchyme	65
3- Comparaison entre collenchyme et sclérenchyme	68
<b>VI- Tissus conducteurs primaires : xylème et phloème</b>	
1- Xylème	72
2- Phloème	79
3- Organisation des faisceaux cribro-vasculaires	81
4- Différenciation des tissus conducteurs primaires	82
5- Comparaison entre xylème et phloème	83
<b>VII- Tissus conducteurs secondaires : bois et liber</b>	
1- Cambium, méristème générateur libéro-ligneux	88
2- Bois ou xylème secondaire	92
3- Liber ou phloème secondaire	97
4- Notion de pachyte	97
5- Comparaison entre pachytes de Gymnospermes et Angiospermes	98
<b>VIII- Tissus sécréteurs</b>	
1- Structures sécrétrices externes	104
2- Structures sécrétrices internes	105
<b>IX- Fiches illustrées des principaux types de tissus</b>	115

# **Le monde vivant et éléments de classification**

## Sommaire

<b>I- Le monde vivant</b>	<b>01</b>
<b>II- Bref aperçu sur les différents règnes et principaux embranchements</b>	<b>01</b>
<b>II-1- Règne des archées ou <i>Archaea</i></b>	<b>01</b>
<b>II-2- Règne des bactéries ou <i>Bacteria</i></b>	<b>02</b>
<b>II-3- Règne des protozoaires ou <i>Protozoa</i></b>	<b>02</b>
<b>II-4- Règne des chromistes ou <i>Chromista</i></b>	<b>03</b>
<b>II-5- Règne des mycètes ou <i>Fungi</i></b>	<b>03</b>
<b>II-6- Règne des plantes ou <i>Plantae</i></b>	<b>05</b>
<b>II-6-1- Glaucophytes ou <i>Glaucophyta</i></b>	<b>05</b>
<b>II-6-2- Algues rouges ou <i>Rhodophyta</i></b>	<b>06</b>
<b>II-6-3- Algues vertes ou <i>Chlorophyta</i></b>	<b>07</b>
<b>II-6-4- Plantes terrestres ou <i>Embryophyta</i></b>	<b>08</b>
<b>II-6-4-1- <i>Bryophytes</i></b>	<b>10</b>
<b>II-6-4-2- <i>Ptéridophytes</i></b>	<b>11</b>
<b>II-6-4-3- <i>Spermatophytes</i></b>	<b>12</b>
<b>II-6-4-3-1- <i>Gymnospermes</i></b>	<b>13</b>
<b>II-6-4-3-2- <i>Angiospermes</i></b>	<b>14</b>
<b>II-7- Règne des <i>Animalia</i></b>	<b>15</b>
<b>III- Eléments de classification</b>	<b>16</b>
<b>III-1- Bases de la classification</b>	<b>16</b>
<b>III-2- Historique de la systématique appliquée à la flore</b>	<b>17</b>
<b>III-2-1- L'Antiquité</b>	<b>17</b>
<b>III-2-2- La Renaissance – Les Herboristes</b>	<b>17</b>
<b>III-2-3- Les systèmes artificiels de classification</b>	<b>18</b>
<b>III-2-4- Les systèmes naturels de classification</b>	<b>18</b>
<b>III-2-5- La phylogénie</b>	<b>19</b>
<b>IV- Glossaire propre au chapitre</b>	<b>19</b>

## I- Le monde vivant

Le **monde vivant** est constitué d'une collection infinie d'**organismes** en perpétuelle évolution. Ce monde est formé de **deux** ensembles biotiques (on parle de **domaines** ou bien d'**empires**) : **procaryotes** et **eucaryotes**.

L'empire ou domaine des **procaryotes** (**Prokaryota**) : Sont unicellulaires mais peuvent être multicellulaires. Leur matériel génétique n'est pas enfermé dans un noyau ; ils possèdent des enzymes localisés dans la paroi cellulaire et se multiplient par scissiparité.

L'empire ou domaine des **eucaryotes** (**Eukaryota**) : Ils peuvent être unicellulaires ou pluricellulaires. Leur matériel génétique est enfermé dans un noyau ; ils possèdent des organites cellulaires ; la multiplication cellulaire a lieu par mitose et ils présentent souvent une reproduction de type sexuée.

L'empire des procaryotes est formé de **deux règnes** (du latin *regnum*) : **Archae** et **Bacteria** ; celui des eucaryotes est constitué de **cinq règnes** : **Protozoa**, **Chromista**, **Fungi**, **Plantae** et **Animalia**.

Système de classification (Ruggiero <i>et al.</i> 2015)						
Empire ou Domaine <i>Prokaryota</i>		Empire ou Domaine <i>Eukaryota</i>				
Règnes						
<i>Archaea</i>	<i>Bacteria</i>	<i>Protozoa</i>	<i>Chromista</i>	<i>Fungi</i>	<i>Plantae</i>	<i>Animalia</i>

Chaque règne est divisé en **embranchements** ou **divisions** que l'on nomme également **phylums** en latin.

## II- Bref aperçu sur les différents règnes et principaux embranchements

### II-1- Règne des archées ou *Archaea* [du grec ancien ἀρχαῖος, « originel, primitif »]

Type de cellule :	Procaryotes
Structures cellulaires :	Paroi cellulaire sans peptidoglycane
Nombre de cellules :	Unicellulaires
Mode de nutrition :	Autotrophes ou hétérotrophes
Principaux embranchements :	<i>Euryarchaeota</i> & <i>Crenarchaeota</i>

## II-2- Règne des bactéries ou *Bacteria*

Type de cellule :	Procaryotes
Structures cellulaires :	Paroi cellulaire avec peptidoglycane
Nombre de cellules :	Unicellulaires
Mode de nutrition :	Autotrophes ou hétérotrophes
Principaux embranchements :	<i>Proteobacteria</i> & <i>Cyanobacteria</i> *

\* Les *Cyanobacteria*, ou **cyanobactéries** sont également appelées **algues bleues**. Ce ne sont pas des algues malgré une éventuelle ressemblance superficielle et écologique, mais plutôt des bactéries coloniales. Ce sont le plus souvent des formes filamenteuses, dont le plus grand nombre est microscopique.

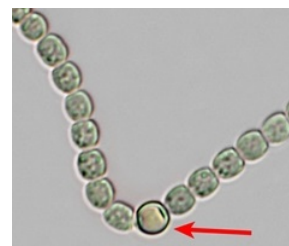


Image d'une cyanobactérie (*Nostoc sphaericum*) avec son hétérocyste (voir flèche). Référence : John, Whitton & Brook (2011) – *The Freshwater Algal Flora of the British Isles*. [outerhebridealgae.uk](http://outerhebridealgae.uk)

Les cyanobactéries peuvent prendre diverses couleurs, qui viennent des pigments bleus (**phycocyanines**) et rouges (**phycoérythrine**) qui masquent la **chlorophylle a**.

Certaines cyanobactéries (les **oxyphotobactéries**) réalisent la photosynthèse et peuvent fixer l'azote de l'air via des cellules spécialisées dites **hétérocystes** qui fonctionnent indépendamment des autres cellules, en anaérobiose. L'hétérocyste (du grec *heteros*, différent, et *cystis*, sac) est une cellule transparente, à paroi épaisse pour limiter la diffusion de l'oxygène, car l'enzyme fixant l'azote (nitrogénase) y est sensible.

**II-3- Règne des protozoaires ou *Protozoa*** [du grec ancien proto- (πρῶτος, prôtos « premier ») et zôon (ζῷον « animal »)]

Type de cellule :	Eucaryotes
Structures cellulaires :	Sans paroi cellulaire
Nombre de cellules :	Souvent Unicellulaires
Mode de nutrition :	Hétérotrophes mobiles (phagocytose)
Principaux embranchements :	<i>Sarcomastigophores</i> & <i>Ciliata</i>

Les **protozoaires** possèdent une cellule eucaryote très différenciée qui remplit de nombreuses fonctions nécessaires à la vie. Ils comportent originellement des **cils** (aussi appelés **flagelles**), et des mitochondries (parfois remplacées par des **hydrogénosomes**). Certains ont développé d'autres organites comme des **vacuoles pulsatiles**, ou en ont acquis par **endosymbiose** comme les **chloroplastes** trimembranés des **euglènes** (organisme **mixotrophe**).

## II-4- Règne des chromistes ou *Chromista* [ou la lignée brune]

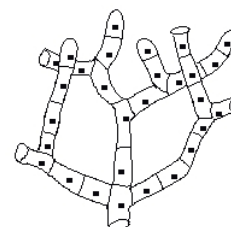
Type de cellule :	Eucaryotes
Structures cellulaires :	Chloroplaste constitué de 4 membranes
Nombre de cellules :	Unicellulaires / Pluricellulaires
Mode de nutrition :	Autotrophes / Hétérotrophes
Principaux embranchements :	<i>Cryptophyta &amp; Ochrophyta</i>

Des études de l'ultrastructure cellulaire (plastides, flagelles), des pigments chlorophylliens (présence de chlorophylle c) et des particularités génétiques ont conduit à regrouper dans le règne des chromistes des espèces unicellulaires ou pluricellulaires ayant conservé ou perdu leur chlorophylle. Parmi les chromistes se trouvent par exemple, les *Oomycètes* qui étaient placés jadis parmi les champignons, les *Diatomées*, les *Phéophycées* (ou algues brunes), les *Xanthophycées* et les *Silicoflagellés*.

## II-5- Règne des mycètes ou *Fungi* [du latin *fungus* = champignon]

Type de cellule :	Eucaryotes
Structures cellulaires :	Paroi formée de callose, hémicellulose et chitine
Nombre de cellules :	Unicellulaires (levures) / Pluricellulaires
Mode de nutrition :	Hétérotrophes
Principaux embranchements :	<i>Myxomycota &amp; Eumycota</i>

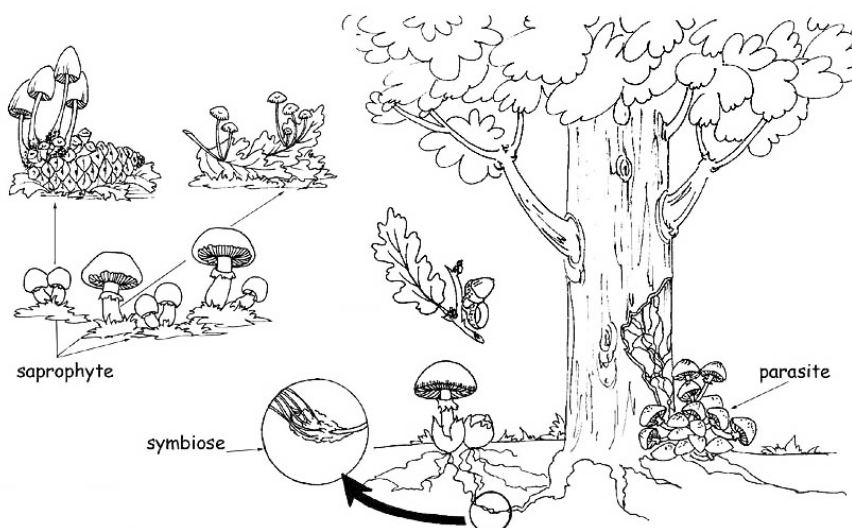
L'existence simultanée d'une **paroi** cellulaire périphérique et de **vacuoles** turgescentes dans le cytoplasme, rapproche les champignons des végétaux auxquels on les rattachait autrefois, alors que le **corps végétatif non différencié\*** et leur **paroi peptido-polysidique** les distingue des plantes.



\* L'appareil végétatif de mycètes est dépourvu de racines, tiges et feuilles, on parle de **thalle**. Ce thalle est constitué par l'enchevêtrement de nombreux filaments très fins et ramifiés dont l'ensemble forme un **mycélium**. Ces filaments peuvent être cloisonnés, on les appelle **hyphes**. Représentation d'hyphes de *Septomycètes*. Référence : [www.edu.upmc.fr/uel/biologie/module1/apprendre/chapitre1/myco/myco2det.htm](http://www.edu.upmc.fr/uel/biologie/module1/apprendre/chapitre1/myco/myco2det.htm)

L'absence de **chloroplastes**, de **chlorophylle** et d'**amidon** en fait, comme les animaux, des organismes **hétérotrophes**. Les champignons doivent donc trouver le carbone nécessaire à leur vie dans leur environnement immédiat, sous la forme de matières organiques. Ils se nourrissent à partir de substances dissoutes par **osmotrophie** selon les modes de nutrition suivants : **saprophytisme**, **symbiose** mutualiste et **parasitisme**.

Principaux modes de nutrition des champignons. Adapté de :  
[www.monaconatureencyclopedia.com/fungi/?lang=fr](http://www.monaconatureencyclopedia.com/fungi/?lang=fr)



**Saprophytisme** : les champignons peuvent se nourrir de matière organique morte ou en décomposition (feuilles mortes, débris végétaux ou animaux) : on les appelle alors des **saprophytes**. En dégradant ainsi la matière organique morte, ces champignons remettent à la disposition des autres organismes des éléments minéraux essentiels de nouveau assimilables (azote, phosphore, carbone). Ils participent ainsi au recyclage de la matière organique.

**Symbiose mutualiste** : les champignons peuvent vivre en **symbiose** avec d'autres êtres vivants autotrophes, au point que l'un ne peut vivre sans l'autre. Ainsi, les **lichens** sont des associations de champignons et de cyanobactéries ou d'algues vertes. Le champignon fournit à l'algue protection, eau et sels minéraux et, en retour, celle-ci l'approvisionne en glucides, produits de la photosynthèse. Aussi, les **mycorhizes** sont une association symbiotique entre champignons et racines de la plupart des plantes vertes. Il existe des cas de symbiose avec des animaux, où les champignons aident fourmis et termites à digérer la cellulose.

**Parasitisme** : les champignons peuvent également tirer parti de la matière organique vivante. Ils sont parasites et vivent aux dépens d'un être vivant à leur propre compte. Souvent pathogènes, ils provoquent des maladies et entraînent parfois la mort de leurs hôtes. On a les **maladies cryptogamiques** (anthracnoses, mildiou, oïdiums et rouilles) des végétaux et les **mycoses** qui touchent l'humain et les animaux.

## II-6- Règne des plantes ou *Plantae*

Ce règne est un groupe **monophylétique** comprenant : les **glaucophytes**, les **algues rouges** et les **Chlorobiontes** (= *Chlorobionta* ou *Viridiplantae*). Ces derniers rassemblent deux lignées : les **algues vertes** et les **plantes terrestres**. Le nombre d'espèces de plantes est difficile à déterminer, mais il existerait (en 2015) plus de 400 000 espèces décrites, sachant que près de 2 000 nouvelles espèces sont découvertes chaque année.

Règne des <i>Plantae</i>			
<i>Glaucophytes</i>	<i>Algues rouges</i>	<i>Chlorobionta ou Viridiplantae</i>	
		<i>Algues vertes</i>	<i>Plantes terrestres</i>

**II-6-1- Glaucophytes ou *Glaucophyta*** [du grec (γλαυκός, *glaukos*, « glauque » c'est-à-dire vert ou bleu tirant vers le gris) et (φυτ(o), *phyt(o)*, « végétal »)]

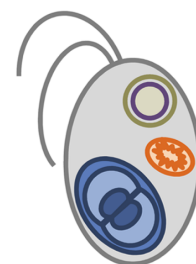
Type de cellule :	Eucaryotes
Structures cellulaires :	Paroi cellulosique (formes non mobiles)
Nombre de cellules :	Unicellulaires
Mode de nutrition :	Autotrophes
Principaux embranchements :	<i>Glaucophyta</i>

Les **glaucophytes** vivent dans les lacs, les mares ou les marécages des régions tempérées. Ils sont structurés **dorso-ventralement**, leur face dorsale est arrondie, tandis que leur ventre est aplati. Les formes mobiles présentent deux **flagelles** de longueurs inégales. Ils constituent un groupe de diversité réduite, seules 14 espèces ont été décrites et sont actuellement acceptées.



Les **chloroplastes** présents dans les cellules des glaucophytes ont la particularité d'être **bleu-vert**, à cause de la présence de **phycocyanine** et d'**allophycocyanine** dans les **phycobilisomes**. Photographie représentative de *Glaucocystis* sp. vu au microscope. Référence : <http://www.daverrazzano.it/Progetti/auras/img/glaucophyte.jpg>

**Encart :** Il est communément admis que le **chloroplaste** est un organe issu de l'ingestion d'une cellule bactérienne (**cyanobactérie**) par un ancêtre eucaryote (**glaucophyte**). Ce phénomène est qualifié d'**endosymbiose** car la bactérie ingérée fournit à la cellule qui l'héberge une propriété nouvelle : la **photosynthèse** (le chloroplaste est représenté ici en bleu et en division).



Glaucophyta



## II-6-2- Algues rouges ou *Rhodophyta* [du grec (ῥόδος, *rhódos*, « rose ») et (φυτ(o), *phyt(o)*, « végétal »)]

Type de cellule :	Eucaryotes
Structures cellulaires :	Paroi pectocellulosique complexe*
Nombre de cellules :	Pluricellulaires
Mode de nutrition :	Autotrophes
Principaux embranchements :	<i>Rhodophyta</i>

La grande majorité des **algues rouges** est rencontrée dans le milieu marin. Elles contiennent un seul type de chlorophylle, la **chlorophylle a**, des **caroténoïdes** et des pigments caractéristiques, les **phycobiliprotéines** qu'on trouve dans les **phycobilisomes**. L'**amidon floridéen** appelé aussi **rhodamylon** est stocké sous forme de vésicules dans le cytoplasme et non dans le plaste comme chez les algues vertes et les plantes

Les **phycobiliprotéines** des rhodophytes sont composées d'**allophycocyanine** (bleu), de **phycocyanine** (bleu) et de **phycoérythrine** qui donne la couleur rouge. Le chloroplaste peut alors être appelé **rhodoplaste**. Quelques exemples d'algues rouges. Photographie de Tristan Le Goff / Référence : [www.marevita.org](http://www.marevita.org)



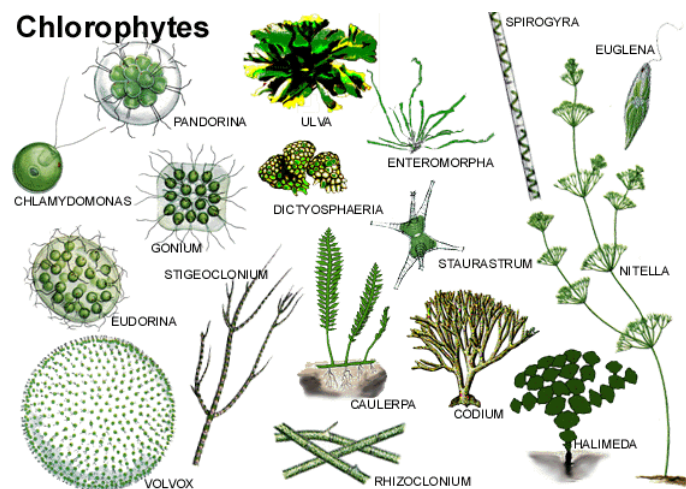
\* La paroi pectocellulosique est de composition complexe. Elle contient de la **cellulose** associé dans sa partie interne à d'autres **polysaccharides** parfois en quantité importante, **agar-agar** donnant une texture flexible et glissante, et dans sa partie externe elle est associée à des **carbonates de calcium** ce qui donne des algues dures et pierreuses : elle participe à la stabilisation des massifs coralliens en cimentant les débris coraux.

### II-6-3- Algues vertes ou *Chlorophyta* [du grec (χλωρός, *khlôros*, « vert ») et (φυτ(o), *phyt(o)*, « végétal »)]

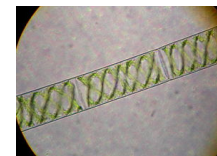
Type de cellule :	Eucaryotes
Structures cellulaires :	Paroi pectocellulosique
Nombre de cellules :	Unicellulaires ou Pluricellulaires
Mode de nutrition :	Autotrophes
Principaux embranchements :	<i>Chlorophyta</i>

Les **chlorophytes** (*Chlorophyta*) sont une division des *Plantae*. Elles comprennent une partie de ce que l'on appelle communément **algues vertes**, dont les pigments photosynthétiques principaux sont les **chlorophylles a** et **b**. La division *Chlorophyta* contient à la fois des espèces unicellulaires et multicellulaires. La plupart de ces espèces vivent dans des habitats d'eau douce et un grand nombre dans les habitats marins.

Les **chlorophytes** regroupent toutes les algues vertes, soit environ 7000 espèces de la plupart des organismes **eucaryotes aquatiques photosynthétiques**. Mais, selon d'autres définitions et auteurs, une chlorophyte comprend seulement les **Chlorophycées** et les **Streptophytes**, ce qui réduit leur nombre à environ 4300 espèces. Exemples de chlorophytes. Référence : [www.botany.hawaii.edu/BOT201/Algae/Chlorophyta%20lecture%20notes.htm](http://www.botany.hawaii.edu/BOT201/Algae/Chlorophyta%20lecture%20notes.htm)



Les **Spirogyres** sont des algues vertes formées de **filaments** coloniaux. Elles ne possèdent qu'un ou deux **chloroplastes** rubanés et disposés en forme de spirale. Leur chlorophylle, exposée à la lumière, permet la **photosynthèse** ; et l'amidon élaboré est stocké autour de **pyrénoïdes**.



Filament vu au microscope (x40) montrant 3 cellules contiguës. Source : [fr.wikipedia.org/wiki/Spirogyre](http://fr.wikipedia.org/wiki/Spirogyre)

## II-6-4- Plantes terrestres ou *Embryophyta*

Les **plantes terrestres** ou **Embryophytes** sont définies par la présence d'un **embryon** végétal, structure qui se développe après la **fécondation** à partir du **zygote** et qui donne un **sporophyte** avec racine, tige et feuilles. Les Embryophytes sont aussi dénommées **Cormophytes** ou **Archégoniates**.

Un **Cormophyte** est une plante dont l'appareil végétatif est un **Cormus** (du latin *cormus* signifiant tige, issu du grec *kormos* signifiant tronc), c'est-à-dire composé de trois organes, racine, tige et feuilles, par opposition au thalle des **Thallophytes**.

Les **Archégoniates** sont les végétaux dont le **gamétange** est un **archégone**. Le gamétange est une structure végétale qui produit et qui contient des **gamètes**.

On subdivise les plantes terrestres dans la classification **phénétique** classique en trois embranchements : **Bryophytes**, **Ptéridophytes** et **Spermatophytes**.

### Système de classification phénétique classique

Plantes terrestres ou <i>Embryophyta</i>		
<i>Bryophytes ou</i> <i>Mousses</i>	<i>Ptéridophytes ou</i> <i>Fougères</i>	<i>Spermatophytes ou</i> <i>Plantes à graines</i>

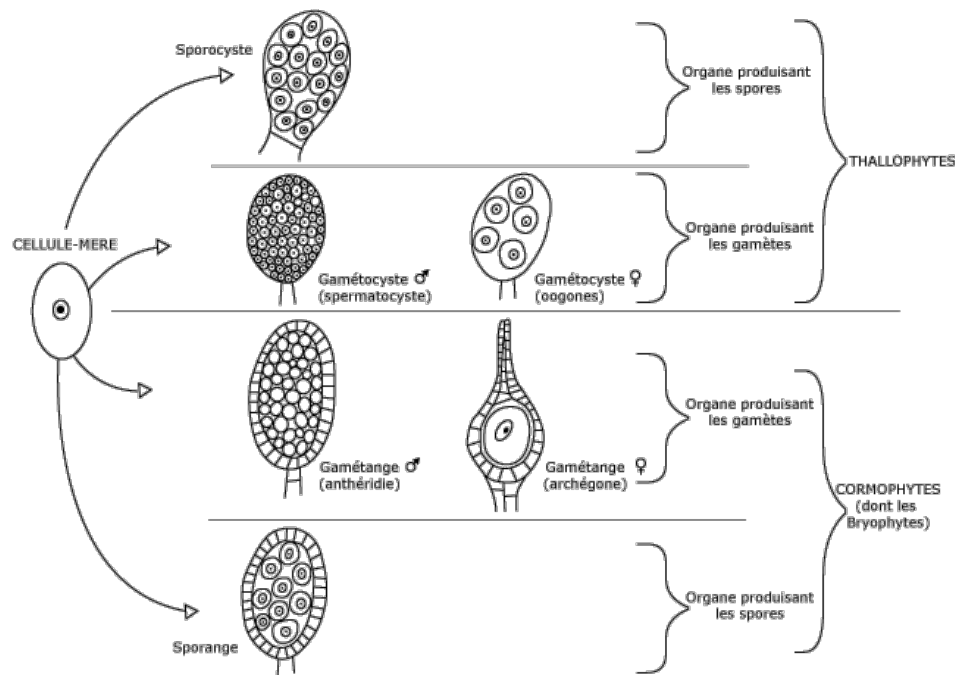
Ces 3 embranchements présentent en commun un certain nombre de caractères :

- **Le cormus** : l'appareil végétatif des **thallophytes**, le **thalle**, est dépourvu de tiges feuillées caractérisées. Celui des **cormophytes**, le **cormus**, est constitué de rameaux feuillés et de racines, édifiés par des méristèmes apicaux. Ainsi, on désigne par le vocable cormophytes, l'ensemble des plantes terrestres, y compris les bryophytes. Le terme thallophytes est réservé à l'ensemble des groupes considérés comme plus primitifs (mycètes et algues).

- **Sporanges et gamétanges** : la structure des **organes reproducteurs** oppose entre thallophytes et cormophytes. Lors de la reproduction, les **thallophytes** eucaryotes produisent des **spores** et des **gamètes**, lesquels sont logés respectivement dans des **sporocystes** et des **gamétocystes** issus d'une **cellule mère**. Le noyau de celle-ci subit plusieurs divisions successives et chaque noyau fils sera celui d'une spore ou d'un gamète. Ainsi, ce sporocyste ou ce gamétocyste sera donc limité par la paroi de la cellule mère.

*Structure des organes reproducteurs des thallophytes et des cormophytes (y compris les bryophytes). Adapté de Jean Marc Gil. [www.jean-marc-gil-touturlabotanique.com/page/introduction.html](http://www.jean-marc-gil-touturlabotanique.com/page/introduction.html)*

- Le sporocyste et le gamétocyste des thallophytes sont délimités par la paroi de la cellule mère.
- Les sporanges et les gamétanges des cormophytes sont délimités par une assise ou plusieurs assises de cellules.



Chez les **cormophytes**, au cours des premières divisions d'une **cellule mère**, une (ou plusieurs) assise(s) pluricellulaire(s) limitant l'organe au sein duquel se produiront **spores** ou **gamètes** est (sont) mise(s) en place. On parle de **sporangies** et de **gamétanges** qui sont donc limités par une ou plusieurs couches de cellules.

Les gamétanges mâles (produisant les **gamètes mâles**) et femelles (renfermant chacun un **gamète femelle** ou **oosphère**) sont appelés respectivement **anthéridies** et **archégones**.

- **Pigments et substances de réserve** : toutes les plantes terrestres possèdent des **chloroplastes** contenant des **chlorophylles a** et **b** et différents autres pigments dont les **carotènes**. Les substances de réserve sont généralement constituées par de l'**amidon** stocké dans les **plastides**.

- **Adaptations à la vie terrestre** : les parties aériennes des plantes sont généralement couvertes d'une **cuticule cireuse** qui leur permet de limiter les pertes en eau. Les échanges gazeux (CO<sub>2</sub> et O<sub>2</sub>) sont possibles grâce à des orifices dans l'**épiderme** qui représentent des structures **stomatiques**.

### II-6-4-1- *Bryophytes* [du grec (βρύον, *bruon*, « mousse ») et (φυτ(o), *phyt(o)*, « végétal »)]

Les **Bryophytes** au sens large sont formés de 3 **taxons** indépendants qui sont les suivants :

#### Classification des Bryophytes

*Hepaticophyta* ou  
*Hépatiques*  
≈ 6000 espèces

*Anthocerotophyta* ou  
*Anthocérotes*  
≈ 100 espèces

*Bryophyta* ou  
*Mousses*  
≈ 10000 espèces

De nombreuses espèces de bryophytes vivent sur le sol, d'autres sont **saxicoles** ou **épiphytes**. Elles sont toutes de **dimension modeste** et ne forment jamais de **cormus** vrai :

- **Pseudo racines** : l'appareil végétatif des **bryophytes** ne possède pas de **racines** mais différencie des **rhizoïdes**, qui les fixent au substrat mais n'absorbent pas la solution du sol. Les bryophytes ne pouvant absorber l'eau par leurs rhizoïdes ont la faculté de permettre à l'eau de rentrer par toutes les parties de la plante.

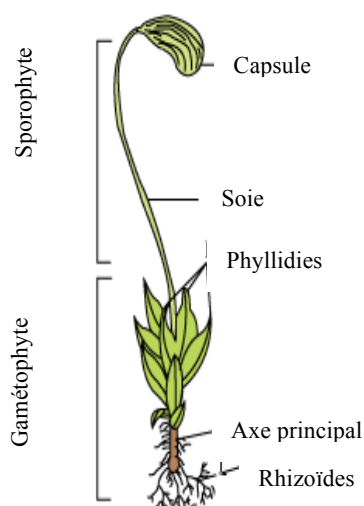


Image d'une bryophyte (*Funaria*). Adapté de : <https://www.plantscience4u.com/2014/01/characteristics-of-bryophytes.html>

Les Bryophytes ne possèdent pas de fleurs, leurs organes reproducteurs sont peu ou pas apparents, on parle de **Cryptogames**

- **Gamétophyte et sporophyte** : la partie aérienne représentée par le **gamétophyte** (phase haploïde), comprend un axe portant des appendices feuillés ou **phyllidies**. Le **sporophyte** (phase diploïde), toujours parasite du gamétophyte, a un développement limité et réalise rapidement la **méiose** dont sont issus les **spores** qui donneront naissance à de nouveaux gamétophytes.

- **Tissus conducteurs** : les bryophytes ne disposent pas de **tissus conducteurs** de l'eau et des nutriments. Certains bryophytes disposent cependant de tissus conducteurs spécialisés, mais ces derniers ne sont pas **lignifiés** : les **leptoïdes** qui interviennent dans la distribution des produits de la photosynthèse et les **hydroïdes** qui assurent la conduction de l'eau.

## II-6-4-2- Ptéridophytes [du grec (πτερόν, *ptéros*, « aile ») et (φυτ(ο), *phyt(o)*, « végétal »)]

L'embranchement des **Ptéridophytes** comprend 4 **classes** :

Classification des Ptéridophytes			
<i>Psilophytes</i>	<i>Lycophytes</i>	<i>Sphénophytes ou Prêles</i>	<i>Filicophytes ou Fougères</i>
≈ 3 espèces	≈ 850 espèces	≈ 30 espèces	≈ 9000 espèces

Ce sont des plantes **vasculaires** à **sporophyte** dominant et à **sporangies** nus. Ce sporophyte, complexe, possède tous les organes spécifiques : **racines**, **tiges** et **feuilles** :

- **Racines** : le sporophyte possède des **racines** nécessaires à l'absorption de l'eau et des sels minéraux dans le sol. L'apparition d'un **appareil racinaire** facilite la vie terrestre car il permet d'aller puiser l'eau profondément et assure l'ancrage de la plante au sol.

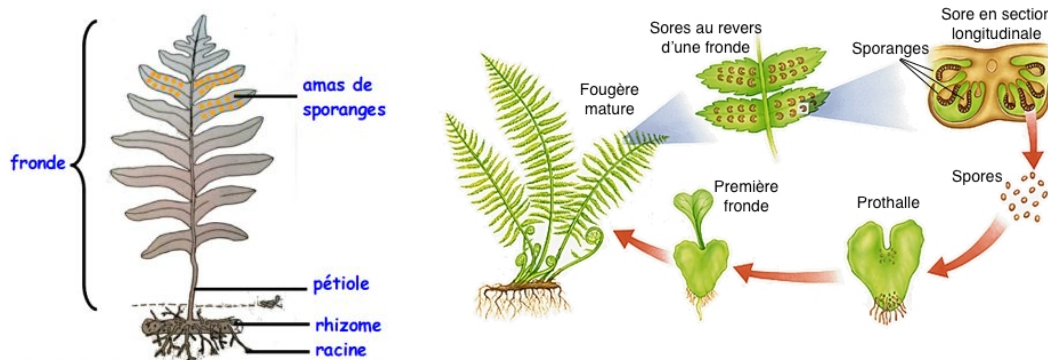


Illustration du sporophyte d'une fougère et son cycle de vie.

Les ptéridophytes sont cryptogames. Leurs sporanges regroupés en sores se différencient au revers d'une fronde du sporophyte. Ils libèrent des spores méiotiques haploïdes. De la germination d'une spore naît un minuscule gamétophyte, le prothalle, dont la fonction est de former des gamètes. L'embryon qui en résulte évolue en un nouveau sporophyte. Adaptés de : menardt.free.fr (image de gauche) et www.larousse.fr (image de droite)

- **Sporophyte et gamétophyte** : le sporophyte est constitué de **tiges**, soit souterraines à croissance horizontale ou **rhizome**, soit aériennes à croissance verticale. Chez les fougères actuelles, les **macrophylls** ou **frondes** s'insèrent directement sur le rhizome souterrain grâce à leur nervure principale ou **rachis** (**pétiole**). La génération gamétophytique est très réduite, on parle d'ailleurs de **prothalle**, qui porte les organes de reproduction **sexuée**.

- **Tissus conducteurs** : on rencontre chez les ptéridophytes des **tissus conducteurs** de **sèves** : le **phloème** ou **liber**, qui véhicule la **sève élaborée** et le **xylème** ou **bois**, qui véhicule la **sève brute**. Le développement de système de transport de sèves perfectionné a certainement été une étape importante de l'adaptation des plantes au milieu terrestre.



### II-6-4-3- *Spermatophytes* [du grec (σπέρμα, *sperma*, « graine ») et (φυτ(o), *phyt(o)*, « végétal »)]

Les **Spermaphytes** ou **Spermatophytes** (*Spermatophyta*) sont les **plantes** qui produisent des **graines** (**plantes à graines**). Les spermaphytes sont aussi appelés **phanérogames** par opposition aux **cryptogames**.

Un végétal **phanérogame** (du grec *phaneros*, apparent et *gamos*, union) est une plante ayant des **organes de reproduction** apparents dans le **cône** ou dans la **fleur**. La **dissémination** est assurée par des **graines**.

Un **cryptogame** (du grec *cryptos*, caché et *gamos*, union) est un organisme qui se caractérise par **organes reproducteurs** cachés ou peu apparents. Les champignons, les algues, les bryophytes et les ptéridophytes sont des cryptogames.

En plus d'être phanérogames, les spermatophytes sont des cormophytes présentant un **cormus vrai** avec tige, feuilles et racines plus complexes. Comme les ptéridophytes, elles sont **vasculaires** : on parle de **trachéophytes** (présence de vaisseaux conducteurs de sèves, **phloème** et **xylème**).

Aussi, les spermatophytes sont caractérisées par la présence de **fleurs** (rudimentaires ou élaborées) et la présence de **graines** (organes de conservation et de dissémination de l'espèce). Parmi ces spermatophytes, certaines ont des **graines nues** : ce sont les **Gymnospermes**. D'autres, protègent leurs graines à l'intérieur de l'**ovaire** qui donnera le **fruit** : ce sont les **Angiospermes**.

Thallophytes	Non Vascularisés	Cryptogames	Phycophytes (Algues)
			Mycophytes (Champignons)
Cormophytes			Trachéophytes
	Ptéridophytes (Fougères)		
	Phanérogames	Spermaphytes (Gymnospermes)	
Spermaphytes (Angiospermes)			

### II-6-4-3-1- *Gymnospermes* [du grec (γυμνός, *gymnos*, « nu ») et (σπέρμα, *sperma*, « graine »)]

Les **Gymnospermes** sont surtout abondantes dans les milieux froids où elles sont très largement dominantes. La plupart des gymnospermes sont des **conifères** tels que les Epicéa (*Picea*), les Sapins (*Abies*), les Mélèzes (*Larix*) et les Pins (*Pinus*).

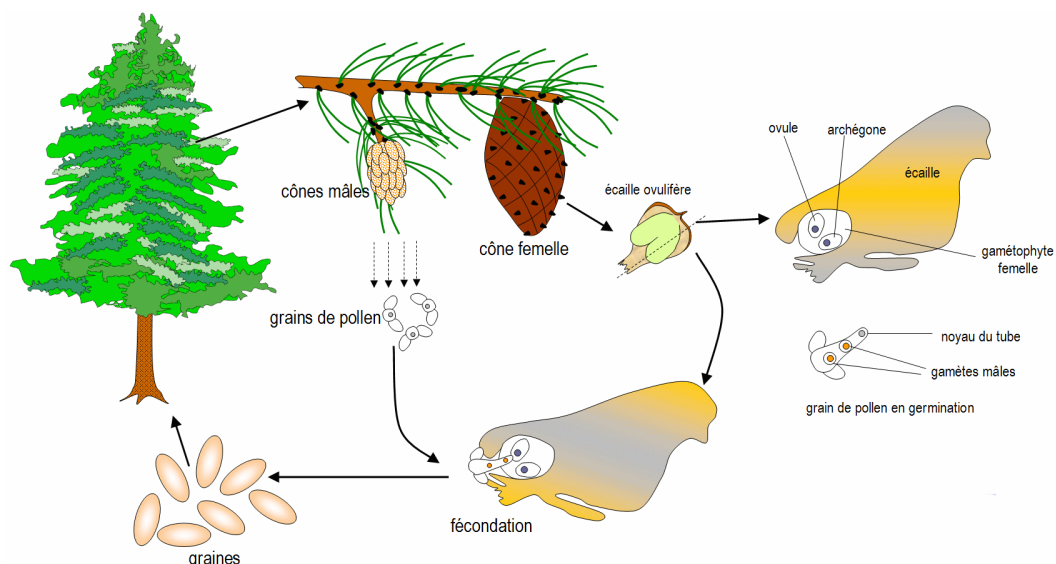
*Gymnospermes : arbres, feuilles et cônes de quatre espèces de conifères (Epicéa, Sapin, mélèze et Pin). Référence : jeretiens.net/les-7-principaux-climats/*



Les gymnospermes sont des plantes dont l'**ovule** est à nu (non enclos dans un **ovaire**) et porté par des pièces foliaires groupées sur un rameau fertile : **cône**.

Les **organes reproducteurs** sont localisés au niveau des **cônes**. Les **grains de pollen** sont présents dans les **cônes mâles** pendant que les **cônes femelles** abritent les **ovules** qui se transforment en **graines** après **fécondation**.

La graine libérée contient un **embryon** et pourra **germer** lorsqu'elle se pose dans un habitat propice.



*Cycle de développement d'une gymnosperme (Pin). Les grains de pollen libérés des cônes mâles sont transportés jusqu'aux cônes femelles. Après fécondation, l'embryon formé se développe et donnera un nouvel individu.*

*Référence : svt.ac-dijon.fr/schemassvt/spip.php ?article3357*



**II-6-4-3-2- Angiospermes** [du grec (ἀγγεῖον, *aggeíon*, « vase ou réceptacle ») et (σπέρμα, *sperma*, « graine »)]

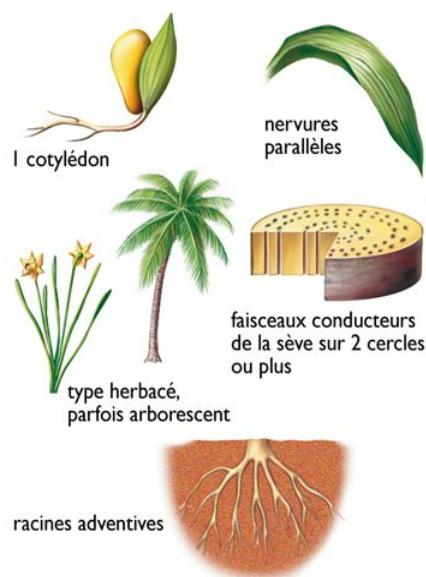
Les **Angiospermes** ou **Magnoliophytes** regroupent les plantes à **fleurs**, et donc les végétaux qui portent des **fruits**. Elles représentent la plus grande partie des espèces végétales terrestres avec 369 000 espèces répertoriées en 2015.

Les organes reproducteurs des Angiospermes sont condensés en une fleur, on parle de plantes à fleurs. On dit aussi plantes à graines où l'ovule fécondé et enfermé dans un ovaire, se transforme en un fruit clos. Illustration d'une Fleur et d'un Fruit du Cerisier (haut) et du Pommier (bas).  
Référence : [www.larousse.fr/encyclopedie/images/Fruits](http://www.larousse.fr/encyclopedie/images/Fruits)

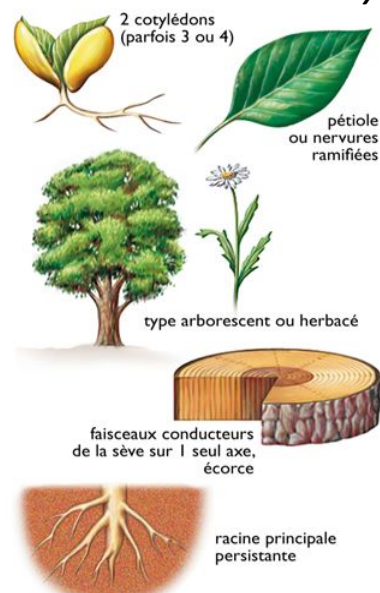


Les angiospermes dominent les paysages naturels terrestres tropicaux et tempérés, comme la savane ou la forêt. Elles comprennent 2 classes : les **Monocotylédones** et les **Dicotylédones**.

#### Monocotylédones



#### Dicotylédones



#### Les différences entre monocotylédones et dicotylédones.

Les monocotylédones sont essentiellement herbacées, les faisceaux vasculaires sont organisés en deux cycles ou plus, le système racinaire est adventif, un seul cotylédon est présent et les feuilles sont à nervation parallèle. Les dicotylédones présentent une plantule à deux cotylédons, les feuilles ont des nervures ramifiées, les faisceaux conducteurs sont organisés sur un seul axe et la racine est de type pivotante.

Référence : [www.larousse.fr/encyclopedie/images/Monocotylédones\\_et\\_dicotylédones/](http://www.larousse.fr/encyclopedie/images/Monocotylédones_et_dicotylédones/)

## II-7- Règne des *Animalia*

Les **animaux** (du latin *animalis*, « animé, vivant, animal ») ou ***Animalia*** ou encore **Metazoa** sont décrits comme des organismes **eucaryotes**, **pluricellulaires** généralement **mobiles** et **hétérotrophes**. Dans le langage courant, le terme animal est souvent utilisé pour distinguer le reste du monde animal des **humains**. La science consacrée à l'étude du règne animal est la **zoologie**.

Environ 1 250 000 espèces animales sont connues et répertoriées sur terre. Une étude publiée en 2011, indique que la terre recenserait environ 7 770 000 espèces animales dont 2 150 000 espèces vivant dans les océans.

Le règne animal comporte plusieurs embranchements, dont plusieurs ne comptent que peu d'espèces. Les espèces animales **vertébrées**, dont les individus sont charpentés d'un **squelette** au moins partiellement **ossifié**, sont très minoritaires par rapport au grand nombre d'espèces d'**invertébrées**.

Au sein de l'énorme masse d'espèces animales invertébrées, la richesse spécifique des différents embranchements est très variable selon les groupes. Plus de 85% des espèces connues et décrites appartiennent à l'embranchement des **Arthropodes**, dont une grande majorité d'insectes.

### *Règne Animalia*

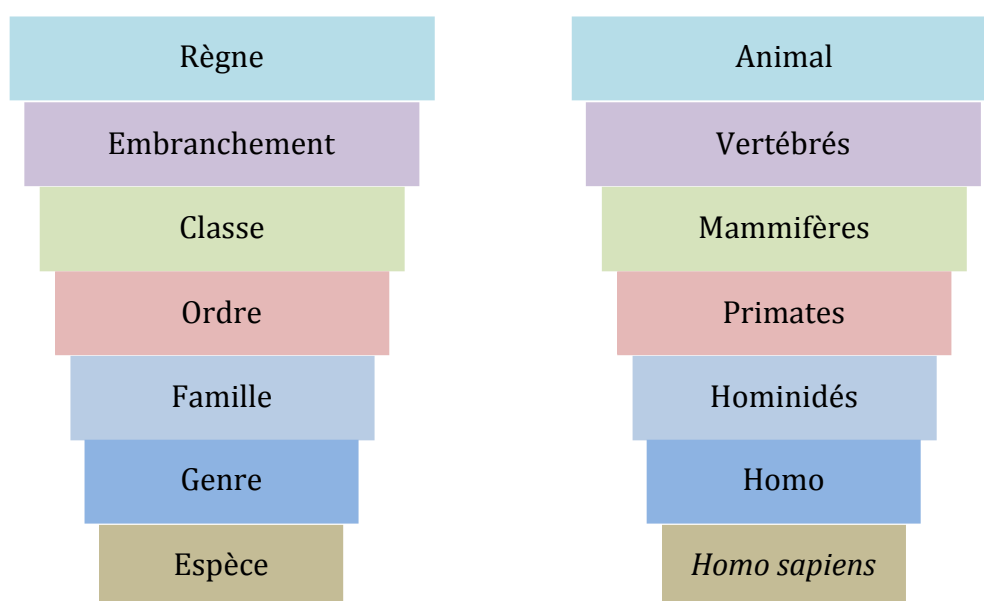
Embranchement	Nombre d'espèces	Exemples
Arthropodes	1 200 000	Insectes, araignées, crabes
Mollusques	110 000	Escargots, moules, pieuvres
Nématodes	120 000	Ascaris
Chordés	47 200	Mammifères, oiseaux, poissons, reptiles
Plathelminthes	20 000	Ver solitaire
Annélides	15 000	Lombric, sangsues
Cnidaires	10 000	Méduses, polypes
Echinodermes	6 000	Oursins, étoiles de mer
Spongiaires	4 300	Eponges
Autres (27)	100 000	Vers marins, constituants de zooplancton ...

### III- Eléments de classification

Dans les sciences du vivant, la **classification** des **espèces** correspond autant à la **systématique** qu'à la **taxinomie**. La **taxinomie** ou **taxonomie** a pour objet de décrire les organismes vivants et de les regrouper en entités appelées **taxons** afin de les identifier, les nommer et les classer via des clés de détermination. Elle complète la **systématique** qui est la science qui organise le classement des taxons et leurs relations.

#### III-1- Bases de la classification

La classification repose sur une hiérarchie fixe de catégories (les **rangs** de **taxon**), définie de la façon suivante (avec exemple d'application à l'espèce humaine) :



La langue utilisée par les scientifiques pour décrire et nommer les espèces vivantes est le **latin**. Une espèce est désignée par un **nom binominal**, combinant un nom de **genre** commençant par une **majuscule** suivi du nom de l'**espèce** (entièrement en **minuscules**) et, autant que possible suivie de la citation abrégée du **nom de l'auteur** (en botanique) ou en entier (en zoologie) qui a le premier décrit l'espèce sous ce nom ; le nom complet est en **italique**. En voici quelques exemples d'application à 5 espèces différentes :

Règne	Embranchement	Nom binominal	Nom Commun
<i>Plantae</i>	<i>Chlorophyta</i>	<i>Spirogyra</i> sp. Link., 1820	Spirogyre
<i>Plantae</i>	<i>Pinophyta</i>	<i>Pinus halepensis</i> Mill., 1768	Pin d'Alep
<i>Plantae</i>	<i>Magnoliophyta</i>	<i>Triticum durum</i> Desf., 1798	Blé dur
<i>Animalia</i>	<i>Chordata</i>	<i>Mus musculus</i> Linnaeus, 1758	Souris grise
<i>Animalia</i>	<i>Chordata</i>	<i>Homo sapiens</i> Linnaeus, 1758	Humain

### III-2- Historique de la systématique appliquée à la flore

Distinguer entre les différentes espèces végétales, reconnaître leurs traits structuraux les plus importants et pouvoir les identifier a toujours été important pour l'homme depuis fort longtemps. L'histoire de la systématique appliquée à la flore peut être divisée en 6 étapes :

#### III-2-1- L'Antiquité [du latin *antiquus* signifiant antérieur, ancien]

- **Théophraste (371-288 av. J-C)** : auteur d'un ouvrage, *Histoire des plantes*, dont une part importante est consacrée à un inventaire des plantes et comprend des informations sur l'influence du milieu sur leur développement, sur leur mode de reproduction et sur leur utilité.

- **Dioscorides (40-90 apr. J-C)** : médecin militaire connu pour son ouvrage, *De Materia Medica*, qui décrit les végétaux (plus de 600 espèces) et leurs usages médicaux. Il donne le nom populaire de chaque espèce, la décrit brièvement et indique ses vertus.

- **Albert le Grand (vers 1200-1280)** : théologien, philosophe et naturaliste, il fut un inlassable encyclopédiste. Dans son ouvrage, *De vegetabilibus*, il classe plus de 400 espèces végétales et distingue pour la première fois entre Monocotylées et Dicotylées.

#### III-2-2- La Renaissance – les Herboristes [période 1300 - 1600]

Avec l'invention et la diffusion de l'imprimerie (1440), plusieurs ouvrages traitant des propriétés médicinales des plantes furent produits durant cette période. De même, les herboristes durent étendre et améliorer les travaux des anciens et les plantes furent, pour la 1<sup>ère</sup> fois, décrites à l'aide de gravures sur bois ou cuivre. Parmi ces herboristes :

- **Leonhart Fuchs (1501-1566)** : médecin et botaniste Allemand, il publia en 1542, *De historia stirpium commentarii*. Un ouvrage qui décrit plus de 400 espèces de son pays et un millier d'espèces étrangères, avec des illustrations (dessin et gravures) d'une grande précision. Il accorde une importance à la synonymie, son ouvrage était accompagné d'un chapitre, *Explication des termes difficiles*, premier glossaire connu des termes botaniques.

- **Rembert Dodoens (1517-1585)** : botaniste et médecin qui publia en 1554, *Crŷjdeboeck* en Flamand. Il Utilise les planches du travail de **Leonhart Fuchs** et y ajoute de nouvelles gravures.

- **John Gerard (1542-1612)** : botaniste anglais, célèbre pour son herbier. En 1597, il le publie sous le titre, *The Herball or General Historie of Plantes*. Il s'inspire de l'œuvre de **Dodoens** et ajoute 182 espèces, ainsi que ses propres observations. Sa première édition a été corrigée par **Thomas Johnson**, un botaniste et apothicaire britannique, qui publia une seconde édition en 1633-1636.

### III-2-3- Les systèmes artificiels de classification

Des flores descriptives font leur apparition pendant ces périodes, le mérite revient :

- **Joseph Pitton de Tournefort (1656-1708)** : botaniste français, il publia son ouvrage traduit en latin, *Institutiones rei herbariae* en 1700. Il a fait avancer la classification en botanique, en s'appuyant sur une classification en fonction des fleurs, sans autant abandonner la distinction traditionnelle arbres/plantes.

- **John Ray (1627-1705)** : naturaliste anglais, auteur d'une première classification naturelle des plantes qu'il expose dans 3 ouvrages : *Methodus plantarum nova* (1682), *Historia plantarum* (1<sup>er</sup> volume - 1686) et *Methodus emendata* (1703). Il sépare ainsi les monocotylédones des dicotylédones de façon nette, les gymnospermes des angiospermes et les plantes sans fleurs des plantes à fleurs.

- **Charles Linné (1707-1778)** : célèbre naturaliste suédois qui a fondé les bases du système moderne de la nomenclature binominale. C'est en 1753 qu'il fait publier *Species plantarum* où il décrit environ 8 000 végétaux différents pour lesquels il met en application de manière systématique cette nomenclature binominale (genre et espèce).

### III-2-4- Les systèmes naturels de classification

Des critères plus affinés liés aux organes reproducteurs (fleurs) et aux fruits ont été adoptés pour construire des systèmes de classification dits naturels :

- **Antoine-Laurent de Jussieu (1748-1836)** : botaniste français et auteur d'une œuvre, *Genera plantarum* (1789), à la base de toute la classification actuelle des végétaux supérieurs. En effet, il divise le règne végétal en classes, divisées elles-mêmes en ordres. Il donne plus d'importance au nombre de cotylédons et utilise plus amplement les critères liés aux pétales et aux étamines.

- **Augustin Pyrame de Candolle (1778-1841)** : botaniste suisse, fut l'un des fondateurs de la géographie botanique avec son *Essai élémentaire de Géographie biologique* paru en 1820. Il fut également un descripteur et classificateur du monde végétal où il affine et formalise l'œuvre d'Antoine-Laurent de Jussieu, en y apportant de nouvelles distinctions dans la classification.

- **George Bentham (1800-1884)** : un des plus importants systématiciens de botanique en son époque. Sa plus grande œuvre est son *Genera plantarum*, qu'il commence en 1862 et qui sera achevé en 1883 par Sir **Joseph Dalton Hooker (1817-1911)**. Une œuvre monumentale qui rassemble 7000 descriptions génériques à partir de 200 familles des principales plantes à graines.

### III-2-5- La phylogénie

Les concepts de sélection naturelle et de liens de parenté avec un ancêtre commun éventuel, présentés dans *Origin of Species* publié en 1859 par *Charles Darwin (1809-1882)*, encouragent les botanistes à incorporer les concepts d'évolution dans la classification. Les systématiciens se sont efforcés alors de rechercher des bases de classification qui prenaient en compte les affinités naturelles des espèces mais aussi leurs liens de parenté avec un ancêtre commun éventuel : la phylogénie est née.

### IV- Glossaire propre au chapitre

#### - *Algues brunes ou Phaeophyceae*

Ce sont des algues qui utilisent comme pigment collecteur de lumière de la chlorophylle *c* combinée à un pigment brun, la fucoxanthine.

#### - *Algues rouges ou Rhodophyta*

Grand taxon d'algues pour la plupart marines et pour la plupart multicellulaires. Elles renferment de la chlorophylle *a*, des caroténoïdes et des pigments caractéristiques, les phycobiliprotéines.

#### - *Algues vertes ou Chlorophyta*

Ensemble d'algues dont les pigments photosynthétiques principaux sont les chlorophylles *a* et *b*. Comme leur nom l'indique, les algues vertes sont généralement de couleur verte.

#### - *Allophycocyanine*

Est une famille de pigments bleus des phycobiliprotéines, qui se situent principalement chez les cyanobactéries et les algues rouges.

#### - *Angiospermes [du grec Angeion 'récipient' et sperma 'graine'] ou Magnoliophytes*

Regroupe les plantes à fleurs, et donc les végétaux qui portent des fruits. Angiosperme signifie 'graine dans un récipient' en grec par opposition aux gymnospermes (graine nue).

#### - *Animalia ou Métazoaires [du grec méta 'après' et zôon 'animal']*

Désigne les animaux. Ces organismes ainsi qualifiés sont multicellulaires, eucaryotes et hétérotrophes.

#### - *Archées ou Archaea*

Anciennement appelées archéobactéries, les archées sont des microorganismes unicellulaires procaryotes. Du point de vue de leur génétique, leur biochimie et leur biologie moléculaire, les archées sont des organismes aussi différents des bactéries que des eucaryotes.

#### - *Archégoniates*

Végétaux dont le gamétange femelle est un archégone. L'archégone est bien différencié chez les bryophytes et les ptéridophytes où il est constitué d'un col, étages de cellules formant un canal, et d'un ventre, contenant les oosphères. Il a disparu chez les angiospermes.

#### - *Autotrophie*

C'est la production par un organisme vivant de matière organique par réduction de matière inorganique et matière minérale. Ce mode de nutrition caractérise les végétaux chlorophylliens, les cyanobactéries et les bactéries sulfureuses.

### - *Bactérie ou Bacteria*

Le terme bactérie désigne certains organismes vivants microscopiques et procaryotes présents dans tous les milieux. Le plus souvent unicellulaires, elles sont parfois pluricellulaires (généralement filamenteuses).

### - *Biologie [du grec bios 'la vie' et logos, 'discours']*

Est la science du vivant. Elle recouvre une partie des sciences de la nature et de l'histoire naturelle des êtres vivants.

### - *Botanique*

Est la science consacrée à l'étude des végétaux. Elle recouvre la taxinomie, la systématique, la morphologie végétale, l'histologie végétale, la physiologie végétale, la biogéographie végétale et la pathologie végétale.

### - *Bryophyte*

Le terme bryophyte s'applique aux trois embranchements de plantes terrestres qui ne possèdent pas de vrai système vasculaire.

### - *Caroténoïdes*

Regroupe les molécules des familles des carotènes et des xanthophylles. Ce sont des pigments plutôt orange et jaune, liposolubles, appartenant à la famille chimique des terpénoïdes et contenus dans les chloroplastes et plus particulièrement les chromoplastes des plantes.

### - *Chlorobiontes ou Chlorobionta ou Viridiplantae*

Ensemble des organismes couramment reconnus comme les végétaux verts. Ils forment un groupe comprenant les algues vertes et les plantes terrestres. Ils sont notamment caractérisés par la présence de chlorophylle *a* et de chlorophylle *b*.

### - *Chlorophylle [du grec khlôros 'vert' et phûllon, 'feuille']*

Est le principal pigment assimilateur des végétaux photosynthétiques. Situé dans le chloroplaste des cellules végétales, il intervient dans la photosynthèse pour intercepter l'énergie lumineuse, première étape dans la conversion de cette énergie en énergie chimique. Son spectre d'absorption du rayonnement lumineux est responsable de la couleur verte des végétaux ; la longueur d'onde la moins absorbée étant le vert, c'est donc cette couleur qui est perçue dans la lumière réfléchie vers l'œil par la feuille.

### - *Chromistes ou Chromista*

Le groupe présumé des chromistes ou la lignée brune, est composé d'êtres vivants uni- et pluricellulaires, photosynthétiques pour la plupart.

### - *Classe*

En biologie, la classe est le troisième niveau de classification classique des espèces vivantes. Le nom des classes se termine par le suffixe *–opsida* chez les plantes, *–phyceae* chez les algues et *–mycètes* chez les champignons.

### - *Classification*

Correspond autant à la systématique, qui est la méthode ou ensemble de méthodes pour classer le vivant, qu'à la taxinomie, qui est la classification elle-même, résultante de l'application de la méthode.

### - *Cormophyte [du latin cormus 'tige']*

Est une plante dont l'appareil végétatif est un cormus, c'est-à-dire composé de trois organes, racine, tige et feuilles, par opposition au thalle des thallophytes.



### - *Cotylédon*

Est une feuille primordiale constitutive de la graine. Les cotylédons sont nécessaires au développement de la jeune plantule des spermaphytes. Ils lui fournissent les métabolites nécessaires à sa croissance soit par photosynthèse (cotylédons verdissent, devenant des préfeuilles), soit en utilisant les réserves nutritives mises en place dans la graine.

### - *Cryptogame [du grec cryptos 'caché' et gamos 'union']*

Organisme végétal qui se caractérise par des organes reproducteurs cachés ou peu apparents. Cette notion est à opposer à phanérogame.

### - *Cyanobactérie ou Cyanobacteria*

C'est un embranchement de bactéries procaryotes, également appelées 'algues bleues' ou autrefois 'algues bleu-vert'. Malgré une éventuelle ressemblance superficielle et écologique, les cyanobactéries ne sont pas des algues mais des bactéries coloniales. Ce sont le plus souvent des formes filamenteuses dont le plus grand nombre est microscopique. Malgré leur nom, elles peuvent prendre diverses couleurs et sont rarement bleues. Ces couleurs viennent des pigments bleus (phycocyanines) et rouges (phycoérythrine) qui masquent la chlorophylle a.

### - *Dicotylédone ou Magnoliopsida*

Angiosperme dont la plantule présente en général deux cotylédons, ce qui les différencie des monocotylédones.

### - *Embranchement ou phylum ou division*

En systématique, l'embranchement est le deuxième niveau de classification des espèces vivantes. Le nom des embranchements se termine par le suffixe *-phyta* chez les plantes et algues et *-mycota* chez les champignons.

### - *Embryophytes ou Embryophyta*

Rassemblent les plantes terrestres, définies par la présence d'un embryon végétal, structure qui se développe après la fécondation à partir du zygote. L'embryon se développe en sporophyte avec racine, tige et feuilles.

### - *Empire [en latin imperium] ou domaine*

En biologie, l'empire est une catégorie taxonomique supérieure à celle du règne. Il est parfois considéré comme un synonyme du terme plus récent de domaine.

### - *Endosymbiose*

Est la coopération mutuellement bénéfique entre deux organismes vivants, où l'un est contenu par l'autre. On parle d'endosymbiose primaire quand un eucaryote phagocyte un procaryote vivant et d'endosymbiose secondaire lorsqu'un eucaryote phagocyte un autre eucaryote possédant déjà un endosymbionte.

### - *Epiphytes*

Plantes qui poussent en se servant d'autres plantes comme support. Ce sont des organismes autotrophes photosynthétiques, capables d'absorber l'humidité de l'air et trouvent les sels minéraux, partiellement dans l'humus qui peut se former à la base des branches, et pour une autre partie dans les particules et gaz, absorbés ou solubilisés dans l'eau de la pluie et des rosées.

### - *Espèce [du latin species 'type' ou 'apparence']*

Est le taxon de base de la systématique. D'après Ernst Mayr (1942), 'une espèce est une population ou un ensemble de populations dont les individus peuvent effectivement ou potentiellement se reproduire entre eux et engendrer une descendance viable et féconde, dans des conditions naturelles'.



### - *Eucaryotes* ou *Eukaryota*

Sont un domaine regroupant tous les organismes, unicellulaires ou multicellulaires, qui se caractérisant par la présence d'un noyau et généralement d'organites spécialisés dans la respiration, en particulier mitochondries chez les aérobies mais aussi hydrogénosomes chez certaines anaérobies.

### - *Famille*

En biologie, la famille est un taxon qui regroupe les genres qui présentent le plus de similitudes entre eux. Elle constitue le cinquième niveau de la classification classique des espèces vivantes. Le nom des familles se termine par le suffixe *–aceae* chez les plantes, algues et champignons.

### - *Flore*

Est l'ensemble des espèces végétales présentes dans un espace géographique ou un écosystème déterminé.

### - *Fungi* ou *Mycota* ou *Mycètes* ou *fonge*

C'est un taxon regroupant les organismes eucaryotes appelés plus communément champignons. L'existence simultanée d'une paroi cellulaire périphérique et de vacuoles turgescents dans le cytoplasme, les rapproche des végétaux auxquels on les rattachait autrefois, alors que leur corps végétatif non différencié et leur paroi peptido-polyosidique les distingue des plantes. L'absence de chloroplastes, de chlorophylle et d'amidon en fait, comme les animaux, des organismes hétérotrophes au carbone.

### - *Gamétange*

Est une structure végétale qui produit et qui contient des gamètes. Les gamétanges se rencontrent uniquement chez les Archégoniates.

### - *Gamète*

Est une cellule reproductrice, mâle ou femelle dont le noyau ne contient qu'un seul chromosome de chaque paire (haploïde) et qui ne peut se multiplier seule mais doit s'unir à un gamète de sexe opposé, dans l'acte de fécondation, pour donner un zygote qui se développera en un nouvel organisme. Le zygote et le nouvel organisme auquel il donne naissance possèdent donc un double jeu de chromosomes (diploïde).

### - *Gamétocyste*

Est une structure végétale qui produit et qui contient des gamètes. Les gamétocystes se rencontrent uniquement chez les thallophytes.

### - *Gamétophyte*

Le gamétophyte est, chez les végétaux, la génération du cycle de vie qui produit les gamètes. En d'autres termes, c'est l'individu issu d'une méiospore et produisant des gamètes. Le gamétophyte est donc forcément un individu haploïde.

### - *Genre*

En systématique, le genre est un rang taxinomique qui regroupe un ensemble d'espèces ayant en commun plusieurs caractères similaires. Le genre est le sixième rang principal de la systématique classique des espèces vivantes.

### - *Glaucophytes* ou *Glaucophyta* ou *Glaucocystophytes*

Organismes unicellulaires qui se caractérisent par des chloroplastes ou 'cyanelles' de couleur bleu-vert, les pigments accessoires contenus dans les phycobilisomes sont la phycocyanine et l'allophycocyanine.

- ***Gymnospermes ou Gymnospermae [du grec gymnos 'nu' et sperma 'graine']***

Plantes dont l'ovule est à nu (non enclos dans un ovaire, à la différence des angiospermes) et porté par des pièces foliaires groupées sur un rameau fertile : cône.

- ***Hétérotrophie [du grec heteros 'autre' et trophê 'nourriture']***

C'est la nécessité pour un organisme vivant de se nourrir de constituants organiques préexistants. Les hétérotrophes se procurent leur matière organique en la prélevant sur d'autres organismes, vivants (cas des parasites et des commensaux), ou morts (prédateurs, nécrophages), ou encore sur les restes d'autres êtres vivants (saprophytes).

- ***Hydrogénosome***

Est un organite présent dans certains organismes anaérobies et certains fungi. Il permet la production de l'hydrogène, de l'acétate, du dioxyde de carbone et de l'ATP grâce à l'action combinée de plusieurs enzymes. Le nom de cet organite provient du fait qu'elle produit de l'hydrogène.

- ***Lichens***

Organismes composites résultant d'une symbiose entre au moins un champignon hétérotrophe appelé mycobionte, et des cellules microscopiques possédant de la chlorophylle (algue verte ou cyanobactérie autotrophe pour le carbone) nommées photobiontes.

- ***Mixotrophie***

Est le mode trophique d'organismes vivants capables de se nourrir par autotrophie (via la photosynthèse) aussi bien que par hétérotrophie (aux dépens de constituants organiques préexistants), consécutivement ou simultanément.

- ***Monocotylédone ou Liliopsida***

Angiosperme dont la plantule typique ne présente qu'un seul cotylédon sur l'embryon évoluant en une préfeuille, contrairement aux Dicotylédones qui ont deux.

- ***Monophylie [du grec monos 'seul' et phulon 'tribu']***

Est la caractéristique d'un groupe qui contient l'espèce souche dont descendent tous ses membres. Un groupe monophylétique est appelé aussi un clade.

- ***Multicellulaire ou pluricellulaire***

Est un organisme vivant composé de plusieurs cellules, différenciées ou non, en contact. Les organismes qui peuvent être vus à l'œil nu sont habituellement multicellulaires.

- ***Nom binominal ou nom binomial***

Est une combinaison de deux mots servant à désigner une espèce. Le premier mot, le nom générique, correspond au genre là où le second, l'épithète spécifique, indissociable du nom générique, sert à désigner l'espèce au sein de ce genre.

- ***Ordre***

En biologie, l'ordre est le quatrième niveau de classification classique des espèces vivantes. Le nom des ordres se termine par le suffixe *–ales* chez les plantes, les algues et champignons.

- ***Organisme [du grec organon 'instrument'] ou organisme vivant***

Est en biologie et en écologie, un système vivant complexe, organisé et est le produit de variations successives au cours de l'évolution. Il est constitué d'une ou plusieurs cellules vivantes. Les organismes vivants sont classifiés en espèces partageant des caractéristiques génétiques, biologiques et morphologiques communes.

**- Osmotrophie**

Est un mode d'alimentation qui consiste à se nourrir à partir de substances dissoutes. La nutrition des organismes osmotrophes est assurée par échange transmembranaire, c'est-à-dire par diffusion d'ions ou de petites molécules au travers de la membrane cytoplasmique.

**- Oxyphotobactéries ou Oxyphotobacteria**

Classe des cyanophycées, qui fixent par photosynthèse le carbone du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et libèrent du dioxygène (O<sub>2</sub>).

**- Phagocytose**

Est le processus cellulaire par lequel certaines cellules peuvent ingérer des particules étrangères solides d'échelle micrométrique. Elle est considérée comme une forme particulière d'endocytose.

**- Phanérogame [du grec phaneros 'apparent' et gamos 'union']**

Plante ayant des organes de reproduction apparents dans le cône ou dans la fleur.

**- Phénétique**

Repose sur le postulat de base que le degré de ressemblance est corrélé au degré de parenté. Elle suppose donc de quantifier la ressemblance entre les êtres vivants à classer.

**- Phycobiliprotéines**

Sont des pigments hydrosolubles de la photosynthèse. Elles sont constituées d'une apoprotéine et d'un chromophore qui est une biline. Il existe quatre types de phycobiliprotéines : allophycocyanine, phycocyanine, phycoérythrine et phycoérythrocyanine.

**- Phycobilisome**

Est un complexe collecteur d'énergie lumineuse de l'appareil photosynthétique présent chez les cyanobactéries, les algues rouges et les glaucocystophytes. Il est extrinsèque à la membrane thylakoïdale et constitué de phycobiliprotéines.

**- Phycocyanine [du grec phyco 'algue' et cyanine, 'cyan, bleu-vert']**

Est l'association de protéines de la famille des phycobiliprotéines, et de pigments hydrosolubles de la photosynthèse, les phycocyanobilines.

**- Phycoérythrine**

Est une phycobiliprotéine. C'est un pigment rouge constitué d'une apoprotéine et d'un chromophore.

**- Phylogénie [du grec phylon 'race, tribu, espèce'] ou phylogénèse**

Est l'étude des relations de parenté entre êtres vivants. Elle permet de reconstituer l'évolution des organismes vivants.

**- Plantes ou Plantae**

Ce sont des organismes photosynthétiques et autotrophes, caractérisés par des cellules végétales. Elles forment l'un des règnes des eucaryotes. Ce règne comprend les plantes terrestres, les algues vertes, les algues rouges et les glaucophytes.

**- Procaryote ou Prokaryota**

Est un être vivant dont la structure cellulaire ne comporte pas de noyau, et presque jamais d'organites membranaires. Il s'agit des microorganismes unicellulaires simples qu'on nomme informellement bactéries, et qui se divisent en archées et en eubactéries.

- **Protozoaire ou Protozoa [du grec prôtos 'premier' et zôon 'animal']**

Désigne des êtres souvent unicellulaires, hétérotrophes, mobiles et qui ingèrent leur nourriture par phagocytose.

- **Ptéridophytes ou Pteridophyta**

Plantes vasculaires (présentant xylème et phloème) ne produisant ni fleurs ni graines. Ce sont donc des cryptogames vasculaires.

- **Pyrénoïde**

Est une structure cellulaire interne aux plastides de certaines lignées végétales, qui concentre les enzymes responsables de la photosynthèse.

- **Règne [du latin regnum]**

Est dans la taxonomie linnéenne, le plus haut niveau de classification des êtres vivants. Dans les classifications les plus récentes, le règne n'est plus que le deuxième niveau de classification après le domaine ou bien l'empire.

- **Saxicole [du latin saxum 'roc, rocher']**

Se dit de tout organisme (lichen, bactérie, algue, plante) qui vit naturellement et préférentiellement ou uniquement sur les rochers.

- **Spermatophytes ou Spermatophyta**

Sont les plantes qui produisent des graines (plantes à graines).

- **Sporange**

Est une structure végétale qui produit et qui contient des spores. Le sporange est porté par le sporophyte. Les sporanges se rencontrent uniquement chez les Archégoniates.

- **Spore**

Est une cellule spécialisée capable de donner naissance à un nouvel organisme par divisions mitotiques, sans qu'il y ait fusion préalable avec une autre cellule. L'organisme issu de la spore, résultat d'une reproduction agame (c'est-à-dire n'impliquant pas la fusion de gamètes), peut donc se perpétuer, identique à lui-même, de générations en générations.

- **Sporocyste [du grec sporos, spora 'semence' et kýstis 'vessie, sac']**

Est une structure cellulaire ou multicellulaire qui produit et qui contient des formes de multiplication asexuée (spores). Les sporocystes se rencontrent chez les thallophytes.

- **Sporophyte**

Est le stade de la génération du cycle de reproduction des plantes qui produit des spores (microspores ou macrospores éventuellement), qui sont disséminées ou non. Cette phase du cycle de développement fait suite à la fécondation ; elle contient donc le double de chromosomes du gamétophyte.

- **Systématique**

Est la science pure de la classification des taxons, via un système permettant de les dénombrer et surtout de les classer en les organisant dans un certain ordre, sur la base de principes logiques.

- **Taxinomie ou taxonomie**

Branche de la biologie qui a pour objet de décrire les organismes vivants et de les regrouper en entités appelées taxons afin de les identifier, les nommer et les classer via des clés de détermination.

### - *Taxon*

Est une entité conceptuelle qui est censée regrouper tous les organismes vivants possédant en commun certains caractères taxinomiques ou diagnostiques bien définis.

### - *Thallophytes*

Organismes non mobiles traditionnellement décrites comme 'plantes inférieures', non vascularisées, sans feuille, ni tige, ni racine, possédant un corps indifférencié : thalle.

### - *Trachéophytes [du grec trakheia 'conduit raboteux'] ou plantes vasculaires*

Plantes caractérisées par la présence de vaisseaux (phloème et xylème contenant des trachéides, d'où le nom) assurant la circulation de la sève.

### - *Unicellulaires*

Ce sont des organismes composés d'une seule cellule. En règle générale, ces organismes sont microscopiques et sont présents dans tous les milieux et sur toutes les surfaces.

### - *Végétaux*

Un végétal est un organisme appartenant à l'une des diverses lignées qui végètent : c'est-à-dire qui respirent, se nourrissent, croissent comme les plantes, selon l'étymologie du terme. Le règne végétal est un assemblage d'organismes photosynthétiques et dont les cellules ont une paroi faite de cellulose. Ce groupe est formé de deux lignées, l'une d'algues, et la seconde de plantes terrestres, qui comprennent notamment les bryophytes (mousses et hépatiques), fougères (ptéridophytes), gymnospermes et angiospermes.

# **Histologie végétale et méristèmes**

## Sommaire

<b>I- Histologie végétale</b>	<b>27</b>
<b>II- Origine des tissus : Méristèmes</b>	<b>27</b>
<b>II-1- Méristèmes primaires</b>	<b>27</b>
<b>II-1-1- Localisation</b>	<b>27</b>
<b>II-1-2- Caractéristiques cytologiques</b>	<b>28</b>
<b>II-1-3- Différenciation cellulaire</b>	<b>29</b>
<b>II-1-4- Spécialisation cellulaire</b>	<b>30</b>
<b>II-1-5- Dédifférenciation cellulaire</b>	<b>31</b>
<b>II-2- Méristèmes secondaires</b>	<b>33</b>
<b>II-2-1- Localisation</b>	<b>33</b>
<b>II-2-2- Origine</b>	<b>33</b>
<b>II-2-3- Caractéristiques cytologiques</b>	<b>34</b>
<b>II-2-4- Anatomie des cellules cambiales</b>	<b>34</b>
<b>II-2-5- Différenciation des méristèmes secondaires</b>	<b>34</b>
<b>III- Glossaire propre au chapitre</b>	<b>35</b>

## I- Histologie végétale [du grec ancien ἵστος, *histos* 'tissu' et λόγος, *logos* 'discours']

L'**histologie végétale** est la branche de la biologie végétale qui étudie la structure microscopique des **tissus végétaux**. Un tissu végétal est un groupement de **cellules** végétales ayant une même origine embryologique et qui se sont semblablement **différenciées** dans le but de remplir une fonction déterminée.

## II- Origine des tissus : Méristèmes [du grec μεριστός, *meristos* 'divisé']

Chez les végétaux supérieurs, toute cellule est issue d'un **méristème**. Le méristème est un tissu cellulaire spécialisé dans la **croissance**. Il est composé de cellules **indifférenciées** qui se divisent par **mitoses** un nombre indéfini de fois, puis se **différencient** en acquérant une structure et une fonction. Les cellules du méristème sont aussi appelées **initiales**.

On distingue habituellement les **méristèmes primaires** et les **méristèmes secondaires**.

Les **méristèmes primaires** : Assurent la **croissance** de la plante en **longueur** au niveau de la tige, des feuilles et des racines.

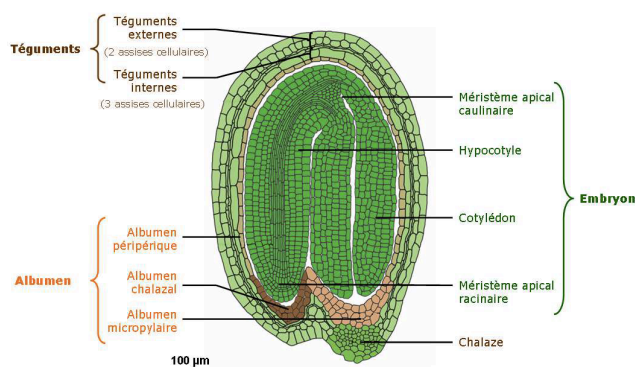
Les **méristèmes secondaires** : Responsables de la **croissance** en **épaisseur** de certains organes chez certaines plantes.

### II-1- Méristèmes primaires

Ils sont à l'origine des **tissus primaires** de la plante et permettent la **croissance** en **longueur**.

#### II-1-1- Localisation

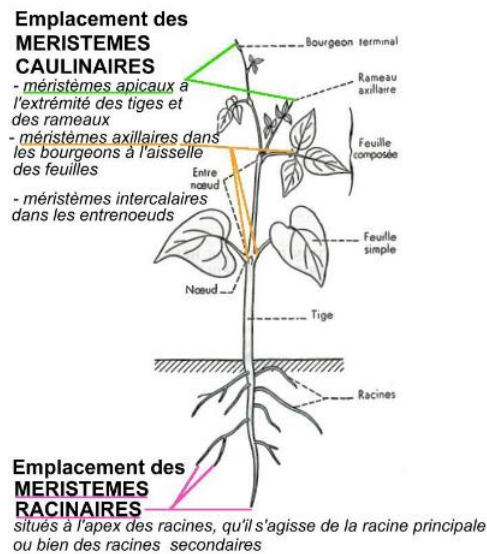
Les méristèmes primaires sont les premiers à se mettre en place, d'origine **embryonnaire**. On parle d'un **méristème apical caulinaire** et d'un **méristème apical racinaire**, positionnés aux extrémités de l'axe de l'**embryon** : ce sont les **méristèmes apicaux**.



Structure d'une graine d'*Arabidopsis* en fin de développement. Localisation sur l'embryon des deux méristèmes apicaux, méristème apical caulinaire et méristème apical racinaire. Référence : <http://seedgenenetwork/net>



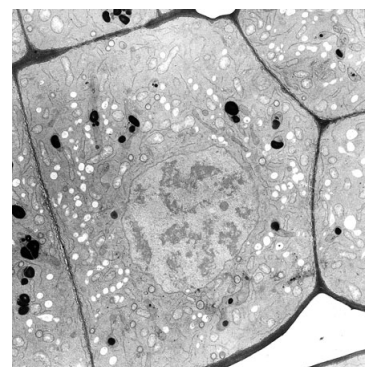
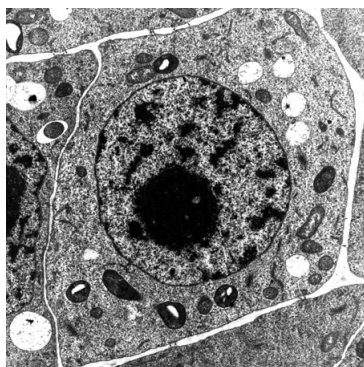
Ces méristèmes persistent au niveau de la plante, toujours situés aux extrémités ou **apex** des **racines** et de la **tige** et des **rameaux** (dans les **bourgeons** lorsqu'il y en a). On les trouve aussi dans les **bourgeons axillaires**, à l'aisselle des feuilles.



*Localisation des méristèmes primaires à l'échelle d'un plant de haricot. Référence : [accres.ens-lyon.fr/biotic/morpho/html/merprim.htm](http://accres.ens-lyon.fr/biotic/morpho/html/merprim.htm)*

## II-1-2- Caractéristiques cytologiques

Les cellules des méristèmes primaires sont indifférenciées, ce qui se traduit par des **vacuoles** très réduites et une absence de **plastides** différenciés. Ces cellules sont étroitement accolées les unes aux autres, séparées par des **parois** pectocellulosiques très fines et ne présentant aucune cavité intercellulaire. Leur rapport **nucléocytoplasmique** (rapport des surfaces du noyau et du cytoplasme en coupe) est de l'ordre de 1.



*Cellules méristématiques de racine de pois observées au microscope électronique à transmission. A gauche, un contraste permet de distinguer le noyau, de jeunes vacuoles (vésicules claires), des mitochondries (gris) et des proplastides (organites plus foncés contenant une inclusion blanche) ; la paroi cellulaire qui entoure la cellule n'est pas contrastée. A droite, une technique cytochimique spécifique des polysaccharides, montre que les proplastides contiennent de l'amidon et que la paroi est constituée de cellulose. Référence : Thiery J.P., 1967. Mise en évidence des polysaccharides sur coupes fines en microscopie électronique. J. Microscopie. 6. 987-1018*

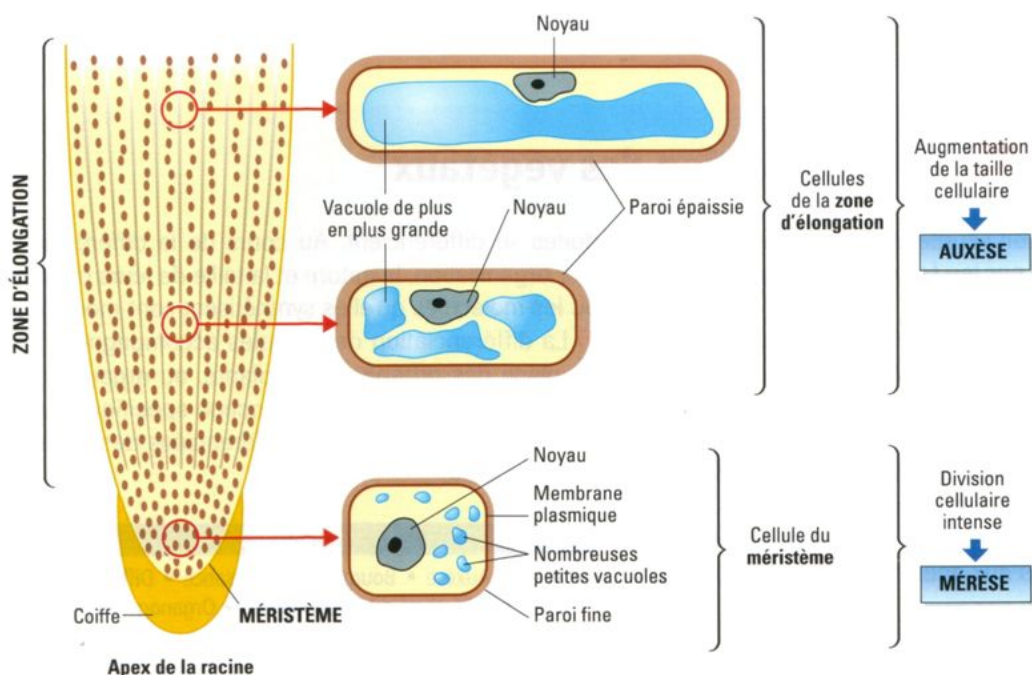
### Caractéristiques des cellules méristématiques primaires

<b>Cellules</b>	Petites, isodiamétriques et jointives (pas de méats)
<b>Noyau</b>	Sphérique, volumineux, au centre de la cellule, riche en chromatine
<b>Cytoplasme</b>	Dense, riche en organites et ribosomes
<b>Vacuoles</b>	Nombreuses, petites
<b>Paroi</b>	Paroi primaire mince, pectocellulosique, riche en plasmodesmes
<b>Plastes</b>	Non différenciés, proplastides

### II-1-3- Différenciation cellulaire

Les méristèmes primaires interviennent dans la formation des **tissus primaires** par le phénomène de la **différenciation**. Au cours de cette différenciation, les cellules issues des méristèmes primaires subissent une modification de forme et de structure en rapport avec l'acquisition de fonctions spécialisées, d'où la mise en place de tissus primaires dans des organes.

*Différenciation cellulaire progressive et orientée dans la région apicale d'une racine.  
Référence : morphologie végétale [slideplayer.fr/slide/8744584](http://slideplayer.fr/slide/8744584)*



Au cours de leur vie, les cellules méristématiques se divisent activement par mitose (**mérèse**). Elles se différencient, favorisant dans ce cas la croissance en longueur des organes (**auxèse**). Ce processus de différenciation cellulaire fait intervenir les organites spécifiques suivants :

**Noyau** : au début du processus de la différenciation, on observe une modification de la forme du noyau et une diminution de son volume. La **membrane nucléaire** accroît sa surface de contact avec le cytoplasme, le volume du **nucléole** reste important et la demande en **ARN** paraît continue.

**Vacuole** : les nombreuses petites vacuoles fusionnent pour occuper une grande partie du volume intracellulaire. Le **suc vacuolaire** augmente en accumulant un très grand nombre de solutés, ce qui appelle une entrée d'eau importante par osmose, plaçant la cellule en **turgescence**. Cette turgescence est particulièrement utile lors de la différenciation.

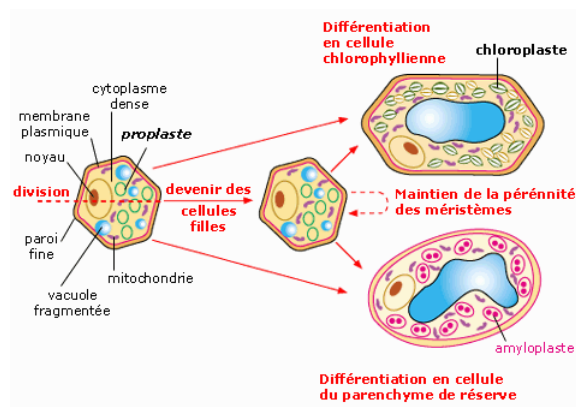
**Appareil intramembranaire** : l'**appareil de Golgi** montre des périodes d'activité intenses au cours de la différenciation. Les **dictyosomes** se multiplient et donnent naissance à des **vésicules** riches en éléments élaborés variés. Ces produits sont destinés au cytoplasme, à la vacuole par sécrétion **endocytaire** ou à la surface de la cellule par sécrétion **exocytaire**. C'est ainsi que les **membranes** se transforment et se différencient.

**Plastes** : les **proplast** deviennent des **chloroplastes** dans les zones de croissance éclairées, et cette transformation est accompagnée d'une importante synthèse d'enzymes intervenant au cours de la photosynthèse et de la fixation du CO<sub>2</sub>. Des proplast placés à l'obscurité évoluent en **étioplastes**, dépourvus de ces enzymes.

**Paroi** : la paroi cellulaire est encore mince, elle est qualifiée de **paroi primaire**. Elle est suffisamment **élastique** pour autoriser la croissance et **résistante** pour assurer son rôle de soutien. De plus, par la **lamelle moyenne**, elle maintient une forte cohésion entre les différentes cellules.

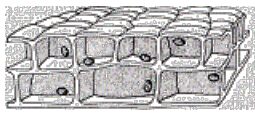
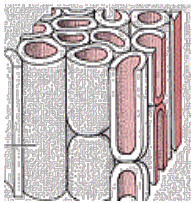
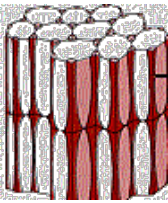
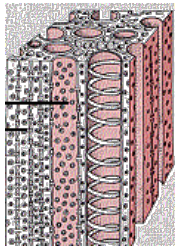
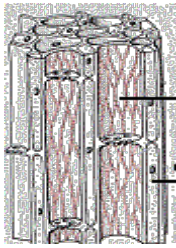
## II-1-4- Spécialisation cellulaire

La fin de la phase d'accroissement cellulaire donne des cellules fortement vacuolisées possédant des plastes structurés et une paroi primaire relativement fine. Les cellules **parenchymateuses** ne dépassent pas ce stade morphologique de différenciation, leur spécialisation se trouvant au niveau des vacuoles et des plastes.



Exemple de Différenciation d'une cellule méristématique en cellule chlorophyllienne (parenchyme chlorophyllien) ou en cellule du parenchyme de réserve (parenchyme amylofère). Les proplast se transforment en chloroplastes dans le 1<sup>er</sup> cas et en amyloplast dans le 2<sup>nd</sup>. Réf. : [www.maxicours.com/se/fiche/3/7/17637.html](http://www.maxicours.com/se/fiche/3/7/17637.html)

Mais d'autres cellules continuent leur processus de différenciation et la spécialisation est souvent acquise par l'élaboration de parois cellulaires très caractéristiques. De primaire, la paroi deviendra **secondaire** par ajout de nouvelles strates **cellulosiques** denses et de composés particuliers (**lignine**, **cuticule**). Ces composés donnent des propriétés nouvelles aux cellules qui les synthétisent et engendrent divers types de tissus :

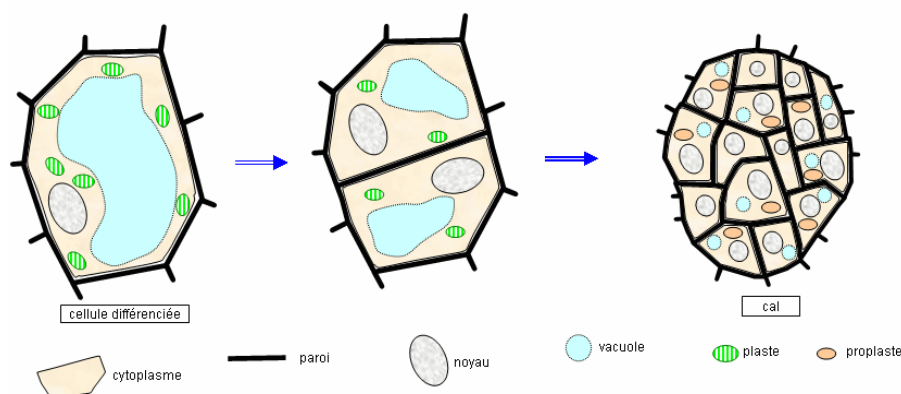
Tissu de revêtement l <sup>aire</sup>	Tissus de soutien		Tissus conducteurs l <sup>aires</sup>	
Epiderme	Sclérenchyme	Collenchyme	Xylème	Phloème
				

*Différenciation et spécialisation cellulaire engendrant différents types tissulaires d'origine primaire. Référence : [www.biology-pages.info/P/PlantTissues.html](http://www.biology-pages.info/P/PlantTissues.html)*

En conclusion, les cellules différenciées acquièrent une forme, une structure et une fonction caractéristique de chaque tissu.

### II-1-5- Dédifférenciation cellulaire

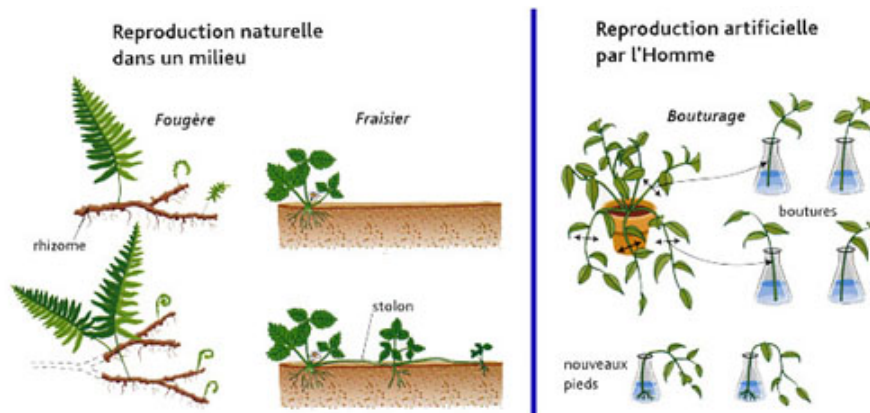
La **dédifférenciation** est un rajeunissement cellulaire se traduisant en quelque sorte par la perte de sa spécialisation antérieure. Les cellules en dédifférenciation peuvent s'agencer en zones génératrices histogènes mais aussi aller jusqu'à s'organiser en méristèmes primaires néoformés. Ils sont à l'origine des **organes adventifs**, voire de plantes entières.



*Formation d'un **cal** à partir de la dédifférenciation d'une cellule. Au cours de la dédifférenciation, la cellule ne diminue pas de taille, mais se divise pour donner des cellules filles de petite taille. Les plastes redeviennent des proplastides et la grande vacuole se fragmente en petites vacuoles. Les jeunes cellules formées peuvent se diviser et constituer un cal. Référence : [svt.ac-dijon.fr/schemassvt/spip.php?article1929](http://svt.ac-dijon.fr/schemassvt/spip.php?article1929)*

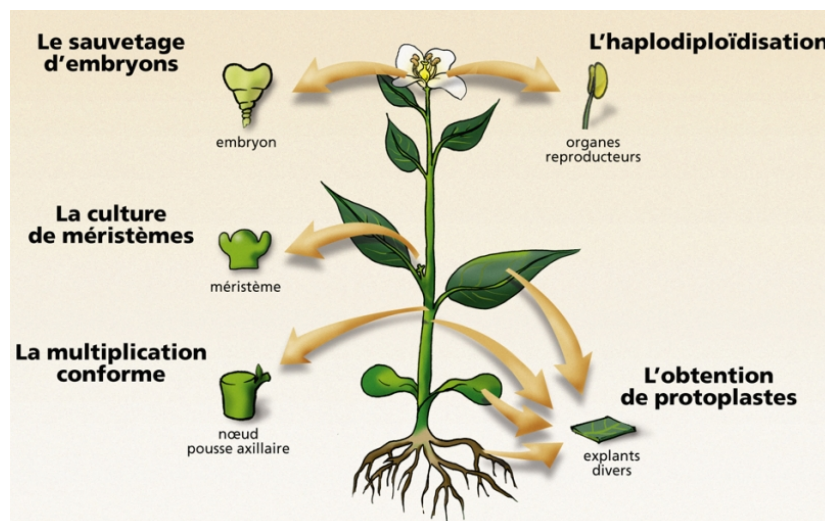


C'est grâce à cette réversibilité entre état différencié et état indifférencié que la **multiplication végétative**, naturelle ou provoquée, se produit si fréquemment chez les végétaux.



*Multiplication végétative naturelle ou artificielle. Des cellules déjà différenciées, peuvent reprendre leur division, établir une nouvelle zone de croissance et donner naissance à de nouveaux fragments conformes à la structure originelle. Référence : [m.maleplate.free.fr/le%7ons/6/partie3\\_2005/le%7on\\_interactive/bilan\\_reproduction.htm](http://m.maleplate.free.fr/le%7ons/6/partie3_2005/le%7on_interactive/bilan_reproduction.htm)*

Des expériences menées en **culture in vitro** ont montré que des fragments d'organes pouvaient régénérer des plantes entières. On a aussi montré qu'une seule cellule transplantée, pouvait, en culture stérile, se diviser et reconstituer une plante complète.



*Des applications de la culture in vitro. Les cellules devenues différenciées gardent intact l'ensemble de leurs potentialités héréditaires, puisqu'elles peuvent régénérer un organisme complet. Elles sont totipotentes, ce qui les oppose aux cellules animales différenciées qui, mises en culture, régressent leur structure mais ne régénèrent pas un organisme complet. Référence : [www.gnis-pedagogie.org/biotechnologie-biologie-culture-in-vitro.html](http://www.gnis-pedagogie.org/biotechnologie-biologie-culture-in-vitro.html)*

## II-2- Méristèmes secondaires

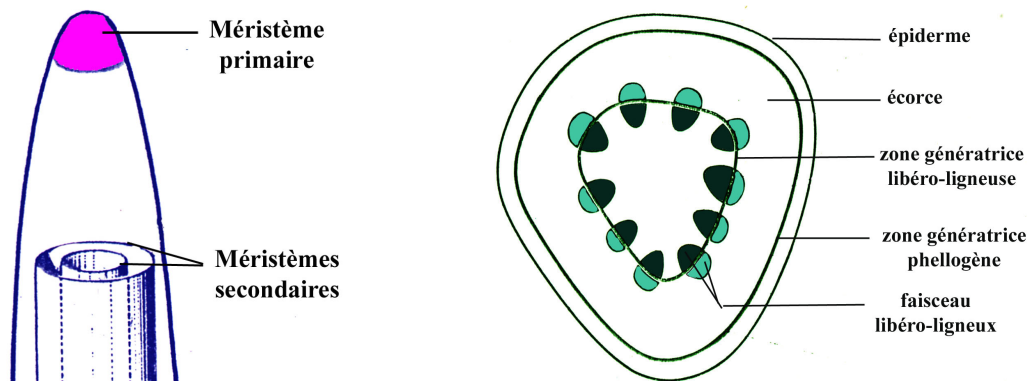
Les **méristèmes secondaires** sont à l'origine des **tissus secondaires** de la plante. Ils n'existent que chez les **gymnospermes** et les **angiospermes dicotylédones**. Ils sont mis en place après que la croissance en longueur est achevée dans la zone. Ils vont alors déclencher la **croissance** en **épaisseur** de la plante.

Il existe deux types de méristèmes secondaires qu'on appelle également **zones génératrices** :

- **Cambium** ou zone génératrice **libéro - ligneuse**
- **Phellogène** ou zone génératrice **subéro - phellodermique**

### II-2-1- Localisation

Le **cambium** se retrouve au niveau des **tissus conducteurs** dans le **cylindre central**. Le **phellogène** prend place plus tardivement dans les **zones corticales (écorce)** externes.



*Localisation des méristèmes secondaires dans une tige. Le cambium se situe en profondeur dans le cylindre central et le phellogène vers la périphérie au niveau de l'écorce ou bien le cortex. Référence : [arbre.ronsard.free.fr/images/croissance1.htm](http://arbre.ronsard.free.fr/images/croissance1.htm)*

### II-2-2- Origine

Dans les **tiges** des **dicotylédones**, le **cambium** provient d'une part de cellules restées **procambiales** placées entre le **xylème** et le **phloème**, et d'autre part de la **dédifférenciation** de cellules **parenchymateuses** qui se dédifférencient entre les massifs de tissus conducteurs. Dans les **racines** des **dicotylédones**, le **cambium** provient d'une part de cellules restées **procambiales** placées en face des massifs de **phloème**, et d'autre part de la prolifération et de la **dédifférenciation** de certaines cellules du **péricycle** en face des massifs de **xylème**.

Le **phellogène** se forme dans la **tige** à partir de la **dédifférenciation** de cellules du **collenchyme** et du **parenchyme cortical** placées sous l'**épiderme** ; et dans la **racine** à partir de la **dédifférenciation** du **péricycle**.

## II-2-3- Caractéristiques cytologiques

D'une manière générale, les méristèmes secondaires sont discrets, ne dépassant pas quelques dizaines de microns de largeur. Les cellules méristématiques secondaires sont de petites cellules contenant peu de **cytoplasme**. Leurs plastes sont indifférenciés (**proplast**es), et leur paroi, mince, est de nature **cellulosique**.

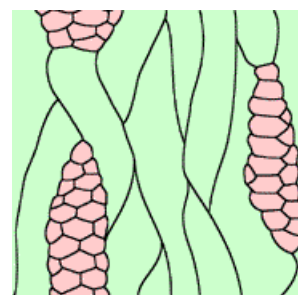
### *Caractéristiques des cellules méristématiques secondaires*

<b>Noyau</b>	Fusifforme, petit, appliqué contre la paroi
<b>Cytoplasme</b>	Peu important
<b>Vacuoles</b>	Une ou deux grandes vacuoles
<b>Paroi</b>	Paroi cellulosique
<b>Plastes</b>	Plastes non différenciés, proplast

## II-2-4- Anatomie des cellules cambiales

Le **cambium** est constitué de deux types de cellules **initiales** :

- Les **initiales fusiformes** : cellules longues, effilées aux deux extrémités, donneront naissance à des **éléments conducteurs** qui s'orientent **longitudinalement**, dans le sens de l'**axe de la plante (système vertical)**.
- Les **initiales radiales** : courtes, radiales, groupées en paquets intercalés entre les précédentes, et à l'origine des **rayons libéro – ligneux** du **système horizontal**.

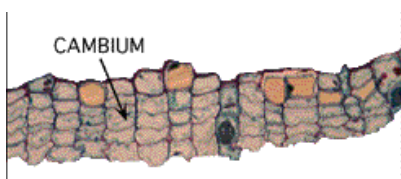


*Les initiales fusiformes (vert) et les initiales radiales (courtes) dans un cambium. Référence : [www.edu.upmc.fr/uel/biologie/module1/apprendre/chapitre4/meristem/cambiums-det.htm](http://www.edu.upmc.fr/uel/biologie/module1/apprendre/chapitre4/meristem/cambiums-det.htm)*

## II-2-5- Différenciation des méristèmes secondaires

Les cellules qui constituent le **cambium** subissent des divisions **périclines**, de manière à créer de nouveaux **éléments conducteurs secondaires** : du **bois** ou **xylème secondaire** vers l'intérieur de l'organe et **liber** ou **phloème secondaire** vers l'extérieur de l'organe.

Zone de différenciation du bois

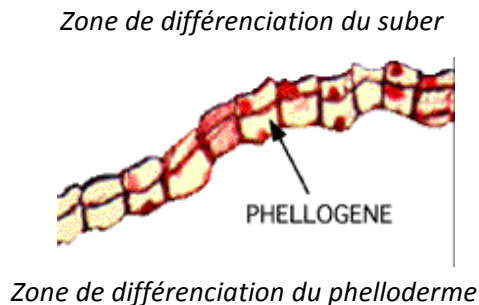


Zone de différenciation du phloème

Zone cambiale ou **pachyte**

*Le bois formé vers l'intérieur conduit la sève brute et le liber formé vers l'extérieur conduit la sève élaborée. Référence : [www.edu.upmc.fr/uel/biologie/module1/apprendre/chapitre4/meristem/cambiums-det.htm](http://www.edu.upmc.fr/uel/biologie/module1/apprendre/chapitre4/meristem/cambiums-det.htm)*

Le **phellogène** moins courant que le précédent, n'intervenant que tardivement dans le cas des arbres, il se forme dans l'écorce et la plante lui doit deux **tissus secondaires** : un **tissu de revêtement**, le **suber** ou **liège** vers l'extérieur de l'organe et un **tissu parenchymateux** à fonction d'accumulation de réserves, le **phelloderme** vers l'intérieur de l'organe.



#### Zone corticale ou **périderme**

Le suber ou liège formé vers l'extérieur est un tissu protecteur et le phelloderme formé vers l'intérieur est un tissu parenchymateux qui accumule des réserves. Référence : [www.edu.upmc.fr/uel/biologie/module1/apprendre/chapitre4/meristemes/cambiums-det.htm](http://www.edu.upmc.fr/uel/biologie/module1/apprendre/chapitre4/meristemes/cambiums-det.htm)

### III- Glossaire propre au chapitre

#### - **Apex**

L'apex végétal est l'extrémité d'une tige ou d'une racine. Les cellules s'y divisent, s'allongent et assurent la croissance en longueur des tiges et des racines.

#### - **Apex caulinaires**

L'apex caulinaire est situé en bout de la tige d'un végétal (apical) ou alors au niveau des nœuds présents sur sa tige (axial).

#### - **Apex racinaires**

Ils sont situés en bout de la racine principale, ou des racines adventives.

#### - **Auxèse**

Est une augmentation de la taille de cellules végétales au niveau de la zone méristématique.

#### - **Bois ou Xylème secondaire**

Est produit par le cambium vers l'intérieur. C'est la zone où circule la sève brute.

#### - **Bourgeon**

Est un ensemble de très jeunes pièces foliaires regroupées sur un axe extrêmement court. Il correspond généralement à une excroissance apparaissant sur certaines parties des végétaux et donnant naissance aux branches, aux feuilles, aux fleurs et aux fruits.

#### - **Bouturage**

Est un mode de multiplication végétative de certaines plantes consistant à donner naissance à un nouvel individu à partir d'un organe ou d'un fragment d'organe isolé.

#### - **Cal**

Est un amas de cellules indifférenciées, obtenues notamment en culture in vitro par l'ajout d'hormones végétales.

#### - **Cambium ou zone génératrice libéro - ligneuse**

Est un méristème secondaire qui met en place les vaisseaux conducteurs secondaires : bois ou xylème secondaire vers l'intérieur et liber ou phloème secondaire vers l'extérieur.



**- Cellule [du latin cellula 'cellule de moine']**

Est l'unité biologique structurelle et fonctionnelle fondamentale de tous les êtres vivants connus. C'est la plus petite unité vivante capable de se reproduire de façon autonome.

**- Collenchyme**

Est un tissu de soutien des plantes. Il caractérise les organes jeunes dont la croissance n'est pas achevée. C'est un tissu vivant très proche du parenchyme.

**- Croissance végétale**

La croissance d'une plante est l'ensemble des changements quantitatifs irréversibles qui se produisent au cours du temps. Elle comprend la multiplication des cellules ; l'allongement des entrenœuds et des racines ; la ramification ; la multiplication et la croissance des feuilles.

**- Culture in vitro**

Est une technique visant à régénérer une plante entière à partir de cellules ou de tissus végétaux en milieu nutritif, en utilisant des techniques modernes de cultures cellulaires.

**- Cuticule [du latin cuticula 'petite peau']**

Est la couche externe qui recouvre et protège les organes aériens des végétaux. Elle est composée de dépôts successifs de cire enrobée dans une couche d'acides gras hydrophobes, la cutine.

**- Cylindre central ou stèle**

Est la partie au centre de la tige qui contient les vaisseaux conducteurs de xylème (vaisseaux) et de phloème (tubes criblés).

**- Dédifférenciation**

est un processus au cours duquel certaines cellules peuvent retourner à l'état méristématique et commencer à se diviser en engendrant un nouveau méristème dont l'activité pourra donner par la suite un nouvel organe.

**- Différenciation**

La différenciation cellulaire est un concept de biologie de développement décrivant le processus par lequel les cellules se spécialisent en un type cellulaire. La morphologie d'une cellule peut changer radicalement durant la différenciation, mais le matériel génétique reste le même, à quelques exceptions près.

**- Ecorce ou cortex**

Est le revêtement extérieur du tronc, des branches et des racines des plantes ligneuses. Il désigne l'ensemble formé par le périoderme et le liber.

**- Entrenœud**

Est l'intervalle entre deux nœuds successifs.

**- Epiderme**

Est un tissu primaire constitué d'une assise de cellules vivantes jointives parfois recouvertes de cuticule. L'épiderme a un rôle de protection et d'échanges grâce aux stomates.

**- Etioplastes**

Ce sont des plastes dépourvus de pigments.

**- Histologie végétale**

Est la partie de la biologie végétale qui étudie la structure microscopique des tissus végétaux.

**- Indifférenciée**

Une cellule indifférenciée est une cellule souche capable, à la fois, de générer des cellules spécialisées par différenciation cellulaire et de se maintenir dans l'organisme par prolifération ou division asymétrique.

**- Liber ou phloème secondaire**

Est produit par le cambium vers l'extérieur. C'est la zone où circule la sève élaborée. Le liber est constitué de tubes criblés, de leur cellule compagne, de parenchyme et de fibres.

**- Lignine [du latin *lignum* 'bois']**

Est une biomolécule, en fait une famille de macromolécules polymères polyphénoliques, qui est un des principaux composants du bois.

**- Mèrese**

Correspond au mode de croissance par multiplication du nombre de cellules chez les végétaux. Ce phénomène se retrouve principalement au niveau des méristèmes des apex.

**- Méristème [du grec *meristos* 'divisé'] ou initiales**

Est un tissu cellulaire spécialisé dans la croissance. Il est formé d'un groupe de cellules végétales indifférenciées qui ont la capacité de se diviser par mitose un nombre indéfini de fois, puis se différencient en acquérant une structure et une fonction.

**- Mitose [du grec *mitos* 'filament']**

Désigne les événements chromosomiques de la division cellulaire des eucaryotes. C'est la division d'une cellule mère en deux cellules filles strictement identiques.

**- Multiplication végétative ou reproduction végétative**

Est un mode de multiplication permettant aux organismes végétaux de se multiplier sans reproduction sexuée.

**- Nœud**

Est le point d'attache d'une feuille ou d'un rameau sur la tige chez les plantes à graines.

**- Organe adventif**

Correspond à un organe en botanique, apparaissant à un endroit 'où l'on ne s'y attend pas'. Exemple d'une racine poussant sur un autre organe comme la tige et issue d'un bourgeon adventif.

**- Pachyte**

C'est l'association bois – liber – cambium.

**- Parenchymes**

Ce sont des tissus végétaux constitués de cellules vivantes, à paroi pectocellulosique mince. Ce sont essentiellement des cellules de remplissage, peu différenciées et aptes à revenir à l'état méristématique.

**- Péricycle**

Correspond à l'extrémité du cylindre central d'un faisceau libéro – ligneux. Il s'agit en général d'une unique couche de cellule entourée de l'endoderme. Surtout présent dans les racines, le péricycle a un rôle dans la formation des racines latérales et des méristèmes secondaires : phellogène et une partie du cambium.

**- Périoderme**

C'est l'association suber ou liège – phelloderme – phellogène.

**- Phelloderme**

Est un tissu végétal de l'écorce. C'est un parenchyme cortical secondaire situé juste en dessous du suber ou liège. Il est mis en place par le phellogène.

**- Phellogène ou zone génératrice subéro - phellodermique**

Est un méristème secondaire cortical mis en place par dédifférenciation de cellules du parenchyme cortical sous-épidermique et parfois par l'épiderme, destiné à produire du phelloderme et du suber ou liège.

**- Phloème**

Est un tissu vivant composé de tubes criblés, de cellules compagnes, de fibres et de parenchyme longitudinal. Il a un rôle conducteur de la sève élaborée.

**- Plasmodesme**

Est le canal traversant la paroi cellulaire des plantes, constituant les voies de passage de l'eau, des solutés et des phytohormones. Il relie les membranes plasmiques et les cytoplasmes des cellules adjacentes, qui forment alors un compartiment continu.

**- Procambium**

Correspond aux premiers tissus méristématiques mettant en place les tissus vascularisés des plantes, c'est-à-dire : le xylème et le phloème. Par la suite, quand la plante sera plus mûre, le procambium se différenciera en cambium.

**- Protoplaste**

Est une cellule bactérienne, ou végétale, sans paroi.

**- Racine**

Est l'organe souterrain d'une plante servant à la fixer au sol et à y puiser l'eau et les éléments nutritifs nécessaires à son développement.

**- Rameau**

Est une petite branche d'arbre ou plus généralement l'axe secondaire d'un axe feuillé principal chez les plantes.

**- Rhizome**

Est la tige souterraine remplie de réserve alimentaire de certaines plantes vivaces.

**- Sclérenchyme**

Est un tissu de soutien qui compose les organes végétaux qui ont terminé leur croissance. Il est composé de cellules qui ont la particularité de disposer d'une paroi secondaire épaissie et souvent lignifiée.

**- Sève**

Est le milieu liquide qui circule grâce à des cellules spécialisées appelées vaisseaux, entre les différents organes des plantes permettant de transporter les éléments nutritifs nécessaires à leur croissance et redistribuer les substances organiques élaborées par la photosynthèse.

**- Sève brute**

Est la sève provenant des racines, qui contient uniquement de l'eau et des sels minéraux. Elle circule dans l'organisme végétal via un tissu conducteur, le xylème, uniquement dans le sens ascendant, c'est-à-dire de la racine à la feuille.

**- Sève élaborée**

Contient de l'eau et les sucres synthétisés par les parties aériennes de la plante lors de la photosynthèse. Elle circule dans l'organisme végétal via un tissu conducteur, le phloème.

**- Suber ou liège**

Est un ensemble de cellules mortes imperméables car contenant de la subérine. C'est un tissu d'origine secondaire provenant de la différenciation de cellules méristématiques secondaires ou phellogène. Il a un rôle de protection.

**- Tige**

Est l'axe généralement aérien ou souterrain, qui prolonge la racine et porte les bourgeons et les feuilles. La tige se ramifie généralement en branches et rameaux formant l'appareil caulinaire.

**- Tissu végétal**

Est un groupement de cellules végétales ayant une même origine embryologique et qui se sont semblablement différenciées dans le but de remplir une fonction déterminée.

**- Totipotence**

Est, en biologie, la propriété d'une cellule de se différencier en n'importe quelle cellule spécialisée et de se structurer en formant un être vivant multicellulaire.

**- Xylème**

Est un tissu formé de l'association de vaisseaux, de cellules de soutien et de cellules associées. Il a un rôle conducteur de la sève brute.

# **Tissus de revêtements primaires et secondaires**

## Sommaire

<b>I- Tissus de revêtements</b>	<b>40</b>
<b>II- Tissus de revêtements primaires</b>	<b>40</b>
<b>II-1- Epidermes</b>	<b>40</b>
<b>II-1-1- Cellules épidermiques</b>	<b>41</b>
<b>II-1-2- Cuticule</b>	<b>41</b>
<b>II-1-3- Stomates</b>	<b>42</b>
<b>II-1-4- Trichomes ou poils épidermiques</b>	<b>44</b>
<b>II-2- Rhizoderme</b>	<b>45</b>
<b>II-2-1- Cellules du rhizoderme</b>	<b>45</b>
<b>II-2-2- Poils absorbants</b>	<b>46</b>
<b>II-2-3- Assise subéreuse et subéroïde</b>	<b>46</b>
<b>III- Tissus de revêtements secondaires</b>	<b>47</b>
<b>III-1- Origine</b>	<b>48</b>
<b>III-2- Cellules du suber</b>	<b>48</b>
<b>III-2-1- Subérine</b>	<b>48</b>
<b>III-2-2- Lenticelles</b>	<b>48</b>
<b>IV- Glossaire propre au chapitre</b>	<b>49</b>

## I- Tissus de revêtements

Les **tissus de revêtements** recouvrent les parties de la plante en contact avec le milieu extérieur. Ils ont un rôle protecteur, on parle d'ailleurs de **tissus protecteurs**. Selon leur origine, on distingue les tissus de revêtements **primaires** et les tissus de revêtements **secondaires**.

## II- Tissus de revêtements primaires

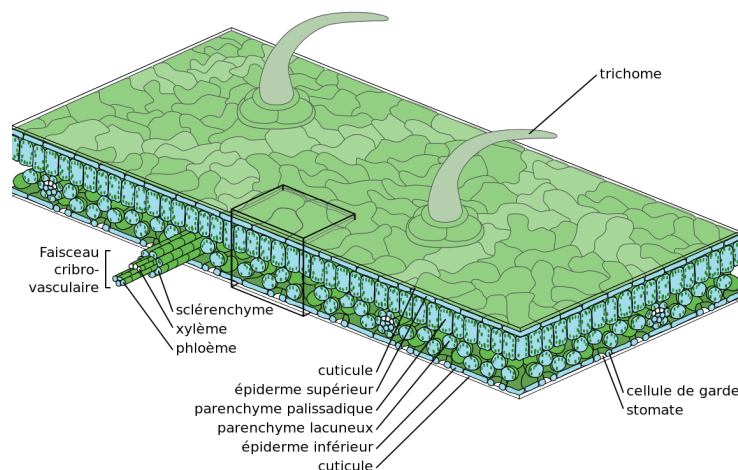
Les tissus de revêtements primaires dérivent de la **différenciation** des cellules des **méristèmes primaires**. Le tissu de recouvrement des parties aériennes est désigné par le terme d'**épiderme**, celui des racines par le terme de **rhizoderme** ou **assise pilifère**.

### II-1- Epidermes

L'épiderme est le tissu végétal superficiel formant une **couche protectrice** continue à la **surface des parties aériennes** d'une plante, tant que les structures sous-jacentes sont **primaires** (jeune tige, feuille, fleur...).

L'épiderme est parfois **multistrate**, mais il est le plus souvent constitué d'une **seule strate** de cellules étroitement **jointives**, dont la **paroi externe** est épaissie et rendue imperméable par un dépôt de **cuticule**. La continuité de l'épiderme (surtout des feuilles) est interrompue par des pores, les **stomates**, permettant les échanges entre la plante et l'air ambiant.

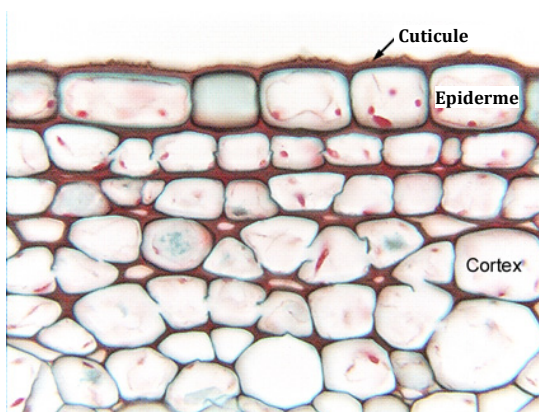
En fonction des espèces, certaines cellules se différencient pour former des **excroissances** ou des **poils** (**trichomes**).



*Structure d'une feuille. Les épidermes se caractérisent par leur imperméabilité grâce à la présence de la cuticule qui se dépose sur les parois externes des cellules épidermiques. Des stomates assurent les échanges avec le milieu extérieur. L'épiderme possède souvent des poils (trichomes), dont certains jouent un rôle excréteur. Référence : Leaf\_Structure-fr.svg.png*

## II-1-1- Cellules épidermiques

Les cellules épidermiques sont généralement de forme rectangulaire, allongées tangentiellement, et sans **méats**. Leurs **parois** internes et latérales sont souvent minces et cellulotiques, tandis que les parois externes sont recouvertes d'une **cuticule**.

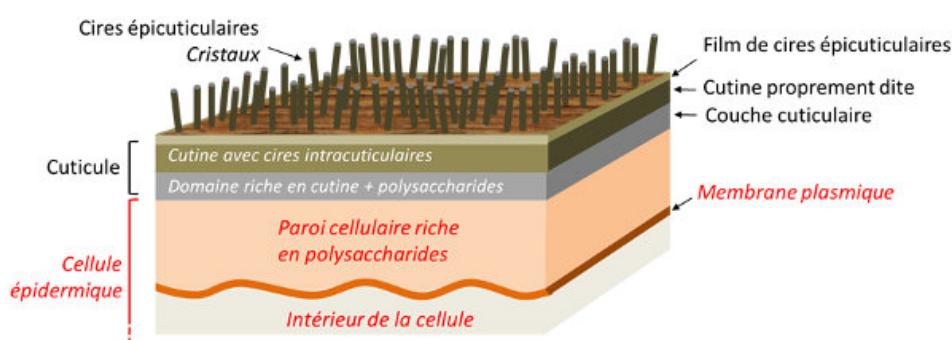


*Epiderme en coupe transversale. Les cellules épidermiques sont plus ou moins rectangulaires, étroitement accolées les unes aux autres. Les parois externes sont épaissies par de la cuticule, formant un revêtement imperméable et résistant à la surface de l'épiderme. Référence : [www.sbs.utexas.edu](http://www.sbs.utexas.edu)*

Les cellules épidermiques sont des cellules **vivantes**, et présentent une grande **vacuole** centrale, une mince couche périphérique de **cytoplasme** et sont dépourvues de **chloroplastes**, à l'exception de Ptéridophytes, Orchidacées et de plantes aquatiques. On trouve fréquemment dans leur vacuole ou dans leurs **chromoplastes** des pigments.

## II-1-2- Cuticule

La **cuticule** est une couche protectrice qui recouvre les organes aériens des plantes vasculaires. Elle est composée de dépôts successifs de **cire** enrobée dans une couche d'acides gras hydrophobes, la **cutine**.



*Schéma représentant une partie de la cuticule d'une feuille recouvrant une cellule épidermique. Référence : [www.encyclopedie-environnement.org/zoom/entre-protection-defense-cuticule-plantes/](http://www.encyclopedie-environnement.org/zoom/entre-protection-defense-cuticule-plantes/)*

La cuticule est divisée en deux domaines sur la base de sa composition chimique :

- A la base, recouvrant les cellules épidermiques, un domaine appelé **couche cuticulaire**. Composé de **cutine**, il est riche en **polysaccharides**.



- Au-dessus, la **cutine proprement dite**, enrichie en **cires** qui sont **hydrophobes**. Les cires déposées à l'intérieur de la matrice de cutine sont dites **intracuticulaires**. En surface, la cutine est recouverte d'un film et de cristaux de cires **épicuticulaires** qui confèrent à la feuille des aspects plus ou moins brillants.

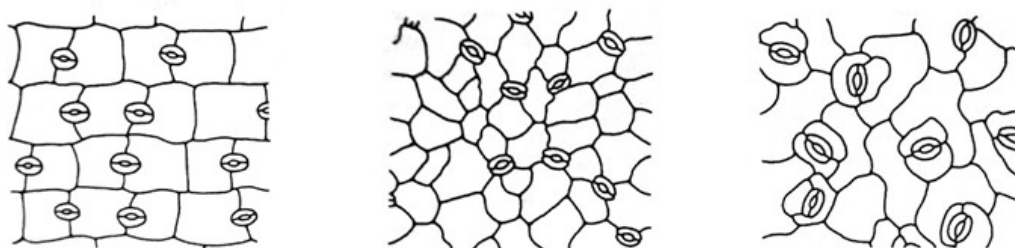
Les rôles physiologiques principaux de la cuticule sont liés à sa **nature hydrophobe** :

- D'une part, elle maintient une zone pauvre en eau à la surface du végétal, ce qui protège la plante de **pathogènes**, notamment de la germination et du développement des spores de champignons.

- D'autre part, elle limite les pertes de la plante en eau (**évapotranspiration**), en ions et en solutés polaires (sucres, acides organiques...).

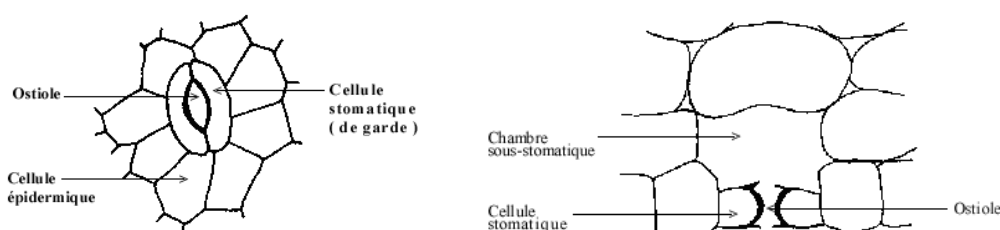
### II-1-3- Stomates

Un **stomate** est un orifice de petite taille présent dans l'épiderme des organes aériens des végétaux, sur la face inférieure des feuilles le plus souvent.



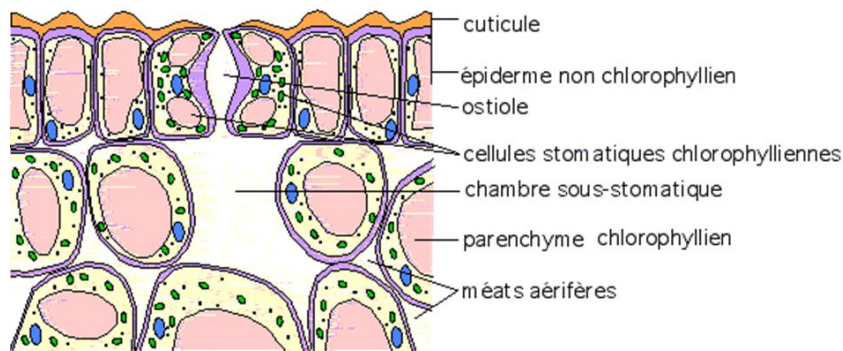
*Epiderme vu de face avec différents types morphologiques de stomates. Référence : [plantstomata.wordpress.com/2015/01/31/morphological-types-of-stomata-2/](http://plantstomata.wordpress.com/2015/01/31/morphological-types-of-stomata-2/)*

Un stomate est constitué de **deux cellules stomatiques (cellule de garde)**, réniformes, qui délimitent l'orifice stomatique ou **ostiole**. Celui-ci s'ouvre plus ou moins, selon les besoins, en fonction de la turgescence des cellules stomatiques. Sous l'ostiole se trouve, généralement dans le parenchyme sous-jacent, un espace vide appelé **chambre sous-stomatique**.



*Différents constituants d'un stomate, vu de face (à gauche) ou en coupe transversale (à droite). Référence : [www2.ac-toulouse.fr/](http://www2.ac-toulouse.fr/)*

Les cellules de garde sont **vivantes**, composées de **vacuoles** et de **chloroplastes**. La **paroi** de chaque cellule stomatique est épaisse du côté de l'ostiole et mince du côté opposé.



*Schéma général montrant l'organisation d'une feuille avec l'épiderme et un stomate. La cellule stomatique se présente avec un noyau, deux vacuoles et des chloroplastes. Sa paroi s'épaissit considérablement du côté de l'ostiole. Référence : [www.snv.jussieu.fr/bmedia/gaz/stomate.htm](http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/gaz/stomate.htm)*

Les stomates sont utilisés par les plantes pour réaliser des **échanges gazeux** avec leur milieu. L'air contenant le  $\text{CO}_2$  et l' $\text{O}_2$  entre par l'ouverture du stomate, l'**ostiole**, pour être utilisé dans la **photosynthèse** et la **respiration**. L' $\text{O}_2$  produit par la photosynthèse est expulsé par cette même ouverture. En outre, la **vapeur d'eau** est dégagée dans l'atmosphère par ce pore durant la phase de **transpiration** des plantes.

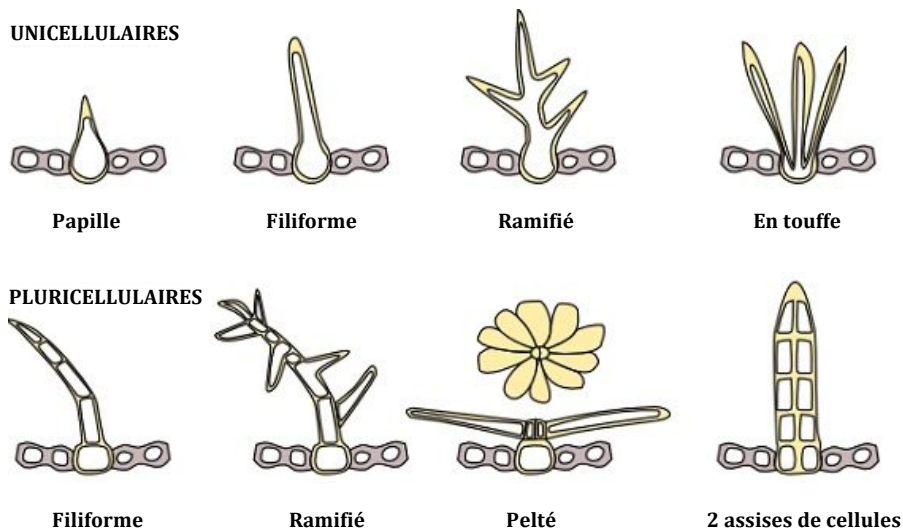
Dans de bonnes conditions hydriques et lorsque les cellules de garde sont **turgescentes**, leur paroi externe plus mince et plus souple se dilate plus que leur paroi interne plus épaisse et plus rigide. Les cellules s'incurvent et l'**ostiole** s'ouvre.



*Mécanisme d'ouverture et de fermeture des stomates. L'ouverture est favorisée par l'**énergie** produite par **photosynthèse** des cellules de garde et surtout par les mouvements de l'**ion potassium**, dont l'entrée et la sortie de la vacuole gouverne la **turgescence** des cellules stomatiques et donc l'**ouverture des stomates**. En cas de **manque d'eau**, les racines synthétisent de l'**acide abscissique** qui agit sur les cellules stomatiques et provoque leur **fermeture** par **plasmolyse**, limitant ainsi les pertes d'eau. Référence : [usdbiology.com/cliff/Courses/General%20Biology/153figs/GenBiopics](http://usdbiology.com/cliff/Courses/General%20Biology/153figs/GenBiopics)*

## II-1-4- Trichomes ou poils épidermiques

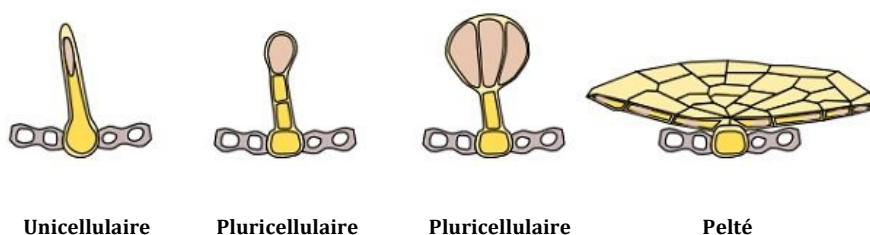
Les **trichomes** chez les plantes sont des **excroissances épidermiques** de types variés. Le type classique de trichome est le **poil**. Les poils des plantes peuvent être **unicellulaires** ou **pluricellulaires**, ramifiés ou non.



Quelques exemples de poils épidermiques de type **tecteurs** ou (**protecteurs**). Les poils chez les plantes en croissance dans des zones sujettes à un gel permettent de garder le gel hors des cellules vivantes. Quant aux zones sujettes au vent et à la sécheresse, une abondance de poils fins permettent de réduire le flux d'air à la surface des plantes, réduisant ainsi l'évaporation. Un revêtement dense de poils réfléchit les rayons du soleil et protège les tissus les plus sensibles dans des habitats ouverts, chauds et secs. Référence : [pevgrow.com/blog/tricomas-el-marcador-natural-de-la-cosecha/](http://pevgrow.com/blog/tricomas-el-marcador-natural-de-la-cosecha/)

Les poils épidermiques sont un moyen de protection renforcé contre la **dessiccation**, ce sont des **poils tecteurs** (rôle protecteur). Ils sont en effet très abondants chez les espèces **xérophytes**. Leur existence est souvent transitoire : très abondants sur les jeunes organes, ils tombent lorsque ceux-ci vieillissent.

Chez certaines plantes, les poils peuvent être sécréteurs de substances agréables ou non (essences, résines...) et sont appelés **poils sécréteurs** ou **glandulaires**.

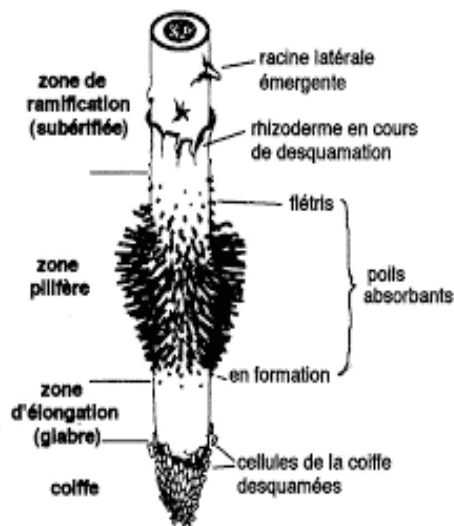


Quelques exemples de poils épidermiques de type **sécréteurs** ou **glandulaires**. Référence : [pevgrow.com/blog/tricomas-el-marcador-natural-de-la-cosecha/](http://pevgrow.com/blog/tricomas-el-marcador-natural-de-la-cosecha/)

## II-2- Rhizoderme

Le **rhizoderme**, ou **assise pilifère**, est le tissu superficiel primaire des **racines** d'une plante, équivalent de l'épiderme des parties aériennes.

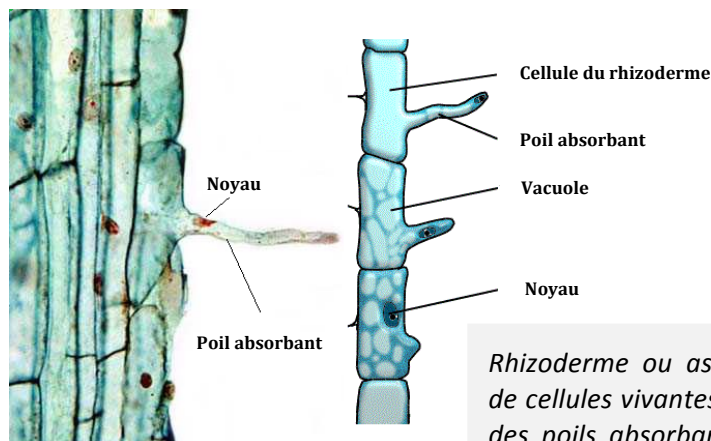
Dans la toute **jeune racine**, de nombreuses cellules du rhizoderme forment des **poils absorbants** spécialisés dans la collecte de l'eau et des sels minéraux présents dans le sol. Ces poils ont une durée de vie limitée et tombent, le rhizoderme devient alors un **tissu de protection**. Dans la **racine âgée**, il peut persister ou disparaître selon les espèces.



Différentes parties d'une racine. Le **rhizoderme** évolue avec l'âge de la racine, qui croît par son **apex**. Il est produit par la **zone méristématique**. Les cellules s'allongent ensuite pour accompagner la croissance en longueur de la racine : **zone d'élongation**. Au dessus, la **zone pilifère** assure les fonctions d'absorption de la racine. De nombreuses cellules s'y différencient en **poils absorbants**. Elle se détruit continuellement par le haut, remplacée par une **assise subéreuse**, alors que de nouveaux poils se forment à sa base. Elle reste ainsi à distance constante de la **coiffe** et accompagne l'allongement de la racine. Référence : [barbaramacclintok.weebly.com/uploads/](http://barbaramacclintok.weebly.com/uploads/)

### II-2-1- Cellules du rhizoderme

Le rhizoderme qui constitue l'assise pilifère de la racine est équivalent de l'épiderme des parties aériennes. A la différence de l'épiderme, ses cellules à **paroi mince** sont dépourvues de cuticule et de stomates. Elles sont produites de la différenciation de cellules du **méristème primaire** de l'**apex** de la **racine**. Elles forment en général une **strate unicellulaire** et s'allongent ensuite pour accompagner la croissance en longueur de la racine.

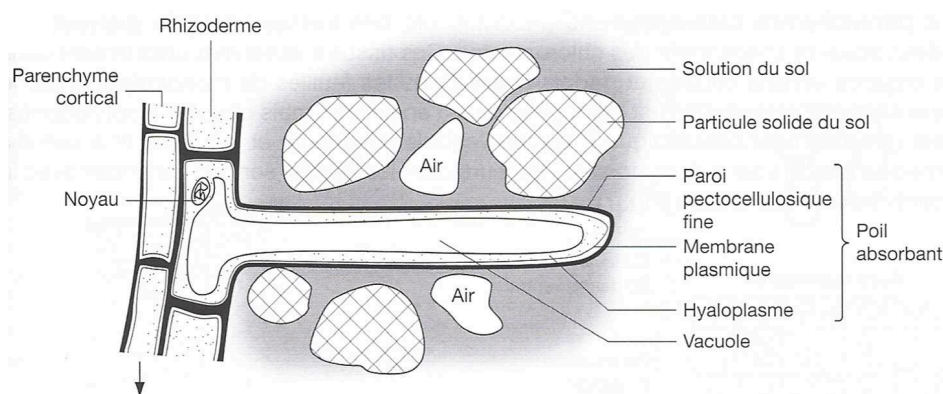


Rhizoderme ou assise pilifère. Une assise de cellules vivantes dont certaines forment des poils absorbants. Référence : [biology-igcse.weebly.com/](http://biology-igcse.weebly.com/)

## II-2-2- Poils absorbants

Un **poil absorbant** est une **cellule différenciée** de l'assise pilifère d'une racine. Sur la face externe d'une **cellule initiale** d'un poil (**trichoblaste**), une émergence à **croissance unipolaire** et rapide s'insinue entre les particules du sol. Sa progression est facilitée par le **mucigel** agissant comme un lubrifiant.

Un poil adulte présente une **forme tubulaire** très fine (quelques  $\mu\text{m}$  de diamètre) et très **longue** à l'échelle cellulaire (quelques mm). Sa **paroi mince** et **hydrophile** permet la circulation de l'eau et des éléments minéraux jusqu'à la membrane et vers les cellules adjacentes. La **vacuole** occupe presque tout l'espace intracellulaire.



*Poil absorbant dans le sol. Des cellules du rhizoderme s'y différencient en poils absorbants, par croissance latérale unipolaire (jusqu'à 10 mm). Elles acquièrent une forme tubulaire présentant une très grande surface pour l'absorption d'eau et de minéraux. Référence : <http://www.svt-tanguy-jean.com/>*

Les poils absorbants ont une **vie transitoire** de quelques jours à quelques semaines selon la vigueur de la croissance. Ils ont pour fonction principale l'**absorption d'eau**, par **osmose**, et d'**éléments minéraux** nécessaires à la synthèse de molécules complexes par **transport actif**.

Ils jouent également un rôle dans l'élaboration d'associations **symbiotiques** avec des bactéries fixatrices d'azote, telles que les **nodosités** des **Fabacées** (Légumineuses) ou les **actinorhizes**.

## II-2-3- Assise subéreuse et subéroïde

Le **rhizoderme** se détruit continuellement par le haut avec la chute des poils absorbants, alors que de nouveaux poils se forment à sa base. Il reste ainsi à distance constante de la **coiffe** et accompagne l'allongement de la racine.

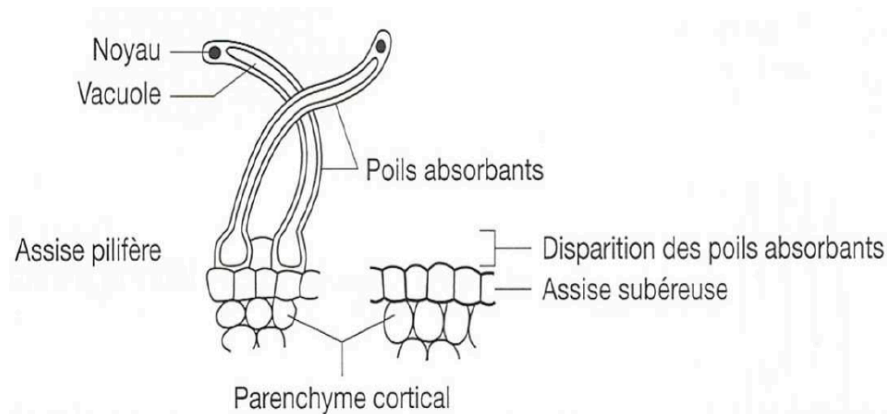
Juste au-dessus de la zone pilifère, le rhizoderme est remplacé par la couche sous-jacente de cellules parenchymateuses qui se **subérifie** et qui se **différencie** en :



- **Assise subéreuse** chez les angiospermes **dicotylédones** : une seule couche de cellules **subérifiées** donnant naissance à la **zone subéreuse**.

- **Subéroïde** chez les angiospermes **monocotylédones**, formé de plusieurs couches de cellules à **parois subérifiées**.

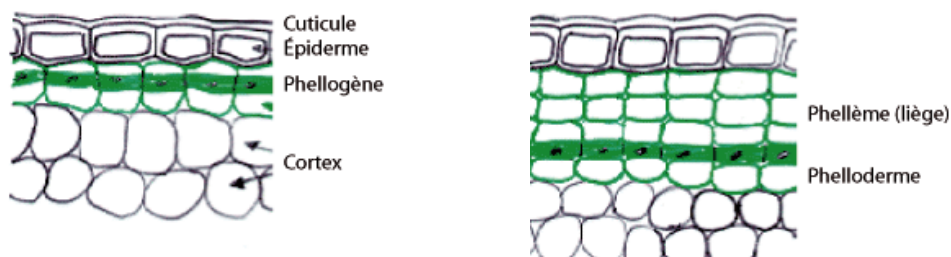
Ces structures limitent la **déshydratation** et assurent une **protection mécanique** en milieu souterrain.



*Remplacement fonctionnel de l'assise pilifère par la subérification de la couche de cellules corticales sous-jacentes. Différenciation en assise subéreuse (chez les dicotylédones, monocouche) ou en subéroïde (chez les monocotylédones, plusieurs couches). Référence : <http://www.svt-tanguy-jean.com/>*

### III- Tissus de revêtements secondaires

Chez les plantes capables de croissance secondaire, en épaisseur, l'épiderme se **délite** sous l'effet de l'augmentation de **circonférence**, faisant progressivement place à un tissu protecteur appelé **suber** ou **phellème** ou plus communément **liège**.



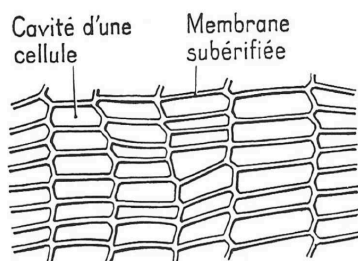
*Installation d'un tissu de revêtement secondaire, le suber ou liège ou phellème. En périphérie des tiges et racines ligneuses se développe une assise génératrice, le phellogène, qui produit sur sa face externe un tissu de revêtement nommé suber, en raison du revêtement du subérine de ses parois. Référence : [anatomievegetale.uqac.ca/menugendef/termes/phelleme.html](http://anatomievegetale.uqac.ca/menugendef/termes/phelleme.html)*

### III-1- Origine

Le **suber** est un tissu végétal localisé à la **périphérie** d'une **tige** (ou **tronc**) ou d'une **racine**. C'est un tissu de revêtement tardif des organes adultes ayant une **croissance secondaire** (croissance en **diamètre**). Il est issu du **phellogène** par différenciation **centrifuge**. De par sa croissance en épaisseur, il sépare l'épiderme et le cylindre cortical du reste de la racine ou de la tige, et peut ainsi partiellement ou totalement remplacer l'épiderme.

### III-2- Cellules du suber

Le **suber** est constitué de cellules **mortes**, de forme rectangulaire et très jointives. Leur paroi est imprégnée de **subérine**. C'est cette substance qui, en empêchant les échanges, entraîne la mort de la cellule. Pour permettre la survie du reste de l'organe, on observe localement des zones à méats dont les cellules ne sont pas jointives, ce sont les **lenticelles**.



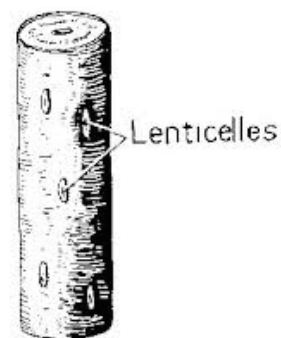
*Coupe transversale dans du liège. Le liège est constitué de plusieurs couches de cellules alignées dont la paroi est riche en subérine. Dans les tiges ou racines âgées, il n'y a plus d'épiderme et le liège est le tissu le plus externe. Référence : <http://www.svt-tanguy-jean.com/>*

#### III-2-1- Subérine

C'est le constituant principal du **liège** (50% environ) et elle tient d'ailleurs son nom du *Quercus suber*, le **chêne-liège**. C'est un **polymère lipidique** associé à des **cires**, mais sa structure macromoléculaire n'est pas encore établie de façon définitive. Cette substance est **imperméabilisante** et joue un rôle important dans la **résistance** de la plante et dans ses relations avec son environnement.

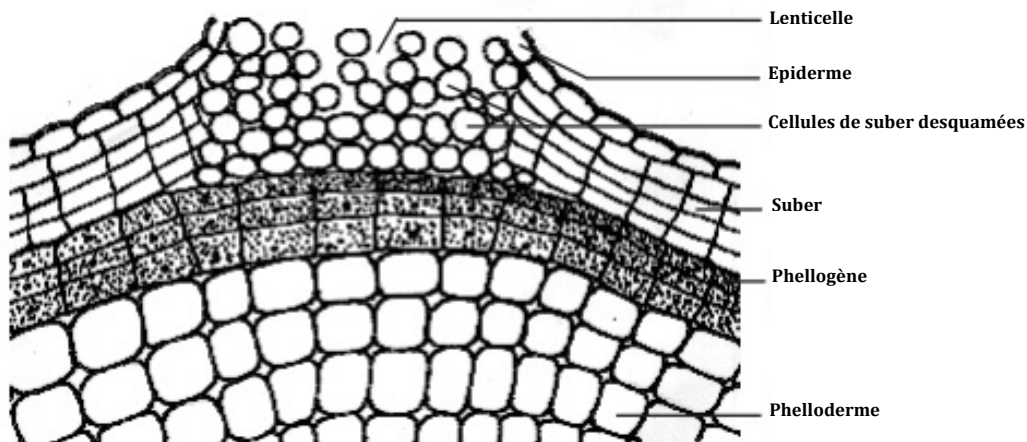
#### III-2-2- Lenticelles

Une **lenticelle** est une sorte de **pore** présent sur le liège traversant la surface de l'**écorce** des arbres mettant le suber en communication avec l'atmosphère et forment des **aspérités**, parfois colorées.



*Lenticelles sur la surface d'une tige de Hêtre (Fagus silvatica). Les échanges gazeux d'une tige âgée ont lieu grâce à des ouvertures appelées lenticelles. Référence : <http://www.svt-tanguy-jean.com/>*

Les lenticelles peuvent être ronde, ovale ou allongées en forme de stries. Elles permettent les **échanges gazeux** entre l'atmosphère et les tissus internes des végétaux.



Coupe transversale d'une lenticelle de tige de Sureau noir (*Sambucus nigra*). Le périderme présente généralement des zones ovoïdes où le suber est plus fin, les cellules moins jointives et qui permettent les échanges gazeux. Référence : <http://www.svt-tanguy-jean.com/>

#### IV- Glossaire propre au chapitre

##### - Acide abscissique

Est une hormone végétale. Cet acide est un sesquiterpénoïde dont la molécule comporte 15 carbones :  $C_{15}H_{20}O_4$ .

##### - Actinorhizes

Ce sont des nodosités fixatrices d'azote qu'on trouve au niveau des racines des plantes angiospermes dites actinorhiziennes. Ces plantes ont la capacité de s'associer avec des bactéries actinomycètes filamenteuses du sol du genre *Frankia* pour produire des actinorhizes.

##### - Assise subéreuse

Une seule assise de cellules à parois subérifiées. Caractérise les angiospermes dicotylédones.

##### - Chromoplaste

Est un organe observé dans les cellules des organes végétaux colorés de jaune à orange. Ils peuvent dériver des chloroplastes ou des proplastides et sont riches en pigments non chlorophylliens, comme les xanthophylles et les carotènes.

##### - Cire

Chimiquement, la cire est un ester de l'éthylène glycol et de deux acides gras ou un monoester d'acide gras et d'alcool à longues chaînes. Le terme de cire a longtemps fait référence à la cire d'abeille, substance sécrétée par les abeilles pour construire les rayons de leur ruche.

##### - Coiffe

Représente la terminaison d'une racine qui sert à la fois à protéger le méristème apical de la racine et à faciliter sa pénétration dans le sol grâce au mucigel.



**- Cortex ou écorce**

Est le revêtement extérieur du tronc, des branches et des racines des plantes ligneuses.

**- Cuticule [du latin *cuticula* 'petite peau']**

Est la couche externe qui recouvre et protège les organes aériens des végétaux. Elle est composée de dépôts successifs de cire enrobée dans une couche d'acides gras hydrophobes, la cutine.

**- Cutine [du latin *cuta* 'peau']**

Est un biopolymère lipidique qui recouvre tous les organes aériens des plantes terrestres. Ce polyester d'acide gras hydroxylé et de glycérol a de nombreuses fonctions pour la plante, notamment la résistance au stress. Associé aux cires, il forme la cuticule.

**- Epiderme**

Est un tissu primaire constitué d'une assise de cellules vivantes jointives parfois recouvertes de cuticule. L'épiderme a un rôle de protection et d'échanges grâce aux stomates.

**- Evapotranspiration**

Est la quantité d'eau transférée vers l'atmosphère par notamment la transpiration des plantes. La transpiration se définit par les transferts d'eau dans la plante et les pertes de vapeur d'eau au niveau des stomates de ses feuilles.

**- Hydrophile [du grec *hydôr* 'eau' et *phileo* 'aimer']**

Un composé hydrophile est un composé ayant une affinité pour l'eau et tendance à s'y dissoudre. Il est également ionique.

**- Hydrophobie [du grec *hydôr* 'eau' et *phôbos* 'peur']**

Caractérise les surfaces qui semblent repousser l'eau. L'eau étant une molécule polaire, elle a une très nette attirance préférentielle pour les autres molécules polaires, ce qui va amener ces molécules à s'assembler entre elles et former des billes qui semblent être repoussées par les molécules non polaires avec lesquelles elles n'ont pas une aussi forte affinité.

**- Lenticelles [du latin *lens*, *lentis* 'lentille']**

Une lenticelle est une sorte de pore présent sur le liège, permettant les échanges gazeux entre l'atmosphère et les tissus internes des végétaux. Les lenticelles se forment pendant le développement de l'écorce. Celle-ci se fissure par endroit faisant apparaître une lenticelle après la formation d'un phellogène.

**- Mucigel**

Est la substance visqueuse, gélatineuse, enrobant en grande partie les racines d'une plante. Il est principalement constitué de mucilages (substances végétales constituées de polysaccharides qui gonflent au contact de l'eau) produits par le rhizoderme et les micro-organismes de la rhizosphère.

**- Nodosités**

Les nodosités ou nodules sont l'expression d'une symbiose rhizobienne se formant sur les racines de nombreuses espèces de plantes, notamment les Fabacées, sous l'action de bactéries du genre *Rhizobium* vivant en symbiose avec la plante.

**- Osmose**

Est le phénomène de diffusion de la matière, caractérisé par le passage de molécules de solvant d'une solution vers une autre à travers la membrane semi-perméable qui sépare ces deux solutions dont les concentrations en soluté sont différentes ; le transfert global de solvant se fait alors de la solution la moins concentrée (milieu hypotonique) vers la solution la plus concentrée (milieu hypertonique) jusqu'à l'équilibre (milieux isotoniques).

**- Ostiole [du latin ostiolum 'ouverture, porte']**

Est le nom donné à l'espace entre les deux cellules de garde du stomate. On parle aussi d'orifice stomatique. C'est par cet espace que circule l'air pour alimenter la plante en CO<sub>2</sub> lorsque le stomate est ouvert.

**- Périderme**

C'est l'association suber ou liège – phelloderme – phellogène.

**- Phelloderme**

Est un tissu végétal de l'écorce. C'est un parenchyme cortical secondaire situé juste en dessous du suber ou liège. Il est mis en place par le phellogène.

**- Phellogène ou zone génératrice subéro - phellodermique**

Est un méristème secondaire cortical mis en place par dédifférenciation de cellules du parenchyme cortical sous-épidermique et parfois par l'épiderme, destiné à produire du phelloderme et du suber ou liège.

**- Plasmolyse**

Est l'état cellulaire résultant d'une perte d'eau par une cellule, notamment au niveau de sa vacuole. Elle est provoquée par le phénomène d'osmose. Cela est dû à la différence de concentrations des milieux intra et extra cellulaires : si le milieu extracellulaire est plus concentré (= hypertonique) que le milieu intracellulaire, la cellule végétale va être plasmolysée : elle va perdre une partie de l'eau que contient sa vacuole qui va rejoindre le milieu extracellulaire.

**- Poil absorbant ou poil racinaire**

Est une cellule différenciée de l'assise pilifère d'une racine. Les poils absorbants sont les principaux sites d'absorption d'eau et de sels minéraux.

**- Rhizoderme ou assise pilifère**

Est le tissu superficiel primaire des racines d'une plante, équivalent de l'épiderme des parties aériennes. Dans la toute jeune racine, de nombreuses cellules du rhizoderme forment des poils absorbants spécialisés dans la collecte de l'eau et des sels minéraux.

**- Stomate**

Est un orifice de petite taille présent dans l'épiderme des organes aériens des végétaux, sur la face inférieure des feuilles le plus souvent. Il permet les échanges gazeux entre la plante et l'air ambiant ainsi que la régulation de la pression osmotique.

**- Suber ou phellème ou liège**

Est un ensemble de cellules mortes imperméables car contenant de la subérine. C'est un tissu d'origine secondaire provenant de la différenciation de cellules méristématiques secondaires ou phellogène. Il a un rôle de protection.

**- Subérine**

Est une substance cireuse qui joue un rôle important dans la résistance de la plante et dans ses relations avec son environnement. Il s'agit d'un polymère lipide mais sa structure macromoléculaire n'est pas encore établie de façon définitive.

**- Subéroïde**

Plusieurs couches de cellules à parois subérifiées. Caractérise les angiospermes monocotylédones.

**- Symbiose [du grec syn 'ensemble' et bíos 'vie']**

Est une association intime, durable entre deux organismes appartenant à des espèces différentes. Les organismes impliqués sont qualifiés de symbiotes, le plus gros peut être nommé hôte.

### - *Tecteur*

Chez les plantes, un poil tecteur est un poil, c'est-à-dire une expansion des cellules épidermiques, jouant un rôle dans la protection de la plante, notamment contre la dessiccation.

### - *Trichoblaste*

C'est la cellule initiale du rhizoderme qui se différencie en un poil absorbant ou poil racinaire.

### - *Trichome [du grec trikhoma 'croissance de poil']*

Les trichomes sont de fines excroissances ou appendices chez les plantes. On peut citer comme exemple les poils, les poils glandulaires et notamment urticants ou encore des poils qui ont évolué en écailles protectrices. Leurs fonctions semblent souvent être principalement défensives mais ils peuvent aussi protéger certaines plantes d'un froid ou d'une chaleur excessive.

### - *Turgescence*

Est l'état d'une cellule vivante dilatée par l'eau qui y est entrée, et qui s'accumule dans ses vacuoles. L'entrée d'eau est causée par le phénomène d'osmose, selon lequel deux milieux de concentrations différentes et séparés par une membrane semi-perméable (laissant passer l'eau mais non les substances dissoutes) opèrent un échange : l'eau du milieu le moins concentré (milieu ou solution hypotonique) traverse la paroi ce qui permet de rétablir l'équilibre des concentrations, ce flux traduisant la pression osmotique.

### - *Vasculaires ou Trachéophytes [du grec trakheia 'conduit raboteux']*

Plantes caractérisées par la présence de vaisseaux (phloème et xylème contenant des trachéides, d'où le nom) assurant la circulation de la sève.

### - *Xérophyte [du grec xêros 'sec' et phuton 'plante']*

Ce terme définit une plante vivant en milieu aride, capable de résister à de grands déficits d'eau.

# **Tissus**

## **fondamentaux :**

### **les parenchymes**

## Sommaire

<b>I- Tissus fondamentaux : les parenchymes</b>	<b>53</b>
<b>II- Origine et caractéristiques</b>	<b>53</b>
<b>III- Différents types de parenchyme</b>	<b>54</b>
<b>III-1- Parenchyme assimilateur ou chlorophyllien</b>	<b>54</b>
<b>III-2- Parenchyme de réserve de métabolites</b>	<b>55</b>
<b>III-3- Parenchyme aquifère</b>	<b>57</b>
<b>III-4- Parenchyme aérifère ou aérénchyme</b>	<b>58</b>
<b>III-5- Autres types de parenchymes fonctionnels</b>	<b>59</b>
<b>III-5-1- Parenchyme cortical et parenchyme médullaire</b>	<b>59</b>
<b>III-5-2- Parenchyme lignifié</b>	<b>59</b>
<b>IV- Glossaire propre au chapitre</b>	<b>60</b>

## I- Tissus fondamentaux : les parenchymes

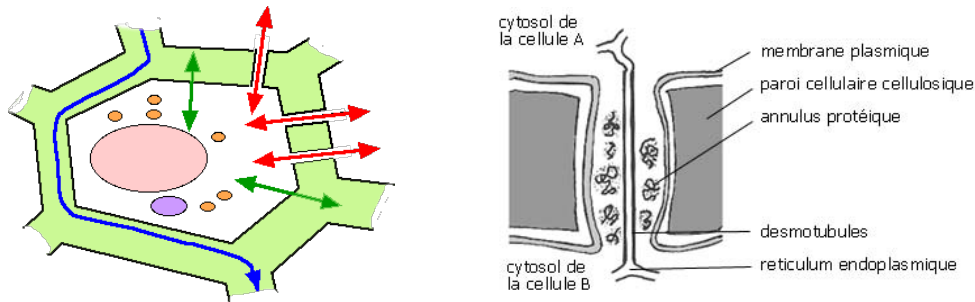
Les **parenchymes** sont des **tissus fondamentaux** des végétaux, car ils constituent souvent la plus grande partie des organes et sont le siège de fonctions vitales pour les plantes, comme la **synthèse** et la **mise en réserve**.

## II- Origine et caractéristiques

Un parenchyme peut se **différencier** à partir de n'importe quelle cellule issue d'un **méristème primaire** ou **secondaire**, dans n'importe quel organe.

Un parenchyme se reconnaît à ses cellules grandes ou assez grandes, de forme variable, souvent isodiamétriques ou cylindriques et à contours arrondis.

Les cellules des parenchymes sont **vivantes**, à paroi **pectocellulosique** mince, perforées de **plasmodesmes**, qui permettent des communications intercellulaires et une circulation des substances à l'intérieur des cellules (**circulation symplasmique**).

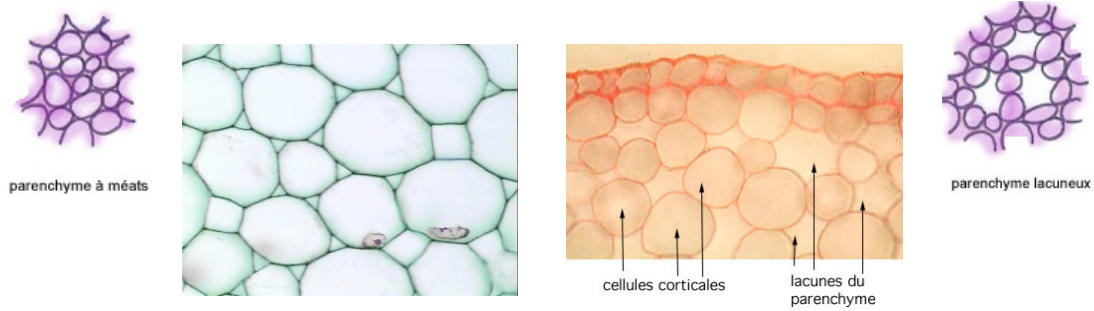


### Paroi, échanges cellulaires et plasmodesmes

La paroi assure les échanges cellule/cellule par ses **plasmodesmes** (transports **symplasmiques** – flèches rouges). Par ses propriétés **hydrophiles**, elle constitue un milieu de transports intercellulaires pariétaux (transports **apoplasmiques** – flèches bleues). Elle est aussi un lieu d'échanges constants avec le cytoplasme au niveau de la membrane plasmique (flèches vertes) (Référence : [www.snv.jussieu.fr/bmedia/paroi/roles.htm](http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/paroi/roles.htm)).

Le **plasmodesme** (20 à 40 nm de diamètre) est un **canal** traversant la paroi cellulaire et relie les membranes plasmiques et les cytoplasmes des cellules adjacentes. Son centre est occupé par le **desmotubule**, une structure membranaire **tubulaire** reliant les **réticulums endoplasmiques** des 2 cellules voisines. Ce **desmotubule** est entouré d'un anneau de protéines globulaires (**annulus protéique**). Aux extrémités, on observe un **col** qui permet l'ouverture ou la fermeture des plasmodesmes. Référence : [www.plantes-botanique.org/](http://www.plantes-botanique.org/))

Les cellules peuvent être jointives, collées par leur **lamelle moyenne** ; mais elles présentent souvent des décollements liés à la **gélification** de la lamelle moyenne dans les angles (**parenchyme à méats**), pouvant aller jusqu'à la formation d'espaces importants (**parenchyme lacuneux**). Ces espaces, ainsi que les propriétés de la paroi pectocellulosique permettent une circulation des substances à l'extérieur des cellules et dans la paroi (**circulation apoplastique** de l'eau, des substances dissoutes et de gaz).



### Parenchyme à méats et parenchyme lacuneux

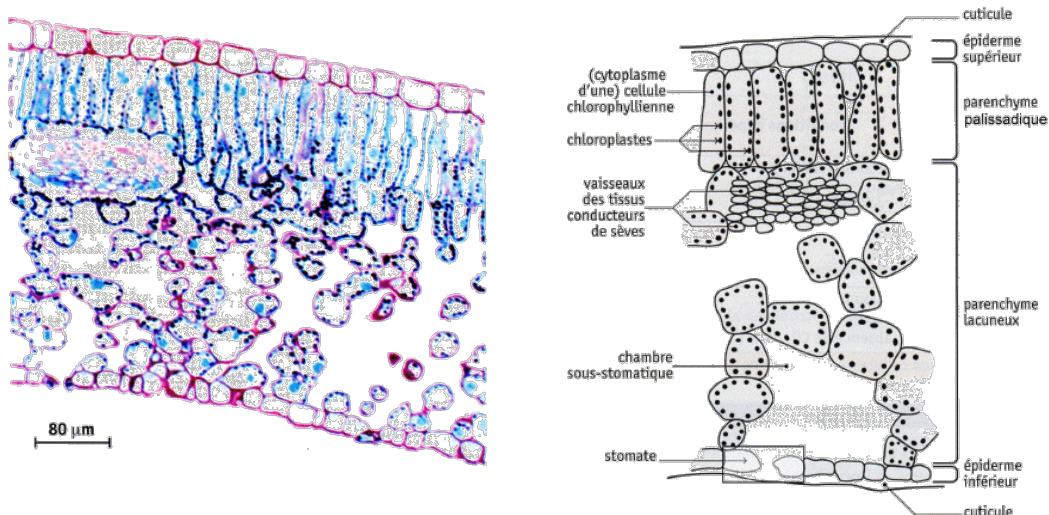
A gauche, le **parenchyme à méats** est constitué de cellules plus ou moins arrondies, présentant entre elles des **méats**. Il s'agit de petits espaces intercellulaires situés aux angles des cellules et résultant du **décollement** de la **lamelle moyenne** (Référence : <http://www.mhhe.com/biosci/pae/botany/histology/images/parench.jpg>).

A droite, sous l'épiderme, l'**écorce** est représentée par un parenchyme typique des formations **lacuneuses** (zone **corticale** d'une tige de *Ranunculus* sp.). On peut remarquer les cellules arrondies, isodiamétriques, à paroi pectocellulosique peu épaissie. Entre certaines cellules on peut observer des **méats** fortement agrandis et transformés en véritables **lacunes**. Les **échanges gazeux** à travers ce tissu lacuneux seront intenses (Référence : [jacques-zaffran.fr/pac](http://jacques-zaffran.fr/pac)).

## III- Différents types de parenchyme

### III-1- Parenchyme assimilateur ou chlorophyllien

Ce parenchyme dit aussi **chlorenchyme** est situé dans les régions externes des tiges et dans les feuilles. Les cellules de ce tissu riches en **chloroplastes**, réalisent la **photosynthèse**.

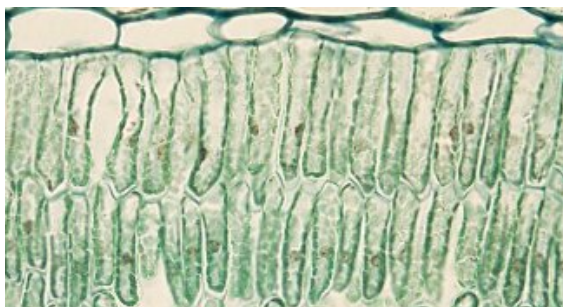


Coupe transversale d'une feuille (à gauche) et sa représentation schématique (à droite)

Le **mésophylle** représenté est **hétérogène**. Il est composé d'un **parenchyme chlorophyllien palissadique** et d'un **parenchyme chlorophyllien lacuneux** (Référence : [www.incertae-sedis.fr/gl/docut868\\_01\\_coupe\\_feuille.htm](http://www.incertae-sedis.fr/gl/docut868_01_coupe_feuille.htm)).



Un des types caractéristiques du **chlrenchyme** est le **parenchyme palissadique**, situé dans la partie supérieure du **mésophylle**. Il est constitué de cellules allongées, parallélipédiques, serrées les unes contre les autres, formant des assises continues et ne présentant pas d'espaces intercellulaires. Cette structure optimise l'absorption d'énergie lumineuse.



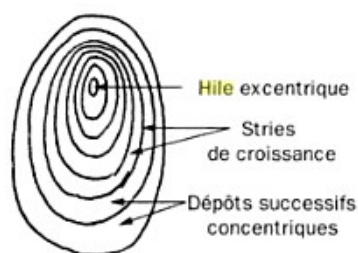
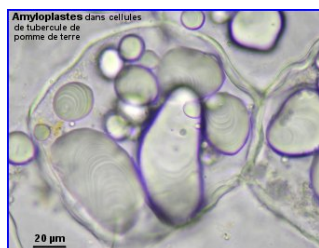
*Parenchyme palissadique de feuille de laurier-rose en coupe transversale.*

*A la face supérieure de la feuille, 2 assises de **cellules allongées, serrées** les unes contre les autres, très riches en **chloroplastes**. Crédit photo : 2012 ENS Lyon – Margarethe Maillard (Référence : 375-pegmatite-harrisite-Piriac-02-br.jpg)*

### III-2- Parenchyme de réserve de métabolites

Ce parenchyme accumule les substances énergétiques que la plante utilisera plus tard. L'**amidon** s'accumule dans les **plastides** ; les **oses**, **osides** et **protéines** dans les **vacuoles** ; et les **lipides** dans le **cytoplasme**. Selon le type de substance accumulée, on distingue différents types de parenchyme de réserve : les parenchymes **amylacés** des **tubercules**, les parenchymes **saccharifères**, les cellules à réserves **protéiques** (**aleurone**) ou **lipidiques** dans les graines et fruits.

**Réserve d'amidon** : c'est le **polysaccharide** de réserve le plus répandu chez les plantes. Il est synthétisé dans les **amyloplast** des tissus de stockage (graines, tubercules) où il s'accumule sous forme de **grains d'amidon**.



*Amyloplast* de pomme de terre (à gauche) et illustration d'un grain d'amidon (à droite)

Dans les cellules, l'**amidon** se présente sous forme de **grains** visibles au microscope : les **amyloplast** (Référence : jean-jacques.auclair.pagesperso.fr). L'**amyloplaste** est formé par des **couches concentriques** autour d'un point spécifique appelé **hile**. L'accumulation de l'amidon se fait à partir de ce point et est stocké dans des couches que l'on appelle également **strates**. L'**amyloplaste** deviendra un futur **grain d'amidon** (Référence : eric.lacouture.free.fr).



**Réserve d'inuline** : c'est un polysaccharide composé principalement d'une chaîne de **fructoses** et produit naturellement par certains types de plantes appartenant notamment à la famille des **Asteraceae**, qui n'accumulent pas d'autres matériaux énergétiques tels que l'amidon.

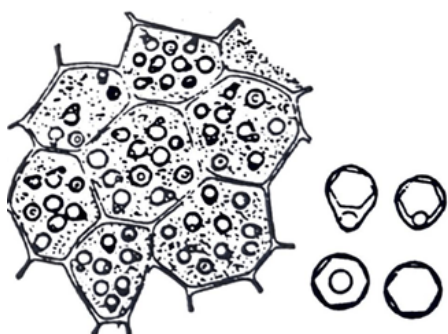
*Sphéro-cristaux d'inuline dans une racine du Dahlia (Asteraceae) traitée par l'alcool*

Polymère d'unités **fructoses**, l'inuline se présente soit en **solution** dans la **sève**, soit stockée sous forme de **masses amorphes** ou **sphérocrystallines**, comme ici au niveau de la **racine tubérisée** du Dahlia (Référence : [thepharmacognosy.com/the-cell-contents/](http://thepharmacognosy.com/the-cell-contents/)).



**Réserve de saccharose** : principale molécule de réserve, le **saccharose** est un disaccharide composé d'une molécule de **glucose** associée à une molécule de **fructose** par une **liaison glycosidique**. Ce sucre, **non réducteur** et donc **peu réactif**, est très présent chez de nombreuses **Angiospermes** où il constitue souvent la forme privilégiée de **transport glucidique** par la **sève élaborée**. En lien avec cette faible réactivité, ce sucre peut aussi être **stocké** en quantité importante dans la **vacuole** de certains tissus. La betterave sucrière par exemple en stocke de grandes quantités.

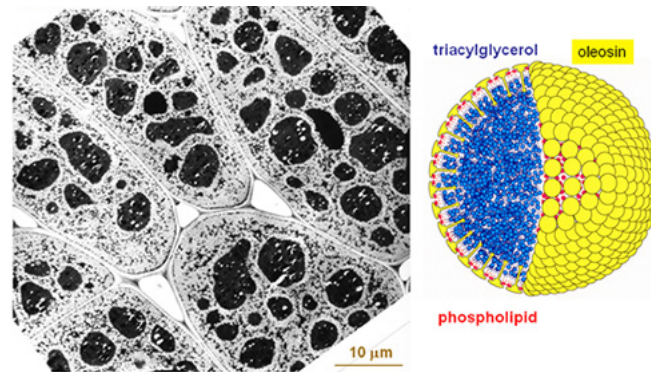
**Réserve de protéines (aleurone)** : l'**aleurone** est une protéine végétale de réserve qui se présente souvent sous forme de grains limités par le **tonoplaste** qu'on appelle **grains d'aleurone**. Les protéines sont sécrétées dans la **vacuole**, qui se fractionne en de multiples vacuoles qui se déshydratent ; les protéines **cristallisées** constituent les grains d'aleurone. On trouve les grains d'aleurone dans les graines, l'exemple est la graine de ricin. Aussi, chez les **caryopses** de **Graminées**, on trouve sous les téguments du fruit (**péricarpe**), une couche cellulaire contenant des grains d'aleurone appelée couche à aleurones.



*Grains d'aleurone dans les cellules de l'endosperme des graines du ricin*

L'**aleurone** est une **protéine** présente sous forme de **grains** dans l'**albumen** de nombreuses graines. L'aleurone de la graine du ricin est hétérogène, constituée de différentes formes et types de protéines recouvertes d'une fine membrane. Souvent, la masse protéique renferme un ou plusieurs petits cercles appelés aussi **globoïdes** et un corps angulaire ou **cristalloïde** (Référence : [thepharmacognosy.com/the-cell-contents/](http://thepharmacognosy.com/the-cell-contents/)).

**Réserve de lipides** : ces réserves sont essentiellement constituées de **triglycérides** qui sont des **triesters** d'**acides gras** et de **glycérol**. Totalement hydrophobes, les triglycérides s'accumulent en grosses **gouttelettes lipidiques** dans le cytosol, appelées **oléosomes** chez les plantes. On peut en trouver dans les chloroplastes (inclusions ou globules lipidiques) voire, chez certaines espèces, dans des plastes spécialisés, qu'on appelle **oléoplastes**.

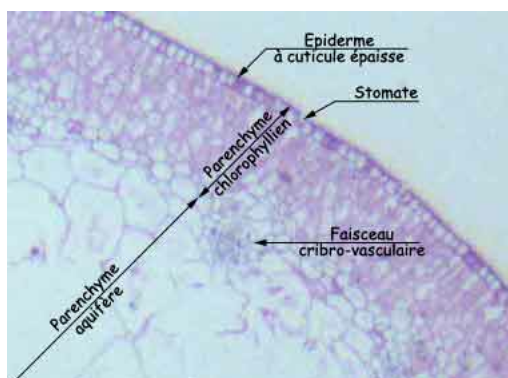


*Gouttelettes lipidiques de Brassica observées en microscopie électronique à transmission (à gauche) – Modèle de structuration d'un oléosome (à droite)*

Les **oléosomes** sont des structures intracellulaires dans lesquelles sont stockés les **lipides** des graines de plantes. Ils sont constitués d'un cœur de **lipides neutres** hydrophobes (**triacylglycérols** représentés en bleu) entouré d'une monocouche de **phospholipides** (en rouge) stabilisée par des **oléosines** (en jaune). Grâce à cette structure, les oléosomes sont très **stables** et le lipide présent dans les graines ne coalesce pas car les oléosines sont très hydrophobes (Référence : [lipidlibrary.aocs.org/chemistry/physics/plant-lipid/subcellular-oil-droplets-and-oleosins-in-plants](http://lipidlibrary.aocs.org/chemistry/physics/plant-lipid/subcellular-oil-droplets-and-oleosins-in-plants)).

### III-3- Parenchyme aquifère

Ce parenchyme est constitué de cellules volumineuses, pourvues d'une **vacuole** très développée. Il est abondant dans les tiges ou les feuilles des **plantes succulentes** (parfois appelées plantes **grasses**) où il constitue une réserve d'eau.



*Limbe d'Aloès en coupe transversale*

Le parenchyme **aquifère** est formé de grandes cellules, à parois fines, qui se chargent de mettre en réserve de l'eau dans de grandes vacuoles. Ces cellules sont riches en **mucilages**, qui élèvent leur succion, réduisant indirectement leur perte en eau : il s'agit d'une **succulence foliaire** (Référence : [www.snv.jussieu.fr/bmedia/anatomie/](http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/anatomie/)).

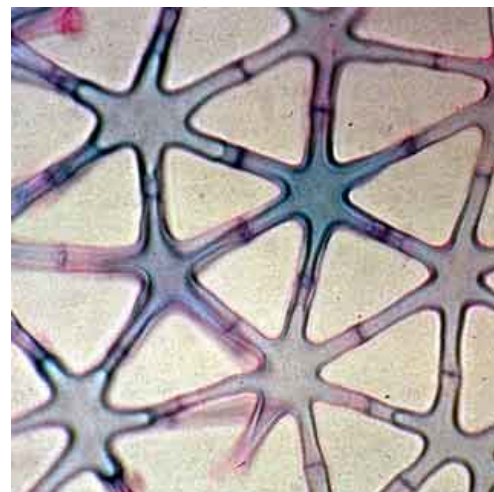
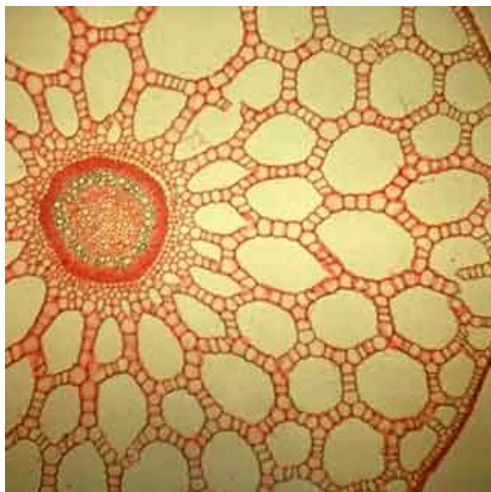
### III-4- Parenchyme aérifère ou aerenchyme

Un parenchyme **aérifère**, appelé aussi **aerenchyme**, est un tissu à **lacunes** remplies de gaz. Il est particulièrement développé chez les **plantes aquatiques** chez lesquelles il joue plusieurs rôles importants :

**Squelette hydrodynamique** : la constitution d'un "squelette" hydrodynamique souple et élastique permettant de réagir aux mouvements lents mais puissants du milieu.

**Structure de flottaison** : la flottaison des organes immergés et leur port vertical en l'absence du rôle efficace de la pesanteur (poussée d'*Archimède*) qui permet le port érigé des plantes aériennes.

**Réserve gazeuse pour les échanges physiologiques** : la constitution d'une réserve importante de gaz permettant malgré la faible solubilité du CO<sub>2</sub> et surtout de l'O<sub>2</sub> de pourvoir à l'alimentation des processus fondamentaux de photosynthèse et de respiration.



#### *Coupes transversales sur des tiges d'Hippuris (à gauche) et de Jonc (à droite)*

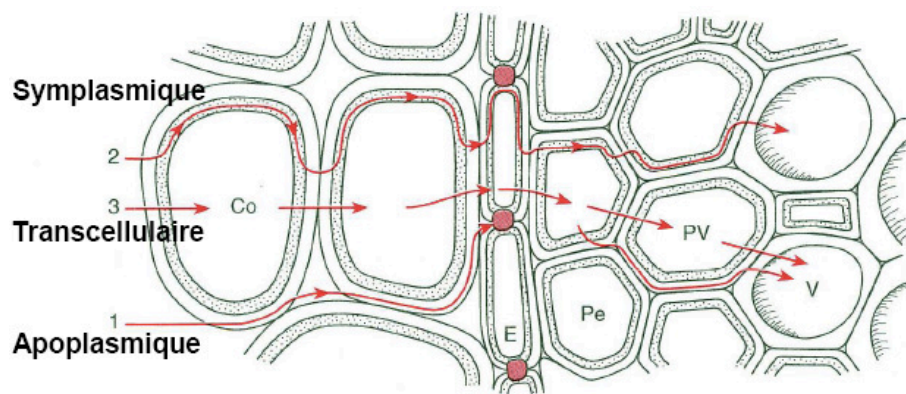
Chez la tige d'*Hippuris*, comme chez de nombreuses **plantes aquatiques**, l'espace gazeux constitue un système complexe de **lacunes** verticales bien localisées dans le **parenchyme cortical**. Ce système est très bien organisé et chaque lacune est bien séparée des autres lacunes. Ce système permet à la tige de se **dresser verticalement** dans le milieu aquatique où la pesanteur ne joue pas le rôle primordial. Le **parenchyme médullaire** de la tige de *Jonc* est un aerenchyme formé de **cellules étoilées à six branches**, maintenant entre elles un espace gazeux ouvert et continu. L'organisation spatiale est complexe, chaque cellule est jointive par trois de ses branches à trois cellules situées au dessus et par trois autres branches alternées, à trois cellules situées en dessous. Il faut remarquer que le *Jonc* n'est pas une plante aquatique, il a seulement les pieds dans l'eau (Référence : [www.snv.jussieu.fr/bmedia/gaz/index.htm#aqua](http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/gaz/index.htm#aqua)).

### III-5- Autres types de parenchymes fonctionnels

#### III-5-1- Parenchyme cortical et parenchyme médullaire

Dans la racine, la **translocation radiale** de l'eau aura lieu à partir des structures cellulaires du **parenchyme cortical**, où nous trouveront des vacuoles de taille importante, des méats, ainsi que des plasmodesmes assurant une interconnexion cellulaire. Le transfert d'eau pourra avoir lieu selon différents processus : **apoplasmique**, **symplasmique** et **transcellulaire**.

Arrivée à l'**endoderme**, l'eau diffuse vers le centre de la racine par effet de masse en fonction des potentiels hydriques. Le **parenchyme médullaire** situé au centre agit comme un **tampon** avant que l'eau ne remonte dans la tige par les **vaisseaux du xylème**.



Co, cellule du cortex ; E, endoderme ; Pe, péricycle ; PV, parenchyme vasculaire ; V, vaisseau

*Illustration du transport radial de l'eau depuis le cortex jusqu'aux vaisseaux de la stèle*

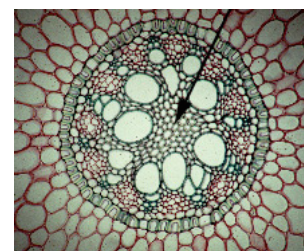
L'eau est absorbée par les **poils absorbants** et traverse l'**écorce** en empruntant à la fois des voies de l'**apoplaste** (continuum des parois cellulaires), des voies du **symplaste** (continuum des cytoplasmes, notamment grâce aux plasmodesmes) et des voies **transcellulaires**, pour se rendre jusqu'à la **stèle**. Arrivée à l'**endoderme**, la voie apoplasmique est stoppée. Les transferts sont assurés obligatoirement par voie transcellulaire grâce à des transporteurs. Au sein de la stèle, les **vaisseaux du xylème** absorberont l'eau principalement à l'aide des forces de tension (Référence : [nanopdf.com\\_i-leau-et-la-nutrition-minerale.pdf](http://nanopdf.com_i-leau-et-la-nutrition-minerale.pdf)).

#### III-5-2- Parenchyme lignifié

Dans un organe âgé, le parenchyme peut **lignifier** ses parois et devenir un **tissu de soutien**.

*Coupe transversale de racine d'Iris*

Dans des **organes** dont la croissance est achevée, les **parois** des cellules du **parenchyme médullaire** se **lignifient** et forment un parenchyme médullaire lignifié (Référence : [ressources.univ-lemans.fr](http://ressources.univ-lemans.fr)).





## IV- Glossaire propre au chapitre

### - *Aérenchyme*

Appelé aussi parenchyme aérifère, est un tissu à lacunes remplies de gaz formant un canal dans les racines et les tiges de certaines plantes aquatiques, ayant un rôle de flotteur et de réserve potentielle de gaz nécessaires à la photosynthèse et à la respiration.

### - *Aleurone [du grec aleuron, 'farine']*

Est une protéine présente sous forme de grains dans l'albumen de nombreuses graines. Chaque grain avec aleurones résulte de la fragmentation de la vacuole en nombreux sacs vacuolaires puis de leur déshydratation. Lors de la germination, les grains d'aleurone se réhydratent et servent de réserve nutritive à la plantule en croissance.

### - *Amidon [du latin amyllum, 'non moulu']*

Est un glucide complexe composé de chaînes de molécules de D-glucose. Il s'agit d'une molécule de réserve pour les végétaux supérieurs et un élément courant de l'alimentation humaine.

### - *Amyloplaste*

C'est un plaste qui s'est spécialisé dans le stockage de l'amidon. Il est présent en particulier dans les cellules des organes de réserves, comme les tiges souterraines hypertrophiées (tubercules) de pomme de terre. L'amyloplaste deviendra un futur grain d'amidon.

### - *Apoplasme*

L'apoplasme désigne le continuum extracellulaire formé par les parois pectocellulosiques et les espaces vides entre les cellules végétales. L'eau et les solutés peuvent y naviguer par diffusion passive non sélective.

### - *Caryopse*

C'est un fruit sec indéhiscant, à graine unique soudée avec le péricarpe. Ce fruit a un carpelle unique soudé aux téguments du fruit. C'est le fruit caractéristique des graminées (*Poacées*).

### - *Chlorenchyme*

C'est le parenchyme chlorophyllien, situé dans les régions externes des tiges et dans les feuilles. Ce sont les cellules de ce tissu qui réalisent la photosynthèse.

### - *Desmotubule*

Dans le canal d'un plasmodesme, un desmotubule est une structure cylindrique étroite qui permet la continuité entre les réticulums endoplasmiques lisses des deux cellules végétales connectées.

### - *Endoderme*

L'assise cellulaire la plus interne du cortex en contact avec le cylindre central (stèle). Il contrôle une majeure partie de l'entrée et la sortie de l'eau et des sels minéraux au niveau du cylindre central.

### - *Gélification*

Est un processus aboutissant à la formation d'un gel, lors du passage de l'état fluide ou liquide à un état presque solide appelé état gel. Au niveau de la cellule végétale, la gélification est une modification de la membrane qui devient soluble, très hygrophile et gonfle en devenant fluide. Ce passage à gel provoque, dans certains cas, une hypersécrétion des composés pectiques.

### - *Inuline*

Est un glucide composé principalement d'une chaîne de fructoses se terminant par un  $\alpha$ -D-glucose. Les unités de fructose sont reliées par un lien glucosique  $\beta$ . L'inuline est présent dans la racine de l'inule et d'autres végétaux (dahlia, chicorée, topinambour).

**- Lacune**

Espace libre d'ordinaire aérifère situé dans l'épaisseur d'un tissu.

**- Lamelle moyenne**

C'est une couche contenant essentiellement des composés pectiques et qui sépare deux cellules végétales. Ce ciment, situé sur la région externe de la paroi, permet aux cellules de s'associer en tissus.

**- Lignification**

La lignine est un composé des parois secondaires. Certaines cellules sécrètent en haute quantité de la lignine, ce qui va solidifier leurs parois, les isolant du milieu extérieur et provoquant leur mort. Les cellules disparaissent et les parois lignifiées forment un vaisseau où circule la sève.

**- Méat**

Petit espace intercellulaire du parenchyme qui apparaît suite à la gélification de la lamelle moyenne dont les sommets se sont décollés.

**- Mésophylle**

C'est la partie interne d'une feuille. Il est constitué de parenchyme chlorophyllien, siège principal de la photosynthèse.

**- Mucilages**

Ce sont des substances végétales, constituées de polysaccharides, qui gonflent au contact de l'eau en prenant une consistance visqueuse, parfois collante, semblable à la gélatine.

**- Oléoplaste**

C'est un organe spécifique des cellules végétales spécialisé dans le stockage des lipides, essentiellement sous forme de plastoglobules (gouttelettes lipidiques sphériques).

**- Oléosines**

Ce sont des protéines présentes dans les oléosomes et ainsi participent au stockage des lipides des graines d'oléagineux.

**- Oléosomes**

Ce sont des structures intracellulaires dans lesquelles sont stockés les lipides des graines de plantes oléagineuses. Ils sont constitués d'un cœur de lipides neutres hydrophobes entouré d'une monocouche de phospholipides stabilisée par des oléosines.

**- Palissadique**

Fait référence à la structure adoptée par les cellules du parenchyme palissadique. Il est constitué de cellules allongées, arrangées perpendiculairement à la surface foliaire et riches en chloroplastes. Leur disposition jointive laissant peu d'espaces intercellulaires et leur forme cylindrique avec les chloroplastes répartis à la circonférence optimisent la captation de l'énergie lumineuse.

**- Parenchyme [du grec *parenkheô*, para 'à côté' et *egkheô*, 'répandre']**

C'est un tissu composé de cellules vivantes, souvent en relativement grand nombre et qui présentent un niveau de différenciation variable. La vacuole est souvent unique et importante. Des plasmodesmes permettent une circulation symplasmique.

**- Pectocellulosique**

Pectines et cellulose sont deux constituants de la paroi des cellules végétales. Les pectines sont des polysaccharides caractérisés par un squelette d'acide  $\alpha$ -D-galacturonique et de faibles quantités de  $\alpha$ -L-rhamnose plus ou moins ramifiés. La cellulose est un glucide constitué d'une chaîne linéaire de molécules de D-glucose (entre 15 et 15 000).

- *Plasmodesme [du grec plasma, 'chose façonnée' et desmos, 'lien']*

Est le canal traversant la paroi cellulaire des plantes, constituant les voies de passage de l'eau, des solutés et des phytohormones. Il relie les membranes plasmiques et les cytoplasmes des cellules adjacentes, qui forment alors un compartiment continu, le symplasme.

- *Saccharose*

Est un diholoside formé d'une molécule de glucose et d'une molécule de fructose liées par une liaison osidique. Il est extrait de certaines plantes, principalement de la canne à sucre et de la betterave sucrière.

- *Succulente [du latin succulentus, 'plein de suc']*

Une plante succulente, appelée aussi malacophyte, est une plante charnue adaptée pour survivre dans des milieux arides. L'adaptation de ces végétaux est liée à leur capacité de stocker de l'eau dans les feuilles, les tiges ou les racines.

- *Symplasme*

Le symplasme désigne le continuum intracellulaire formé par les cellules végétales par le biais des plasmodesmes. Les cytoplasmes de cellules ainsi reliés ne forment alors qu'un seul compartiment partagé par toutes les cellules.

- *Tonoplaste*

Est la membrane qui sépare la vacuole du cytoplasme dans une cellule végétale. Il est perméable aux éléments qui seront stockés dans la vacuole. Sa perméabilité sélective joue, en particulier un rôle dans le processus osmotique de la cellule végétale.

- *Triglycérides ou Triacylglycérols*

Ce sont des glycérides dans lesquels les trois groupes hydroxyle du glycérol sont estérifiés par des acides gras. Ils constituent une forme de réserve et sont source d'ATP par la libération des acides gras.

- *Tubercule [du latin tuberculum, 'petite bosse']*

Est une tige souterraine verticale qui résulte soit de la tubérisation d'entre-nœuds soit de la tubérisation de l'extrémité d'une tige. Cet organe est renflé par l'accumulation de réserve.

- *Tubulaire*

En anatomie, ce qui est tubulaire ou tubuleux est en forme de tube. Le tube peut être droit ou enroulé, simple ou ramifié.



# **Tissus de soutien : collenchyme et sclérenchyme**

## Sommaire

<b>I- Tissus de soutien : collenchyme et sclérenchyme</b>	<b>63</b>
<b>II- Collenchyme</b>	<b>63</b>
<b>II-1- Aperçu général</b>	<b>63</b>
<b>II-2- Caractéristiques cytologiques</b>	<b>63</b>
<b>II-3- Types de collenchyme</b>	<b>64</b>
<b>III- Sclérenchyme</b>	<b>65</b>
<b>III-1- Aperçu général</b>	<b>65</b>
<b>III-2- Caractéristiques cytologiques</b>	<b>65</b>
<b>III-3- Types de sclérenchyme</b>	<b>66</b>
<b>IV- Comparaison entre collenchyme et sclérenchyme</b>	<b>68</b>
<b>V- Glossaire propre au chapitre</b>	<b>69</b>

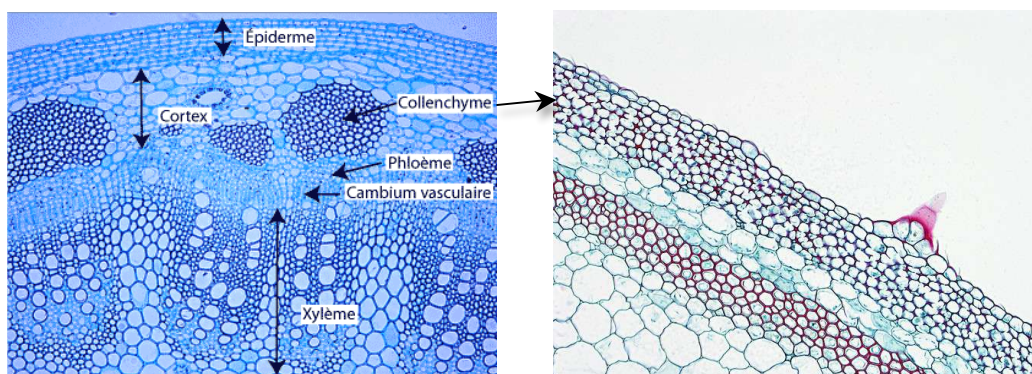
## I- Tissus de soutien : collenchyme et sclérenchyme

Les **tissus de soutien** assurent la **consolidation** des édifices tissulaires ; leurs **parois** sont fortement **épaissies**. Ces tissus dérivent de parenchymes et se déclinent par rapport à la nature de leurs parois en deux types distincts : **collenchyme** et **sclérenchyme**.

## II- Collenchyme

### II-1- Aperçu général

Le **collenchyme** est le tissu de soutien des **organes jeunes** en croissance, capable de résister à la tension d'**élongation**. On le trouve dans les **organes aériens**, souvent sous l'**épiderme** des **tiges** et des **pétioles** (en amas séparés ou en cylindres continus) ou en bordure des **nervures** de feuilles de **Dicotylédones**.

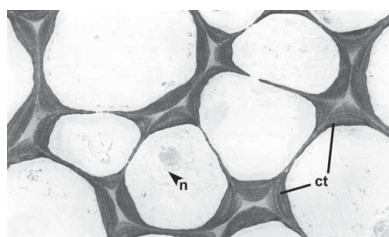


Coupes transversales de tiges de potiron (à gauche) et de Coleus (à droite)

Le collenchyme se rencontre souvent en périphérie des organes. Dans les tiges à section arrondie, le collenchyme s'organise en **amas séparés** comme c'est le cas dans la tige du potiron (Référence : [anatomievegetale.uqac.ca/menugendef/termes/cortex.html](http://anatomievegetale.uqac.ca/menugendef/termes/cortex.html)). Il peut former un **cylindre** ou un **anneau continu** de cellules, comme c'est le cas dans la tige de Coleus (Référence : [www8.umoncton.ca/umcm-sciences-biologie/botanique/](http://www8.umoncton.ca/umcm-sciences-biologie/botanique/)).

### II-2- Caractéristiques cytologiques

Le collenchyme est un tissu proche du parenchyme. Il est constitué de cellules **vivantes**, isodiamétriques ou allongées, sans méats et à plastes peu différenciés. La paroi primaire reste **cellulosique**, mais est renforcée d'un **épaississement cellulosique** inégal et élastique.



Cellules de collenchyme de Céleri observées au microscope électronique à transmission

Les cellules sont vivantes à **noyau** (n) et les parois cellulaires sont inégalement épaissies (ct) par des dépôts de **cellulose** aux angles (Référence : Leroux 2012 In *Annals of Botany*/doi : 10.1093/aob/mcs186).

### II-3- Types de collenchyme

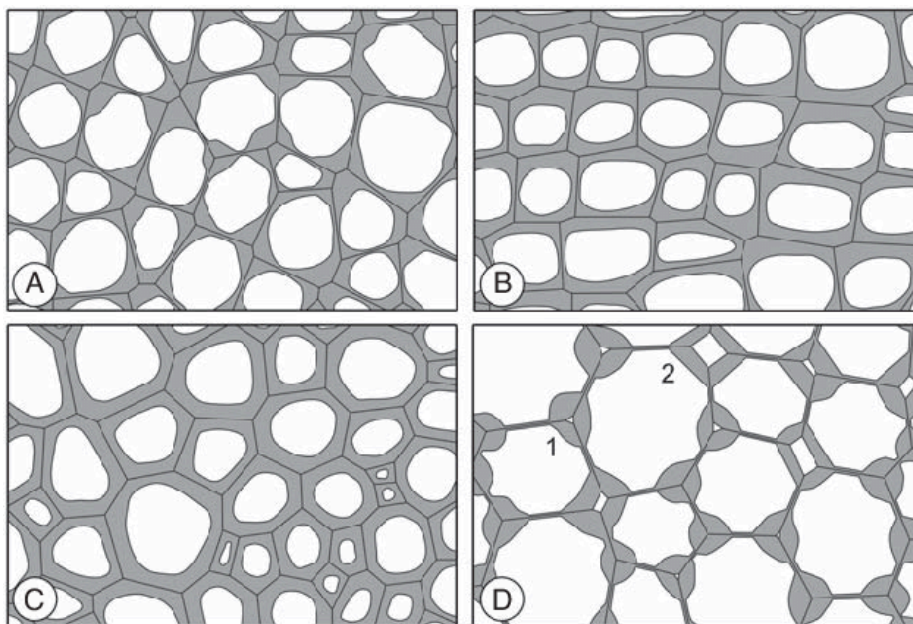
Les collenchymes sont classés en fonction de la forme de l'**épaississement cellulosique** de la paroi.

**Collenchyme angulaire** : l'épaississement cellulosique de la paroi est important au niveau des **angles** des cellules.

**Collenchyme tangentiel** ou **lamellaire** : les parois **tangentielles** sont plus épaisses que les parois **latérales**.

**Collenchyme annulaire** ou **rond** : le dépôt de cellulose est **uniformément** réparti tout autour de la paroi.

**Collenchyme lacunaire** : c'est un collenchyme qui se présente comme un type **intermédiaire** entre le type angulaire et lamellaire.



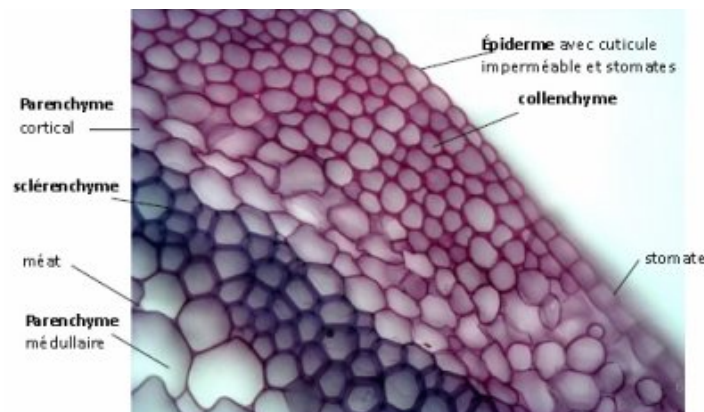
#### Représentation schématique des différents types de collenchyme

Lorsque les parois celluliques **épaissies**, de manière **inégle**, selon les cas, aux **angles** (A) ou sur les parois **tangentielles** (B), on parle respectivement de **collenchyme angulaire** et **tangentiel**. Lorsque la paroi est **uniformément épaissie** avec une absence de méats (C), on parle de **collenchyme annulaire**. Le **collenchyme lacunaire** (D) est un type intermédiaire entre collenchyme angulaire et collenchyme tangentiel. Il montre des espaces intercellulaires de taille variable, entre de minuscules espaces (1) à plus larges cavités (2) (Référence : Leroux 2012 In Annals of Botany/doi : 10.1093/aob/mcs186).

### III- Sclérenchyme

#### III-1- Aperçu général

Le **sclérenchyme** est un tissu de soutien plus rigide que le **collenchyme**. Il caractérise les organes végétaux qui ont **terminé** leur croissance en **longueur**. Sur le plan **localisation**, le sclérenchyme est un peu plus **interne** que le collenchyme. On le trouve aussi, tout autour des **tissus conducteurs**.

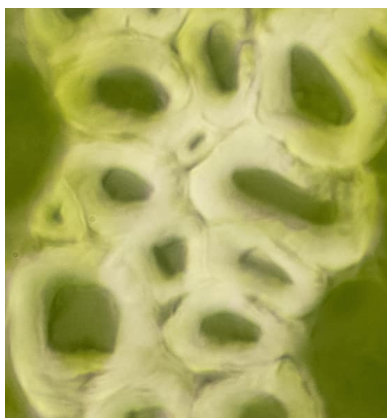


*Coupe transversale de tige de Bryone (Cucurbitacée, Grossissement 40x)*

On trouve le sclérenchyme dans les parties de la plante ne subissant plus d'**élongation**. Il se rencontre un peu plus en **profondeur** des organes, entourant également les **tissus conducteurs** (Référence : <http://momodu5.skyrock.com/photo.html>).

#### III-2- Caractéristiques cytologiques

Le sclérenchyme est constitué de cellules **mortes**, dépourvues de **protoplasme**. Les parois des cellules sont **régulièrement épaissies** par un dépôt de **lignine**, qui confère **dureté** et **rigidité** à la plante. Le calibre des cellules étant relativement constant, il arrive que la **lumière** soit fort réduite à maturité par suite de l'**épaississement** considérable des parois.



*Cellules de sclérenchyme d'Hibiscus*

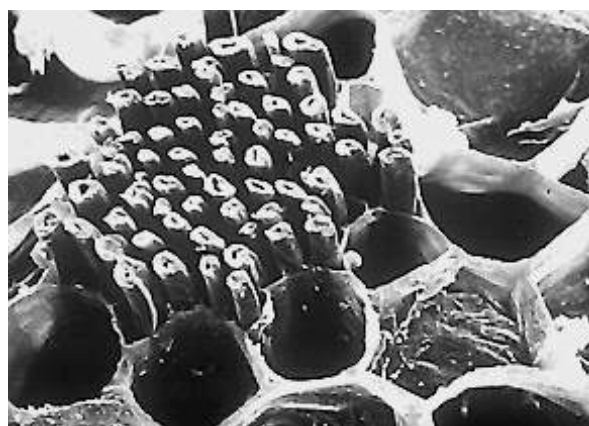
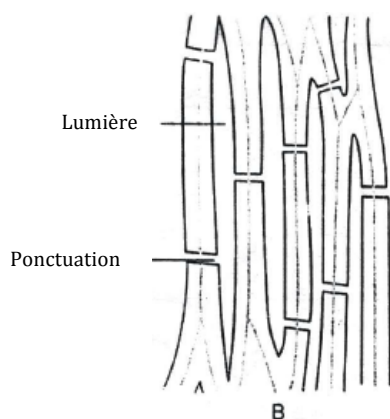
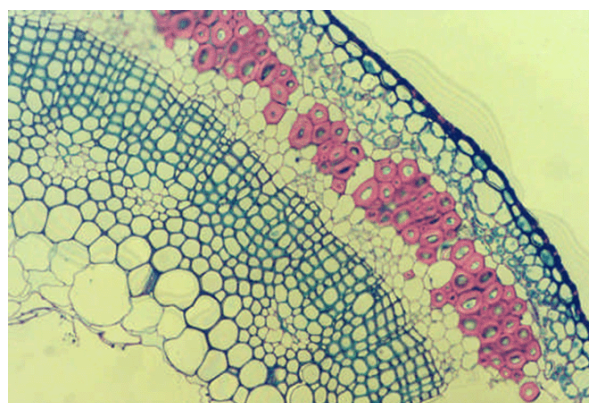
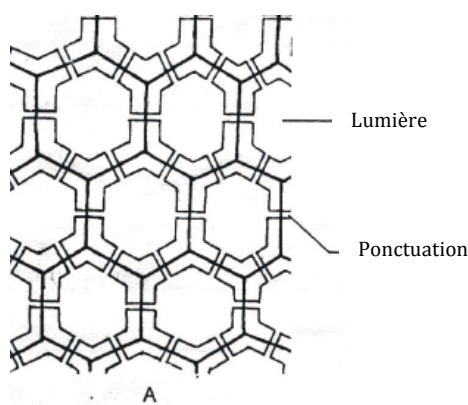
Le sclérenchyme est constitué à maturité de **cellules mortes** dont la paroi primaire s'est considérablement **épaissie** par imprégnation de **lignine** à l'intérieur de la paroi primaire. La paroi **secondaire** qui en résulte est **rigide** et **imperméable**. La **lumière** des cellules est considérablement réduite à maturité (Référence : <http://gramho.com/media/>).



### III-3- Types de sclérenchyme

Selon la **forme** des cellules, on distingue deux types : les **fibres scléreuses** et les **sclérites**.

**Les fibres scléreuses** : cellules très **allongées**, à lumière **étroite**, terminées en **pointe** et s'emboîtant les unes aux autres par leurs extrémités. Elles forment un tissu serré, rigide sans méats et pauvre en eau. Elles sont rarement isolées formant en général des amas appelés **faisceaux de fibres**. On les rencontre le plus souvent dans le **cortex** des tiges ou associées aux **tissus conducteurs**. La fonction principale des fibres est de fournir la **résistance mécanique** à la plante.

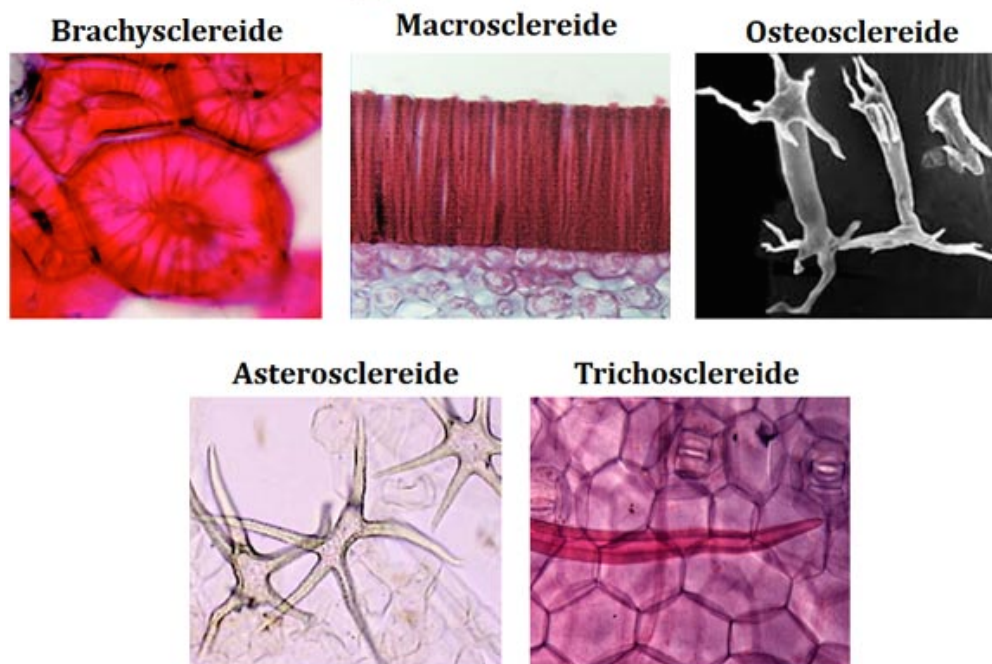


#### Fibres scléreuses

Les **fibres scléreuses** sont de forme **polyédrique** en coupe transversale (**A**) et de forme **allongée** en coupe longitudinale (**B**). Les cellules allongées, ne sont pas ramifiées et présentent des parois à **extrémités effilées**. L'épaississement de la paroi, traversée de **ponctuations**, réduit la **lumière** des cellules.

Les fibres scléreuses s'organisent en **faisceaux**, disposés **longitudinalement**. C'est ce qu'on observe dans une coupe de **tige** de *Linum usitatissimum* (**photo de haut à droite**) (Référence : <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs>), et au niveau d'une coupe de **feuille** d'une broméliacée (*Acanthostachys*) (**photo de bas à droite**) (Référence : Peter V. Sengbusch In [http://s10.lite.msu.edu/res/msu/botonl/b\\_online/e06/sklerenc.htm](http://s10.lite.msu.edu/res/msu/botonl/b_online/e06/sklerenc.htm)).

**Les sclérites** ou **scléréides** : sont en général plus **courtes** que les fibres, de grande **taille**, de forme **irrégulière** pouvant être **ramifiées** ou **non ramifiées**. Elles sont en général **isolées** dans d'autres tissus mais parfois on peut les trouver en **amas**. Si les fibres proviennent de la **différenciation** des cellules des **méristèmes**, les sclérites sont formées par l'**épaississement** de la paroi secondaire des cellules du **parenchyme**.



#### Sclérites ou scléréides

Les **sclérites** désignent des cellules de sclérenchyme ayant des **parois lignifiées** très épaisses et à **lumière** étroite. Ils se produisent dans le **cortex**, la **moelle**, la **pulpe** et les **parois** des fruits. Selon la **forme** des cellules, on distingue différents types de sclérites (Référence : <http://www.easybiologyclass.com/sclerenchyma-structure-classification-and-functions-with-ppt/>) :

- **Brachyscléréides** : sclérites ou **cellules pierreuses**, de forme **sphérique** ou **ovale**, qui durcissent l'**endocarpe** des **drupes** (noix de coco, mangue, amande, noix, etc.). Ces cellules sont également présentes dans les parties **charnues** de la poire. L'aspect graveleux de la partie comestible de la poire est dû à la présence de ces cellules.

- **Macroscléréides** : sclérites en forme de **bâtonnets**, qui ont la capacité de durcir les **téguments** des graines notamment des **légumineuses**.

- **Ostéoscléréides** : sclérites **allongées** aux extrémités renflées ressemblant aux **os**, d'où le nom d'ostéoscléréides. Ce type se retrouve dans les **feuilles** de deux espèces de plantes *Hakea* et *Osmanthus*.

- **Astroscléréides** : sclérites en forme d'**étoiles** caractéristiques des feuilles de **plantes aquatiques**, assurant un rôle essentiel de maintien de ces derniers à la surface de l'eau.

- **Trichoscléréides** : sclérites en forme de **poils**, présents également dans les feuilles flottantes de **plantes aquatiques**.



## IV- Comparaison entre collenchyme et sclérenchyme

Les deux tissus de soutien, collenchyme et sclérenchyme se distinguent par :

<i><b>Collenchyme</b></i>	<i><b>Sclérenchyme</b></i>
<b>Présence</b>	
Premier tissu de soutien qui apparaît dans une plante en croissance.	Caractérise les organes végétaux qui ont terminé leur croissance en longueur.
<b>Organisation</b>	
Tissu se présente sous forme d'amas séparés ou en cylindres continus dans les organes aériens – Peu commun dans les racines.	Cellules allongées organisées en faisceaux de fibres – Parfois, plus courtes et de forme irrégulière, isolées ou groupées dans la pulpe et les parois des fruits et graines.
<b>Localisation</b>	
Tissu occupe généralement une position périphérique, juste sous l'épiderme – Tend à faire partie des faisceaux vasculaires.	Tissu plus interne que le collenchyme, se situe en profondeur – Entoure également les tissus conducteurs.
<b>Nature des cellules</b>	
Cellules vivantes à maturité.	Cellules mortes à maturité.
<b>Protoplasme</b>	
Fin cytoplasme, noyau, vacuole unique et volumineuse.	Cellules dépourvues de protoplasme, présentant des ponctuations.
<b>Forme des cellules</b>	
Cellules plus ou moins allongées avec quelques chevauchements aux extrémités.	Cellules très allongées, à lumière étroite, terminées en pointe .
<b>Espaces intercellulaires</b>	
Cellules serrées, mais on peut parfois voir des espaces aériens intercellulaires.	Tissu composé de cellules qui ne laissent pas d'espaces intercellulaires entre elles.
<b>Epaississements des parois</b>	
Paroi cellulaire cellulosique épaissie. L'épaississement peut se produire aux coins des cellules adjacentes ou le long des parois tangentiels.	Parois secondaires régulièrement épaissies, composées de microfibrilles de cellulose hautement organisées s'imprégnant de lignine.
<b>Rôles</b>	
La partie épaissie de la paroi fournit un soutien ; les parties plus minces permettent l'étirement, la croissance et le transfert de solutés. Les cellules allient résistance à la traction, souplesse et plasticité.	L'épaississement des parois fournit un support mécanique à la plante et donne de la rigidité aux organes ; prend également en charge le transfert de l'eau et des nutriments.

## V- Glossaire propre au chapitre

### - Cellulose

Est un glucide constitué d'une chaîne linéaire de molécules de D-glucose (entre 15 et 15 000). Les macromolécules de cellulose associées forment des microfibrilles, qui elles-mêmes associées en couches, forment les parois des fibres végétales. Il s'établit des liaisons hydrogènes entre les molécules de glucose des différentes chaînes.

### - Collenchyme [du grec *colla*, 'glu, colle' et *egkheô*, 'répandre']

Est un tissu de soutien des plantes vasculaires. Il caractérise les organes jeunes dont la croissance n'est pas achevée. C'est un tissu vivant très proche du parenchyme. La paroi primaire reste cellulosique mais est munie d'épaississement cellulosique inégal et élastique.

### - Cortex ou Ecorce

Est le revêtement extérieur du tronc, des branches et des racines des plantes ligneuses. Il désigne l'ensemble formé par le périoderme et le liber.

### - Drupe [du latin *drûpa oliva*, 'olive mûre']

Est un fruit indéhiscent, charnu à noyau, comme la cerise, l'abricot ou l'olive. Elle est caractérisée par un péricarpe composé d'une partie charnue et d'une partie sclérifiée donc dure, l'endocarpe appelé sclérocarme formant le noyau.

### - Elongation

L'élongation des cellules végétales correspond à une déformation de la paroi suite à une absorption d'eau par la cellule. La vacuole alors en turgescence par l'augmentation de volume provoque une pression de turgescence sur la paroi. Au sein de cette dernière s'exerce donc une tension ce qui engendre un processus associant (1) l'élasticité de la paroi, déformation réversible sans variation de la longueur cellulaire et (2) la plasticité pariétale, correspondant à une déformation irréversible de la paroi réalisée par un réajustement moléculaire et engendrant l'élongation cellulaire.

### - Endocarpe

Est le feuillet le plus interne du péricarpe, tissu du fruit entourant la graine. Il permet notamment de différencier une baie d'une drupe parmi les fruits charnus. S'il est sclérifié, il forme un noyau autour de la graine (le fruit sera une drupe), s'il ne l'est pas, la graine sera nommée pépin (le fruit sera une baie).

### - Faisceau

Est un ensemble d'éléments longilignes liés ensemble.

### - Fibres

Type de sclérénchyme, aux cellules allongées, étroites, à lumière réduite, terminées en pointe et s'emboîtant les unes aux autres par leurs extrémités. Elles forment un tissu serré, rigide, sans méats et pauvre en eau. Elles sont rarement isolées formant en général des amas appelés faisceaux de fibres. On les rencontre le plus souvent dans le cortex des tiges ou associées aux tissus conducteurs.

### - Lignine [du latin *lignum* 'bois']

Est une biomolécule, en fait une famille de macromolécules polymères polyphénoliques, qui est un des principaux composants du bois. Bien que la lignine soit un réseau tridimensionnel hydrophobe complexe, l'unité de base se résume essentiellement à une unité de phénylpropane. Ses principales fonctions sont d'apporter de la rigidité, une imperméabilité à l'eau et une grande résistance à la décomposition.

**- Lumière [du latin *lumen* 'lumière']**

La lumière d'une cellule désigne l'espace intérieur circonscrit par ses parois.

**- Moelle**

Est un tissu de la tige des plantes vasculaires, entourée par le xylème, entouré lui-même par le phloème. Il s'agit d'un parenchyme, spongieux et lacunaire, jouant un rôle dans le stockage et le transport des éléments nutritifs dans la plante.

**- Nervures**

Les nervures d'une feuille sont des pièces foliaires correspondant aux prolongements du pétiole dans le limbe foliaire. C'est au niveau des nervures, se détachant par leur relief bombé du reste du limbe, que se situe l'essentiel des tissus conducteurs de sève, organisés en faisceaux.

**- Péricarpe**

Est la paroi du fruit issue de la transformation après la fécondation de la paroi de l'ovaire. Il est formé de l'épicarpe, généralement coloré, usuellement nommé la peau ; le mésocarpe, qui donne la partie juteuse des fruits charnus ; et de l'endocarpe, parfois lignifié et appelé noyau.

**- Pétiole [du latin *petiolus*, 'petit pied']**

Désigne la pièce foliaire, reliant le limbe à la tige. Le pétiole qui a la même structure interne qu'une tige, est composé d'un faisceau de vaisseaux conducteurs. .

**- Ponctuation**

Est une ouverture permettant le passage de divers éléments d'une cellule à l'autre. Les ponctuations sont constituées d'un ensemble de plasmodesmes. Elles permettent en particulier le passage de la sève entre les vaisseaux. Les ponctuations sont simples chez les angiospermes et aréolées chez les gymnospermes.

**- Protoplasme**

Est constitué de l'ensemble du cytoplasme, du noyau et des organites vivants de la cellule. Il intègre également le symplasme et l'apoplasme chez les végétaux.

**- Pulpe**

Tissu parenchymateux riche en sucs, qui constitue la plus grande partie des fruits charnus.

**- Sclérenchyme**

Est un tissu de soutien qui compose les organes végétaux qui ont terminé leur croissance. Il est composé de cellules qui ont la particularité de disposer d'une paroi secondaire épaissie et souvent lignifiée. L'imperméabilisation de la cellule, entraîne la mort du contenu cellulaire. Seule la paroi rigide demeure et participe à la dureté et à la rigidité de la plante.

**- Sclérites ou Scléréides**

Type de sclérenchyme aux cellules plus courtes, de grande taille, de forme irrégulière ayant souvent la forme d'étoile. Elles sont en général isolées dans d'autres tissus mais parfois on peut les trouver en amas. Elles sont souvent présentes dans les feuilles de plantes aquatiques assurant un rôle essentiel de maintien de ces dernières à la surface de l'eau.

**- Tégument [du latin *tegumentum*, 'ce qui enveloppe, ce qui couvre']**

Désigne un tissu différencié formant une enveloppe autour de divers organes, notamment l'ovule et la graine.

# **Tissus conducteurs primaires : xylème et phloème**

## Sommaire

<b>I- Tissus conducteurs primaires : xylème et phloème</b>	<b>71</b>
<b>II- Xylème</b>	<b>72</b>
<b>II-1- Eléments conducteurs</b>	<b>72</b>
<b>II-1-1- Trachéides</b>	<b>72</b>
<b>II-1-2- Vaisseaux</b>	<b>73</b>
<b>II-1-3- Comparaison entre trachéides et vaisseaux</b>	<b>76</b>
<b>II-2- Eléments non conducteurs</b>	<b>77</b>
<b>II-3- Structure du xylème</b>	<b>78</b>
<b>III- Phloème</b>	<b>79</b>
<b>III-1- Cellules criblées</b>	<b>79</b>
<b>III-2- Cellules compagnes</b>	<b>79</b>
<b>III-3- Structure du phloème</b>	<b>80</b>
<b>IV- Organisation des faisceaux cribro-vasculaires</b>	<b>81</b>
<b>V- Différenciation des tissus conducteurs primaires</b>	<b>82</b>
<b>VI- Comparaison entre xylème et phloème</b>	<b>83</b>
<b>VII- Glossaire propre au chapitre</b>	<b>84</b>

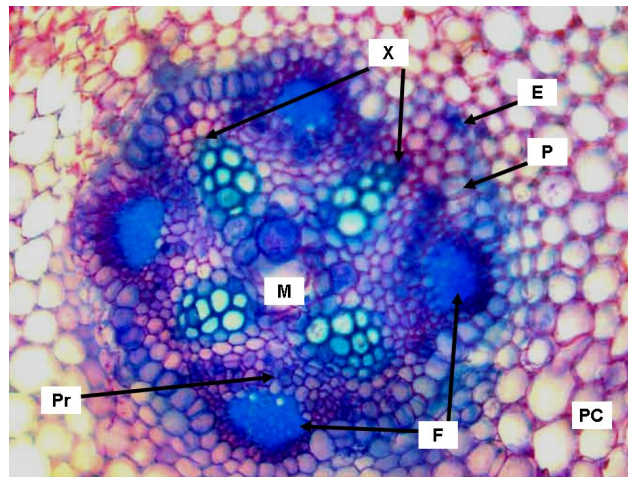
## I- Tissus conducteurs primaires : xylème et phloème

La **circulation** des **sèves** est assurée par un **appareil conducteur** composé de deux types de **tissus** : le **xylème** et le **phloème**.

**Xylème** ou **tissu ligneux** : assure la conduction de la **sève brute**, liquide contenant l'**eau** et les **sels minéraux** puisés dans le sol par les racines au niveau de l'assise pilifère, vers les feuilles où s'effectue la photosynthèse (**sève ascendante**).

**Phloème** ou **tissu criblé** : conduit la **sève élaborée**, solution de **substances organiques** riches en **glucides**, des feuilles vers les autres organes. Le flux de la sève élaborée dans le phloème est **bidirectionnel**.

Le **xylème** et le **phloème** proviennent de la **différenciation** de cellules issues des **méristèmes primaires** apicaux racinaire et caulinaire. Ces cellules indifférenciées s'éloignent de leur méristème d'origine et forment le **procambium** dont les cellules génèrent les **tissus conducteurs**. Le procambium peut, dans les parties âgées des tiges ou racines, devenir un **cambium**.



Coupe transversale du cylindre vasculaire d'un haricot (*Phaseolus*)

Le **procambium (Pr)** correspond aux premiers tissus **méristématiques** mettant en place les **tissus conducteurs** des plantes, c'est-à-dire : le **xylème (X)** qui conduit la **sève brute** et le **phloème (F)** qui transporte la **sève élaborée**. Par la suite, quand la plante sera plus mûre, le procambium se différenciera en **cambium**, notamment chez les **angiospermes dicotylédones** (Référence : <http://fr.wikipedia.org/wiki/Procambium>).

Légende : (**PC**), Parenchyme cortical ou cortex ; (**E**), Endoderme ; (**P**), Péricycle ; (**X**), Xylème ; (**F**), Phloème ; (**Pr**), Procambium ; (**M**), Moelle.

C'est seulement chez les **Ptéridophytes** qu'apparaît un appareil conducteur nettement différencié. Cette différenciation s'accroît encore chez les **Spermatophytes**. C'est pour cette raison que l'on les nomme **végétaux vasculaires**.

## II- Xylème

Le **xylème** est un tissu constitué d'**éléments conducteurs** associés à des **éléments non conducteurs**.

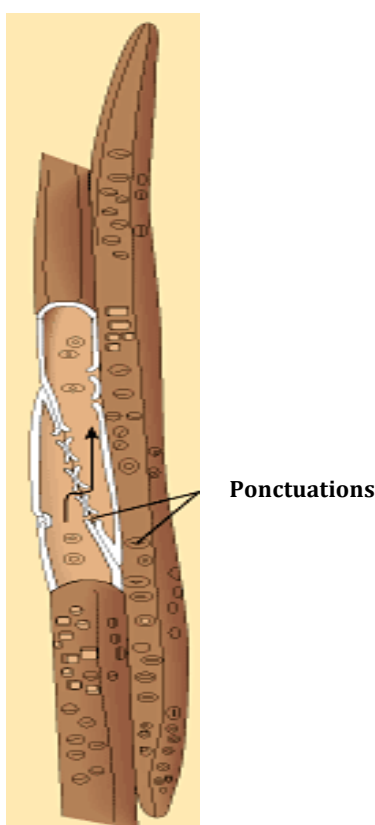
### II-1- Eléments conducteurs

Les **éléments conducteurs** caractéristiques des végétaux sont les **trachéides** et les **vaisseaux**. Il s'agit de cellules ou de **faisceaux** de cellules **mortes**, alignées, entourées de **lignine** et qui ont la capacité de transporter de grandes quantités d'eau et de nutriments (**sève brute**) depuis le sol jusqu'aux feuilles.

#### II-1-1- Trachéides

Chez quelques végétaux d'origine ancienne, les éléments conducteurs sont appelés **trachéides** ou **vaisseaux imparfaits**. Ces trachéides sont composées d'une suite de cellules de **forme allongée**, **étroites** et **terminées en biseaux**.

Lors de la formation des trachéides, ces cellules **meurent**, sont **vidées** de leur contenu et sont **fusionnées verticalement** pour former un **conduit creux**.



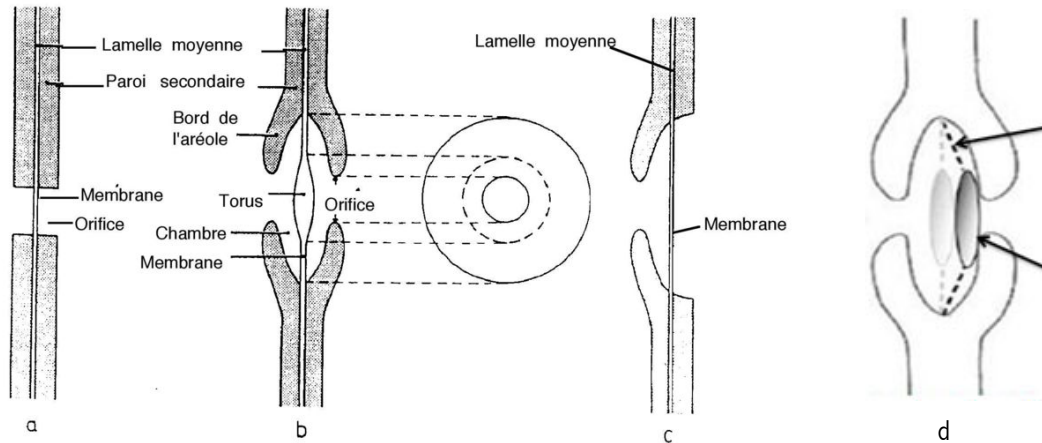
#### *Trachéides ou vaisseaux imparfaits*

Les trachéides sont des **cellules mortes**, dont les parois portent des **épaississements de lignine**. Les trachéides sont **allongées**, **étroites**, terminées en **biseaux** et **superposées**. Elles possèdent des **cloisons transversales** ou **ponctuations**, la **circulation** de la sève brute s'y fait donc en **chicane** d'un élément à l'autre.

Lorsque la **transpiration végétale**, principal moteur de la circulation de l'eau chez les plantes, est faible ou nulle, notamment la nuit, le rapport **surface/volume** des trachéides permet d'empêcher l'eau de redescendre par **gravité**, grâce au phénomène d'**adhésion capillaire** (Référence : Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings).



Les trachéides communiquent entre-elles par les **punctuations aréolées**. Ces punctuations qui assurent le passage de la sève brute, se rencontrent chez les **gymnospermes** et chez quelques **angiospermes primitives** (*Magnoliidae*).



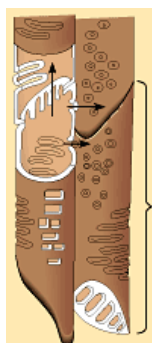
Types de punctuations **(a, b et c)** et mouvement de fermeture de la punctuation aréolée d'une gymnosperme **(d)**

En général, trois types de **punctuation** existent : la punctuation **simple (a)**, la punctuation **aréolée (b)** et la punctuation **semi-aréolée (c)**. Dans les trois cas, les punctuations sont des orifices distinguant une **cavité** et une **membrane**.

La **punctuation aréolée (b)** présente un **épaississement** de la **membrane** formant un **torus**. Les punctuations aréolées peuvent interrompre le **transit** des substances nutritives entre deux cellules **(d)**. Cela se fait par le **mouvement du torus** qui se colle contre l'une ou l'autre des ouvertures de la punctuation (Référence : <http://www.easybiologyclass.com/pits-ultra-structure-classification-functions-simple-bordered-pits-similarities-differences/>).

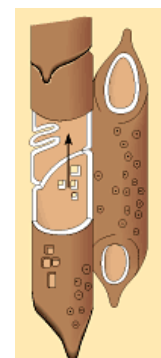
## II-1-2- Vaisseaux

Chez les plantes d'origine plus récente et notamment les **Angiospermes**, les éléments conducteurs qui assurent le transport de la sève brute sont appelés **vaisseaux**. Ce sont généralement de **larges** cellules, assez **courtes** et aux extrémités plus ou moins **biseautées**. Elles s'alignent les unes par rapport aux autres formant un **vaisseau** ou de véritables **tubes**.

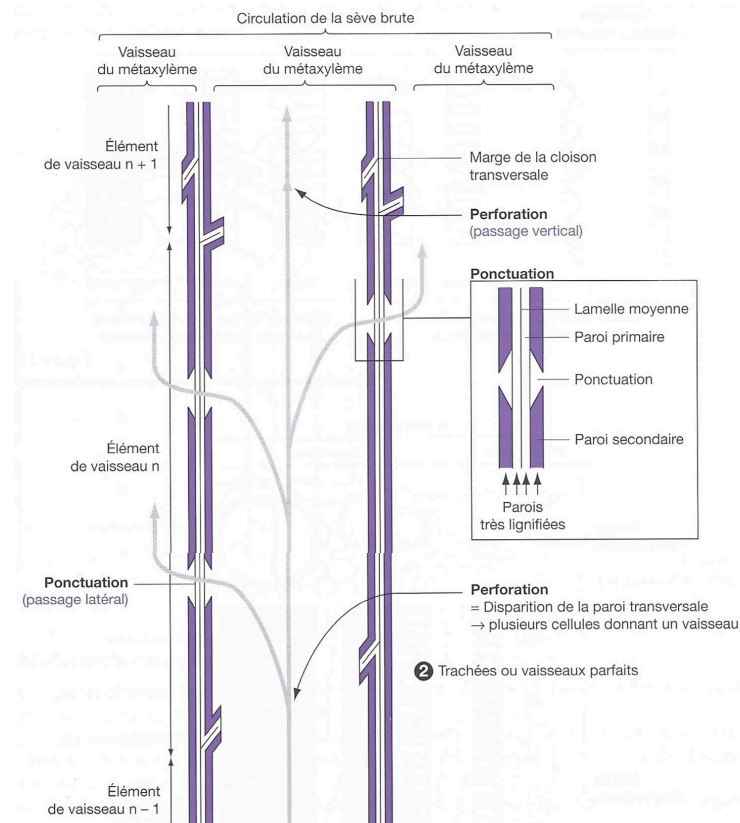


Élément  
de  
vaisseau

Les vaisseaux sont plus **courts**, plus **larges** et moins **faciformes** (forme de **faucille**). Ils s'alignent les uns au-dessus des autres pour former des **tubes**. Aux **extrémités**, on retrouve des **perforations** plus ou moins importantes (**à gauche**). Dans certains cas, ces extrémités sont complètement perforées (**à droite**) (Référence : Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings).



Ces cellules **mortes**, à **paroi secondaire** portant des épaissements de **lignine** plus ou moins importants, présentent des zones **sans lignine** qu'on appelle **ponctuations** afin d'assurer un **déplacement latéral** de la sève ; et ne présentent quasiment plus de **parois transverses** (présence de **perforations**), ce qui assure une **continuité des cellules** situées les unes au-dessus des autres formant un **vaisseau** et permettant un **passage vertical** de la sève brute.



#### Vaisseaux et circulation de la sève brute (adapté de Breuil 2007)

Les **vaisseaux** appelés aussi **éléments de vaisseaux**, **trachées** ou **vaisseaux parfaits**, sont généralement **plus larges** et **moins longs** que les **trachéides**.

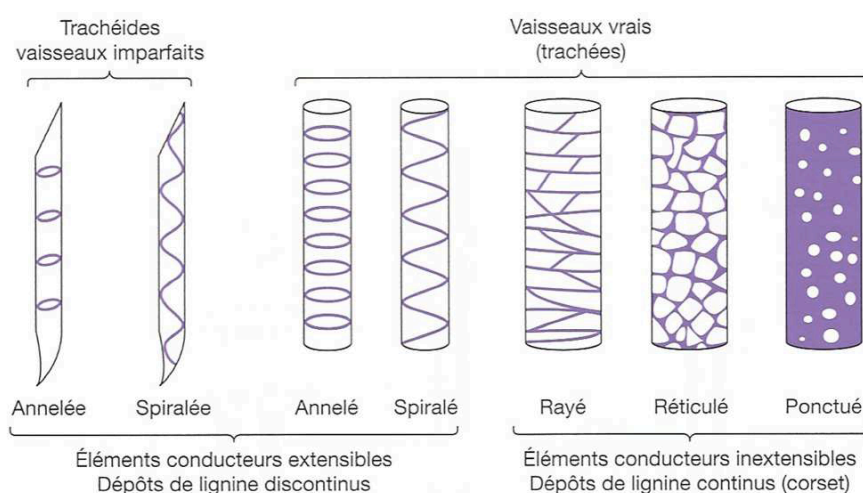
Aux extrémités de ces éléments, on retrouve des **perforations** plus ou moins importantes. Dans certains cas, les extrémités des éléments de vaisseau sont complètement perforées (**disparition de la paroi transversale**). Ils s'**alignent** les uns par rapport aux autres pour former de **véritables tubes** (= **vaisseaux**) et où la **conduction verticale** de la sève est favorisée.

Les éléments de vaisseau présentent également des **ponctuations sur le côté** permettant un **déplacement latéral** de la sève. Les ponctuations rencontrées chez les Angiospermes sont **simples** et symétriques. Il s'agit d'amincissements où la paroi secondaire très lignifiée disparaît (Référence : <http://www.svt-tanguy-jean.com/>).

La **paroi secondaire** des éléments conducteurs peut prendre **différents aspects** selon l'espèce ou le stade de croissance :

**Protoxylème** : chez les **premiers** éléments de vaisseau qui apparaissent chez une plante = **protoxylème**, la **paroi secondaire** apparaît chez ces cellules sous la forme d'**anneaux** ou de **spirales**. Ce type de paroi secondaire permet l'**allongement** de la cellule.

**Métaxylème** : les éléments de vaisseau produits vers la **fin** du processus de croissance primaire = **métaxylème**, possèdent des **parois secondaires** qui recouvrent presque entièrement l'intérieur de la paroi primaire : types **rayés**, **réticulés** et **ponctués**. Ces parois sont très **rigides** et les cellules **ne peuvent plus s'étirer**.



Diversité des types d'éléments conducteurs

#### Diversité des types d'éléments conducteurs (adapté de Breuil 2007)

Au cours du **développement**, les **éléments conducteurs** du **xylème** apparaissent dans un **ordre** précis : éléments **annelés**, **spirales**, **rayés**, **réticulés** et **ponctués** ; qui constitue aussi une **série phylétique** : seuls les **végétaux les plus évolués** arrivent jusqu'aux types réticulés et ponctués.

Les **éléments conducteurs** du **protoxylème** sont les premiers éléments qui se **différencient**, à un niveau où l'**élongation** des cellules **n'est pas achevée** (éléments conducteurs **extensibles**). Le **protoplasme** de ces cellules élabore de la **lignine** qui se dépose sur les faces longitudinales en **épaississements annelés** et/ou **spirales**.

Dans le **métaxylème**, ce sont des éléments de **vaisseaux** ; éléments sans paroi transversale placés bout à bout. La paroi secondaire **épaisse** est **lignifiée** en bandes transversales (**vaisseaux rayés** et/ou **vaisseaux réticulés**) ou bien entièrement sauf au niveau des **ponctuations** (**vaisseaux ponctués**). Les parois étant **rigides**, les éléments conducteurs ne peuvent plus s'étirer (éléments conducteurs **inextensibles**).

Les **éléments conducteurs annelés** et **spirales** du **protoxylème** ont un **petit calibre**. Les vaisseaux **rayés**, **réticulés** et **ponctués** formant le **métaxylème** sont plus **larges** (Référence : <http://www.svt-tanguy-jean.com/>).

### II-1-3- Comparaison entre trachéides et vaisseaux

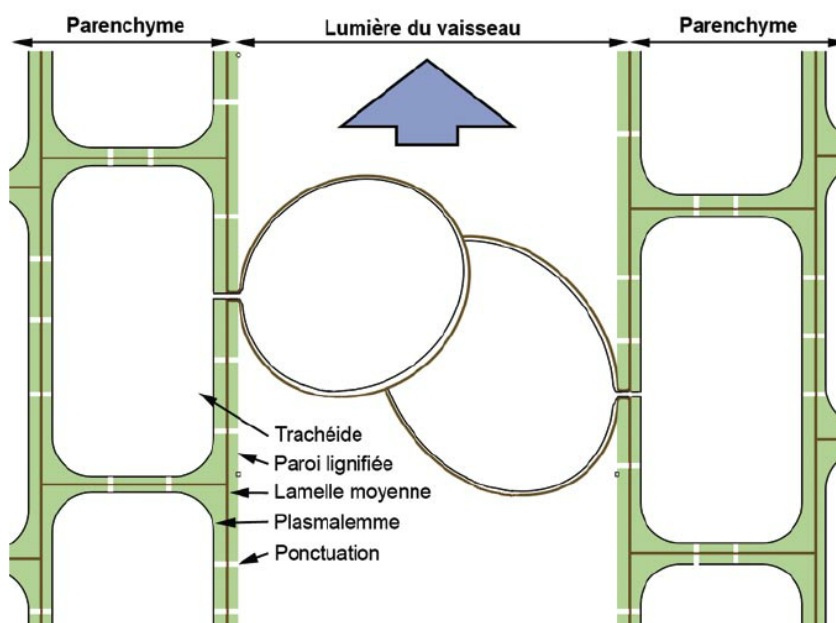
Les deux types d'éléments conducteurs, **trachéides** et **vaisseaux** se distinguent notamment par leur **diamètre** et leur **efficacité à conduire** la sève brute :

<b>Trachéides</b> <b>= Vaisseaux imparfaits</b>	<b>Vaisseaux</b> <b>= Vaisseaux vrais = Vaisseaux parfaits</b> <b>= Trachées = Eléments de vaisseaux</b>
<b>Présence</b>	
Les trachéides sont présentes chez toutes les plantes vasculaires d'origine ancienne.	Ne sont présents que chez les plantes d'origine plus récente, les Angiospermes.
<b>Organisation</b>	
Suite de cellules de forme allongée, étroites et terminées en biseaux. Elles s'empilent les unes sur les autres formant un conduit creux.	Cellules plus courtes, plus larges et moins faciformes (forme en faucille). Elles s'alignent les unes par rapport aux autres formant de véritables tubes.
<b>Nature des cellules</b>	
Cellules mortes, vidées de leur contenu.	Cellules mortes, vidées de leur contenu.
<b>Lignification des parois</b>	
Dépôts de lignine discontinus, éléments conducteurs extensibles (protoxylème).	Dépôts de lignine continus, éléments conducteurs inextensibles (métaxylème).
<b>Mode de circulation de la sève</b>	
Possèdent des cloisons transversales, la circulation de la sève brute se fait en chicane.	Ne présentent quasiment plus de parois transverses pour pouvoir assurer le passage vertical de la sève brute.
<b>Type de ponctuations</b>	
Ponctuations de type aréolée chez les Gymnospermes.	Ponctuations de type simple et symétriques chez les Angiospermes.
<b>Diamètre</b>	
Diamètre plus réduit 10 µm maximum.	Diamètre plus grand 100 µm.
<b>Rapport surface/volume</b>	
Rapport surface/volume plus élevé.	Rapport surface/volume moins élevé.
<b>Vitesse de la circulation</b>	
L'eau n'est conduite qu'à des vitesses de 0,5 à 2 cm/mn.	Circulation plus rapide, jusqu'à 2,5 m/mn chez les grands végétaux tropicaux.
<b>Rôles</b>	
Conduction de la sève brute et soutien structural.	Conduction de la sève brute et résistance mécanique.

## II-2- Eléments non conducteurs

Aux éléments conducteurs du xylème sont associés des **éléments non conducteurs** :

**Parenchymes** : cellules vivantes à paroi cellulosique, formant le **parenchyme ligneux cellulosique**. Ces cellules jouent un rôle de **mise en réserve** et de **contrôle du pH** de la sève brute. D'autres cellules du parenchyme bordant les vaisseaux peuvent être **lignifiées**, on parle d'un **parenchyme ligneux lignifié**.



*Schéma illustrant la formation des thylles à partir de cellules du parenchyme*

Des cellules de parenchyme bordant les vaisseaux, contribuent à la **défense** du végétal contre les traumatismes et les attaques parasitaires : par exemple, elles obturent les vaisseaux ouverts par la production de **gomme** ou la mise en place de **thylles**.

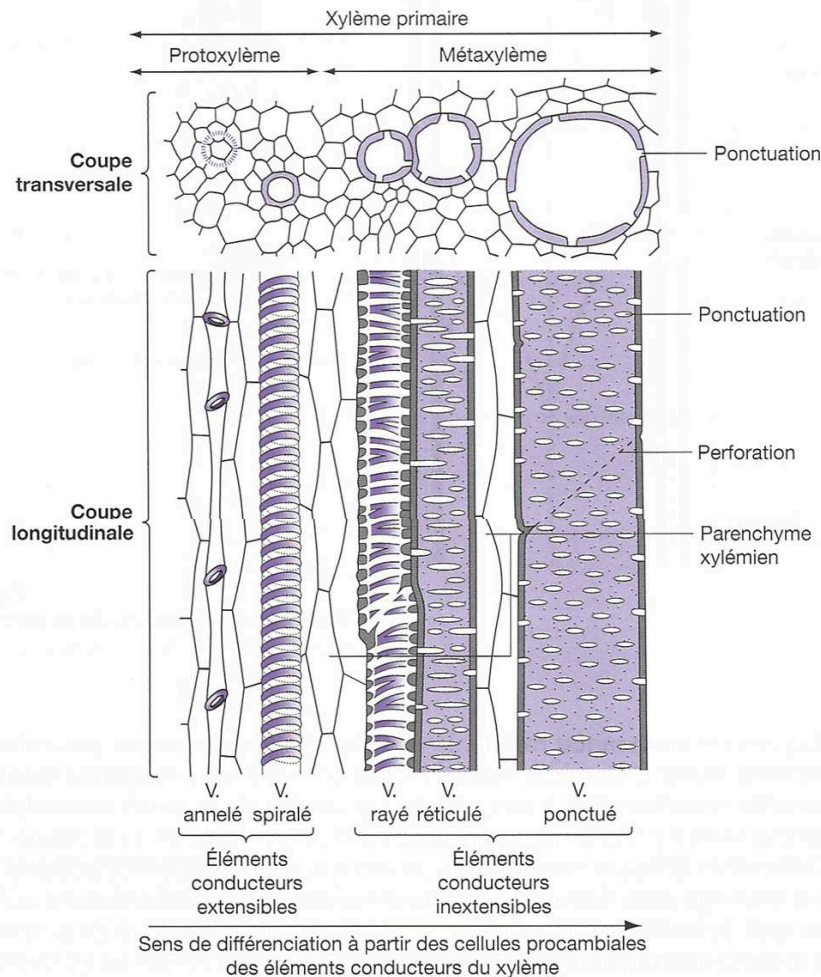
Une thylle est une **expansion membranaire** d'une cellule de parenchyme dans la lumière d'un **vaisseau adjacent**. La formation des thylles débute par l'hydrolyse enzymatique de la membrane d'une **ponctuation** entre une cellule de parenchyme et un vaisseau adjacent. Elle se poursuit par l'entrée du **protoplaste** de parenchyme dans la lumière de l'élément conducteur. La paroi de la thylle, initialement constituée de la couche pariétale qui entoure la ponctuation, peut s'épaissir et se lignifier. Si les ponctuations sont trop petites pour laisser passer le protoplasme de parenchyme, ce sont plutôt des dépôts de **gommes** qui se forment dans les vaisseaux (Référence : Torregrosa 2011 at <http://www.researchgate.net/publication/271132703>).

**Fibres** : cellules lorsqu'elles sont présentes, assurent un rôle de **soutien**. Il s'agit de cellules allongées, étroites et aux extrémités effilées. Leurs parois **lignifiées** sont épaisses et peuvent présenter de très fines et peu nombreuses ponctuations.



### II-3- Structure du xylème

Suivant le **sens** et le **moment** de la **différenciation**, on distingue entre deux catégories d'éléments conducteurs : **protoxylème** et **métaxylème** ; disposés en **faisceaux de xylème** ou **faisceaux vasculaires**.



Xylème d'une tige de dicotylédones

Faisceau vasculaire en coupe transversale (**haut**) et en coupe longitudinale (**bas**) d'une tige de dicotylédone (adapté de Breuil 2007)

Le **sens de différenciation** du xylème va des premiers éléments formés (**protoxylème**) vers les derniers (**métaxylème**).

Les **vaisseaux (V)** du **protoxylème**, de petit calibre et extensibles, apparaissent dans les organes jeunes et s'allongent pendant la croissance. Ils peuvent être écrasés et disparaître dans les organes qui ont achevé leur croissance.

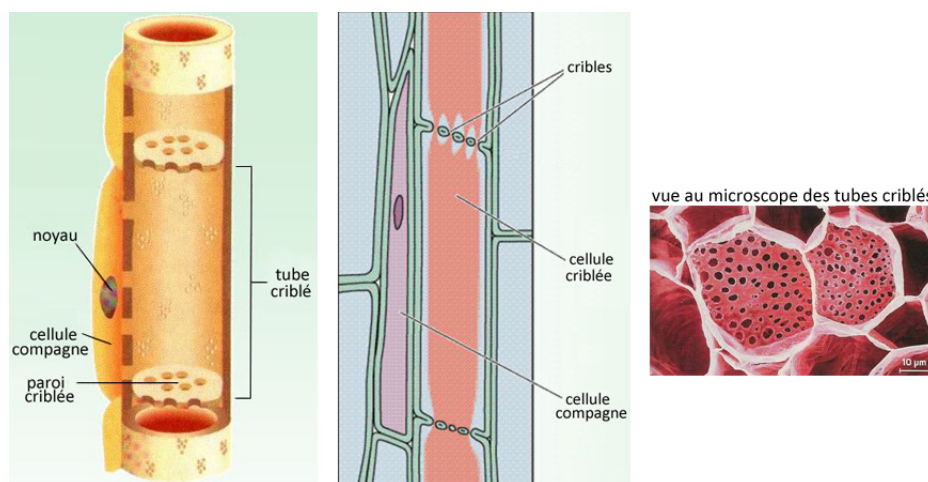
Les **vaisseaux (V)** du **métaxylème**, de calibre plus grand et inextensibles, se différencient plutôt dans les organes à croissance achevée (Référence : <http://www.svt-tanguy-jean.com/>).

### III- Phloème

Le **phloème** qui assure le transport de la **sève élaborée**, comprend principalement deux types de cellules.

#### III-1- Cellules criblées

Un ensemble de **cellules** dont l'**enchaînement vertical** forme les **tubes criblés**. Il s'agit de cellules **vivantes**, allongées, de petite taille et dont la **paroi pectocellulosique** est percée de petites **perforations** rassemblées en **cribles** transversalement. Ces perforations assurent la **circulation** de la sève de cellule en cellule. Bien que vivantes, ces cellules n'ont pas de noyau ni de vacuole en fin de différenciation, mais on trouve quelques plastes et mitochondries modifiés, ainsi que du réticulum endoplasmique lisse.



*Tube criblé et cellule compagne - Schéma d'une coupe longitudinale (à gauche) et vue en coupe transversale (à droite)*

Le **phloème** possède des **cellules** à paroi pectocellulosique et vivantes. En **coupe transversale (à droite)**, on identifie le phloème en recherchant l'association d'un **tube criblé** et de sa **cellule compagne**, souvent de forme triangulaire et de très petite taille, qui dérivent d'une même cellule mère. Une **coupe longitudinale (à gauche)**, permet d'observer qu'entre **deux cellules** conductrices adjacentes, la paroi constitue un **crible** dans lequel des **pores**, de taille micrométrique, assurent la continuité des cytoplasmes. Les tubes criblés constituent une voie **symplasmique** de circulation de la **sève élaborée**. Les **cellules compagnes** contribuent à cette circulation par des transports actifs membranaires. Dans les **organes pérennants**, avant l'hiver, ces pores sont obturés par des **dépôts de callose** (Référence : <http://www.svt.steber.fr/phloeme>).

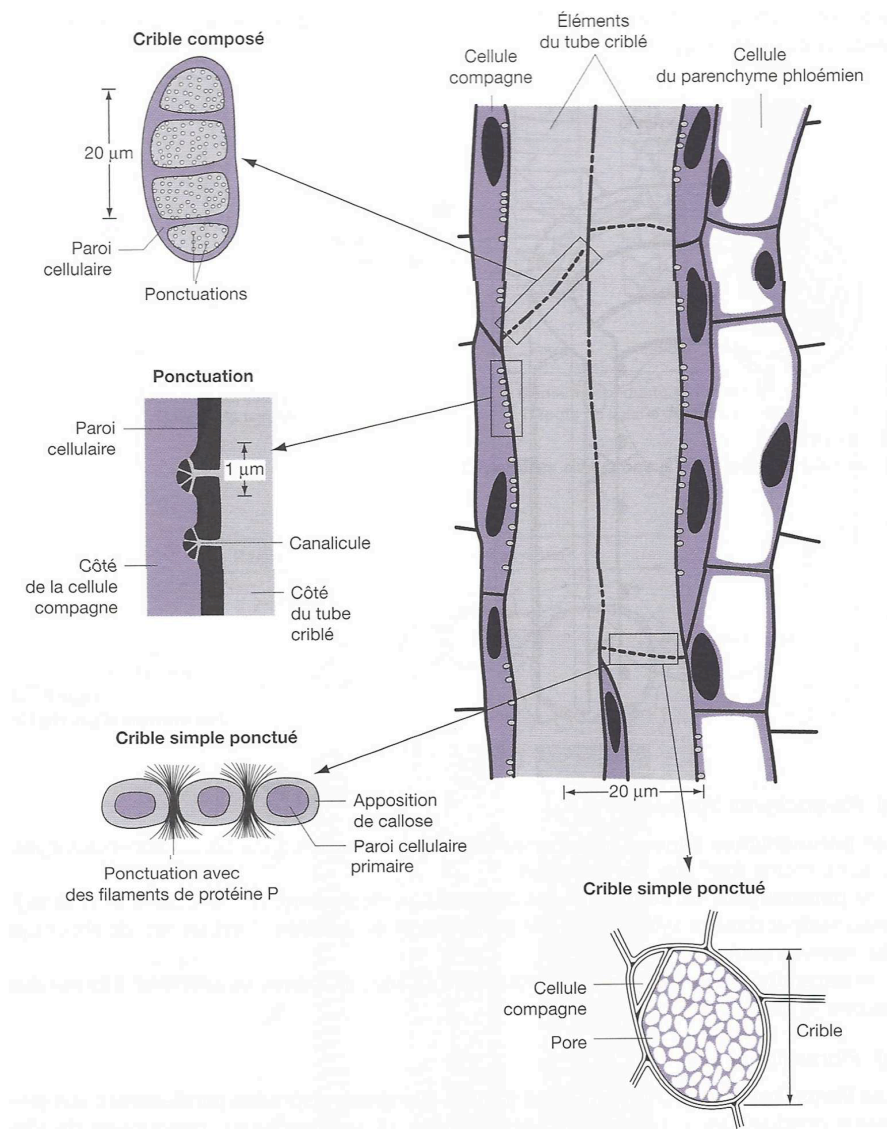
#### III-2- Cellules compagnes

A chaque cellule criblée est associée latéralement une **cellule compagne**. C'est une cellule **vivante** à noyau, à organites, fine et allongée. Elle participe à la **fourniture d'énergie** à la cellule criblée, mais aussi à la **charge** ou la **décharge** du phloème. Elle peut également se **différencier** en nouvelle cellule criblée.



### III-3- Structure du phloème

Les **parois transversales** des cellules formant les **tubes criblés** sont complètement traversées par de nombreux **pores** interrompant les parois : les **cribles**, d'où le nom de **cellules criblées**. Ces cribles qui peuvent être **simples** ou **composés**, permettent la **circulation** de la **sève élaborée** de cellule en cellule.



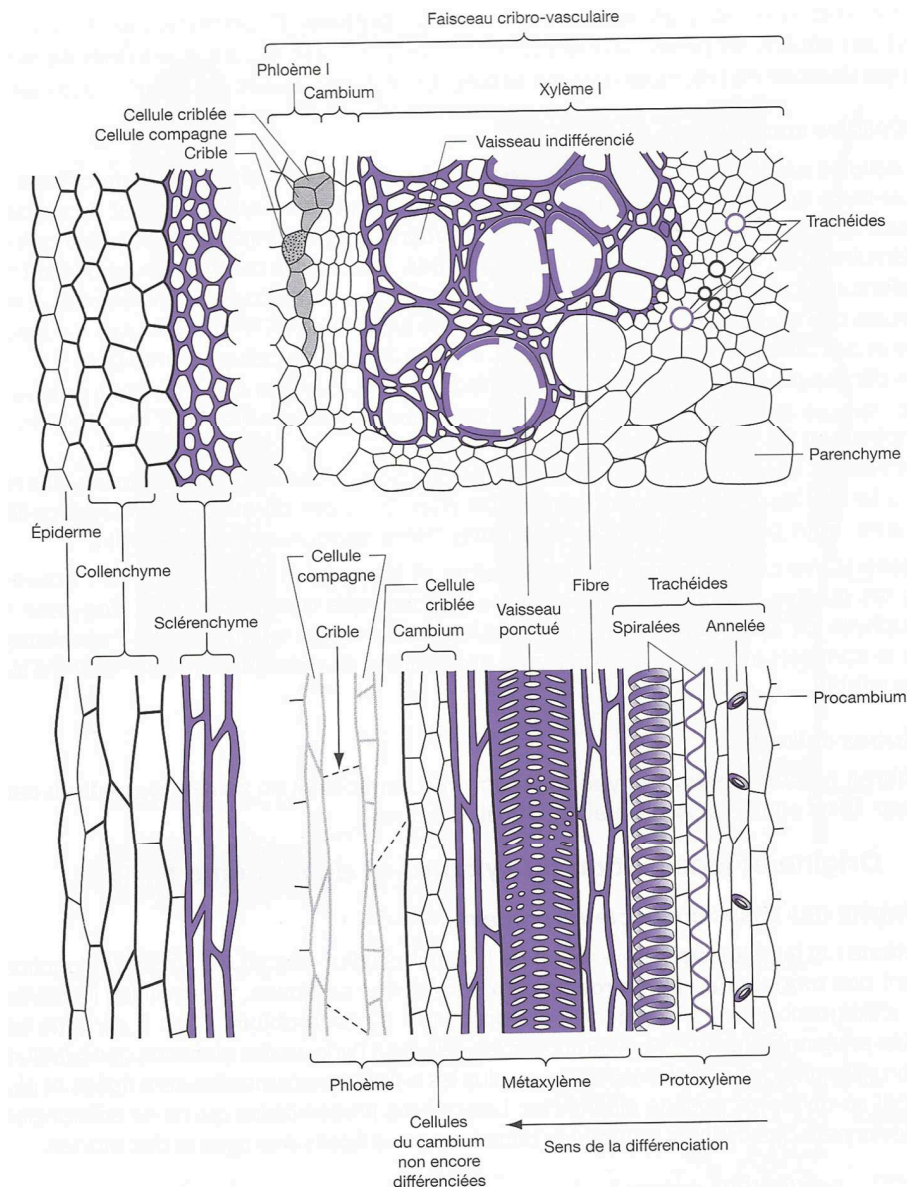
#### Organisation du phloème (adapté de Breuil 2007)

Le **phloème** est constitué de **tubes criblés**. Ce sont des cellules allongées, vivantes, dont la paroi restée pectocellulosique est percée par endroits de **ponctuations** groupées dans des plages qui ont l'apparence de **cribles**. Les **cellules criblées** sont accompagnées de **cellules compagnes**, allongées elles aussi, avec lesquelles elles communiquent par le biais de **ponctuations**.

Le tube criblé n'assure la conduction de la sève que pendant une courte période, à la fin de laquelle les cribles se bouchent de **callose**. La callose se dissout ultérieurement chez certaines plantes ligneuses (Référence : <http://www.svt-tanguy-jean.com/>).

## IV- Organisation des faisceaux cribro-vasculaires

Les **tissus conducteurs** assurent la conduction des **sèves**, sève brute pour le **xylème** et sève élaborée pour le **phloème**. Ils sont regroupés en unités structurales et fonctionnelles qu'on appelle **faisceaux conducteurs** ou **faisceaux cribro-vasculaires**.



### Organisation d'un faisceau cribro-vasculaire (adapté de Breuil 2007)

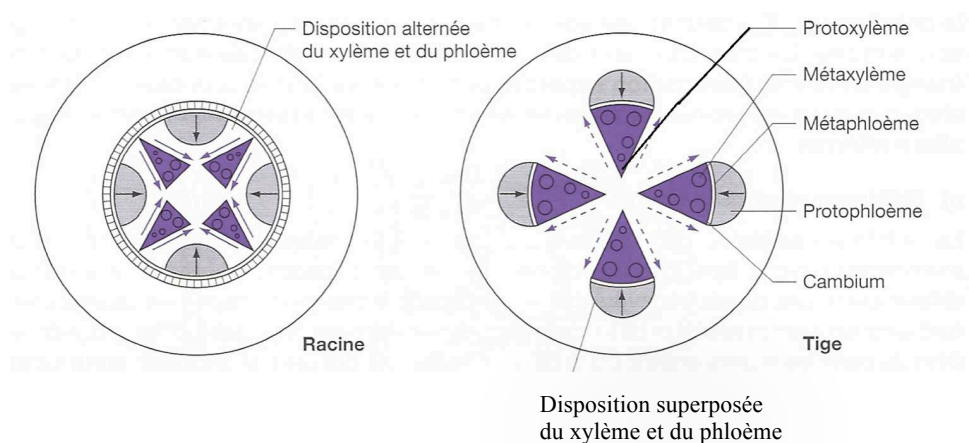
Chaque **faisceau cribro-vasculaire** est constitué d'un **xylème** (**Proto-** et **métaxylème**) situé sur la face intérieure du faisceau, et d'un **phloème** situé sur la face externe du faisceau. Les éléments conducteurs, **tubes criblés** pour le phloème et **vaisseaux** pour le xylème ont donné leur nom à l'ensemble : **faisceau cribro-vasculaire**.

Xylème et phloème sont séparés par une bande de cellules non différenciées : **cambium**. Elles seront fonctionnelles lors de l'élaboration des **structures secondaires**. Les tissus conducteurs peuvent être entourés d'un anneau de cellules lignifiées : **fibres** pour le soutien (Référence : <http://www.svt-tanguy-jean.com/>).

## V- Différenciation des tissus conducteurs primaires

Au sein du **xylème**, on peut distinguer le **protoxylème** en pointe et le **métaxylème** aux cellules plus volumineuses.

Le **phloème** est constitué également du **protophloème** et du début du **métaphloème**, mais ne se distinguent pas comme le proto- et le métaxylème. La seule **différence** entre le proto- et le métaphloème est le **diamètre** des tubes criblés, plus important dans le second.



*Comparaison des sens de différenciation du xylème et du phloème dans la racine et dans la tige (adapté de Breuil 2007)*

Dans les **racines**, le sens de différenciation du **xylème** est **centripète** (elle va vers le centre). Dans les **tiges**, le sens de différenciation du **xylème** est **centrifuge** (elle va vers l'extérieur).

Le sens de différenciation du **phloème** est toujours **centripète**, ce qui aboutit à une disposition **superposée** du xylème et du phloème dans les **tiges**, ou encore dans les **feuilles**, formant alors des **faisceaux cribro-vasculaires**, alors que ces tissus sont **alternés** dans les **racines** (Référence : <http://www.svt-tanguy-jean.com/>).

Les organes de l'appareil **caulinaire** (**tiges** et **feuilles**) possèdent une disposition particulière des tissus conducteurs primaires. Ils sont regroupés en plusieurs **faisceaux cribro-vasculaires**, chacun est constitué de la **superposition** de :

- Un massif de **xylème** à **différenciation centrifuge** dans la **tige** et **ventrodorsale** dans la **feuille** ;
- Un massif de **phloème** à **différenciation centripète** dans la **tige** et **dorsoventrale** dans les **feuilles**.

Dans les **racines**, **xylème** à **différenciation centripète** et **phloème** à **différenciation centripète** sont **alternés**.

Le **sens** de la différenciation est défini par l'**ordre chronologique** de différenciation des cellules des massifs, le point de départ étant toujours le pôle ligneux ou phloémien.

## VI- Comparaison entre xylème et phloème

Les deux tissus conducteurs primaires, xylème et phloème se distinguent par :

<i><b>Xylème</b></i>	<i><b>Phloème</b></i>
<i><b>Principale fonction</b></i>	
Conduit la sève brute, eau et sels minéraux, depuis l'assise pilifère des racines vers les parties aériennes de la plante.	Conduit la sève élaborée, substances organiques riches en glucides, des feuilles vers les autres organes de la plante.
<i><b>Type de mouvement</b></i>	
Flux unidirectionnel, ascendant, du bas vers le haut.	Flux bidirectionnel, vers le haut et vers le bas.
<i><b>Autre fonction</b></i>	
Forme des faisceaux vasculaires avec le phloème et donne une résistance mécanique à la plante grâce à la lignine.	Forme des faisceaux vasculaires avec le xylème.
<i><b>Origine</b></i>	
Procambium.	Procambium.
<i><b>Structure</b></i>	
Cellules ou faisceaux de cellules mortes, alignées et entourées de lignine. Aux extrémités, on trouve des perforations qui assurent la continuité des cellules ainsi que le passage vertical de la sève brute.	Cellules allongées, vivantes et dont la paroi pectocellulosique est percée par endroits de ponctuations groupées dans des plages qui ont l'apparence de cribles. Ces cribles assurent la circulation de cellule en cellule.
<i><b>Principaux constituants</b></i>	
Trachéides, éléments de vaisseaux et parenchyme ligneux.	Cellules ou tubes criblés, cellules compagnes et parenchyme phloémien.
<i><b>Moment de différenciation</b></i>	
On distingue entre les premiers éléments de vaisseau formés (protoxylème) et les éléments de vaisseau produits vers la fin du processus de croissance (métaxylème).	On ne fait pas de distinction entre protophloème et métaphloème. La seule différence est le diamètre des tubes criblés, plus important dans le métaphloème.
<i><b>Sens de différenciation</b></i>	
Sens de différenciation centripète dans la racine et centrifuge dans la tige.	Sens de différenciation du phloème toujours centripète.
<i><b>Localisation au sein d'un faisceau cribro-vasculaire</b></i>	
Proto- et métaxylème sont situés sur la face intérieure du faisceau cribro-vasculaire.	Proto- et métaphloème sont situés sur la face externe du faisceau cribro-vasculaire.

## VII- Glossaire propre au chapitre

### - *Adhésion capillaire*

La capillarité est une propriété des fluides qui dépend de leur tension superficielle, qui elle-même dépend de la cohésion du fluide et qui lui donne la capacité de monter ou de descendre à travers un tube capillaire. Lorsqu'un liquide monte à travers un tube capillaire, c'est parce que la force intermoléculaire ou la cohésion intermoléculaire entre ses molécules est inférieure à l'adhérence du liquide à la matière du tube ; c'est-à-dire, c'est un liquide qui mouille. Le liquide continue de monter jusqu'à ce que la tension superficielle soit équilibrée par le poids du liquide qui remplit le tube. C'est le cas de l'eau, et cette propriété régule partiellement son ascension au sein des plantes, sans dépenser d'énergie pour vaincre la gravité.

### - *Annelé*

Se dit d'une trachéide ou d'un vaisseau dont la paroi secondaire possède des épaissements de lignine en forme d'anneau.

### - *Aréole*

C'est une structure circulaire observée dans la paroi des cellules conductrices appelées trachéides aréolées. Ce sont des zones plus claires caractérisées par un décollement de la paroi secondaire ce qui rend le transfert de substances plus faciles. A cet endroit, la paroi primaire présente un petit épaissement ou torus, dont la position change selon les variations de pression de part et d'autre de l'aréole ce qui influence les échanges entre les deux trachéides accolées.

### - *Callose*

C'est un polymère de D-glucoses reliés par des liaisons  $\beta(1,3)$ , synthétisé par les cellules des tubes criblés pour former un cal qui stoppe le passage de la sève élaborée et constitue un obstacle aux bactéries et champignons lors de la mauvaise saison ou après la mort des cellules.

### - *Cellule compagne*

Chez les Angiospermes, distingue chacune des cellules de contact qui jouxtent les tubes criblés du phloème. Elles dérivent de la même cellule mère que les tubes criblés. Elles sont caractérisées par un cytoplasme dense, de nombreuses mitochondries et un noyau volumineux. Elles contrôlent le déchargement de la sève élaborée dans les tissus que traverse le système conducteur.

### - *Centrifuge*

Se dit d'un organe, d'une structure qui tend à s'éloigner du centre.

### - *Centripète*

Se dit d'un organe, d'une structure qui se développe de la périphérie vers le centre.

### - *Crible*

Chez les trachéophytes, un crible consiste en des cloisons transversales percées de nombreux trous fins permettant la communication cellulaire des cellules conductrices du phloème. Chaque perforation est traversée par des éléments du réticulum endoplasmique et par des tubules de protéines. Pendant l'hiver, les cribles sont obturés par un bouchon de callose.

### - *Faisceau cribro-vasculaire ou faisceau conducteur*

Un faisceau est un ensemble d'éléments longilignes liés ensemble. Un faisceau cribro-vasculaire est constitué d'un xylème (protoxylème et métaxylème) situé sur la face intérieure du faisceau et d'un phloème (protophloème et métaphloème) situé sur la face externe du faisceau. Les éléments conducteurs, tubes criblés pour le phloème et vaisseaux pour le xylème ont donné leur nom à l'ensemble : faisceau cribro-vasculaire.



**- Faisceau vasculaire ou faisceau de xylème**

Disposition en forme de faisceau des éléments conducteurs du xylème, qui va des premiers éléments formés à petits calibres (protoxylème) vers des éléments qui se différencient plus tard à plus larges calibres (métaxylème).

**- Métaphloème**

Se différencie après la fin de la croissance. Ne se distingue pas comme le métaxylème, mais présente des tubes criblés avec un diamètre plus grand que celui du protophloème.

**- Métaxylème**

Est un élément se différenciant après le protoxylème au niveau d'un faisceau conducteur. Les vaisseaux du métaxylème sont visuellement d'un calibre supérieur à ceux du protoxylème. Le métaxylème est plus efficace que le protoxylème dans la conduction de l'eau et des minéraux.

**- Pérennant**

En botanique, un organe d'un végétal est dit pérennant pour qualifier sa partie végétale qui subsiste plusieurs années durant.

**- Perforation**

Qualifie chacun des pores de communication situés aux extrémités des éléments de vaisseaux du xylème.

**- Phloème ou Tissu criblé**

Le phloème appelé encore tissu criblé est un tissu vivant composé de tubes criblés, de cellules compagnes et de parenchyme longitudinal. Il a un rôle conducteur de la sève élaborée. Les principales substances transportées sont les sucres (principalement le saccharose) et les acides aminés. Ils sont transportés des lieux de production (principalement des feuilles, mais également des organes de stockage dans la mobilisation des éléments nutritifs) vers les lieux de consommation (organes de stockage, organes en croissance).

**- Phylétique**

Est relatif à un phylum, en relation à la formation des espèces ou à la phylogénie.

**- Ponctuation**

Est une ouverture permettant le passage de divers éléments d'une cellule à l'autre. Les ponctuations sont constituées d'un ensemble de plasmodesmes. Elles permettent en particulier le passage de la sève entre les vaisseaux. Les ponctuations sont simples chez les angiospermes et aréolées chez les gymnospermes.

**- Ponctué**

Se dit d'un vaisseau dont la paroi secondaire est entièrement lignifiée sauf au niveau des ponctuations.

**- Procambium**

Correspond aux premiers tissus méristématiques mettant en place les tissus vascularisés des plantes, c'est-à-dire : le xylème et le phloème. Par la suite, quand la plante sera plus mûre, le procambium se différenciera en cambium.

**- Protoplaste**

Au sens large, un protoplaste est une cellule bactérienne, ou végétale, dont la paroi a disparu. Chez les végétaux, une cellule est normalement composée d'une paroi pectocellulosique et d'un protoplaste. Le protoplaste en lui-même est limité par la membrane plasmique.

**- *Protophloème***

Premiers éléments formés dans les parties les plus jeunes de la plante, qui sont encore en extension longitudinale.

**- *Protoxylème***

Premier élément formé avant le métaxylème. Il grandit avant que les organes de la plante aient terminé leur élongation. Les vaisseaux du protoxylème sont visuellement d'un calibre inférieur à ceux du métaxylème. Il est moins efficace que le métaxylème dans la conduction de l'eau et des minéraux.

**- *Rayé***

Se dit d'un vaisseau dont la paroi secondaire possède des épaissements de lignine en forme de bandes transversales.

**- *Réticulé***

Se dit d'un vaisseau dont la paroi secondaire possède des épaissements de lignine en forme de réseau (ensemble de lignes entrecroisées).

**- *Sève***

Chez les trachéophytes, distingue et identifie le liquide qui circule dans les faisceaux conducteurs et apporte les substances nécessaires aux cellules.

**- *Sève brute ou ascendante***

Solution minérale formée dans les racines à partir de l'eau et des minéraux du sol. Elle monte vers les tissus aériens par les vaisseaux du xylème.

**- *Sève élaborée***

Solution riche en produits organiques (acides aminés, saccharose, hormones) formés dans les cellules photosynthétiques. Elle circule dans les tubes criblés du phloème.

**- *Spiralé***

Se dit d'une trachéide ou d'un vaisseau dont la paroi secondaire possède des épaissements de lignine en forme de spire.

**- *Thylle [du grec thulas 'sac']***

Est une excroissance cellulaire dans un tissu conducteur, en l'occurrence une expansion membranaire d'une cellule de parenchyme dans la lumière d'un vaisseau adjacent chez certains feuillus, mais aussi dans les trachéides de certains résineux. Avec les gommes, les thylls sont les éléments organiques qui sont responsables de l'obstruction partielle ou complète des vaisseaux conducteurs de sève chez les arbres.

**- *Torus***

Endroit où la paroi primaire ou une membrane présente un petit épaissement appelé torus.

**- *Trachéide ou vaisseau imparfait***

Est une cellule allongée dans le xylème des plantes vasculaires, servant au transport de l'eau et des sels minéraux. Les trachéides développent une paroi secondaire par des dépôts de lignine sous diverses formes : en anneaux annulaires et/ou en hélices continues. A maturité, leur contenu cellulaire disparaît. Parce que les trachéides ont une surface beaucoup plus élevée au rapport de volume de la plante, ils servent à retenir l'eau contre la gravité (par adhérence) lorsque la transpiration ne se produit pas.



**- Tube criblé**

Chez les plantes vasculaires, le tube criblé distingue une structure conductrice du phloème formée par une succession de cellules allongées qui communiquent entre elles par des perforations des parois transversales adjacentes appelées cribles.

**- Vaisseaux ou éléments de vaisseaux ou trachées ou vaisseaux parfaits**

Nom donné à chacun des éléments conducteurs de la sève brute chez les végétaux vascularisés. Ces éléments, files de cellules dont les cloisons mitoyennes sont plus ou moins altérées, facilitant le degré de circulation, sont regroupés en faisceaux. Ces files de cellules sont renforcées par des dépôts secondaires de lignine.

**- Vasculaires ou Trachéophytes [du grec *trakheia* 'conduit raboteux']**

Un organisme vasculaire dispose d'un système d'alimentation effectué par des vaisseaux ou des canaux. Un système vasculaire est un système circulatoire. En botanique, chez les plantes vasculaires, le transport de la sève est effectué par des canaux et éléments de vaisseaux en association avec les trachéides (xylème contenant des trachéides, d'où le nom de Trachéophytes).

**- Xylème ou Tissu ligneux**

Est un tissu vasculaire ligneux formé de l'association de vaisseaux (trachéides), de cellules de soutien et de cellules associées. Il a un rôle conducteur de la sève brute, venant des racines et allant vers différents organes. Le transport de l'eau dans le xylème se produit principalement par le biais d'une dépression créée par la transpiration dans les feuilles et, dans une moindre mesure, par la pression des racines et les forces d'adhésion et de cohésion.

# **Tissus conducteurs secondaires : bois et liber**

## Sommaire

<b>I- Tissus conducteurs secondaires : bois et liber</b>	<b>88</b>
<b>II- Cambium, méristème générateur libéro-ligneux</b>	<b>89</b>
<b>II-1- Origine et localisation</b>	<b>89</b>
<b>II-2- Structure</b>	<b>89</b>
<b>II-3- Activité de division</b>	<b>90</b>
<b>III- Bois ou xylème secondaire</b>	<b>92</b>
<b>III-1- Constitution cellulaire</b>	<b>92</b>
<b>III-1-1- Eléments conducteurs</b>	<b>92</b>
<b>III-1-2- Parenchyme ligneux</b>	<b>92</b>
<b>III-1-3- Fibres ligneuses</b>	<b>92</b>
<b>III-2- Organisation en anneaux concentriques</b>	<b>93</b>
<b>III-3- Structure tridimensionnelle du bois</b>	<b>95</b>
<b>IV- Liber ou phloème secondaire</b>	<b>97</b>
<b>V- Notion de pachyte</b>	<b>97</b>
<b>VI- Comparaison entre pachytes de Gymnospermes et d'Angiospermes</b>	<b>98</b>
<b>VI-1- Cambium libéro-ligneux</b>	<b>98</b>
<b>VI-2- Bois</b>	<b>99</b>
<b>VI-3- Liber</b>	<b>99</b>
<b>VII- Glossaire propre au chapitre</b>	<b>101</b>

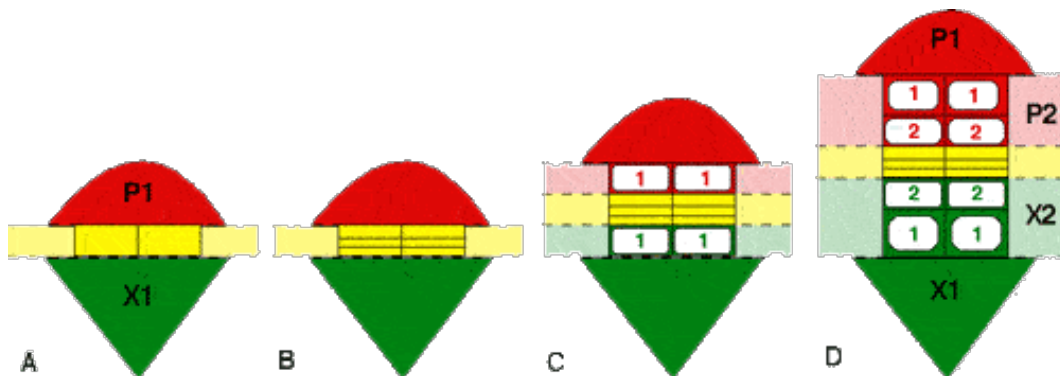
## I- Tissus conducteurs secondaires : bois et liber

Les **tissus conducteurs secondaires** des **sèves** sont : le **bois** (ou **xylème secondaire**) et le **liber** (ou **phloème secondaire**) :

**Bois** ou **xylème secondaire** : comme le xylème, le **bois** conduit verticalement la **sève brute** des racines vers les feuilles. Il se forme vers l'intérieur de l'organe et s'ajoute au xylème qui est repoussé en profondeur.

**Liber** ou **phloème secondaire** : comme le phloème, le **liber** conduit la **sève élaborée** par les feuilles vers toutes les régions de la plante. Il se forme vers l'extérieur de l'organe et s'ajoute au phloème qui est repoussé vers la périphérie.

Les tissus conducteurs secondaires proviennent du fonctionnement d'une **zone génératrice libéro-ligneuse** ou **cambium**. De nature **méristématique**, cette zone génératrice produit par **division** des cellules qui se **différencient** en **xylème secondaire** (le **bois**, d'où le qualificatif **ligneux**) et en **phloème secondaire** (le **liber**, d'où le qualificatif **libéro**).



### Fonctionnement du cambium libéro-ligneux (exemple d'une tige)

Entre le **xylème (X1)** et le **phloème (P1)**, les cellules du **cambium (en jaune)** se divisent et produisent :

- Vers l'**intérieur** de l'organe, du côté du xylème (**X1**), des cellules qui se différencient en cellules de **xylème secondaire** ou **bois (X2)**. Le **bois (X2)** s'ajoute au **xylème (X1)** qui est repoussé en **profondeur**.
- Vers l'**extérieur** de l'organe, du côté du phloème (**P1**), des cellules qui se différencient en cellules de **phloème secondaire** ou **liber (P2)**. Le **liber (P2)** s'ajoute au **phloème (P1)** qui est repoussé vers la **périphérie**.

D'une manière générale, la production de bois (**X2**) est supérieure à la production de liber (**P2**) (Référence : [www.snv.jussieu.fr/bmedia/bois/formation\\_du\\_bois.htm](http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/bois/formation_du_bois.htm)).

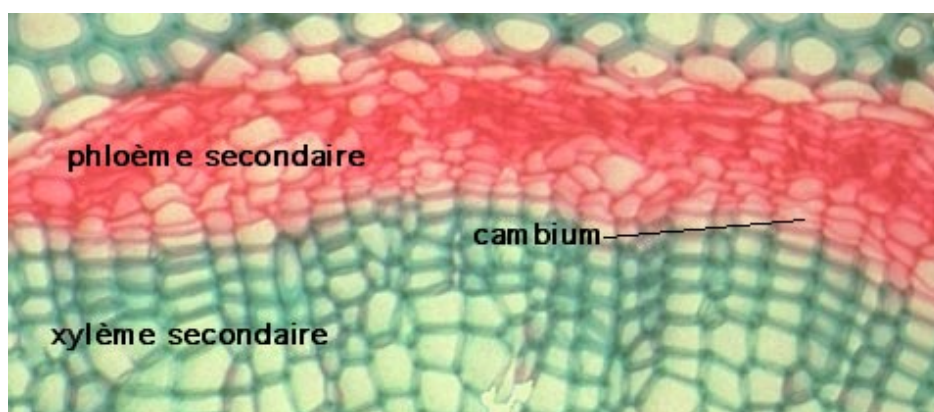
## II- Cambium, méristème générateur libéro-ligneux

La présence du cambium est limitée aux **Gymnospermes** et **Angiospermes Dicotylédones**. Les tissus conducteurs secondaires caractérisent les **organes âgés** de toutes les **plantes ligneuses** et de beaucoup de **plantes herbacées** (exception faite de certaines familles comme les *Renonculacées* par exemple).

### II-1- Origine et localisation

Les cellules du **procambium** peu différenciées présentes dans la **stèle** entre les **métaxylème** et **métaphloème primaires différenciés**, acquièrent une activité de **division** et forment des **îlots** de cellules correspondant à un **cambium discontinu**.

Plus tard, ces **îlots** sont **reliés** par la **dédifférenciation** suivie d'une activité de **division** de cellules de **parenchyme médullaire** (cas de la tige) ou de **péricycle** (cas de la racine), formant le **cambium continu**. Ce cambium est à l'origine de la formation des tissus conducteurs secondaires.



#### *Localisation et allure histologique du cambium libéro-ligneux (exemple d'une tige)*

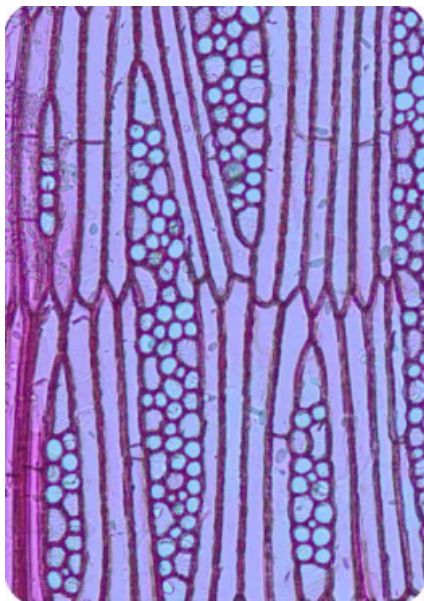
Le **cambium** se met en place entre les métaxylème et métaphloème primaires ; il est actif lorsqu'il produit du **xylème secondaire** vers l'intérieur et du **phloème secondaire** vers l'extérieur. On le repère entre ces deux tissus grâce à ses cellules **rectangulaires alignées** en files régulières (souvent plusieurs couches) à paroi cellulosique fine. Ce sont des cellules **vivantes** non différenciées, présentant un gros **noyau** et une **vacuole** moins fragmentée que dans les cellules de méristèmes primaires (Référence : [www.snv.jussieu.fr/bmedia/bois/formation\\_du\\_bois.htm](http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/bois/formation_du_bois.htm)).

### II-2- Structure

Le **cambium** est un méristème secondaire **histogène** constitué d'une couche large de une à quelques cellules **vivantes** appelées **initiales**. Les cellules initiales contiennent une large **vacuole** centrale (lors de la saison de croissance), sont entourées d'une **paroi primaire** fine (0,1 – 1 µm) et ont un diamètre **étroit**. On trouve **deux types** de cellules initiales dans le cambium :

**Initiales fusiformes** : longues et effilées (entre 0,4 et 4 mm de longueur, 30 µm de largeur et 5 – 10 µm de diamètre), majoritaires (60 – 90%) et à l'origine des éléments longitudinaux du bois (éléments disposés parallèlement à l'axe de l'arbre dans le sens de leur longueur comme les trachéides, les vaisseaux et les fibres) et du liber.

**Initiales radiales** : courtes et isodiamétriques (environ 40 µm de longueur et de diamètre), minoritaires (10 – 40%), à l'origine des éléments radiaux du bois (c'est-à-dire les éléments qui sont disposés perpendiculairement à l'axe dans le sens de leur longueur, comme les cellules du parenchyme des rayons) et du liber.



*Initiales fusiformes et initiales radiales de Triplochiton scleroxylon en coupe longitudinale*

Le **cambium** est une fine couche de cellules méristématiques de deux types :

- Les **initiales fusiformes** qui donnent naissance à des cellules filles se différenciant en **éléments axiaux** du bois et du liber. Ces initiales sont **allongées** axialement d'où leur épithète fusiforme.
- Les **initiales radiales** qui donnent naissance aux cellules de **rayons**. Ces initiales font partie d'un **groupe** et apparaissent souvent de forme **isodiamétriques** dans le plan longitudinal tangentiel (Référence : [http://www.fun-mooc.fr/c4x/lorraine/30003S02/asset/MOOC\\_Anatomie\\_du\\_bois\\_chapitre10\\_partie1.pdf](http://www.fun-mooc.fr/c4x/lorraine/30003S02/asset/MOOC_Anatomie_du_bois_chapitre10_partie1.pdf)).

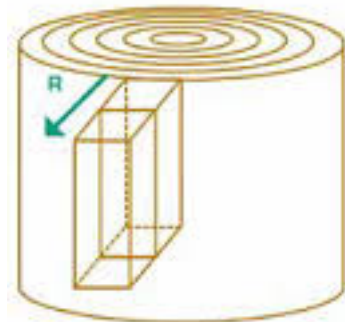
### II-3- Activité de division

Les **initiales fusiformes** allongées dans le sens **longitudinal**, se **divisent** dans les **trois plans**, en quantité et à rôles différents :

**1- Plan longitudinal tangentiel** : les divisions **périclines** se font selon un **plan tangentiel**. Ces divisions qui représentent 9/10 des mitoses des fusiformes cambiales permettent la formation du **bois** et du **liber** et donc la croissance en **largeur**.

*Divisions **périclines** dans le cambium*

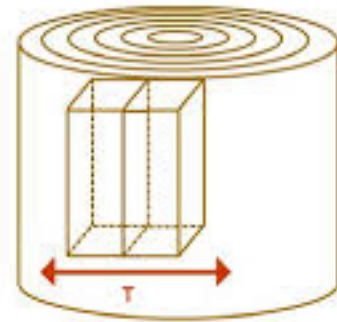
*Les divisions **périclines** dans le cambium favorisent la croissance en **largeur** (Référence : <http://www.fun-mooc.fr/c4x/lorraine/30003S02/>)*



**2- Plan longitudinal radiaire** : les fusiformes cambiales se divisent aussi selon un **plan radial**. On parle de **divisions anticlines**, qui permettent l'augmentation du **périmètre** du cambium.

*Divisions **anticlines** dans le cambium*

Les divisions **anticlines** dans le cambium favorisent l'augmentation du **périmètre** (Référence : <http://www.fun-mooc.fr/c4x/lorraine/30003S02/>)



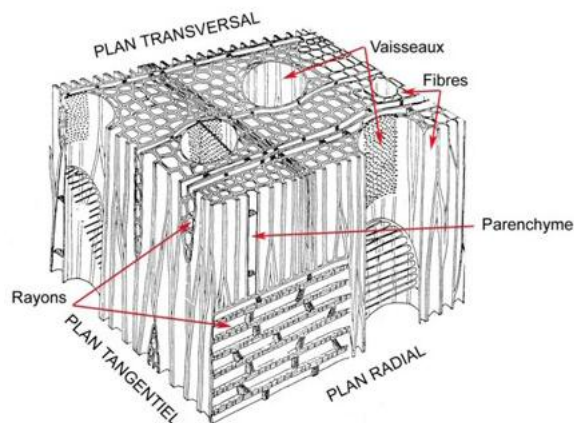
**3- Plan horizontal transverse** : les **divisions transversales** de cellules fusiformes permettent l'apparition de nouvelles **cellules initiales de rayon**.

*Divisions **transversales** dans le cambium*

Les divisions **transversales** favorisent l'apparition de nouveaux **rayons** (Référence : <http://www.fun-mooc.fr/c4x/lorraine/30003S02/>)



Les **initiales radiales** se divisent comme les initiales fusiformes de façon **anticline** (plan longitudinal radiaire) et de façon **transversale** (plan horizontal transverse) participant ainsi à l'augmentation de la **circonférence** du cambium et la mise en place de nouveaux **rayons**.



*Schéma d'un bois et fonctionnement des initiales (d'après Schweingruber, 1990)*

Les **initiales fusiformes** mettent en place des cellules qui sont allongées dans le sens de l'**axe vertical**, à savoir les **éléments conducteurs** et les **fibres** du **bois** et du **liber**. Les **initiales radiales** mettent en place des cellules étirées dans le sens **radial**, c'est-à-dire selon les **rayons libéro-ligneux**. Ces initiales sont à l'origine du **système tissulaire horizontal** (Référence : <http://www.xylotree.fr/presentation-bois-analyses.html>).



### III- Bois ou xylème secondaire

Comme le **xylème**, le **bois** est le tissu conducteur de la **sève brute**.

#### III-1- Constitution cellulaire

Les types cellulaires principaux du **bois** sont au nombre de trois : **éléments conducteurs**, **parenchyme ligneux** et **fibres ligneuses**.

##### III-1-1- Eléments conducteurs

Les éléments conducteurs des **Angiospermes Dicotylédones** sont les **vaisseaux**, qui présentent les mêmes caractéristiques que dans le **xylème primaire**. Notons que leur **diamètre** varie en fonction de la saison à laquelle ils se mettent en place. Chez les **Gymnospermes**, les éléments conducteurs sont les **trachéides aréolées**.

##### III-1-2- Parenchyme ligneux

Cellules **vivantes** parenchymateuses à **paroi pectocellulosique** plus ou moins **lignifiée**. Son rôle est essentiellement un rôle de **réserve** (tissu riche en **amidon**), voire de **défense** contre les **xylophages** (tissu riche en **tannins**). On peut distinguer le :

***Parenchyme ligneux vertical*** : les cellules sont allongées **verticalement**, assez présent chez les Angiospermes, rarement chez les Gymnospermes.

***Parenchyme ligneux horizontal*** : les cellules sont allongées **radialement**, formant un **rayon ligneux unisériel** (une seule file de cellules) chez les Gymnospermes, **plurisériel** (plusieurs files de cellules) chez les Angiospermes.

##### III-1-3- Fibres ligneuses

Cellules **mortes**, allongées, disposées **parallèlement** aux éléments conducteurs et à paroi fortement **lignifiée** qui assurent un rôle de **soutien**. Elles sont **alignées** et très **abondantes** dans le bois des Angiospermes (50 à 80% du bois), **absentes** dans le bois des Gymnospermes.

On dit que le **bois** des **Angiospermes Dicotylédones** est **hétéroxylé** (hétérogénéité du xylème secondaire) en référence à la combinaison de **fibres** et de **vaisseaux**.

Le **bois** des **Gymnospermes** est **homoxylé** (homogénéité du xylème secondaire). Il ne présente que des **trachéides aréolées**, les **fibres** étant absentes.

### III-2- Organisation en anneaux concentriques

Le **bois** bien développé présente, en **coupe transversale**, une structure en **anneaux concentriques** ; on parle d'**anneau ligneux** ou de **cerne**.

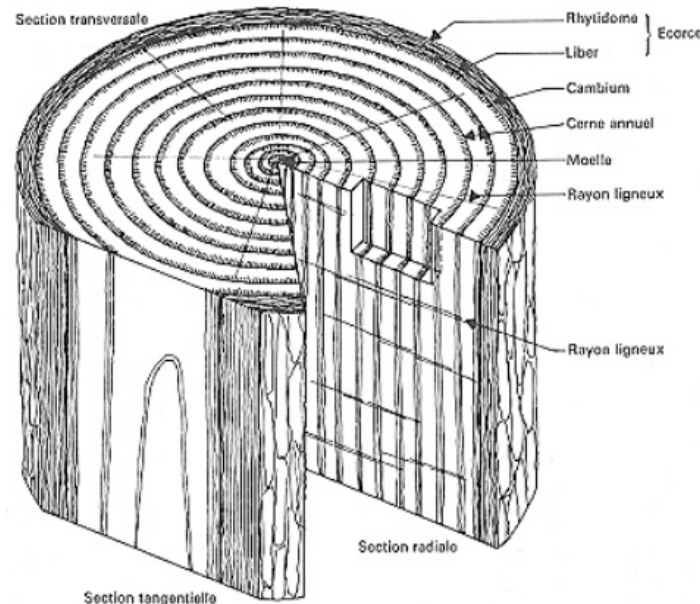


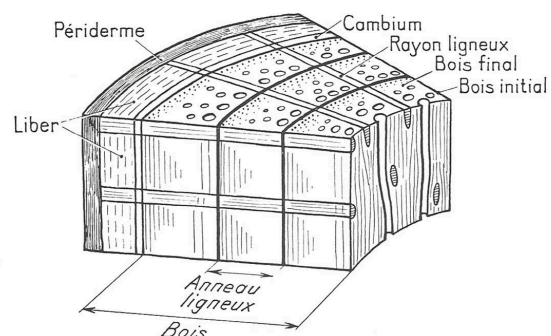
Schéma de l'organisation d'un bois en anneaux concentriques ou cernes

Dans une **tige ligneuse âgée**, le bois est disposé en **couches concentriques** dites **cernes**. Chacun de ces cernes correspond à l' du bois produit par le **cambium** pendant **une année**. On peut donc connaître l'**âge** d'une tige ligneuse en **comptant** les cernes (Référence : [https://www.lignum.ch/files/\\_migrated/content\\_uploads/](https://www.lignum.ch/files/_migrated/content_uploads/)).

Chaque cerne correspond à une **formation annuelle** :

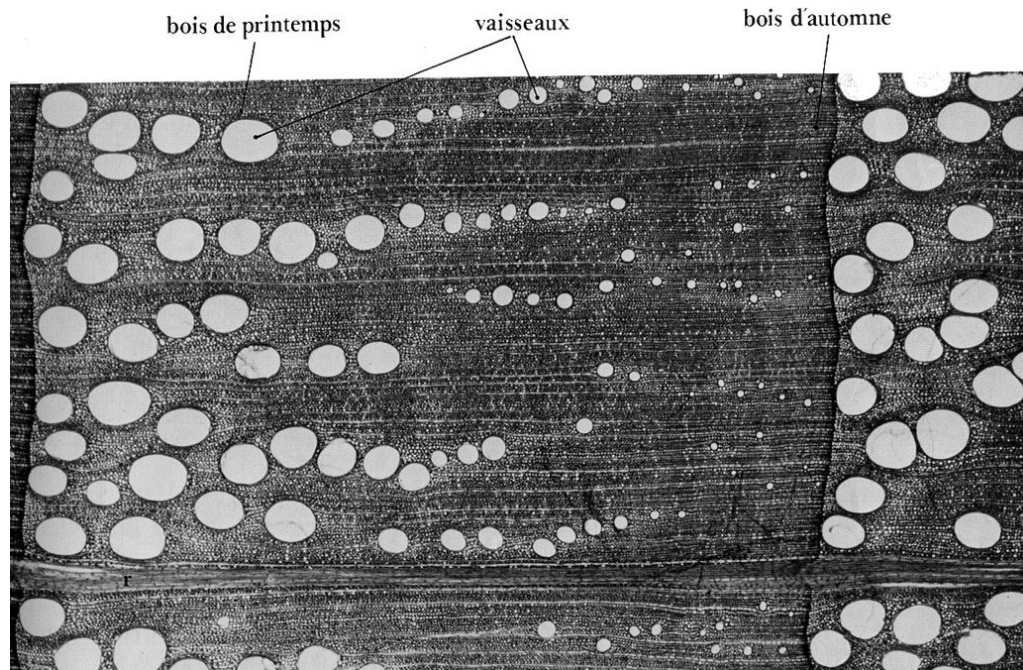
**Bois initial** ou **bois de printemps** : c'est la **partie claire et large**, mise en place lors de la **reprise** de la **vie active**. Le diamètre des **vaisseaux** est important.

**Bois final** ou **bois d'automne** : c'est la **partie sombre et fine**, mise en place **avant l'arrivée** de la **mauvaise saison**. Le diamètre des **vaisseaux** est faible.



Bois de printemps et bois d'automne (d'après Camefort, 1977)

Le **bois du printemps, initial**, clair à l'œil nu, contient de nombreux et larges vaisseaux et peu de fibres. Le **bois d'automne, tardif (final)**, contient des vaisseaux moins nombreux et étroits et beaucoup de fibres (Référence : <http://www.svt-tanguy-jean.com/>).



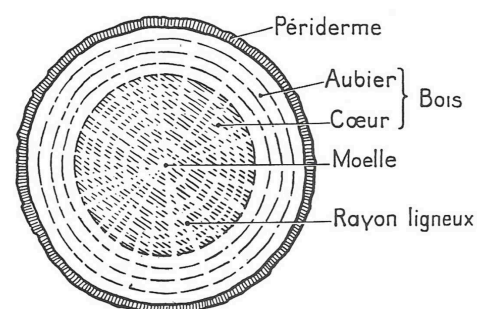
Gros plan sur un cerne en coupe transversale (d'après Roland et al., 2008)

Le **bois de printemps** est mis en place lors de la reprise de la vie active. Les vaisseaux y ont un diamètre important. Le **bois d'automne** est mis en place avant l'arrivée de la mauvaise saison. Les vaisseaux y ont un diamètre faible. Dans le **sens radial**, on note la présence de **rayons ligneux (r)** qui sont des formations plus claires constituées essentiellement de **parenchyme ligneux** à fonction de réserve (Référence : <http://www.svt-tanguy-jean.com/>).

Dans les **troncs** ou les **racines âgées**, on note la présence de **deux parties** dans le **bois** :

**Bois de cœur ancien** ou **duramen** : correspond à du **bois mort** qui n'est plus fonctionnel, la sève brute n'y circule plus. Il sert au soutien.

**Bois tendre** ou **aubier** : partie située en périphérie, formée d'un bois encore fonctionnel où circule la sève brute par des vaisseaux actifs.



Cœur et aubier dans le bois d'un tronc de Chêne coupé transversalement.

Coupe transversale d'un tronc de chêne montrant le bois de cœur (duramen) et l'aubier (d'après Camefort, 1977)

Le **bois de cœur** ou **duramen** correspond aux zones d'accroissement les plus anciennement formées. C'est un bois dur, compact et dense. L'**aubier** est un bois vivant, tendre, clair, qui véhicule la sève brute (Référence : <http://www.svt-tanguy-jean.com/>).

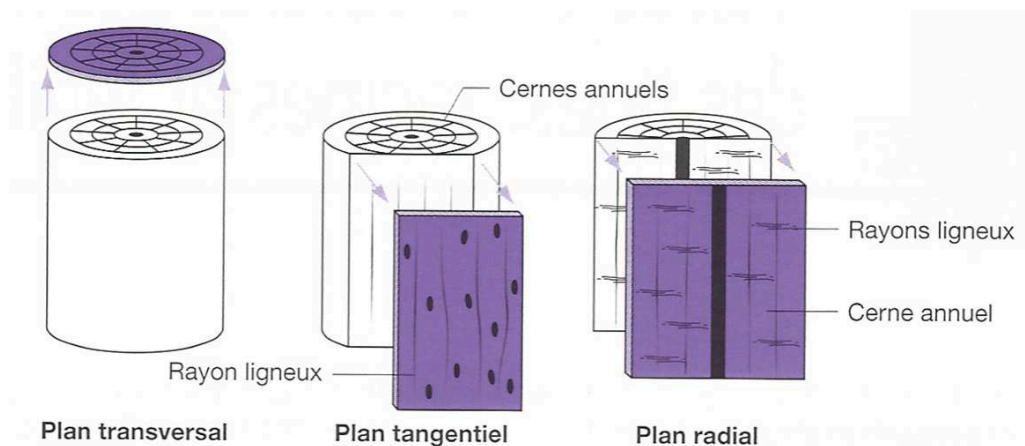
### III-3- Structure tridimensionnelle du bois

La **structure tridimensionnelle** du bois s'analyse sur les coupes dans les **trois plans** :

**Plan transversal** : les **cellules conductrices** sont observées sur la largeur et l'épaisseur (diamètre), les **rayons** sur la longueur et la largeur. Les **cernes annuels** marquent les années.

**Plan longitudinal tangentiel** : il est parallèle au plan du **cambium** dont il garde l'organisation. Les **cellules conductrices** sont vues sur la hauteur et la largeur (sens de circulation de la sève), les **rayons** sur la hauteur et la largeur. Les **ponctuations de champ de croisement** sont en coupe.

**Plan longitudinal radiaire** : les **cellules conductrices** sont observées sur la hauteur et l'épaisseur, les **rayons** sur la longueur et la hauteur et les **ponctuations** de champ de croisement de face.



*Plans de coupe dans un organe végétal (d'après Breuil, 2007)*

On distingue classiquement les **coupes transversales** (section perpendiculaire à l'organe), les **coupes tangentielles** (section parallèle à l'axe de l'organe ne passant pas par son axe central) et les **coupes radiales** (section parallèle à l'organe passant par son axe central) (Référence : <http://www.svt-tanguy-jean.com/>).

Le **bois diagramme** est une reconstitution en **volume 3D** du bois. Il s'agit de repérer tous les types cellulaires du **réseau vertical** et du **réseau horizontal**, ainsi que les **communications** entre types cellulaires : **trachéides** à ponctuations aréolées, **vaisseaux** à ponctuations latérales, **fibres** à parois épaisses, **parenchymes ligneux** à cellules de contact, **rayons** avec parenchyme ligneux horizontal et **champ de croisement** ou zone de contact conduction verticale et conduction horizontale.



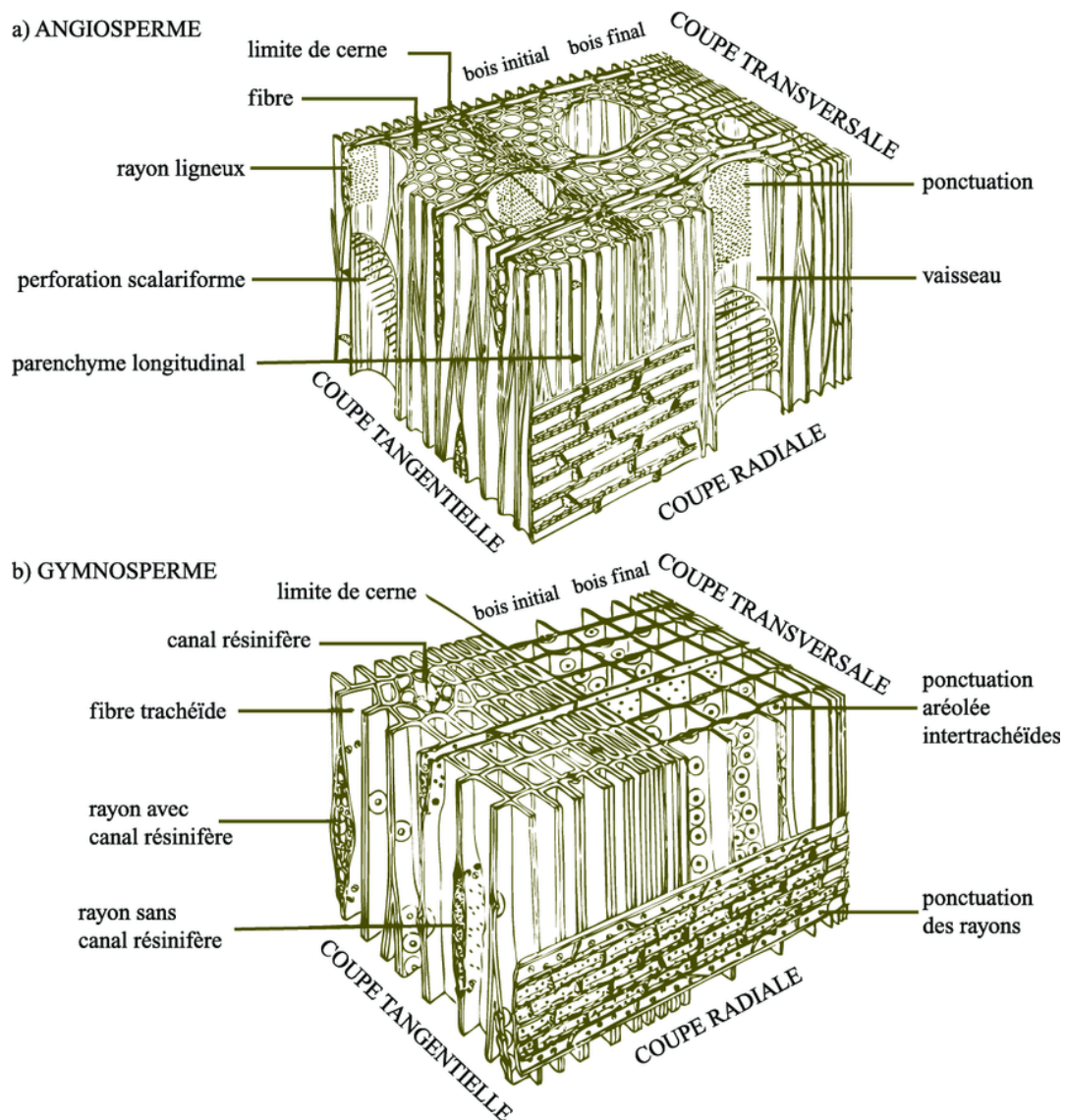


Schéma des trois plans anatomiques d'observation de la structure ligneuse chez les Angiospermes **(a)** et les Gymnospermes **(b)** (d'après Marguerie et al., 2010)

Le **bloc diagramme** récapitule les observations des cellules, de leurs contacts et communications, dans les trois plans : **transversal**, **longitudinal tangentiel** (parallèle au cambium) et **longitudinal radial** (avec champs de croisement).

En **(a)** bloc diagramme montrant les **systèmes vertical** et **horizontal** en plans transversal, radial et tangentiel d'une portion de **bois hétéroxylé** d'une **Angiosperme Dicotylédone**.

En **(b)** bloc diagramme montrant les **systèmes vertical** et **horizontal** en plans transversal, radial et tangentiel d'une portion de **bois homoxylé** d'une **Angiosperme Monocotylédone** (Référence : [http://www.researchgate.net/figure/Schema-des-trois-plans-anatomiques-dobservation-de-la-structure-ligneuse-chez-les\\_fig3\\_281819029](http://www.researchgate.net/figure/Schema-des-trois-plans-anatomiques-dobservation-de-la-structure-ligneuse-chez-les_fig3_281819029)).

## IV- Liber ou phloème secondaire

Comme le **phloème**, le **liber** est le tissu conducteur de la **sève élaborée**. C'est un **tissu hétérogène** contenant plusieurs types cellulaires différents :

**Éléments conducteurs** : il s'agit de **cellules criblées** chez les **Gymnospermes** et de **tubes criblés** chez les **Angiospermes Dicotylédones**. Ces éléments sont semblables à ceux du **phloème**, la **différence** fondamentale résidant dans leur **nombre** plus important et surtout leur **organisation** en couches de cellules alignées. Notons que le **liber** est beaucoup moins épais que le **bois** et se met en place beaucoup plus lentement.

**Cellules compagnes** : cellules **vivantes**, **nucléées**, à cytoplasme dense et à paroi mince et **cellulosique**. Elles sont allongées le long des tubes criblés et assurent un lien métabolique. Chez les **Gymnospermes**, les cellules compagnes sont absentes, remplacées par des cellules dites de **Strasburger** à réserves **albuminées**.

**Parenchyme libérien** : cellules **vivantes**, **parenchymateuses**, à fonction de **réserve** et de drainage radial des substances stockées. Leur regroupement est vertical (**parenchyme libérien vertical**) ou horizontal (**parenchyme libérien horizontal**) formant des **rayons libériens** dans le liber et prolongent les **rayons ligneux**.

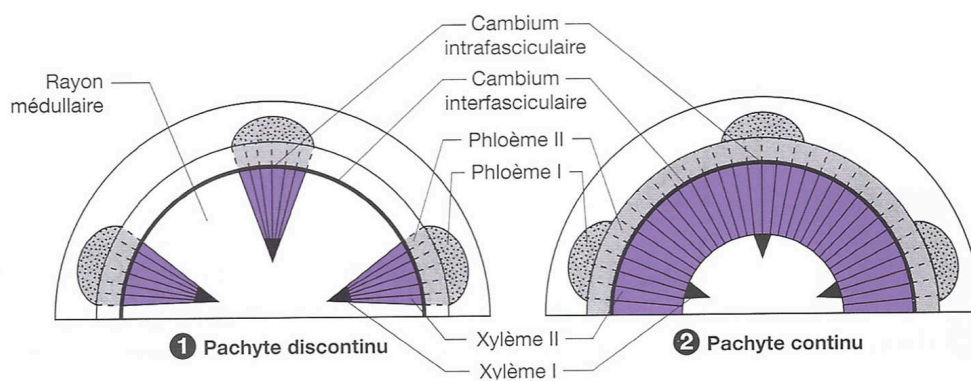
**Fibres libériennes** : cellules en **dégénérescence**, **peu abondantes** (contrairement au bois) et à rôle de **soutien**. Paroi épaisse, plus ou moins lignifiée et lumière étroite.

## V- Notion de pachyte

On appelle **pachyte**, l'ensemble formé par le **cambium libéro-ligneux** et les deux tissus qui en dérivent : **bois** et **liber**.

<b>Organisation spatiale d'un pachyte</b>		
<b>Bois</b>	<b>Cambium libéro-ligneux</b>	<b>Liber</b>
Trachéides Eléments de vaisseaux Parenchyme vertical Fibres	Initiales fusiformes, longues, à l'origine du système vertical	Tubes criblés Cellules compagnes Parenchyme vertical Fibres
Rayons ligneux	Initiales radiales, courtes, à l'origine du système horizontal	Rayons libériens

Initialement, le **pachyte** est constitué de **faisceaux cribro-vasculaires** qui acquièrent des **tissus conducteurs secondaires** formant un **pachyte discontinu**, puis ces tissus conducteurs secondaires finissent par se rejoindre et former un continuum, on parle d'un **pachyte continu**.



Formation des tissus secondaires conducteurs à partir du cambium

#### Du pachyte discontinu au pachyte continu (d'après Breuil, 2007)

Dans le cas de la **tige**, au niveau de chaque **faisceau cribro-vasculaire**, entre le **phloème** (phloème I) et le **xylème** (Xylème I), le **cambium intrafasciculaire** est un reste du faisceau **procambial** qui n'a pas subi de différenciation au cours de la réalisation du **faisceau primaire**. Son fonctionnement est à l'origine de l'installation du **pachyte discontinu** formé d'un **bois** (Xylème II) qui s'ajoute au xylème I et d'un **liber** (Phloème II) qui repousse le phloème I vers l'extérieur.

Plus tard, à la suite d'une **dédifférenciation** des cellules parenchymateuses reliant la **moelle** à l'**écorce** (**rayons médullaires** de nature primaire), apparaissent des **arcs** de **cambium interfasciculaire** qui, en réunissant entre eux les **arcs** de **cambium intrafasciculaire**, constitueront un **manchon méristématique continu** à l'origine du **bois** (Xylème II) et du **liber** (Phloème II) formant le **pachyte continu** (Référence : <http://www.svt-tanguy-jean.com/>).

## VI- Comparaison entre pachytes de Gymnospermes et d'Angiospermes

### VI-1- Cambium libéro-ligneux

Le **cambium libéro-ligneux** à l'origine des deux tissus conducteurs secondaires est constitué de deux types d'**initiales** :

Angiospermes	Gymnospermes
Cambium libéro-ligneux	
- Initiales <b>radiales</b> .	- Initiales <b>radiales</b> .
- Initiales <b>fusiformes</b> .	- Initiales <b>fusiformes</b> .



## VI-2- Bois

Le **bois** des **Angiospermes** est de type **hétéroxylé**, caractérisé par la présence de plusieurs types de **vaisseaux** de dimensions différentes (rayés, réticulés et ponctués), ainsi que des **fibres ligneuses** très abondantes. Le bois des **Gymnospermes** est dit **homoxylé**, il ne présente que des **trachéides aréolées**, les **fibres ligneuses** étant absentes.

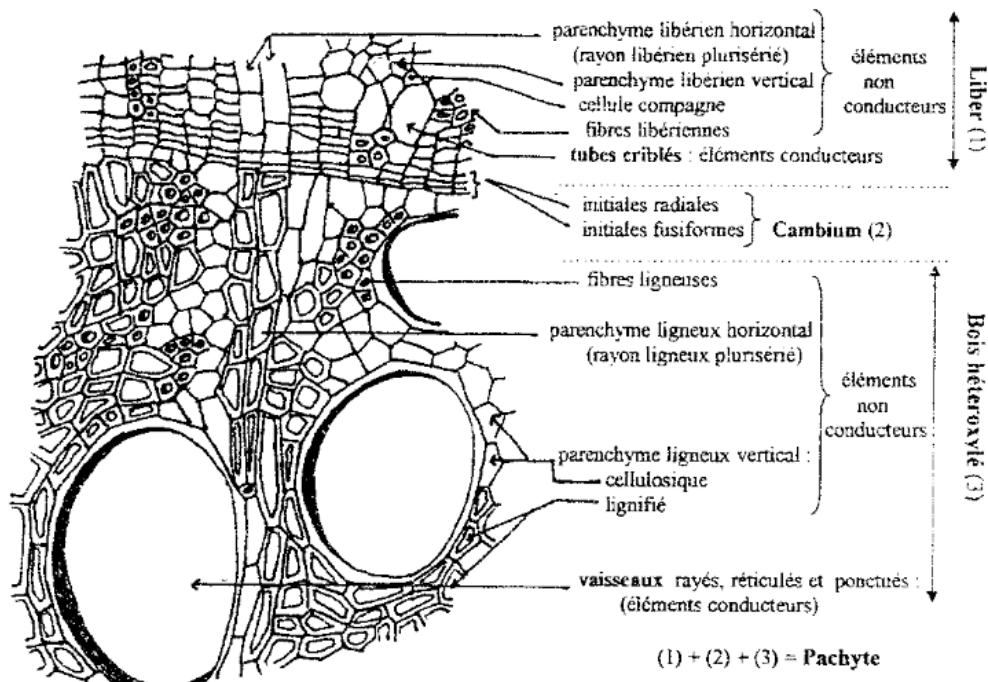
<i>Angiospermes (bois hétéroxylé)</i>	<i>Gymnospermes (bois homoxylé)</i>
<b>Eléments conducteurs</b>	
- <b>Vaisseaux</b> rayés, réticulés et ponctués.	- <b>Trachéides</b> aréolées.
<b>Eléments non conducteurs</b>	
- Parenchyme ligneux horizontal (rayon ligneux <b>plurisérié</b> ). - Parenchyme ligneux vertical <b>présent</b> . - Fibres ligneuses <b>abondantes</b> .	- Parenchyme ligneux horizontal (rayon ligneux <b>unisérié</b> ). - Parenchyme ligneux vertical <b>rare</b> . - Fibres ligneuses <b>absentes</b> .

## VI-3- Liber

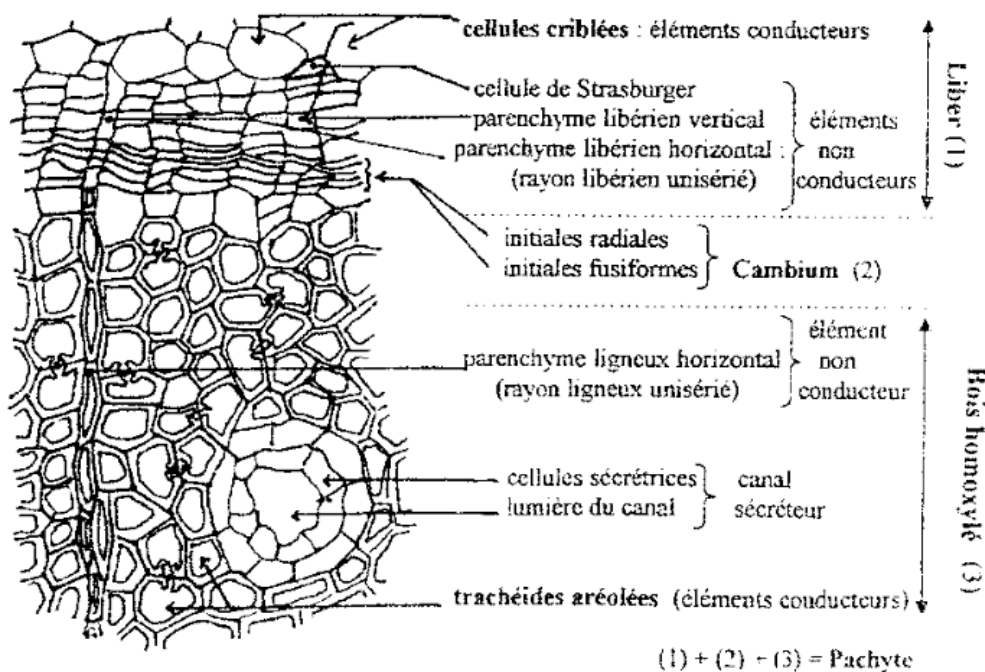
Beaucoup moins épais que le **bois**, le **liber** comprend une suite de couches concentriques, chacune matérialisant l'activité annuelle du **cambium**. Etant particulièrement minces, elles sont comparées aux feuilles d'un livre (Liber = aspect feuilleté d'un livre). Elles sont constituées de catégories cellulaires très nettement distinctes : des **éléments conducteurs** et des **cellules parenchymateuses**.

Les parenchymes ne forment pas un ensemble homogène : certaines sont des cellules à réserves, d'autres dites de contact sont plus spécialisées : **cellules de Strasburger** chez les **Gymnospermes** et **cellules compagnes** chez les **Angiospermes**.

<i>Angiospermes</i>	<i>Gymnospermes</i>
<b>Eléments conducteurs</b>	
- <b>Tubes</b> criblés.	- <b>Cellules</b> criblées.
<b>Eléments non conducteurs</b>	
- Cellules <b>compagnes</b> . - Parenchyme libérien horizontal (rayon libérien <b>plurisérié</b> ). - Parenchyme libérien vertical. - Fibres libériennes <b>peu abondantes</b> .	- Cellules de <b>Strasburger</b> . - Parenchyme libérien horizontal (rayon libérien <b>unisérié</b> ). - Parenchyme libérien vertical. - Fibres libériennes <b>absentes</b> .



Coupe transversale d'une tige âgée de *Mercuriale* (Angiosperme Dicotylédone) montrant le bois hétéroxylé et le liber



Coupe transversale d'une tige âgée de *Pin* (Gymnosperme) montrant le bois homoxylé et le liber

## VII- Glossaire propre au chapitre

### - *Aubier ou bois tendre*

Bois formé récemment (donc à la périphérie de l'arbre) ; les cellules de parenchyme y sont vivantes.

### - *Canal résinifère*

Cavité tubulaire bordée de cellules de parenchyme produisant de la résine ; longitudinal ou radial ; normal ou traumatique.

### - *Cerne ou cerne annuel*

En botanique, un cerne est un cercle concentrique sur la section transversale du tronc d'un arbre, formé chaque année par le cambium, visible grâce à la différence de coloration entre le bois d'été (bois final) et le bois de printemps (bois initial).

### - *Champ de croisement*

Zone d'intersection entre une trachéide longitudinale et une cellule de parenchyme radial.

### - *Division anticline*

Division d'une cellule de cambium dans un plan radial, formant deux cellules de cambium, et permettant l'accroissement du périmètre du cambium.

### - *Division péricline*

Division d'une cellule de cambium dans un plan tangentiel, formant deux cellules destinées à se différencier en cellules de bois ou de liber, et permettant la croissance en diamètre.

### - *Divisions transversales*

Division d'une cellule fusiforme du cambium selon des plans transversaux formant plusieurs cellules initiales de rayon, permettant l'apparition d'un nouveau rayon.

### - *Duramen ou bois de cœur*

Définition différente selon les normes : désigne soit un bois parfait plus coloré que l'aubier, soit le bois parfait en général ; on distingue alors duramen différencié (coloré) et duramen non différencié (de la même couleur que l'aubier).

### - *Herbacée*

Plante dont la tige est tendre, ou plus simplement qui est de la nature de l'herbe.

### - *Histogène*

Développement des tissus à partir de cellules indifférenciées.

### - *Initiales fusiformes*

Cellules du cambium formant des cellules allongées dans la direction longitudinale.

### - *Initiales radiales*

Cellules du cambium isodiamétriques, formant des cellules allongées dans la direction radiale, aussi appelées cellules initiales de rayons.

### - *Ligneuse*

Une plante ligneuse est une plante qui fabrique en grande quantité des lignines, macromolécules organiques donnant à la plante sa solidité, et dont le bois est le principal matériau de structure.

### - *Médullaire*

Une médullaire en anatomie désigne généralement la partie centrale d'un organe, entourée du cortex.

### - *Péricycle*

C'est l'extrémité du cylindre central d'un faisceau libéro – ligneux. Il s'agit le plus souvent d'une unique couche de cellule entourée de l'endoderme et jouant un rôle dans la formation des méristèmes secondaires : phellogène et une partie du cambium.

### - *Phloème secondaire ou liber*

Tissu produit par le cambium vers l'extérieur de l'organe. C'est la zone où circule la sève élaborée.

### - *Plurisérié [du latin plures 'nombreux, plusieurs' et series 'série, file']*

Qui est disposé en plusieurs séries ou rangs.

### - *Ponctuation*

Point de communication entre deux cellules voisines, où la paroi secondaire n'a pas été déposée et où la paroi primaire est partiellement hydrolysée ou percée de plasmodesmes.

### - *Ponctuation aréolée*

Ponctuation présentant un espace intérieur créé par un décollement ou un amincissement interne de la paroi secondaire, entre deux éléments conducteurs.

### - *Ponctuation de champ de croisement*

Ponctuation permettant la communication entre trachéides longitudinales et cellules de parenchyme radial.

### - *Rayon ligneux*

Élément anatomique contenant du parenchyme radial, permettant d'acheminer la sève élaborée du liber vers les cellules vivantes dans l'aubier, de stocker des réserves et d'élaborer des substances.

### - *Rayon médullaire*

Rayon ligneux partant de la moelle, du centre de l'arbre.

### - *Renonculacées*

Sont une famille de plantes qui font partie des Dicotylédones vraies. Celle-ci comprend environ 2500 espèces réparties en une soixantaine de genres.

### - *Rhytidome*

Vieille écorce, contenant tous les tissus morts situés à l'extérieur du périoderme le plus récent.

### - *Scalariforme [de scalare 'escalier' et forma 'forme']*

Qui a la forme d'un escalier. Des vaisseaux scalariformes sont des tubes prismatiques marqués de lignes transparentes, horizontales, placées à des distances égales, en forme d'échelons.

### - *Stèle ou cylindre central*

Est la partie au centre de la tige qui contient les vaisseaux conducteurs de xylème (vaisseaux) et de phloème (tubes criblés).

### - *Strasburger Eduard Adolf*

Botaniste allemand (1844 – 1912), qui se consacre à l'étude de l'embryologie végétale et fait des observations nouvelles sur l'embryologie des gymnospermes.

### - *Tannins ou tanins*

Substances végétales de la famille des polyphénols, le plus souvent hydrosolubles, d'origine végétale et qui possèdent la capacité de précipiter les protéines, alcaloïdes et polysaccharides, à partir de leur solution aqueuse. Ces métabolites secondaires sont utilisés par les plantes comme moyen de défense chimique contre les microbes pathogènes et les herbivores.

- *Unisériel*

Qui est composé d'une seule file de cellules.

- *Xylème secondaire ou bois*

Tissu produit par le cambium vers l'intérieur de l'organe. C'est la zone où circule la sève brute.

- *Xylophage [de xulon 'bois' et phagein 'manger']*

Organisme vivant (désignant le plus souvent les animaux) dont le régime alimentaire est composé principalement d'aubier, mais aussi de bois parfait (duramen).

- *Zone génératrice libéro - ligneuse ou cambium*

C'est le méristème secondaire qui met en place les vaisseaux conducteurs secondaires : xylème secondaire ou bois vers l'intérieur et phloème secondaire ou liber vers l'extérieur.

# Tissus sécréteurs



## Sommaire

<b>I- Tissus sécréteurs</b>	<b>104</b>
<b>II- Structures sécrétrices externes</b>	<b>104</b>
<b>II-1- Cellules épidermiques</b>	<b>104</b>
<b>II-2- Glandes sécrétrices épidermiques</b>	<b>105</b>
<b>II-3- Poils épidermiques</b>	<b>105</b>
<b>III- Structures sécrétrices internes</b>	<b>105</b>
<b>III-1- Cellules sécrétrices isolées</b>	<b>105</b>
<b>III-2- Cellules particulières accumulant des cristaux de sels minéraux</b>	<b>106</b>
<b>III-2-1- Idioblastes</b>	<b>106</b>
<b>III-2-2- Lithocystes</b>	<b>107</b>
<b>III-3- Poches et canaux sécréteurs</b>	<b>107</b>
<b>III-3-1- Poches sécrétrices</b>	<b>107</b>
<b>III-3-2- Canaux sécréteurs</b>	<b>108</b>
<b>III-4- Laticifères</b>	<b>109</b>
<b>III-4-1- Structure cellulaire</b>	<b>109</b>
<b>III-4-2- Composition chimique du latex</b>	<b>109</b>
<b>III-4-3- Diversité des laticifères</b>	<b>109</b>
<b>IV- Glossaire propre au chapitre</b>	<b>110</b>

## I- Tissus sécréteurs

Les **tissus sécréteurs** existent dans différentes **familles** et peuvent se différencier dans n'importe quelle partie de l'organe : **écorce** ou **stèle**, dans n'importe quel tissu : **épiderme**, **parenchyme**, **bois**... Ils peuvent prendre une importance fondamentale dans les **pièces florales** pour favoriser la **pollinisation entomophile**.

Les tissus sécréteurs élaborent différents produits, on parle en général de l'acte de **sécrétion**. Par extension, les produits eux-mêmes sont appelés des **sécrétions**. Ce sont des molécules très variées : **mucilages**, **tannins**, **latex**, **essences aromatiques** diverses...

On divise ces sécrétions en deux grands groupes, selon l'emplacement qu'ils occupent une fois qu'ils ont été sécrétés par le **protoplasme** :

*Des sécrétions restent enfermées dans les cellules mêmes qui les ont engendrées, on les appelle les **sécrétions proprement dites**.*

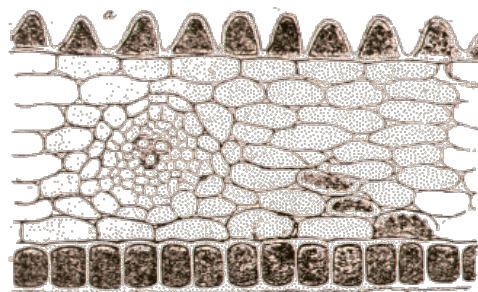
*Des sécrétions s'échappent des cellules qui les ont engendrées et vont s'accumuler dans des canaux spéciaux, dans des espaces intercellulaires ou même sortent à la surface de la plante, on les appelle des **excrétions**.*

La diversité est importante dans les formes comme dans les contenus et leur mode de libération : **poils** sécréteurs, **cellules** sécrétrices, **poches** et **canaux** sécréteurs, **laticifères**. Sur la base de leur localisation, on distingue : des structures sécrétrices **externes** et des structures sécrétrices **internes**.

## II- Structures sécrétrices externes

### II-1- Cellules épidermiques

La plupart des **essences communes** ou **huiles essentielles** se forment à la surface des **feuilles** ou de **pétale**, dans de simples **cellules épidermiques** dont elles font soulever la paroi externe, qui prend ainsi la forme de **petites massues** (pétale de **Rose**).

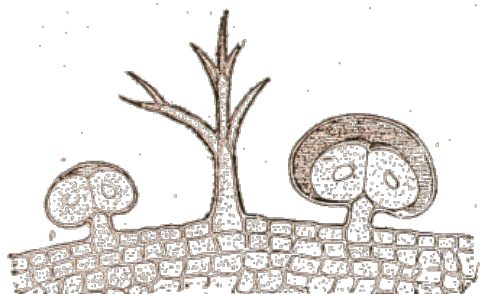


*Coupe transversale d'un **pétale** de Rose (*Rosa centifolia*)*

*Cellules épidermiques (**a**) remplies d'**essence** et teintées en noir par l'**acide osmique**.  
Référence : [www.cosmovisions.com/secrectionsvegetales.htm](http://www.cosmovisions.com/secrectionsvegetales.htm)*

## II-2- Glandes sécrétrices épidermiques

Très fréquemment, les cellules sécrétrices épidermiques forment de **petits massifs isolés** comme dans le **Thym** et la **Lavande**, leur essence se trouve toujours en dehors de la cellule, sous la **cuticule** de la paroi.

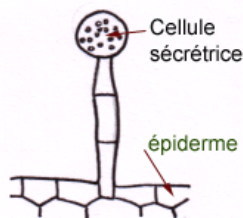


### **Glandes sécrétrices** de feuille de Lavande

Deux **glandes** bicellulaires à **essence** avec un **poil** ramifié. Lorsqu'on frotte entre les mains des feuilles de **Lavande**, de **Thym**, de **Sauge** ou de la **Menthe**, on écrase les cellules sécrétrices et les doigts restent imprégnés d'essence. Référence : [www.cosmovisions.com/secretsvegetales.htm](http://www.cosmovisions.com/secretsvegetales.htm)

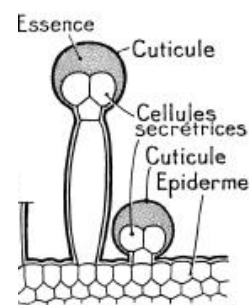
## II-3- Poils épidermiques

Des poils épidermiques, **unicellulaires** ou **pluricellulaires**, sécréteurs de **substances agréables ou non** se différencient chez certaines catégories de plantes. La ou les cellules terminales accumulent leurs propres **sécrétions** entre la paroi des cellules et la cuticule. Ces produits sont éliminés par **évaporation** ou par **rupture** de la fine couche de cuticule.



### **Poils** épidermiques **sécréteurs**

Exemples de **poils sécréteurs** prolongeant des cellules de l'épiderme de *Pelargonium* sp. (à gauche) et *Ballota foetida* (à droite). D'après Camefort H. (1977) : Morphologie des végétaux vasculaires. Cytologie. Anatomie. Adaptations. Doin, Paris, 2<sup>ème</sup> édition



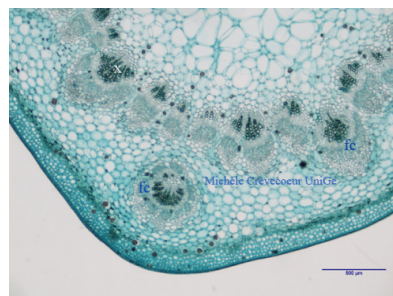
## III- Structures sécrétrices internes

### III-1- Cellules sécrétrices isolées

Ce sont des **cellules isolées**, placées sous l'épiderme et dans les parenchymes, stockant leur produit dans la **vacuole**.

Coupe transversale dans une **tige** de Rosier

**Cellules sécrétrices** dispersées dans le **parenchyme cortical**, dans le **parenchyme médullaire** et entre les **faisceaux conducteurs**. Crédit photo Crèvecoeur M., [www.unige.ch/sciences/biologie/bioveg/crevecoeur/liens/tissus-secreteurs/tissus-secreteurs/](http://www.unige.ch/sciences/biologie/bioveg/crevecoeur/liens/tissus-secreteurs/tissus-secreteurs/)



### III-2- Cellules particulières accumulant des cristaux de sels minéraux

Certaines cellules accumulent dans leurs **vacuoles** des **substances minérales solides**, qui sont des produits de sécrétion **non utilisés** par les plantes. Les plus fréquents sont des **sels calcaires** ou de la **silice**.

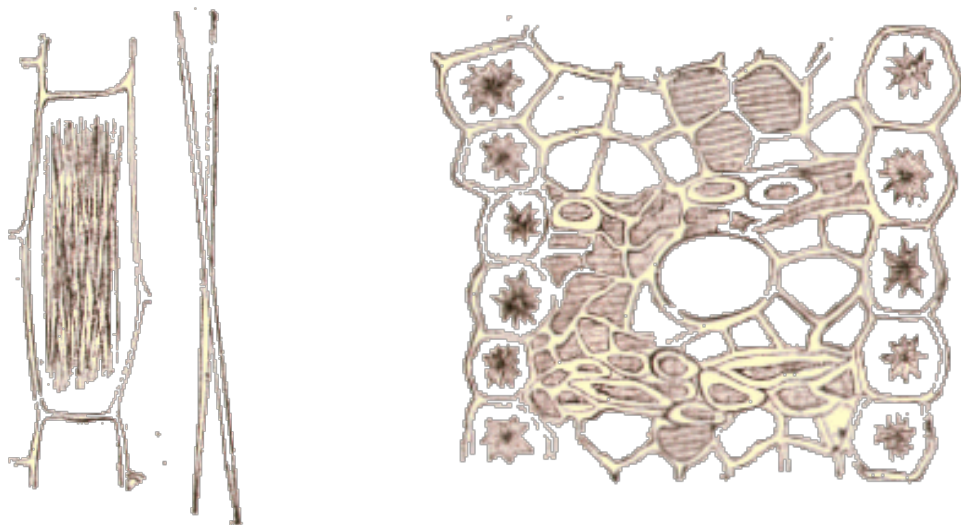
#### III-2-1- Idioblastes

Ce sont des **cellules spécialisées**, dispersées dans le parenchyme de différents organes (racines, feuilles, tiges et organes floraux), qui accumulent notamment des **cristaux d'oxalate de calcium**.

L'oxalate de calcium se présente sous des formes variables : **sable cristallin**, **cristal tétragonal**, ou encore en forme d'**aiguilles** entourées chacune d'une gaine, souvent associées en **faisceaux** appelés **raphides**.

Des **agrégats** de cristaux différents peuvent s'associer en se croisant formant ce qu'on appelle des **macles**. Ils ont alors des formes caractéristiques en **oursin** ou en **étoiles**.

Les cellules à cristaux d'oxalate de calcium peuvent fonctionner comme **dissuasives** / **défensives** vis-à-vis des **herbivores** qui les mangent.



Faisceau de **raphides** de l'Oignon (à gauche) et **macles** du Lierre (à droite)

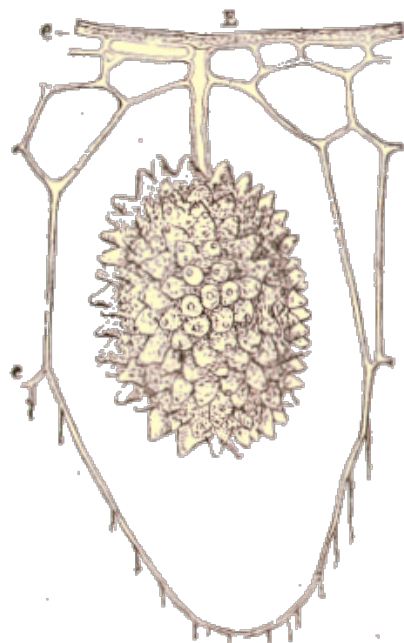
Des cellules de nombreuses plantes, contiennent des **cristaux d'oxalate de calcium**, cristallisé sous diverses formes :

- Dans les feuilles de l'**Oignon (à gauche)**, on trouve de l'oxalate de calcium sous la forme de petites **aiguilles** d'une très grande finesse et associées en **faisceaux**, on les appelle des **raphides**.
- Dans le **Lierre (à droite)**, l'oxalate de calcium prend la forme de petits **cristaux octaédriques** isolés ou groupés les uns dans les autres en formant des sortes de cristaux en **oursins**, qui sont désignés sous le nom de **macles**.

Référence : [www.cosmovisions.com/secretsvegetales.htm](http://www.cosmovisions.com/secretsvegetales.htm)

### III-2-2- Lithocystes

Les **lithocystes** sont des cellules fortement modifiées et de grande taille, accumulant des **cristaux de carbonate de calcium**. Ces cristaux appelés **cystolithes** se déposent sur un axe issu du prolongement de la paroi interne de la cellule qui les contient. On les trouve en général dans les cellules de l'épiderme mais aussi dans les cellules du parenchyme.



**Cystolithe** dans une grande cellule de la face supérieure d'une feuille de **Figuier** (*Ficus carica*)

Dans les **feuilles du Figuier**, il existe de volumineuses **concrétions de carbonate de calcium** qui se développent non dans des cavités cellulaires, mais au sein même de la paroi cellulosique, celle-ci se **distend** peu à peu dans l'intérieur de la cellule à mesure qu'augmente la **concrétion calcaire**, et la masse finit par occuper presque toute la cavité cellulaire. Ces concrétions s'appellent des **cystolithes**. Référence : [www.cosmovisions.com/secretionsvegetales.htm](http://www.cosmovisions.com/secretionsvegetales.htm)

### III-3- Poches et canaux sécréteurs

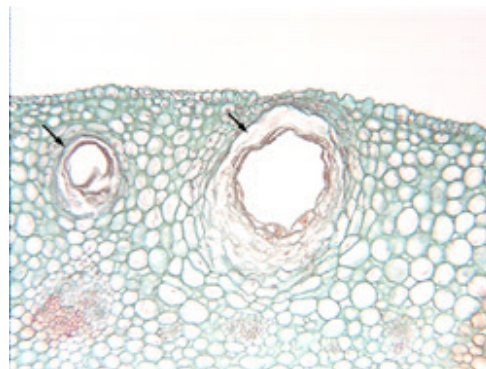
La **poche sphérique** ou le **canal allongé** sont composés de cellules sécrétrices libérant leur contenu dans le **méat**, par **rupture** (poche ou canal **lysigène**) ou par **excrétion** (poche ou canal **schizogène**), ou les deux (**schizolysigènes**).

#### III-3-1- Poches sécrétrices

Une **poche sécrétrice** est une **cavité** du parenchyme de certains organes, délimitée par des **cellules sécrétrices** qui y déversent leurs **produits de sécrétion**.

**Poches sécrétrices d'essences d'Agrumes**

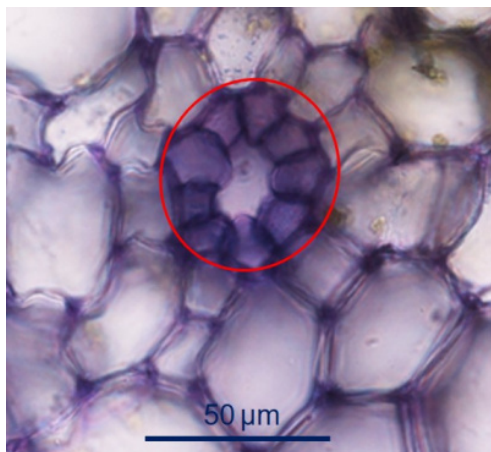
Dans l'**épicarpe** de l'**Orange** et du **Citron**, communément appelé **zeste**, on trouve de nombreuses **poches sécrétrices d'essences**, de nature **schizolysigènes** et qui donnent son **odeur** particulière au **fruit**. D'après Svoboda K. and T. Svoboda : *Secretory structures of aromatic and medicinal plants. A review and atlas of micrographs.*





### III-3-2- Canaux sécréteurs

Chez de nombreuses plantes (**Persil**, **Anis**, **Absinthe**, **Camomille**), les essences prennent naissance dans **l'intérieur** de la plante et sont **sécrétées** par de petits canaux ou **canaux sécréteurs**, qui s'étendent parfois dans toute la longueur de la plante et dont les parois sont formées d'une **assise** de **cellules sécrétrices**.



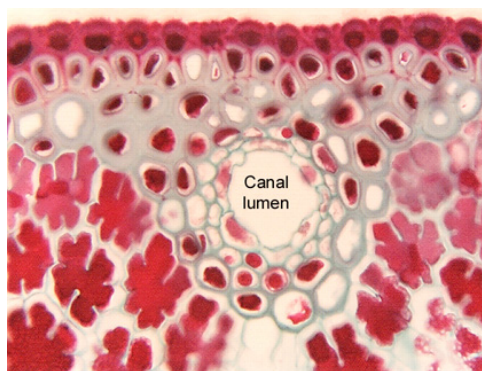
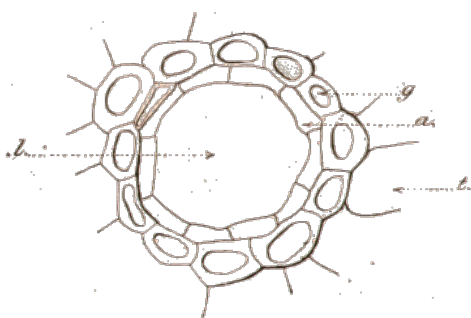
Coupe transversale dans un **pétiole** de **Céleri branche** (*Apium graveolens*)

Les feuilles d'une plante **potagère** tel le Céleri branche, possèdent des **canaux sécréteurs** responsables des odeurs agréables qu'elles dégagent quand on les coupe. Le canal sécréteur est délimité par une **couche de cellules**. Crédit photo Crèvecoeur M., [www.unige.ch/sciences/biologie/bioveg/crevecoeur/fiches-anatomie/anatomie-petioles/anatomie-petiole-celeri/](http://www.unige.ch/sciences/biologie/bioveg/crevecoeur/fiches-anatomie/anatomie-petioles/anatomie-petiole-celeri/)

Les **résines** et les **oléo-résines** (résines mélangées à des essences) prennent naissance dans des **canaux sécréteurs**. On en trouve particulièrement chez les **Conifères**. Chez les **Pins** et les **Sapins**, par exemple, ils sont composés de **deux assises** de cellules :

**Une assise interne** : à **protoplasme** abondant et à **parois minces**, qui sécrètent la **résine** et la rejettent dans la cavité centrale du canal.

**Une assise externe** : à **parois** fortement **lignifiées**, constituant une sorte d'**enveloppe protectrice** autour des cellules sécrétrices.



**Canal résinifère** d'une feuille de **Pin** coupé en travers

Le **canal sécréteur** de **résine** est formé d'une assise de **cellules sécrétrices** (**a**), bordée d'une assise de **cellules protectrices**, à parois épaisses et **lignifiées** (**g**). La résine est déversée dans la **lumière du canal** (**l**). Ces canaux s'étendent sans interruption, depuis les racines jusque dans les feuilles. La résine s'écoule lorsqu'on pratique des incisions sur l'**écorce** de la tige. Référence : [www.cosmovisions.com/secretionsvegetales.htm](http://www.cosmovisions.com/secretionsvegetales.htm)



### III-4- Laticifères

Un **laticifère** est une **cellule** végétale **allongée** ou une **file de cellules**, existant dans les tissus de certaines espèces et sécrétant le **latex**.

#### III-4-1- Structure cellulaire

Les cellules formant les laticifères sont **vivantes**, **plurinucléées** (**cénocytes**), à **vacuoles** bien développées emmagasinant du latex.

#### III-4-2- Composition chimique du latex

Le **latex** est un liquide de **consistance laiteuse** et de **couleur blanchâtre** chez les **Figuiers**, les **Hévés**, les **Pissenlits**, les **Laitues** et les fruits du **Pavot**. Il est **rougeâtre** chez une plante voisine du Pavot, la **Chélidoine**.

Les **latex** sont des **émulsions** ; ils tiennent en suspension des **gouttelettes microscopiques** appartenant à des substances diverses : hydrates de carbone, acides organiques, alcaloïdes, terpènes et résines. De plus, on y trouve des **ferments** digestifs très actifs : une lipase (digestion des graisses), une amylase (digestion de l'amidon) et une **présure** susceptible de coaguler la **caséine** du lait.

Par la dessiccation et une préparation spéciale, le latex blanchâtre de l'Hévéa est transformé en **caoutchouc** commercial.

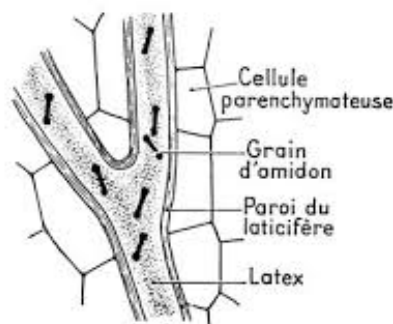
#### III-4-3- Diversité des laticifères

Les cellules où se forme le latex présentent **trois dispositions** différentes :

**Laticifères vrais non cloisonnés** : chez les **Euphorbes**, chacun des laticifères se forme à partir d'une **cellule unique**, qui s'allonge et se ramifie indéfiniment dans toute la plante, tout en multipliant son noyau, mais sans jamais se cloisonner. Les longs tubes laticifères ainsi formés, restent par conséquent des **cellules vivantes, plurinucléées**, avec une couche de **protoplasme** adjacente à la paroi interne. Le latex peut être considéré comme une sorte de **suc** cellulaire.

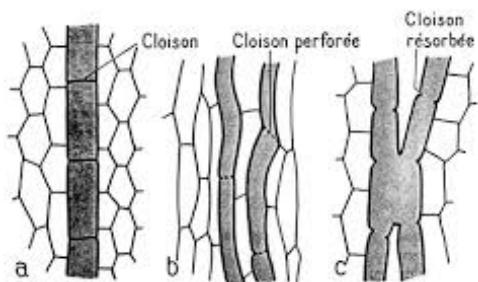
**Laticifères non cloisonnés** avec grains d'amidon de forme allongée (*Euphorbia splendens*)

Le **latex** se forme dans de longs tubes cylindriques, très étroits et considérablement ramifiés ; ils s'étendent d'un bout de la plante à l'autre, sans jamais présenter de **cloisons transversales**. D'après Camefort H. (1977) : *Morphologie des végétaux vasculaires. Cytologie. Anatomie. Adaptations*. Doin, Paris, 2<sup>ème</sup> édition.



**Laticifères articulés non anastomosés** : chez une plante comme la **Chélidoine**, le latex se forme dans des canaux constitués de longues cellules placées bout à bout et possédant des **cloisons transversales** percées de trous.

**Laticifères articulés anastomosés** : chez le **Pissenlit** et la **Scorsonère**, le latex se forme également dans des tubes formés de files de cellules, mais celles-ci ont perdu entièrement leurs cloisons transversales, se sont **anastomosées** les unes avec les autres et forment une sorte de **réseau** ou **symplaste**.



#### **Laticifères articulés**

Des **cellules** placées bout à bout forment des laticifères dont les **cloisons transversales** ont persisté (**a**), se sont perforées (**b**) ou ont été complètement résorbées (**c**). D'après Camefort H. (1977) : Morphologie des végétaux vasculaires. Cytologie. Anatomie. Adaptations. Doin, Paris, 2<sup>ème</sup> édition.

## **IV- Glossaire propre au chapitre**

### **- Acide osmique**

Désigne l'anhydride osmique ou tétraoxyde d'osmium OsO<sub>4</sub>. Composé odorant, cristallin, utilisé comme colorant des graisses et fixateur de pièces histologiques.

### **- Agrumes**

Terme collectif désignant d'une part les arbres qui portent des fruits tels que les oranges, les mandarines, les citrons, c'est-à-dire pratiquement les arbres appartenant au genre *Citrus*, et d'autre part les fruits de ces mêmes arbres.

### **- Alcaloïde**

C'est un composé organique d'origine végétale, généralement alcalin. Il comporte au moins un atome d'azote, généralement dans un hétérocycle (cycle composé de carbone et d'azote). Les alcaloïdes les plus souvent cités sont : la quinine, la morphine, la cocaïne, la colchicine, l'éphédrine, l'atropine, la nicotine et la caféine.

### **- Anastomose**

Une anastomose est une connexion entre deux structures, organes ou espaces.

### **- Aromate**

L'aromate dérive d'une plante aromatique dégageant un arôme, une odeur, un goût ou une saveur aromatique.

### **- Calcaires**

Les calcaires sont des minéraux ou roches, composées majoritairement de carbonate de calcium (CaCO<sub>3</sub>), mais aussi de carbonate de magnésium (MgCO<sub>3</sub>).

### **- Canal sécréteur**

Un canal sécréteur, chez les plantes supérieures, distingue une cavité formée par l'écartement des cellules qui la bordent et qui reçoit leurs sécrétions.

**- *Caoutchouc***

Est un polymère élastique (polyisoprène), de formule chimique  $C_5H_8$  qui émerge sous la forme d'une émulsion laiteuse, le latex, dans la sève de plusieurs plantes, mais qui peut aussi être produite synthétiquement.

**- *Carbonate de calcium***

Un carbonate est un sel de l'acide carbonique, caractérisé par la présence de l'ion carbonate,  $CO_3^{2-}$ . Associé au calcium, le carbonate de calcium est le constituant essentiel des coquilles et des squelettes des animaux marins.

**- *Caséine [du latin caseus 'fromage']***

Les caséines sont des protéines qui constituent la majeure partie des composants azotés du lait. La première phase de la fabrication du fromage est leur précipitation par adjonction d'un acide ou de présure.

**- *Cénocyte ou Coenocyte***

Est une cellule multinucléée qui peut résulter de multiples divisions nucléaires sans effectuer de cytokinèse (séparation physique du cytoplasme dans deux cellules lors de la division cellulaire).

**- *Concrétion [du latin concrecere 'devenir solide']***

Une concrétion est l'épaississement par accumulation de matière, souvent en couches successives.

**- *Conifères ou Pinophyte***

Plantes vasculaires à graines portées par une structure en forme de cône. Les plus répandus sont les Cèdres, Cyprès, Sapins, Genévriers, Pins et Séquoias.

**- *Cristal***

Est un solide dont les constituants (atomes, molécules ou ions) sont assemblés de manière régulière. Par régulier, on veut généralement dire qu'un même motif est répété à l'identique un grand nombre de fois selon un réseau régulier.

**- *Cystolithe***

Est un amas de cristaux de carbonate de calcium dans les cellules du mésophylle des feuilles de certaines angiospermes.

**- *Émulsion***

Une émulsion est un mélange de deux liquides non miscibles de manière plus ou moins homogène. Beaucoup d'émulsions consistent à mettre une huile en suspension dans un liquide aqueux.

**- *Entomophile***

Une plante entomophile est un végétal qui bénéficie du concours d'insectes pour la pollinisation de ses fleurs.

**- *Epicarpe***

Désigne la couche la plus externe du péricarpe, de la peau des fruits.

**- *Essence***

Est un mélange de nombreux composés volatils odorant ou odoriférant, produit par des plantes aromatiques.

**- *Euphorbes***

Ce sont des plantes dicotylédones de la famille des Euphorbiacées. Elles possèdent des inflorescences particulières nommées cyathes. Ce sont des plantes toxiques, qui possèdent un latex parfois très irritant.

**- Excrétion**

Est l'élimination par un organisme des substances, notamment des déchets générés par l'activité métabolique.

**- Faisceau**

En tant qu'objet, un faisceau est un ensemble d'éléments longilignes liés ensemble.

**- Ferment**

Agent biologique catalyseur de la fermentation ou encore enzyme du catabolisme fermentaire.

**- Glande**

Est un organe ordinairement vésiculeux sécrétant et synthétisant des produits chimiques de nature variée, tant dans les animaux que les végétaux. Les glandes peuvent être unicellulaires ou pluricellulaires.

**- Gomme**

Identifie une substance visqueuse transparente qui s'écoule à l'extérieur du végétal généralement à la suite d'un traumatisme.

**- Herbivore**

Se dit d'un animal vertébré ou invertébré qui se nourrit uniquement d'herbes ou de feuilles de plantes.

**- Huile essentielle**

Est un mélange de molécules volatiles et aromatiques extraites de matières végétales, caractéristiques du parfum de la plante à partir de laquelle elle est extraite.

**- Idioblastes**

Ce sont des cellules spécialisées, pouvant contenir diverses substances notamment des cristaux de minéraux comme des molécules responsables de l'âcreté ou des oxalates ou carbonates ou silicates de calcium. Les paquets chimiques d'oxalate de calcium semblent ne pas avoir de fonction autre que celui de poison dissuasif envers les herbivores.

**- Latex**

Est une suspension aqueuse colloïdale composée de quelques graisses, de cires et diverses résines caoutchouteuses obtenues à partir du cytoplasme de cellules laticifères présentes dans certaines plantes. Il est souvent blanc, bien qu'il puisse aussi présenter des tons orangés, rougeâtres ou jaunâtres selon les espèces, et d'aspect laiteux.

**- Laticifère**

Représente une structure anatomique vivante formée de files cellulaires ou de tubes coenocytiques dans lesquels les vacuoles sont remplies de latex. Ce qui est laticifère contient du latex, telle une plante comme l'Hévéa.

**- Lithocystes**

Ce sont de grandes cellules, fortement modifiées et stockent des cristaux de carbonate de calcium.

**- Lysigène**

Qualifie des cavités, poches ou canaux sécréteurs formés à la suite d'une désorganisation ou d'une dissolution des cellules.

**- Macle**

Est une association orientée de plusieurs cristaux, reliés par une opération de groupe ponctuel de symétrie.

### - *Mucilages*

Le mucilage est une substance gluante polysidique, parfois liée à des protéines, de consistance généralement onctueuse ou gélatineuse. Certains mucilages sont des gélifiants qui absorbent l'eau pour former un gel visqueux utilisé pour protéger les tissus.

### - *Oxalate de calcium*

Est un sel de calcium de l'acide oxalique. Il est un composé chimique du groupe des oxalates qui, chez certaines plantes, forme des cristaux en forme d'aiguilles appelés raphides. Sa formule chimique est  $\text{CaC}_2\text{O}_4$  ou  $\text{Ca}(\text{COO})_2$ .

### - *Pétale*

Dans une fleur, un pétale désigne chacune des pièces stériles, en général voyant et coloré, de la corolle dans la partie inférieure du périanthe, entourant les organes reproducteurs de la plante.

### - *Poche sécrétrice*

Qualifie et identifie une cavité du parenchyme de certains organes, délimitée par des cellules sécrétrices qui y déversent leurs produits de sécrétion (essences, résines).

### - *Poil*

Est un filament fin, court de l'épiderme des végétaux, appelé également trichome. On distingue : les poils absorbants qui augmentent la surface d'absorption racinaire ; les poils urticants associés à une glande sécrétrice de substances urticantes (acide formique) ; les poils glanduleux sécréteurs d'essences ; et les poils tecteurs à rôle recouvrant et protecteur.

### - *Pollinisation*

Consiste en un transport du pollen à partir des étamines jusqu'aux stigmates, pour la fécondation des fleurs et la reproduction.

### - *Présure*

Est un coagulant du lait d'origine animale, formée d'enzymes actives dites chymosine et pepsine.

### - *Raphide*

On appelle raphide des cristaux en forme d'aiguilles composés d'oxalate de calcium présents dans de nombreuses cellules du parenchyme des angiospermes.

### - *Résine*

Désigne une sécrétion plus ou moins liquide, à base de terpénoïdes, en partie dissoute dans des essences. C'est aussi un mélange de substances organiques, d'aspect visqueux, sécrété par de nombreuses plantes, en particulier des conifères.

### - *Schizogène*

Qualifie des cavités, poches ou canaux sécréteurs nés de l'écartement de cellules sécrétrices.

### - *Schizolysigène*

Se dit des poches sécrétrices nées de l'écartement des cellules puis de la lyse des cellules en contact avec la lumière ainsi formée.

### - *Sécrétion*

Une sécrétion consiste en une production d'une substance spécifique par une cellule, un tissu ou un organe donné. Désigne également cette substance sécrétoire.

### - *Silice*

Est la forme naturelle du dioxyde de silicium ( $\text{SiO}_2$ ). La silice existe à l'état libre sous différentes formes cristallines ou amorphes, et combiné à d'autres oxydes dans les silicates.

**- Suc**

Le suc est un liquide organique extrait d'une substance végétale ou animale.

**- Symplaste**

Le symplaste désigne le continuum intracellulaire formé par les cellules végétales. Les cytoplasmes de cellules ainsi reliés ne forment alors qu'un seul compartiment partagé par toutes les cellules.

**- Tannins ou tanins**

Ce sont des métabolites secondaires, phénoliques, non azotés, solubles dans l'eau et non dans l'alcool ou les solvants organiques. Ce sont des substances amorphes très répandues dans le bois, l'écorce et les feuilles de nombreux végétaux, aptes à transformer la peau en cuir. Ils sont utilisés comme moyen de défense chimique contre les microbes pathogènes et les herbivores.

**- Terpène**

Est un métabolite secondaire membre d'une famille de produits hydrocarbonés rencontrés principalement dans les essences naturelles et les latex des végétaux. Les terpènes et les terpénoïdes peuvent être considérés comme des dérivés de l'isoprène.



# **Fiches illustrées des principaux types de tissus**

## Sommaire

### I- Méristèmes

I-1- Méristèmes primaires	115
I-2- Méristèmes secondaires / Cambium	116
I-3- Méristèmes secondaires / Phellogène	117

### II- Tissus de revêtement

II-1- Epiderme	118
II-2- Rhizoderme	119
II-3- Assise subéreuse & subéroïde	120
II-4- Phelloderme	121
II-5- Suber	122

### III- Tissus de remplissage

III-1- Parenchyme chlorophyllien	123
III-2- Parenchyme de réserve de métabolites	124
III-3- Parenchyme aquifère	125
III-4- Parenchyme aérifère	126
III-5- Parenchyme ligneux & parenchyme libérien	127

### IV- Tissus de soutien

IV-1- Collenchyme	128
IV-2- Sclérenchyme	129

### V- Tissus conducteurs

V-1- Xylème	130
V-2- Phloème	131
V-3- Bois	132
V-4- Liber	133

### VI- Tissus d'interface interne

VI-1- Endoderme	134
VI-2- Péricycle	135

## Sommaire (suite)

### VII- Tissus sécréteurs

<b>VII-1- Trichomes glandulaires</b>	<b>136</b>
<b>VII-2- Cellules sécrétrices isolées</b>	<b>137</b>
<b>VII-3- Poches &amp; canaux sécréteurs</b>	<b>138</b>
<b>VII-4- Laticifères</b>	<b>139</b>

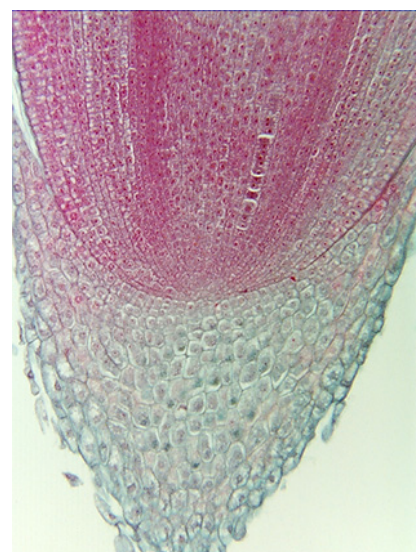
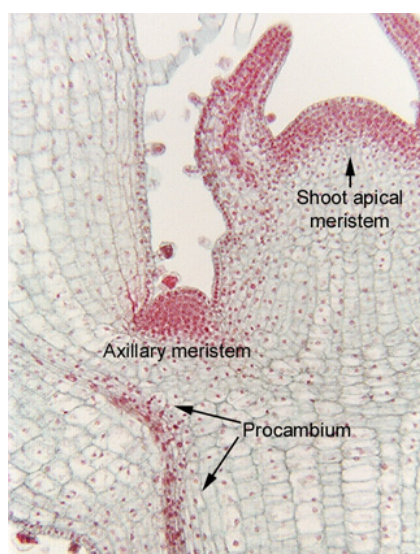
### Méristèmes primaires = Initiales

<b>Nature</b>	Tissu primaire.
<b>Caractéristiques</b>	Massif de cellules, petites, isodiamétriques et jointives.
<b>Aspect de la paroi</b>	Paroi cellulosique assez mince, riche en plasmodesmes.
<b>Localisation</b>	Apex de tige, de racine : méristèmes apicaux. Aisselle de feuilles : méristèmes axillaires. Dans les entrenœuds : méristèmes intercalaires.
<b>Fonction</b>	Mérèse : prolifération cellulaire. Formation de tissus primaires par différenciation. Auxèse : croissance en longueur d'organes.

### Clichés microscopiques

*Ci dessous microphotographies de portions de coupes longitudinales dans un méristème primaire de tige (Coleus sp.) à gauche et de racine (Zea mays) à droite. Les coupes ont été colorées pour la mise en évidence de mitoses.*

*Le méristème apical de racine n'a qu'un rôle histogène. Le méristème apical de tige localisé au niveau du bourgeon, a un double rôle, il forme des tissus (rôle histogène) et il est responsable de la formation de nouveaux organes (bourgeons, feuilles : rôle organogène). Il met régulièrement en place des primordiums axillaires, futurs bourgeons axillaires, de même organisation que le bourgeon apical mais localisés à l'aisselle des feuilles. Ils sont responsables de la croissance et de la ramification des tiges. Référence : [www.sbs.utexas.edu/mauseth/weblab/webchap3par/](http://www.sbs.utexas.edu/mauseth/weblab/webchap3par/)*



### Méristèmes secondaires / Cambium = Zone génératrice libéro-ligneuse

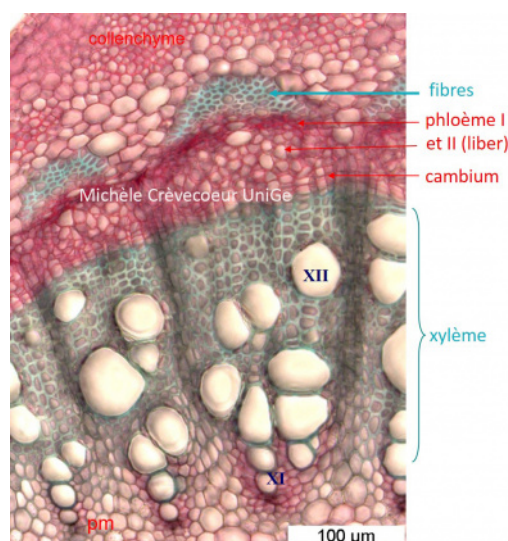
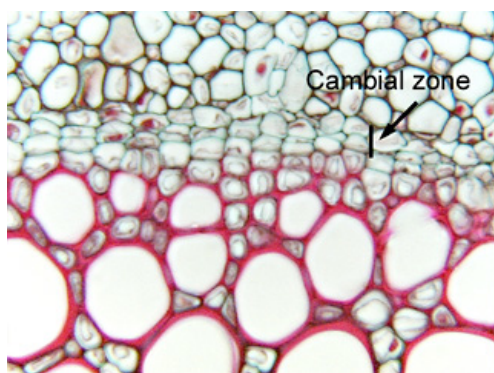
<b>Nature</b>	Tissu secondaire.
<b>Caractéristiques</b>	Cellules de section rectangulaire, alignées en files régulières.
<b>Aspect de la paroi</b>	Paroi fine purement cellulosique.
<b>Localisation</b>	Se met en place initialement entre xylème et phloème. En pleine activité, le cambium est repéré entre bois et liber. A l'intérieur des organes âgés de Dicotylédones.
<b>Fonction</b>	Mérèse : prolifération cellulaire. Formation de tissus conducteurs secondaires, bois et liber. Croissance en épaisseur des organes.

### Clichés microscopiques

Sur coupe, le cambium apparaît comme des couches superposées de cellules aplaties, de forme rectangulaire.

A **gauche**, une portion de coupe transversale réalisée dans une tige de l'Archangélique (*Angelica archangelica* L.) montrant le cambium entre le xylème (cellules colorées en rouge au bas de la microphotographie) et le phloème (cellules de haut). Il n'y a pas encore de tissus conducteurs secondaires. Référence : [www.sbs.utexas.edu/mauseth/weblab/webchap3par/3.2-5.htm](http://www.sbs.utexas.edu/mauseth/weblab/webchap3par/3.2-5.htm)

A **droite**, une portion de coupe transversale de tige de *Vitis vinifera* de deux ans, avec un cambium qui donne naissance aux tissus conducteurs secondaires : xylème II ou bois et phloème II ou liber. Référence : [www.unige.ch/sciences/biologie/bioveg/crevecœur/liens/meristem-es-secondaires/](http://www.unige.ch/sciences/biologie/bioveg/crevecœur/liens/meristem-es-secondaires/)



### Méristèmes secondaires / Phellogène = Zone génératrice subéro-phellodermique

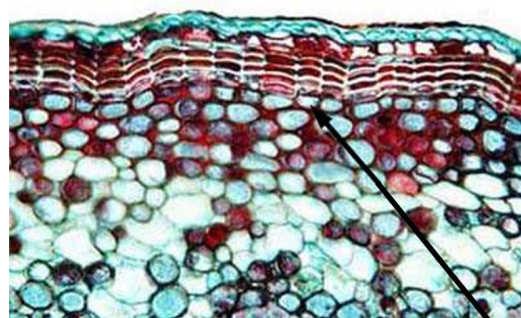
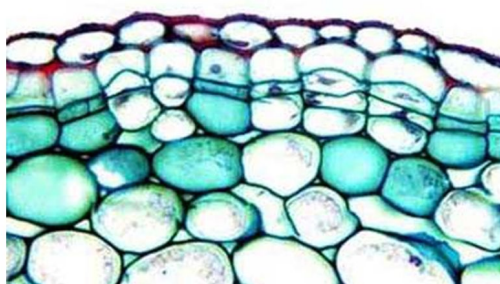
<b>Nature</b>	Tissu secondaire.
<b>Caractéristiques</b>	Cellules en forme de rectangle, aplaties et organisées en couches.
<b>Aspect de la paroi</b>	Paroi cellulosique fine.
<b>Localisation</b>	S'installe en position corticale des tiges et racines ligneuses. En activité, le phellogène est repéré entre suber et phelloderme. A la périphérie des organes âgés de Dicotylédones.
<b>Fonction</b>	Mérèse : prolifération cellulaire. Formation des enveloppes protectrices externes : périderme. Croissance en épaisseur des organes.

### Clichés microscopiques

*L'installation à la périphérie des organes, puis le fonctionnement du phellogène est plus tardif que celui du cambium.*

*Le phellogène s'installe grâce à la dédifférenciation de couches de cellules du parenchyme, situées juste sous l'épiderme. Sur une portion de coupe transversale réalisée au niveau d'une jeune tige de *Quercus alba*, on distingue nettement la mise en place d'une à deux files de petites cellules, de section rectangulaire, alignées parallèlement à la périphérie de l'organe (microphotographie de gauche).*

*A droite, une portion de tige en coupe transversale de la même espèce mais un peu plus âgée, montre l'installation vers la périphérie de 4 couches de cellules correspondant au liège ou suber, et vers l'intérieur d'une seule couche de cellules correspondant au phelloderme (voir flèche). L'ensemble des tissus, phellogène, phelloderme et suber constituent le périderme, tissu protecteur secondaire. Référence : [www.flickr.com/photos/146824358@N03/35975045073/in/photostream/](http://www.flickr.com/photos/146824358@N03/35975045073/in/photostream/)*





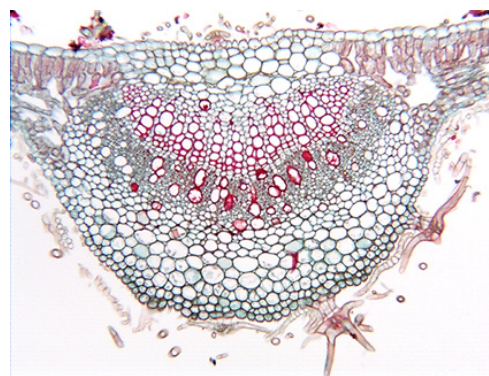
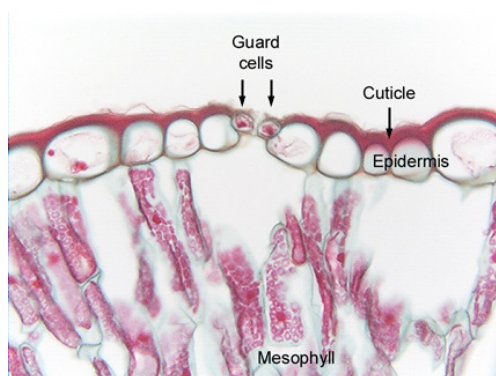
### Tissus de revêtement / Epiderme

<b>Nature</b>	Tissu primaire.
<b>Caractéristiques</b>	Cellules disposées souvent en une seule strate, jointives et de section plutôt rectangulaire. Présence possible localement de cellules ovoïdes plus petites, groupées par 2 en vis-à-vis : cellules de garde stomatiques. Certaines cellules émettent des excroissances (poils ou trichomes).
<b>Aspect de la paroi</b>	Paroi interne et latérale sont fines et typiquement cellulosiques. Paroi externe est souvent surmontée d'un niveau cireux : cuticule.
<b>Localisation</b>	Surface des organes aériens tant que les structures sous-jacentes sont primaires : jeune tige, feuille, fleur...
<b>Fonction</b>	Epiderme à cuticule : protège et réduit l'évapotranspiration. Stomates : réalisation et contrôle des échanges gazeux. Poils épidermiques : moyen de protection contre la dessiccation.

### Clichés microscopiques

L'épiderme observé en coupe transversale dans une portion de feuille de *Peucephyllum* (microphotographie de **gauche**) est constitué d'une seule couche de cellules jointives. La paroi de ces cellules en contact avec le milieu extérieur, est caractérisée par la présence d'une cuticule protectrice des tissus sous-jacents (mésophylle). Cette cuticule s'interrompt au niveau des cellules de garde des stomates, qui assurent un rôle essentiel dans les échanges gazeux.

Une coupe transversale réalisée dans une feuille d'*Elaeagnus* (microphotographie de **droite**), montre un revêtement dense de poils épidermiques ramifiés, de type tecteurs ou protecteurs. Ces poils tombent facilement, fragilisés ici par l'utilisation de lames de microtomes pour la réalisation de coupes anatomiques. Référence : [www.sbs.utexas.edu/mauseth/weblab/webchap10epi/](http://www.sbs.utexas.edu/mauseth/weblab/webchap10epi/)



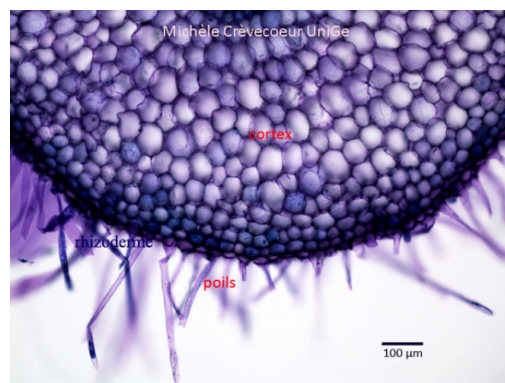
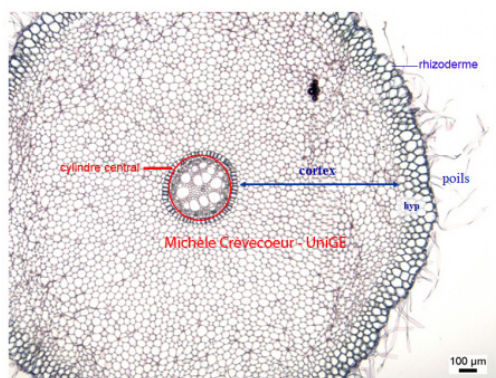
### Tissus de revêtement / Rhizoderme = Assise pilifère

<b>Nature</b>	Tissu primaire.
<b>Caractéristiques</b>	Cellules disposées en une couche unique et s'allongent ensuite pour accompagner la croissance en longueur de la racine. De longs poils absorbants de forme tubulaire, se différencient de la plupart des cellules par croissance latérale unipolaire.
<b>Aspect de la paroi</b>	Cellules à paroi mince typiquement cellulosique, dépourvues de cuticule et stomates.
<b>Localisation</b>	Couche externe des racines primaires jeunes : zone pilifère.
<b>Fonction</b>	Absorption de la solution hydrominérale du sol. Associations symbiotiques avec des bactéries fixatrices d'azote : nodosités ou actinorhizes.

### Clichés microscopiques

La coupe transversale (microphotographie de **gauche**) est réalisée au niveau de la zone pilifère d'une racine d'Iris, où l'on distingue des poils absorbants, excroissances des cellules du rhizoderme. En dessous de l'unique couche de cellules du rhizoderme, on note la présence d'un hypoderme (hyp) formé de 2 – 3 couches de cellules, un important cortex à parenchyme cortical et un petit cylindre central contenant des tissus conducteurs primaires. Référence : [www.unige.ch/sciences/biologie/bioveg/crevecœur/fiches-anatomie/anatomie-racine/racine-diris/](http://www.unige.ch/sciences/biologie/bioveg/crevecœur/fiches-anatomie/anatomie-racine/racine-diris/)

Colorée au bleu de toluidine, une portion de coupe transversale (microphotographie de **droite**) réalisée dans une racine de tournesol, montre un rhizoderme avec de nombreux poils absorbants. Référence : [www.unige.ch/sciences/biologie/bioveg/crevecœur/competences/coupes-la-lame-de-rasoir](http://www.unige.ch/sciences/biologie/bioveg/crevecœur/competences/coupes-la-lame-de-rasoir)



### Tissus de revêtement / Assise subéreuse & subéroïde

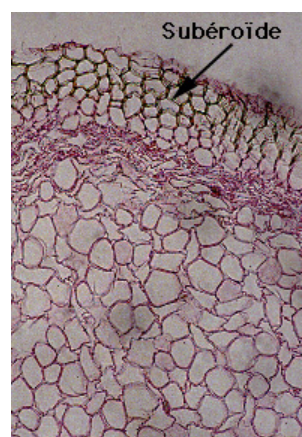
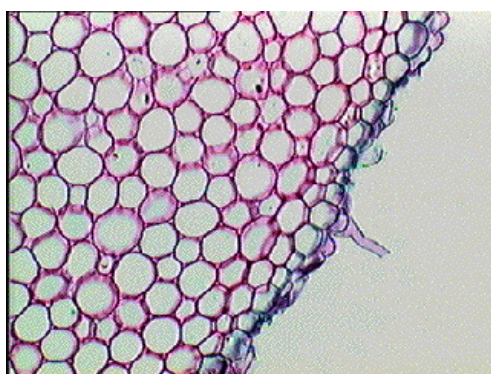
<b>Nature</b>	Tissu primaire.
<b>Caractéristiques</b>	Cellules plutôt géométriques, disposées en une couche unique (= assise subéreuse chez les Dicotylédones) ou sur 2 – 3 couches (= subéroïde chez les monocotylédones).
<b>Aspect de la paroi</b>	Paroi caractérisée par un dépôt de subérine.
<b>Localisation</b>	Couche externe de la zone subéreuse des racines primaires âgées.
<b>Fonction</b>	Protection mécanique en milieu souterrain. Structure limitant la déshydratation.

### Clichés microscopiques

*Juste au-dessus de la zone pilifère et à la chute des poils absorbants, le rhizoderme est remplacé par la couche sous-jacente de cellules corticales qui se subérifient et se différencient en :*

*Une assise subéreuse chez les Dicotylédones, formée d'une seule strate de cellules subérifiées. C'est le cas de la Ficaire (microphotographie de **gauche**), dont une portion de coupe transversale de la racine montre une assise subéreuse qui se forme sous les restes de l'assise pilifère. Référence : [resources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/biologie/01/CoursBV1/C-Tissus%20primaires/R\\_Ficaire\\_epid.html](https://resources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/biologie/01/CoursBV1/C-Tissus%20primaires/R_Ficaire_epid.html)*

*Un subéroïde chez les Monocotylédones, formé de plusieurs strates de cellules à parois subérifiées. C'est le cas de l'Iris (microphotographie de **droite**), dont une portion de coupe transversale de la racine montre les restes de l'assise pilifère (en rose) sur le subéroïde. Référence : [resources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/biologie/01/CoursBV1/C-Tissus%20primaires/Iris\\_suberoide.html](https://resources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/biologie/01/CoursBV1/C-Tissus%20primaires/Iris_suberoide.html)*

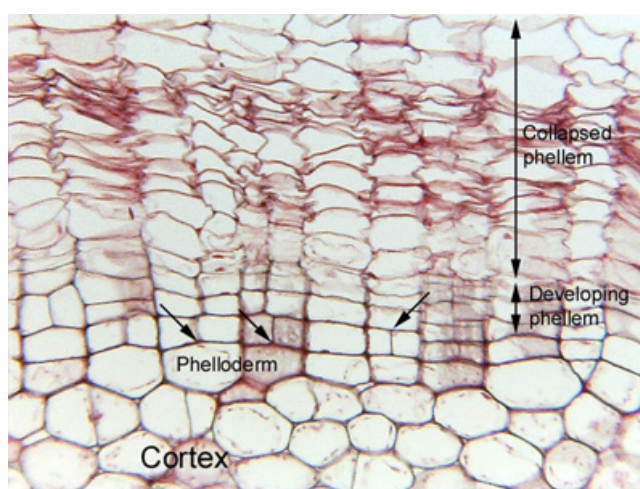


### Tissus de revêtement / Phelloderme

<b>Nature</b>	Tissu secondaire.
<b>Caractéristiques</b>	Cellules de section rectangulaire, alignées en une à deux couches maximum.
<b>Aspect de la paroi</b>	Paroi fine, typiquement cellulosique.
<b>Localisation</b>	Cellules alignées en position corticale avec celles du phellogène et situées en dessous. Tiges et racines secondaires des Dicotylédones.
<b>Fonction</b>	Un des éléments formant le périderme, dont le rôle est protecteur.

### Cliché microscopique

*Cette portion d'une coupe transversale réalisée au niveau d'une tige âgée de Gêranium (Pelargonium sp.), montre que le liège (dit ici phellem) est le tissu le plus externe. Il s'est installé au lieu et place de l'épiderme grâce à l'activité du phellogène (repéré ici par des flèches). Le liège est disposé en nombreuses couches de cellules. Les cellules les plus externes se vident à maturité, meurent et finissent par tomber (collapsed phellem). Vers l'intérieur, au dessous du phellogène s'est formé le phelloderme, un tissu réduit à une seule rangée de cellules chez Pelargonium sp. Les cellules de ce phelloderme sont plus grandes et ressemblent aux cellules du cortex, sauf que leurs parois sont plutôt aplaties au contact des cellules du phellogène. Référence : [www.sbs.utexas.edu/mauseth/weblab/webchap17bark/17.1-1.htm](http://www.sbs.utexas.edu/mauseth/weblab/webchap17bark/17.1-1.htm)*





### Tissus de revêtement / Suber = Liège = Phellème

<b>Nature</b>	Tissu secondaire.
<b>Caractéristiques</b>	Cellules mortes, de forme rectangulaire et très jointives. Plusieurs assises de cellules alignées.
<b>Aspect de la paroi</b>	Paroi des cellules imprégnée de subérine, d'où le nom de suber.
<b>Localisation</b>	Tissu qui s'installe en périphérie des tiges et racines ligneuses, juste au dessus des cellules du phellogène.
<b>Fonction</b>	Tissu de revêtement secondaire qui peut remplacer partiellement ou totalement l'épiderme. Principal élément formant le périderme, dont le rôle est protecteur. Croissance en épaisseur des organes.

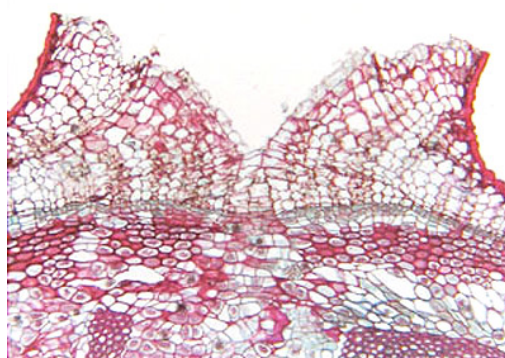
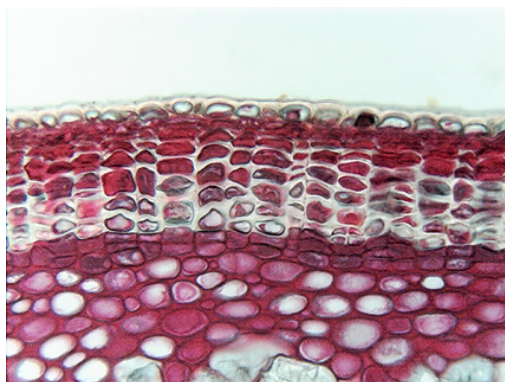
### Clichés microscopiques

Une portion de coupe transversale réalisée chez le chêne (*Quercus*, microphotographie de **gauche**), montre un suber formé de plusieurs couches de cellules alignées. Avant de mourir, des dépôts de tannins ont lieu dans les vacuoles centrales des cellules. Ils ont pour rôle de dissuader les insectes et autres de se nourrir du cortex, ce qui accroît la capacité de protection du périderme.

Le périderme correspond à l'écorce des arbres au sens courant mais, pour le botaniste, écorce est synonyme de cortex (dans les troncs, tout ce qui est à l'extérieur du cambium constitue donc l'écorce ou cortex).

Localement, le périderme présente généralement des zones ovoïdes où le liège est plus fin, les cellules moins jointives et qui permettent les échanges gazeux, il s'agit de lenticelles (détail d'une lenticelle de *Aristolochia* obtenue d'une coupe transversale ; microphotographie de **droite**).

Référence : [www.sbs.utexas.edu/mauseth/weblab/webchap17bark/](http://www.sbs.utexas.edu/mauseth/weblab/webchap17bark/)



### Tissus de remplissage / Parenchyme chlorophyllien = Chlorenchyme

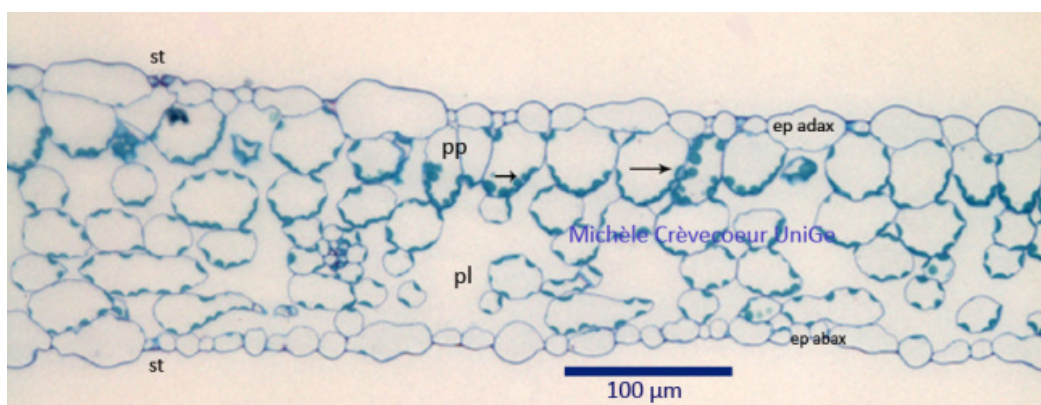
<b>Nature</b>	Tissu primaire.
<b>Caractéristiques</b>	Cellules d'allure ovoïde (quoique souvent avec une forme plutôt géométrique) ou allongée.
<b>Aspect de la paroi</b>	Paroi fine typiquement cellulosique, perforée de plasmodesmes.
<b>Localisation</b>	Exclusivement au niveau des organes aériens : tiges (modérément à peu chlorophyllien) et feuilles (souvent très chlorophyllien).
<b>Fonction</b>	Cellules pourvues de chloroplastes, réalisant la photosynthèse.

### Cliché microscopique

*Le parenchyme chlorophyllien ou chlorenchyme se situe dans les régions externes des tiges et dans les feuilles.*

*Une coupe transversale réalisée dans une feuille d'*Arabidopsis thaliana* et colorée au bleu de toluidine montre deux types de parenchymes : palissadique (pp) et lacuneux (pl) ; on parle de mésophylle. Dans les feuilles de dicotylédones, le mésophylle est généralement hétérogène : parenchyme chlorophyllien palissadique (partie supérieure, cellules allongées) et parenchyme chlorophyllien lacuneux (partie inférieure, cellules plus ou moins arrondies délimitant des lacunes aérifères). Dans les feuilles des monocotylédones, il est homogène.*

*Les cellules des deux parenchymes sont pourvues de chloroplastes colorés en bleu, bien visibles et répartis tout autour de la vacuole centrale de chacune des cellules parenchymateuses. Abréviations : ep adax, épiderme de la face adaxiale ; ep abax, épiderme de la face abaxiale ; st, stomates. Référence : [www.unige.ch/sciences/biologie/bioveg/crevecoeur/liens/parenchymes/](http://www.unige.ch/sciences/biologie/bioveg/crevecoeur/liens/parenchymes/)*





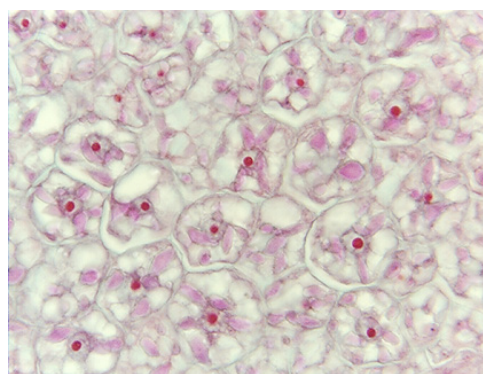
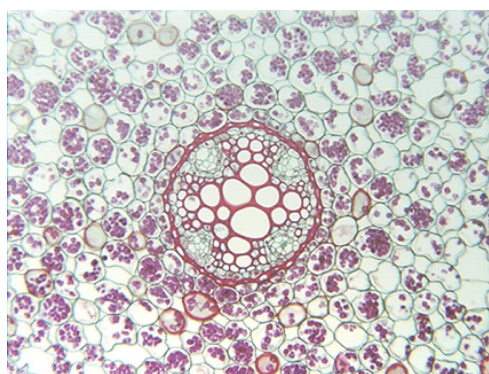
### Tissus de remplissage / Parenchyme de réserve de métabolites

<b>Nature</b>	Tissu primaire.
<b>Caractéristiques</b>	Cellules en général circulaires. La disposition non rayonnante conduit à la présence de méats.
<b>Aspect de la paroi</b>	Paroi fine typiquement cellulosique.
<b>Localisation</b>	Tout type d'organe (racines, tiges, feuilles, hypocotyles...).
<b>Fonction</b>	Stockage de substances variées sous forme d'amyloplast, protéoplast, oléoplast, grains d'aleurone, gouttelettes lipidiques ou glucides solubles (saccharose, inuline...).

### Clichés microscopiques

Une coupe transversale réalisée dans une racine de la renoncule (*Ranunculus*), montre un parenchyme cortical fort développé, occupant la majeure partie de l'espace réservé aux différents tissus racinaires (microphotographie de **gauche**). Les cellules de ce parenchyme présentent des décollements de la lamelle moyenne au niveau des angles, favorisant l'apparition de méats. Entre certaines cellules, on observe des méats agrandis et transformés en lacunes. A l'intérieur des cellules parenchymateuses, l'amidon est accumulé dans les amyloplast sous forme de grains d'amidon (coloré ici en violet). Ces amyloplast sont si abondants que les noyaux des cellules ne sont plus visibles.

La microphotographie de **droite**, montre des cellules d'une coupe réalisée dans les cotylédons d'une graine de haricot en germination. Les cellules de son parenchyme stockent à la fois des grains d'amidon (en rose) et des protéines (particules rondes incolores). Les noyaux détectés dans certaines cellules, correspondent aux masses grises entourant des nucléoles bien visibles (en rouge foncé). Référence : [www.sbs.utexas.edu/mauseh/web/lab/webchap3par/](http://www.sbs.utexas.edu/mauseh/web/lab/webchap3par/)



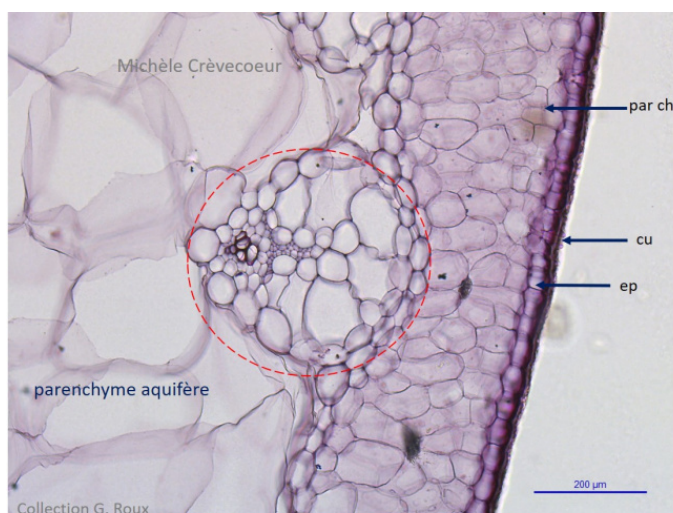
### Tissus de remplissage / Parenchyme aquifère = Aquechyme

<b>Nature</b>	Tissu primaire.
<b>Caractéristiques</b>	Cellules volumineuses de forme plutôt géométrique, à grandes vacuoles et riches en mucilages.
<b>Aspect de la paroi</b>	Paroi mince typiquement cellulosique.
<b>Localisation</b>	Tiges et feuilles des plantes grasses ou Malacophytes.
<b>Fonction</b>	Réserves d'eau. Adaptation aux milieux arides.

### Cliché microscopique

*L'aloès arborescent (Aloe arborescens) est une plante succulente (grasse), cultivée dans de nombreuses régions pour ses vertus médicinales. Ses feuilles sont très charnues, de couleur vert vif et leur limbe se rétrécit de la base vers le sommet donnant à la feuille une forme d'épée.*

*La microphotographie présentée (Collection de Georges Roux), illustre une portion de coupe transversale réalisée dans le limbe (coloration : safranine – hémalum). Le parenchyme aquifère occupe la partie centrale du limbe et est constitué de grandes cellules à paroi fine. Quelques couches de parenchyme chlorophyllien (par chl) sont observées entre l'épiderme (ep) cutinisé (cu) et le parenchyme aquifère. Les faisceaux conducteurs des nervures sont disposés à la limite des deux parenchymes assimilateur / aquifère. Les pointillés rouges entourent un faisceau conducteur avec le xylème vers le centre. Référence : [www.unige.ch/sciences/biologie/bioveg/crevecœur/fiches-anatomie/anatomie-feuilles/feuille-aloe/](http://www.unige.ch/sciences/biologie/bioveg/crevecœur/fiches-anatomie/anatomie-feuilles/feuille-aloe/)*



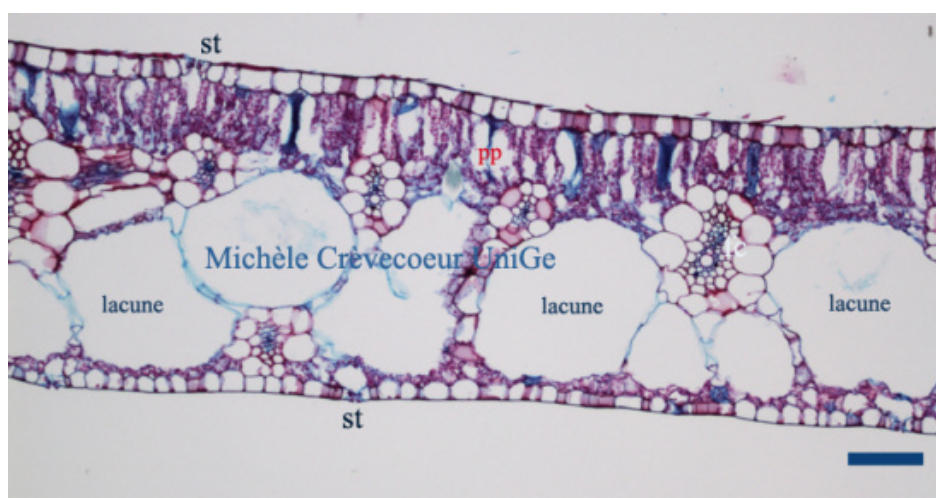
### Tissus de remplissage / Parenchyme aérifère = Aérenchyme

<b>Nature</b>	Tissu primaire.
<b>Caractéristiques</b>	Cellules organisées en files bordant des lacunes d'aspects variés.
<b>Aspect de la paroi</b>	Paroi fine typiquement cellulosique.
<b>Localisation</b>	Feuilles, tiges ou racines de plantes aquatiques (hydrophytes).
<b>Fonction</b>	Réserves d'air pour la photosynthèse et la respiration. Squelette hydrodynamique souple et élastique. Flottaison des organes immergés.

### Cliché microscopique

*La Jacinthe d'eau (Eichornia crassipes) est une plante aquatique vivace dont les tiges forment des tapis flottants denses. Ses feuilles oviformes à circulaires, sont cireuses et se tiennent bien au-dessus de la surface de l'eau sur des tiges. Ce sont les pétioles, renflés à la base, qui permettent à la plante de flotter.*

*La microphotographie représentée ci-dessous est une coupe paraffine transversale réalisée au niveau d'une feuille de Jacinthe d'eau. Des stomates (st) sont présents au niveau des épidermes des deux faces de la feuille. La cuticule des deux épidermes est très fine. La partie du mésophylle de la face de la feuille en contact avec l'eau est caractérisée par un aérenchyme bien marqué constitué de grandes lacunes bordées de files de petites cellules. Du parenchyme palissadique (pp) occupe la partie du mésophylle en contact avec l'air. Référence : [www.unige.ch/sciences/biologie/bioveg/crevecœur/liens/parenchymes/aerenchyme/](http://www.unige.ch/sciences/biologie/bioveg/crevecœur/liens/parenchymes/aerenchyme/)*



### Tissus de remplissage / Parenchyme ligneux & parenchyme libérien

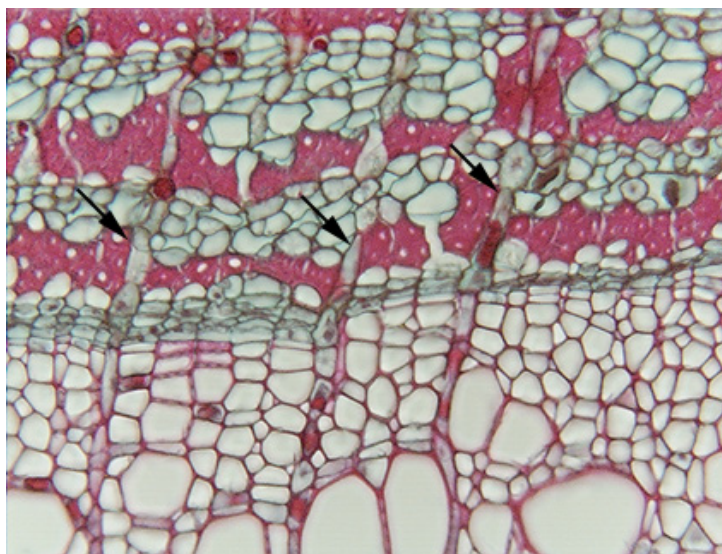
<b>Nature</b>	Tissu secondaire.
<b>Caractéristiques</b>	Cellules d'allure quadrangulaire, pas ou peu de méats.
<b>Aspect de la paroi</b>	Paroi fine, purement cellulosique ou lignifiée.
<b>Localisation</b>	Cellules localisées dans des rayons au sein des tissus conducteurs secondaires : bois et liber. Tiges ou racines secondaires.
<b>Fonction</b>	Rayon ligneux : réserve / soutien. Rayon libérien : réserve / drainage radial des substances stockées.

### Cliché microscopique

*Cette portion de coupe transversale de Tilleul, montre un cambium qui s'étend horizontalement (milieu de la microphotographie) et qui génère le liber (vers le **haut**) et le bois (vers le **bas**).*

*Du côté du liber, on distingue des bandes colorées en rouge foncé correspondant aux fibres libériennes. En alternance avec les bandes de fibres, se trouvent des tubes criblés et des cellules compagnes. Les rayons libériens formés de cellules de parenchyme sont indiqués par des flèches.*

*Du côté du bois, on distingue des vaisseaux conducteurs de différents diamètres. Dans le sens radial, les rayons libériens prolongent les rayons ligneux, eux-mêmes formés de cellules de parenchyme. Référence : [www.sbs.utexas.edu/mauseh/webch16secphloem/](http://www.sbs.utexas.edu/mauseh/webch16secphloem/)*





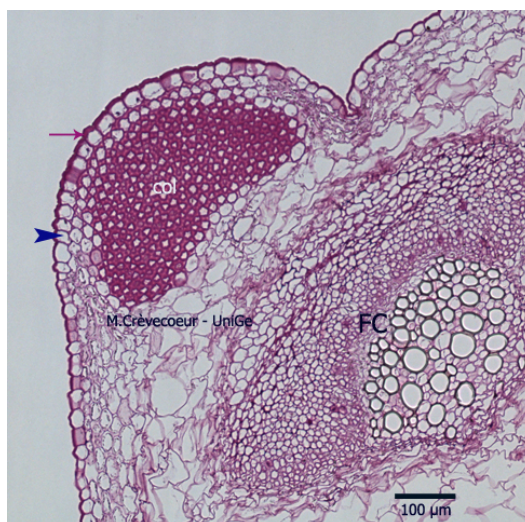
### Tissus de soutien / Collenchyme

<b>Nature</b>	Tissu primaire.
<b>Caractéristiques</b>	Cellules d'allure ovoïde (quoique souvent avec une forme plutôt géométrique) ou allongée, absence de méats entre cellules.
<b>Aspect de la paroi</b>	Paroi cellulosique épaissie de manière inégale, selon les cas, aux angles ou sur les parois tangentiellles.
<b>Localisation</b>	Position sous – épidermique de jeunes organes surtout aériens.
<b>Fonction</b>	Soutien.

### Cliché microscopique

*Le collenchyme est un tissu de soutien formé de cellules vivantes à paroi pectocellulosique secondaire épaisse (plusieurs couches de cellulose).*

*Portion d'une coupe paraffine transversale dans un pétiole de Céleri, coloré par la réaction à l'acide périodique de Schiff, qui permet de mettre en évidence des polysaccharides. Ainsi, les parois des différents tissus sont toutes colorées. La coloration est particulièrement intense au niveau du collenchyme en raison de l'épaississement cellulosique de la paroi de ce tissu de soutien (col) angulaire. Le collenchyme organisé sous forme d'un massif de plusieurs couches de cellules sans espaces entre elles est repéré sous l'épiderme (flèche bleue) cutinisé (flèche rose). Sous le collenchyme, on trouve le parenchyme cortical (pc) formé de grandes cellules à méats et vers le centre un faisceau conducteur (FC) avec le xylème. Référence : [www.unige.ch/sciences/biologie/bioveg/crevecœur/competences/coloration-des-polysaccharides/](http://www.unige.ch/sciences/biologie/bioveg/crevecœur/competences/coloration-des-polysaccharides/)*



### Tissus de soutien / Sclérenchyme

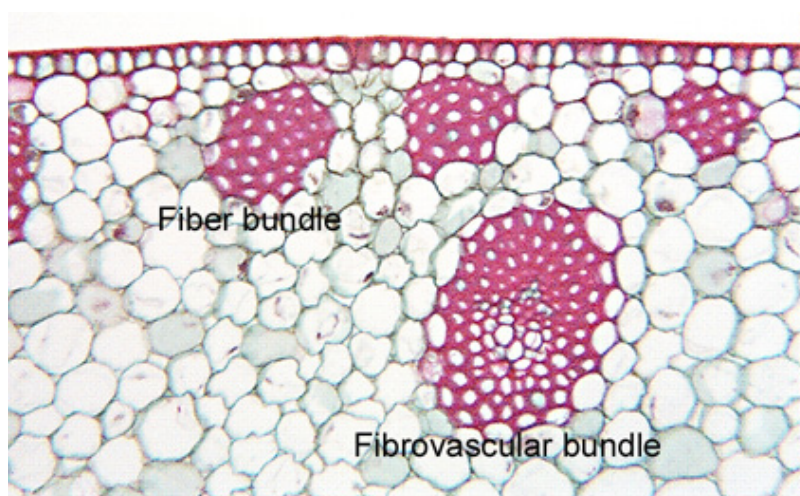
<b>Nature</b>	Tissu primaire.
<b>Caractéristiques</b>	Cellules d'allure souvent très géométrique, de calibre relativement constant et lumière réduite.
<b>Aspect de la paroi</b>	Parois régulièrement épaissies et lignifiées.
<b>Localisation</b>	Tous les organes surtout les organes aériens. En position interne, souvent proche des tissus conducteurs.
<b>Fonction</b>	Soutien.

### Cliché microscopique

*Une portion de coupe transversale réalisée dans une feuille de Dracaena, montre à la fois du sclérenchyme et du parenchyme. Le sclérenchyme est représenté ici par des amas séparés de faisceaux de fibres (fiber bundle), localisés au niveau du cortex, juste sous l'épiderme.*

*Plus au centre de la portion de coupe, d'autres faisceaux de fibres entourent des tissus conducteurs (fibrovascular bundle), créant une sorte de gaine solide tout autour.*

*Les cellules du sclérenchyme sont serrées et ne laissent pas entrevoir d'espace intercellulaire entre elles. Leurs parois sont épaissies par des dépôts de lignine, d'où la couleur rouge (colorant safranine) qui les distinguent des parois primaires cellulotiques des cellules du parenchyme, qui se colorent en vert (double colorant safranine / vert rapide). Les cellules de l'épiderme sont colorées en rouge à cause de la présence de la couche de cuticule contenant des cutines. Référence : [www.kbg.fpv.ukf.sk/studium\\_materialy/morfologia\\_rastlin/webchap5scler/5.3-17.htm](http://www.kbg.fpv.ukf.sk/studium_materialy/morfologia_rastlin/webchap5scler/5.3-17.htm)*





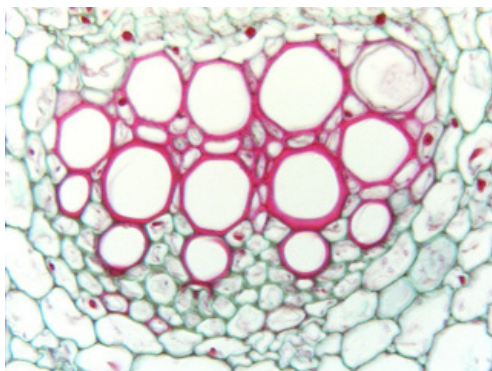
### Tissus conducteurs / Xylème

<b>Nature</b>	Tissu primaire.
<b>Caractéristiques</b>	Cellules ovoïdes. Leur diamètre n'est jamais constant ; il s'accroît du protoxylème, région où la différenciation a été précoce, au métaxylème, région à différenciation plus tardive.
<b>Aspect de la paroi</b>	Cellules à parois régulièrement épaissies et lignifiées.
<b>Localisation</b>	Tous les organes. La position interne ou externe du protoxylème et du métaxylème dépend du type d'organe et de sa position systématique.
<b>Fonction</b>	Tissu conducteur de la sève brute (eau + sels minéraux).

### Clichés microscopiques

Une portion de coupe transversale réalisée au niveau d'un faisceau vasculaire de Tournesol (*Helianthus*), montre des éléments conducteurs de tailles différentes. Ceux formant le protoxylème (en **bas** de la microphotographie de **gauche**) ont un petit calibre. Ce sont les premiers éléments qui se différencient à un niveau où l'élongation des cellules n'est pas achevée. Les vaisseaux formant le métaxylème sont plus larges et leurs parois sont plus rigides (en **haut** de la microphotographie de **gauche**).

C'est aussi ce que l'on observe au plus grand grossissement, dans la portion de coupe transversale réalisée chez *Vitis* (Microphotographie de **droite**). Les vaisseaux (indiqués par des V) sont pour certains, dix fois plus larges que d'autres, permettant une plus forte capacité de circulation de la sève brute. Les vaisseaux sont entourés d'éléments non conducteurs, des fibres pour assurer le soutien et des parenchymes ligneux pour la mise en réserve et la protection. Référence : [www.sbs.utexas.edu/mauseth/weblab/webchap7xylem/](http://www.sbs.utexas.edu/mauseth/weblab/webchap7xylem/)



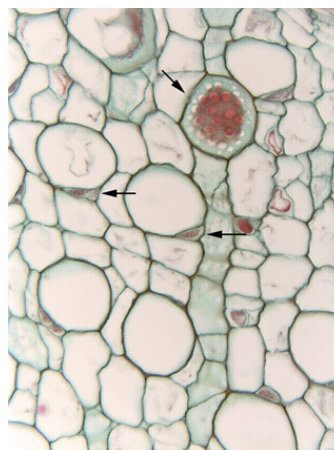
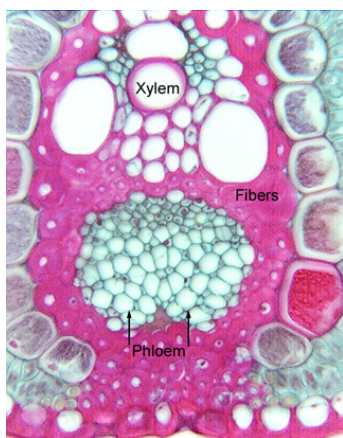
### Tissus conducteurs / Phloème

<b>Nature</b>	Tissu primaire.
<b>Caractéristiques</b>	Cellules ovoïdes, assez petites et groupées en massifs. A chaque cellule ou tube criblé est accolée en principe une cellule compagne.
<b>Aspect de la paroi</b>	Paroi fine purement cellulosique, percée de ponctuations rassemblées en cribles.
<b>Localisation</b>	Proche du xylème. Le phloème s'associe au xylème pour former des faisceaux cribro-vasculaires dans les organes aériens. Phloème et xylème en massifs alternés dans les racines.
<b>Fonction</b>	Tissu conducteur de la sève élaborée (matière organique).

### Clichés microscopiques

Une portion de coupe transversale d'une feuille de monocotylédone (*Botelua*), montre un faisceau cribro-vasculaire typique. Il est constitué d'un xylème (en **haut** de la microphotographie de **gauche**) superposé au phloème (en **bas** de la microphotographie de **gauche**). Le phloème comprend de larges cellules qui sont des éléments de tubes criblés et de petites cellules qui sont les cellules compagnes (vivantes et à noyaux). Le faisceau est entouré de fibres pour le soutien.

La paroi des cellules est percée par endroits de ponctuations, groupées dans des plages qui ont l'apparence de cribles. C'est ce qui est observé chez *Cucumis sativus* (flèche en diagonale en **haut** de la microphotographie de **droite**). Au coin des cellules criblées, on aperçoit des cellules compagnes (2 flèches horizontales en **bas** de la microphotographie de **droite**). Référence : [www.sbs.utexas.edu/mauseth/web/lab/webchap8phloem/](http://www.sbs.utexas.edu/mauseth/web/lab/webchap8phloem/)



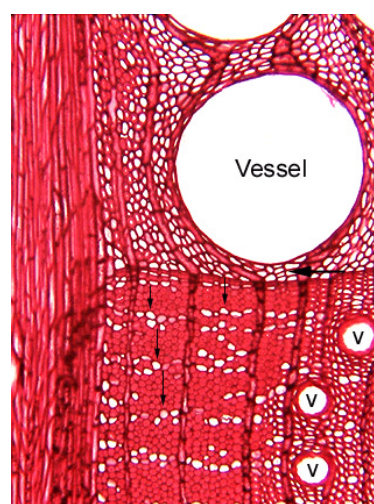
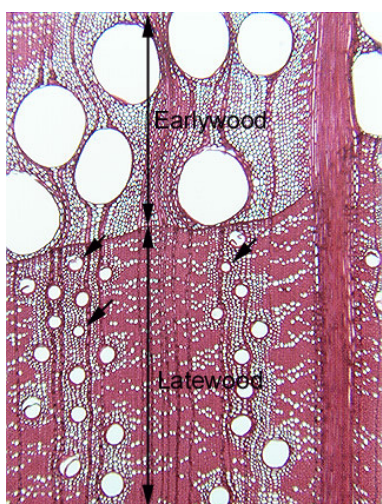
### Tissus conducteurs / Bois = Xylème secondaire

<b>Nature</b>	Tissu secondaire.
<b>Caractéristiques</b>	Tissu formé de vaisseaux, parenchyme ligneux et fibres ligneuses. Vaisseaux aux mêmes caractéristiques que dans le xylème et leur diamètre varie en fonction de la saison.
<b>Aspect de la paroi</b>	Cellules aux parois régulièrement épaissies et lignifiées.
<b>Localisation</b>	Tous les organes secondaires. Disposition au-dessous du cambium.
<b>Fonction</b>	Circulation de la sève brute (vaisseaux) + soutien (fibres ligneuses) + réserves (parenchymes ligneux).

### Clichés microscopiques

Une coupe transversale réalisée dans une tige ligneuse du Chêne (*Quercus*) montre une portion du bois à la limite de deux cernes distincts (microphotographie de **gauche**). Dans sa partie inférieure, le bois dit tardif (latewood), assez sombre de l'année d'avant a été mis en place en automne avant l'arrivée de la mauvaise saison. Le diamètre des vaisseaux est faible. Dans sa partie supérieure, on observe le bois précoce (earlywood), plus clair de la nouvelle année. Il a été mis en place à la reprise de la vie active au printemps. Les vaisseaux ont un diamètre plus important.

La même portion de coupe est observée à plus fort grossissement (microphotographie de **droite**). Elle distingue entre des vaisseaux (vessel - v) de diamètre variable en fonction de la saison, des cellules du parenchyme ligneux allongées verticalement et radialement (voir flèches verticales) et des fibres ligneuses disposées parallèlement aux vaisseaux. Référence : [www.sbs.utexas.edu/mauseth/weblab/webchap15wood/15.3-9.htm](http://www.sbs.utexas.edu/mauseth/weblab/webchap15wood/15.3-9.htm)



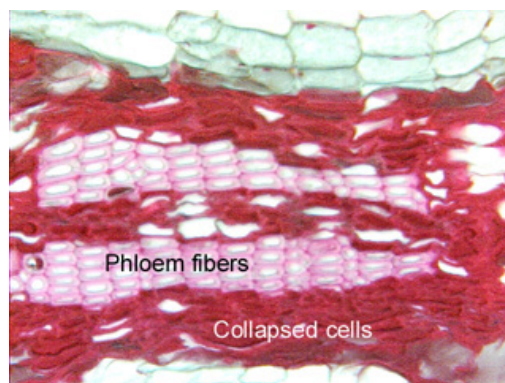
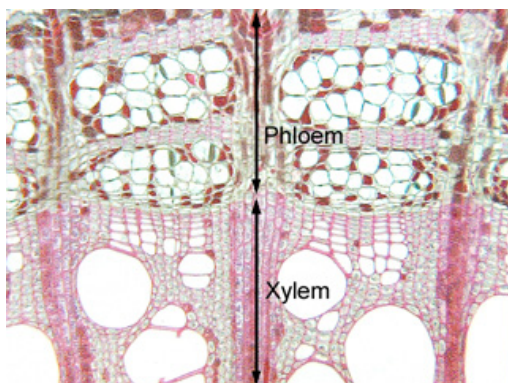
### Tissus conducteurs / Liber = Phloème secondaire

<b>Nature</b>	Tissu secondaire.
<b>Caractéristiques</b>	Tissu formé de tubes criblés accompagnés de cellules compagnes, du parenchyme libérien et fibres libériennes. Cellules aux mêmes caractéristiques que celles du phloème, quoique plus nombreuses, alignées et davantage rectangulaires.
<b>Aspect de la paroi</b>	Paroi des tubes criblés cellulosique, modérément épaissie.
<b>Localisation</b>	Tous les organes secondaires. Disposition au-dessus du cambium.
<b>Fonction</b>	Circulation de la sève élaborée (éléments conducteurs) + soutien (fibres) + réserves (parenchyme libérien).

### Clichés microscopiques

La microphotographie de **gauche** montre une portion de coupe transversale réalisée dans une tige âgée de *Vitis*. Elle montre du bois (xylème secondaire) et du liber (phloème secondaire) disposés de part et d'autre du cambium. Les éléments conducteurs du liber sont larges et organisés en massifs entourés de fibres libériennes. Les toutes petites cellules (colorées en rouge) qui accompagnent les éléments conducteurs, visibles ici dans cet exemple à la fois au niveau du liber et du bois, ne sont pas des cellules compagnes. Il s'agit de cellules qui mettent en réserve des tannins. Les vraies cellules compagnes sont assez minuscules, à peine visibles dans le liber et sont absentes du bois.

La microphotographie de **droite** montre une portion de coupe transversale réalisée dans une tige de la même espèce mais encore plus âgée. Le liber constitué de tubes criblés et de cellules compagnes n'apparaît plus comme précédemment. Un effondrement des cellules en des masses colorées en rouge foncé, s'est produit. Les fibres libériennes ne subissent pas le même sort. Elles restent visibles à cause de leurs parois épaisses et lignifiées. Référence : [www.sbs.utexas.edu/mauseth/web/lab/webchap8phloem/](http://www.sbs.utexas.edu/mauseth/web/lab/webchap8phloem/)





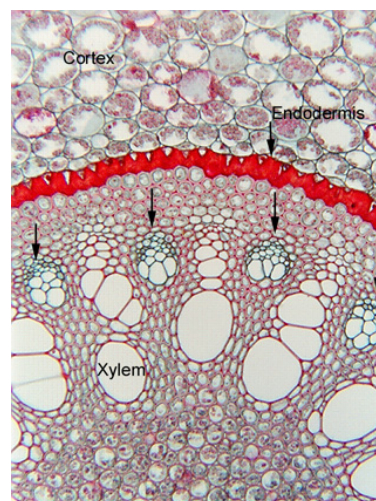
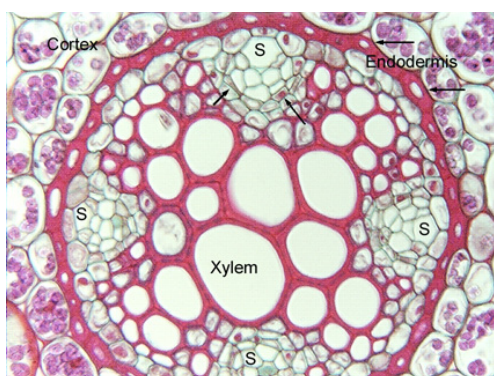
### Tissus d'interface interne / Endoderme

<b>Nature</b>	Tissu primaire.
<b>Caractéristiques</b>	Monocouche de cellules.
<b>Aspect de la paroi</b>	Parois épaissies d'un revêtement de subérine et parfois de lignine. 2 motifs de dépôts : un cadre de lignosubérine sur les parois radiales et transversales (Dicotylédones) ou un épaississement en forme de U sur les parois internes et radiales (Monocotylédones).
<b>Localisation</b>	Assise la plus profonde du cortex, autour de la stèle des racines.
<b>Fonction</b>	Revêtement imperméable, imposant un passage symplasmique de l'eau et des sels minéraux quand ils atteignent la stèle.

### Clichés microscopiques

La microphotographie de **gauche** montre une portion de coupe transversale de racine d'une Dicotylédone (*Ranunculus*). L'endoderme qui fait suite au parenchyme cortical de réserve (cortex), correspond à une assise monostratifiée de cellules, présentant un épaississement en forme de cadre de ligno-subérine sur les parois radiales et transversales. L'endoderme entoure la stèle formée de xylème et du phloème (voir S) accompagné de cellules compagnes (voir flèches).

La microphotographie de **droite** montre une portion de coupe transversale de racine d'une Monocotylédone (*Smilax*). L'endoderme est une assise monostratifiée de cellules, présentant cette fois-ci un épaississement de ligno-subérine sur les parois internes et radiales (forme de U). Sous l'endoderme, on y distingue des couches de fibres pour le soutien, du xylème et du phloème (voir flèches). La moelle est représentée par un parenchyme médullaire à cellules sclérifiées. Référence : [www.sbs.utexas.edu/mauseth/web/lab/webchap8phloem/](http://www.sbs.utexas.edu/mauseth/web/lab/webchap8phloem/)



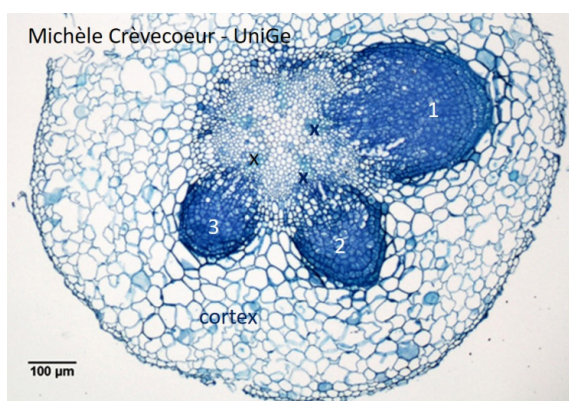
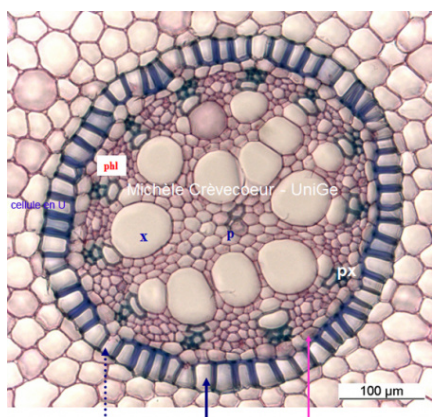
### Tissus d'interface interne / Péricycle

<b>Nature</b>	Tissu primaire.
<b>Caractéristiques</b>	Cellules de type parenchymateux, de forme variable, formant une couche.
<b>Aspect de la paroi</b>	Paroi plutôt fine, purement cellulosique.
<b>Localisation</b>	Située juste sous l'endoderme. Première couche de cellules la plus externe de la stèle des racines.
<b>Fonction</b>	Participe à la formation des racines secondaires par dédifférenciation (mise en place d'un méristème secondaire).

### Clichés microscopiques

La microphotographie de **gauche** montre une portion de coupe transversale réalisée dans une racine d'Iris (Monocotylédone). On y observe le péricycle (flèche rose) collé à l'endoderme en U (flèche bleue pleine) et quelques cellules à parois non épaissies appelées cellules de passage (flèche bleue en pointillés). Au centre, on reconnaît le protoxylème (px), le métaxylème (x), le phloème (phl) et le parenchyme médullaire (p). Référence : [www.unige.ch/sciences/biologie/bioveg/crevecœur/liens/fiches-anatomie/anatomie-racine/racine-diris/](http://www.unige.ch/sciences/biologie/bioveg/crevecœur/liens/fiches-anatomie/anatomie-racine/racine-diris/)

Le péricycle est à l'origine de la formation des racines latérales. Les cellules se dédifférencient et retournent à l'état de méristèmes. Le massif méristématique se développe et forme une extrusion dans le parenchyme cortical pour arriver ensuite jusqu'à l'extérieur formant alors une racine latérale apparente. C'est ce qui est illustré dans cette portion de coupe transversale de racine d'une Dicotylédone (microphotographie de **droite**). On observe l'initiation de 3 racines latérales (nommées 1, 2 et 3) face aux pôles de xylème (x). Référence : [www.unige.ch/sciences/biologie/bioveg/crevecœur/liens/meristememes-primaires/peric/](http://www.unige.ch/sciences/biologie/bioveg/crevecœur/liens/meristememes-primaires/peric/)





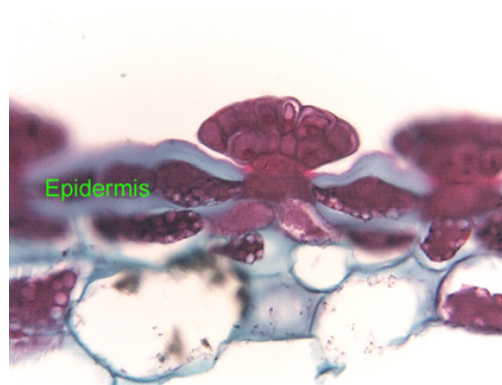
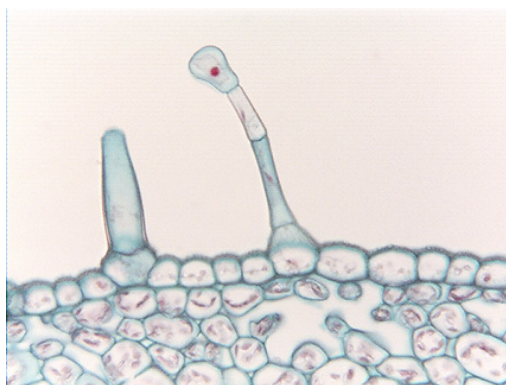
### Tissus sécréteurs / Trichomes glandulaires

<b>Nature</b>	Tissu primaire.
<b>Caractéristiques</b>	Fines excroissances ou appendices unicellulaires ou pluricellulaires, de différentes formes.
<b>Aspect de la paroi</b>	Parois cellulosesiques, cuticule mince et peut être séparée de la paroi car elle présente une forte concentration de pectine en dessous.
<b>Localisation</b>	Excroissance d'origine épidermique sur les pétales, feuilles et tiges.
<b>Fonction</b>	Pouvoir sécréteur, fonction principalement défensive.

### Clichés microscopiques

La microphotographie de **gauche** montre une portion de coupe transversale de tige de *Digitalis purpurea*. On y observe une structure sécrétrice appelée trichome glandulaire ou poil glandulaire, édifiée en une sorte de pédicule qui se termine par une tête sécrétrice. L'axe représenté est assez court et la cellule sécrétrice est unicellulaire. Le produit de sécrétion est accumulé soit au niveau de la vacuole de la cellule sécrétrice, soit entre la paroi cellulaire et la cuticule. La cuticule très fine ne peut être observée dans cet exemple.

La microphotographie de **droite** montre une portion de coupe transversale de feuille de *Dionaea muscipula*, une plante carnivore attrape-mouches. La face supérieure de chacun des deux lobes formant le limbe est recouverte de glandes digestives, tel que illustré ici. Chacune des glandes est portée par un très court pédicule de quelques cellules seulement et d'une large tête formée de plusieurs cellules en deux couches. La proie une fois attirée par le nectar produit par les glandes sécrétrices du pourtour du limbe, le piège se referme grâce à des poils sensitifs qui se plient dès qu'il y a contact. La digestion qui s'ensuit, est réalisée par des enzymes protéolytiques libérées par les glandes digestives. Référence : [www.sbs.utexas.edu/mauseth/web/lab/webchap9secretory/](http://www.sbs.utexas.edu/mauseth/web/lab/webchap9secretory/)



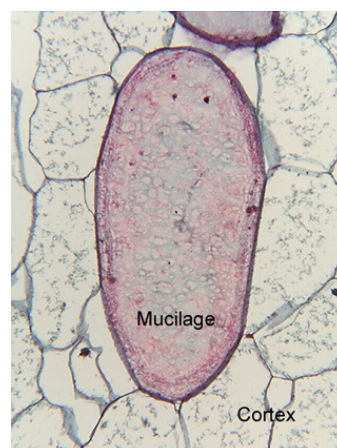
### Tissus sécréteurs / Cellules sécrétrices isolées

<b>Nature</b>	Tissu primaire.
<b>Caractéristiques</b>	Simplex cellules sécrétrices isolées.
<b>Aspect de la paroi</b>	Paroi cellulosique.
<b>Localisation</b>	Sous l'épiderme et dans les parenchymes cortical et/ou médullaire de différents organes : racines, feuilles, tiges et organes floraux.
<b>Fonction</b>	Pouvoir sécréteur et de mise en réserve. Rôle de défense

### Clichés microscopiques

La microphotographie de **gauche** montre une portion de coupe transversale réalisée au niveau d'une feuille de *Magnolia*. Cette feuille présente des cellules isolées au niveau du tissu parenchymateux, capables de sécréter et de stocker dans leurs vacuoles des huiles essentielles (oil cell). Il s'agit d'un système de sécrétion extrêmement simple. Les cellules sécrétrices ne se regroupent pas et sont différentes des autres cellules formant les tissus foliaires visibles dans cette portion de coupe (parenchymes palissadique et lacuneux).

La microphotographie de **droite** montre une portion de coupe transversale de tige d'un *Cactus* (*Matucana grandiflora*). On y observe une cellule volumineuse dont tout le volume est occupé par un mucilage, un composé visqueux fixé en rouge ici. Le mucilage est un moyen d'adaptation à la sécheresse chez les Cactacées, sa fonction est de se lier à l'eau et l'empêcher de s'évaporer. La paroi de la cellule sécrétrice est primaire et mince, mais suffisamment compacte pour empêcher le mucilage de s'échapper dans les espaces intercellulaires. A force d'accumuler le mucilage, le cytoplasme se réduit puis disparaît complètement et la cellule sécrétrice meurt. Référence : [www.sbs.utexas.edu/mauseth/web/lab/webchap9secretory/](http://www.sbs.utexas.edu/mauseth/web/lab/webchap9secretory/)



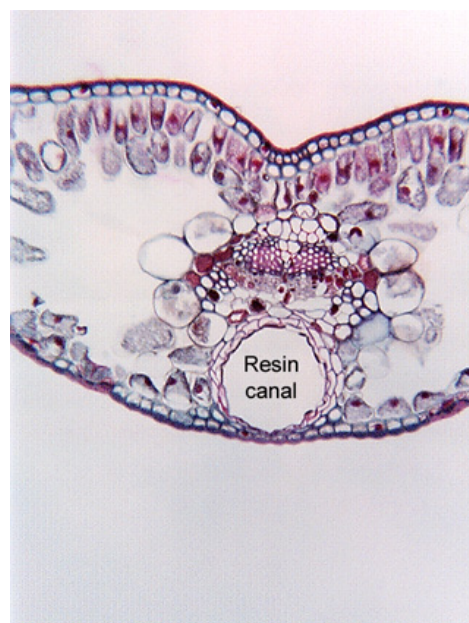
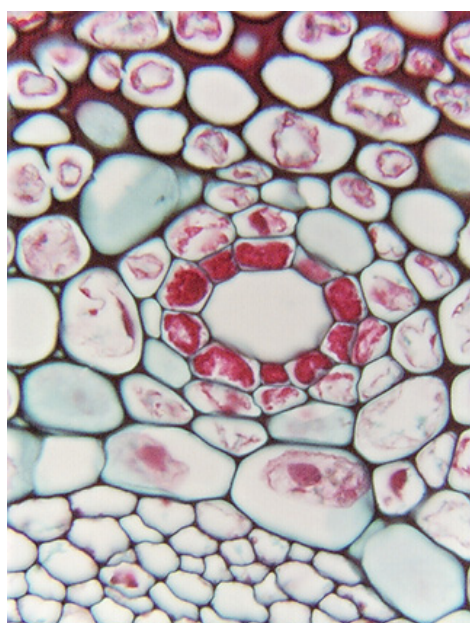
### Tissus sécréteurs / Poches & canaux sécréteurs

<b>Nature</b>	Tissu primaire.
<b>Caractéristiques</b>	Cellules sécrétrices de type parenchymateux, libérant leur contenu dans le méat.
<b>Aspect de la paroi</b>	Paroi cellulosique.
<b>Localisation</b>	Sous l'épiderme et dans le parenchyme de différents organes.
<b>Fonction</b>	Pouvoir sécréteur de substances diverses libérées dans le méat.

### Clichés microscopiques

La microphotographie de **gauche** montre une portion de coupe transversale réalisée au niveau d'une tige d'*Artemisia*. On y observe une large cavité sphérique au sein du parenchyme, délimitée tout autour par des cellules sécrétrices. Ces cellules présentent un contenu coloré abondant, susceptible d'être libéré dans la lumière.

La microphotographie de **droite** montre une portion de coupe transversale de feuille d'un arbre conifère (*Tsuga caroliniana*). On y distingue un canal sécréteur de résine situé à côté du faisceau vasculaire, juste à l'extérieur du phloème. Il est composé d'une assise de cellules à parois minces, qui sécrètent de la résine et la rejettent dans la cavité centrale du canal. Référence : [www.sbs.utexas.edu/mauseeth/weblab/webchap9secretory/](http://www.sbs.utexas.edu/mauseeth/weblab/webchap9secretory/)



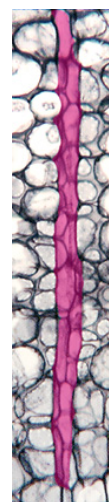
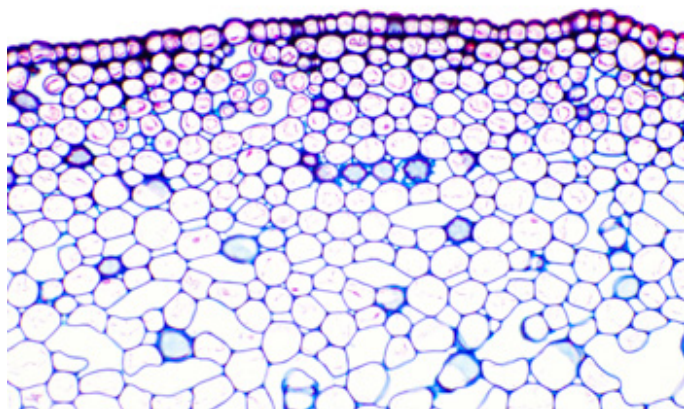
### Tissus sécréteurs / Laticifères

<b>Nature</b>	Tissu primaire.
<b>Caractéristiques</b>	Unique cellule qui s'allonge indéfiniment, se ramifie, sans présenter de cloisons transversales ou encore une file de cellules placées bout à bout et dont les cloisons transversales se sont perforées ou complètement résorbées.
<b>Aspect de la paroi</b>	Paroi cellulosique.
<b>Localisation</b>	Un laticifère est un long tube qui peut s'étendre d'un bout de la plante à l'autre.
<b>Fonction</b>	Sécrétion du latex.

### Clichés microscopiques

La microphotographie de **gauche** correspond à une coupe transversale réalisée dans une tige d'Euphorbe. On observe dans le parenchyme cortical, ce qui semble être des cellules colorées en bleu (colorant Etzold bleu), de forme ronde et d'aspect ordinaire. Il s'agit de canaux laticifères coupés transversalement. Référence : [www.nirgal.net/microscopie/microscopie.html](http://www.nirgal.net/microscopie/microscopie.html)

En coupe longitudinale (microphotographie de **droite**), le laticifère apparaît comme une longue cellule en forme de tube (coloré en rouge pour le rendre visible), sans cloisons transversales, mais présentant de nombreux noyaux (non apparents ici). On y distingue des cellules du parenchyme qui s'enfoncent légèrement dans cette cellule allongée verticalement. La coupe longitudinale doit être assez épaisse pour avoir la chance autant que possible de mettre en évidence un laticifère, d'où l'apparence tridimensionnelle des cellules du parenchyme qui accompagnent ce long tube. Référence : [www.sbs.utexas.edu/mauseh/web/lab/webchap9secretory/9.2-1.htm](http://www.sbs.utexas.edu/mauseh/web/lab/webchap9secretory/9.2-1.htm)



# Ouvrages consultés



## **Ouvrages consultés**

**Boutin V., Geray L., Krauss Y. & Vilbert C.** (2015). Atlas de Biologie BCPST 1<sup>ère</sup> et 2<sup>ème</sup> années. *Concours Ecoles d'Ingénieurs, Dunod, Paris*, 96 pages.

[ISBN 978-2-1007-2968-5](#)

**Breuil M.** (2007). Biologie 1<sup>ère</sup> année BCPST-Véto. *Collection Références Prépas, Editeur Tec & Doc, Lavoisier, Paris*, 1135 pages.

[ISBN 978-2-7430-0902-1](#)

**Breuil M.** (2009). Biologie 2<sup>ème</sup> année BCPST-Véto. *Collection Références Prépas, Editeur Tec & Doc, Lavoisier, Paris*, 818 pages.

[ISBN 978-2-7430-1158-1](#)

**Camefort H.** (1972). Morphologie des végétaux vasculaires : Cytologie, anatomie, adaptation. *Editeur Doin, Paris*, 2<sup>ème</sup> édition revue et complétée, 409 pages.

[ASIN B001D32FGK](#)

**Camefort H. & Boué H.** (1980). Reproduction et biologie des végétaux supérieurs : bryophytes, ptéridophytes, spermaphytes. *Collection Biologie, Editeur Doin, Paris*, 2<sup>ème</sup> édition revue et complétée, 436 pages.

[ISBN 2-7040-0380-7](#)

**Campbell N.A., Reece J.B., Urry L.A., Cain M.L., Wasserman S.A., Minorsky P.V. & Jackson R.B.** (2012). Biologie (adaptation française J. Faucher & R. Lachaine). *Pearson, Paris*, 9<sup>ème</sup> édition 1570 pages.

[ISBN 978-2-7613-5065-5](#)

**Ducreux G.** (2002). Introduction à la botanique. Cours Biologie. *Editeur Belin, Paris*, 255 pages.

[ISBN 978-2-7011-3080-4](#)

**Guignard J.L. & Dupont F.** (2004). Botanique : Systématique moléculaire. *Abrégés, Editeur Masson, Issy-les-Moulineaux (92)*, 13<sup>ème</sup> édition, 284 pages.

[ISBN 978-2-2940-1739-1](#)

**Godinot C., Moreau H., Paulhiac-Pison M. & Tejedor F.** (2010). Biologie - Géologie BCPST-Véto 1<sup>ère</sup> année. *Collection Méthodes et Annales, Editeur Tec & Doc, Lavoisier, Paris* 560 pages.

[ISBN 978-2-7430-1283-0](#)



**Laberche J.C.** (2004). Biologie végétale – 2<sup>ème</sup> édition. *Collection Sciences Sup*, Editeur Dunod, Paris, 280 pages.

[ISBN 978-2-1000-6788-6](#)

**Lafon C.** (2003). La biologie autrement : 100 questions de synthèse. *Editeur Ellipses*, Paris, 464 pages.

[ISBN 978-2-7298-1484-7](#)

**Meyer S., Reeb C. & Bosdeveix R.** (2008). Botanique : Biologie et physiologie végétales – 2<sup>ème</sup> édition. *Collection Sciences fondamentales*, Editeur Maloine, Paris, 490 pages.

[ISBN 978-2-2240-3020-9](#)

**Peycru P., Fogelgesang J.F., Grandperrin D., Augère B., Baehr J.C, Perrier C., Dupin J.M. & Van Der Rest C.** (2010a). Biologie tout-en-un BCPST – 1<sup>ère</sup> année – 2<sup>ème</sup> édition. *Collection J'intègre*, Editeur Dunod, Paris, 744 pages.

[ISBN 978-2-1005-2575-1](#)

**Peycru P., Baehr J.C, Cariou F., Grandperrin D., Perrier C., Fogelgesang J.F. & Dupin J.M.** (2010b). Biologie tout-en-un BCPST – 2<sup>ème</sup> année – 2<sup>ème</sup> édition. *Collection J'intègre*, Editeur Dunod, Paris, 743 pages.

[ISBN 978-2-1005-4491-2](#)

**Peycru P., Grandperrin D., Perrier C., Augère B., Darribère T., Dupin J.M., Escuyer C., Fogelgesang J.F. & Van Der Rest C.** (2013). Biologie tout-en-un BCPST – 1<sup>ère</sup> année – 4<sup>ème</sup> édition. *Collection J'intègre tout-en-un*, Editeur Dunod, Paris, 752 pages.

[ISBN 978-2-1007-6637-6](#)

**Peycru P., Grandperrin D., Perrier C., Augère B., Beaux J.F., Cariou F., Carrère P., Darribère T., Dupin J.M., Escuyer C., Fogelgesang J.F., Maury S., Queinnec E., Salgueiro E. & Van Der Rest C.** (2018). Biologie tout-en-un BCPST – 2<sup>ème</sup> année – 4<sup>ème</sup> édition. *Collection J'intègre tout-en-un*, Editeur Dunod, Paris, 672 pages.

[ISBN 978-2-1007-8345-8](#)

**Raven P.H., Evert R.F. & Eichhorn S.E.** (2014). Biologie végétale – 3<sup>ème</sup> édition, Traducteur : J. Bouharmont. *Collection Biologie*, Editeur De Boeck, Bruxelles, 880 pages.

[ISBN 978-2-8041-8156-7](#)

**Robert D. & Roland J.C.** (1998). Biologie végétale, volume 1. Organisation cellulaire. *Collection Biologie végétale*, Editeur Doin, Paris, 367 pages.

[ISBN 978-2-7040-1006-6](#)

**Robert D. & Catesson A.M.** (2000). Biologie végétale, volume 2. Organisation végétative. *Collection Biologie végétale, Editeur Doin, Paris*, 356 pages.  
[ISBN 978-2-7040-1084-4](#)

**Roland J.C., Roland F., El-Maarouf Bouteau H. & Bouteau F.** (2008). Atlas biologie végétale, volume 2. Organisation des plantes à fleurs – 9<sup>ème</sup> édition. *Collection Sciences Sup, Editeur Dunod, Paris*, 144 pages.  
[ISBN 978-2-1005-1725-1](#)

**Segarra J., Chauvet E., Colson-Proch C., Huille M., Labrousse M., Louet F., Metz F. & Piètre E.** (2014). Biologie BCPST 1<sup>ère</sup> année. *Collection Prépas Sciences, Editeur Ellipses, Paris* 881 pages.  
[ISBN 978-2-7298-8537-3](#)

**Segarra J., Bailly G., Chassaing O., Chauvet E., Favre D., Jean T., Metz F., Meunier C. & Piètre E.** (2015). Biologie BCPST 2<sup>ème</sup> année. *Collection Prépas Sciences, Editeur Ellipses, Paris* 792 pages.  
[ISBN 978-2-3400-0674-4](#)