

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université 20 Août 1955 -  
Skikda  
Faculté des Sciences  
Département des Sciences  
de la Nature et de la Vie  
ANNEE UNIVERSITAIRE :  
2024/2025



جامعة 20 أوت 1955 -  
سكيكدة  
كلية العلوم  
قسم علوم الطبيعة و الحياة  
السنة الجامعية: 2025/2024

Support pédagogique

# Biologie végétale

À l'usage des étudiants de 1ère année  
Tronc Commun de la Nature et de la Vie

Réalisé par :

**Dr. BOUZEBDA Abderrezak**

**Maître de conférences B**

**Chef de Département**

**Président du CSF**

## Sommaire

### *Chapitre I : Organisation cellulaire des végétaux*

1- Introduction à la biologie végétale .....	1
1-1- Classification à six règnes ou plus .....	2
1-2- Introduction à la classification des grands groupes végétaux .....	4

### *Chapitre II : Différents types des tissus végétaux*

1- Introduction .....	21
2- L'Histologie végétale .....	21
3- Définition d'un tissu .....	21
4- Fonction des tissus .....	21
5- Tissus vivants et tissus morts .....	22
6- Origine des tissus .....	22
1 <sup>ère</sup> partie- Tissus primaires .....	26
1- Les méristèmes primaires.....	26
1-1- Méristème racinaire.....	28
1-2- Méristème caulinaire.....	29
1-3- Évolution des méristèmes primaires .....	30
2- Les méristèmes secondaires (Zone génératrice ou cambium) .....	30
2-1- Fonctionnement d'une assise génératrice .....	30
2-2- Caractéristiques des cellules des méristèmes secondaires .....	31
2-3- Différenciation cellulaire.....	31
2 <sup>ème</sup> partie - Tissus permanents.....	33
1- Les tissus de protecteurs (Tissus de revêtement ou épidermes).....	33
2- Les tissus fondamentaux .....	39
2-1- les tissus de nutrition (tissus de remplissage) .....	39
2-2- Les tissus de soutien .....	44
2-2-1- Le collenchyme .....	44
2-2-2- Le sclérenchyme .....	45
2-3- Les tissus vasculaires ou les tissus conducteurs .....	49
2-4- Les tissus sécréteurs Appareil sécréteur.....	60

<b>3<sup>ème</sup> partie - Tissus secondaires.....</b>	<b>66</b>
<b>1- Les tissus secondaires .....</b>	<b>66</b>
<b>1-1- Cambium Subérophellodermique (Phellogène) .....</b>	<b>66</b>
<b>1-2- Cambium Libéroligneux .....</b>	<b>67</b>
<b>2- Représentations conventionnelles des tissus .....</b>	<b>68</b>

### *Chapitre III : Anatomie des végétaux (Angiospermes)*

<b>1- Introduction .....</b>	<b>70</b>
<b>2- Les Monocotylédones .....</b>	<b>70</b>
<b>2-1- Structure anatomique primaire de la racine des Monocotylédones .....</b>	<b>70</b>
<b>2-1-1- Principales caractéristiques anatomiques de la structure primaire de la racine..</b>	<b>73</b>
<b>2-2-2- Caractères communs aux spermaphytes .....</b>	<b>75</b>
<b>2-2-Structure anatomique primaire de la tige des Monocotylédones .....</b>	<b>76</b>
<b>2-3- Structure anatomique de la feuille des Monocotylédones .....</b>	<b>79</b>
<b>3- Les Dicotylédones .....</b>	<b>80</b>
<b>3-1- Structure anatomique primaire de la racine des Dicotylédones .....</b>	<b>80</b>
<b>3-2- Structure anatomique primaire de la tige des Dicotylédones .....</b>	<b>84</b>
<b>3-3- Structure anatomique de la feuille des Dicotylédones .....</b>	<b>92</b>
<b>4- Détermination d'un organe végétatif à partir d'une coupe anatomique : .....</b>	<b>101</b>

### *Chapitre IV : Morphologie des organes végétaux*

<b>1. Système racinaire .....</b>	<b>105</b>
<b>1-1- Etude morphologique des racines (Organisation de l'apex racinaire).....</b>	<b>105</b>
<b>1-2- L'origine des racines .....</b>	<b>108</b>
<b>2- Système caulinaire .....</b>	<b>117</b>
<b>3- Etude Morphologique Des Feuilles .....</b>	<b>135</b>
<b>4- Fleur.....</b>	<b>143</b>
<b>5- Fruit .....</b>	<b>149</b>
<b>6- Graine .....</b>	<b>152</b>

### *Chapitre V : Reproduction chez les Angiospermes*

<b>1- La gamétogenèse .....</b>	<b>154</b>
---------------------------------	------------

<b>1-1- Développement de l'étamine (La microsporogénèse).....</b>	<b>154</b>
<b>1-2- Développement de l'ovule (La macrosporogénèse).....</b>	<b>157</b>
<b>2- Première étape : La pollinisation.....</b>	<b>158</b>
<b>3- Reproduction sexuée : Deuxième étape : La fécondation.....</b>	<b>160</b>
<b>4- Le cycle de vie ou cycle de développement .....</b>	<b>167</b>
<b>4-1- Le gamétophyte.....</b>	<b>167</b>
<b>4-2- Le sporophyte .....</b>	<b>167</b>

# *Chapitre 1*

*Organisation cellulaire*

*des végétaux*



## 1- Introduction à la biologie végétale :

Le mot « biologie » a tout juste deux cents ans. Il a été utilisé la première fois peut être par Roose en 1797, certainement par Lamarck en 1802. L'étude de la vie avait, cependant, fait l'objet d'observations et d'écrits depuis de nombreux siècles. Les données les plus anciennes que l'on puisse retrouver dans les premières civilisations de notre monde sont liées à l'utilisation des plantes par l'homme pour assurer sa subsistance par la cueillette, mais aussi comme moyen de défense contre les maladies (les simples). Ultérieurement, l'homme développera la culture et l'élevage.

La biologie actuelle est le résultat d'une longue série d'observations et de réflexions sur la vie, a commencé en Grèce dès Aristote. Après une période bien obscure du moyen âge, c'est l'utilisation des premiers microscopes qui a permis de reconnaître les cellules puis les tissus constituant les végétaux. La biologie, étant d'abord une science d'observation, il faut savoir reconnaître les différentes parties qui composent les plantes, puis les nommer correctement.

Intuitivement, quand on parle d'un végétal, on pense aux plantes ayant des tiges, des feuilles et des racines. Les biologistes les appellent les *Cormophytes*. Elles possèdent un ensemble de tiges feuillées pourvues ou non de racines, le *cormus*. Elles représentent, à elles seules, plus de 70 % des végétaux qui se développent sur la terre sont des *Cormophytes*. Mais nous connaissons tous d'autres végétaux n'ayant pas de tige, de feuille et de racine comme les champignons et les algues. L'agaric champêtre et la laminaire sont des *Thallophytes* car l'appareil végétatif est un *thalle*.

Certaines définitions qui émergeront de l'observation des *Cormophytes*, seront tout à fait valables pour les *Thallophytes*. D'autres ne le seront manifestement pas. Ceci permettra d'appréhender la diversité d'organisation, de forme et de fonctionnement du monde végétal.

Les végétaux sont des organismes qui ont une place importante dans le monde vivant, en effet leur métabolisme est primordial pour le reste des êtres vivants qui profitent de l'oxygène rejeté par ces organismes autotrophes. Le règne des végétaux se caractérise au niveau de leur structure, d'abord par leurs cellules, puis par la structure de leurs tissus.

Un végétal par définition est un être vivant chlorophyllien, fixé au sol, capable de transmettre l'énergie qu'il reçoit du soleil par ses feuilles et de se nourrir principalement des sels minéraux et de gaz carbonique. Les cellules végétales sont exclusivement limitées par des parois squelettiques de nature cellulosique.

Le règne des végétaux se caractérise au niveau de leur structure, d'abord par leurs cellules, puis par la structure de leurs tissus et enfin par une alternance de génération (deux formes d'adultes : gamétophyte ( $n$ ) qui produit des gamètes (spermatozoïdes et oosphère) et sporophyte ( $2n$ ) qui produit des spores (cycle haplo-diplophasique). Contrairement aux animaux, les végétaux peuvent se reproduire de deux façons (reproduction sexuée et asexuée).

- ✚ La multiplication végétative s'effectue par mitose et aboutit à la production d'une descendance génétiquement identique aux parents et identique entre elle (totipotence des cellules végétales).
- ✚ La reproduction sexuée implique un parent de chaque sexe et aboutit à une descendance génétiquement différente des parents (source de variabilité génétique).



## 1-1- Classification à six règnes ou plus :

La classification (systématique ou taxonomie) est une branche de la biologie qui a pour objectif de décrire et de regrouper les êtres vivants en taxons (*phylum, sous-phylum, classes, familles, genres, espèces,....*)

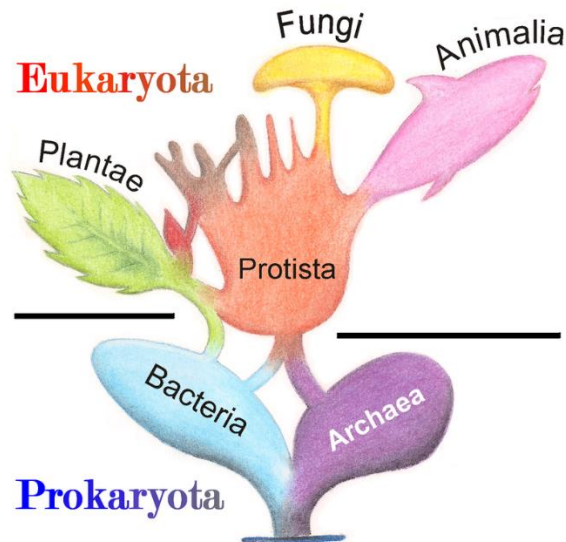
De nombreuses propositions de classification ont vu le jour dans la littérature mais la plupart n'ont pas retenu l'attention de la communauté scientifique. C'est ainsi le cas de Jahn et Jahn en 1949 qui ajoutaient deux nouveaux règnes, les *Fungi* et les *Archetista* (virus) au système à quatre règnes préexistant, à savoir les métazoaires (animaux), les *métaphytes* (plantes), les protistes et les monères (procaryotes). L'idée avant-gardiste de proposer un nouveau règne pour les champignons sera reprise vingt ans plus tard par Whittaker dans une classification à cinq règnes (voir plus haut).

L'évolutionniste Grant conçoit, en 1963, un schéma à six règnes : animaux, plantes, champignons (pour les moisissures visqueuses et plusieurs groupes de champignons vrais), protistes (organismes unicellulaires nucléés), monères (pour les bactéries, les algues bleu-vert et les virus) plus un hypothétique règne d'organismes *précellulaires* simples.

Bien que séduisant, le règne des virus n'a pas encore eu une grande caisse de résonance. Cependant, l'existence du *Mimivirus* relance le débat. Le *Mimivirus* a la particularité de posséder 7 gènes communs aux archées, aux bactéries et aux eucaryotes. Dès lors, il devient possible de réaliser un arbre phylogénétique des êtres vivants incluant le *Mimivirus* et donc potentiellement l'ensemble des virus. Le *Mimivirus* apparaît sur les dendrogrammes sur une quatrième branche proche de l'origine des eucaryotes et distincte des bactéries, des archées et des eucaryotes. Ceci suggère une très grande ancienneté. Le génome ne s'est pas construit au fil d'emprunts divers mais est bien une structure qui est restée homogène au cours de l'évolution. On peut imaginer que les premiers virus à ADN étaient des cellules dégénérées correspondant à des lignées très anciennes aujourd'hui disparues, ayant ou non précédé LUCA, le dernier ancêtre commun universel.

Le seul système à six règnes qui retient actuellement l'attention est celui de Cavalier-Smith. Ce système a été initialement publié en 1998 et est resté stable dans ses grandes lignes à travers ses mises à jour régulières. Il s'agit d'un système à deux Empires (procaryotes et eucaryotes) réparti en six règnes : le règne des bactéries dans l'empire des procaryotes et les règnes des protozoaires, des chromistes, des animaux, des plantes et des champignons dans l'empire des eucaryotes. Les archées chez Cavalier-Smith constituent un embranchement au sein du sous-règne des *unibactéries*. La singularité des eubactéries par rapport aux *archéobactéries* et aux eucaryotes est néanmoins toujours reconnue puisque Cavalier-Smith les en distingue en regroupant ces deux derniers dans le clade des néomurains. Ce grade *Eubacteria* et ce clade Neomura ne sont toutefois pas reconnus en tant que taxons, c'est-à-dire qu'ils n'appartiennent pas formellement à la classification proposée.

En 2015, les biologistes Ruggiero *et al.*, incluant Cavalier-Smith, développent une classification des organismes vivants subdivisée en deux super-règnes (*Prokaryota* et *Eukaryota*) et sept règnes. Leur schéma, excluant les virus, comprend deux règnes procaryotes, *Archaea* (*Archaeobacteria*) et *Bacteria* (*Eubacteria*), et cinq règnes *Eucaryotes*, *Protozoa*, *Chromista*, *Fungi*, *Plantae* et *Animali*.



**Figure. 1 :** Représentation des deux domaines de la vie avec 6 règnes montrant leurs relations phylogénétiques.

**Tableau 1 :** Évolution des systèmes de classification.

	Linné 1735 2 règnes	Haeckel 1866 3 règnes	Chatton 1925 2 empires	Copeland 1938 4 règnes	Whittaker 1969 5 règnes	Woese et al. 1977 6 règnes	Woese et al. 1990 3 domaines	Cavalier-Smith 1993 2 empires et 8 règnes	Cavalier-Smith 1998 2 empires et 6 règnes	Ruggiero et al. 2015 2 empires et 7 règnes	
(non traités)		Protista					Eubacteria	Bacteria	Eubacteria	Bacteria	Bacteria
			Prokaryota	Monera	Monera		Archaeobacteria	Archaea	Archaeobacteria	Archaea	Archaea
				Protoctista	Protista	Protista		Archezoa	Protozoa	Protozoa	Protozoa
Vegetabilia	Plantae		Eukaryota	Plantae	Plantae	Plantae	Eucarya	Chromista	Chromista	Chromista	
					Fungi	Fungi		Plantae	Plantae	Plantae	
Animalia	Animalia			Animalia	Animalia	Animalia		Fungi	Fungi	Fungi	
								Animalia	Animalia	Animalia	

- ✚ La classification animal/végétal de Linné date de la première édition du Systema Naturae (1735). Le troisième règne, Mineralia, relève de la géologie, on parle aujourd'hui de « monde inerte » à son propos, par opposition au « monde vivant ».
- ✚ Linné traitait l'ensemble des organismes microscopiques connus en 1735 dans la classe des Vermes du règne animal.
- ✚ Quelques auteurs, à l'image de Margulis, ont considéré que les algues devraient être ajoutées aux protistes, avec lesquels elles ne formeraient qu'un seul groupe, les protoctistes.
- ✚ Les champignons ont été classés, jusqu'en 1969, comme faisant partie du règne végétal. Leur appareil végétatif de type mycélien est constitué de filaments, sans racines, ni tiges ou feuilles. Ils sont également dépourvus de chlorophylle. Ils se nourrissent de matières organiques. De plus, leurs matrices extracellulaires ne sont pas constituées de lignine et



cellulose, mais de chitine, comme la cuticule des insectes. Ces différents points expliquent l'idée d'un règne des champignons à part entière.

- ✚ La classification de Woese en trois domaines (bactéries, archées et eucaryotes) est privilégiée par certains microbiologistes. La classification en sept règnes a généralement les faveurs des protozoologistes, des botanistes et des zoologistes.

## 1-2- Introduction à la classification des grands groupes végétaux :

Les premiers végétaux sont formés d'individus unicellulaires sans un véritable noyau caractérisé par ADN (*nucléoïde*) circulaire diffus non délimité par une enveloppe nucléaire des ribosomes 70S, l'absence du cytosquelette et du système endomembranaire (pas de flux membranaire). Cet empire se subdivise en deux domaines : le domaine *Eubactéries* et le domaine *Archéobactéries*. Il s'agit des procaryotes par opposition aux végétaux pluricellulaires avec un noyau typique (vrai noyau).

L'empire celui des eucaryotes est formé d'un seul domaine, ces derniers se caractérisent par un noyau délimité par une enveloppe nucléaire contenant de l'ADN en double hélice (*Chromatine*), la présence de ribosomes 80S dans l'hyaloplasme et 70S dans les organites semi-autonome (*Mitochondrie* et *Chloroplaste*), la présence d'un cytosquelette et d'un système endomembranaire développé en relation avec un flux membranaire vectoriel (*Endocytose* et *Exocytose*).

**Tableau. 2 :** Subdivisions des êtres vivants en empires et en domaines.

Empires	Domaines
Procaryotes ( <i>Prokaria, Prokaryota</i> )	Eubactéries (ou <i>Eubacteria</i> ) Archéobactéries (ou <i>Archea</i> , archéobactérie, <i>Archaeobactéries</i> , <i>Archées</i> )
Eucaryotes ( <i>Eukaya, Eukaryota</i> )	Eucaryotes (ou <i>Eukaya, Eukaryota</i> )

Le domaine des eucaryotes se subdivise en quatre règnes **Tableau. 3**

**Tableau. 3 :** Subdivision de domaine des eucaryotes en règnes et embranchements.

Règnes	Organisation cellulaire	Embranchements ou Phyla
<b>Protistes</b> ( <i>Protoctista</i> )	Unicellulaire	1- <i>Protozoaires</i> 2- <i>Protophytes</i>
	Pluricellulaire	1- <i>Algues</i>
<b>Champignons</b> ( <i>Fungi, Mycota</i> )	Pluricellulaire	1- <i>Champignons</i> 2- <i>Lichens</i>
<b>Plantes</b> ( <i>Plantae</i> )	Pluricellulaire	1- <i>Bryophytes</i> 2- <i>Ptéridophytes</i> 3- <i>Spermaphytes</i>
<b>Animaux</b> ( <i>Animalia</i> )	Pluricellulaire	1- <i>Vertébrés et invertébrés</i>

Les eucaryotes ont pris naissance dans la mer se sont les algues. Certains de ces végétaux se sont adaptés à des milieux terrestres pour former les champignons. Par la suite, une association symbiotique est réalisée entre une algue et un champignon pour donner les lichens. Chez les trois groupes des plantes inférieures, les cellules ne sont pas groupées en de véritables tissus. Il n'y a ni racine, ni tige, ni des feuilles mais il y a une formation d'un thalle (*tholos*=rameau plat) plus ou moins structuré d'où le nom de thallophytes.

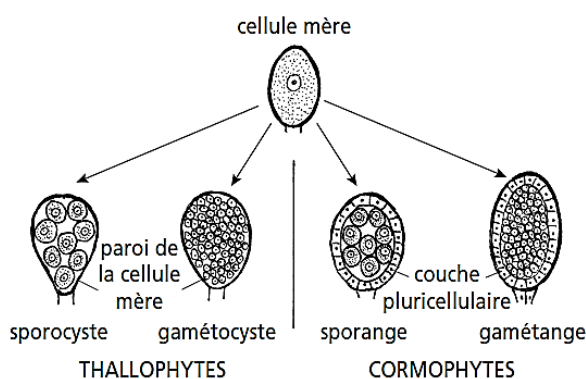


Des mousses ou **Bryophytes** sont les premières plantes vraiment adoptées au milieu terrestre mais elles n'en ont pas encore une racine, ni de vaisseaux conducteurs. Stades acquis chez les fougères (**Ptéridophytes**). Chez les spermaphytes, les racines, les tiges et les feuilles sont nettement individualisés ce sont des plantes supérieures qu'on appelle **Rhizophytes**.

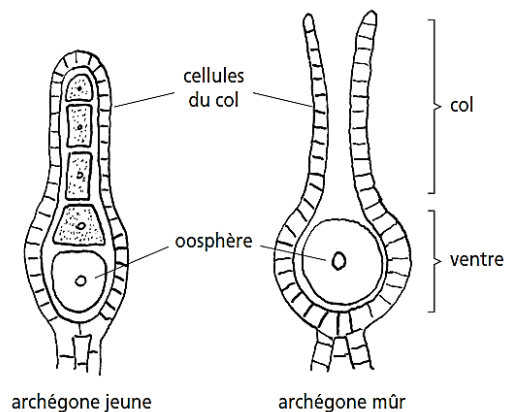
La classification des végétaux s'appuie sur plusieurs critères cytologiques, anatomiques et morphologiques, ainsi, le règne végétal est traditionnellement subdivisé en deux grands groupes en fonction de l'organisation structurale du végétal : Présence d'un *Thalle* ou d'un *Cormus*, et donc on distingue les *Thallophytes* et les *Cormophytes*.

En se basant sur l'organisation générale des végétaux eucaryotes, les biologistes ont distingué les *Thallophytes* et les *Cormophytes*, dont l'appareil végétatif est respectivement un *thalle* ou un *cormus*. Ce dernier est constitué de rameaux feuillés tandis que le premier ne comprend jamais de tiges, de feuilles, de racines et pas de tissus conducteurs. Il était donc logique de trouver chez les *Thallophytes*, les algues et les champignons. Cette distinction apparemment simple entre le *thalle* et le *cormus* s'accompagne de différences beaucoup plus importantes au niveau des organes reproducteurs : au moment de la reproduction les *Thallophytes eucaryotiques* produisent à partir d'une cellule mère des spores et des gamètes qui restent à l'intérieur de la paroi squelettique de celle-ci en formant un *sporocyste* ou un *gamétocyste*. Au contraire chez les *Cormophytes*, au cours des premières divisions d'une cellule mère une couche pluricellulaire forme un sac qui contiendra spores et gamètes : le *sporange* ou le *gamétange* (**Figure 2**).

Le *gamétange* femelle des *Cormophytes* est l'archégone (du grec *gonê* = semence et *arca* = coffre) en forme de bouteille. Le ventre est surmonté d'un col et contient un seul gamète femelle : l'*oosphère* (**Figure 3**). Les *Cormophytes* sont aussi appelées des Archégoniates, même si certaines *Cormophytes* (les *Angiospermes*) présentent des archégonies modifiées. L'ensemble des *Cormophytes* comprend l'immense majorité des plantes terrestres. Pour mieux les décrire de nombreux biologistes ont introduit des séparations basées sur des observations morphologiques.



**Figure. 2** : Thallophytes et Cormophytes, différences quant aux organes reproducteurs.



**Figure. 3** : L'archégone et l'oosphère des Cormophytes (Archégoniates). (D'après Feldmann, in Gorenflot, 1997.)

Les *Thallophytes* produisent des spores et des gamètes qui restent à l'intérieur de la paroi squelettique. Chez les *Cormophytes*, une couche pluricellulaire forme un sac qui contiendra spores et gamètes. (D'après Gorenflot, modifié.)



1. La présence de racines et de vaisseaux conducteurs caractérise les *Rhizophytes*.
2. La présence de fleurs n'appartient qu'aux *Phanérogames* (de *phaneros* = visible et *gamos* = mariage), les plantes ayant des organes de reproduction moins voyants étant les *Cryptogames* (de *cryptos* = caché),
3. La présence du carpelle clos ne s'observe que chez les *Angiospermes*. La feuille carpellaire ouverte appartient aux *Gymnospermes*.
4. La présence de graines définit les *Spermaphytes*.

Plusieurs de ces critères sont redondants entre eux, ce qui ne facilite pas toujours la compréhension. On avait l'habitude jusqu'aux années 1960, de classer les végétaux de la manière suivante (**Tableau. 4**) :

**Tableau 4 - Classification générale de règne végétal.**

<b>Procaryotes Sans noyau</b>	<i>Bactéries</i>					
	<i>Cyanophycées (Algues bleues)</i>					
<b>Eucaryotes Avec noyau</b>	<i>Thallophytes Thalle</i>	<i>Non vascularisé</i>	<i>Phycophytes (Algues)</i>		<b>Cryptogames</b>	
			<i>Mycophytes (Champignons)</i>			
			<i>Lichens</i>			
			<i>Bryophytes (Mousses)</i>			
	<i>Cormophytes ou Embryophytes ou Archegoniates Cormus</i>	<i>Rhizophytes Racines Trachéophytes Plantes vasculaires</i>	<i>Ptéridophytes</i>		<b>Phanérogames</b>	
			<i>Préspermaphytes</i>			
			<i>Spermaphytes Graines</i>	<i>Gymnospermes</i>		
				<i>Chlamydospermes</i>		
<i>Angiospermes</i>						

Cette classification avait le mérite d'être simple tout en montrant la progression de la complexité organisationnelle des végétaux.

Au milieu du XX<sup>e</sup> siècle, l'apport à la botanique de nouvelles sciences permit de faire évoluer les classifications naturelles définitivement vers des classifications *phylogénétiques*, qui reflètent les étapes de l'évolution. Jusque vers les années 1990, il s'agissait essentiellement des études *embryologiques* (développées par Souègues vers 1950 et plus récemment par Lebègue), de la *taxonomie* expérimentale et numérique de Guinochet à partir des années 1960, ou de la *paléobotanique* (étude des végétaux fossiles) et la *palynologie* (étude des pollens) mais aussi de la biochimie. La *paléobotanique* a confirmé, par exemple, que les *Gymnospermes* à ovules nus sont plus primitives que les *Angiospermes* à ovules enclos. Ceci ne veut pas dire cependant que ces dernières dérivent directement des premières. Ils viennent d'ancêtres communs, très anciens, aujourd'hui disparus.

### 1-2-1- Les Procaryotes (Procaryotes) :

Végétaux unicellulaires qui se produisent par voie végétation, chaque cellule constitue un tant capable de subvenir à l'ensemble de ses besoins. La structure cellulaire est simple. On ne retrouve des plastes ni mitochondries, chaque cellule se divise par la partition. La nouvelle cellule formée se sépare de la cellule mère et devient indépendante. Ces cellules peuvent demeurer associées en fils ce qui donne un filament d'Algues.



## A- Les Bactéries :

Ce sont des organismes unicellulaires microscopiques présentant quelques caractéristiques cytologiques particulières. Certains d'entre elles sont autotrophe, d'autre sont parasites et se développent à l'intérieure des organismes vivants. Beaucoup vivent dans la terre humide, elles ont beaucoup d'importance car elles contribuent à la minéralisation du sol. Elles participent à la majorité des cycles biologiques, leur rôle dans la fermentation et dans les maladies microbiennes et bien connu (certaines bactéries sont antibiotiques).

## B- Les Algues bleues ou cyanophycées :

Ce sont des végétaux également unicellulaires, elles sont très anciennes et se rencontre dans les milieux les plus divers : terre humide, rivières, plancton, source thermales et même dans les eaux glacées. Elles sont autotrophes et doivent leurs noms à un pigment assimilateur qu'on appelle la *phycocyanine*.

### 1-2-2- Les eucaryotes :

Ce sont des végétaux pluricellulaires ayant un noyau typique (vrai). La reproduction au niveau de ce groupe peut se faire de la manière sexuée ou asexuée, dans la reproduction sexuée, il y a la fécondation c'est-à-dire union de deux gamètes mâle et femelle qui va donner un zygote pour former un œuf à l'origine d'un nouvel individu. A côté de la reproduction sexuée, on observe une multiplication végétative par simple division en deux d'une cellule préexistante. Mais ce mode de reproduction devient de moins en moins fréquent au fur et à mesure que l'on monte dans l'échelle de classification. Les eucaryotes se divisent en *thallophytes* et sont essentiellement adaptés à la vie aquatique ou humide et en *cormophytes* adaptés à la vie terrestre pour former les champignons. Par la suite, une association symbiotique est réalisée entre une algue et un champignon pour donner les lichens. Chez les trois groupes des plantes inférieurs, les cellules ne sont pas groupées en de véritables tissus. Il n'y a ni racine, ni tige, ni des feuilles mais il y a une formation d'un thalle (*tholos*= rameau plat) plus ou moins structuré d'où le nom de *thallophytes*. Des mousses ou *Bryophytes* sont les premières plantes vraiment adoptées au milieu terrestre mais elles n'en ont pas encore une racine, ni de vaisseaux conducteurs. Stades acquis chez les fougères (*Ptéridophytes*). Chez les *spermaphytes*, les racines, les tiges et les feuilles sont nettement individualisés ce sont des plantes supérieures qu'on appelle *Rhysophytes*. La classification des végétaux s'appuie sur plusieurs critères *cytologiques*, *anatomiques* et *morphologiques*, ainsi, le règne végétal est traditionnellement subdivisé en deux grands groupes en fonction de l'organisation structurale du végétal : Présence d'un *Thalle* ou d'un *Cormus*, et donc on distingue les *Thallophytes* et les *Cormophytes*.

#### 1-2-2-1- Thallophytes plantes invasculaires :

Ce sont généralement des plantes aquatiques ou vivant dans les endroits humides, ce sont également des êtres pluricellulaires constitués de *thalles* avec une partie basale appelée *Crampon*. Ce sont des végétaux inférieurs dont la structure est très simple appelé *thalle*, le *thalle* est l'appareil végétatif composé par des cellules qui se ressemblent sans différenciation physiologiques où l'on ne peut distinguer ni racine, ni tige, ni feuilles ni vaisseaux conducteurs. Ils sont constitués soit par des cellules isolées soit par des filaments. En fonction des espèces, certaines *thallophytes* sont *unicellulaires* comme les *cyanobactéries* (les algues bleues), et des



fois le *thalle* présente des structures complexes et *pluricellulaire*, comme les champignons et les levures. La reproduction se fait par des spores ou des gamètes.

Pas des vaisseaux conducteurs. Végétal pluricellulaire dont l'appareil végétatif est constitué par un thalle, comme c'est le cas chez les *Phycophytes* (Algues), *Mycophytes* (Champignons), *Bryophytes* (Mousses) :

- ❖ Leur appareil végétatif est appelé thalle (toutes les cellules se ressemblent sans différenciation physiologique c'est-à-dire que toutes les fonctions sont réparties dans toutes les cellules).
- ❖ L'absorption de l'eau et des sels minéraux se fait au niveau de la surface de la paroi de toutes les cellules.
- ❖ Le thalle présente, en fonction des espèces, des formes très variables allant de l'état unicellulaire jusqu'à des structures complexes (pluricellulaires).
- ❖ La reproduction se fait par des spores ou des gamètes.

#### 1-2-2-1-1- Les Algues (phycophytes) :

Ce sont des végétaux qui peuplent les mers et les eaux douces, ce sont des organismes photosynthétisant grâce à leur pigment assimilateur qui permettent d'avoir des algues vertes, rouges ou bruns. On signale l'importance des algues microscopiques qui constituent le plancton végétal que l'on appelle *phytoplankton* qui est le point de départ de plusieurs chaînes alimentaires :

- ❖ Organisme autotrophe (capables d'assurer la photosynthèse)
- ❖ On distingue trois groupes principaux : les *Chlorophycophytes* (algues vertes), les *Chromophycophytes* (algues brunes) et les *Rhodophycophytes* (algues rouges).

#### 1-2-2-1-2- Les Champignons (mycophytes) :

Ce sont des thallophytes dépourvus de pigments assimilateurs. Ils peuvent vivre en *saprophytes*, en parasites ou en *sybiose*.

- ✚ **Saprophytes** : Vivent au dépend de la matière organique dégradée ex : cadavres d'animaux, débris des plantes...
- ✚ **Parasites** : Les champignons prennent la matière organique chez d'autres êtres vivants animaux ou végétaux. Ils provoquent chez les premiers des mycoses et chez les seconds des maladies cryptogamiques telles que les pourritures, *le mildion*, *la nonille*, *le charbon* ...etc
- ✚ **Symbiotes** : Les champignons symbiotes vivent en association avec les algues pour donner un lichen et en association avec les racines d'arbres pour donner de mycorhizes.

Les champignons participent à la minéralisation de la matière organique plusieurs champignons sont producteurs de pénicilline (*antibiotique*) :

- ❖ Thalle sous forme d'un filament appelé mycélium.
- ❖ Organisme hétérotrophe (incapables d'assurer la photosynthèse).
- ❖ Les champignons présentent plusieurs formes de vie : libre, parasite, symbiotique.



1-2-2-1-3- Les lichens :

Ils représentent une association symbiotique entre un champignon (être hétérotrophe) et une algue (être autotrophe). Les algues assurent l'alimentation grâce à ses pigments assimilateurs tandis que les champignons fournissent l'eau et les sels minéraux et constituent le support de l'ensemble.

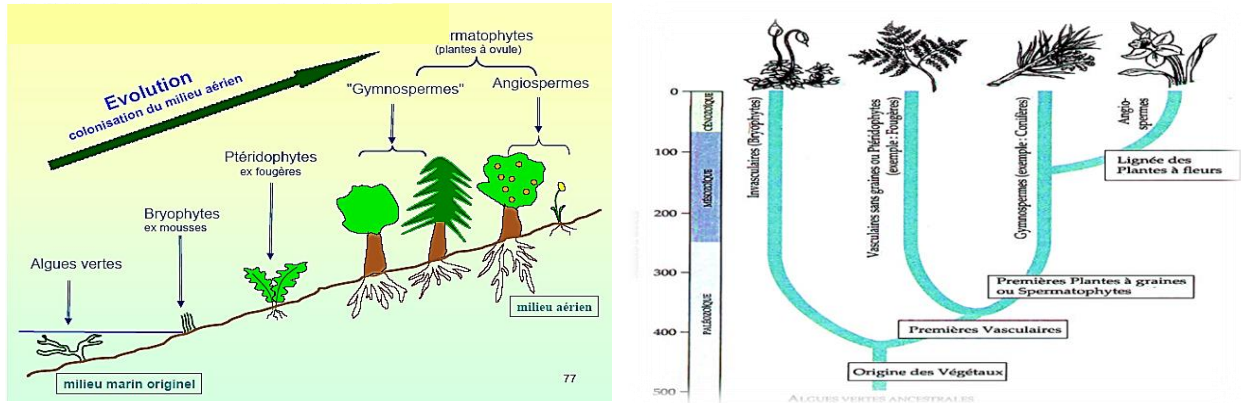


Figure. 4 : Évolution des plantes.

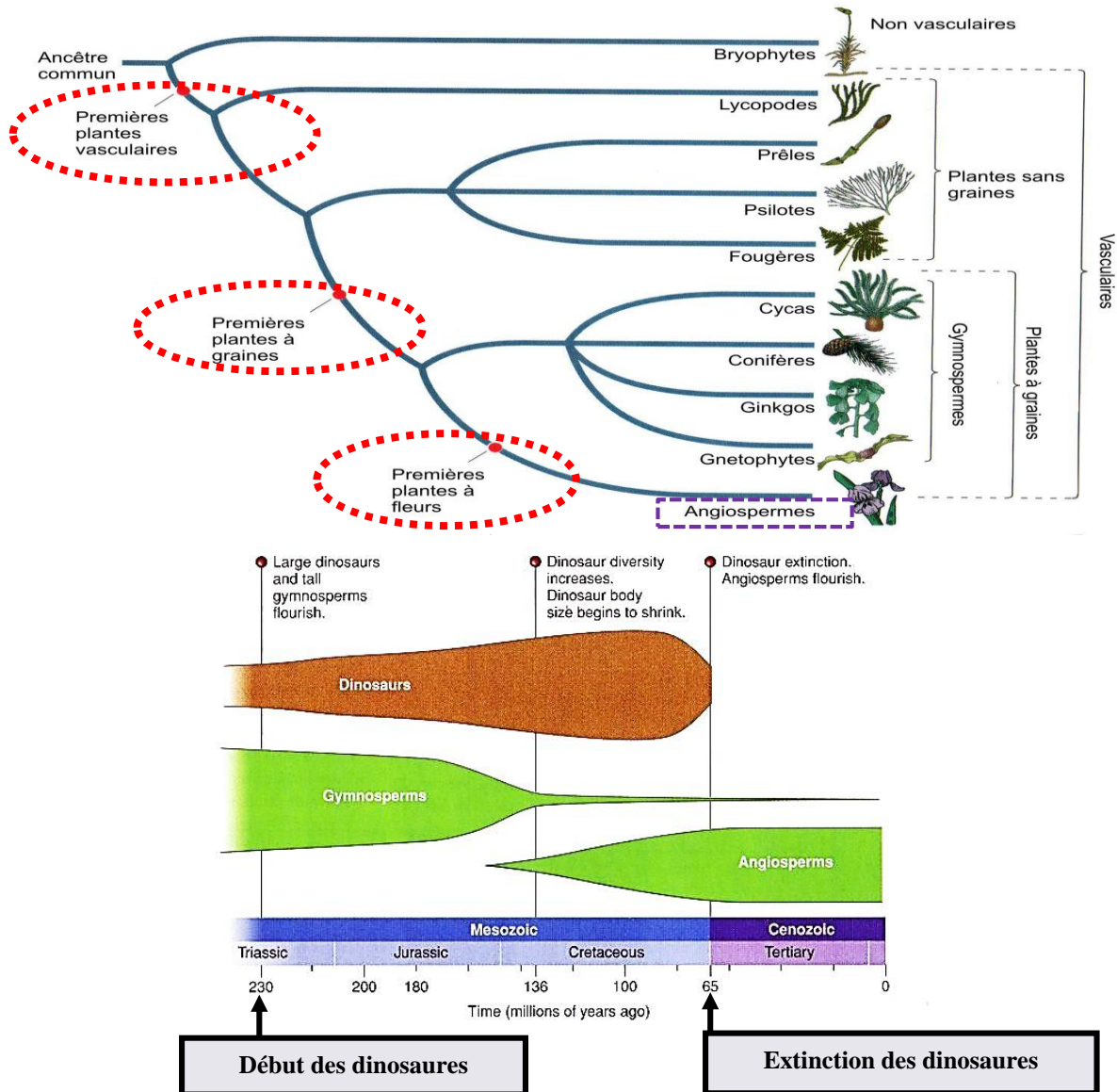


Figure. 5 : Les Angiospermes seraient apparues il y a environ 150 MA.



### 1-2-2-2- Cormophytes ou Archegoniates :

Ils regroupent les plantes typiquement terrestres, leur appareil reproducteur est caractérisé par leur formation gamétanges adaptés au milieu aérien. Ce sont des plantes vasculaires autotrophes dont l'organisation est toujours complexe. Ce groupe est composé par les végétaux supérieurs qui correspondent à des organismes toujours pluricellulaires et dont les cellules eucaryotes sont réunies en tissus formant à leur tour des organes beaucoup plus complexe qu'un thalle avec des vaisseaux conducteurs elles possèdent des tiges, feuilles et, à l'exception des *Bryophytes* des racines. L'ensemble de ces organes (racines, tiges, feuilles) d'une plante constitue ce qu'on appelle un *cormus* d'où le nom de *cormophyte*. Les fonctions physiologiques sont bien définies (absorption de l'eau et des sels minéraux par les racines, la photosynthèse par les feuilles et la reproduction par les tiges). Les *cormophytes* sont divisées en plusieurs embranchements :

#### 1-2-2-2-1- *Bryophytes* (Les mousses).

La plante est formée de sortes de tiges et de feuilles, par contre il n'y a pas de racines et pas de tissus conducteurs.

Ce sont des végétaux chlorophylliens (*Cryptogames cellulaires*) de petites tailles généralement terrestres et vivent de préférence dans les milieux humides. L'origine de *Bryophytes* est incertaine. On les considère généralement comme une première tentative d'adaptation à la vie terrestre de certaines algues vertes. L'absence de vascularisation ne leur ont permis d'occuper qu'une place modeste dans la végétation terrestre. L'appareil végétatif est simple, il s'agit le plus souvent d'un tige feuillet dépourvue de racine à rôle de fixation :

- ❖ Organisme autotrophes.
- ❖ Possèdent une véritable tige feuillée.
- ❖ Ils ne l'ont pas de véritable système racinaire.



**Figure. 5 :** Bryophytes (mousses et plantes apparentées).

*Les Trachéophytes* ou plantes vasculaires comprenant :



### 1-2-2-2-2- Ptéridophytes (Lycopodes, Prêles, Fougères).

Le système racinaire et l'appareil conducteur (tissus conducteurs lignine) apparaissent mais il n'y a pas de fleurs et il n'y a pas de graines (*Cryptogames vasculaires*). **Ex : Fougères** (Vaisseaux conducteurs, racines et feuilles, tissus ligneux et reproduction par gamètes aquatiques). Certaines ptéridophytes peuvent atteindre de grands tailles.

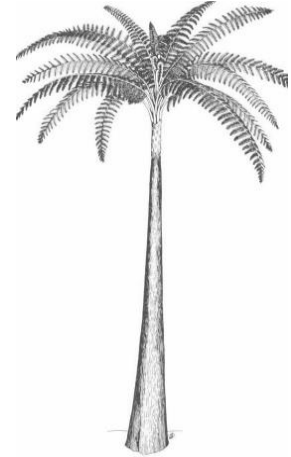


Figure. 6 : Fougère arborescente du carbonifère.

### 1-2-2-2-3- Préspermaphytes (Préphanérogames)

C'est un groupe intermédiaire entre les *ptéridophytes* et les *spermaphytes*.

### 1-2-2-3- Spermaphytes (Phanérogames) (Plantes produisant des graines)

Il est caractérisé par l'apparition de la fleur et de la graine d'où le nom de spermaphytes (du grec, *sperma* : semence Cf graine ; *phytes* : végétal...), ou *Spermatophytes* ou encore *Phanérogames* (*Phanero* : visible Cf fleur), comprennent les végétaux les plus perfectionnés du règne végétal : les plantes à graines. Elles représentent plus de 90% des espèces végétales, et regroupent aussi bien les conifères que les plantes à fleurs, sont appelés aussi plantes à **ovules**, ces plantes possèdent des ovules qui après fécondation donneront des grains. C'est pour cela on les appelle (*Spermaphytes*), il a été subdivisé en trois sous-embanchement :

#### 1-2-2-3-1- Gymnospermes : (Conifères et formes apparentées)

Ce sont des plantes à fleurs dont les ovules sont nus c'est-à-dire non enveloppées dans un organe protecteur (tégument). (*Gymnos* : nu, *sperma* : graine), dans lesquelles les ovules (ébauches des futures graines) et les graines elles-mêmes ne sont pas entourées d'enveloppes closes, caractérisés par :

- ✚ Un ovule et une graine non protégée.
- ✚ La fleur est réduite aux pièces reproductrices.

#### 1-2-2-3-2- Chlamydospermes :

(*Chlamydos* : enveloppe, *sperma* : graine), leurs organes reproducteurs sont entourés d'une enveloppe simple. Ces végétaux sont isolés dans la flore actuelle et considérés comme des intermédiaires entre les *gymnospermes* et les *angiospermes* :

- ✚ Ils sont considérés comme intermédiaires entre les gymnospermes et les Angiospermes.
- ✚ Les organes reproducteurs sont entourés par une simple enveloppe.



### 1-2-2-3-3- Angiospermes : (Phanérogames ou les Plantes à fleurs)

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). Ils représentent la plus grande partie des espèces végétales terrestres, avec de 250 000 à 300 000 espèces. Les **Angiospermes** comprennent les **Dicotylédones** et les **Monocotylédones**.

- **Monocotylédones** : Plante à fleurs dont la graine n'a qu'un seul cotylédon.
- **Dicotylédones** (ou **Eucotylédones**) : Plante angiosperme dont la graine possède deux cotylédons, généralement égaux.

Caractérisés par :

- ✚ L'apparition d'**ovaire qui protège les ovules**.
- ✚ Les **appareils reproducteurs** se trouvent dans un organe appelé **fleur**.
- ✚ Se sont donc des végétaux qui portent des **fruits**.

Les Angiospermes comprennent les **dicotylédones** et les **monocotylédones** plantes à graine (*Spermatophytes*) : **Gymnospermes** et **Angiospermes**.

- ✚ **Gymnospermes** Graine nue Reproduction aérienne : pollen
- ✚ **Angiospermes** : Plantes à fleur

- Groupe le plus important
- Organes reproducteurs = fleurs
- Graines contenues dans le fruit

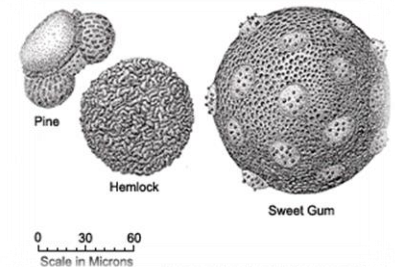


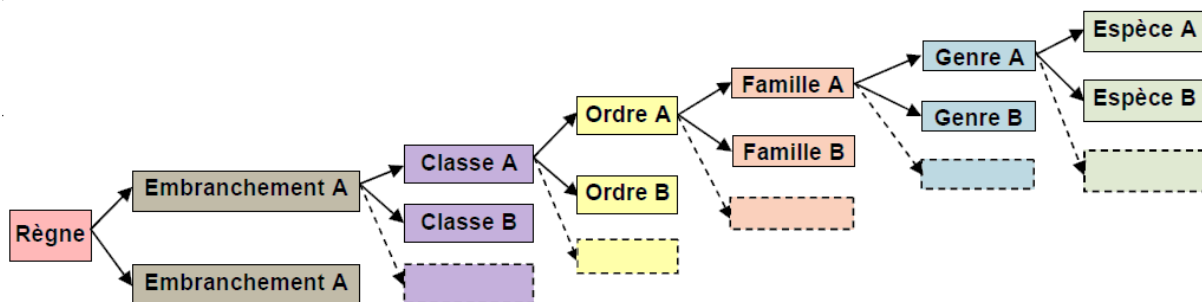
Figure. 7 : graines de pollen.

### 1-3- Les végétaux sont regroupés en taxons :

L'ensemble des plantes constitue le règne végétal, les autres niveaux de classification sont par ordre hiérarchique : Embranchement, Classe, Ordre, Famille, Genre, Espèce.

Ex : (Fraisier des bois) *Fragaria vesca* L.

Règne	Embranchement	Sous Embranchement	Classe	Ordre	Famille	Genre	Espèce
Végétale	Phanérogames	Angiospermes	Dicotylédones	Rosales	Rosaceae	Fragaria	vesca



Dans un groupe végétal, on trouve des végétaux qui se ressemblent beaucoup entre eux, mais ils se distinguent par un ou plusieurs critères, on dit qu'ils appartiennent à des espèces différentes. La systématique végétale est la partie de la botanique qui a pour objet le regroupement des plantes en catégories selon les caractères morphologiques, cytologiques, biochimiques et biologie moléculaires.



Les classifications actuelles tentent d'établir l'enchaînement des groupes de plantes des plus primitifs aux plus évolués. Ce sont les classifications *phylogénétiques*. Elles ont commencé à se développer au **XIX<sup>e</sup>** siècle ; ainsi dès 1866 Haeckel en Allemagne proposait une classification où toutes les plantes avaient un ancêtre commun et en dérivait par l'action de diversifications multiples. Depuis près de 150 ans les botanistes recherchent une classification universelle devant refléter les ressemblances entre les espèces et résumer les étapes de l'évolution. Pour y arriver, ils se basent sur des critères morphologiques (comme les classifications naturelles antérieures), mais aussi sur les résultats des sciences nouvelles : biochimie, palynologie, taxonomie expérimentale... Depuis le milieu du **XX<sup>e</sup>** siècle, plusieurs grandes classifications phylogénétiques ont été proposées. Citons seulement celles de l'américain Arthur Cronquist de 1988 et du russe Armen Thakhtajan de 1997. Loin d'être immuables, les classifications sont modifiées en fonction des progrès des connaissances permettant de proposer de nouvelles hypothèses. Il reste, cependant, de nombreuses difficultés qui proviennent du fait que très peu de formes actuellement vivantes sont réellement primitives et qu'il arrive que des plantes partagent un caractère qui n'est pas dû à une parenté proche mais à une simple convergence évolutive. L'utilisation de la biologie moléculaire depuis quelques années donne aux botanistes une nouvelle méthode de comparaison entre familles et ordres permettant de préciser plusieurs points encore obscurs ou imprécis de la classification des végétaux.

#### 1-4- Particularités de la cellule végétale :

La cellule est l'unité fondamentale de la vie. C'est aussi l'entité biologique la plus simple capable de vivre isolée. Dans un organisme unicellulaire, la cellule s'occupe de tous les processus vitaux, alors que dans un organisme pluricellulaire, les cellules tendent à se spécialiser. Elles dépendent les unes des autres, chaque cellule se chargeant de fonctions particulières. Les Angiospermes sont des végétaux supérieurs eucaryotes dont la cellule eucaryote est constituée d'un vrai noyau, une paroi *pectocellulosique*, une grande vacuole, des plastes et des *cytosomes*. La cellule est le siège de nombreux processus biochimiques mettant en jeu un très grand nombre de molécules organiques (jusqu'à 10 000 chez certaines cellules) et d'ions inorganiques qui agissent de façon coordonnée dans des structures cellulaires précises. Les cellules contiennent 90 % d'eau et sur le 10 % de matière sèche restants, il y a pratiquement 40 % de protéines, 14 % de glucides et de lipides. La cellule est compartimentée **Figure (8)** et ce sont des membranes qui délimitent les différents compartiments. Ce sont donc ces membranes qui seront en premier étudiées.

##### 1-4-1- Les membranes cellulaires :

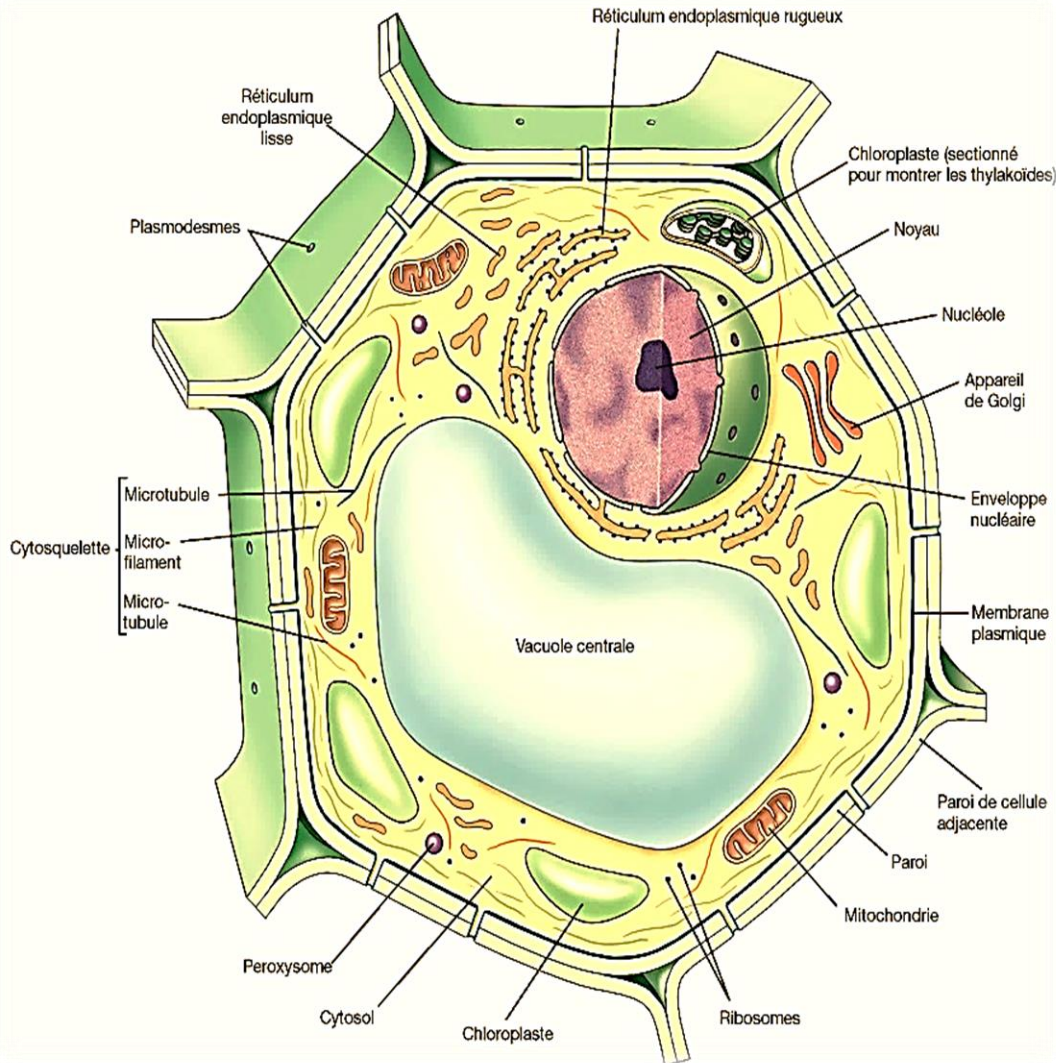
Les constituants les plus importants des membranes sont des lipides et des protéines. Une membrane est formée d'une bicouche de *phospho-glycérolipides* et de *cholestérol*. Deux membranes sont particulièrement importantes.

**a. Le plasmalemme** appelé aussi membrane plasmique, possède une épaisseur de 6 à 9 nm, délimite le cytoplasme de la périphérie de la cellule grâce à une perméabilité très sélective, il joue un double rôle de protection et de contrôle des échanges entre les milieux intracellulaire et extracellulaire. Ce plasmalemme n'isole pas complètement la cellule car il existe entre les cellules, un continuum symplasmique. Cette continuité du plasmalemme d'une cellule à l'autre s'effectue par l'intermédiaire de ponts cytoplasmiques passant dans les lumières des *plasmodesmes*.

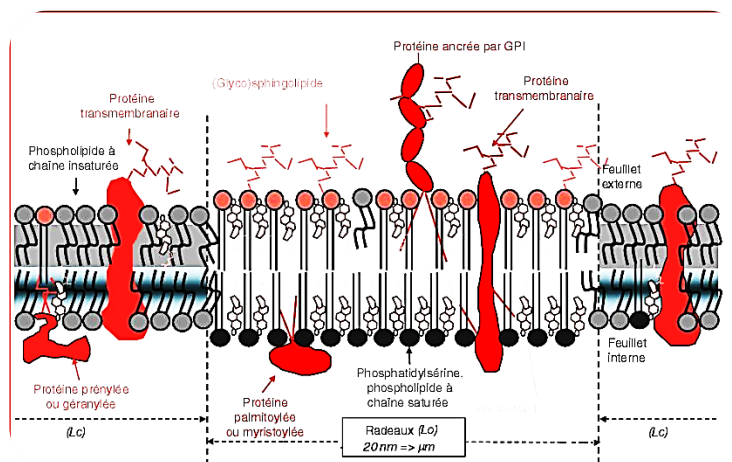


**b. Le tonoplaste** qui entoure la vacuole du cytoplasme.

Les constituants les plus importants des membranes sont des lipides et des protéines. D'après le modèle de Singer et Nicholson, les membranes présentent une structure tridimensionnelle plane de protéines et de lipides **Figure (9)**.



**Figure. 8 :** Représentation schématique d'une cellule végétale Eucaryote.



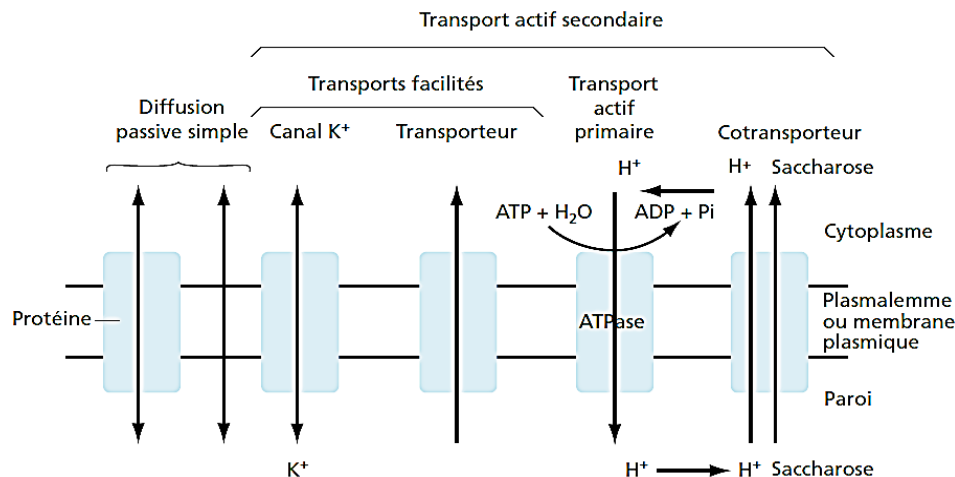
**Figure. 9 :** Modèle moléculaire du plasmalemme.



Une membrane est formée d'une bicouche de *phosphoglycérolipides* et de cholestérol, dont les pôles hydrophiles sont orientés vers l'extérieur et où se trouvent des particules protéiques éparses. Certaines sont simplement accolées, d'autres sont littéralement enchâssées.

La stabilité de la structure membranaire se fait grâce aux protéines membranaires. Elles ont des pôles hydrophiles dans lesquels se concentrent les groupements polaires des acides aminés et des pôles lipophiles formés des chaînes carbonées apolaires des acides aminés. Les domaines lipophiles des protéines sont en interaction avec les têtes hydrophiles des lipides qui constituent la surface membranaire. Dans le *plasmalemme*, on trouve aussi des protéines en rosette constituées de six molécules de cellulose synthase. La face interne absorbe les précurseurs de la cellulose provenant du cytoplasme tandis que la face externe extrude des *microfibrilles* cellulosiques dans la paroi cellulaire. Chez la levure de bière *Saccharomyces cerevisiae*, qui appartient au sous règne des *Funcea*, le *plasmalemme* ne synthétise pas de cellulose mais des *microfibrilles* de chitine.

La composition des membranes en lipides et en protéines leur confère des propriétés quant aux passages des éléments. Diffusion passive simple et transports facilités et actifs s'effectuent au niveau des membranes **Figure (10)**.



**Figure. 10 :** Processus de transports à travers les membranes.

Les mécanismes de transport sont donc de trois types : la diffusion passive simple, les transports facilités et le transport actif.

#### 1-4-2- La paroi cellulaire :

Deux types d'enveloppes entourent les cellules végétales. La paroi pectocellulosique, elle est épaisse et rigide. Composée principalement d'un produit du métabolisme secondaire : la cellulose. Son rôle est d'assurer le maintien de la cellule et ses liaisons physiques avec les cellules voisines. La membrane cellulaire, pour sa part, est aussi présente chez la cellule végétale, elle est située à l'intérieur de cellule et renferme les organites cellulaires.

Une originalité du monde végétal sur le monde animal est la présence d'une paroi cellulaire (la paroi squelettique) située au-delà du plasmalemme. Elle assure la rigidité de la cellule sans pour autant empêcher généralement l'eau et les solutés de la traverser pour atteindre le *plasmalemme* grâce aux *plasmodesmes*, elle possède des ponctuations correspondant à des plages de *plasmodesmes*, elles-mêmes correspondant à de petits orifices permettant la communication entre les cellules. Elle constitue un compartiment *extracytoplasmique* appelé



*apoplasme* qui se compose d'une lamelle moyenne, d'une paroi primaire, et d'une paroi secondaire. Elle constitue un compartiment *extracytoplasmique* appelé *apoplasme*. Cette paroi cellulaire ou paroi squelettique protège la cellule, prévient une absorption excessive d'eau, assure le maintien et définit la taille et la forme de la cellule végétale. Elle participe à la régulation des relations avec les autres cellules et l'extérieur, de manière passive, au transport, à l'absorption, et à la sécrétion de multiples substances. Elle est essentiellement composée de polymères glucidiques cellulose et pectine, de protéines pariétales et éventuellement d'autres composées de nature phénolique (lignine, subérine et cutine). Cette paroi est percée à certains endroits de fins canaux appelés *plasmodesmes* qui permettent aux cellules de se communiquer directement via leur cytoplasme.

Toutes les cellules ont une paroi primaire, comprenant quelques *microfibrilles* de cellulose et une lamelle moyenne (dépourvue de cellulose) qui constitue le ciment assurant la jonction entre les cellules d'un tissu et une paroi secondaire épaisse. Celle-ci est généralement composée de trois couches riches en cellulose orientées différemment : horizontalement en périphérie et verticalement au milieu. La paroi cellulaire est constituée de glucides (90 % de la masse de matière sèche) et de protéines (10%). Les glucides sont essentiellement des polysaccharides de trois types qui constituent les parois cellulaires végétales sont : la pectine, l'hémicelluloses et la cellulose. Ce sont les constituants permanents de la paroi cellulaire.

La paroi *pectocellulosique* est composée dans les cellules âgées de 03 parties qui correspondent à trois stades de son évolution à savoir :

- ✚ **La lamelle moyenne** (*mitoyenne*) c'est la partie la plus externe de la paroi cellulaire, et elle est commune à deux cellules contiguës, c'est une cloison primitive qui s'édifie et sépare les deux cellules filles après la mitose, de chaque côté de la lamelle moyenne, chaque cellule fille en croissance va élaborer sa propre paroi, elle est de nature pectique et produite pendant la division cellulaire, elle constitue le ciment assurant la jonction entre les cellules.
- ✚ **La paroi primaire** existe seule dans les cellules juvéniles et indifférenciées, elle est flexible et extensible ce qui permet la croissance cellulaire, possède une épaisseur de 1 à 3 pm. Elle est composée de polysaccharides (enchaînement de sucres) : la cellulose formée d'unité de glucose, l'hémicellulose, des composés pectiques et des protéines. Les molécules de cellulose forment un réseau de *microfibrilles* enrobées dans une pâte faite principalement d'hémicelluloses liées à la protéine. Cette pâte relativement molle rend la paroi primaire extensive. Elle se dépose entre la lamelle moyenne et la membrane plasmique.
- ✚ **La paroi secondaire** est formée lors de la différenciation de la cellule, plus épaisse que la paroi primaire, se dépose entre la paroi primaire et la membrane plasmique, constituée de cellulose et hémicellulose et enrichie en composés phénoliques: lignine (pour renforcer la rigidité), cutine et subérine (pour l'imperméabiliser). Une fois la taille de la cellule acquise, la paroi secondaire se forme par dépôts successifs à l'intérieur de la paroi primaire. Ces dépôts dépourvus de composés pectiques comportent des microfibrilles de cellulose extrêmement serrées les unes contre les autres. Ces dépôts ne peuvent plus s'agrandir.

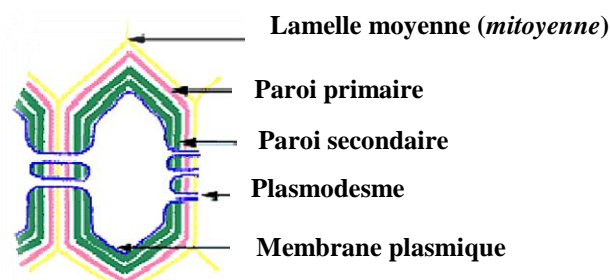


Figure. 11 : La paroi cellulaire.



### 1-4-3- Les vacuoles :

Une vacuole est un organite cellulaire eucaryote, très importante spécifique des cellules végétales et fongiques. Les cellules jeunes possèdent plusieurs petites vacuoles alors que les cellules différenciées se caractérisent par une vacuole centrale. Une vacuole est une grosse structure unique, de forme variable selon les cellules, délimitée par une membrane vacuolaire lipidique appelée *tonoplaste*. La vacuole concentre 80% à 90% du volume et du poids de la cellule végétale et finissent par repousser tout le contenu cellulaire contre la paroi. Elle contient le suc vacuolaire dont la composition varie en fonction de l'état de la plante, la vacuole constitue le principal réservoir d'ions inorganiques tels que les ions de potassium et chlorure, elle contient surtout de l'eau mais aussi des molécules organiques comme des glucides, certains des pigments tels que les pigments rouges et bleus attirent les insectes pollinisateurs vers les pétales des fleurs; protège les plantes contre les prédateurs car elle referme parfois des composés toxiques ou désagréables au goût.

En générale, son rôle est dédié au stockage de l'eau, de solutés organiques, des ions minéraux et parfois des pigments (Anthocyanes). La vacuole a surtout un rôle de maintien de l'homéostasie cellulaire, c'est-à-dire qu'elle permet un maintien des bonnes concentrations des éléments dans le cytoplasme, en stockant sélectivement des éléments au sein de sa membrane. Elle joue aussi un rôle majeur important dans la régulation des grandes fonctions physiologiques de la cellule végétale (la turgescence des cellules végétales, en assurant une pression osmotique suffisante à l'intérieur de la cellule, pour maintenir une rigidité de certaines structures anatomiques (tige) pH, Concentration ionique).

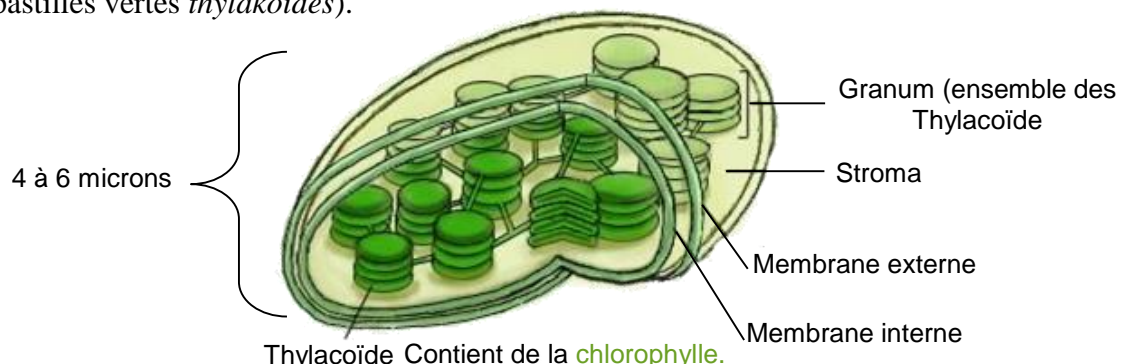
### 1-4-4- Les plastes :

Ce sont des organites intracellulaires ovoïdes ou sphériques de quelques microns de long, délimités par une double membrane, dérivent des *proplastés*. Certains plastes synthétisent de nouvelles molécules, alors que d'autres les emmagasinent. On peut distinguer plusieurs types de plastes :

**A. Les proplastés :** plastes non différenciés.

**B. Les chloroplastes :**

Le chloroplaste est limité par une double membrane. L'externe est continue, tandis que l'interne présente parfois des invaginations dans le stroma. Les chloroplastes contiennent de la chlorophylle (*pigment capable de capter l'énergie lumineuse qui sera ensuite transformée par la cellule végétale*) indispensable pour la photosynthèse. En coupe longitudinale on observe d'abord une organisation avec des granas comprenant chacun des disques granaires (ou saccules ou pastilles vertes *thylakoïdes*).



**Figure. 12 :** Représentation schématique d'un chloroplaste.



Ces granas, qui peuvent être constitués de 2 à 100 disques, sont reliés les uns aux autres par des lamelles stromatiques dont l'ensemble forme un réseau continu. Le stroma contient aussi des ribosomes ainsi que de l'ADN circulaire.

### C. Les chromoplastes :

Certains plastes contiennent d'autres pigments que la chlorophylle comme les caroténoïdes (pigments jaunes et orangés) ou de la xanthophylle ou le lycopène (pigment jaune pâle). Ils se trouvent dans les cellules de plusieurs fruits colorés, comme les tomates ou des fleurs ou feuilles à l'automne, comme les roses rouges. Les chromoplastes se rencontrent habituellement chez les cellules végétales exposées à la lumière. Cependant, certaines cellules non exposées à la lumière peuvent aussi contenir du carotène (la carotte dans le sol).

### D. Les leucoplastes :

Plastes sans pigments, ce qui suggère une localisation dans les racines et les tissus non photosynthétiques. Ils peuvent se spécialiser pour stocker des réserves d'amidon, de lipides ou de protéines, ils sont respectivement appelés *amyloplast*, *oléoplast* ou *protéinoplast*.

### E. Les amyloplastes :

Dans les cellules des organes de réserves, les dépôts d'amidon s'effectuent dans les amyloplast. Ce sont des plastes contenant très peu de membranes internes mais de nombreux grains d'amidon. Le développement de plusieurs grains peut entraîner l'éclatement de l'enveloppe, l'ensemble est alors libéré dans le cytosol. Ex : la pomme de terre.

### F. Les étioplastes :

Chez les plantes qui manquent de lumière. Un plaste peut changer de type. C'est le processus interconversion plastidiale. Par exemple : un leucoplaste de pommes de terre peut se transformer en chloroplaste à la lumière, un chloroplaste de citron devient chromoplaste au cours de la maturation du fruit. Il existe aussi les oléoplastes, les protéoplastes....

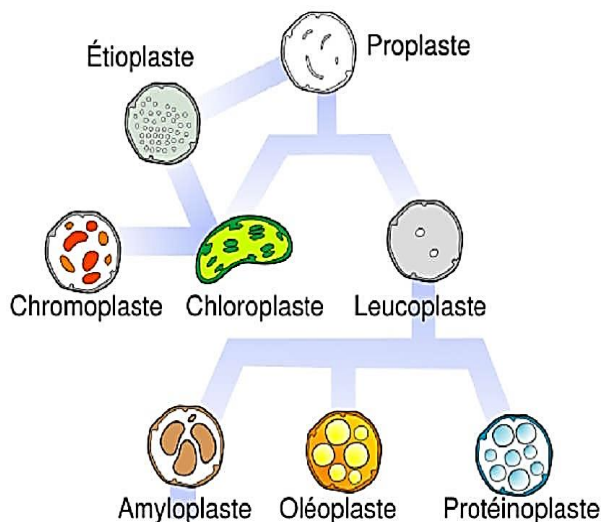


Figure. 13 : Différents types de plastes.

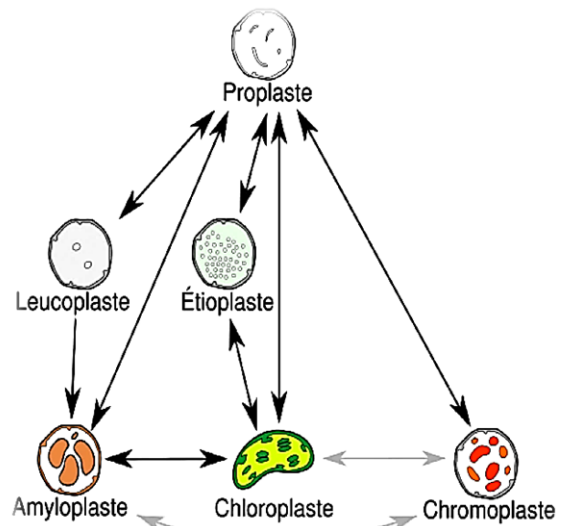


Figure. 14 : Le processus interconversion plastidiale.



### 1-4-5- Le noyau :

Le noyau **Figure (15)** est le centre de contrôle de la cellule. Le matériel génétique de la cellule se situe en effet, principalement dans le noyau.

#### a) Les constituants du noyau :

Le noyau cellulaire a été découvert en 1831 par Robert Brown (1773-1848) chez la « misère » *Tradescantia zebrina* Loud. Son diamètre moyen est extrêmement variable. Il est de 0,4 mm chez les champignons et varie de 4 à 24 mm chez la majorité des végétaux. Il a plusieurs composants.

#### 1. Une enveloppe nucléaire :

Elle est constituée d'une double membrane. L'espace entre les deux membranes forme un continuum avec le réseau de réticulum endoplasmique qui se trouve dans le cytoplasme. Cette enveloppe est ponctuée de *pores nucléaires* qui laissent passer des molécules d'*ARN* messager, des nucléotides, des ions...

#### 2. De la chromatine :

Quand le noyau est au repos, donc quand il n'est pas en division, on peut observer des zones plus denses, qui correspondent à l'association d'*ADN* et d'histones constituant les chromosomes. À ce stade, ils ne sont pas condensés.

#### 3. Un ou plusieurs nucléoles :

Il s'agit de zones très sombres, non délimitées par des membranes, qui se distinguent très bien de la quatrième phase du noyau : le *nucléoplasme*.

#### 4. Le nucléoplasme :

Il apparaît structuré comme le cytoplasme fondamental avec lequel il est en relation par l'intermédiaire des pores nucléaires.

#### b) Les chromosomes :

Au cours de la division cellulaire, les *chromosomes* sont visibles en microscopie photonique à condition d'être colorés (le plus souvent par la coloration de Feulgen). Quand ils sont compactés ils ont une forme de bâtonnets recourbés, anguleux ou sphériques **Figure (10)**.



**Figure. 15** : Photographie de chromosomes de maïs observés en microscopie optique, après coloration au Feulgen dans une cellule de racine. Grossissement :  $\times 1300$ . (Cliché F. Saly-MNHN Paris.).



La réaction de Feulgen elle comporte deux grandes étapes. L'ADN constitutif des chromosomes est d'abord hydrolysé à l'aide d'un traitement à l'acide chlorhydrique chaud. Le groupement aldéhyde du désoxyribose de l'ADN est libéré et se colore en rouge-violet après réaction à l'acide fuschinique sulfureux.

L'observation de chromosomes, montre qu'ils sont constitués d'une paire hélicoïdale de *chromatides* parallèles, enrobés d'une substance formant la matrice. Le pas de cette hélice est très variable, mais toujours très court.

Les chromosomes sont réunis par paire dans les cellules *diploïdes*. On dit alors que le nombre de chromosomes est  $2n$ . Les cellules reproductrices, sont *haploïdes*, le nombre de chromosomes est alors  $n$ . Ce nombre  $n$  est très variable et n'est pas corrélé avec le degré d'évolution des plantes. Il oscille entre 2 et 100 **Tableau (5)**. Les plus fréquents sont entre 4 et 17.

**Tableau. 5 : Quelques nombres ( $2n$ ) chromosomiques.**

Nom commun	Nom scientifique	Nombre de chromosomes
Nénuphar blanc	<i>Nymphaea alba</i> L.	$2n = 84$
Nénuphar candide	<i>Nymphaea candida</i> Presl	$2n = 180$
Adonis de printemps	<i>Adonis vernalis</i> L.	$2n = 16$
Compagnon blanc	<i>Melandrium album</i> Garcke	$2n = 24$
Saxifrage en panicules	<i>Saxifraga aizoon</i> Jacq.	$2n = 48$
Trèfle rouge	<i>Trifolium pratense</i> L.	$2n = 14$
Trèfle rampant	<i>Trifolium repens</i> L.	$2n = 32$
Linaires vulgaires	<i>Linaria vulgaris</i> Miller	$2n = 12$
Sabot de Vénus	<i>Cypripedium calceolus</i> L.	$2n = 20$
Engrain sauvage	<i>Triticum aegilopoides</i> (Link)	$2n = 14$
Blé dur	<i>Triticum durum</i> (Desf.) Husn.	$2n = 28$
Blé tendre	<i>Triticum aestivum</i> L.	$2n = 42$

#### 1-4-6- Les cytosomes :

Les cytosomes appelés aussi « *microbodies* », sont des organites cellulaires sphériques, limités par une membrane simple. L'intérieur contient un certain nombre d'enzymes :

- Les lysosomes**, contiennent des enzymes lytiques qui coupent de nombreuses macromolécules comme les polysaccharides et les acides nucléiques.
- Les glyoxysomes**, ce sont des organites cellulaires qui, en collaboration avec les mitochondries, assurent la transformation des lipides de réserve en glucides.
- Les peroxysomes**, se trouve dans les cellules photosynthétiques actives. Ils sont le siège des principales étapes de la photo-respiration, en particulier le dégagement de  $\text{CO}_2$ .

# *Chapitre 11*

*Différents types*

*des tissus végétaux*



## 1- Introduction :

Les cellules d'un végétal vont se différencier, se spécialiser pour former différents tissus. Le regroupement de ces tissus en vue d'assurer les différentes fonctions donneront naissance aux organes : racines, tiges, feuilles et fleurs qui sont Les organes végétatifs permettent la nutrition et la croissance de la plante.

L'histologie végétale est la partie de la biologie végétale qui étudie la structure microscopique des tissus végétaux. La classification des tissus végétaux est basée sur la fonction principale des cellules qui les composent. Ainsi, en excluant les méristèmes, qui ne sont pas des tissus différenciés, on distingue principalement quatre grandes catégories de tissus au sein de l'appareil végétatif des Spermaphytes : les tissus de recouvrement (épiderme rhizoderme et suber), les tissus de soutien (collenchyme, sclérenchyme et bois), les tissus conducteurs (le xylème et phloème) et les tissus parenchymateux (chlorophylliens, amylicifère, aquifère, phelloderme, etc.).

Par ailleurs, on distingue classiquement, chez les végétaux, les tissus primaires dérivant des méristèmes primaires apicaux et les tissus secondaires résultant du fonctionnement des méristèmes secondaires annulaires.

## 2- L'Histologie végétale :

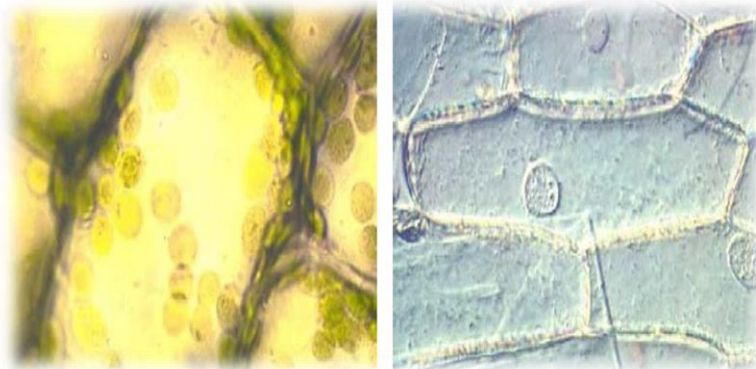
C'est la science qui étudie la structure des principaux tissus végétaux, et c'est l'organisation tissulaire de la plante. La formation des organes et des tissus résulte de l'activité des méristèmes et a lieu tout au long de la vie d'une plante. Ceci est une des caractéristiques des organismes végétaux puisque chez les animaux, la formation des organes et des tissus a surtout lieu durant l'embryogenèse. Chez les végétaux supérieurs, les cellules sont groupées en tissu.

## 3- Définition d'un tissu :

Un tissu végétal est une masse constitué d'un groupe de cellules semblables ayant même aspect et qui sont plus au moins différenciées, habituellement de même origine embryonnaire et de fonction identiques et déterminée. Les tissus peuvent se diviser en plusieurs catégories structurales ou fonctionnelles.

## 4- Fonction des tissus :

Les tissus végétaux remplissent des fonctions distinctes que l'examen microscopique seul ne peut pas révéler, selon la fonction spécialisée qu'elles effectuent dans la plante.



**Figure. 16** : Ensemble de cellules végétales formant un tissu.

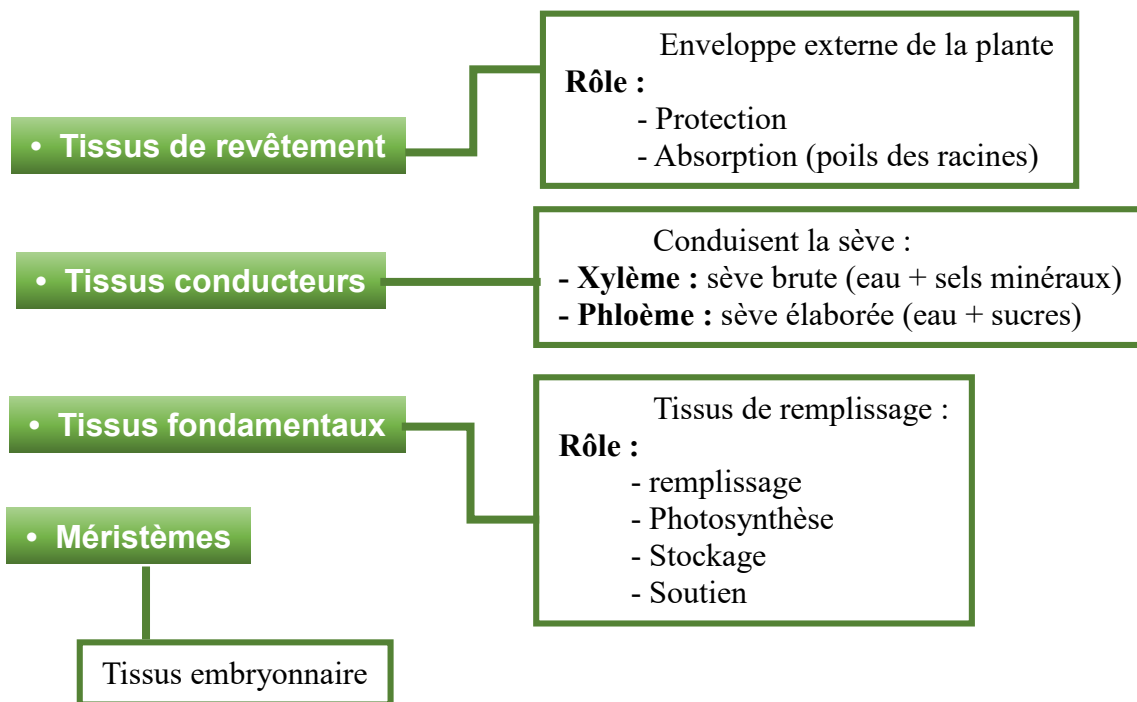


Chez la plupart des végétaux, les différentes fonctions vitales sont assurées par des organes différents, formés de tissus spécialisés. Un tissu est un groupement de cellules de même origine, assurant les mêmes fonctions. On classe les tissus selon leur fonction :

- + Les tissus de protecteurs,
- + Les tissus de nutrition (tissu de remplissage ou parenchymes),
- + Les tissus conducteurs,
- + Les tissus de soutiens.
- + Les tissus de sécrétions.
- + Les tissus de multiplication cellulaire.

Types de tissus végétaux :

Les plantes sont organisées en quatre grands types de tissus



Chacun de ces types est lui-même formé d'un ou plusieurs tissus végétaux.

### 5- Tissus vivants et tissus morts :

Les végétaux possèdent des tissus vivants: épiderme, parenchyme, ect...et des tissus morts: vaisseaux ligneux, liégé, sclérenchyme.

### 6- Origine des tissus :

Les cellules des embryons animaux ou végétaux sont jeunes, semblables, petit, elles se divisent rapidement. Leur ensemble forme un tissu de multiplication d'où dérivent, par différenciation, tous les autres tissus.

Dans le règne végétal, les premières cellules, après division, forment une plantule. Celle-ci contient des tissus de multiplication ou méristème (du grec **meristos**, partager).

L'embryon d'une Angiosperme comporte déjà les ébauches des futurs méristèmes (du grec **meris** = partie et **stêma** = filament) caulinares (des tiges) et racinaires. Ces méristèmes



primaires, qui sont à l'origine des tissus de la plante, sont situés chez les Spermaphytes, au niveau de la gemmule et de la radicule.

De la germination jusqu'à la mort de la plante les méristèmes assurent la croissance en longueur des tiges et des racines. Même si cette croissance se ralentit parfois, il est possible de parler de croissance indéfinie. Les cellules méristématiques sont facilement reconnaissables dans la plante.

Ces méristèmes primaires en fonctionnant vont donner des tissus. Ils sont dénommés tissus primaires pour les différencier des tissus secondaires qui apparaissent chez certaines plantes ultérieurement.

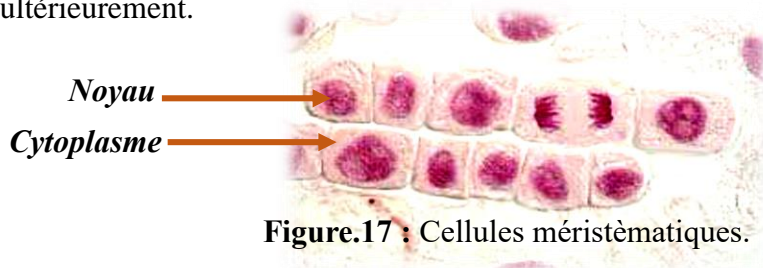


Figure.17 : Cellules méristématiques.

Les tissus végétaux adultes proviennent des tissus indifférenciés appelés méristèmes. Les transformations morphologiques et physiologiques des cellules méristématiques (embryonnaires) en tissu adulte constituent le processus de différenciation cellulaire.

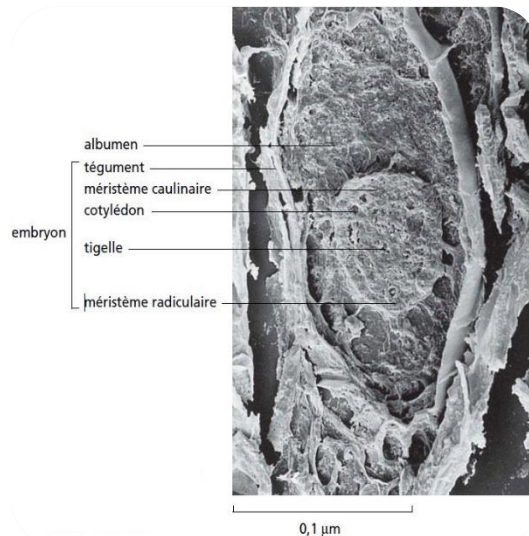


Figure. 18 : Graine de striga (*Striga hermontica* Del. Berth) observée en microscopie électronique à balayage (coupe longitudinale).

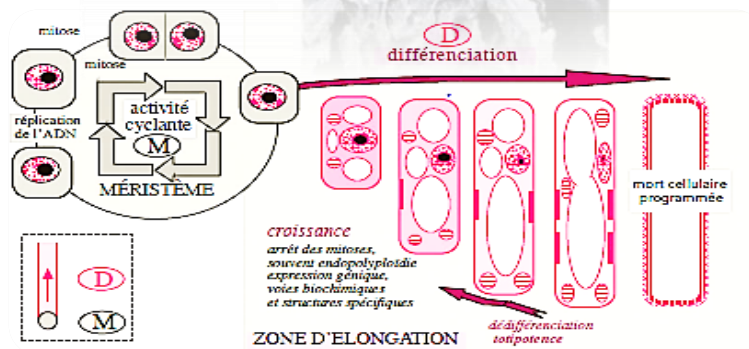


Figure. 19 : La différenciation et la croissance.

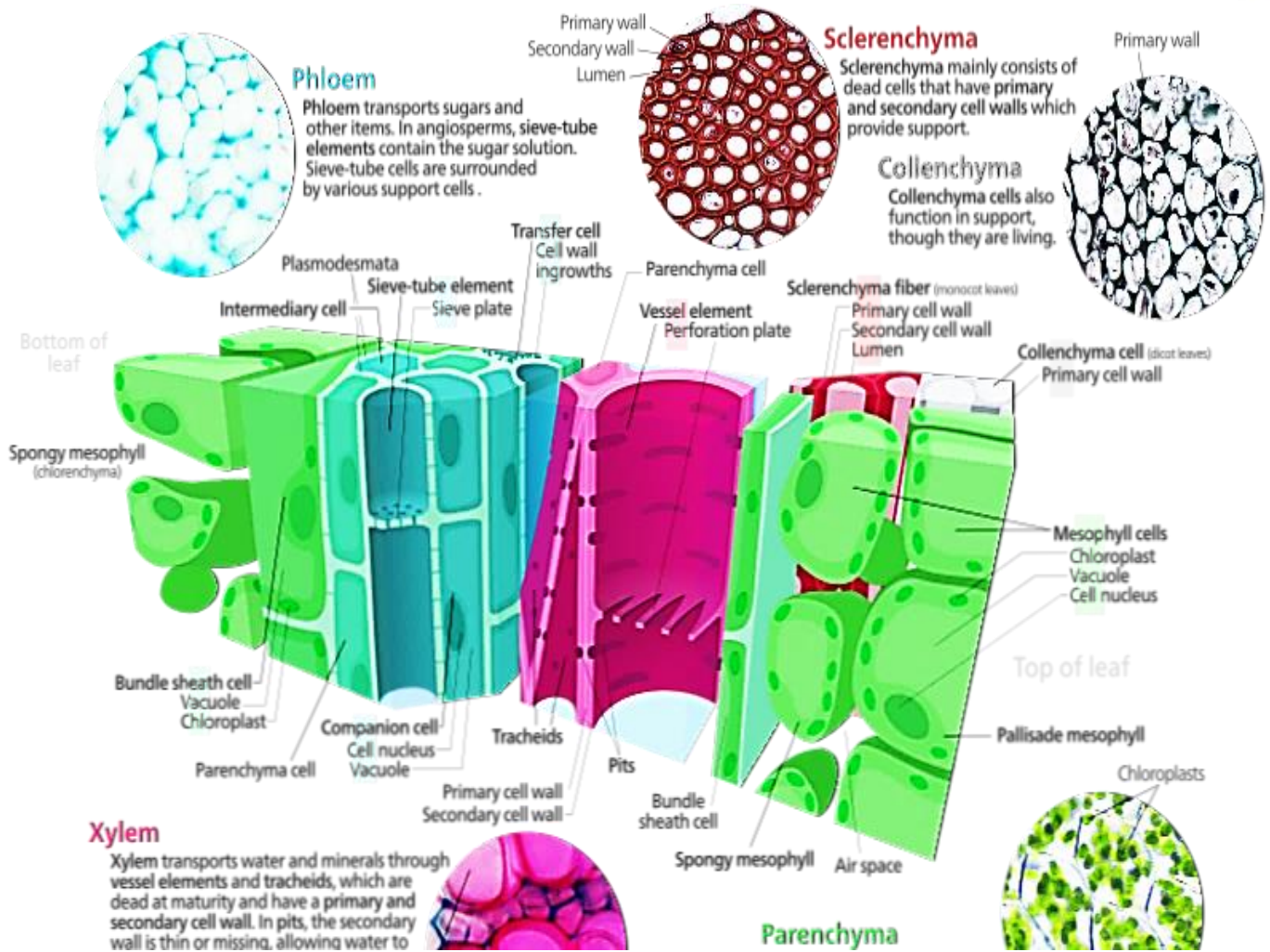


Figure. 20 : Les différents tissus végétaux

### A- La différenciation cellulaire :

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

Une cellule capable de se différencier en plusieurs types de cellules est appelée pluripotente. Ces cellules sont appelées cellules souches chez les animaux et cellules méristématiques chez les plantes. Une cellule capable de se différencier en tous les types cellulaires d'un organisme est dite totipotente. Chez les mammifères, seuls le zygote et les jeunes cellules embryonnaires sont totipotentes, tandis que chez les plantes, beaucoup de cellules différenciées peuvent devenir totipotentes. Certaines cellules vont se différencier en poils absorbants (une cellule = un poil absorbant) ; d'autres cellules vont constituer les vaisseaux conducteurs de sèves, cellules du parenchyme...etc. Ces cellules sont produites à partir des cellules méristématiques du méristème caulinaire (tige et feuille) et du méristème racinaire (racine). Les cellules méristématiques arrêtent leur prolifération et se différencient définitivement après l'induction florale et formation des tissus de la fleur. Des cellules végétales



peuvent se différencier comme les cellules du péricycle qui peuvent être à l'origine des racines secondaires.

### **B- La croissance cellulaire :**

La croissance des cellules végétales constitue un problème particulier en biologie cellulaire. En effet, la cellule végétale est entourée d'une paroi rigide qui la protège des déformations et lui donne sa forme. Sa croissance (donc son changement de taille et de forme) ne peut donc se réaliser que grâce à des changements de structure et de propriétés de cette paroi. Cette croissance est sous la dépendance d'une hormone clé de la physiologie végétale, l'auxine ou AIA (*Acide Indole Acétique*). Elle agit en permettant à la paroi cellulaire de modifier ses propriétés de plasticité.

C'est la pression de turgescence développée par la pression osmotique de la vacuole qui est le moteur de la croissance cellulaire en transformant cette potentialité de déformation en déformation réelle. Ce mécanisme hormonal permet de comprendre comment la régulation de croissance se réalise à court terme. Il n'explique pas le mécanisme de croissance à long terme. Lorsqu'une cellule jeune s'allonge de 10 fois en deux jours, son volume augmente d'un facteur 10, ce qui est énorme. Les conséquences sont importantes :

- ❖ La cellule doit maintenir une pression osmotique convenable,
- ❖ L'amincissement dû à la croissance des cellules doit être compensé par une synthèse continue de nouveaux constituants.

Les constituants de la paroi sont synthétisés et exportés selon deux modes. Les polysaccharides de la matrice comme les pectines et les hémicelluloses sont élaborés dans les vésicules golgiennes et sécrétés dans la paroi par exocytose. Il en est de même des protéines enzymatiques. La cellulose, au contraire est directement élaborée dans la paroi au niveau de la membrane plasmique.

La croissance cellulaire implique la réunion de deux conditions simultanées : un relâchement de la trame moléculaire de la paroi et une tension provoquant le glissement et l'écartement des mailles du réseau glucocellulosique. La première condition dépend d'une hormone de croissance, l'auxine ; la seconde condition résulte de l'action de diverses enzymes glucasiques. Enfin, il faut aussi que la cellule secrète activement de nouveaux matériaux afin que sa paroi puisse-t-elle aussi croître parallèlement à l'augmentation de la surface cellulaire, et ne pas s'amincir excessivement.

### **C- 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. Mais d'autres cellules continuent leur processus de différenciation, et deux possibilités se présentent.

Le cas le plus simple est celui où toutes les cellules suivent la même voie de spécialisation : elles formeront un tissu homogène.

Le second cas est celui où mes cellules suivent des voies de spécialisation différentes : le tissu en formation sera hétérogène. Ainsi, les épidermes renferment des cellules de



revêtement, des cellules stomatiques, des cellules tectrices, certaines protectrices, d'autres sécrétrices. Le phloème contient des cellules criblées conductrices, des cellules compagnes, des cellules parenchymateuses auxquelles s'ajoutent souvent des fibres de soutien, des cellules à cristaux, parfois des laticifères, etc.

#### **D- La dédifférenciation cellulaire :**

C'est un processus participant à l'embryogenèse somatique des végétaux, ainsi qu'une étape de régénération de certains organes d'animaux qui peut être induite par génie biomoléculaire. Chez les végétaux 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, exemple le cas du bouturage ou de production d'autres formes de propagules qui permet de multiplier des individus sans passer par la reproduction ou encore celui de la formation des racines secondaires. Ce phénomène peut être activé par des virus ou parasites lors de la formation de galles par exemple.

La vie de la cellule, après être passée d'un état embryonnaire à un état adulte spécialisé, s'achèvera avec sa sénescence et sa mort. Pour chaque type de cellule, seule une petite fraction du matériel génétique s'exprime. Mais l'ensemble des fractions génomiques utilisées pour tous les types cellulaires est présent mais non exploité chez toutes les cellules, et en particulier dans les cellules méristématiques.

Les plantes se développent et les tissus se forment à partir des méristèmes, massifs organisés de jeunes cellules indifférenciées qui sont le siège de divisions orientées permettent la formation et la production d'organes nouveaux (feuilles, racines, fleurs), et la croissance en longueur et en épaisseur. Ces méristèmes peuvent être fonctionnels peu de temps (plantes annuelles), ou pendant de nombreuses années. Dans le reste de la plante, les cellules se différencient en fonction de leur situation : cellules de surface (épiderme), cellules de remplissage (parenchyme), cellules conductrices de la sève (phloème, xylème), ... et cessent de se diviser. Ces méristèmes se trouvent dans les bourgeons, aux extrémités des racines et sur la longueur des tiges et des racines. On distingue deux types de méristèmes : les méristèmes primaires et les méristèmes secondaires.

#### **1<sup>ère</sup> partie- Tissus primaires :**

##### **1- Les méristèmes primaires :**

Ces méristèmes sont localisés à l'apex (c'est une notion morphologique qui correspond à l'extrémité d'une tige ou d'une racine) et à la base des feuilles et ils assurent la croissance en longueur. Un méristème apical se trouve à l'extrémité d'une tige ou d'une racine donc à l'apex. Aux apex apparaissent les nouveaux organes grâce au fonctionnement des méristèmes.

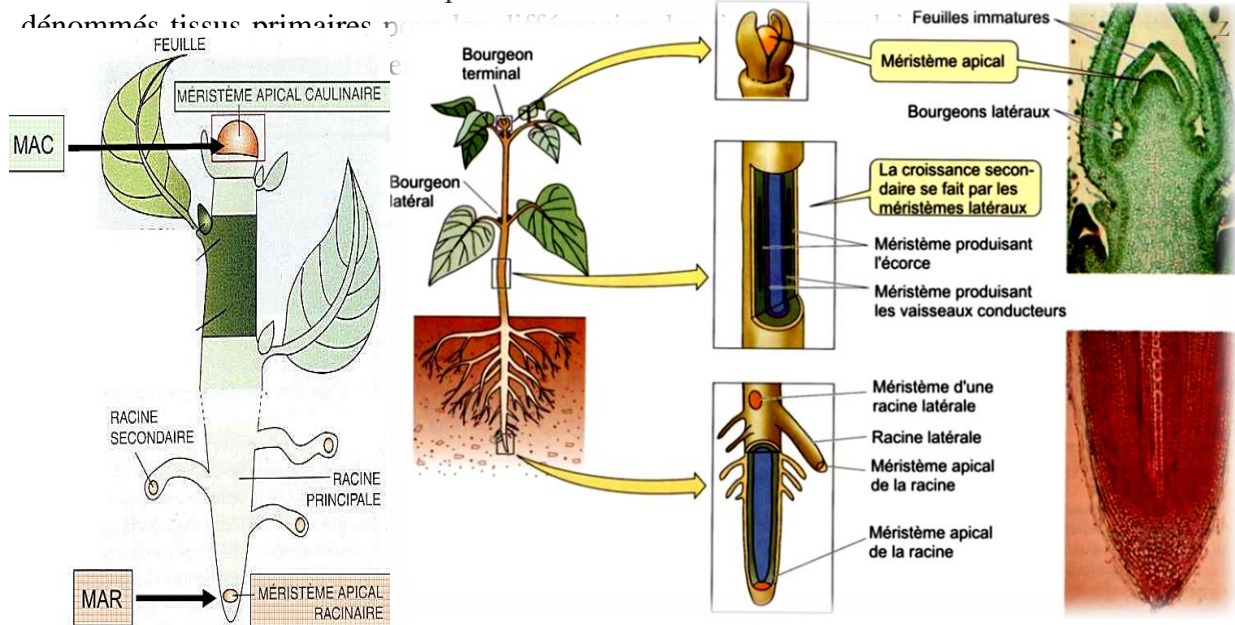
Ceux-ci sont de deux types : les méristèmes apicaux caulinaires à l'origine des parties aériennes et les méristèmes apicaux racinaires pour l'appareil souterrain. Ils fonctionnent de manière très différente.

##### **A- Localisation des méristèmes primaires :**

Les méristèmes primaires sont des tissus à cellules indifférenciées, terminaux dans les tiges, subterminaux dans les racines et à la base des feuilles. Ce sont des méristèmes apicaux, au niveau de la tige on parle de méristèmes apical caulinaire, au niveau des racines c'est le



méristème apical racinaire. Ils sont responsables de la croissance en longueur des tiges et des racines, et donc d'une grande part de l'architecture générale de la plante. Les méristèmes primaires sont à l'origine de tous les tissus primaires des végétaux. L'embryon des Angiospermes comporte déjà les ébauches des futurs méristèmes caulinaires et racinaires. Le fonctionnement des méristèmes primaires aboutit à l'obtention des différents tissus. Ils sont dénommés **tissus primaires**.



**Figure. 21** : Méristèmes primaires localisés aux extrémités des racines et des tiges

- ✚ **Méristème apical** : dans les bourgeons et à l'extrémité des racines
- ✚ **Méristème latéral** : à la périphérie des tiges et racines

### B- Caractéristiques des cellules des méristèmes primaires :

- ✚ Les cellules du méristème primaire sont petites et isodiamétriques.
- ✚ Elles sont parfaitement jointives (pas de méats), non alignés, en voie de multiplication rapide.
- ✚ Elles possèdent un noyau central occupant une partie importante du volume cellulaire (le rapport nucléoplasmique volume du noyau/volume du cytoplasme est élevé).
- ✚ L'appareil vacuolaire est réduit et il est constitué par de très petites vacuoles qui sont soit sphériques soit disposés en un très fin réseau. Les mitochondries sont nombreuses et il n'existe pas de plastes différenciés.

**Tableau I** : Caractéristiques des méristèmes primaires.

<b>Localisation</b>	<b>Extrémités des tiges et des racines</b>
<b>Rôles</b>	<b>Assurent la croissance en longueur</b>
<b>Cellules</b>	<b>Petites, isodiamétriques</b>
<b>Noyau</b>	<b>Sphériques, volumineux, centraux, très riche en chromatine</b>
<b>Cytoplasme</b>	<b>Dense abondant</b>
<b>Vacuoles</b>	<b>Nombreuses et petites</b>
<b>Paroi</b>	<b>Pectocellulosique</b>
<b>Plastes</b>	<b>Plastes non différenciés (proplastés)</b>



### 1-1- Méristème racinaire

L'allongement des racines se fait par son extrémité au niveau du méristème racinaire, ce dernier il est uniquement *histogène*. Il ne produit pas d'organes latéraux donc il n'est pas *organogène*. A l'extrémité des racines, on distingue :

- ✚ Une **coiffe**, qui protège le méristème contre la rugosité du sol. Entre celle-ci et les poils absorbants, on observe une zone quiescente (sans division cellulaire).
- ✚ Une **zone de multiplication ou de division**, juste au-dessus de la coiffe, comprend le méristème apical et les méristèmes qui en dérivent. C'est à cet endroit que se fait l'absorption des sels minéraux.
- ✚ Une **zone d'élongation**, au-dessus de la zone de division cellulaire, les cellules du méristème deviennent plus longues et permettent à la racine de s'enfoncer dans le sol.
- ✚ Une **zone de différenciation**, avant d'avoir terminé leur croissance, les cellules commencent à se spécialiser.

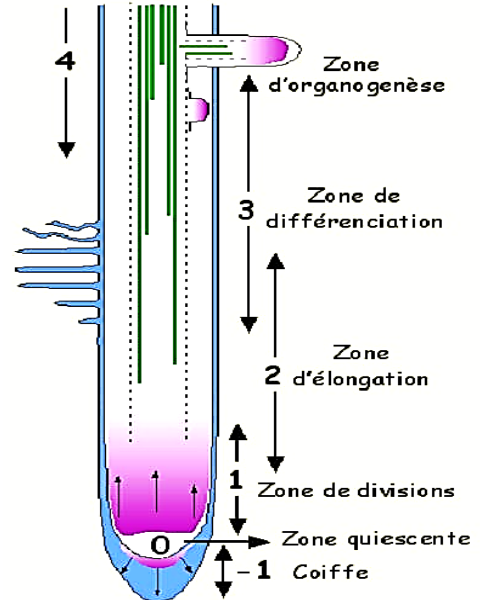


Figure 8. Différentes zones à l'extrémité d'une racine

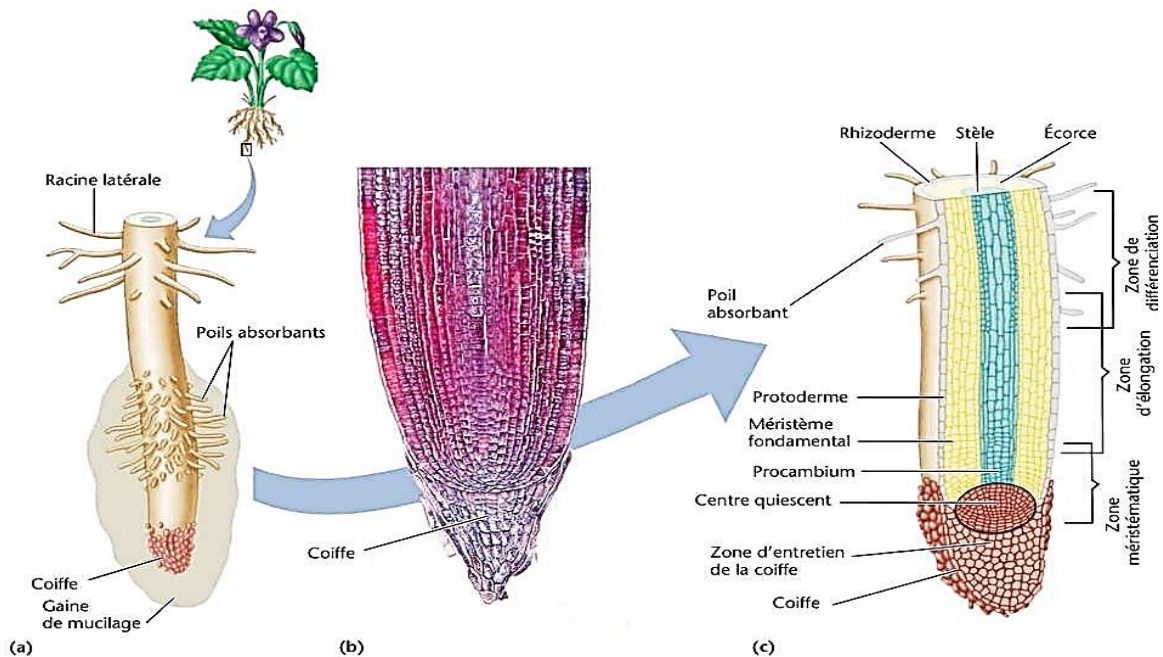


Figure. 22 : Méristème apical racinaire (a) extrémité d'une racine, (b) coupe longitudinale de l'extrémité d'une racine observée au microscope optique (c) le méristème apical racinaire avec les principales zones.

Les racines latérales se forment de manière endogène à quelque distance de l'apex à partir du **péricycle** (assise cellulaire située entre l'écorce et la stèle). Le péricycle initie les ramifications de la racine. La structure et le fonctionnement des ramifications sont identiques à celui du méristème apical de la racine.



### 1-2- Méristème caulinaire :

Le méristème caulinaire (de la tige) est responsable de l'édification de la partie aérienne de la plante, de lui, apparaissent des cellules qui en se multipliant et en se différenciant donneront **les tiges, les feuilles, les bourgeons axillaires et les bourgeons floraux**, il est donc **histogène et organogène**. De manière tout à fait répétitive et indéfinie, jusqu'à la mort de la plante.

Une coupe longitudinale d'un méristème végétatif caulinaire sous forme d'un dôme de 0.5 à 3 mm, montre l'existence de trois zones essentielles

- ✚ Une zone axiale (Za), avec deux couches superficielles, les tunicas T1 et T2 et le corpus C.
- ✚ Une zone latérale (ZL), entourant la zone axiale (Za), la partie à droite correspond à l'apparition d'une feuille (ZLF). On distingue des divisions périclines (cloisons parallèles à la surface).
- ✚ Un méristème médullaire (Mm), aux mitoses peu fréquentes formant des files empilés de cellules à l'origine de la moelle centrale M.

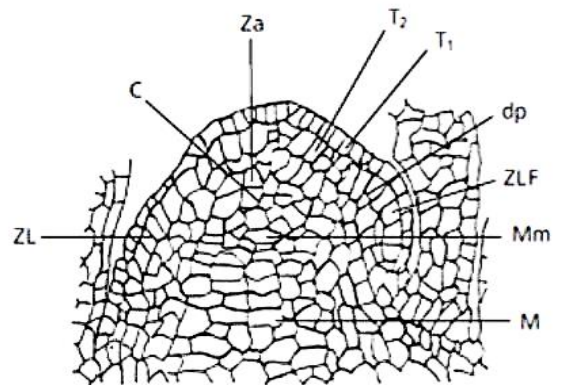


Figure. 23 Différentes zones du méristème caulinaire.

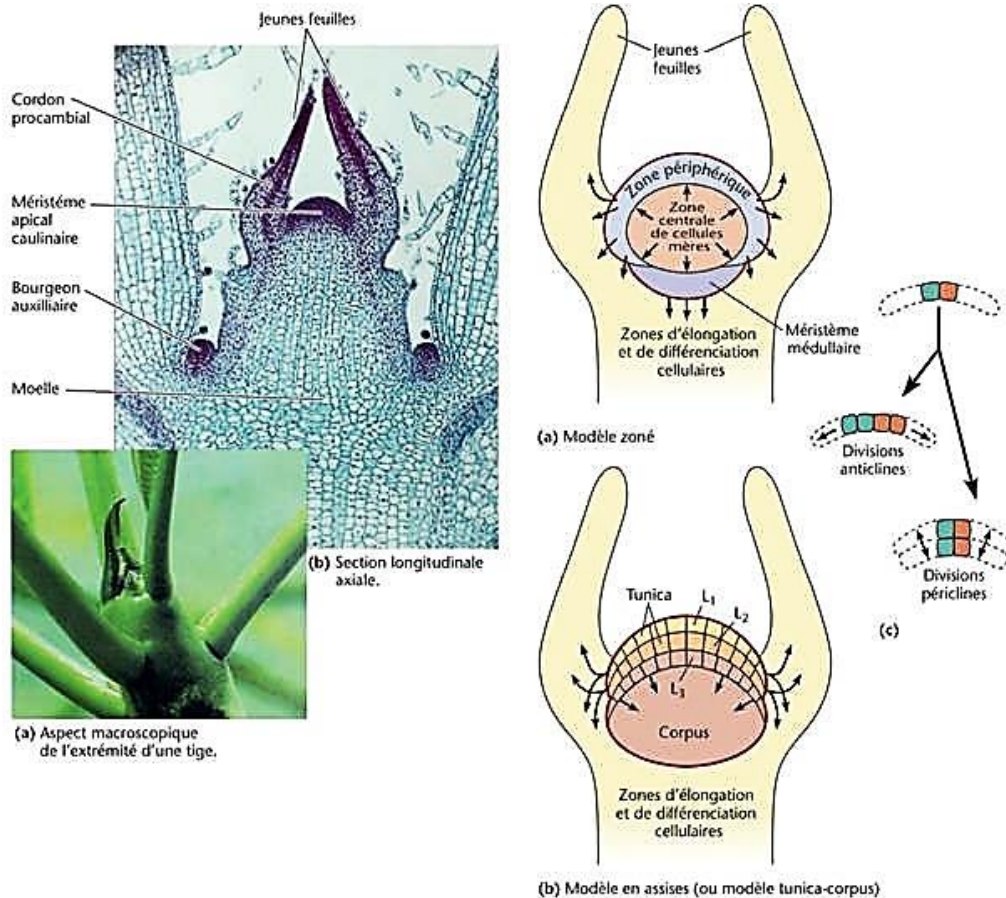


Figure. 24 Méristème apical caulinaire.



Transformation du méristème apical en méristème floral sous l'action de signaux mal identifiés (peut être des protéines sensibles à la lumière ; un **phytochrome** et un **cryptochrome**). Les méristèmes caulinaires vont se transformer en **méristèmes floraux**, et vont donc être responsables de la forme d'une fleur. Cette fleur peut être unique ou en inflorescence.

- ✚ Ces transformations correspondent à un ralentissement d'activité de **la zone latérale (ZL)** qui donnera les **sépales** (premières pièces florales apparaissant).
- ✚ **Le corpus** donne naissance au **réceptacle floral** suite à sa prolifération abondante
- ✚ **La tunica T2** sera à l'origine des **pièces florales reproductrices**

### 1-3- Évolution des méristèmes primaires :

Elle comporte deux étape :

- ❖ Une phase de multiplication cellulaire.
- ❖ Une phase d'élongation et de différenciation des cellules, les cellules augmentent de taille, leur structure et leur fonctionnement se modifient, les cellules méristématiques se transforment ainsi en cellules adultes différenciées.

Les nouvelles cellules repoussent peu à peu loin du centre du méristème, changent de forme et se spécialisent en vue d'accomplir des fonctions précises. Les tissus qui en dérivent sont caractérisés par leurs cellules disposées sans ordre. Ce sont des tissus primaires, c'est-à-dire première formés.

Grâce à cette évolution, les méristèmes primaires assurent la croissance en longueur de la tige et de la racine et la formation des tissus primaires qui constituent la structure primaire.

### 2- Les méristèmes secondaires : (Zone génératrice ou cambium)

Les coaxiaux avec les organes, ils sont le siège de cloisonnements tangentiels, d'où la formation de cylindres longitudinaux. Le fonctionnement des méristèmes secondaires modifie donc les structures primaires qui deviennent ainsi des structures secondaires.

Les tiges et les racines des végétaux ligneux s'épaississent grâce à deux méristèmes secondaires, couches de cellules en voie de multiplication active, formant dans l'épaisseur des autres tissus deux tubes tronconique concentriques.

Chaque méristème secondaire à pour origine une assise génératrice dite aussi couche génératrice ou zone génératrice, à cellules rectangulaires dont la grande dimension est perpendiculaire au rayon de la tige.

#### 2-1- Fonctionnement d'une assise génératrice :

Si les méristèmes primaires sont à l'origine de la mise en place des tissus primaires, des méristèmes secondaires apparaîtront dans ces structures primaires. Dénommés cambiums, ils sont à l'origine de tissus secondaires, appelés formations secondaires. Elles permettent la croissance en épaisseur de certaines Cormophytes. Les Bryophytes et les Angiospermes Monocotylédones n'en possèdent pas.

Considérons une seule cellule de l'assise génératrice. Cette cellule se cloisonne parallèlement à ses grandes faces en formant une nouvelle cellule (1) qui est repoussée vers le



dehors, par exemple la cellule mère (m) se divise à nouveau en 2 et refoule la cellule fille (2) vers le dedans, puis une nouvelle division donne une cellule (3) poussée vers le dehors, ect...

Après un certain temps d'activité, chaque cellule d'une assise génératrice à fourni, sur ses deux grandes faces, une file de cellules alignées dans le sens d'un rayon.

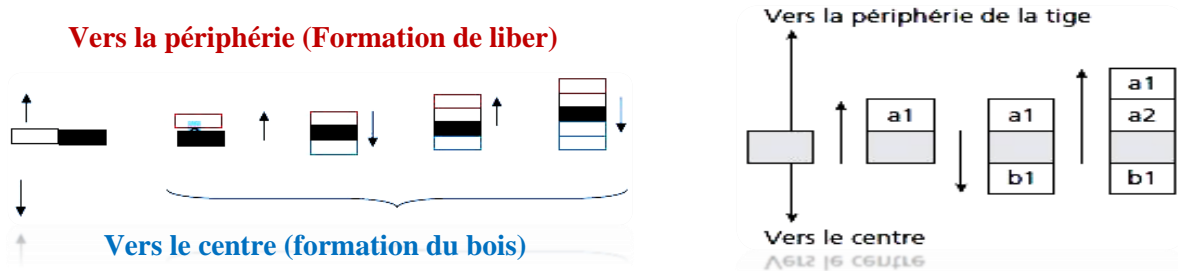


Figure. 25 : Fonctionnement d'une cellule d'assise génératrice divisions péricline du cambium.

## 2-2- Caractéristiques des cellules des méristèmes secondaires :

Les cellules des méristèmes secondaires sont différentes des cellules des méristèmes primaires, et se présentent ainsi :

- ❖ Les cellules méristèmes secondaires sont grandes et rectangulaire.
- ❖ Les méristèmes secondaires assurent la croissance des organes en largeur.
- ❖ Les méristèmes secondaires n'existent que chez les « Gymnospermes » et les « Angiospermes dicotylédones ».
- ❖ Les méristèmes secondaires sont constitués de cellules à contour rectangulaire disposées en rangées régulières.
- ❖ La vacuole est très développée dans le cas des méristèmes secondaires occupe une partie importante du cytoplasme et le noyau est localisé à la périphérie des cellules relativement petit, les mitochondries et les plastes sont structurés.
- ❖ Les méristèmes secondaires sont constitués de deux assises génératrices : l'assise subéro-phellodermique (ASP) et l'assise libéro-ligneuse (ALL).

## 2-3- Différenciation cellulaire :

A mesure que les cellules des méristèmes secondaires grandissent, elles prennent une forme et une structure déterminées et remplissent une fonction définie.

Les transformations qu'elles subissent, ou différenciation cellulaire, sont à l'origine des tissus secondaires, tissus caractérisés par l'alignement de leurs cellules en files radiales. Dans les plantes on trouve deux méristèmes secondaires qui se différencient tardivement.

### • L'assise Subéro-Phéllodermique : (La zone génératrice subéro-phéllodermique) :

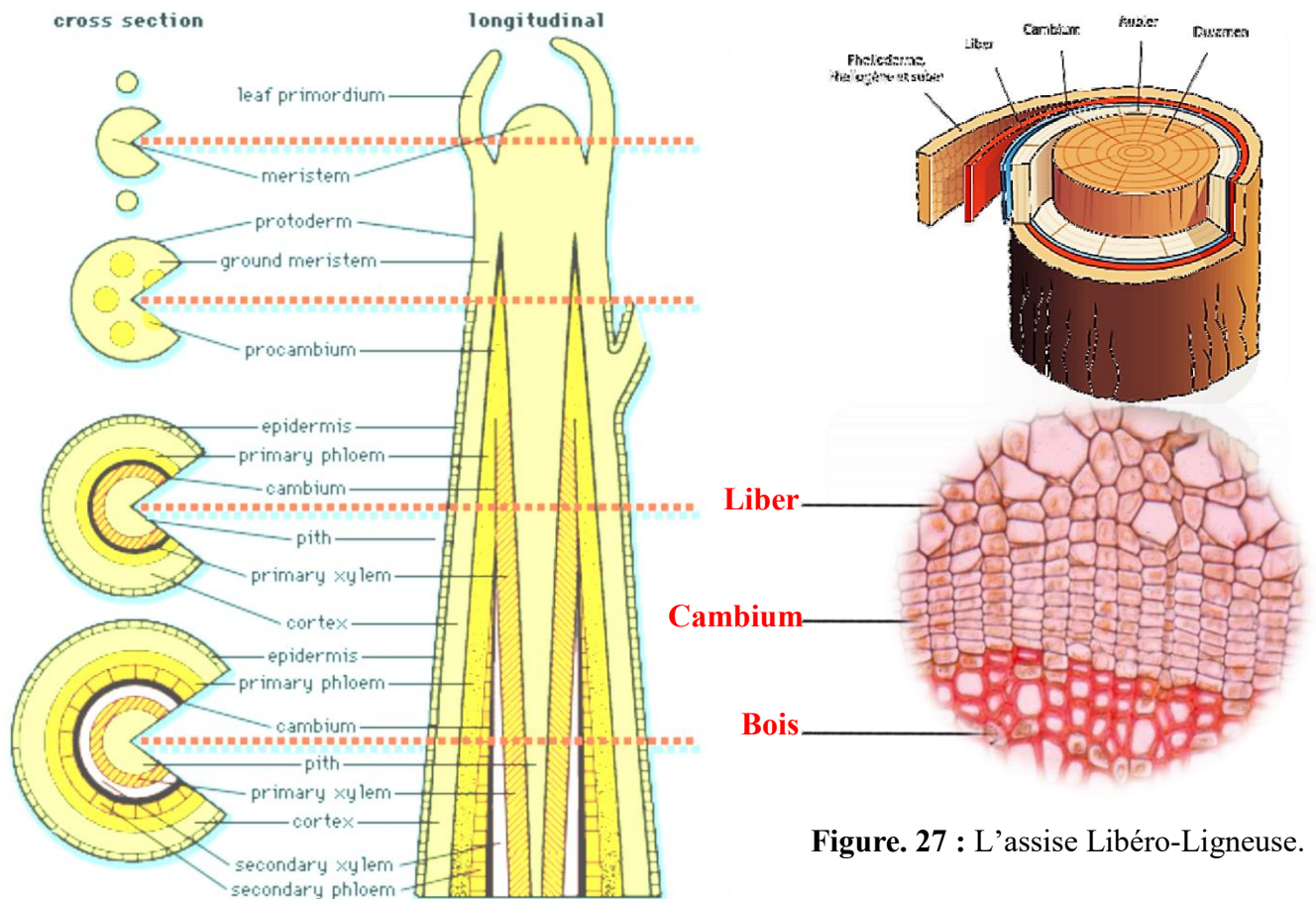
Responsable de la formation de liège et de phélloderme. Elle forme vers l'extérieur le suber ou liège ayant un rôle de protection et vers l'intérieur le phélloderme ayant un rôle de réserve ou d'assimilation. Dans les racines, cette assise se forme le plus souvent à partir du péricycle ; dans la tige, par contre, elle se forme superficiellement sous l'épiderme.

### • L'assise Libéro-Ligneuse : (La zone génératrice libéro-ligneuse) :

Ou cambium est un tissu de croissance, tissu méristématique à l'origine des tissus conducteurs secondaires responsable de la formation du xylème secondaire (le bois) et du



phloème secondaire (le liber). Elle forme vers l'extérieur le phloème secondaire et vers l'intérieur le xylème secondaire.



©1996 Encyclopaedia Britannica, Inc.

Figure. 26 : Croissance en épaisseur.

Grâce à cette différenciation cellulaire, les méristèmes secondaires assurent la croissance en épaisseur de la tige et de la racine et la formation des tissus secondaires (liège, phelloderme, phloème et xylème secondaires) qui constituent la structure secondaire.

Les tissus primaires de recouvrement sont composés de cellules jointives formant une barrière mécanique contre les agressions du milieu. Ils peuvent être dissociés en :

- épiderme des organes aériens, généralement unistratifié, parfois pluristratifié, qui recouvre les tiges, les feuilles, les pièces florales et les fruits. La cuticule protège de la déshydratation et les échanges gazeux se font au niveau des stomates aérifères. Quelques espèces peuvent également présenter des stomates aquifères qui assurent l'évacuation de l'eau à l'état liquide. Certaines cellules épidermiques peuvent également s'organiser en « poils » ou en « glandes »
- rhizoderme racinaire, composé de trichocytes développant des expansions qui constituent les poils absorbants, lesquels participent au prélèvement de la solution du sol.

Tissus secondaires de recouvrement forment le périderme, ensemble pluristratifié constitué de cellules subérisées mortes qui forment le suber (ou liège), du phelloderme et de son assise génératrice, le phellogène. Ces cellules jointives s'agencent en un tissu cicatriciel protecteur, imperméable aux échanges. Localement, sur les jeunes organes, les lenticelles permettent les échanges respiratoires. À l'opposé, les organes plus âgés sont formés de plusieurs



couches de périderme superposées, séparées par du liber, qui se fissurent et se détachent pour former le rhytidome.

**Tableau. 5** : Comparatif entre le méristème primaire et méristème secondaire.

<i>Caractères</i>	<i>Méristème Primaire</i>	<i>Méristème Secondaire</i>
<i>Localisation</i>	Terminaux dans les tiges et Subterminaux dans les racines	Formant dans l'épaisseur de la tige et la racine des végétaux ligneux
<i>Cellules</i>	Petites. Isodiamétriques disposées sans ordre et jointives	Grandes. Rectangulaires disposées en deux couches génératrices
<i>Volume du Noyau</i>	Relativement important	Relativement Petit
<i>Volume du Vacuole</i>	Petites	Grande
<i>Les mitochondries les plastes</i>	Peu structurés	structurés
<i>Assurent la croissance</i>	En longueur	En épaisseur / en largeur
<i>Formation</i>	Tissus Primaires	Tissus Secondaires

## 2<sup>ème</sup> partie - Tissus permanents:

Il forme la structure primaire des organes.

### 1- Les tissus de protecteurs : (Tissus de revêtement ou épidermes)

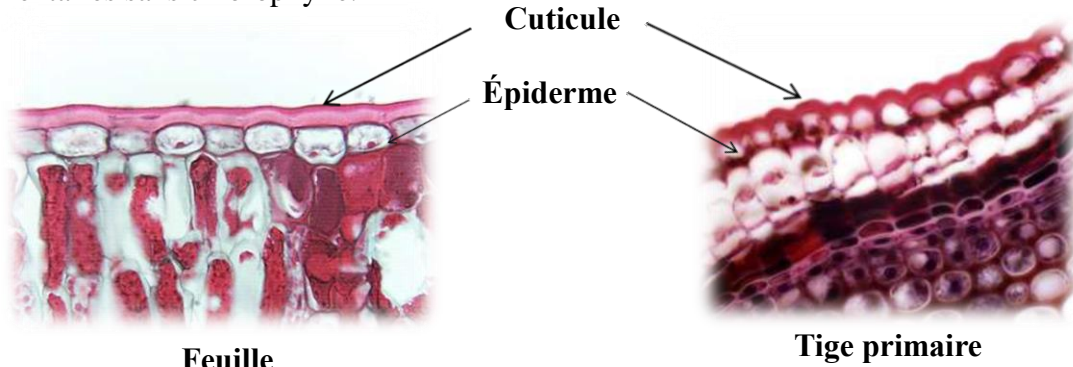
Ce sont les épidermes. L'épiderme est un tissu végétal superficiel formant une assise continue de cellules qui recouvre les organes aériens (les tiges, les feuilles, les rameaux feuillés et les jeunes racines) et fournit une protection contre la dessiccation et les agressions extérieures de toutes sortes (parasites, aléas climatiques et ect...) tout en permettant de réguler les échanges gazeux avec l'atmosphère. C'est un tissu vivant constitué d'une assise unique de cellules de revêtement jointives, de cellules stomatiques et parfois de poils. Tout en permettant et en réglant les échanges gazeux avec l'atmosphère. Il comporte les cellules de revêtement et les cellules stomatiques. Suivant les espèces, ces dernières sont parfois entourées de cellules annexes formant transition avec les cellules épidermiques. Fréquemment, il existe en plus, des émergences uni- ou pluricellulaires formant des poils soit protecteurs soit sécréteurs. Le nombre, la forme, la disposition relative de ces éléments sont variables avec les conditions d'environnement et présentent un caractère spécifique.

La densité des stomates est habituellement maximale dans l'épiderme situé à la face inférieure des feuilles où elles peuvent atteindre 200 à 300 stomates par mm<sup>2</sup>.

L'épiderme provient d'une assise de cellules méristématiques, le protoderme qui recouvre les organes en formation et dans laquelle les mitoses se font perpendiculairement à la surface (mitoses anticlines). Au cours de ce stade primordial, les mitoses sont banales et augmentent le nombre de cellules constitutives et la surface de l'assise. Ensuite, pendant un stade transitoire, des divisions inégales apparaissent. Elles produisent chacune un dérivé de grande taille, très vacuolisé, qui est une future cellule épidermique et un dérivé aux caractères méristématiques très marqués. Ce dernier est à l'origine des cellules stomatiques. Cette



séquence précise de phénomènes mitotiques se déroule de façon progressive et étalée dans le temps pendant la croissance de l'organe. Elle assure une dispersion régulière des stomates dans l'épiderme. Les dérivés passent alors par un stade de différenciation. Les cellules épidermiques augmentent encore de taille, leurs parois deviennent souvent ondulées, ce qui les engène étroitement. Les caractères cytologiques sont de type parenchymateux, avec des plastes rudimentaires sans chlorophylle.



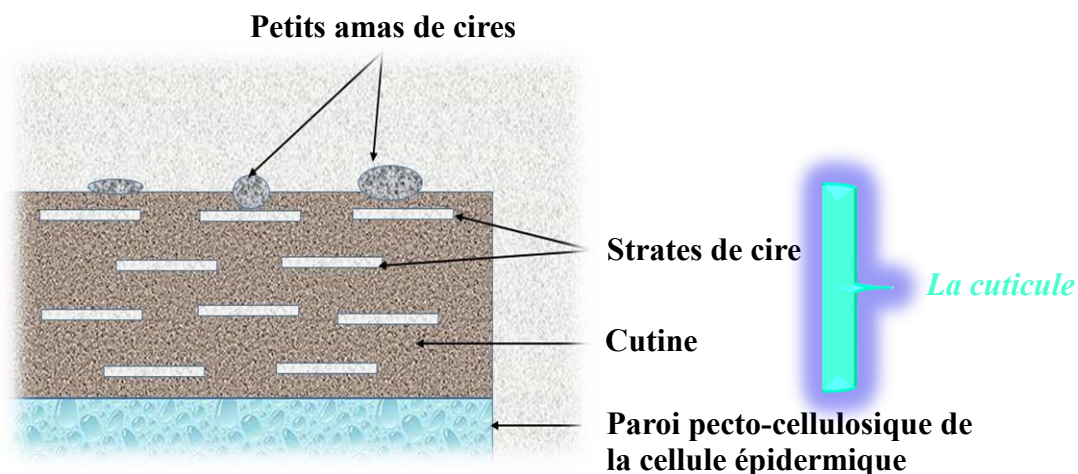
**Figure. 28 : Épiderme** : généralement une seule couche de cellules. Souvent recouvert d'une cuticule imperméable.

### 1- 1- Les cellules épidermiques :

Les cellules, allongées tangentiellement, ont des plastes sans chlorophylles, elles sécrètent sur la face externe, en contact avec le milieu extérieur un revêtement ou la cuticule, contenant des substances complexes (dérivés lipidiques très hydrophobes), la cutine et des cires en particulier, qui forment une multitude de projections cristallines rendant la surface non mouillable à l'eau.

Les cires sont de nature lipidique, L'épaisseur de la cuticule est constituée par un réseau de cutine (polymères d'hydroxy-acides à longues chaînes carbonées) imbibé d'eau et contenant des strates de cire et de petits amas à la surface :

- ✚ **En atmosphère humide** : La paroi pecto-cellulosique et la cuticule qui la recouvre sont hydratées, le réseau de cuticule et de cire est écarté et la diffusion est possible (La cuticule devient perméable à la vapeur d'eau, car les strates sont espacées).
- ✚ **En atmosphère sèche** : Par contre si le milieu se dessèche, le réseau hydrophobe se resserre et la cuticule devient imperméable, et forme alors un barrage efficace contre la perte d'eau (La cuticule est imperméable à la vapeur d'eau, car les strates sont serrées).



**Figure. 29** : La cuticule.



### 1-2- Caractéristiques des cellules épidermiques :

- ❖ Une seule assise de cellules jointives, sans méats entre elles et généralement dépourvues de chloroplastes,
- ❖ Paroi externe souvent peu épaisse, pouvant être recouverte d'une cuticule imprégnée d'une substance hydrophobe, la cutine, et d'une couche de cire.
- ❖ La cuticule limite les échanges gazeux entre la plante et l'atmosphère, notamment en freinant les pertes d'eau par transpiration.
- ❖ Son efficacité est fonction de son épaisseur.

### 1-3- Les cellules stomatiques :

L'épiderme est interrompu par des cellules stomatiques. L'évolution des cellules stomatiques se marque par une structuration particulière de leurs parois communes. Celles-ci se cutinisent et se clivent dans la région mitoyenne, ébauchant ainsi un orifice ou ostiole à lèvres épaissies. Vers l'intérieur, l'ostiole communique avec une chambre sous stomatique dans laquelle aboutit le réseau de méats. À la différence des cellules épidermiques, les protoplastes se transforment ici en plastes avec enclave amylofère.

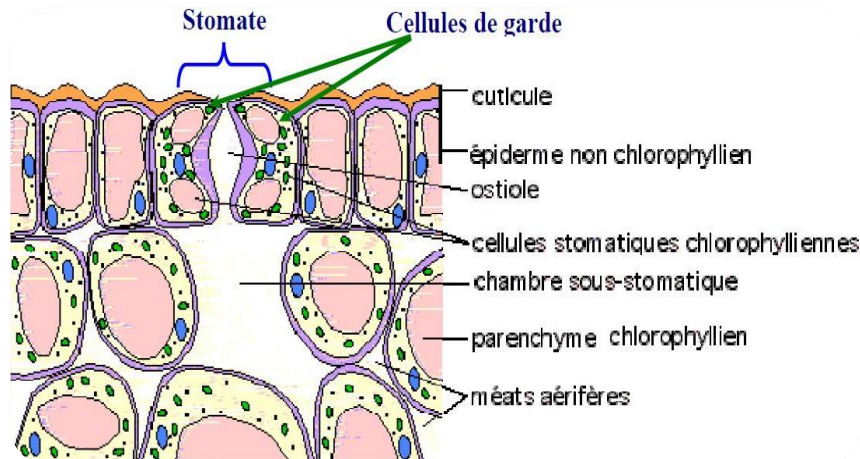


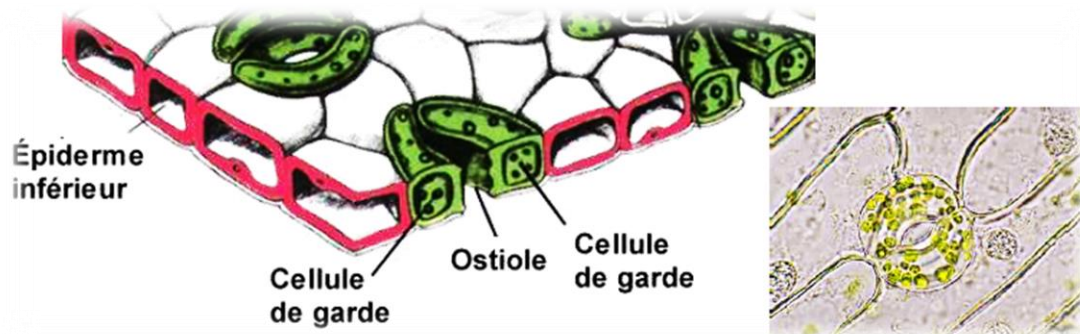
Figure. 30 : Stomate et chambre sous-stomatique.

#### A- Ouverture et fermeture des cellules stomatiques :

Les cellules stomatiques contrôlent par leurs mouvements les échanges entre le milieu et la chambre sous-stomatique en modifiant les dimensions de l'ostiole. Ces mouvements sont dû à des variations différentielles de turgescence ou de potentiel hydrique cellulaire. Ce sont des mouvements actifs, en réponse à une stimulation de l'environnement. Ils sont réversibles. Le sens du mouvement dépend essentiellement des caractéristiques des cellules du stomate et est indépendant de la direction du stimulus. Le stimulus est, ici, la présence ou non de la lumière ou du CO<sub>2</sub>. Un faible potentiel provoque une tension et une déformation maximales des parois avec écartement des lèvres cutinisées de l'ostiole. Une augmentation du potentiel interne les rapproche. Ce mouvement de la valve stomatique est commandé par plusieurs facteurs qui l'adaptent aux conditions externes et à l'activité interne. La lumière et une faible teneur en CO<sub>2</sub> favorisent l'ouverture. Inversement, la sécheresse et un bilan d'eau déficitaire les ferment. Dans les conditions physiologiques normales, il s'établit ainsi un rythme quotidien d'ouverture (diurne) et de fermeture (nocturne) modulé à chaque instant par les conditions environnantes.



L'épiderme des feuilles comprend des stomates = structures pouvant contrôler les échanges gazeux.



**Figure. 31** : Coupe transversale du limbe d'une feuille de dicotylédone.

Lorsque les cellules de garde se gorgent d'eau (par osmose), l'ouverture (ostiole) s'agrandit. Inversement, si elles perdent de l'eau (toujours pas osmose), l'ouverture se ferme.

On distingue deux types de stomates :

### B- Les stomates aërifères :

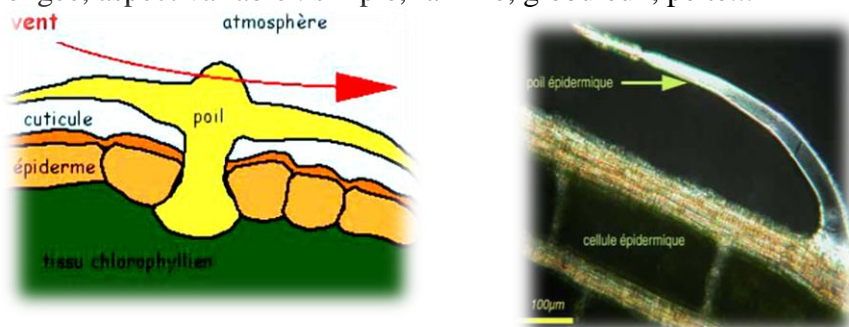
Ils assurent la transpiration, ponctuent l'épiderme, constitués d'un orifice, l'ostiole, entouré de deux cellules de garde qui se font face au-dessus d'un espace vide, la chambre sous-stomatique, leur nombre varie selon l'espèce et l'emplacement sur la feuille (absents chez les plantes immergées, présents seulement sur les faces supérieures au contact de l'atmosphère chez les plantes flottantes ; chez les Dicotylédones ils sont plus nombreux sur les faces inférieures, protégées de la lumière). Ils régulent les échanges gazeux (air et vapeur d'eau) par leur degré d'ouverture qui est fonction des conditions extérieures (température et humidité).

### C- Les stomates aquifères :

Ils assurent la sudation, situés sur le bord du limbe, cellules stomatiques sans chloroplaste, ostiole toujours ouvert, en contact avec un parenchyme aquifère et non une chambre sous-stomatique. Ils assurent la sudation ou guttation (rejet d'eau à l'état liquide sous forme de gouttelettes).

### 1-4- Les poils épidermiques :

Certaines plantes portent des poils épidermiques, ces poils peuvent être unicellulaires ou pluricellulaires. Ils peuvent être soit des poils sécréteurs soit des poils protecteurs (poils tecteurs: rôle protecteur chez les espèces des régions chaudes) ou encore absorbants, forme plus ou moins allongée, aspect variable : simple, ramifié, globuleux, pelté...



**Figure. 32** Certaines cellules de l'épiderme peuvent, en s'allongeant, former des poils.



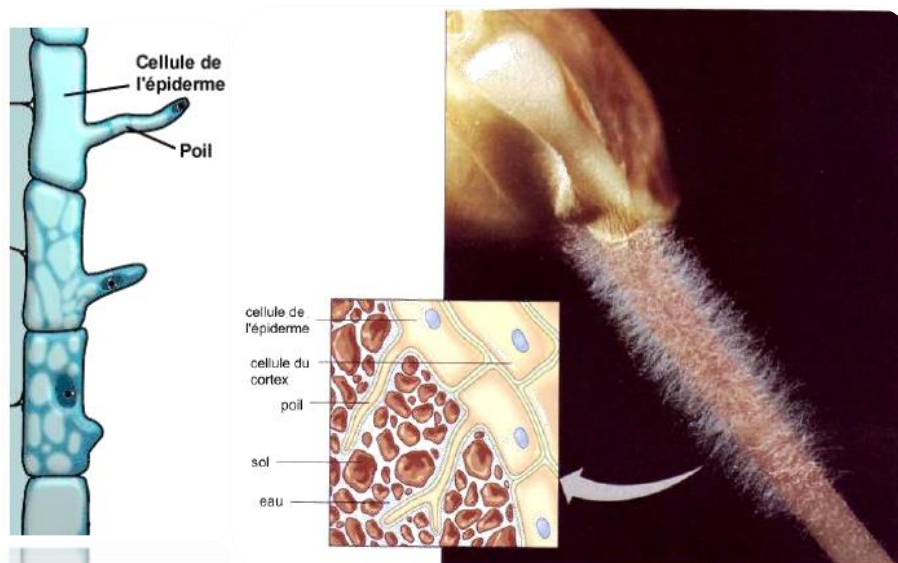
Les cellules de l'épiderme peuvent parfois être modifiées en poils (sur feuilles, tiges ou racines).



**Figure. 33 :** Cellules épidermiques modifiées formant des poils. Certains de ces poils se terminent par des cellules pouvant sécréter des substances irritantes, collantes ou aromatiques.

**A- Rhizoderme (assise pilifère) :**

C'est un tissu superficiel des racines d'une plante, équivalent de l'épiderme des parties aériennes, parfois appelé épiderme racinaire. A la différence de l'épiderme, il est dépourvu de cuticule et de stomate. Dans la toute jeune racine, de nombreuses cellules du rhizoderme forment des poils absorbants (cellules hypertrophiées) spécialisés dans la collecte de l'eau et des sels minéraux présents dans le sol.



**Figure. 34 :** Ex. poils absorbants d'une racine primaire.

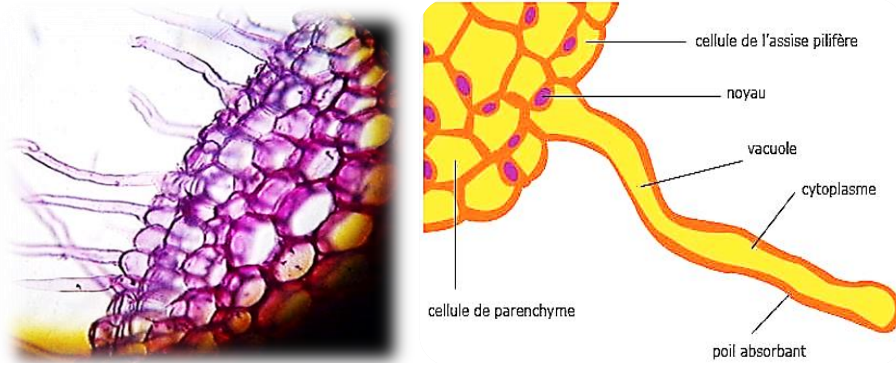


Figure. 35 : Poils absorbants chez le rhizoderme.

### B- Endoderme :

L'endoderme correspond à la partie **la plus interne d'écorce végétale** dans les jeunes tiges et les jeunes racines, souvent constituée **d'une seule assise de cellule**. Plus la plante va devenir âgée, plus l'endoderme va se lignifier en formant ainsi **les cadres de Caspary** qui assurent ainsi une sélectivité des substances assimilées via l'empêchement des voies de **transports apoplasmiques** et l'obligation des voies de **transport symplasmique**.

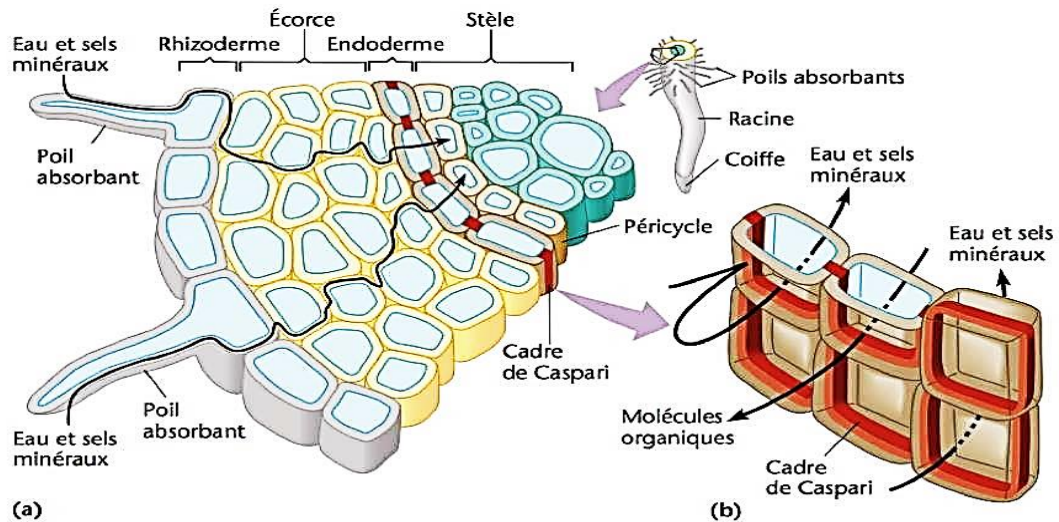


Figure. 36 : Endoderme et le cadre de Caspary.

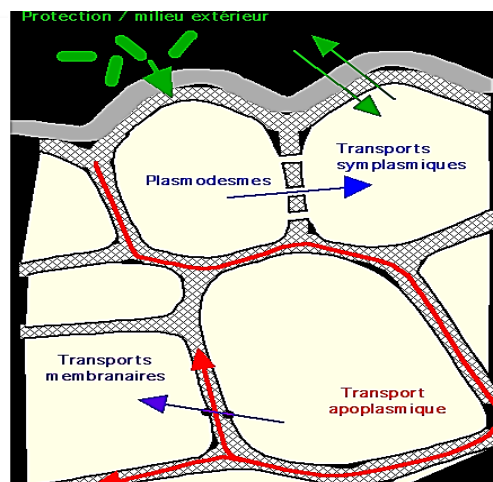


Figure. 37 : Voies de transport symplasmique et apoplasmique.



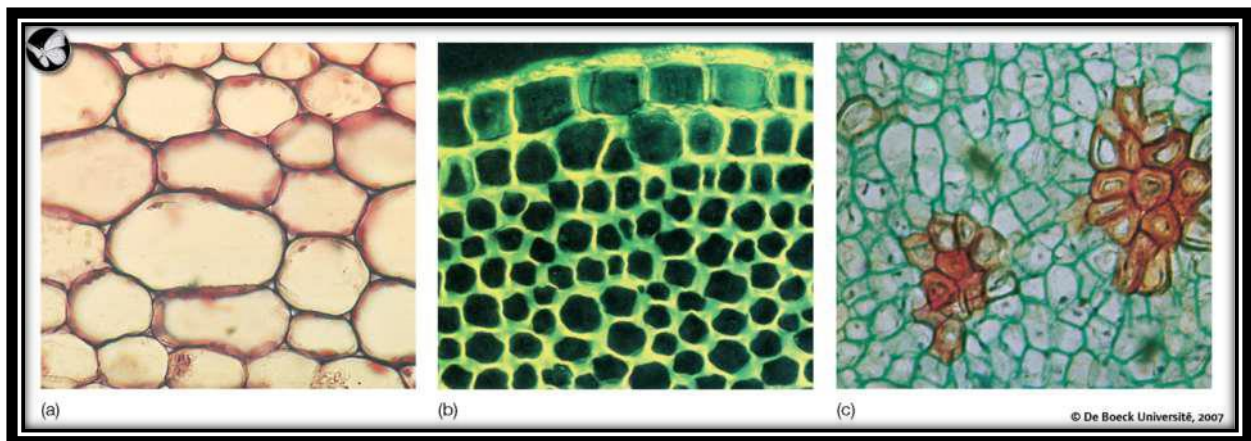
Les tissus de protecteurs : (Tissus de revêtement ou épidermes) :

- ✚ Une seule couche de cellules en général.
- ✚ Recouvrent et protègent les jeunes plants.
- ✚ Cellules peuvent former des poils (défense ou absorption de l'eau et des minéraux)
- ✚ Cellules peuvent sécréter une couche de cire (cuticule)

## 2- Les tissus fondamentaux :

On des nombreuses fonctions :

- ❖ Constituent la majeure partie des jeunes plants.
- ❖ Remplissent tous les espaces qui ne sont pas occupés par les autres tissus (Comblent les espaces entre l'épiderme et tissus conducteurs).
- ❖ Photosynthèse.
- ❖ Mise en réserve de nutriments.
- ❖ Soutien de la plante.
- ❖ Sécrétion (substances de défense ou attractives).



**Figure. 38** :Les tissus fondamentaux.

Trois types de cellules peuvent faire partie des tissus fondamentaux :

- **Parenchyme** (cellules parenchymateuses)
- **Collenchyme** (cellules collenchymateuses)
- **Sclérenchyme** (cellules sclérenchymateuses)

On divise souvent les tissus végétaux en tissus simples et tissus complexes :

- **Tissu simple** : Formé que d'un seul type de cellule.
- **Tissu complexe** : Peut contenir plusieurs types différents de cellules.

Le parenchyme, le collenchyme et le sclérenchyme sont des tissus simples.

### 2-1- les tissus de nutrition : tissus de remplissage

Ce sont les parenchymes. Relativement peu structurés et simples du point de vue cytologique, ils n'en assurent pas moins des fonctions essentielles à la vie de la plante telles que la photosynthèse et le stockage des réserves.



Les parenchymes, nés du fonctionnement des méristèmes, sont formés de cellules vivantes mais qui ne se divisent pas. Les parenchymes sont des tissus peu différenciés qui sont le siège des importantes fonctions de nutrition et élaboratrices de la plante (photosynthèse (grâce à la chlorophylle) et stockage des réserves des substances utiles à la plante (**Ex** : l'amidon)). Les cellules parenchymateuses sont en général isodiamétriques (polygonales) ou allongées, plus ou moins arrondies dans les angles, leurs vacuoles sont très développées mais leurs parois primaires pectocellulosiques sont minces et flexibles, à cause de l'absence de paroi secondaire. Le parenchyme se localise dans le cortex (parenchyme cortical) ou bien dans la moelle (parenchyme médullaire) des tiges et des racines, dans le mésophylle des feuilles et dans la chaire des fruits. Les espaces qu'elles délimitent alors entre elles sont appelés méats ou lacunes selon leur taille. Ainsi, on classe ces tissus d'après leurs fonctions en parenchymes chlorophylliens qui assurent la photosynthèse, les parenchymes de réserve, plus interne, qui accumulent des composés organiques (sucres, lipides, protéines) et autres comme l'eau et l'air. La structure des parenchymes est plus ou moins compacte. Aussi, le parenchyme lacuneux qui est très poreux, a un rôle dédié aux échanges gazeux avec le milieu, donc on distingue :

### 2-1-2- Les parenchymes chlorophylliens ou (parenchymes assimilateurs :

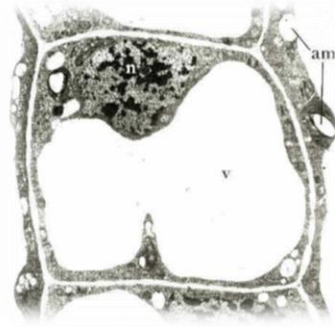
Ils sont localisés et abondants dans la région externe dans les organes aériens (des jeunes tiges et surtout dans le limbe des feuilles, etc.) auxquels ils donnent la couleur verte. Ils sont pigmentés en vert par d'abondants et volumineux chloroplastes lenticulaires qui sont pourvus d'un système de thylakoïdes d'autant plus abondants que l'organe est bien éclairé.

La lumière qui est nécessaire au déroulement de la photosynthèse, l'est aussi à la structuration même du plaste : à l'obscurité le système membranaire ne se forme pas ou disparaît. Dans les tissus vivants, il est aisé de voir que le cytoplasme est le siège d'un mouvement actif (cyclose) qui brasse les organites et les déplace dans tous les territoires cellulaires. Ces cellules sont souvent en contact les unes avec les autres, parfois à la suite de la gélification ou dissolution de la lamelle moyenne.

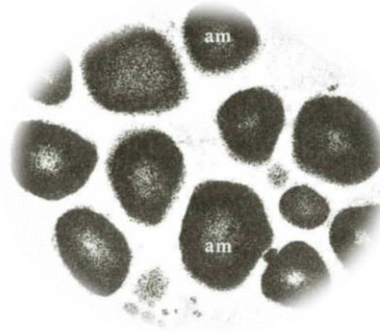
Les cellules du parenchyme chlorophyllien laissent entre elles des méats et prennent une forme arrondie. Elles peuvent être aussi séparées par de grandes lacunes assurant la circulation des gaz.

### 2-1-2- Les parenchymes de réserves :

Les plus internes jouent un rôle dans la mise en réserve et l'accumulation des composés organiques (glucides (glucides fructose, saccharose, inuline et l'amidon) **ex** : betterave à sucre, lipides **ex** : graines d'arachides, protéines **ex** : graines de céréales) élaborés par les cellules chlorophylliennes, les parenchymes amylofères ou parenchymes de réserves sont abondants et présents dans des nombreux organes souterraines tels que les racines, la moelle des tiges (ou rhizomes), les tubercules, les tiges aériennes, les fruits et les graines, est en général constituée par un parenchyme amylofère. Les plastes ne sont pas pigmentés et leur système membranaire est réduit appelés amyloplast. Ils élaborent de volumineux grains d'amidon dans leurs stromas à partir des produits de la photosynthèse des organes aériens, ils mobilisent et restituent ces réserves ultérieurement lors des reprises de la végétation.



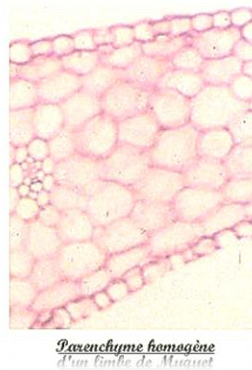
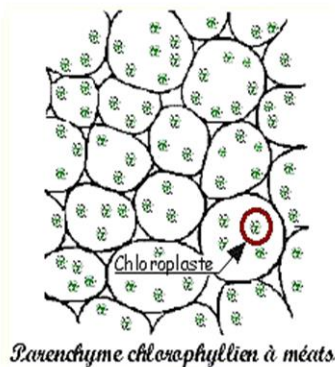
**Figure. 39 :** Un amyloplast, am, après un test des polysaccharides ( $\times 28000$ ).



**Figure. 40 :** Parenchyme amyloplastique. Racine de pois. Vue d'ensemble d'une cellule de l'écorce ( $\times 2700$ ).

La structure des parenchymes est plus ou moins compacte on distingue des parenchymes :

- ❖ **Homogène** : un même type de cellule
- ❖ **Hétérogène** : deux types de cellules formant :
  - + **Parenchymes palissadique** : Deux assises de cellules allongées serrées les unes contre les autres sans méats, à la face foliaire supérieure de la feuille, très riche en chloroplastes en assurant ainsi la photosynthèse.
  - + **Parenchymes lacuneux (ou aërenchyme)** : Des cellules courtes, plus ou moins arrondies, à la face foliaire inférieure de la feuille, avec de nombreuses lacunes où circulation de l'air, moins riche en chloroplastes, qui est très poreux, a un rôle dédié aux échanges gazeux y sont intenses et assurés par un réseau de méats très développé avec le milieu (par les stomates et qui se trouvent dans la face foliaire inférieure).



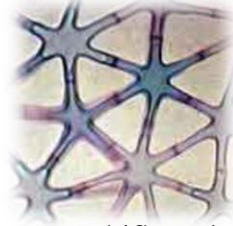
Présence de méats entre les cellules du parenchyme chlorophyllien

Dans les parenchymes de fruits et de fleurs, les plastes subissent souvent une évolution particulière et accumulent des pigments caroténoïdes (chromoplastes) qui colorent l'organe en jaune ou orange. Enfin de nombreuses cellules de type parenchymateux sont associées aux tissus conducteurs (parenchymes vasculaires et parenchymes phloémiens). Relativement peu structurées, les cellules de parenchyme apparaissent encore proches de l'état méristématique. Sous l'influence de divers stimulus, ce sont les cellules du corps de la plante adulte qui peuvent



le plus facilement modifier leur spécialisation initiale et se transformer en un autre type cellulaire ou entrer en division et revenir à un état indifférencié.

- ✚ **Les parenchymes aquifères** : Ce sont des parenchymes dont les cellules sont de grandes dimensions, Parenchymes qui mettent en réserve de l'eau dans de grandes vacuoles. Les cellules sont grandes à méats, ils sont très abondants soit dans les tiges, soit dans les feuilles. Ils constituent une réserve d'eau utilisable par les plantes (plantes succulentes) pendant les périodes de sécheresse.
- ✚ **Les parenchymes aërifères** : Ce sont des tissus lacuneux où les lacunes sont très grandes et emmagasinent de l'air :  $\text{CO}_2$  et  $\text{O}_2$  pour les échanges gazeux. Ces parenchymes sont fréquents chez les plantes aquatiques.

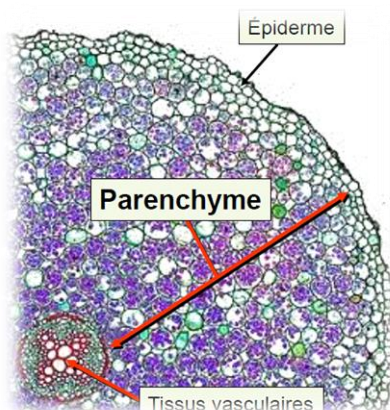


**Figure 41.** Parenchymes aërifères dans une tige de jonc.

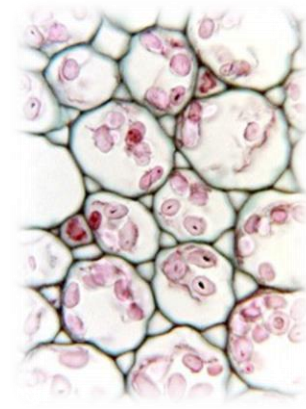
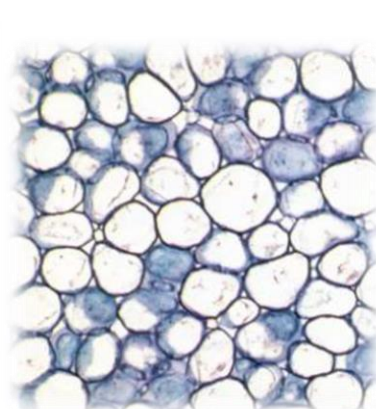
On peut rapprocher du parenchyme le parenchyme sclérifié qui provient de la lignification des parois de cellules parenchymateuses dans des organes dont la croissance est achevée (exemple : parenchyme médullaire sclérifié).

### 2-1-3- Caractérisation des cellules du parenchyme :

- Peu différenciées.
- Paroi primaire mince et flexible ; pas de paroi secondaire.
- Effectuent la plupart des fonctions métaboliques (synthèse, photosynthèse).
- Peuvent accumuler des réserves (amidon généralement).
- Ne se divisent plus à maturité.
- Peuvent se transformer en d'autres types de cellules dans certaines conditions (blessure, par exemple).



**Figure. 42** : Coupe d'une racine primaire



**Figure. 42** : Amyloplastes (vésicules contenant de l'amidon) dans les cellules parenchymateuses d'une racine.

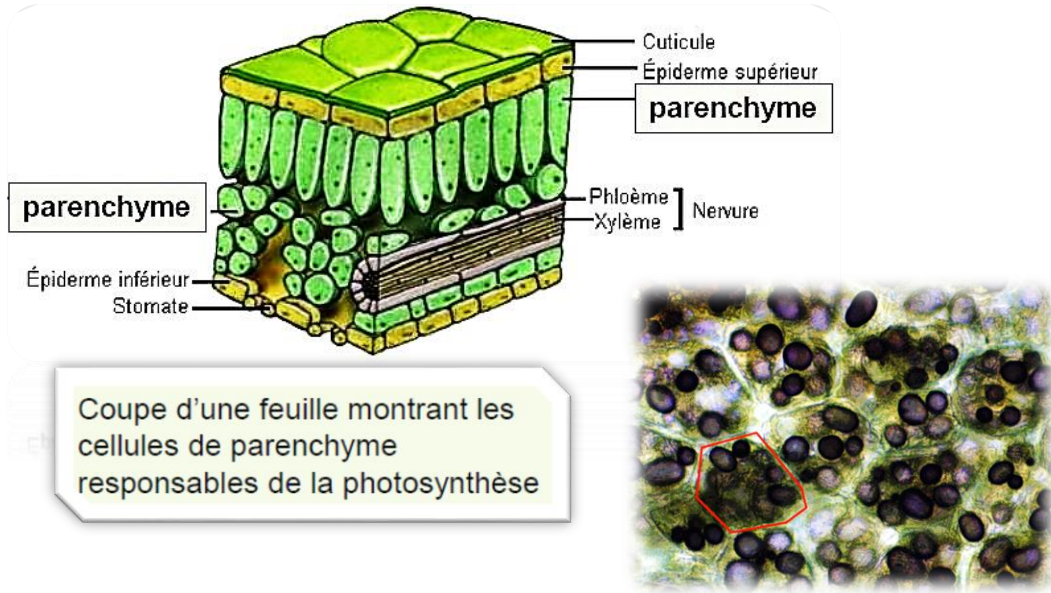


Figure. 44 : Cellules de pomme de terre (parenchyme) contenant des grains d'amidon.

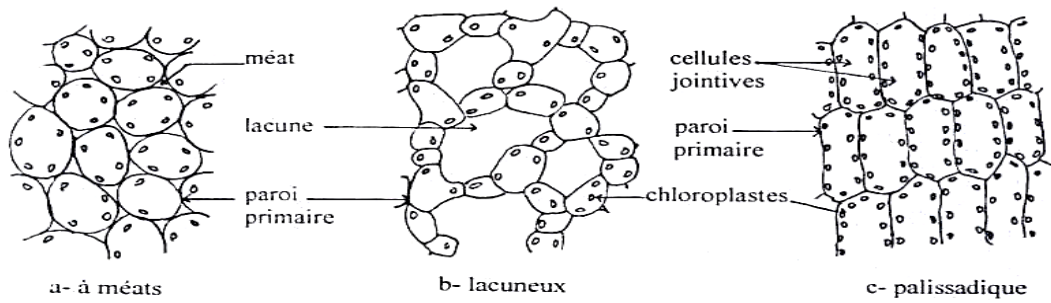


Figure 1: parenchymes chlorophylliens.

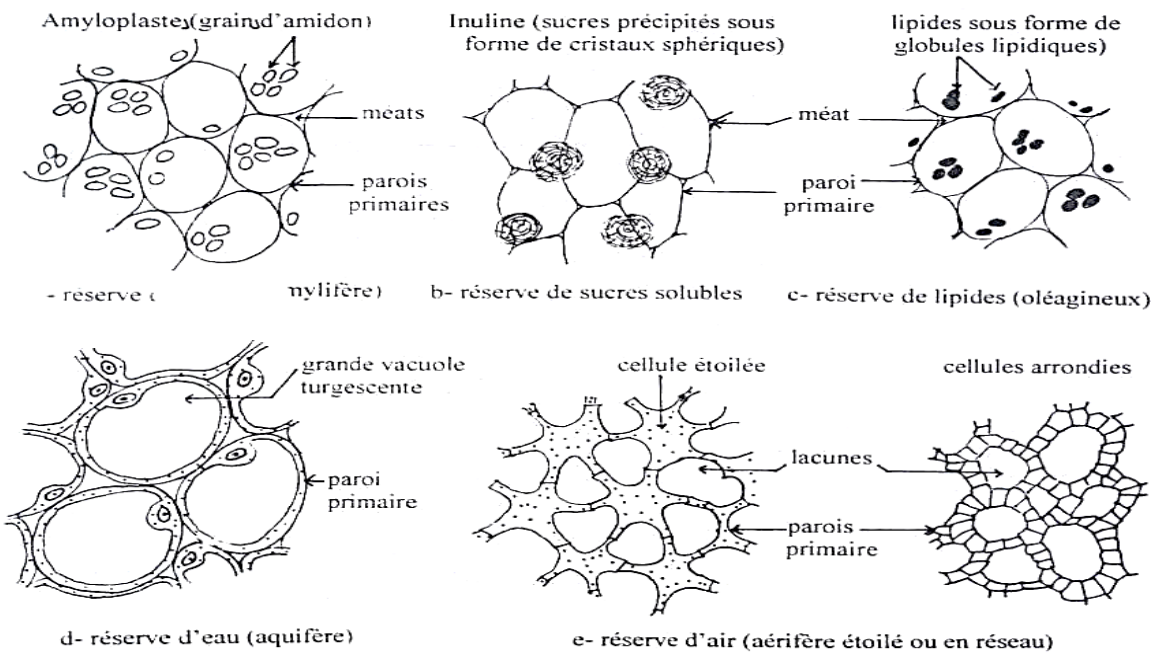


Figure. 45 : Différents types de tissus de réserve.



## 2-2- Les tissus de soutien :

Ces tissus assurent souplesse et rigidité aux organes de la plante. Le collenchyme se forme dans les organes jeunes tandis que le sclérenchyme se rencontre dans les organes dont l'allongement est achevé.

### 2-2-1- Le collenchyme :

C'est le tissu de soutien des organes jeunes et en croissance, aériens essentiellement. Il se forme très précocement en position périphérique, il est généralement situé en anneaux ou en îlots par cloisonnements péricleines des cellules sous-épidermiques des tiges et des pétioles, ou encore accolé à des vaisseaux conducteurs dans les pétioles ou les limbes des feuilles.

Le collenchyme c'est un tissu vivant, Il en résulte des cordons de cellules, les colloctes, qui sont le siège d'une forte activité de synthèse manifestée par une extension de l'appareil de Golgi. Cette activité conduit à la formation de précurseurs de parois. Celles-ci s'épaississent en restant polysaccharidiques, comme les parois primaires. Elles sont formées de nombreux feuilletts concentriques (jusqu'à 50) de fibrilles cellulosiques alternativement parallèles et perpendiculaires à l'axe cellulaire, cette répétition ce qui confère à la plante une grande capacité de résistance à la flexion et en particulier aux tractions. Dans le même temps, les parois restent souples et plastiques : lorsque, sous l'influence de régulateurs spécifiques, le réseau de polysaccharides se rompt par places, les couches de fibrilles ont la possibilité de glisser les unes contre les autres.

Une élasticité et une certaine souplesse est en même temps extensible ce qui permet l'élongation de l'organe et permet à ces cellules de jouer un rôle de soutien.

### Caractéristiques des cellules collenchyme :

- + Cellules vivantes, fusiformes plus ou moins allongées, (forment des fibres~ 2mm de longueur)
- + Fin cytoplasme, noyau, vacuole unique et volumineuse,
- + Paroi cellulosique épaissie surtout dans les coins, qui est plus rigide que celle du parenchyme.
- + Pas de paroi secondaire donc pas de lignine, donc paroi souple; la cellule peut s'allonger.
- + Soutien les parties en croissance comme les jeunes tiges ou les feuilles.

On distingue donc 3 types selon l'épaississement :

- **Annulaire** : dépôt de cellulose uniformément réparti tout autour de la paroi.
- **Angulaire** : épaississement cellulosique de la paroi aux angles.
- **Tangentiel** : épaississement des parois tangentielles seulement (parois parallèles à la surface externe).

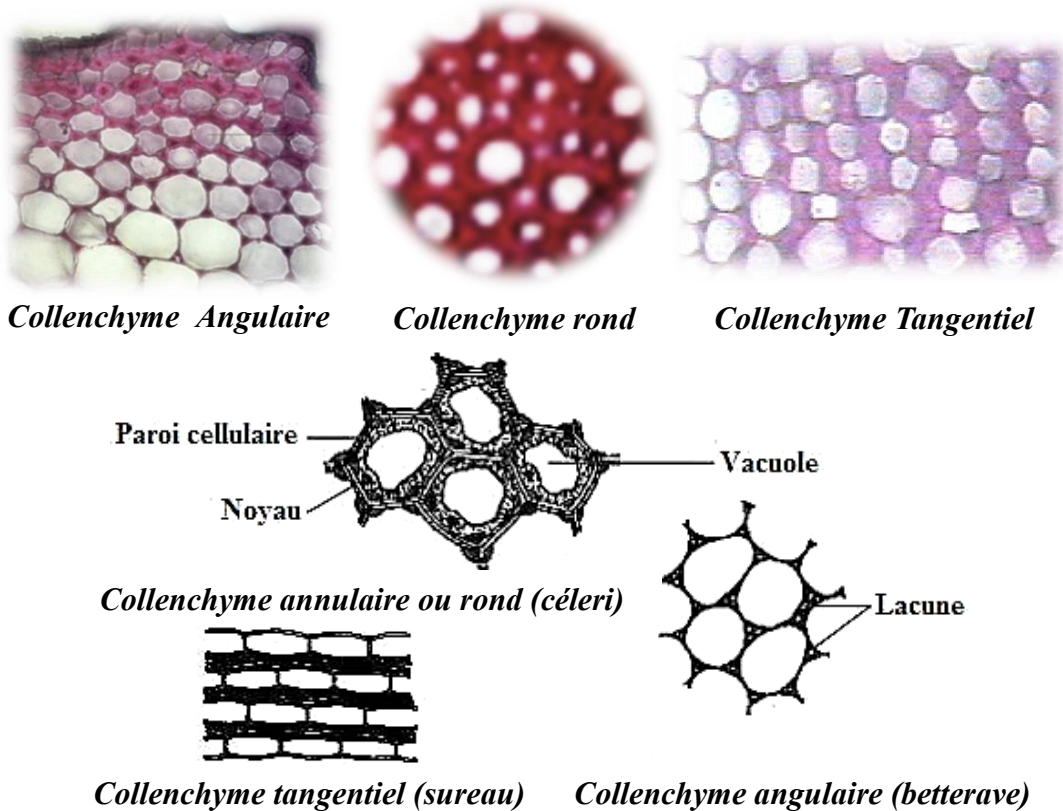


Figure. 46 : Différents types de collenchyme.

### 2-2-2- Le sclérenchyme :

Le sclérenchyme est le tissu de soutien des organes dont l'allongement est achevé. C'est un tissu constitué de cellules mortes, on désigne sous le nom de sclérenchyme, un ensemble assez divers de cellules de soutien ou sclérocytes ayant en commun la propriété d'élaborer un type particulier de paroi épaissie par un dépôt de lignine qui leur confère une grande dureté et rigidité à la plante (certaines sont qualifiées de « cellules pierreuses »). Lorsque la cellule a cessé de croître, elle ajoute à sa paroi primaire, une paroi secondaire constituée de strates de fibrilles de cellulose très serrées.

Ces fibrilles ont une inclinaison définie et spécifique qui change rythmiquement ou s'inverse d'une strate à l'autre. Ces parois sont élastiques mais non plastiques et sont résistantes à la traction. Elles peuvent être isolées par digestion de la lamelle moyenne. Certaines espèces fournissent ainsi des textiles de qualité (lin) ou des éléments de cordage solide (chanvre). Plus ou moins tardivement, l'ensemble se sclérifie, c'est-à-dire qu'il s'imprègne, d'abord au niveau de la lamelle moyenne puis totalement, d'un polyphénol, la lignine, il devient alors complètement inextensible. Les parois sont alors résistantes à la compression. La sécrétion des précurseurs de paroi résulte, comme c'est la règle, de l'activité intense de l'appareil de Golgi et du plasmalemma. Le réticulum endoplasmique est aussi mobilisé, au moins pour le transit des enzymes de synthèse.

Il n'est pas rare que les sclérocytes les plus longs (fibres) aient une structure coenocytique. Lorsque la sclérification est achevée, noyaux et cytoplasmes dégèrent. Les sclérocytes sont largement distribués dans les plantes vasculaires.



Suivant les cas, ils forment un anneau ou des faisceaux situés plus ou moins profondément dans l'organe. En dehors du bois, ils constituent les territoires les plus durs et coriaces du végétal : téguments, noyaux des fruits, épines et aiguillons des feuilles et des tiges, etc. Ils sont abondants dans les organes adaptés à la sécheresse (xérophytes).

### Caractéristiques des cellules sclérenchyme :

- ✚ Cellules de soutien des parties de la plante qui ne sont plus en croissance.
- ✚ Cellules mortes en général.
- ✚ Cellules allongées (peuvent être très longues, quelques mm à plusieurs cm).
- ✚ Paroi secondaire épaisse lignifiée imperméable et rigide imprégnée de lignine.
- ✚ Rigides, ne peuvent pas croître.
- ✚ Forment des faisceaux = fibres végétales.
- ✚ Peuvent former des sclérites de forme irrégulière.
- ✚ Ponctuations
- ✚ 2 types de cellules :

**Fibres scléreuses :** Cellules très allongées en fuseau, à lumière étroite. Section transversale circulaire, elliptique ou polygonale. En anneau continu sous l'épiderme, proche du cylindre central ou regroupées en îlots.

**Les cellules sclérites :** Cellules courtes de forme variable, isolées dans les parenchymes, groupées en amas ou en assises continues. Elles assurent la rigidité ou la consolidation des organes.

On peut rapprocher du sclérenchyme le parenchyme sclérifié qui provient de la lignification des parois de cellules parenchymateuses dans des organes dont la croissance est achevée (exemple : parenchyme médullaire).

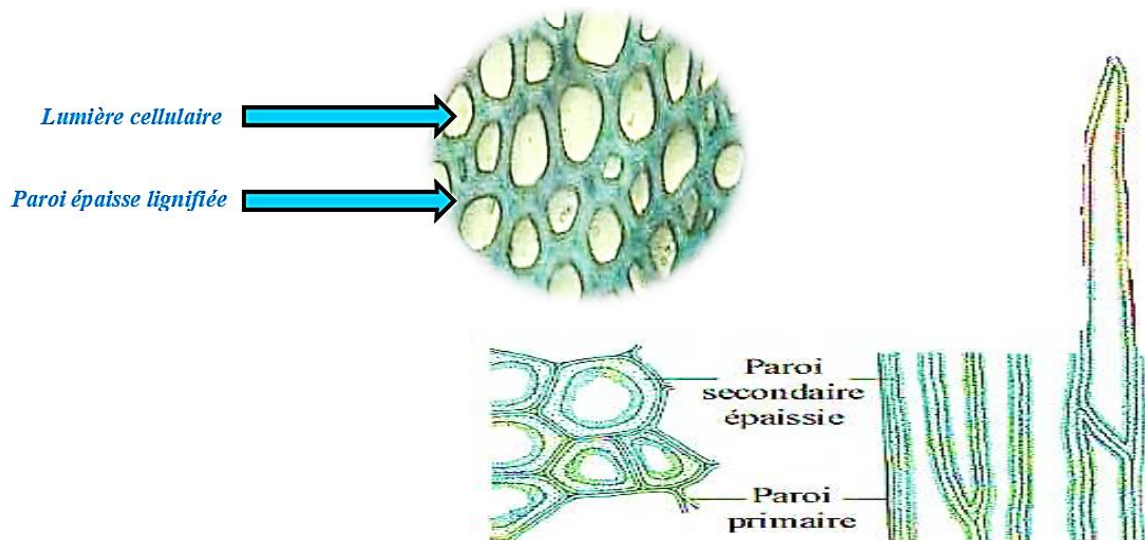
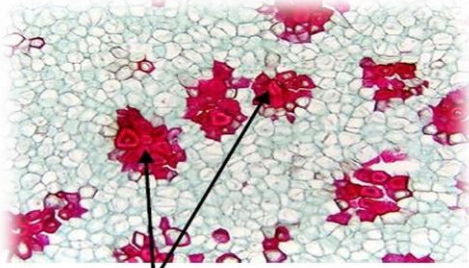


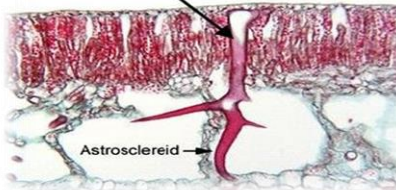
Figure. 47 : Différents types de sclérenchyme.



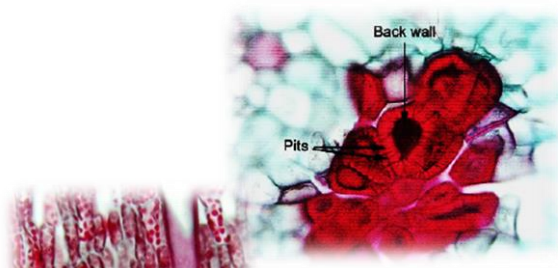
Certaines plantes contiennent des sclérites = cellules de sclérenchyme aux formes parfois irrégulières. = défense contre la prédation.



Sclérites



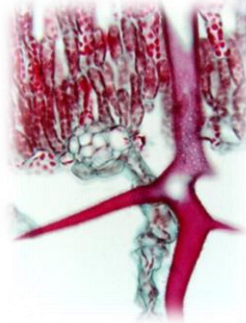
Astroclereid



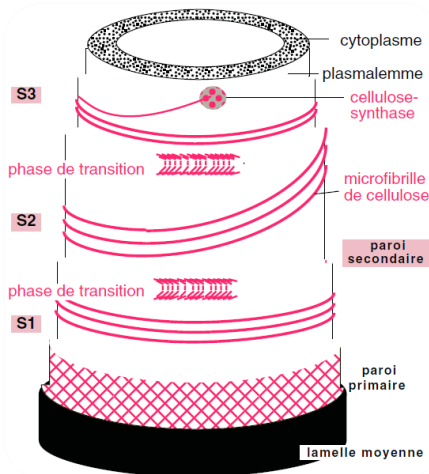
Back wall

Pits

Sclérites d'une poire



Sclérites d'une feuille de némuphar



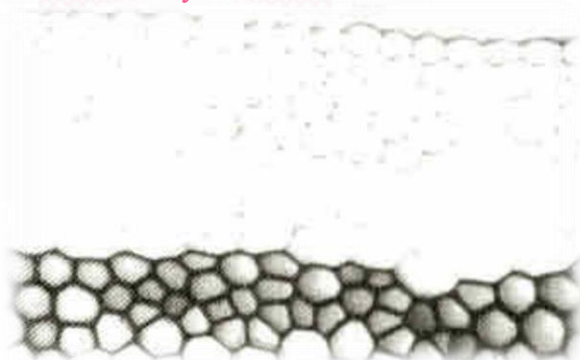
Organisation d'une paroi fibreuse de lin.

Sclérenchyme et fibres.



Fibres de lin textile.

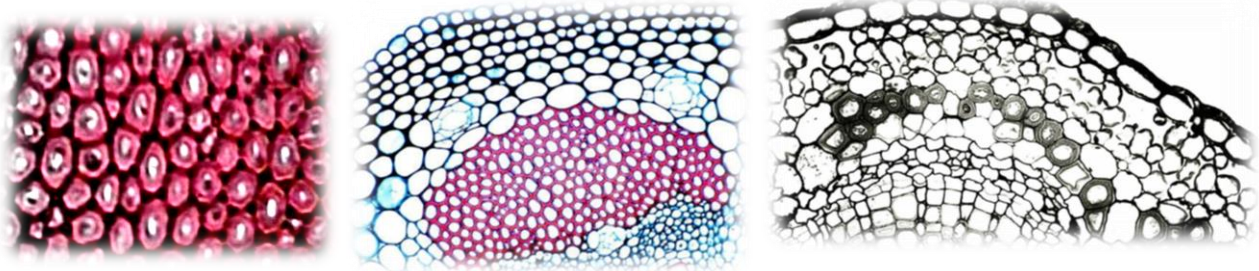
Portion de fibre isolée de lin, montrant la texture microfibrillaire (cellulose) de la paroi secondaire. Microscopie électronique à balayage ( $\times 8\ 000$ ).



Tige de bryone. Anneau de cellules lignifiées situé, en profondeur, sous l'épiderme et le collenchyme. Coupe à main levée ; double coloration carmin-vert d'iode ( $\times 180$ ).



Tige de laurier. Faisceau fibreux. Coupe semi-fine ( $\times 600$ ).



**Figure. 48** : Coupe semi-fine de tige pendant la différenciation des fibres, **f**, autour du phloème, **ph** : « remplissage » des cellules par la paroi secondaire cellulosique. ( $\times 450$ ).

Toile de lin vue au microscope électronique à balayage. Tissage par entrecroisement régulier des fils ; ces derniers sont formés par la torsion des parois secondaires des fibres isolées, f. ( $\times 80$ ).

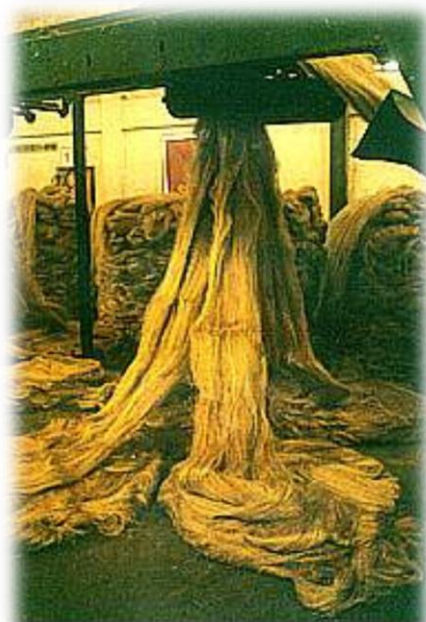
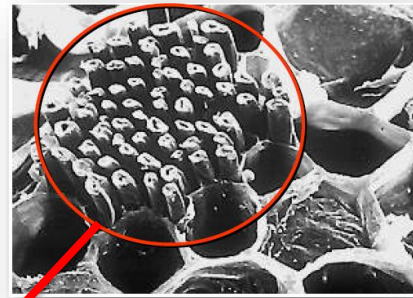
Les feuilles des monocotylédones sont caractérisées par des nervures parallèles renforcées de faisceaux de fibres faites de cellules de sclérenchyme allongées donnant une grande résistance à la traction.

Cette photographie montre un tel faisceau entouré de cellules de parenchyme.

Ce sont de tels faisceaux qui donnent les fibres textiles comme le lin, le chanvre ou le sisal.

Les cellules du sclérenchyme sont souvent regroupées en faisceaux formant des **fibres végétales**

Chaque cellule peut avoir plusieurs mm de longueur



**Figure. 49** : Fibres de sisal (*Agava sisalana*). Sisal fiber being separated into large rolls and woven at the factory



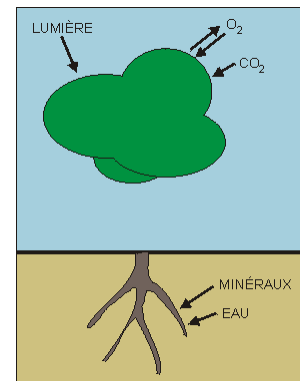
Chez les végétaux pourvus d'importants tissus secondaires, le rôle de soutien est plutôt assuré par les tissus conducteurs secondaires plutôt que le collenchyme et le sclérenchyme.

### 2-3- Les tissus vasculaires ou les tissus conducteurs :

Les plantes terrestres ont besoin :

• **Gaz (CO<sub>2</sub>)**  
• **Lumière**      **Dans l'air**

• **Minéraux**  
• **Eau**      **Dans le sol**



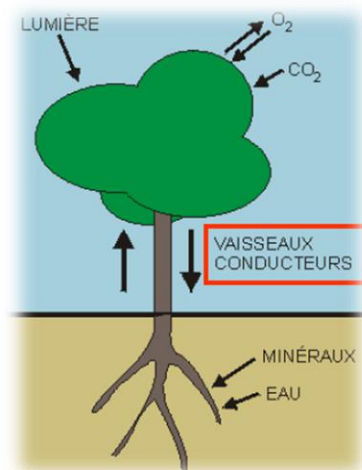
Les plantes terrestres doivent donc se diviser en deux :

- ✚ Partie dans le sol : système racinaire (racines)
- ✚ Partie aérienne : système caulinaire (tige, feuilles, fleurs, etc.)

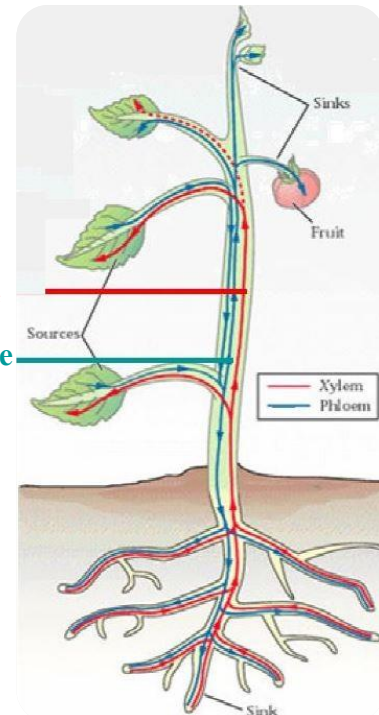
Entre les deux : tissus conducteurs assurent le lien :

• **Xylème** : transporte **sève brute** (eau et minéraux)

• **Phloème** : transporte **sève élaborée** (sucres et autres matières organiques) vers les parties qui ne font pas de photosynthèse



**Xylème**  
**Phloème**



**Xylème et phloème = tissus complexes** (formés de plusieurs sortes de cellules)

**Figure. 51 : Circulation des sèves.**

Chez les algues et les champignons, il n'existe pas des éléments conducteurs (le xylème et le phloème). Ce n'est qu'à partir des Ptéridophytes qu'il existe des éléments conducteurs nettement différenciés d'où le nom Cryptogames vasculaires, qui deviennent de plus en plus complexes à mesure que l'on passe des Ptéridophytes aux Gymnospermes et Angiospermes.

Chez les Angiospermes la circulation des sèves est assurée par un appareil conducteur composé de deux types de tissus : sont le xylème et le phloème. Le xylème conduit la sève brute, le phloème conduit la sève élaborée (substances organiques provenant d'une photosynthèse) vers tous les organes de la plante. Le xylème et le phloème sont étroitement associés et forment le système vasculaire qui assure les corrélations entre les différentes parties de la plante. Les fonctions du xylème et du phloème sont différentes. Le xylème assure principalement le



transport à longue distance de l'eau et des sels minéraux absorbés par les racines (la sève brute). Le xylème peut cependant parfois transporter des sucres ou des acides aminés. Le phloème sert au transport des assimilats exportés à partir des feuilles (sève élaborée) et assure leur distribution dans la plante. Les tissus conducteurs sont :

- ❖ Le xylème, comprenant le xylème primaire et xylème secondaire.
- ❖ Le phloème, comprenant le phloème primaire et phloème secondaire.

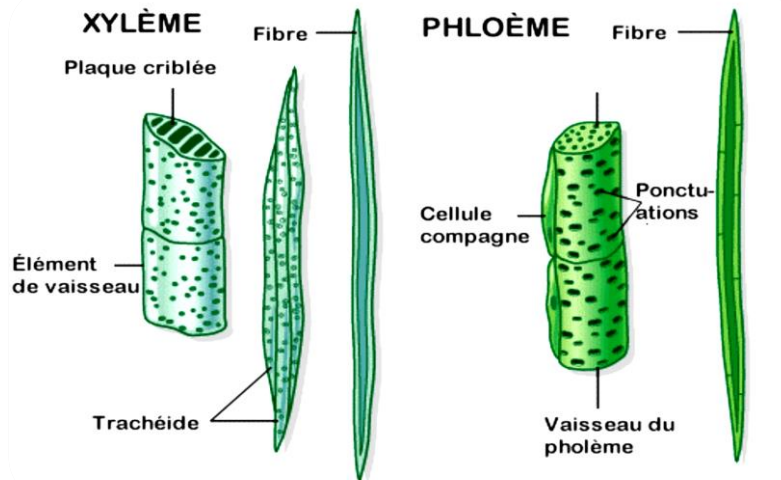


Figure. 52 : Différentes cellules du xylème et du phloème.

Une zone génératrice appelée cambium libéro-ligneuse se met entre le xylème primaire et le phloème primaire, sa différenciation donne naissance à des tissus conducteurs secondaires, le xylème appelé également le bois ou tissu ligneux et le phloème appelé liber. Seulement le terme bois est réservé pour le xylème secondaire et le liber pour le phloème secondaire.

#### A- La sève brute :

Très diluée (elle contient plus de 99% d'eau) et légèrement acide (son pH est compris entre 5,4 et 6,5), la sève brute recèle de nombreux ions dissous (Nitrates, Phosphates, Sulfates, Potassium, Sodium, Chlorure) absorbés par les racines et transférés jusqu'aux vaisseaux. Ces derniers sont constitués de cellules mortes à paroi épaisse, assemblées en un véritable tuyau. La sève brute, dans le xylème, véhicule l'eau et les ions des racines aux organes aériens, son flux est ascendant.

#### B- La sève élaborée :

Légèrement alcaline (pH est compris entre 7,5 et 8,5), la sève élaborée est bien plus concentrée que la sève brute. Les glucides représentent la majorité des solutés de la sève élaborée, à des concentrations parfois supérieures à 300 g/l. Le principal des glucides est le saccharose. La sève élaborée véhicule diverses hormones végétales, diverses molécules azotées telles que les acides aminés et les amides, ainsi que des composés organiques et de nombreux ions tels que le potassium, le calcium, le magnésium et le phosphate.

La sève élaborée, dans le phloème, véhicule les produits de la photosynthèse des feuilles adultes (ou source) jusqu'à divers organes receveurs (ou puits) tels que les jeunes organes en croissance, les racines et les fruits, son flux peut être ascendant et descendant.



### 2-3- 1- Le xylème primaire :

Le xylème (du grec *xylos* : bois) permet la circulation de la sève brute constituée d'eau et de sels minéraux puisés dans le sol par les racines au niveau de l'assise pilifère, vers les feuilles où s'effectue la photosynthèse. Dans les vaisseaux, la circulation se fait essentiellement verticalement. Le xylème a aussi un rôle de soutien, il est formé de :

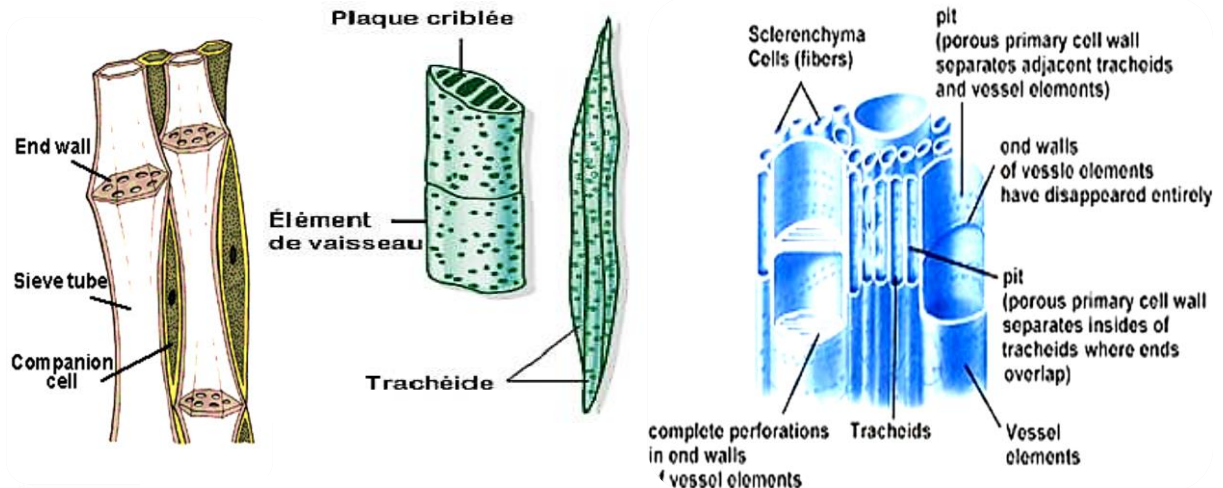


Figure 30 : Eléments de xylème

Deux types de cellules conductrices de sève : les vaisseaux, longs tubes constitués par l'assemblage de cellules courtes à parois terminales perforées (dont les parois transversales ont disparu), paroi lignifiée, constitués de files de cellules mortes dont les parois sont imprégnées de lignine, selon le dessin de la lignification on distingue les vaisseaux : annelés, spiralés, rayés, réticulés, ponctués, la sève y circule verticalement.

Les trachéides, sont des cellules allongées, aux extrémités effilées en biseau, avec de nombreuses ponctuations, moins riches en lignine, sont dites annelées ou spiralées. Les parois transversales subsistent, ce ne sont pas des fils continus et la sève y circule en chicane à travers les régions non lignifiées, les trachéides ne se transforment jamais en vaisseaux.

Fibres ligneuses, constituées de cellules mortes. Cellules allongées, étroites, aux extrémités effilées, paroi lignifiée très épaisse, lumière réduite, petit nombre de ponctuations et de petit calibre on en distingue plusieurs sortes.

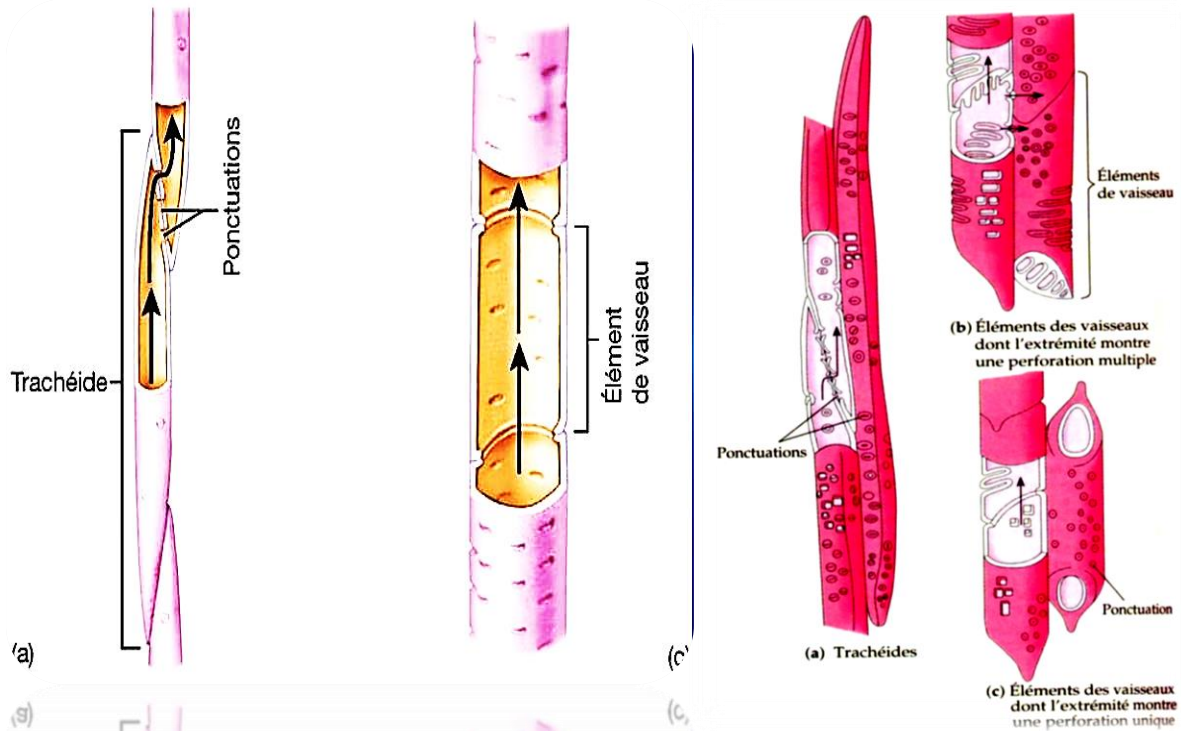
Cellules parenchymateuses des cellules vivantes plusieurs catégories : de réserve, sécrétrices ainsi que les cellules parenchymateuses dites "de contact" qui bordent les vaisseaux.

#### 2-3- 1- 1- Trachéides et éléments de vaisseaux du xylème :

Circulation de la sève brute (eau et minéraux) provenant des racines.

- ✚ Trachéides cellules longues, minces et allongées aux extrémités fuselées, moins riches en lignines, les extrémités sont en biseau où la sève circule via les perforations et les ponctuations.
- ✚ Éléments de vaisseaux cellules plus courtes et plus gros (larges) aux extrémités ouvertes est la sève y circule librement.

Cellules meurent à maturité.



Paroi couverte de ponctuations= zones dépourvues de paroi secondaire, zones traversées par un ou plusieurs plasmodesmes.

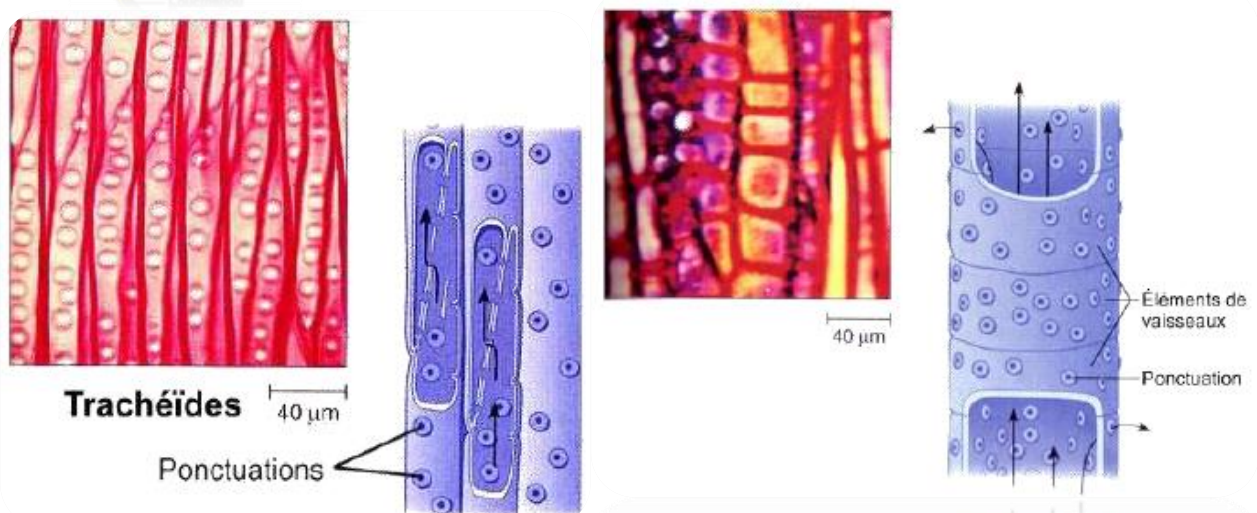
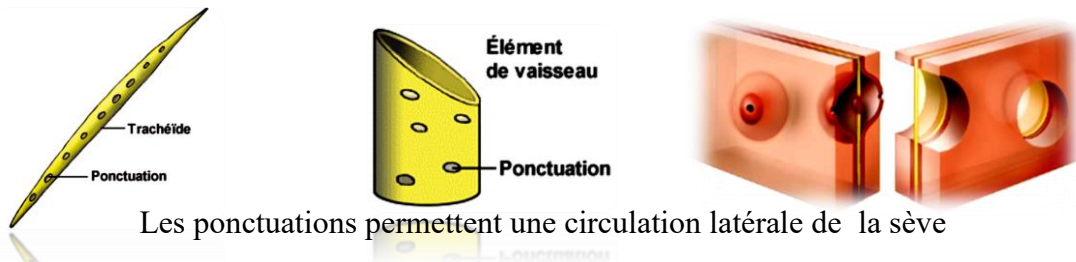
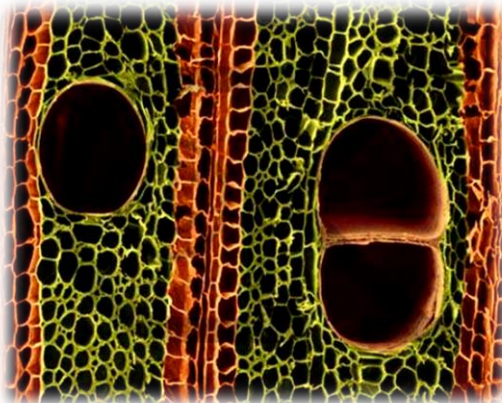
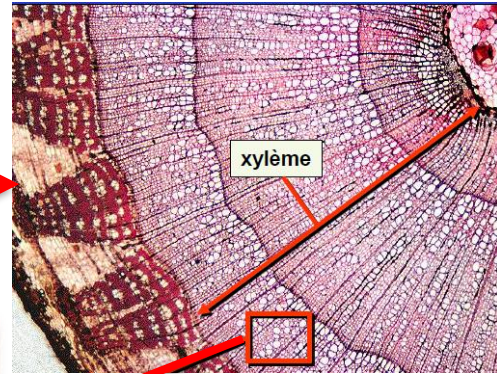
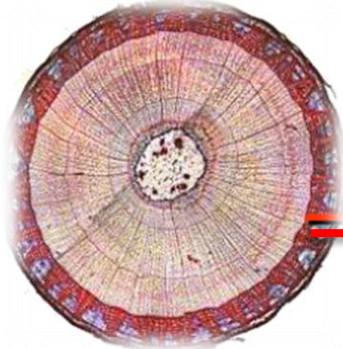
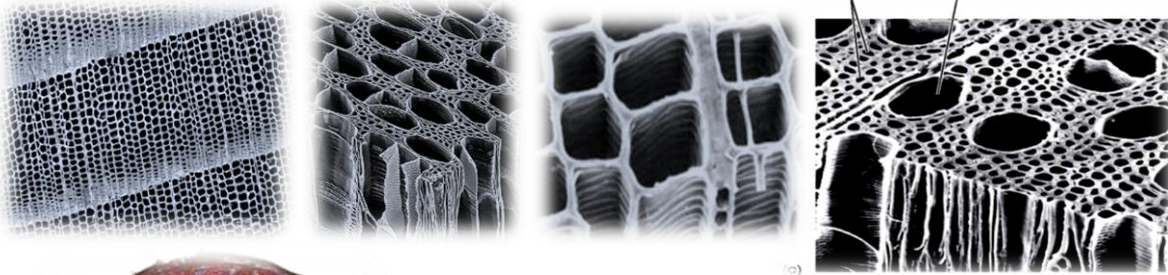


Figure. 53 : Éléments de xylème.



Les conifères (Gymnospermes) ne contiennent que des trachéides. Les plantes à fleurs (Angiospermes) contiennent les deux types de vaisseaux. Le transport de la sève est plus efficace et rapide dans les vaisseaux que dans les trachéides

Le xylème constitue le **bois** des plantes ligneuses

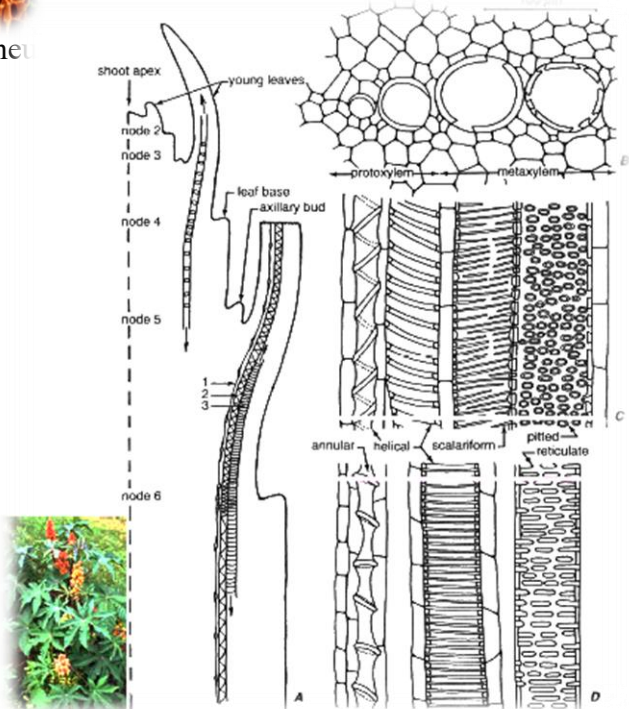
### Ontologie et phylogénie du xylème primaire

**Structure** : origine procambiale / types et morphologie cellulaires variant en fonction du stade de développement ontogénétique **Figure. 54** : complexité croissante des renforcements de la paroi secondaire des éléments conducteurs / parenchyme de stockage et fibres de soutien à partir du stade métaxylème.

**Fonctions** : conduction de la sève brute ascendante et soutien (métaxylème).

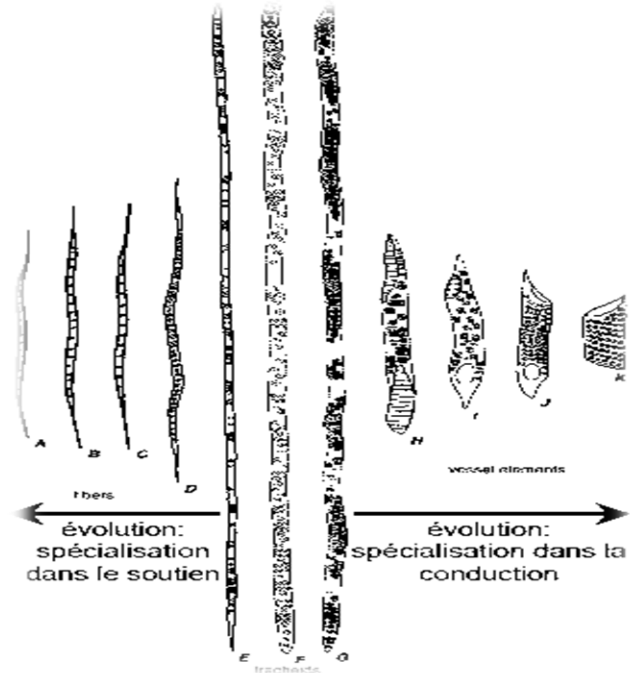
Évolution phylogénétique : dissociation des fonctions de conduction et de soutien suite à l'apparition des fibres/éléments de vaisseaux en complément/remplacement des trachéides.

**Figure. 55:** Détails de la structure et du développement du xylème primaire. A, diagramme d'une pointe de pousse montrant les étapes du développement du xylème à différents niveaux. B - D, xylème primaire de ricin, *Ricinus*, en sections transversales (B) et longitudinales (C, D). (Extrait d'Ésau, 1977).





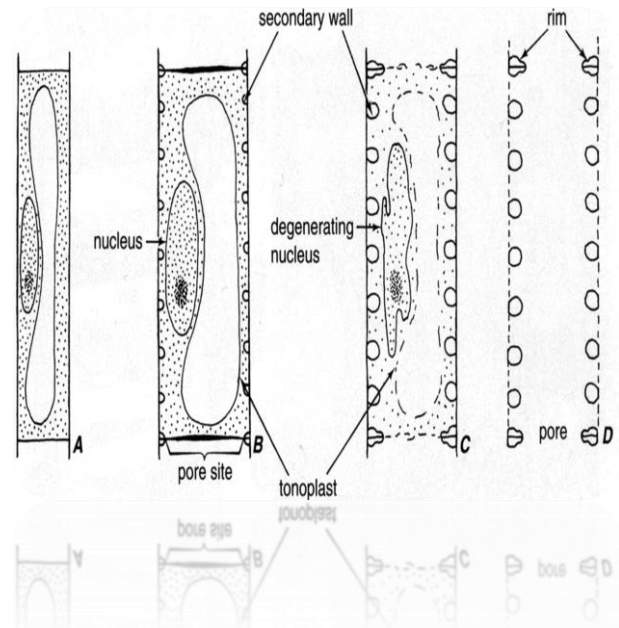
**Figure. 56 :** Principales lignes de spécialisation des éléments et fibres trachéales. Par exemple, les longues trachéides des bois primitifs. ((G, échelle réduite.). E, F, fosses bordées circulaires; G, fosses bordées allongées en arrangement scalariforme. D-A, évolution des fibres : diminution de la longueur, réduction de la taille des bordures des puits et modification de la forme et de la taille des ouvertures des puits. H -K, évolution des éléments de cuve: diminution de la longueur, réduction de l'inclinaison des parois d'extrémité, passage de plaques de perforation scalariformes à simples, et de la disposition opposée à la fosse alternée. (D'après Bailey et Tupper, 1918).



### Développement et caractéristiques structurales dans le xylème primaire :

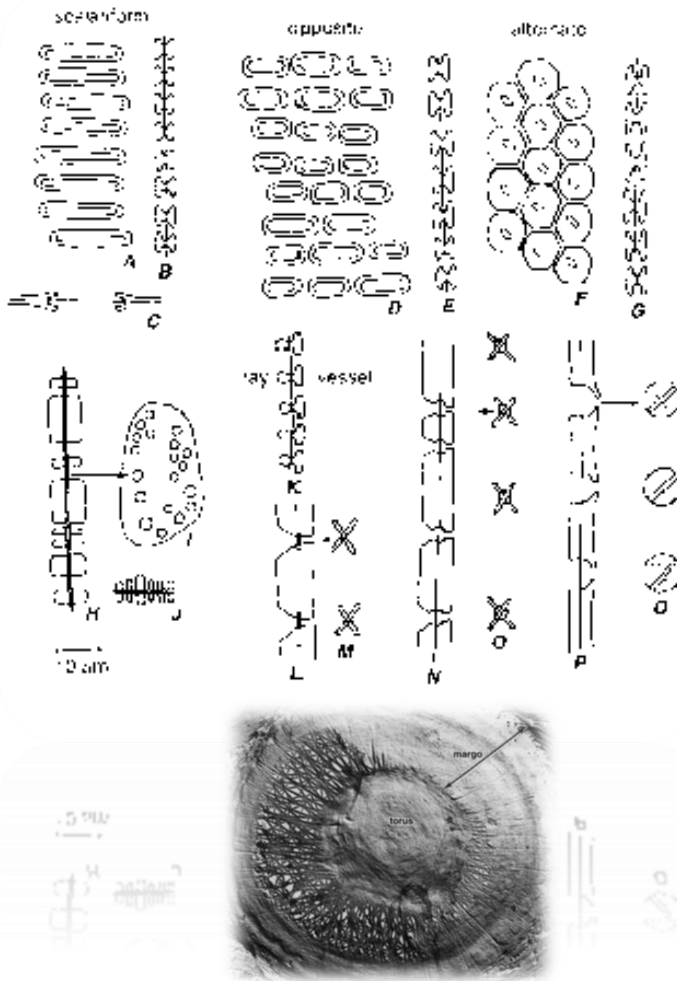
Développement des éléments conducteurs par mort cellulaire programmée

**Figure. 57 :** Schémas illustrant le développement d'un élément de cuve avec un épaissement secondaire hélicoïdal. A, cellule sans paroi secondaire. B, la cellule a atteint sa pleine largeur, le noyau s'est agrandi, la paroi secondaire a commencé à se déposer, la paroi primaire au niveau du site poreux a augmenté d'épaisseur. C, cellule au stade de la lyse: épaissement secondaire terminé, rupture du tonoplaste, noyau déformé, paroi au site poreux partiellement désintégrée. D, cellule mature sans protoplaste, pores ouverts aux deux extrémités, paroi primaire partiellement hydrolysée entre les épaissements secondaires. (Extrait d'Ésaü, 1977).





## Ponctuations des gymnospermes et des angiospermes



A C, piqûres scalariformes en vues de surface (A) et de côté (B, C) (Magnolia). D -E, piqûres opposées dans les vues de surface (D) et de côté (E) (Liriodendron). F-G, vues alternées de la surface de piqûre (F) et des côtés (G) (Acer). AG, paires de fosses bordées dans les membres du navire. H -), paires de fosses simples dans les cellules du parenchyme dans les vues de surface (I) et de côté (H, J); H, dans paroi latérale; J, dans la paroi d'extrémité (Fraxinus) . K, paires de fosses semi-bordées entre un vaisseau et une cellule de rayon vue de l'intérieur (Liriodendron). L, M, paires de fosses simples avec des ouvertures en forme de fente dans les vues latérales (L) et de surface (M) (fibre libriforme). N , O, paires de fosses bordées avec des ouvertures intérieures en forme de fente étendues au-delà du contour de la bordure de la fosse; N, vue latérale, O, vue de surface (fibre-trachéide). P, Q, fosse bordée-paires avec des ouvertures intérieures en forme de fente incluses dans le contour de la bordure de la fosse; P, vue latérale, Q, vue de surface (trachéide). L-Q, Quercus. (Extrait d'Ésäu, 1977)

**Figure. 58:** Micrographie électronique à balayage de la fosse bordée dans les trachéides de *Pinus pungens*. La bordure a été coupée et la membrane de la fosse est exposée. La membrane de la fosse est constituée d'un tore imperméable et d'un margo très poreux. Les microfibrilles du margo sont principalement en disposition radiale. (Avec l'aimable autorisation de W. A. Cote Jr.).

### 2-3- 1- 2 - Caractéristiques des trachéides et éléments de vaisseaux du xylème :

- ✚ Cellules spécialisées dans la circulation de la sève brute.
- ✚ Constituent le Xylème.
- ✚ Paroi secondaire épaisse elles deviennent fonctionnelles seulement quand elles sont mortes (donc pas de cytoplasme).
- ✚ Aident aussi au support physique des plantes.

Il est important de noter qu'il existe une évolution dans la différenciation des éléments conducteurs en fonction de la croissance du végétal, on peut distinguer ainsi le protoxylème et le metaxylème,



### 2-3- 2- Le phloème primaire :

Le phloème a un rôle conducteur, il permet la conduction verticale de la sève élaborée, solution riche en substances organique riches en glucides, des feuilles vers les autres organes. Il a aussi un rôle de réserve avec les parenchymes et un rôle de soutien avec les fibres libériennes. Comme le xylème, le phloème regroupe différents tissus :

Les tubes criblés, cellules vivantes allongées, disposées en file communiquant entre elles par des pores qui interrompent les parois cellulodiques longitudinales et transversales appelés cribles, qui sont isolées ou groupées en plages. Ces cellules n'ont pas de noyau ni de vacuole mais un contenu hyaloplasmique particulier avec des protéines allongées.

Les tubes criblés conduisent la sève élaborée, depuis les feuilles où elle a pris naissance jusqu'aux organes de la plante. Cette sève élaborée remplit les vacuoles des cellules, elle passe d'une cellule à la suivante au niveau des perforations.

Les cellules compagnes, à côté des tubes criblés, se trouve des cellules généralement courtes appelées cellules compagnes bordent les tubes criblés. Ces cellules, qui n'ont pas de cribles, ont des caractères méristématiques et pourraient se transformer en cellules criblées, elles représenteraient une réserve des éléments conducteurs.

- Cellules parenchymateuses de réserve, sécrétrices.
- Fibres cellules à paroi épaisse, lignifiées ou cellulodiques.

Cellules criblées et cellules compagnes du phloème :

- ✚ Cellules criblées permettent la circulation de la sève élaborée (provenant des feuilles).
- ✚ Cellules criblées sont vivantes, mais dépourvues de noyau.
- ✚ Cellules compagnes assurent les fonctions que les cellules criblées ne peuvent plus remplir.

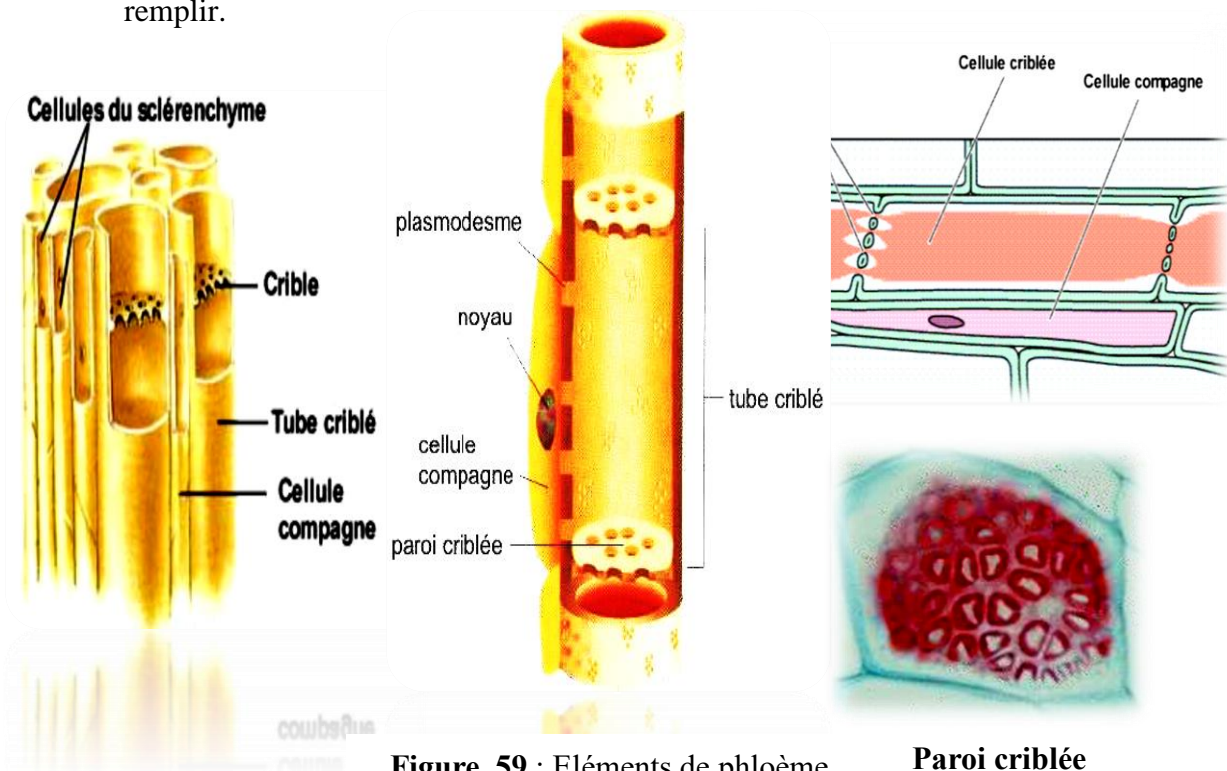


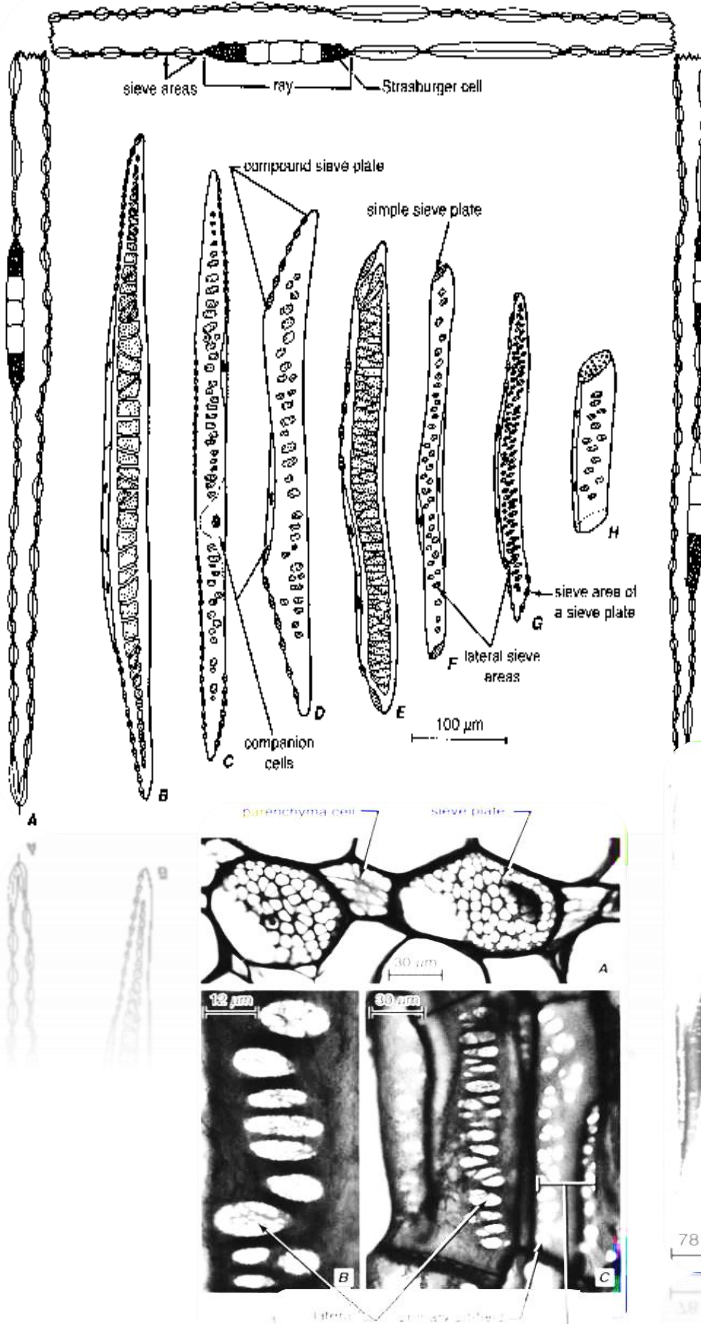
Figure. 59 : Eléments de phloème.

Paroi criblée



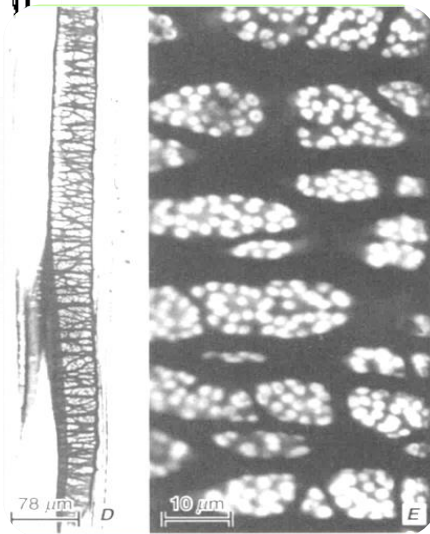
2-3-2-1- Structure des éléments conducteurs dans le phloème primaire :

Cellules et tubes criblés



**Figure. 60:** Variations dans la structure des éléments de tamis. A, cellule tamis de *Pinus pinea*, avec rayons associés, vue en coupe tangentielle. D'autres sont des éléments en tube tamis avec des cellules compagnes de sections tangentielles de phloème des espèces suivantes: B, *Juglans hindsi*; C, *Malus domestica*; D, *Liriodendron tulipifera*; E, *Acer pseudoplatanus*; F, *Cryptocarya rubra*; G, *Fraxinus americana*; H, *Wisteria* sp. En BG, les plaques de tamis apparaissent à l'intérieur des vues et leurs zones de tamis sont plus épaisses que les régions de paroi intermédiaires en raison du dépôt de callose. (Extrait d'Ésaü, 1977).

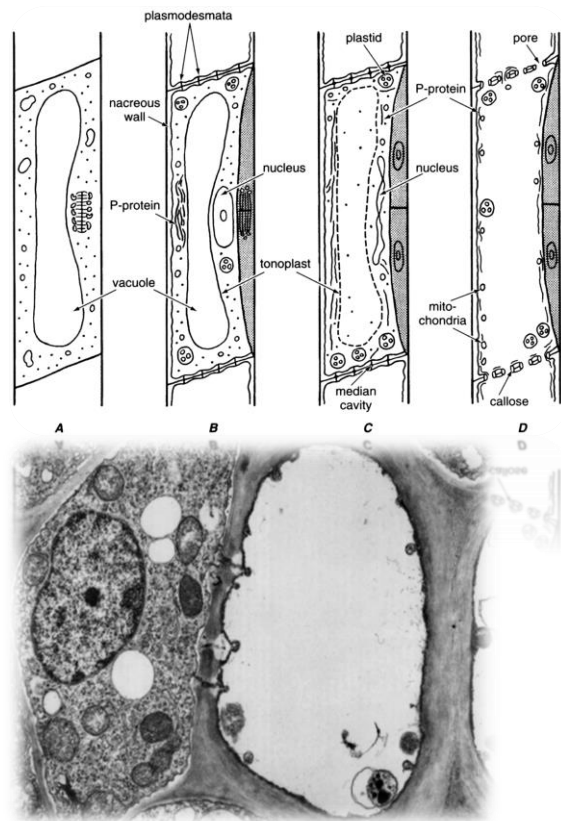
**Figure. 61 :** Plaques de tamis simples de *Cucurbita* en vue de surface. B, C, zones de tamis latérales dans les éléments de tube-tamis et champs de fosses primaires dans les cellules de parenchyme de *Cucurbita* en vue de surface. D, vue de surface de la plaque de tamis composée de *Cocos*, une monocotylédone avec des zones de tamis en disposition réticulée. E, partie d'une plaque de tamis similaire. Les points lumineux sont des cylindres fermés. (A-C, d'Ésaü et al., 1953; Ré, É, de Cheddle et Whitford, 1941).





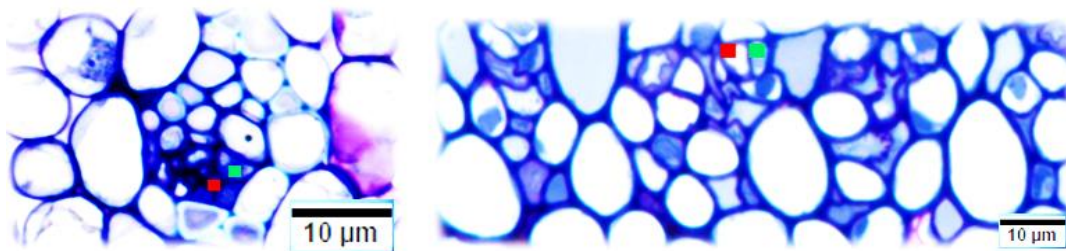
### 2-3-2-2- Formation et structure du complexe tube criblé/cellule compagne dans le phloème primaire :

**Figure. 62:** Schémas illustrant la différenciation d'un élément tamis-tube. A, précurseur de l'élément tamis-tube en division. B, après division: élément de tube-tamis avec paroi nacré et corps de protéine P; précurseur de cellule compagne en division (pointillé). C, dégénérescence du noyau, tonoplast partiellement décomposé, protéine P dispersée; cavités médianes dans les futures plaques de tamis; deux cellules compagnes (pointillées). D, élément mature du tube criblé; les pores des plaques criblées s'ouvrent; ils sont tapissés de callose et de protéine P. En plus des plastes, des mitochondries sont présentes. Aucun réticulum endoplasmique n'est montré. (Extrait d'Ésauï, 1977).



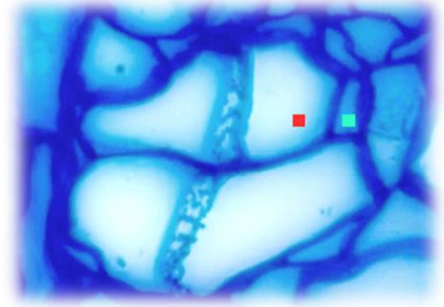
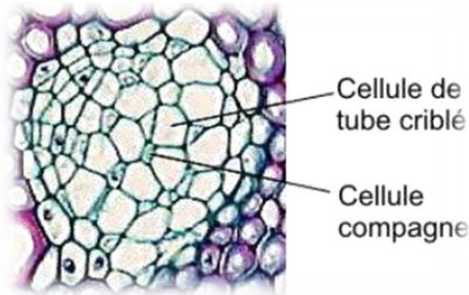
### 2-3-2-3- Adaptations structurales en vue de la conduction de la sève élaborée dans le phloème :

Augmentation de la taille cellulaire du complexe des cellules conductrices chez le chêne, des feuilles à la tige.



**Feuilles : nervures fines:** dans les sites de chargement les tubes criblés (■) sont plus petits que les cellules compagnes (■) et leur paroi est particulièrement épaisse

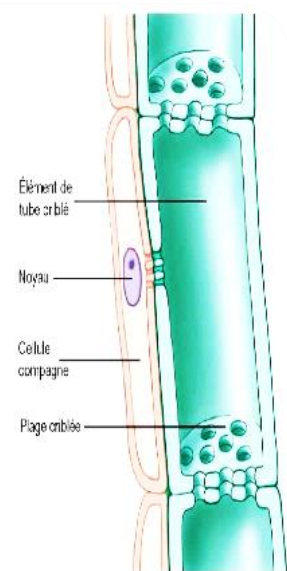
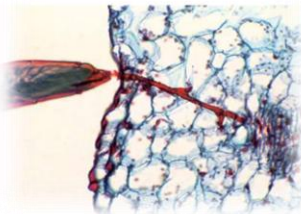
**Feuilles : nervure principale :** le phloème ne fait que conduire la sève. Les tubes criblés (■) sont plus grands que les cellules compagnes (■) et que dans les nervures fines. Leur paroi est proportionnellement moins épaisse



**Tige :** site de conduction et de diffusion de la sève élaborée vers les sites de stockage. Les tubes criblés (■) sont de très grande taille. Les cellules compagnes (■) sont moins fréquentes et proportionnellement plus petites que plus en amont dans le phloème

#### 2-3-2-4- Cellules des tubes criblés :

- ✚ Vivantes (mais ne vivent généralement pas plus d'un an)
- ✚ Dépourvues de noyau
- ✚ Parois transversales criblées : permet la diffusion de substances d'une cellule à l'autre
- ✚ Besoins assurés par les cellules compagnes (qui, elles, possèdent un noyau)



*Colonie de pucerons sur une jeune tige de saule, suçant la sève élaborée au moyen de leur rostre inséré dans la mince couche de phloème conducteur.*

#### 2-3-2-5- Caractéristiques des cellules criblées et les cellules compagnes du phloème:

- ✚ Cellules spécialisées dans la circulation de la sève élaborée.
- ✚ Constituent le phloème.
- ✚ Une succession des cellules criblées forme un tube criblé. Cellules restent vivantes à leur maturité mais quelques organites disparaissent (ribosomes, noyau, vacuole).
- ✚ Les cellules compagnes communiquent avec les cellules criblées, ont un noyau et les ribosomes et compensent pour l'absence de ceux-ci chez les cellules criblées.

Il existe aussi une évolution dans la différenciation des éléments conducteurs en fonction de la croissance du végétal, on peut distinguer ainsi le protophloème et le metaphloème,



## 2-4- Les tissus sécréteurs : Appareil sécréteur

On rassemble sous le nom de "tissu sécréteur" des objets très variés dont la fonction sécrétrice est le seul point commun et qui sont soit d'origine épidermique, soit d'origine parenchymateuse. Le "tissu sécréteur" n'est donc pas un vrai tissu mais un ensemble hétéroclite et artificiel. Ce sont des tissus spécialisés dans la synthèse et la sécrétion de certaines substances. Les produits de sécrétion sont eux-mêmes très variés : essences diverses, résines, latex, tanins, gommes et mucilages. Ces tissus peuvent accumuler les produits synthétisés au sein de leurs cellules ou bien les rejeter hors de celles-ci dans des cavités ménagées dans les organes, c'est le cas d'excrétion des produits sécrétés.

On désigne sous le nom d'appareil sécréteur, l'ensemble des éléments anatomiques dans lesquels s'accumulent des substances étrangères au métabolisme général et qui semblent constituer des produits de déchets. C'est un groupement très artificiel dans lequel on trouve des éléments très divers par leur origine, leur organisation et par la nature des produits sécrétés **ex**: Huiles essentielles, Gommes.

Certaines cellules élaborent des substances qui ne semblent pas être utilisées par la plante et dont les rôles sont mal connus (**ex** : poils sécréteurs). Ces cellules peuvent être groupées autour de poches (peau de *Mandarine*) ou de canaux (aiguille de *Pin*) ou bien soudées bout à bout en formant des poils. Les cellules sécrétrices élaborent des essences (*Mandarine*) des résines (*Pin*) des latex (*Figuier*), etc.

### 2-4- 1- Les poils sécréteurs :

Ce sont des structures d'origine épidermique. Chez la plupart des Labiées, par exemple la lavande, les poils sécréteurs sont pluricellulaires avec un pied unicellulaire et une tête formée de 4 à 8 cellules. Chez d'autres comme *Lamium album* les poils sécréteurs sont sessiles et unicellulaires, entourés d'une couronne de cellules non sécrétrices.

### 2-4- 2- Les cellules sécrétrices :

Celles qui se rencontrent dans le mésophylle de la feuille de laurier, sont d'aspect très différent de toutes les autres cellules du mésophylle : elles sont de très grande taille et globuleuses à parois distendues par le produit de sécrétion, une essence responsable de l'odeur caractéristique de ces feuilles

### 2-4- 3- Les poches sécrétrices :

Celles si typiques du péricarpe des agrumes (peau des oranges, mandarines, citrons..), sont dites de type schizolysigène: c'est une lacune dans laquelle l'essence sécrétée par plusieurs assises de cellules bordantes est mêlée aux résidus de la lyse des cellules les plus internes.

### 2-4- 4- Les canaux sécréteurs :

Un canal sécréteur n'est qu'une poche sécrétrice allongée bordée par une ou deux assises cellulaires. Les canaux résinifères des Gymnospermes se rencontrent aussi bien dans le xylème secondaire sous forme de canaux longitudinaux ou transversaux que dans le mésophylle des feuilles.



## 2-4- 5- Les laticifères :

Ce sont des appareils dans lesquels le produit de sécrétion est accumulé dans la vacuole des cellules sous forme de mélange ou de solution aqueuse. Ceux que l'on rencontre chez les représentants de la famille des *Asteraceae* comme le salsifis, sont des files de cellules anastomosées en réseau.

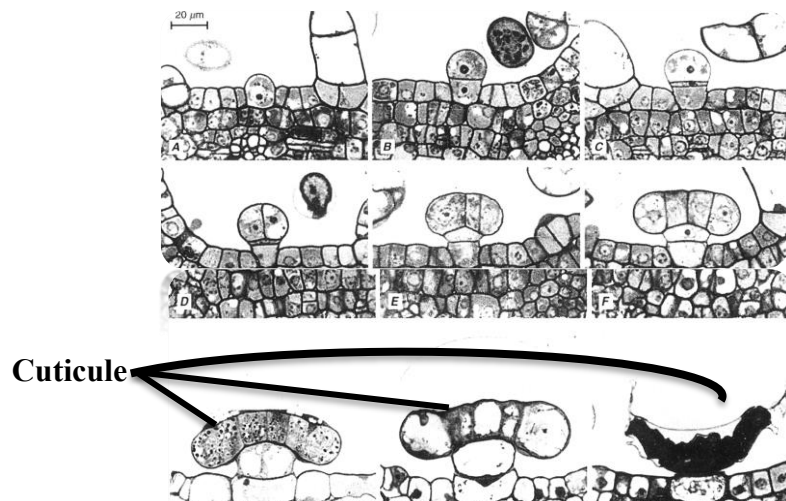
On peut distinguer deux catégories de tissus sécréteurs :

- ✚ **Tissus sécréteurs externes** comme l'épiderme et les poils sécréteurs.
- ✚ **Tissus sécréteurs internes** comme les poches et les canaux sécréteurs.

## 2-4- 6- Les tissus sécréteurs externes : substances hydrophobes :

Cycle de vie d'un poil sécréteur pelté (4-18 cellules sécrétrices disposées sur un pied court pluricellulaire, accumulation des produits de sécrétion sous la cuticule).

- ❖ **Formation** : Induction au stade du primordial et se poursuivant jusqu'au stade d'élongation de la feuille.
- ❖ **Substances sécrétées** : Terpénoïdes (sous forme d'huiles essentielles et de résines), graisses, cirres et flavonoïdes (structure cellulaire).
- ❖ **Fonctions principales** : Défense biochimique (herbivores) / attraction de pollinisateurs / propagation de graines, et de fruits (structures gluantes)



**Figure. 63** : Stades successifs du développement des trichomes glandulaires dans la feuille d'*Origanum x intercedens*, comme on le voit dans les coupes transversales de la feuille. Un stade protodermique. B-C formation de la cellule basale, de la tige et de la cellule initiale de la tête du trichome. D-F formation des cellules de sécrétion dans la tête du trichome. Synthèse et sécrétion de G-H de l'huile essentielle et accumulation sous la cuticule. I Dégénérescence du trichome (D'après Bosabalidis et Exarchou, 1995).

## A- Essences :

Ce sont des mélanges de substances de nature très variable qui possèdent des propriétés générales communes : Elles sont peu et incomplètement soluble dans l'eau, solubles dans l'alcool et les solvants des lipides. Les essences se rapprochent donc des huiles par leurs propriétés physiques d'où le nom d'huiles essentielles, mais s'en distinguent par leur volatilité. Les essences sont élaborées dans le cytoplasme vivant puis, n'étant pas miscibles à lui, elles s'en séparent par synérèse et finissent par constituer une vésicule extra-cytoplasmique.



## B- Résines :

Ce sont des mélanges de composition variable. Elles sont insoluble dans l'eau, solubles dans l'alcool inégalement solubles dans les solvants des lipides, ne sont pas volatiles, se forment au sein du cytoplasme, sont souvent mêlées à des essences (oléo-résine) ou à des gommés (gomme-résine).

Les essences et les résines peuvent être localisées dans les divers types d'appareils suivants :

✚ **Cellules épidermiques.**

✚ **Poils sécréteurs.**

✚ **Cellules sécrétrices internes.**

✚ **Poches sécrétrices :** Une poche sécrétrice est constituée par un massif de cellules qui proviennent du cloisonnement d'une cellule initiale et qui en s'écartent laissent entre elles un méat où se déversent l'essence produite par les cellules de bordure.

On distingue :

### ➤ **Poches schizogènes :**

Elles proviennent d'une cellule parenchymateuse qui se divise d'abord en deux puis en quatre par deux cloisons perpendiculaires. Ces quatre cellules en s'écartant légèrement laissent entre-elles un méat qui en s'agrandissant constituera la poche. Les cellules de bordure se multiplient et à maturité la poche apparaît limitée par une seule assise de cellules qui sécrètent l'essence.

### ➤ **Poches schizolysigènes :**

Elles se forment d'abord selon le mode schizogènes, mais les cellules bordantes, au lieu de se diviser seulement, elles se cloisonnent tangentiellement, le méat collecteur est alors bordé par plusieurs assises de cellules qui sécrètent l'essence.

✚ **Canaux sécréteurs :** Ce sont des poches schizogènes allongées, le mode de formation est le même que celui des poches sécrétrices mais il existe ici une file de cellules initiales superposées au lieu d'une cellule unique.

## C- Appareil à latex :

Les latex sont des mélanges, de composition variable. Ils sont hydrophiles contrairement aux essences et aux résines. Les substances élaborées au sein du cytoplasme sont déversées dans une vacuole aqueuse, certains s'y dissolvent et d'autres forment une émulsion donnant son aspect laiteux caractéristique.

L'appareil laticifères présente trois types :

- ❖ Cellules à latex isolées ou en files : les cellules sont indépendantes les unes des autres et peuvent être disposées en files.
- ❖ Laticifères en réseau : Elles ont la même origine que les cellules à latex isolée mais les diverses files de cellules, se ramifient et s'anastomosent.
- ❖ Laticifères vrais.



### D- Appareil à gomme et mucilage :

Les gommés et mucilages sont des substances complexes qui se gonflent au contact de l'eau et s'y dissolvent, complètement ou partiellement. On réserve cependant le terme gomme aux substances qui exsudent à la surface des organes, soit après traumatisme. On distingue trois types d'appareils à gommés et à mucilage :

- Cellules à mucilage.
- Poches schizolysigènes à gomme.
- Canaux schizogènes.

### Les tissus sécréteurs internes :

(Les canaux à résine et les laticifères)

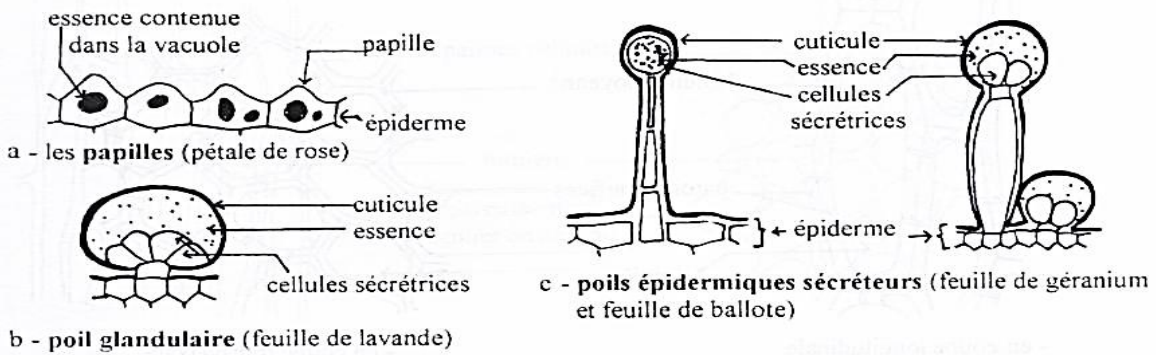
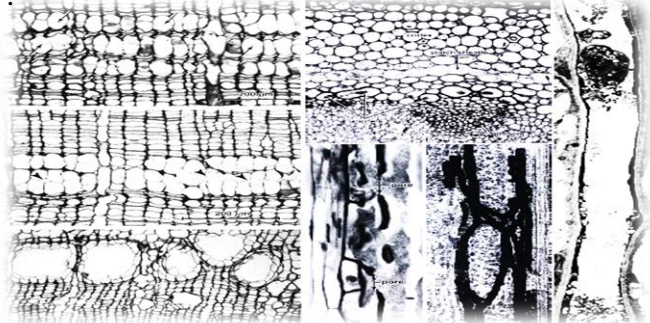


Figure 1: éléments sécréteurs de l'épiderme en coupe transversale.

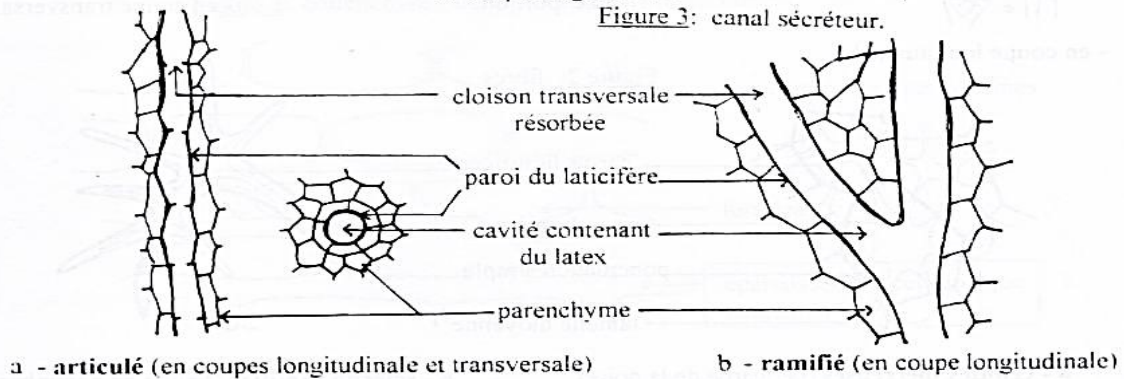
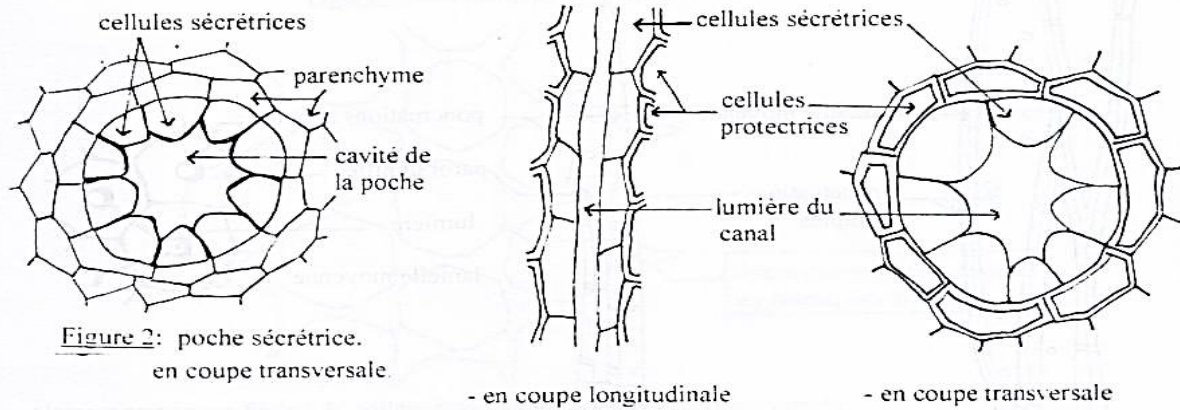


Figure. 64 : Différents types de tissus sécréteurs.



**Tableau 6.** Les différents types de tissus primaires.

ssus	Types de cellules	Forme des cellules	Paroi	Localisation
<b>PARENCHYMES</b>				
<b>Ce sont les tissus fondamentaux. Ils sont le siège de toutes les fonctions de synthèse.</b>				
<b>Chlorenchyme</b>	Cellules vivantes	Cellules isodiamétriques ou allongées	Paroi peu différenciée nombreux méats	Intérieur des feuilles
<b>Parenchymes de réserve</b>				Racines, tubercules...
<b>Parenchymes aquifère</b>				Plantes succulentes
<b>TISSUS DE REVETEMENT</b>				
<b>Ils isolent les parenchymes du milieu extérieur.</b>				
<b>Epiderme</b>	Vivantes, peu différenciées	Une seule assise	Paroi externe épaissie	Sur les organes aériens
<b>Rhisoderme</b>		Poiles absorbants	Paroi mince	Assise pilifère de la racine
<b>TISSUS CONDUCTEURS</b>				
<b>Le xylème</b>				
<b>Assure la circulation de la sève brute.</b>				
<b>Trachées (Vaisseaux)</b>	Mortes en fin de différenciation	Un vaisseau est constitué de cellules assez courtes disposées bout à bout et parallèles entre elles	Paroi primaire rigide. La secondaire est constituée d'anneaux spirales. Perforations sur les cotés	Localisation profonde
<b>Trachéides</b>		Chaque trachéide est constituée de cellules allongées et parallèles. Les extrémités sont en biseau	Paroi rigide mais peu épaisse. Paroi secondaire constituée d'anneaux et de spires, ponctuations sur les parois	



Tissus	Types de cellules	Forme des cellules	Paroi	Localisation
<b>TISSUS CONDUCTEURS (SUITE)</b>				
<b>Le phloème</b> Assure la circulation de la sève élaborée.				
<b>Tubes criblés</b>	Vivantes, sans noyau quand différenciées	Cellules allongées, dans le sens longitudinal aux parois obliques. Placées bout à bout	Parois épaisses pectocellulosiques. Les parois transversales criblées de pores	Localisation profonde
<b>Cellules compagnes</b>	Vivantes	Une cellule étroite allongée le long du tube criblé	Parois cellulosiques, non criblées	
<b>TISSUS DE SOUTIEN</b>				
<b>Collenchyme</b>	Vivantes, plastes peu différenciés	Cellules recloisonnées pourvues d'un noyau	Paroi primaire épaisse, cellulósique	A la périphérie des parties aériennes
<b>Fibres libériennes</b>	Mortes	Cellules très allongées	Paroi épaisse, ponctuations	A côté des tubes criblés
<b>Fibres ligneuses</b>	Mortes	Cellules très allongées	Paroi épaisse, ponctuations peu nombreuses	A côté des vaisseaux
<b>Fibres cellulósiques</b>	Vivantes	Jusqu'à 50 cm de longueur	Se distinguent du collenchyme par la présence d'une paroi secondaire	Fibres à côté du phloème
<b>Sclérenchyme</b>	Mortes	Grand allongement parallèle à l'axe de l'organe. Plusieurs cm de longueur	Paroi lignifiée épaissie	Se développent dans les organes dont l'allongement est terminé
<b>TISSUS DE SECRETION</b>				
<b>Cellules isolées</b>	Vivantes, accumulent dans les vacuoles les produits élaborés	Isodiamétriques	Paroi pectocellulosique	Parenchymes corticaux de tiges, parenchyme foliaires
<b>Canaux excréteurs</b>	Vivantes, excrètent les produits dans des poches et des canaux		Paroi cellulósique	



### 3<sup>ème</sup> partie - Tissus secondaires

#### 1- Les tissus secondaires :

Lorsque la croissance primaire s'achève, elle peut être suivie d'une croissance toute différence. Ils forment la structure secondaire des organes. Ils proviennent du fonctionnement des méristèmes secondaires ou zones génératrices (cambium Libéroligneux et Subérophellodermique) qui se divisent régulièrement de façon périclines ou tangentielles. Chez les Dicotylédones (la plupart), la structure primaire est transitoire et l'accroissement en épaisseur est assuré par l'apparition des zones génératrices, qui donnent naissance à de nouveaux tissus appelés tissus secondaires. Ils n'apparaissent qu'après que les organes soient formés et s'ajoutent aux tissus primaires, permettant ainsi la croissance en épaisseur des organes. Ils n'existent pas chez les Monocotylédones et les Ptéridophytes.

#### 1-1- Cambium Subérophellodermique (Phellogène) :

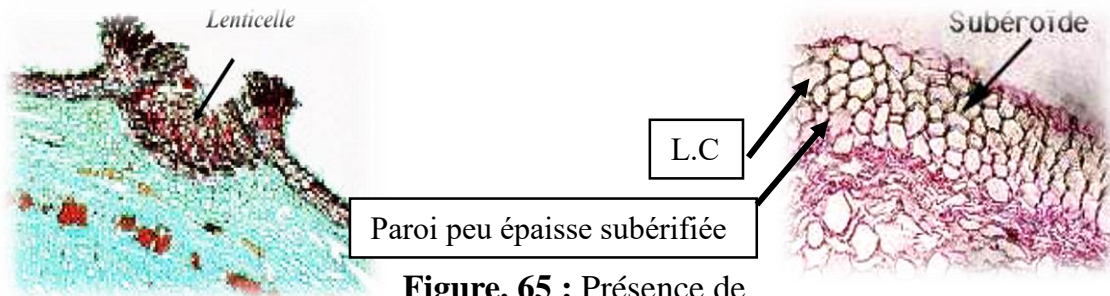
C'est l'assise secondaire la plus externe. Elle se met en place dans l'épaisseur du parenchyme cortical. Le phellogène est une zone génératrice formant à l'extérieur du liège ou suber, tissu protecteur, à l'intérieur, le phellogène donne un tissu cellulosique, le phelloderme ou parenchyme fondamentale secondaire.

#### 1-1-1- Les tissus de protecteurs : (Tissus de revêtement)

Les tissus protecteurs secondaire sont formés à partir d'une zone génératrice appelée zone subéro-phellodermique (phellogène) qui est un méristème secondaire cortical mis en place par différenciation de cellules de parenchyme cortical sous épidermique et parfois de l'épiderme, destiné à produire : vers l'extérieur, du suber (liège), un tissu de protection constitué par un manchon de cellules mortes imperméables contenant de la subérine. Vers l'intérieur, il forme un tissu vivant, le phelloderme qui joue un rôle assimilateur ou de réserve. L'association suber-phelloderme-phellogène s'appelle périderme. Il n'existe pas de phellogène au sens strict chez les Monocotylédones mais il est bien présent chez les Angiospermes Dicotylédones.

#### 1-1-1-1- Le liège ou suber :

Il se forme à l'extérieur du cambium. C'est tissu protecteur souple, léger, imperméable, qui recouvre les organes âgés ainsi que les plaies. Ses cellules, en plusieurs couches, sont alignées, jointives, mortes, pleines d'air, à membrane épaissie et subérifiée sur toutes ses faces. L'imperméabilité du liège est due à la subérine qui est un composé lipidique hydrophobe sécrété par les cellules. Le liège protège du froid, des parasites des chocs et du feu. Lors des incendies de forêts, les chêne-liège brûlent très difficilement. Le liège est percé de canaux (Les lenticelles). Remplis de cellules arrondies laissant passer l'air entre elles. Outre l'épiderme, le suber est un tissu protecteur qui recouvre les organes, et se trouve sur les tiges âgées de couleur brune. Le suber est un ensemble de cellules mortes imperméables contenant de la subérine. Le suber ou liège est un tissu d'origine secondaire ; il provient de la différenciation de cellules méristématiques issues du fonctionnement d'un méristème secondaire, l'assise subéro-phellodermique ou phellogène. Le suber est formé par des cellules rectangulaires étroitement collées et subérifiées. L'intérieur des cellules est mort et rempli d'air d'où sa légèreté. Le liège est imperméable, les échanges gazeux entre les tissus internes et l'atmosphère sont assurés par des ouvertures allongées appelées lenticelles.



**Figure. 65** : Présence de lenticelles au niveau du suber.

### 1-1-1-2- Le phelloderme :

Il se forme du côté interne du cambium. C'est un parenchyme chlorophyllien.

### 1-2- Cambium Libéroligneux :

C'est l'assise secondaire la plus interne. Il se situe toujours exactement entre le phloème primaire et le xylème primaire, et donne naissance à du le phloème secondaire (liber) et du le xylème secondaire (bois). La prolifération des cellules du méristème cambial, puis leur différenciation donne les éléments du xylème secondaire vers l'intérieur et ceux du phloème secondaire vers l'extérieur. La différenciation du xylème secondaire est centrifuge, celle du phloème secondaire par contre est centripète. Il en résulte que les éléments du xylème secondaire sont d'autant plus jeunes qu'ils sont éloignés du centre. Inversement le phloème secondaire qui est centripète, ses éléments sont d'autant plus jeunes qu'ils sont plus près du centre.

### 1-2-1- Les tissus conducteurs :

Ce sont des tissus conducteurs des sèves brute et élaborée dans le végétal. Ils proviennent du fonctionnement des méristèmes secondaires libéro-ligneux ou cambium, et donc présents dans les organes âgés des Angiospermes dicotylédones (tige, feuille et racine). La zone génératrice donne naissance à deux tissus conducteurs secondaires : Le liber (phloème secondaire) dirigé vers l'extérieur et le bois (xylème secondaire) dirigé vers l'intérieur.

### 1-2-1-1- Le xylème secondaire (Bios) :

Il se forme du côté interne du cambium libéroligneux. Le xylème secondaire est un tissu complexe constitué de :

- ❖ Vaisseaux conducteurs.
- ❖ Fibres, c'est-à-dire des cellules effilées mortes, dont les parois sont lignifiées. Les fibres ont un rôle de soutien.
- ❖ Cellules parenchymateuses : les cellules sont vivantes et stockent des réserves. Il existe deux sortes de parenchyme :
  - Un parenchyme dont les cellules sont allongées radialement et forment des rayons ligneux.
  - Un parenchyme dont les cellules sont allongées verticalement.

### 1-2-1-2- Le phloème secondaire (Liber) :

Il se forme du côté externe du cambium libéroligneux. Le phloème secondaire est constitué de tubes criblés :



Le fonctionnement du cambium libéroligneux est rythmique avec des phases d'activité d'autant plus nettes que les saisons sont plus marquées (d'où la présence de cercle annuels bien visibles sur les coupes transversales).

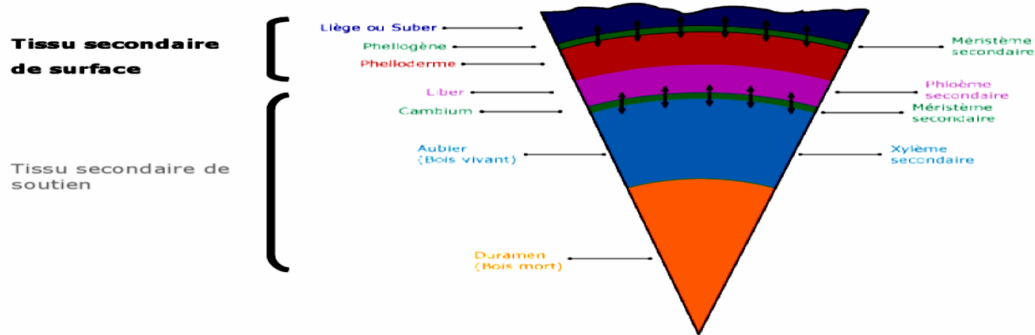


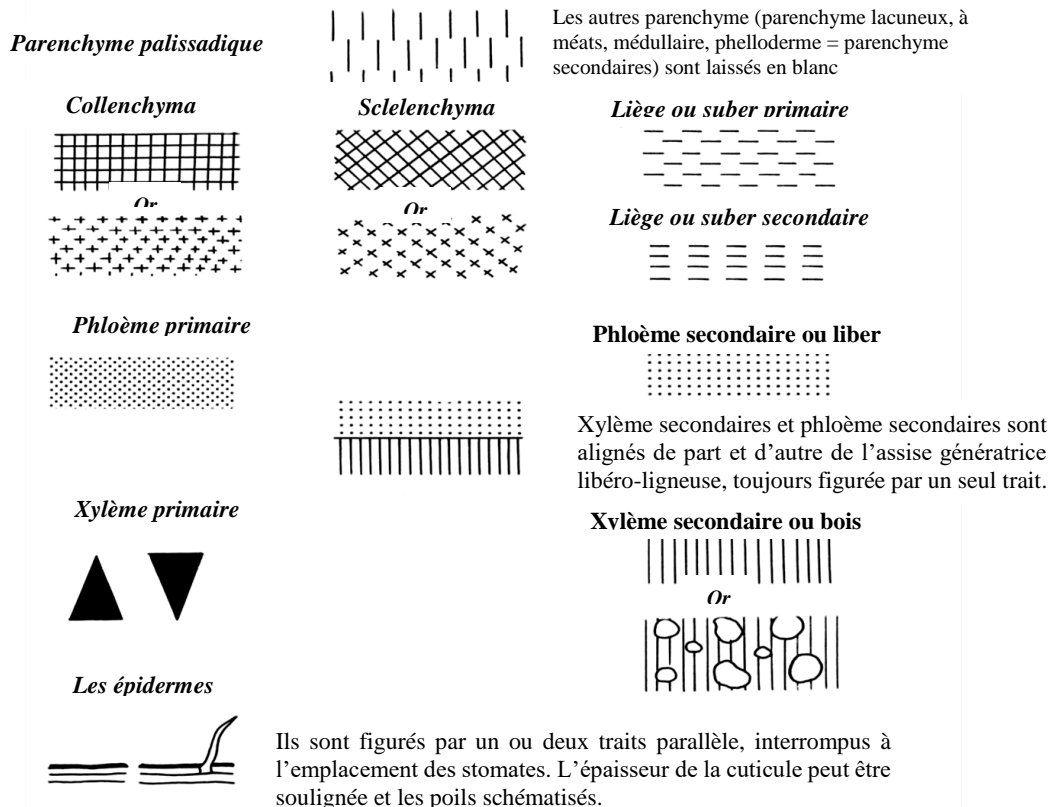
Figure. 66 : Exemple de localisation des tissus secondaires.

## 2- Représentations conventionnelles des tissus :

Des représentations conventionnelles sont utilisées pour schématiser les coupes observées au microscope après coloration et traitement au vert de méthyle méthionine.

### La représentations conventionnelle des tissus

Classiquement les différents tissus sont représentés de la façon suivante :



Toute assise cellulaire particulière telle qu'assise génératrice (cambium), endoderme, assise sécrétrice d'un canal sécréteur est généralement figurée par un seul trait mais lorsque deux assise particulières sont contiguës, comme un épiderme et un hypoderme, un endoderme et un péricycle, trois traits sont nécessaires pour les désigner sans ambiguïté.



Les tiges, les feuilles, les racines sont constituées de tissus. Ceux-ci sont de plusieurs sortes mais les quatre types principaux sont : les tissus de soutien (sclérenchyme et collenchyme), les tissus de revêtement (épiderme et rhizoderme), les tissus conducteurs (xylème pour la sève brute, phloème pour la sève élaborée), enfin les tissus qui participent aux activités métaboliques (les parenchymes). La mise en place de ces tissus est sous la dépendance des méristèmes primaires qui déterminent une structure primaire. Le fonctionnement des méristèmes primaires est beaucoup plus complexe dans la tige que dans la racine. De même l'organisation des tissus est différente selon les racines avec un cylindre central comportant les faisceaux criblovasculaires et la tige où ces mêmes faisceaux sont répartis en périphérie. Ces méristèmes assurent la croissance en longueur des plantes.

Très vite, chez les Dicotylédones, des méristèmes secondaires apparaissent et fonctionnent. L'assise subéro-phellodermique concerne la partie la plus extérieure des tiges, tandis que le cambium libéro-ligneux, placé entre le phloème et le xylème donne du liber et du bois assurant de ce fait une croissance en épaisseur du végétal.

# *Chapitre III*

## *Anatomie des végétaux*



## 1- Introduction :

Après l'étude de la structure et de l'évolution des tissus soit l'Histologie, vient l'Anatomie (*Ana* : à travers de. *Tomê* : coupure, division, disséquer), (du grec, *Anatemnein* = disséquer), qui représente une partie essentielle de la biologie et de la physiologie. L'anatomie est l'étude de la structure interne des organes et organismes.

L'anatomie végétale (phytotomie) c'est l'étude des caractères des tissus et de leur agencement en structures spécialisées dans les divers organes des plantes. Autrement définie comme étant branche de la biologie étudiant les caractères des tissus (*Histologie*) et leur organisation en organe.

Par l'observation de quelques coupes anatomiques simples, nous allons essayer de tirer des lois générales concernant la disposition des tissus dans les divers organes des plantes. Bien que ces lois soient respectées, toutes les coupes ne se ressemblent pas. Nous devons alors interpréter ces différences en fonction de la biologie des plantes.

L'étude de la graine que nous avons abordée au premier chapitre relative à la reproduction des plants à fleur, nous permettra de distinguer des plantes à graine ayant un seul cotylédon et des plantes à graine ayant deux cotylédon. On appellera les premières Monocotylédones et les secondes Dicotylédones. Il faut savoir aussi que ces deux groupes diffèrent également par leur structure anatomique d'où l'intérêt d'étudier l'organisation des organes végétatifs de chacun d'eux.

## 2- Les Monocotylédones :

### 2-1- Structure anatomique primaire de la racine des Monocotylédones :

La racine est la partie souterraine de la plante, spécialisée dans l'absorption de l'eau et des sels minéraux et dans la fixation de la plante au sol. La racine présente une structure interne bien définie une coupe transversale d'une racine jeune présente une symétrie axiale. Des coupes effectuées au niveau d'une racine permettent de distinguer deux zones concentriques : écorce et cylindre central (*stèle*) dont l'écorce est légèrement supérieure au cylindre central.

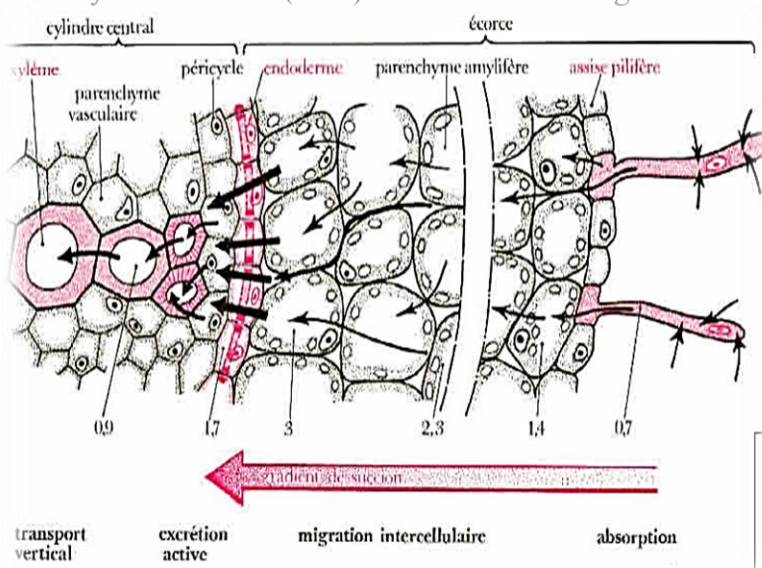


Figure. 68 : Coupe transversale d'une racine.

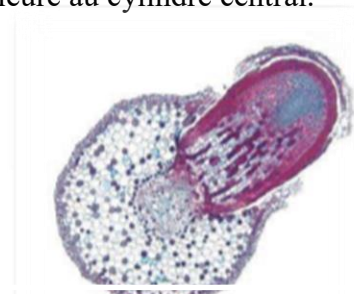


Figure. 67 : Formation d'une racine latérale (secondaire).

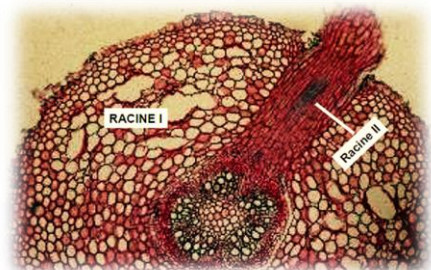


Figure. 69 : Ramification endogène



Chez les Monocotylédones comme l'*Iris*, la structure primaire persiste pendant toute la vie du végétal : elle se retrouve aussi bien dans les racines jeunes que dans les racines âgées. En proportion, le cylindre central est plus développé que dans la racine de ficaire alors que les caractéristiques anatomiques des tissus externes de l'écorce sont assez semblables. La chute de l'assise pilifère est provoquée par la subérisation des assises les plus externes de l'écorce.

Nous distinguons deux zones essentielles :

- ✚ **L'Ecorce** cette partie est constituée d'un épiderme racinaire rhizoderme (assise pilifère) qui porte des poils absorbants (prolongements des cellules rhizodermique) de la racine et d'une assise subéreuse lorsque la racine vieillit, ainsi que du parenchyme cortical formé de cellules laissant entre elles d'importants méats. Il est constitué de cellules jointives parallélipédiques, allongées dans le sens de l'axe de la racine. A la paroi cellulosique s'ajoute un cadre subérifié. Au niveau du cadre, l'adhérence du cytoplasme à la paroi est très forte. Ceci oblige les substances dissoutes qui arrivent à ce niveau de traverser le cytoplasme, d'où un contrôle, par ces cellules des ions et autres substances absorbés, autrement dit la dernière couche de cellules de parenchyme cortical est épaissie et forme une sorte de barrière de contrôle des molécules circulant dans la racine, c'est l'endoderme (*assure le transport des éléments absorbés jusqu'à l'endoderme*).
- ✚ **Le Cylindre central** (la stèle) composé des tissus de transport de la sève :

#### A- L'endoderme :

C'est une assise cellulaire la plus profonde formé de cellules étroitement jointives entourant le péricycle dont la paroi tangentielle externe est demeurée cellulosique, alors que les autres sont fortement épaissies de lignosubérine. Ce type d'endoderme dit "en fer à cheval" ou en U est fréquent chez les Monocotylédones. De telles cellules sont imperméables. Pour permettre la conduction entre le cylindre central et l'écorce, il subsiste, dans les racines jeunes, quelques cellules endodermiques à parois non épaissies (*qui joue un rôle important dans la régulation de flux de substances entre l'écorce et les tissus conducteurs*).

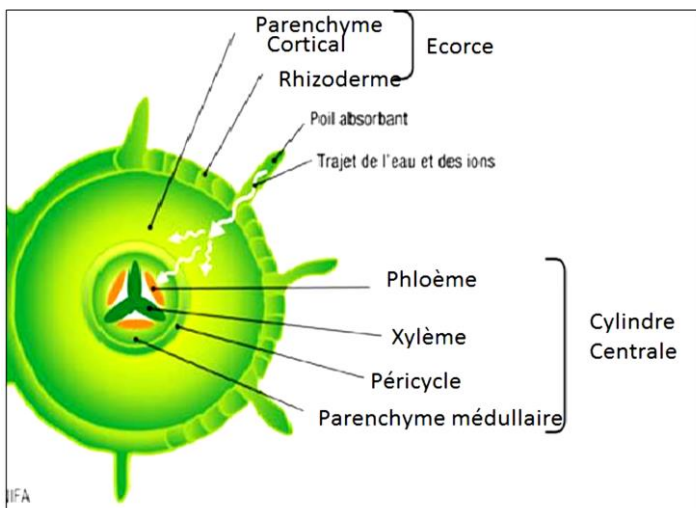


Figure. 70 : L'organisation primaire d'une

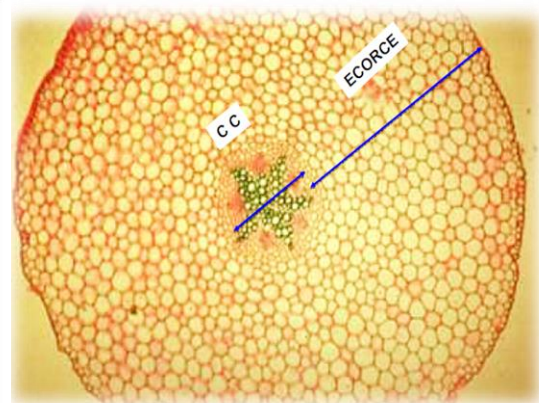


Figure. 71 : Importance entre le Cylindre Central et l'Écorce.

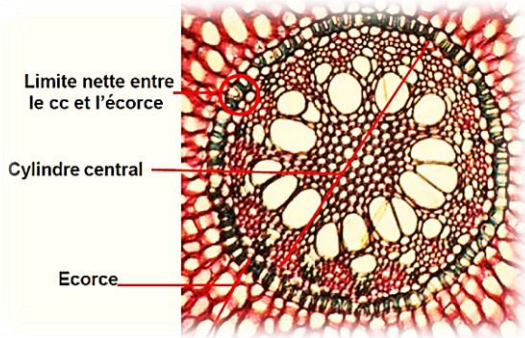


Figure. 72 : Limite nette entre le Cylindre Central et l'Écorce.

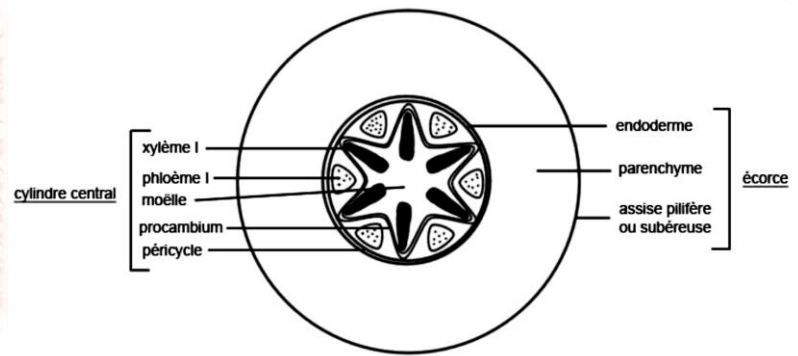


Figure. 73 : Structures primaires dans une coupe transversale de racine

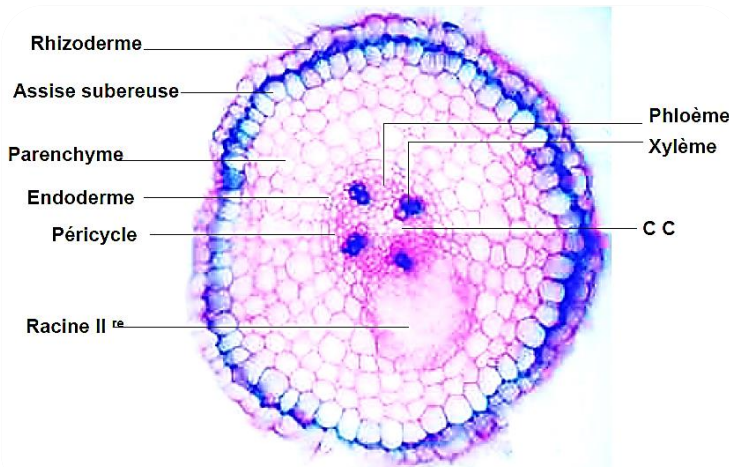
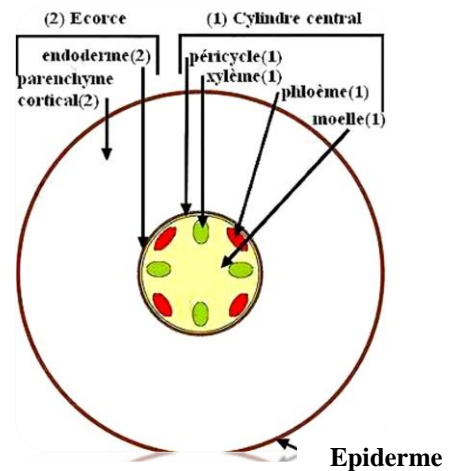


Figure. 74 : Structure primaire d'une racine.



**B- Le péricycle :**

Constitué d'une seule assise de cellules jointives à paroi mince qui alternent avec celles de l'endoderme, à partir de laquelle vont se former les ramifications de la racine. Le xylème et phloème sont organisés en faisceaux selon une disposition alterne, en un seul cycle. Leur nombre est élevé : il y a toujours plus de 10 faisceaux de chaque sorte, parfois même plus de 20. Chaque faisceau de xylème est à pôle exarche, appuyé au péricycle, donc à différenciation centripète. Il en est de même dans les faisceaux de phloème. Indépendamment des faisceaux de xylème, il existe, dans la région centrale de gros éléments de métaxylème. Tout le centre de l'organe est occupé par une moelle fortement sclérifiée.

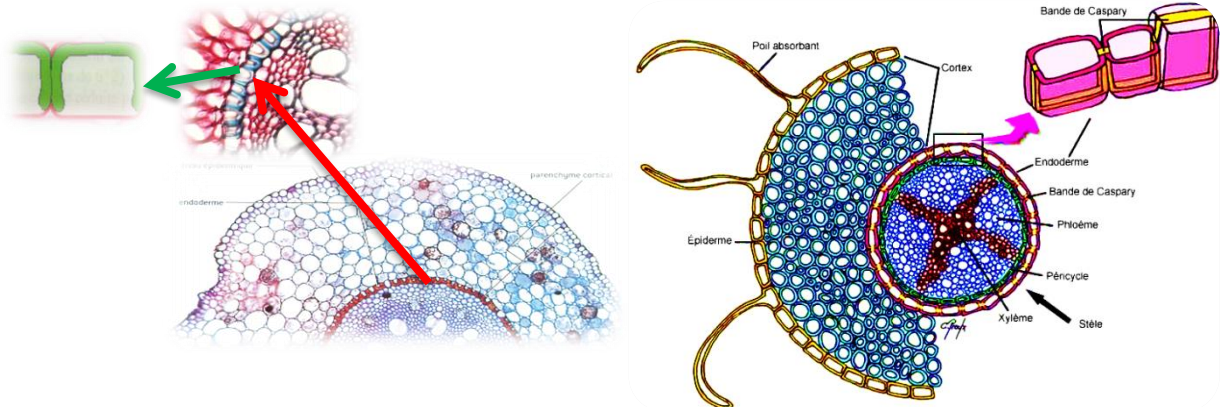


Figure. 75 : Un endoderme lignifié en U



### C- les tissus conducteurs :

On trouve plus au centre, des vaisseaux de xylème, (avec une épaisse paroi) Ils alternent régulièrement et sur un seul cercle, avec les tubes criblés du phloème et assurent la circulation de la sève brute (xylème) et la sève élaborée (phloème). Les cellules du xylème ont des tailles différentes selon leur emplacement dans le cylindre central Près du péricycle, elles sont jeunes et petites *protoxylème* vers le centre, elles sont grandes et âgées *métaxylème* La différenciation du xylème est centripète dans la racine (différenciation repoussée vers le centre de la racine). Enfin, au centre de la racine, la moelle, composée de parenchyme médullaire qui n'a pas de fonction particulière.

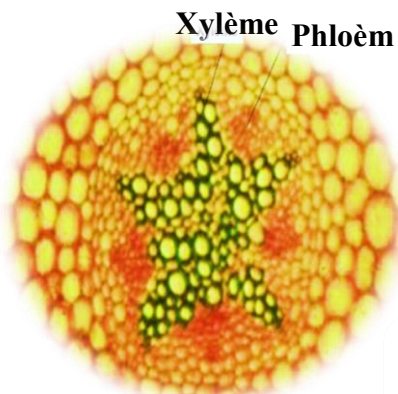


Figure. 76 : Alternance entre le xylème et phloème

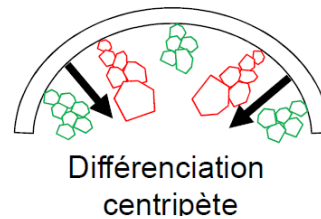


Figure 6. Développement des vaisseaux conducteurs dans la racine.

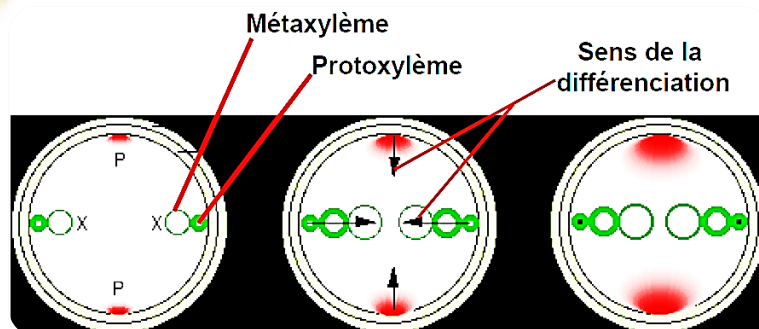
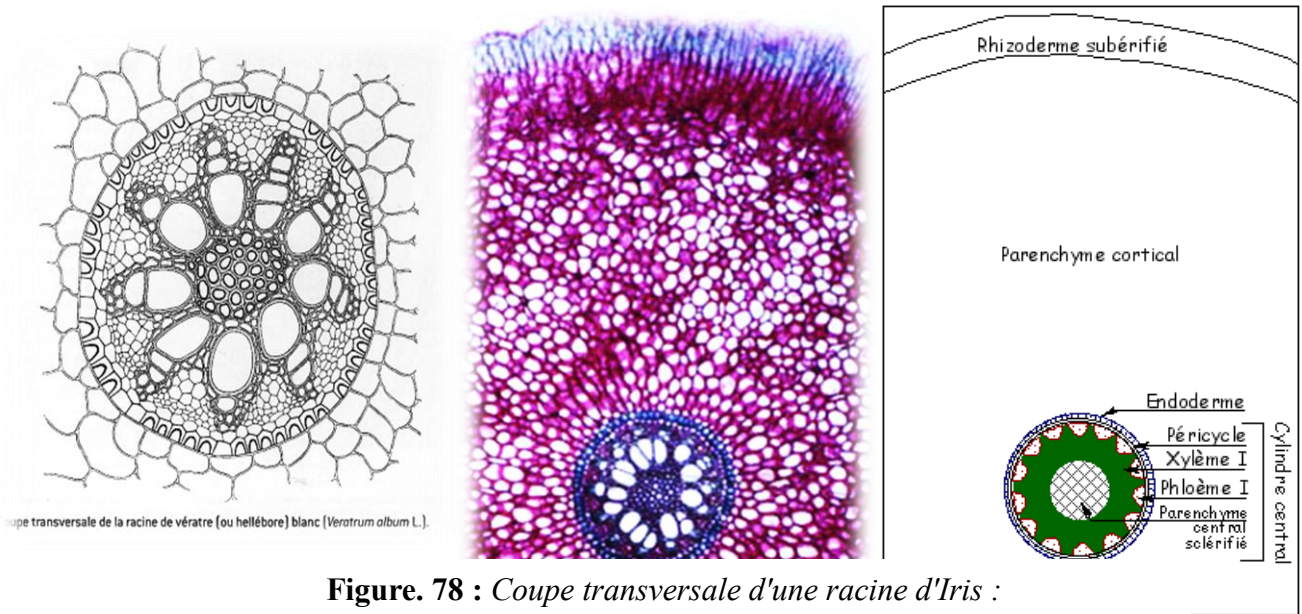


Figure. 77 : Différenciation centripète dans la racine

### D- Un parenchyme médullaire :

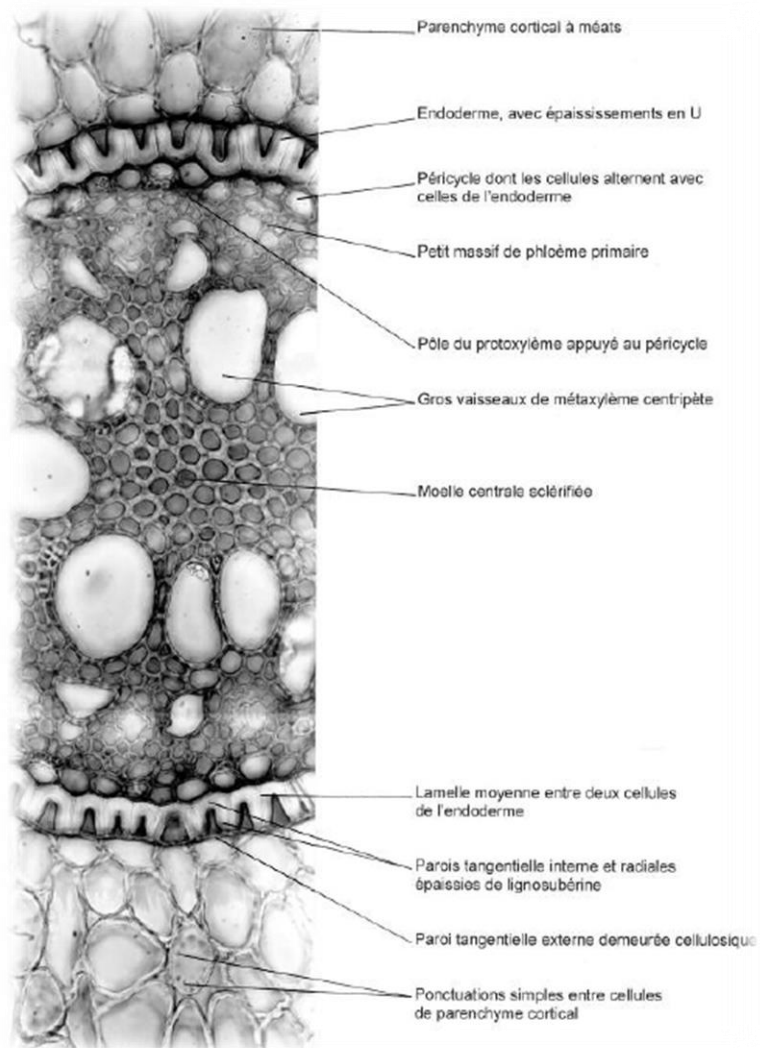
#### 2-1-1- Principales caractéristiques anatomiques de la structure primaire de la racine :

- ❖ L'organisation est à symétrie rayonnante,
- ❖ Subéroïde selon le niveau, l'assise pilifère est présente sur les racines jeunes,
- ❖ L'écorce est toujours plus développée que le cylindre central,
- ❖ L'endoderme et le péricycle sont généralement bien différenciés, l'endoderme en fer à cheval ou en O avec des cellules de passage, le péricycle plus ou moins sclérifié avec l'âge.
- ❖ Les faisceaux conducteurs sont disposés sur un seul cycle, Souvent plus de 8 faisceaux de phloème ou de xylème.
- ❖ Xylème et phloème sont à disposition alterne, à pôles exarches et à différenciation centripète,
- ❖ La moelle (parenchyme médullaire) n'est pas toujours présente.



**Figure. 78 :** Coupe transversale d'une racine d'*Iris* :


- La position alterne du phloème et du xylème.
- Un grand nombre de pôles ligneux (14), l'absence de tissus secondaires.



**Figure. 79 :** Coupe transversale de racine d'une Monocotylédone *Iris germanica*



## 2-2-2- Caractères communs aux spermaphytes :

- ✚ L'organisation est à symétrie axiale.
- ✚ Rhizoderme présent.
- ✚ Ecorce généralement non chlorophyllienne et plus développée que le cylindre central.
- ✚ Endoderme net.  **Limite nette**
- ✚ Pérycyle présent.
- ✚ Xylème et phloème sont alternes et disposés sur un seul cercle.
- ✚ Xylème et phloème à différenciation centripète.
- ✚ Ramification endogène.

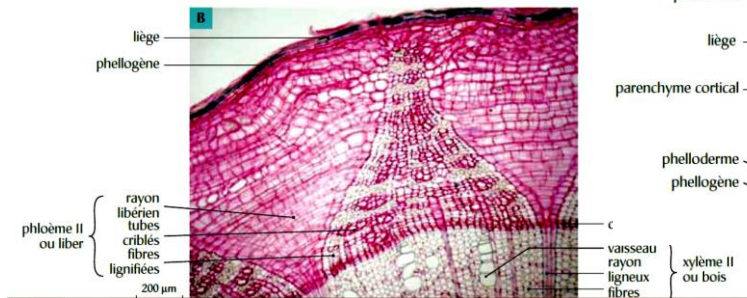


Figure. 80 : Racine secondaire d'un dicotylédone

Les formations secondaires sont présentes que chez les dicotylédones et les gymnospermes :

- ✚ Moelle réduite
- ✚ Xylème primaire à différenciation centripète (si visible)
- ✚ Pas de cernes ou cernes peu visibles
- ✚ Pas de différence de taille entre éléments conducteurs du bois de printemps et ceux du bois d'été
- ✚ Xylème secondaire (bois) hétéroxylé (fibres et vaisseaux) chez les dicotylédones
- ✚ Xylème secondaire (bois) homoxylé (trachéïdes assurant le soutien et la conduction) chez les gymnospermes

En observons une coupe de racine d'*Iris*, nous y trouvons, en allant de l'extérieur vers l'intérieur :

- a- Une **assise périphérique** constituée par une seule rangée de cellules. Suivant la région dans laquelle la coupe a été pratiquée, ce peut être une **assise pilifère** ou une assise sans poils, si la coupe a été pratiquée au-dessus de la zone terminale de la racine cette assise peut être plus ou moins en lambeaux ou même avoir complètement disparu.
- b- Sous l'assise périphérique vient une **couche de liège** plus ou moins épaisse. Elle forme un manchon imperméable. C'est d'ailleurs à cause de son imperméabilité que l'assise périphérique, privée de nourriture, disparaît.
- c- Vient ensuite un parenchyme, appelé **parenchyme cortical**, dont les cellules les plus externes sont devenues collenchymateuses.
- d- Ce parenchyme est bordé vers l'intérieur par une assise de cellules particulières. En effet, leurs membranes interne et latérales sont épaissies, alors que la membrane externe est restée mince, en coupe, cela donne à l'épaississement une allure de fer à cheval. Cette assise est l'**endoderme**.

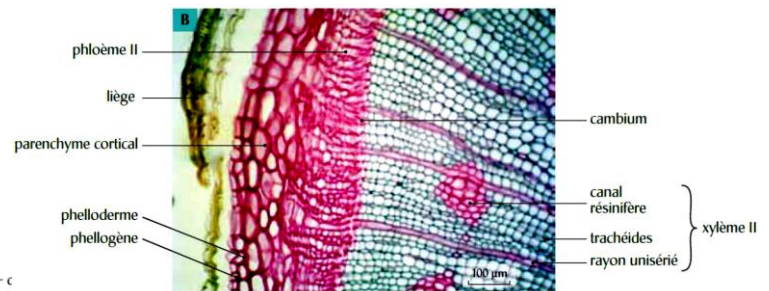


Figure. 81 : Racine secondaire d'une gymnosperme



Toutes les formations que nous avons décrites jusqu'à présent constituent ce que l'on appelle l'*écorce* de la racine. Ce qui se trouve à l'intérieur forme *le cylindre central*, qui comprend :

- e- Une assise dont les cellules alternent d'une façon très régulière avec celles de l'endoderme : c'est *le péricycle*.
- f- Sous le péricycle, de petits amas triangulaires (on dit des faisceaux) de *xylème* séparés les uns des autres, à leur sommet, par des *faisceaux de phloème*. On remarque que dans le xylème les cellules les plus petites sont placées à la périphérie. Ces petites cellules sont les plus anciennes, car au fur et à mesure que le végétal grandit, il fabrique des cellules de plus en plus grandes, ce qui permet la circulation d'une sève plus abondante. Le xylème se forme donc de l'extérieur vers le centre : on dit ce xylème est *centripète*.
- g- Au centre de la coupe, toutes les cellules sont sclérifiées : c'est le *sclérenchyme médullaire*.

Nous remarquons, en outre, que la coupe est circulaire et que les éléments qui se trouvent dans le cylindre central sont placés symétriquement par rapport au centre du cercle. Si nous considérons l'ensemble de la racine possède une symétrie axiale. Ce caractère important est à retenir.

## 2-2-Structure anatomique primaire de la tige des Monocotylédones :

La tige d'une plante est un organe dont la fonction principale est de soutenir le système foliacé, de mener l'eau et les sels minéraux des racines aux feuilles et de transférer les nourritures produites par les feuilles aux autres parties de la plante. Une coupe transversale d'une tige jeune montre l'existence de plusieurs zones

L'anatomie des Monocotylédones est caractérisée par l'absence des formations secondaires. Chez les Monocotylédones la structure primaire persiste pendant toute la vie du végétal. Chez l'asperge, l'épiderme est formée d'une assise de cellules jointives, dépourvue de chloroplastes, dont la face externe est fortement cutinisée et les stomates donnent accès à une petite chambre sous-stomatique (2). L'écorce (Le parenchyme cortical) est relativement réduite à 3 ou 4 assises cellulaires seulement, la plus interne, à cellules plus grosses polyédriques que les autres, laissant entre elles d'importants méats, les cellules de la périphérie renferment des chloroplastes mais leur nombre diminue au fur et à mesure qu'on s'enfonce vers l'intérieur.

Le cylindre central est situé sous l'écorce et réunit dans un parenchyme médullaire, qui occupe la plus grande partie de l'organe est limité extérieurement par un anneau de sclérenchyme fait de petites cellules, en position péricyclique.

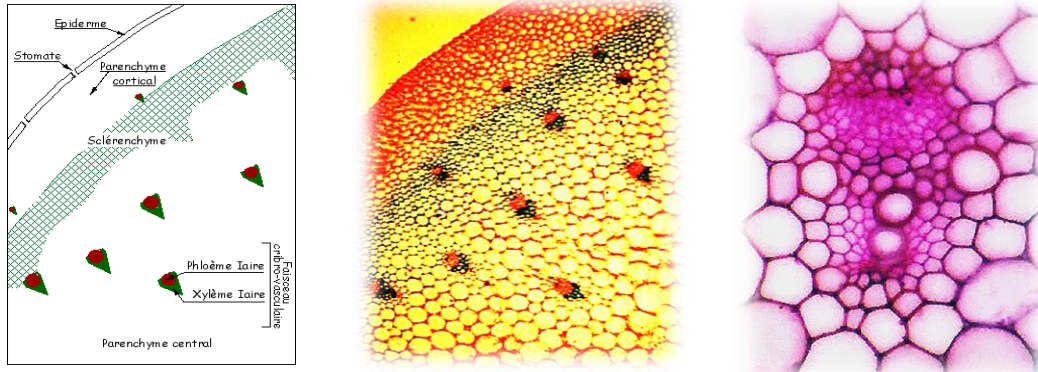
À l'intérieur de cet anneau, au sein d'un parenchyme médullaire lui-même sclérifié, les faisceaux cribrovasculaires (faisceaux libéro-ligneux) répartis sur un même cycle, présentés sous forme de tissus conducteurs rassemblés en amas superposés de xylème et de phloème sont très nombreux et apparemment sans ordre (bien qu'on les décrive parfois comme étant disposés sur plusieurs cycles, ce qui est évidemment toujours possible). La taille des faisceaux augmente de la périphérie vers le centre.

Chaque faisceau est constitué de la façon suivante : le xylème qui est à pôles endarches et différenciation centrifuge dont protoxylème près du centre (apparaît quand la tige est en croissance) et le métaxylème près de la périphérie (apparaît quand la croissance de la tige est terminée). Il est aussi possible de distinguer du protophloème et métaphloème, à la forme d'un

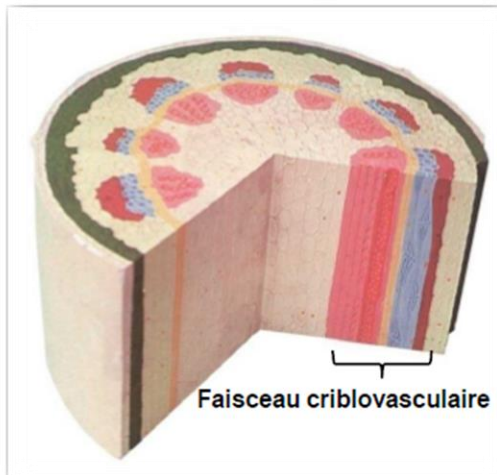


V dont la pointe est tournée vers le centre et le massif de phloème, à différenciation centripète, est logé dans les branches du V. Chez les autres Monocotylédones, l'*iris* par exemple, le xylème entoure complètement le phloème, formant un faisceau concentrique.

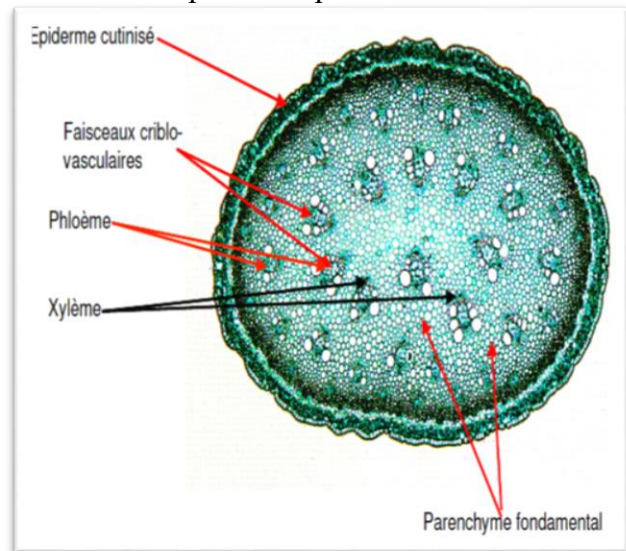
Moelle de la tige est remplie par le parenchyme médullaire.



**Figure. 82 :** Coupe transversale d'une tige d'*Iris* : Les faisceaux criblo-vasculaires ou libéro-ligneux, sont nombreux et disposés sur plusieurs cercles

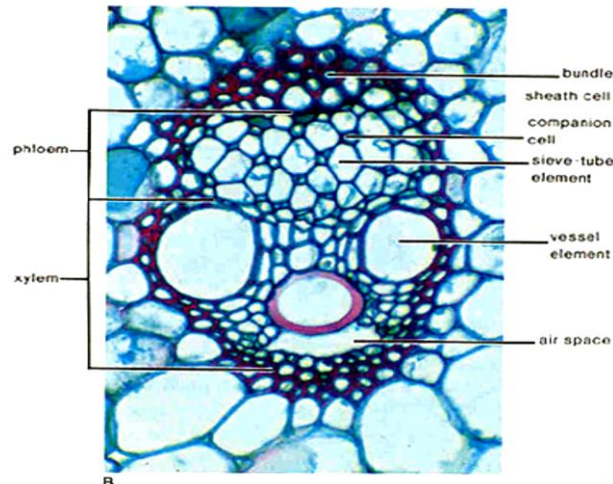
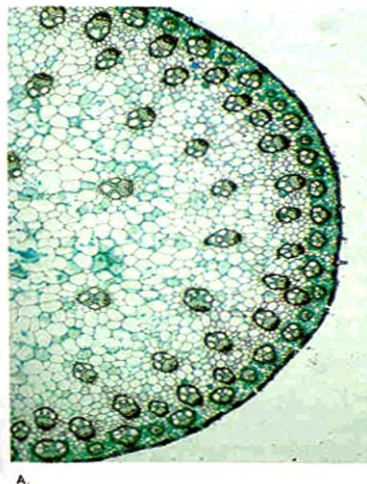


**Figure. 83 :** Schéma d'une coupe transversale et longitudinale dans une tige.



**Figure. 84 :** Coupe transversale de la tige d'asperge

FIGURE 5.11 A. A portion of a cross section of a monocot (*Zea mays*) stem. B. A single vascular bundle (enlarged). Photomicrographs by G. S. Eitmore)



**Figure. 85 :** Faisceau libéro-ligneux d'un Monocot

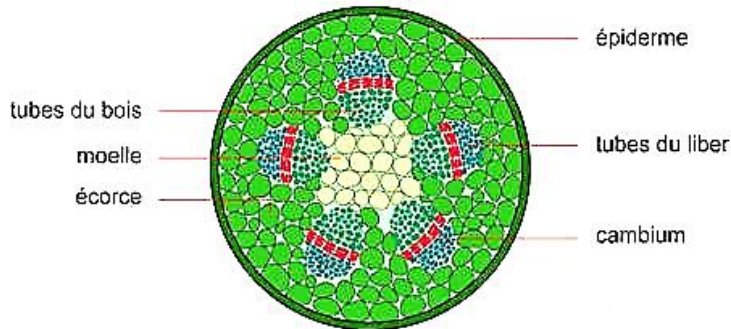


Figure. 86 : Schéma d'une coupe transversale d'une tige

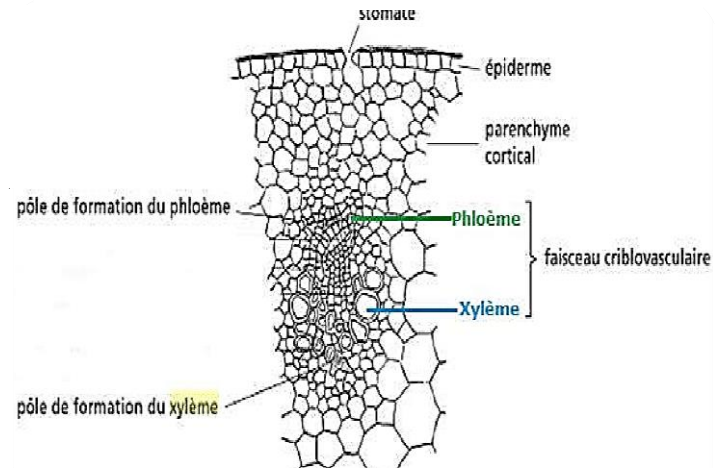


Figure. 87 : Schéma d'une coupe transversale d'une tige

En observons maintenant une coupe dans la tige du *Iris* :

- a- Elle est bordée à l'extérieur par un *épiderme cutinisé*.
- b- Au-dessous vient un *parenchyme cortical*.
- c- Il est très difficile de retrouver l'endoderme et le péricycle que nous avons vu dans la racine. *La couronne de sclérenchyme* qui borde le parenchyme cortical à l'intérieur est attribuée au péricycle.
- d- L'ensemble du cylindre central est occupé par du sclérenchyme que nous pouvons appeler *sclérenchyme médullaire*.
- e- Les tissus conducteurs sont groupés en faisceaux de forme vaguement ovale, régulièrement répartis en cercles concentriques. Ici, chacun des faisceaux est constitué par du phloème vers l'extérieur, et du xylème vers l'intérieur : on dit que ce sont des faisceaux libéroligneux. En outre, si nous considérons comme tout à l'heure la taille des cellules du xylème, nous voyons que le xylème est *centrifuge*.



### 2-3- Structure anatomique de la feuille des Monocotylédones :

Les feuilles d'iris naissent en bouquet à l'extrémité d'un rhizome souterrain. Elles ont la forme d'une lame de faux (feuilles falciformes). La nervation est parallèle et la feuille est pliée longitudinalement, sa face adaxiale vers l'intérieur. Sur presque toute sa longueur, la section transversale de la feuille a la forme d'un V mais dans sa portion terminale, les branches du V se soudent, faisant ainsi disparaître ce qui était la face adaxiale. Les deux "faces" de l'organe appartiennent l'une et l'autre à la face abaxiale de la feuille.

Les nervures parallèles sont symétriques par rapport à un plan longitudinal mais à l'extrémité de l'organe, deux nervures de tailles inégales sont orientées dans ce plan de symétrie.

L'épiderme est identique sur les deux côtés. Il est à cuticule fine et les stomates sont nombreux, donnant accès à une minuscule chambre sous-stomatique qui est le plus souvent réalisée par l'écartement distal de deux cellules du parenchyme palissadique sous-jacent. Ce dernier existe identiquement des deux côtés sous la forme de 2 ou 3 assises de cellules hexagonales parfaitement jointives. Le centre de l'organe est occupé par un parenchyme banal dans lequel existent d'assez grandes lacunes.

Chaque nervure se présente sous la forme d'un faisceau cribrovasculaire unique entouré d'un endoderme qui, dans le cas des plus grosses nervures, s'appuie à l'épiderme.

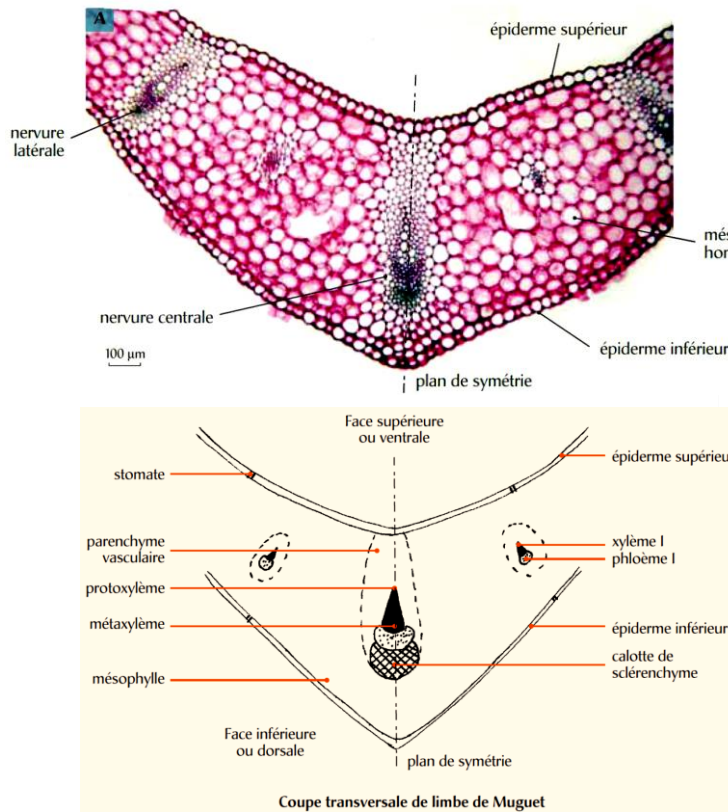
À l'intérieur de cet endoderme, le massif de xylème primaire a la forme typique d'un V dont la pointe est tournée vers l'intérieur. Le massif de phloème primaire qui lui est superposé, du côté externe, est lui-même surmonté d'un petit massif de sclérenchyme bien différencié, que sa position à l'intérieur de l'endoderme permet de qualifier de péricyclique.

Un parenchyme plus ou moins sclérifié occupe tout l'espace entre l'endoderme et les branches du V de xylème. À l'extrémité de l'organe est localisé un petit massif de sclérenchyme sous-épidermique.

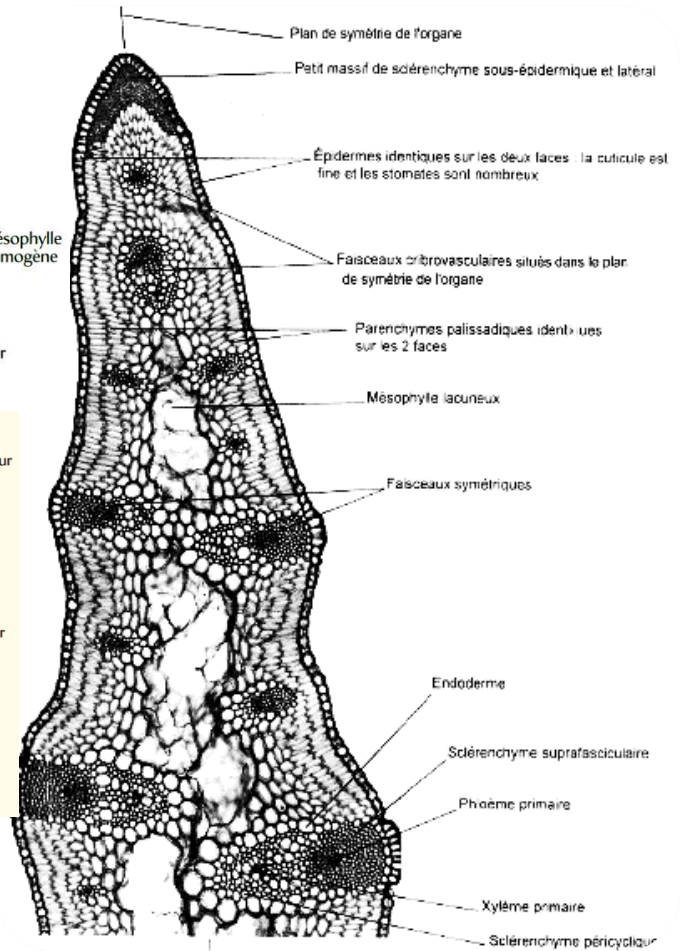
La feuille de l'Iris elle a une forme rubanée avec des nervures parallèles à peu près toutes de même importance. Dans une coupe transversale du limbe, nous observons :

- a- Les deux faces, recouvertes par un *épiderme cutinisé*.
- b- Contre ces épidermes, deux assises de cellules à peu près rectangulaires, perpendiculaires à cet épiderme. Ces cellules, dans le végétal frais, renferment un grand nombre de chloroplastes. Il s'agit d'un *parenchyme chlorophyllien* que l'on appelle aussi, à cause de sa disposition, *parenchyme palissadique*.
- c- La partie centrale est occupée par un parenchyme dont les cellules, de forme ovoïde, laissent entre elles de grandes lacunes. C'est du parenchyme lacuneux.
- d- De loin en loin, dans le parenchyme lacuneux, nous retrouvons les nervures qui sont représentées par *des faisceaux libéro-ligneux*. Ces faisceaux font suite à ceux de la tige où le xylème était interne par rapport au phloème, dans la feuille, le xylème va donc se trouver du côté de la face supérieure.

Nous remarquons que la coupe n'est plus circulaire, et que ses éléments sont symétriques par rapport à un axe perpendiculaire au limbe et passant par le milieu de la nervure centrale.



**Figure. 88 : Coupes transversale de limbe de feuille Monocotylédone (Muguet): Le Mésophylle est Homogène**



**Figure. 89 : Coupe transversale de feuille Iris**

### 3- Les Dicotylédones :

#### 3-1- Structure anatomique primaire de la racine des Dicotylédones :

Si nous faisons une coupe dans une racine jeune ou à l'extrémité d'une racine âgée, nous y trouvons une structure analogue à celle que nous avons décrite dans la racine de Monocotylédone. Cette structure est appelée structure primaire. Mais si la racine est âgée, il y a, à quelques millimètres de l'extrémité, des différences très importantes.

❖ **L'écorce** est représentée par un ensemble de tissus qui sont, de l'extérieur vers l'intérieur:

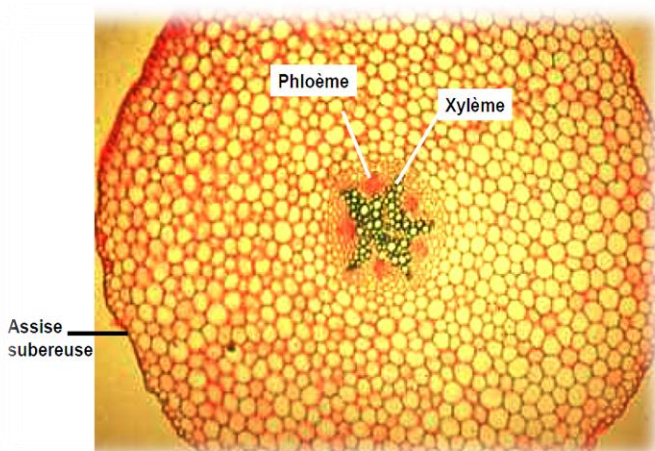
- ✚ L'assise pilifère (l'assise périphérique a généralement disparu),
- ✚ La zone subéreuse primaire ou subéroïde ; c'est l'imprégnation de subérine des parois des cellules les plus externes de l'écorce qui les rend étanches et provoque la chute des poils absorbants,
- ✚ Le parenchyme cortical ; c'est un parenchyme à méats dans lequel s'accumulent des réserves amylacées responsables de la tubérisation des racines de ficaire,
- ✚ L'endoderme ; c'est l'assise cellulaire la plus interne de l'écorce ; il est formé de cellules à section rectangulaire parfaitement jointives dont les parois radiales sont épaissies et imprégnées de lignosubérine ; un tel endoderme est dit "à cadres".



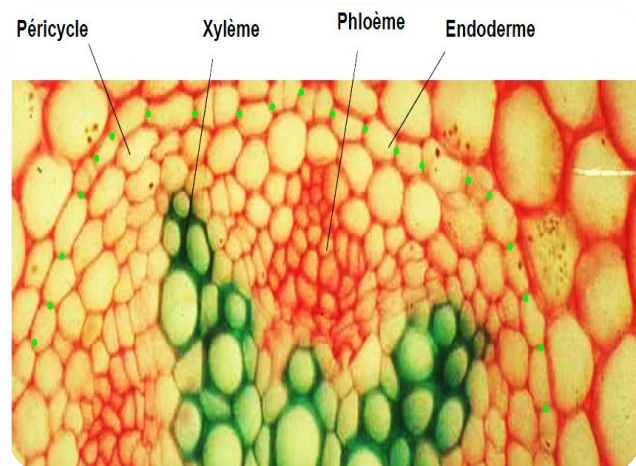
- ❖ **Le cylindre central** est de petite taille, en comparaison de l'étendue de l'écorce. C'est à l'intérieur du cylindre central que se trouvent localisés les tissus conducteurs ; on donne le nom de stèle à l'ensemble des tissus conducteurs primaires. Le cylindre central comprend :
  - ✚ Le péricycle ; c'est l'assise cellulaire la plus externe du cylindre central. Ses cellules alternent avec les celles de l'endoderme auxquelles elles sont étroitement appliquées,
  - ✚ Les faisceaux ligneux sont constitués de trachéides de xylème, il n'y a pas de parenchyme. Les premières trachéides différenciées, simplement annelées ou spiralées, constituent le protoxylème dont le pôle est appuyé au péricycle (la position de ce pôle est dite exarche, du grec *ektos* = extérieur et *arkhos* = chef, tête). Les trachéides plus âgées, de plus grand diamètre sont réticulées, rayées ou ponctuées et constituent le métaxylème ; elles se différencient vers l'intérieur : on dit que la différenciation du xylème primaire est centripète ; l'ensemble donne l'image d'une étoile à 6 branches (parfois 4 ou 5). Il n'y a pas de moelle,
  - ✚ Les faisceaux du phloème, dans lesquels le protophloème est lui aussi appuyé au péricycle, sont de petits massifs qui alternent avec les massifs de xylème. À la face interne des faisceaux de phloème, du côté du métaphloème, s'observe parfois un début de fonctionnement cambial dont quelques cloisonnements tangentiels sont le signe. L'ensemble de la stèle ainsi réalisée est une protostèle, plus précisément une actinostèle. Cette structure archaïque se retrouve dans la tige de *Psilotum* et de certains lycopodes. Dans les stades plus jeunes de la racine, la moelle existe toujours ; c'est le développement du métaxylème qui a fini par l'éliminer.
  - ✚ Le parenchyme banal est réduit à une assise cellulaire entre les massifs de phloème et ceux du xylème. Cette structure anatomique avec un endoderme à cadres et un nombre de faisceaux qui n'est jamais supérieur à 6 se retrouve chez presque toutes les Dicotylédones.

Les caractères propres aux Gymnospermes et Dicotylédones:

- Assise subéreuse selon le niveau.
- Endoderme en bande de Caspary.
- Péricycle pluristratifié chez les Gymnospermes et unistratifié chez les Dicotylédones.
- Le nombre de faisceaux de xylème ou de phloème est de 2 ou 3 chez les Gymnospermes et de 2 à 5 parfois jusqu'à 8 chez les Dicotylédones.



**Figure. 90** : Coupe transversale d'une racine d'une Dicotylédone



**Figure. 91** : Endoderme en bande de Caspary

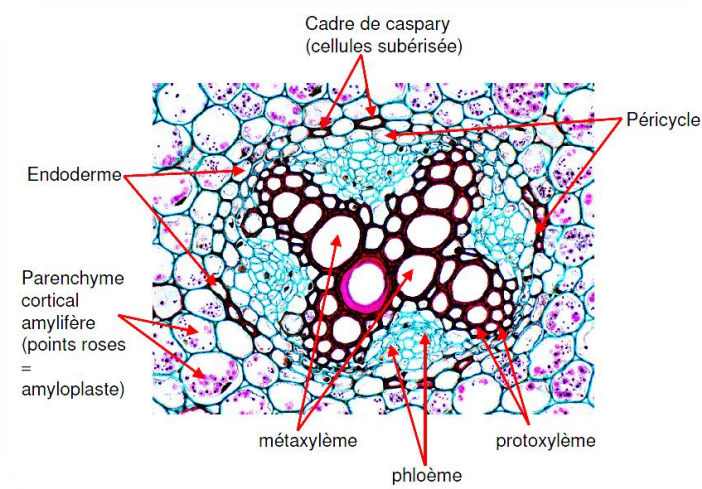


Figure. 92 : Coupe transversale de la racine de renoncule (Dicotylédone archaïque)

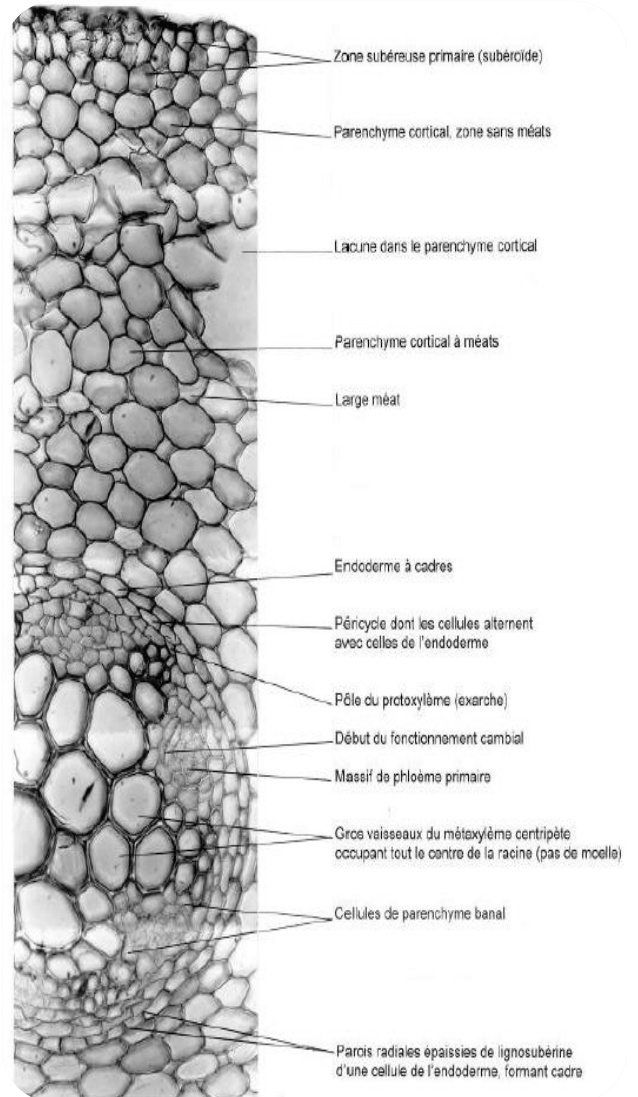


Figure. 94 : Coupe transversale de racine d'une Dicotylédone *Ficaria ranunculoïdes*

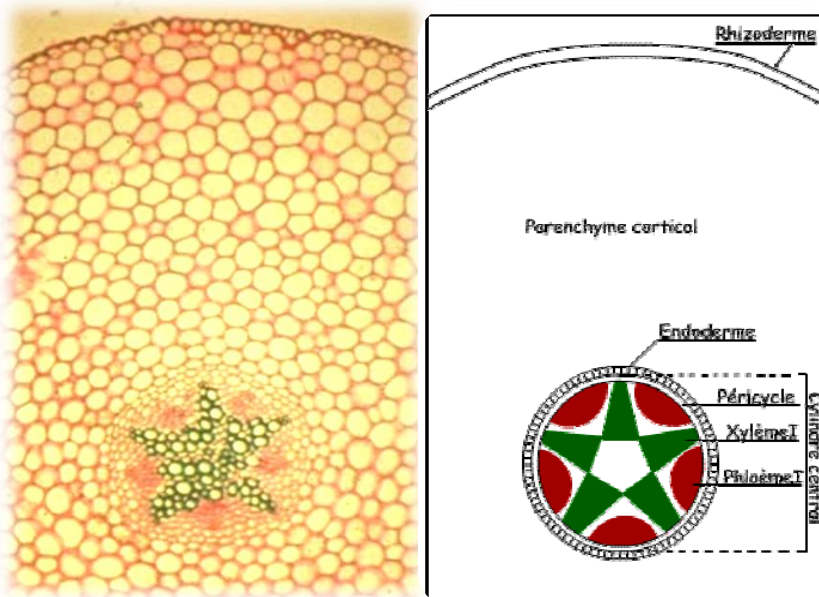
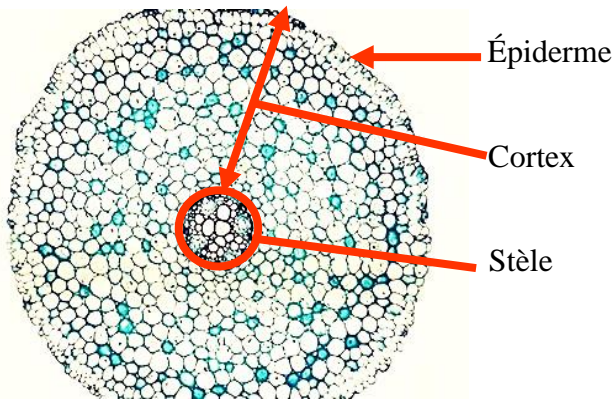
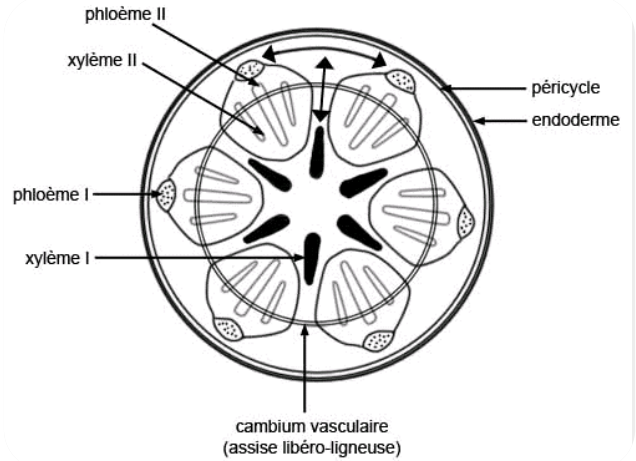


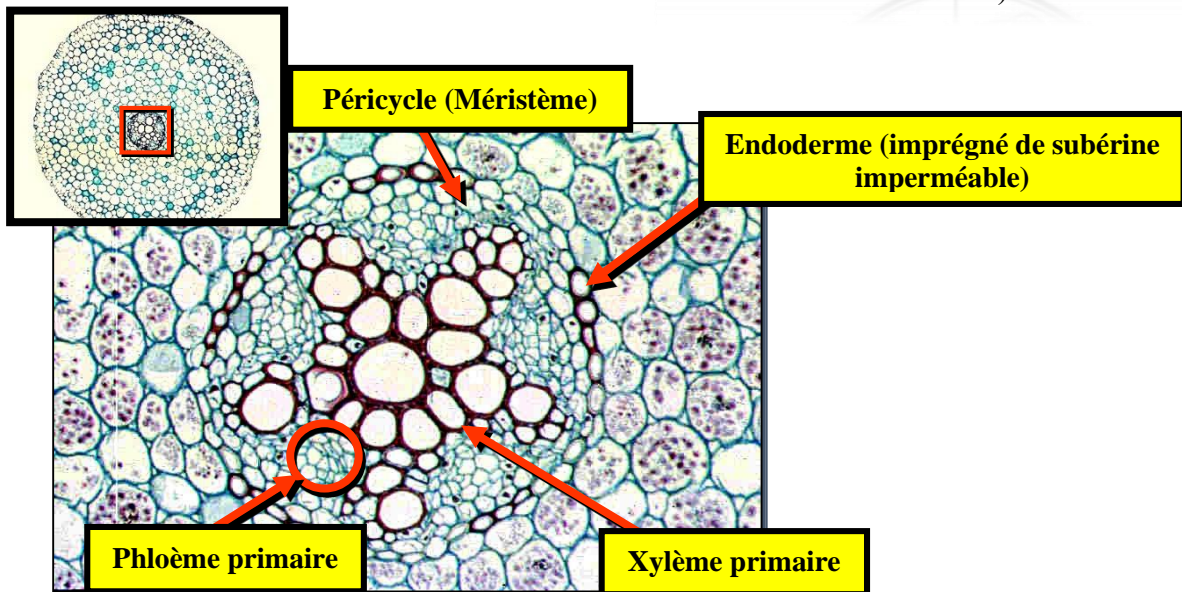
Figure. 93 : Structure d'une racine de Dicotylédones, l'Héllébore (Renonculaceae).



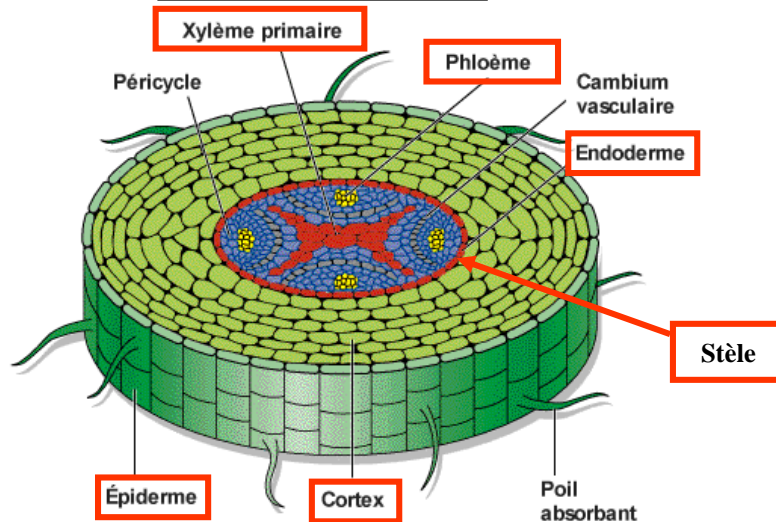
**Figure. 95 :** Coupe d'une racine primaire de dicotylédone. Structure cellulaire de la racine primaire (Primaire : c'est à dire de la première année de croissance)



**Figure. 96 :** Structures secondaires dans une coupe de racine (cylindre central)



**Figure. 97 :** Stèle



**Figure. 98 :** Coupe d'une racine primaire de Dicotylédone



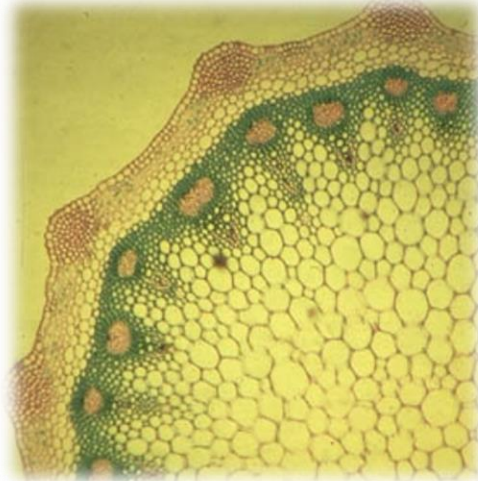
### 3-2- Structure anatomique primaire de la tige des Dicotylédones :

C'est un organe à symétrie axiale dont le centre est occupé par une grande lacune : la tige est creuse. Les tiges jeunes ont une structure primaire ressemblant à celles des Monocotylédones. Dans la coupe d'une tige âgée nous trouvons :

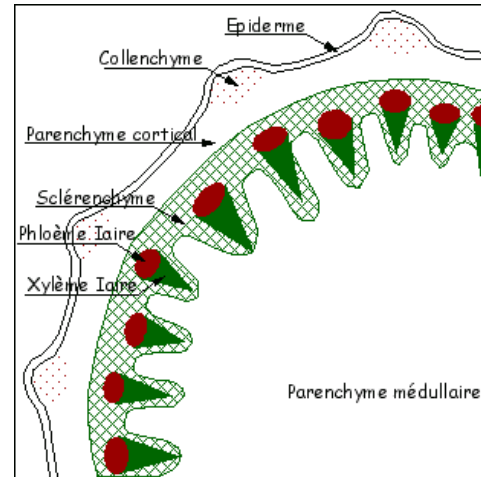
- ✚ L'épiderme est l'assise la plus externe. Il est toujours uniassisial à cellules jointives dont la face externe est recouverte d'une fine cuticule. Cet épiderme est pourvu de stomates (2) dont l'ostiole donne accès à une chambre sous-stomatique creusée dans le parenchyme cortical sous-jacent.
- ✚ L'écorce ou parenchyme cortical est relativement réduite, à l'extérieur des faisceaux vasculaires. Elle est constituée par un parenchyme à méats fait de cellules d'assez petit diamètre. Il n'y a pas d'endoderme différencié.
- ✚ Le cylindre central est situé sous l'écorce et réunit, dans un parenchyme médullaire fait de cellules dont le diamètre va en grandissant jusqu'au contact de la lacune centrale, des faisceaux libéro-ligneux répartis sur un même cycle, les uns de grande taille, les autres de petite taille. Il n'y a pas de péricycle différencié. Les plus gros faisceaux servent à la vascularisation de la tige ; les plus petits sont les " traces foliaires " destinées à quitter la tige pour assurer la vascularisation des feuilles.
- ✚ Les faisceaux sont tous constitués de la même manière : xylème primaire et phloème primaire sont superposés, on dit aussi qu'ils forment un faisceau cribrovasculaire collatéral. Le massif de phloème est, comme dans la racine, à développement centripète alors que le massif de xylème est à pôle endarche (situé du côté du centre de l'organe) et à développement centrifuge. Entre xylème et phloème des plus gros faisceaux s'observe un début de fonctionnement cambial qui donne peu de formations secondaires. Chaque faisceau cribrovasculaire est surmonté d'un petit massif de sclérenchyme, parfois qualifié de péricyclique en raison de sa position à la limite externe du cylindre central, et entouré presque complètement par une assise de cellules plus ou moins sclérifiées.

On peut résumer ainsi les caractéristiques anatomiques de la structure primaire de la tige de Dicotylédone :

- ❖ Organe à symétrie axiale,
- ❖ Présence d'un épiderme cutinisée à stomates,
- ❖ Écorce relativement réduite en comparaison du cylindre central,
- ❖ Moelle abondante ou lacune centrale,
- ❖ Phloème et xylème superposés,
- ❖ Xylème à pôles endarches et développement centrifuge.

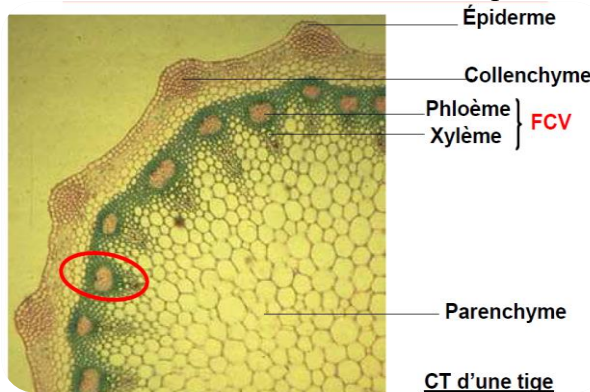


Coupe transversale



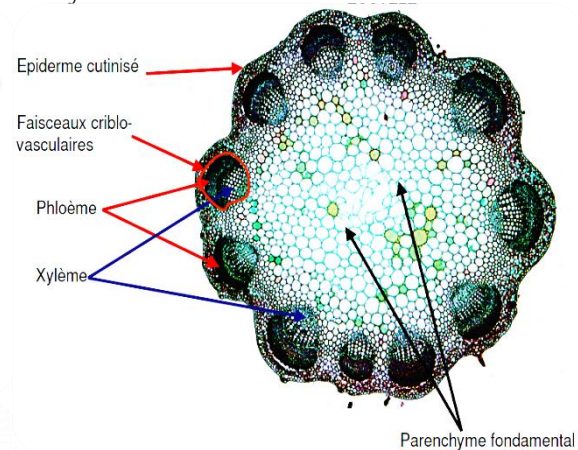
Interprétation de la coupe

**Figure. 99 :** Coupe transversale partielle d'une tige de Sanicula (Dicotylédone):  
Les faisceaux libéro-ligneux sont disposés sur un seul cercle ce qui est caractéristique des Dicotylédones.

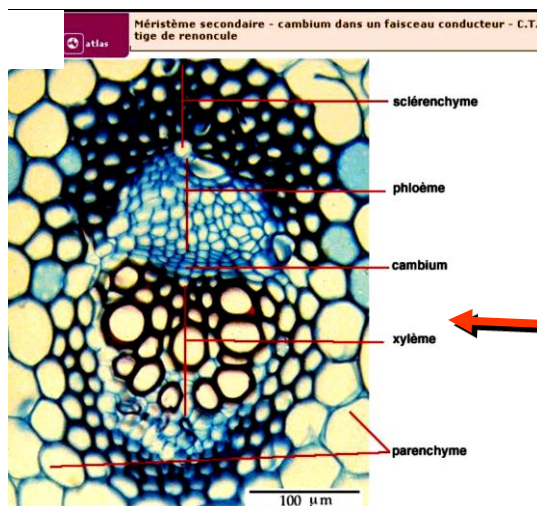


CT d'une tige

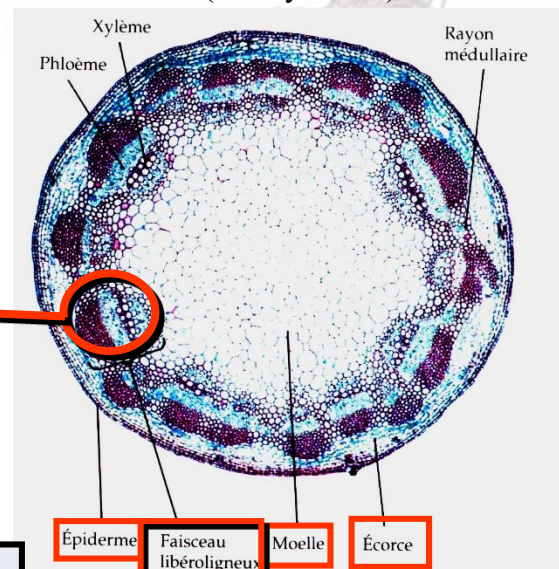
**Figure. 100 :** Structure primaire d'une tige de Dicotylédone



**Figure. 101 :** Coupe transversale de la tige de trèfle (Dicotylédone)



**Figure. 102 :** Coupe d'une tige primaire (première année de croissance) de dicotylédone



**Tige primaire** = tige qui se forme à partir du méristème du bourgeon terminal.

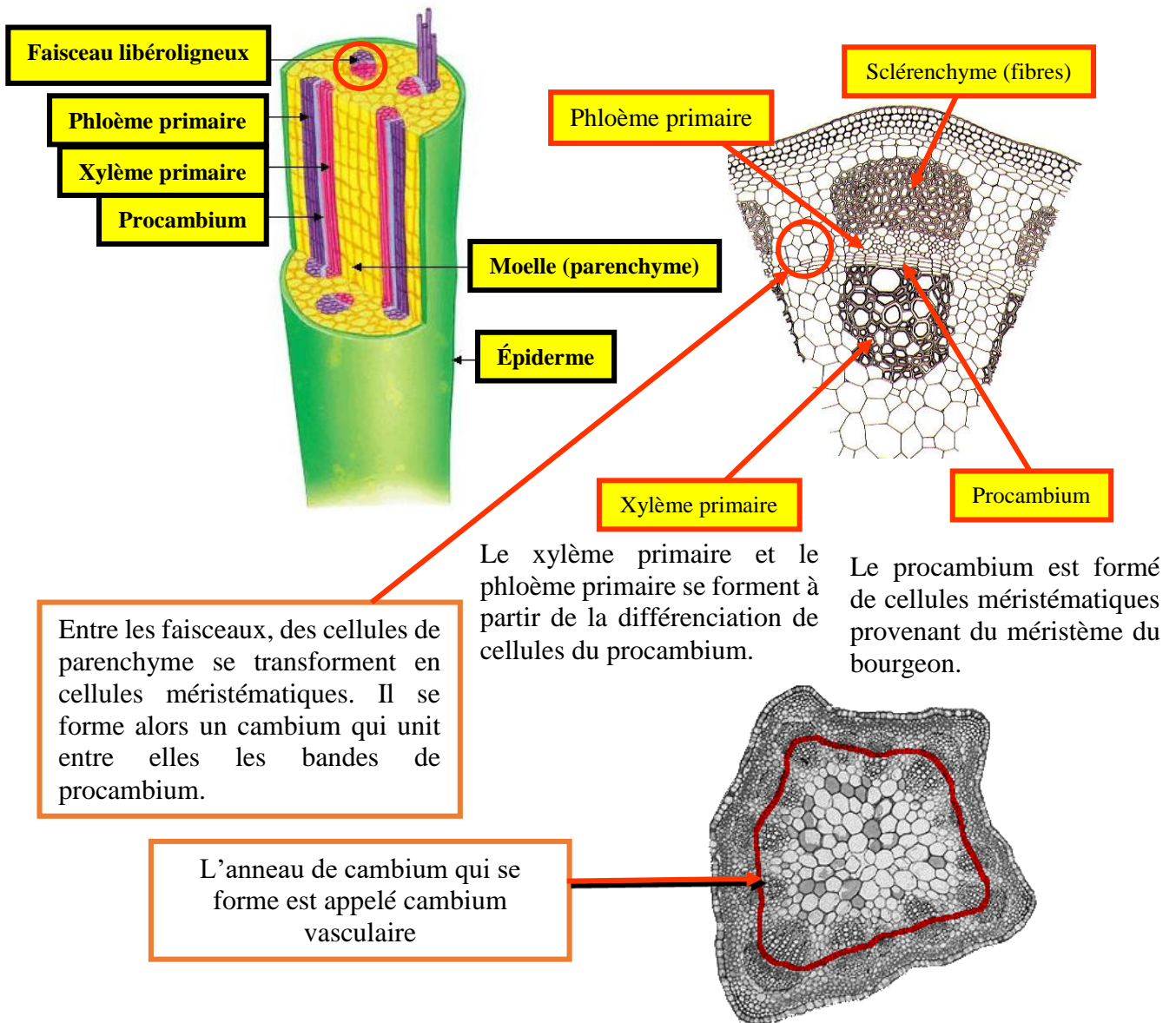


Figure. 103 : Faisceau libéroligneux

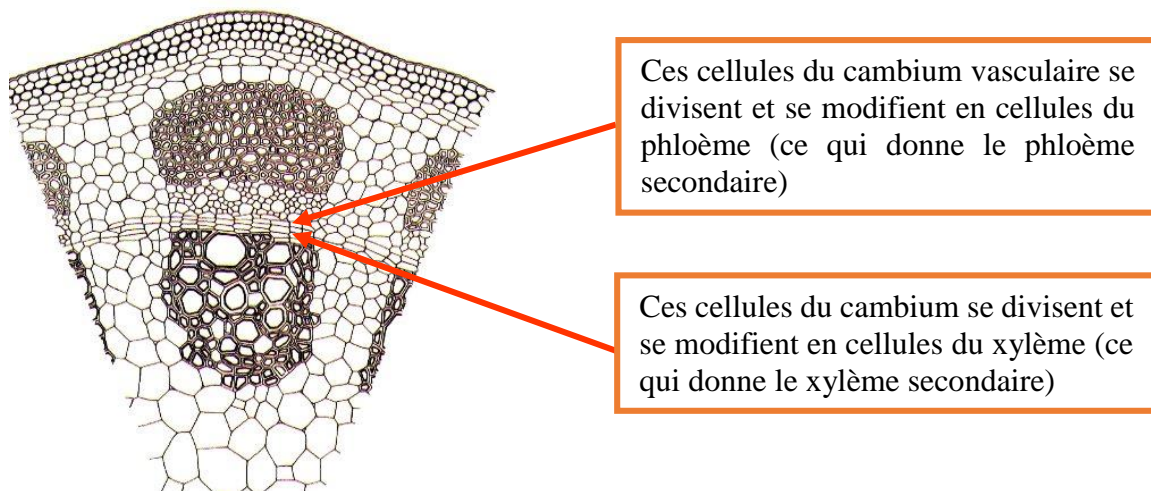
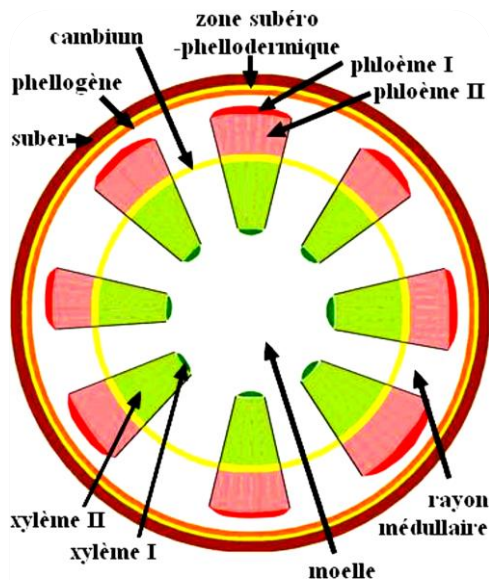


Figure. 104 : Croissance secondaire

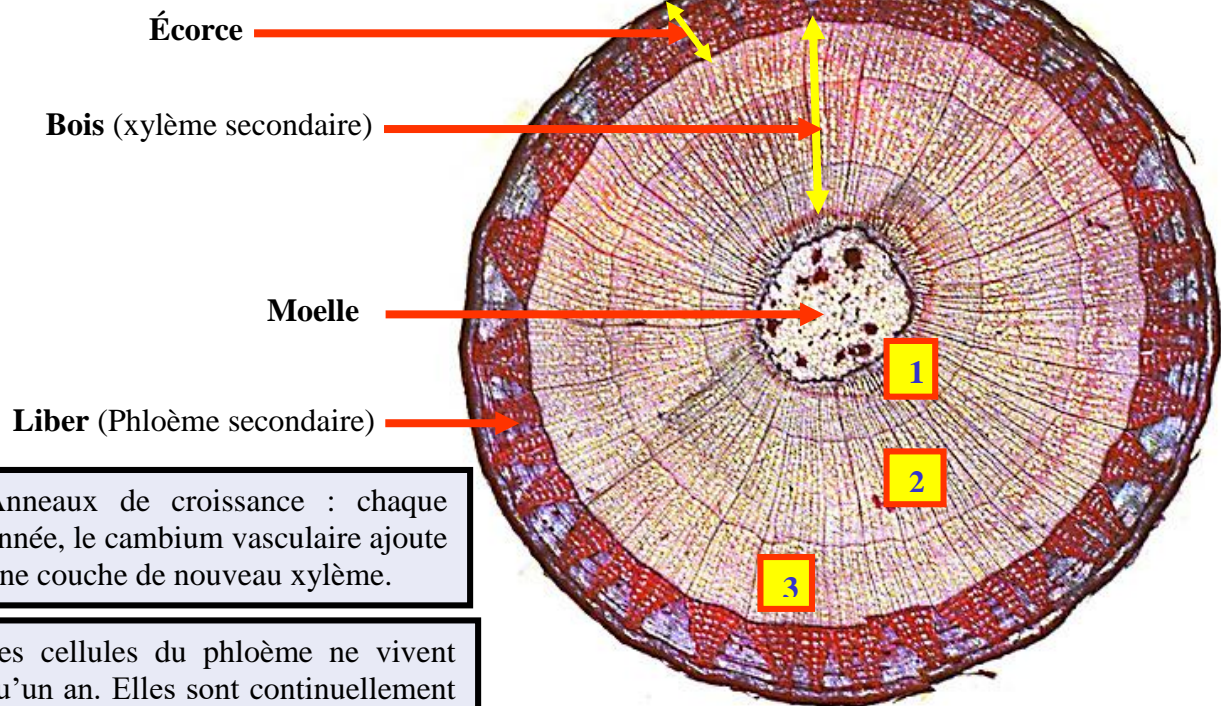
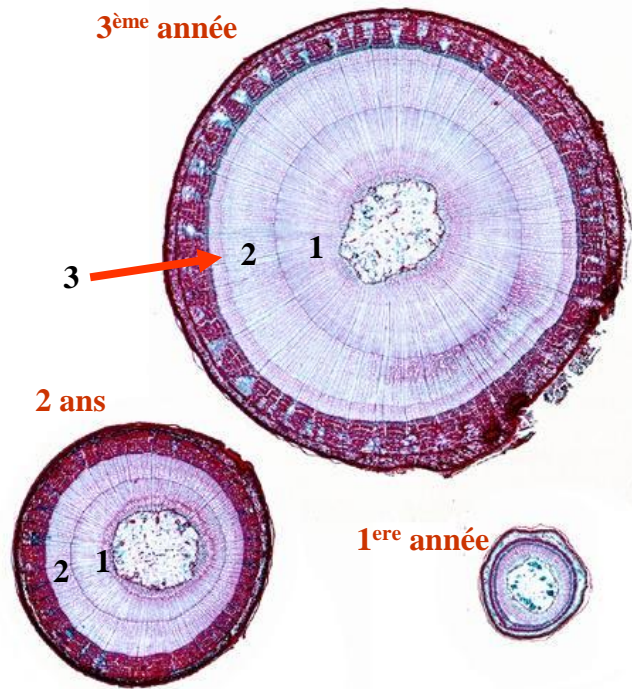


**Croissance secondaire :** Le passage de la structure primaire à la structure secondaire



**Figure. 105 :** Structures secondaires de la tige Dicotylédone

Chaque année, le cambium vasculaire produit une nouvelle couche de xylème secondaire qui s'ajoute au xylème des années précédentes.



Anneaux de croissance : chaque année, le cambium vasculaire ajoute une couche de nouveau xylème.

Les cellules du phloème ne vivent qu'un an. Elles sont continuellement remplacées par de nouvelles cellules.

**Figure. 106 :** Coupe d'une tige secondaire de dicotylédone

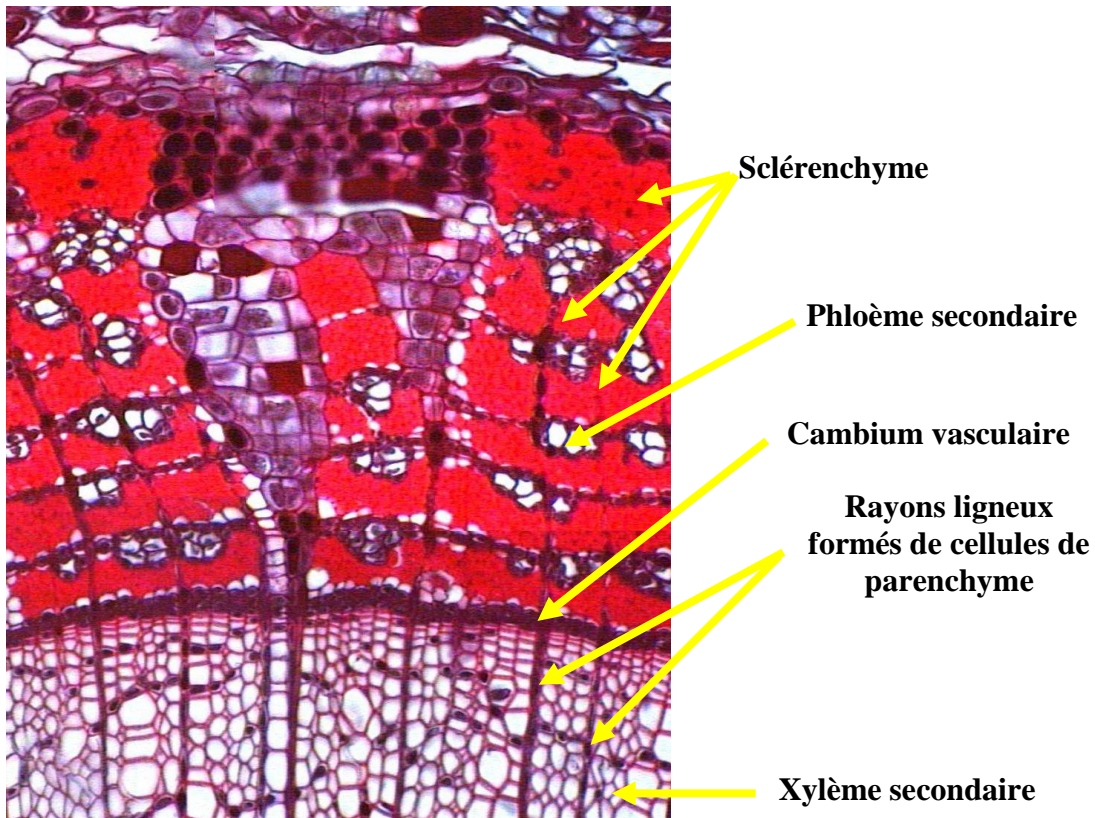
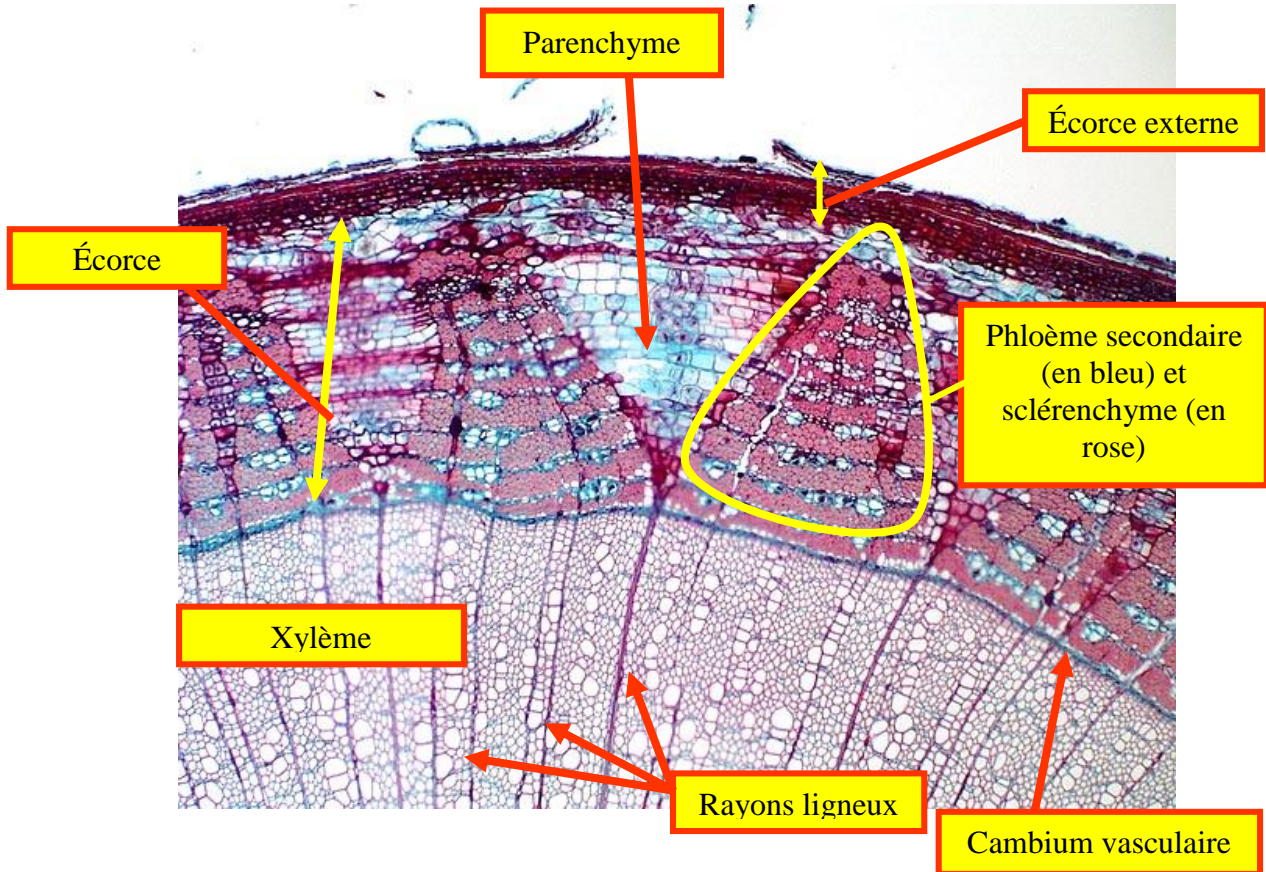


Figure. 107: Formation secondaires de la tige Dicotylédone

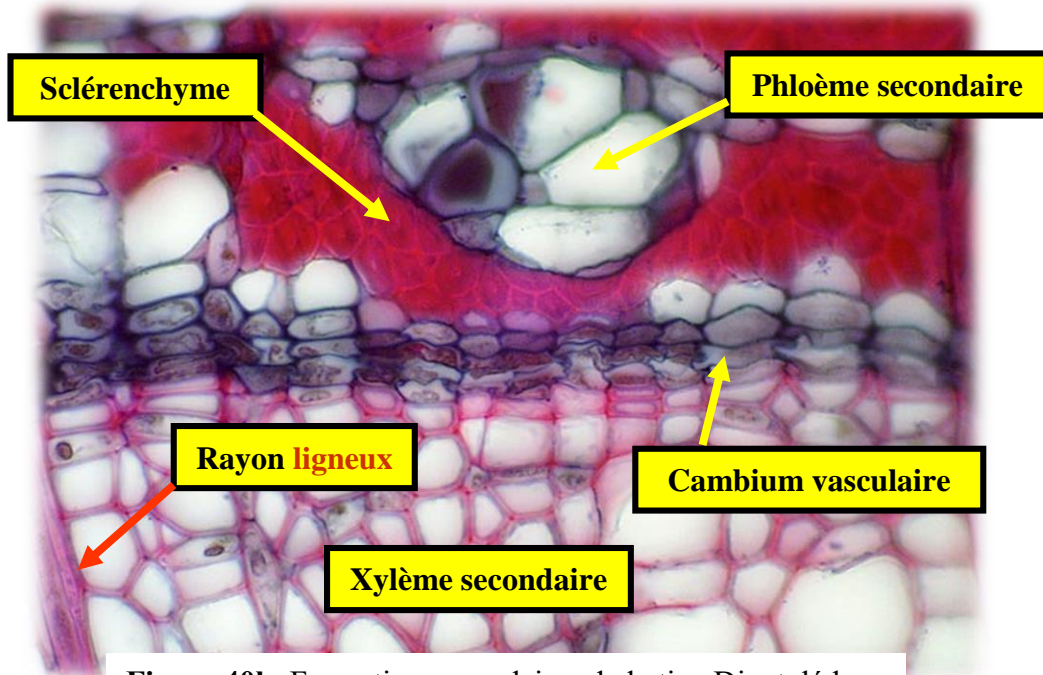


Figure 40b. Formation secondaires de la tige Dicotylédone

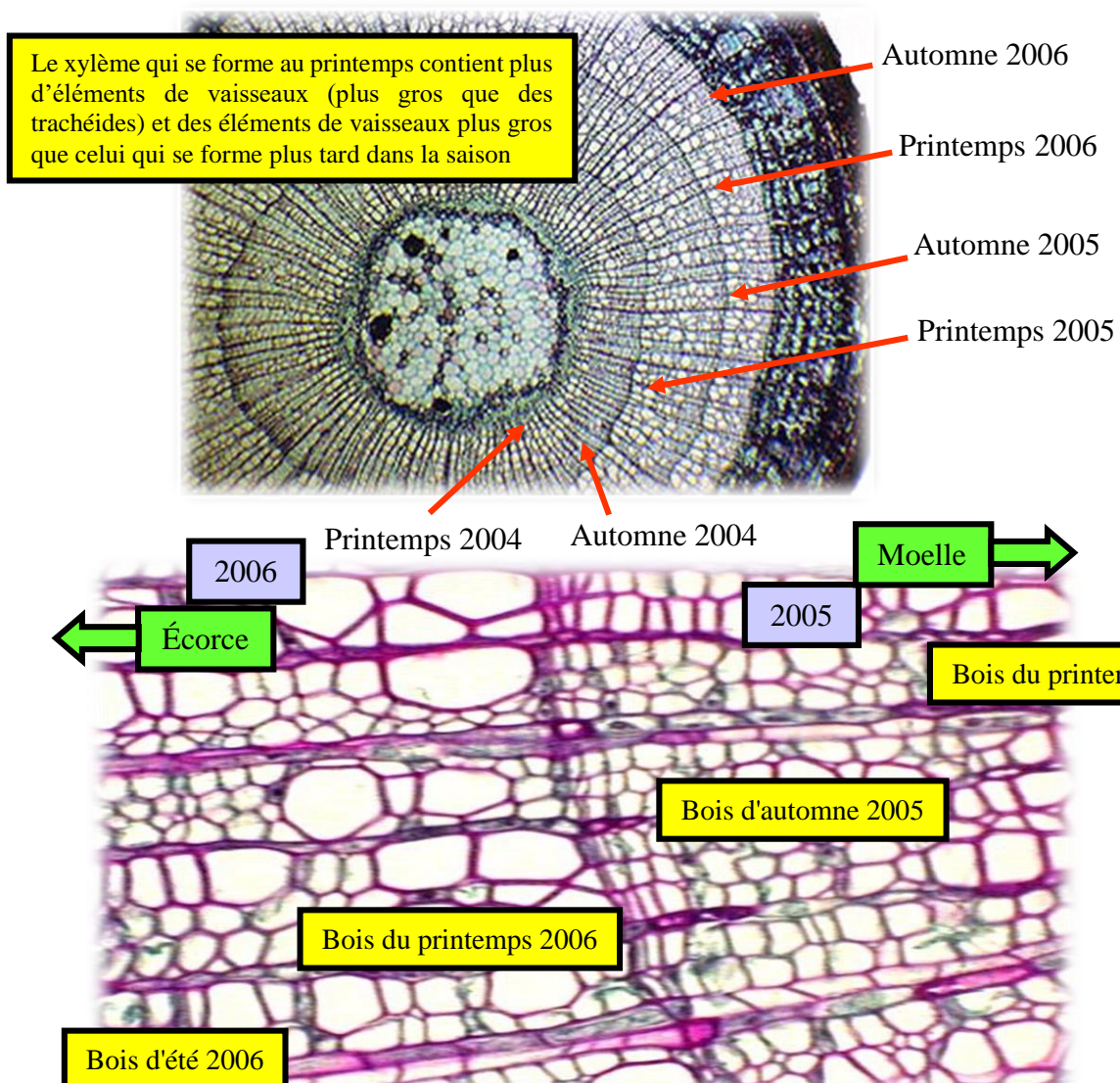


Figure. 108 : Formation des éléments de vaisseaux pendant les saisons de la tige Dicotylédone

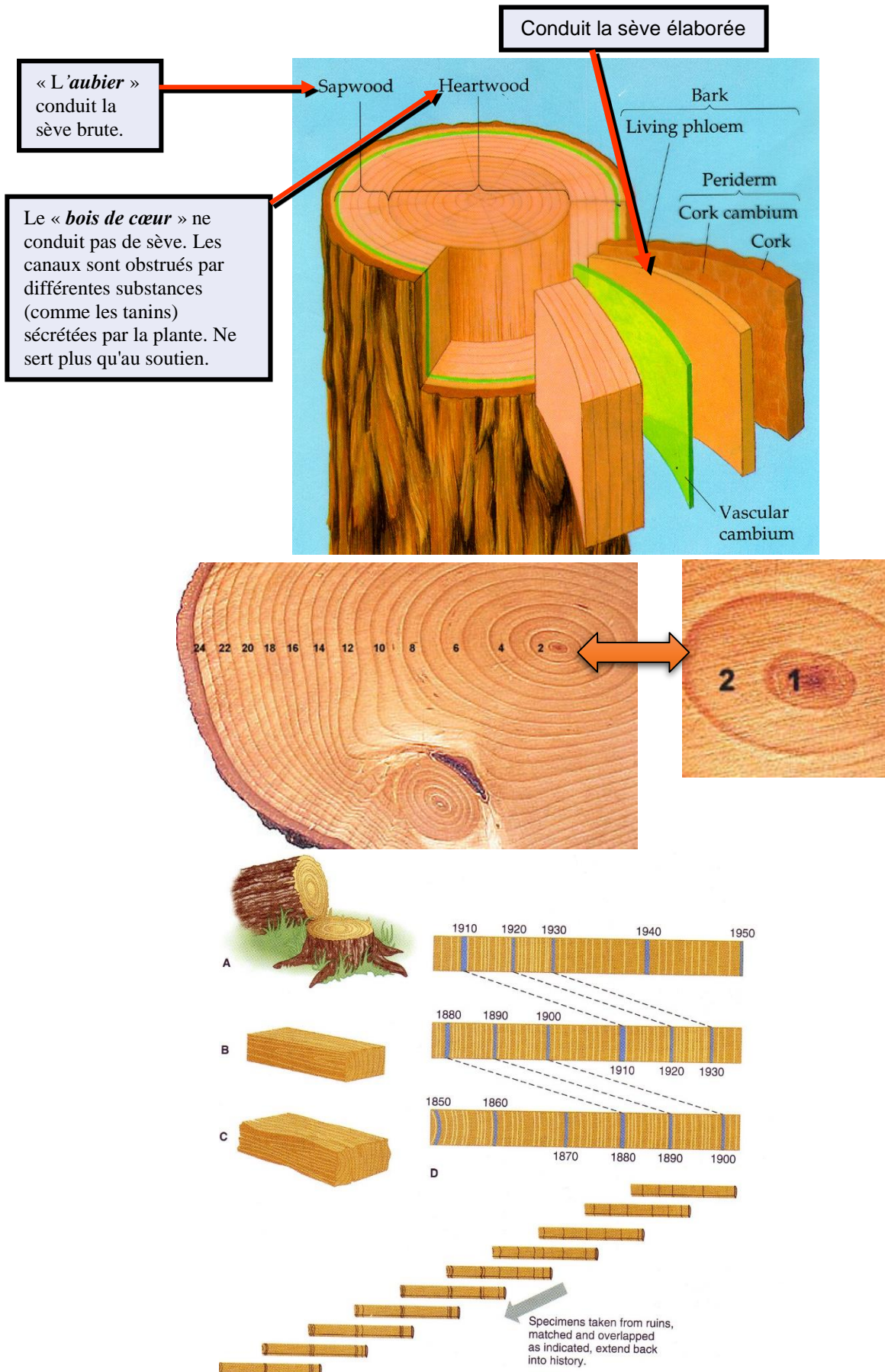


Figure. 109 : Méthode de datation de pièces de bois



La structure secondaire ne concerne que les dicotylédones, elle est assurée par le cambium et le phellogène :

- ✚ Le cambium formé entre le phloème primaire et le xylème primaire donne vers l'intérieur du xylème secondaire et vers l'extérieur du phloème secondaire.
- ✚ Dans l'écorce apparait le phellogène qui va donner le suber vers l'extérieur et le phelloderme vers l'intérieur.

Les caractères distinctifs de la structure primaire de la racine des Monocotylédones par rapport aux Dicotylédones :

- ✚ L'endoderme "en fer à cheval" est fréquent chez les Monocotylédones, celui "à cadres" chez les Dicotylédones,
- ✚ Le cylindre central connaît un développement plus important chez les Monocotylédones,
- ✚ Le nombre des faisceaux de xylème et de phloème, jamais supérieur à 6 chez les Dicotylédones, est élevé (de 10 à 20) chez les Monocotylédones,
- ✚ De gros éléments de métaxylème, indépendants des faisceaux existent chez les seules Monocotylédones,
- ✚ La moelle, toujours présente chez les Monocotylédones, tend à disparaître dans les racines âgées des Dicotylédones.

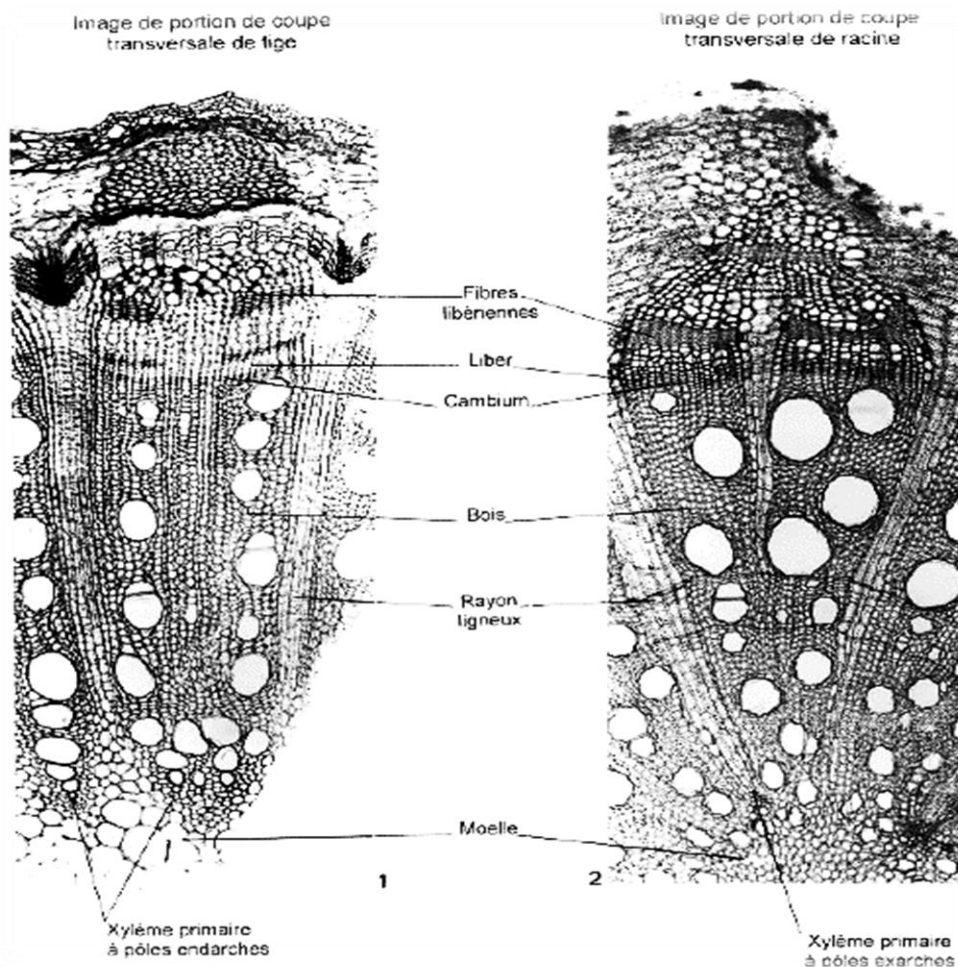


Figure110 : Comparaison de la structure d'une tige et d'une



### 3-3- Structure anatomique de la feuille des Dicotylédones :

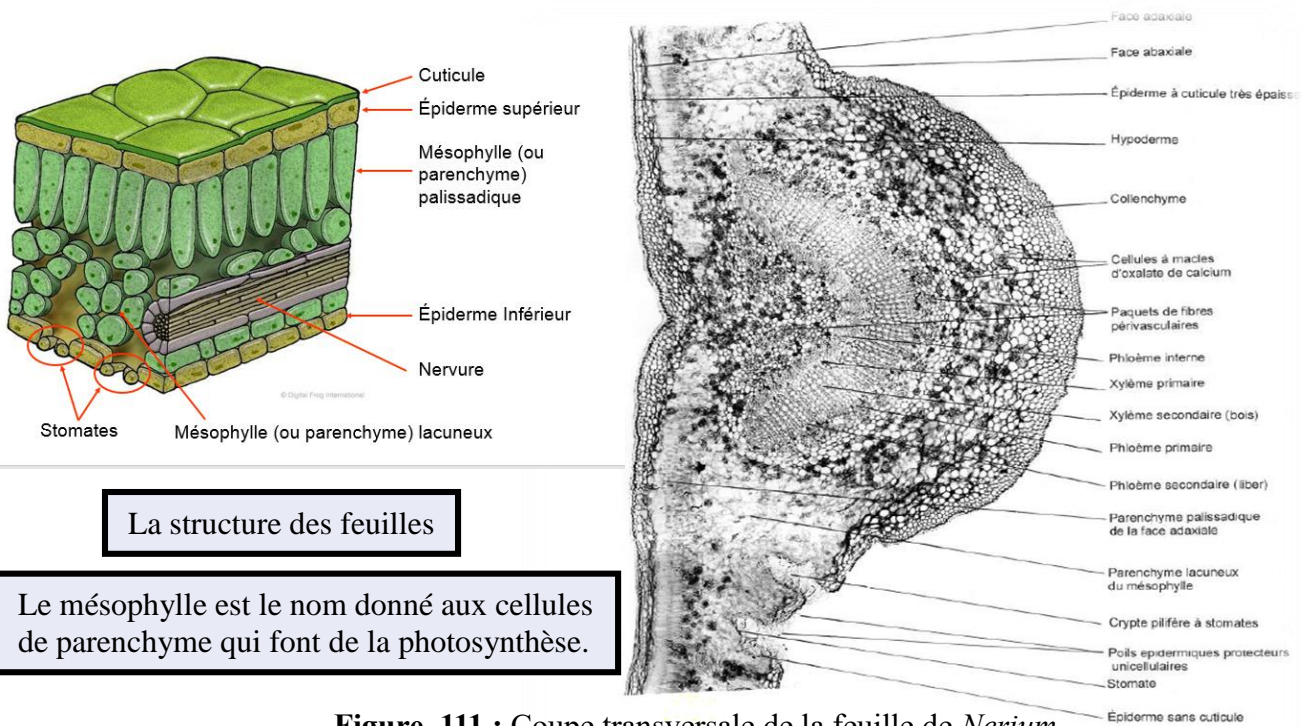
Le laurier rose (*Nerium oleander*) est une Apocynacée qui ne se rencontre que dans les régions méditerranéennes les plus chaudes. Il forme en Corse et en Afrique du nord des peuplements rivulaires dans le lit asséché des oueds. Les feuilles sont rendues coriaces par une épaisse cuticule présente sur les deux faces. L'épiderme de la face adaxiale est doublé d'un hypoderme.

Le mésophylle est à structure bifaciale avec un parenchyme palissadique adaxial formé de deux assises cellulaires et un parenchyme lacuneux abaxial. C'est du côté abaxial seulement qu'existent les stomates (type hypostomatique). Ceux-ci sont localisés au fond de profondes cryptes dont l'entrée est garnie de nombreux poils épidermiques de structure unicellulaire. Cette disposition permet de réduire l'évaporation de l'eau par les stomates. Dans ces cryptes pilifères, l'épiderme est dépourvu de cuticule. Partout dans le mésophylle, de nombreuses cellules renferment des macles étoilées de cristaux d'oxalate de calcium qui sont responsables de la toxicité de la plante.

La nervure principale fait saillie sur la face abaxiale. La lame vasculaire y est soutenue par un collenchyme sous-épidermique qui existe sur les deux faces ainsi que par des paquets de fibres sclérenchymateuses plus profondes, périvasculaires. Parmi les formations secondaires, le liber est peu développé au regard du bois.

Une des particularités du laurier rose est de comporter, comme beaucoup d'autres Gamopétales, du phloème primaire interne. Celui-ci se localise à la pointe des faisceaux de xylème primaire, réalisant avec ceux de phloème primaire externe (du côté abaxial) des faisceaux bicollatéraux comme ceux qui existent dans la tige de Mésophylle et mésophile

Le mésophylle est un nom formé de deux racines grecques (mesos = médian et phullon = feuille) qui désigne la partie moyenne de la feuille.



La structure des feuilles

Le mésophylle est le nom donné aux cellules de parenchyme qui font de la photosynthèse.

Figure. 111 : Coupe transversale de la feuille de *Nerium* (Laurie rose), au niveau de la nervure médiane



Les feuilles de Dicotylédones ont généralement une nervure centrale saillante et des nervures secondaires plus petites. Le limbe est généralement étalé. Nous distinguerons deux parties dans la coupe :

### 3-3-1- La nervure médiane :

Ainsi que nous l'avons dit à propos de la feuille des Monocotylédones, la position du phloème nous permet de distinguer une face supérieure et une face inférieure. Nous trouvons donc, en commençant par la face supérieure :

- a- Un épiderme cutinisé.
- b- Une couche de collenchyme plus ou moins épaisse.
- c- Une couche de parenchyme.

Les éléments de la partie centrale ne sont plus disposés en cercles concentrique. Ils sont symétriques par rapport au plan, perpendiculaire au limbe de la feuille, qui partage la nervure centrale en deux parties égale.

On y voit en effet :

- d- Un arc de sclérenchyme.
- e- De petits faisceaux de xylème primaire dont les plus petites cellules sont dirigées vers la face supérieure.
- f- Un arc de xylème secondaire (**Bois**).
- g- Un arc de phloème secondaire (**Liber**) dont l'assise supérieure correspond au cambium.
- h- Correspondant aux faisceaux de xylème primaire, de petits faisceaux de phloème primaire difficilement décelables.
- i- Un arc de sclérenchyme ;
- j- Une couche de parenchyme dont la partie la plus inférieure est collenchymeteuse.
- k- Enfin, L'épiderme inférieur qui est, lui aussi, plus ou moins cutinisé.

### 3-3-2- Le limbe :

La coupe présente :

- a- A la face supérieure, un épiderme généralement cutinisé.
- b- Une assise ou deux de collenchyme.
- c- Au-dessous, une couche de parenchyme chlorophyllien palissadique.
- d- Ensuite, une couche de parenchyme lacuneux.
- e- Après une assise de collenchyme, l'épiderme inférieur qui est, lui aussi, cutinisé, mais montre de loin en loin des stomates.

C'est dans le parenchyme lacuneux que se trouvent les nervures secondaires, chacune est formée d'un faisceaux liberoligneux coiffé vers le bas d'une calotte de sclérenchyme.



On ne retrouve des chloroplastes que dans les parenchymes palissadique et lacuneux et dans les cellules de garde des stomates (les cellules de gardes sont les deux cellules bordant chacune des ouvertures)

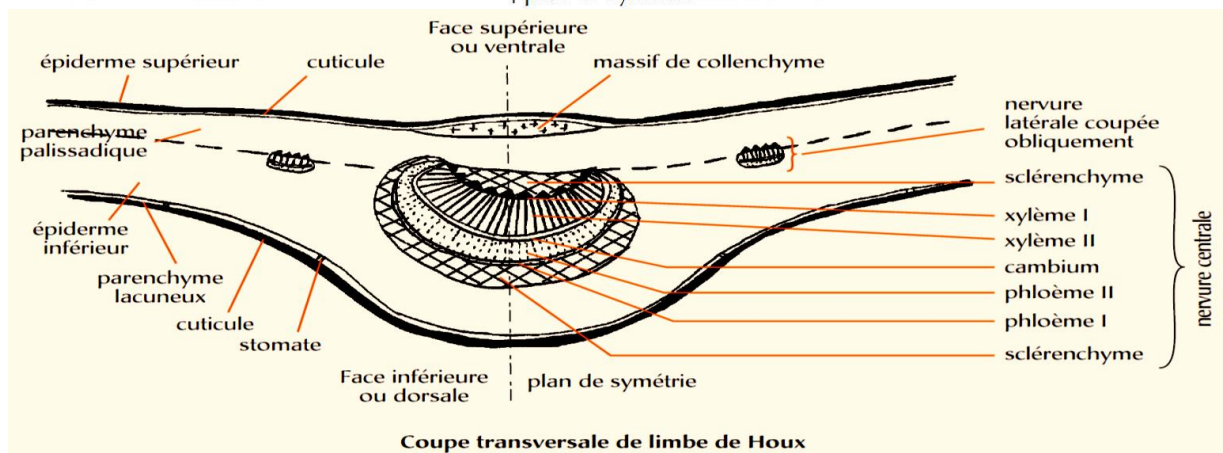
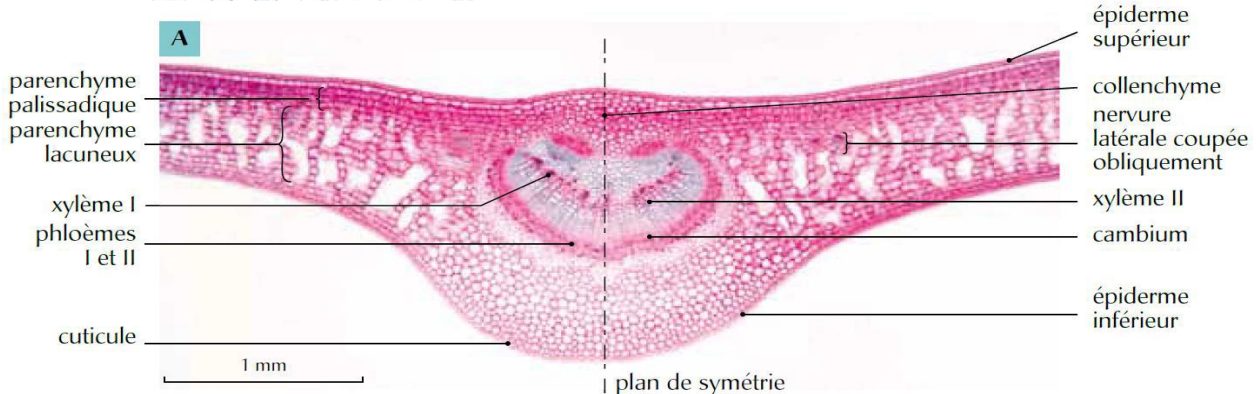
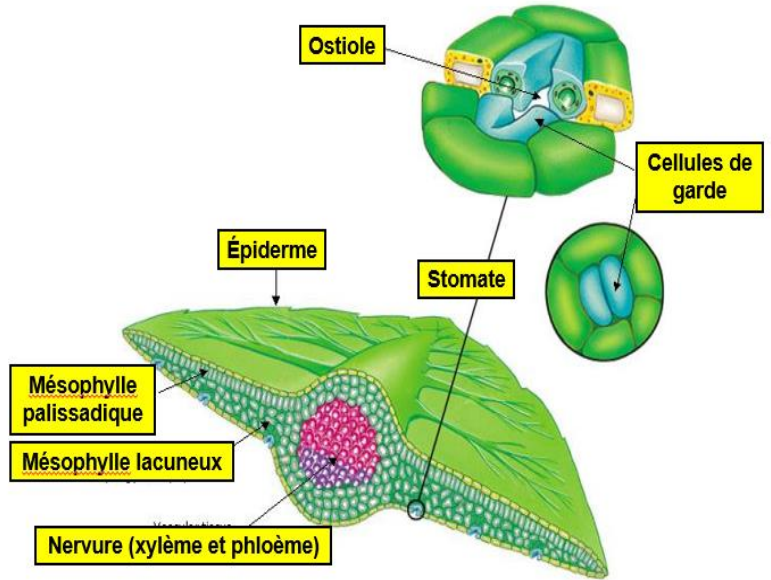
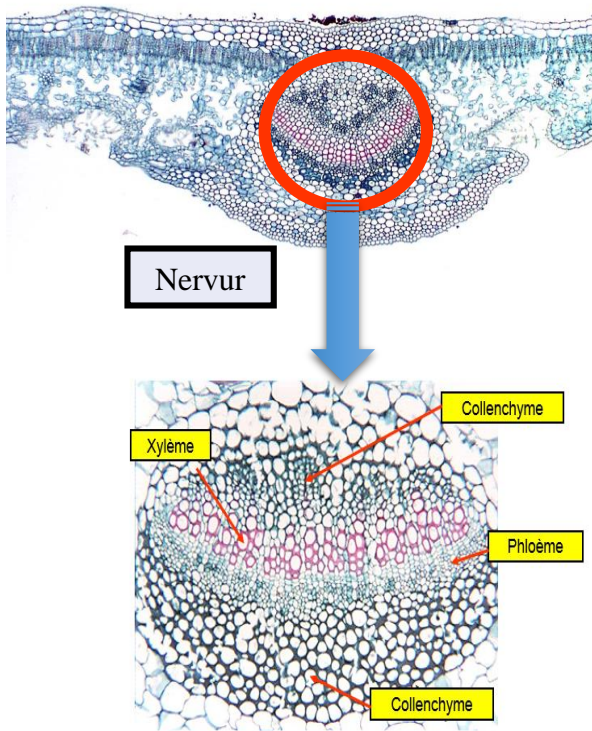
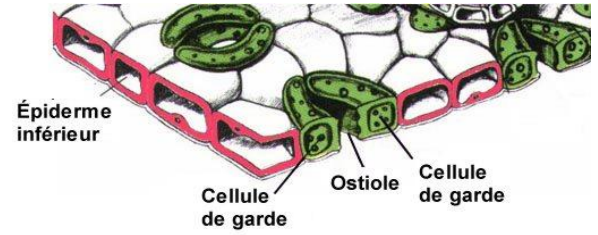


Figure. 112 : Coupe transversale de limbe de feuille *Dicotylédone*

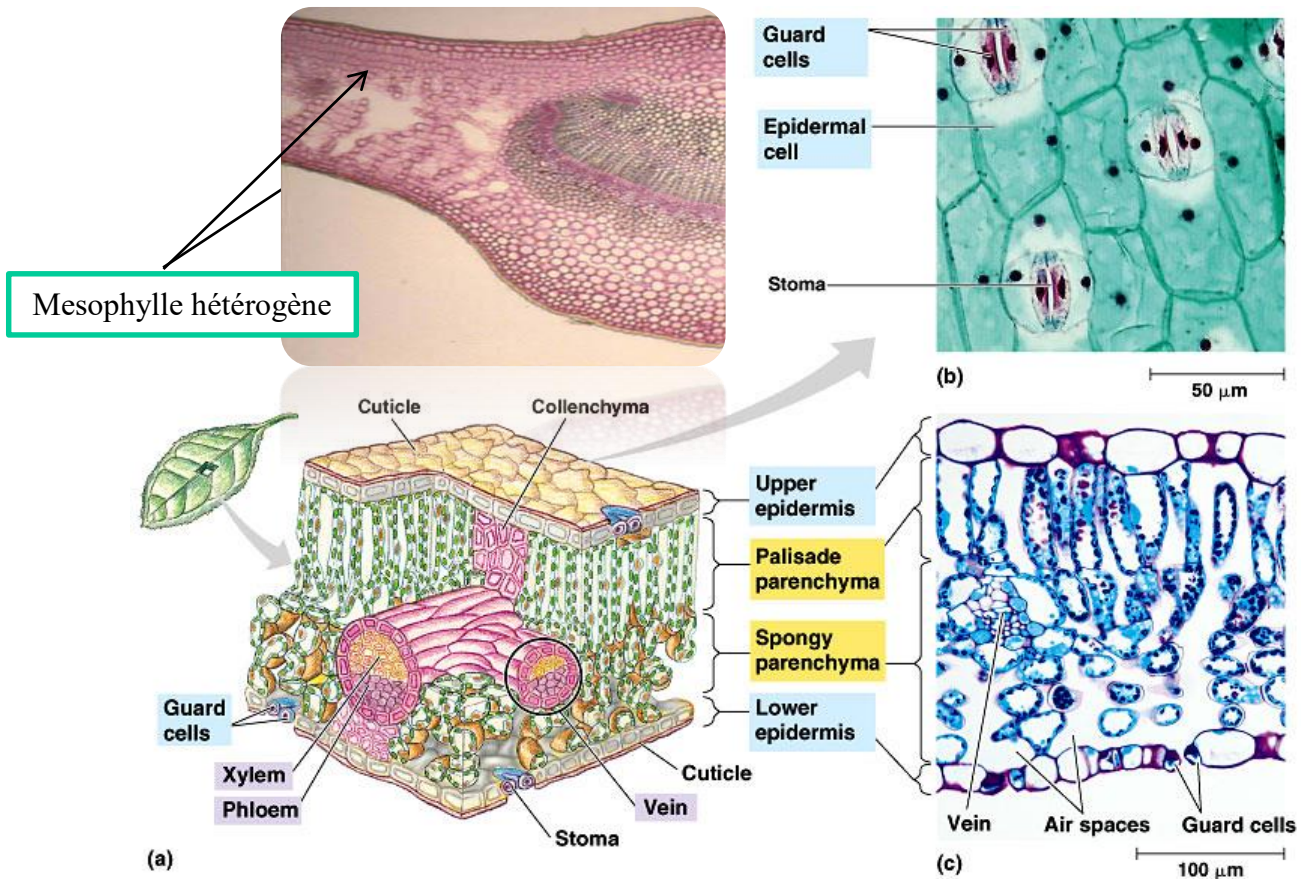


Figure. 113 : Coupe transversale de limbe de feuille *Dicotylédone*

Tableau. 7 : Comparatif entre racine, tige, feuille

Caractères	Racine	Tige	Feuille
<b>Symétrie</b>	Axial	Axial	Bilatéral
<b>Rapport : Ecorce/Cylindre central</b>	- Ecorce développé. - Cylindre central réduit. $E > CC$	- Ecorce réduit. - Cylindre central développé. $CC > E$	-
<b>Tissus de revêtement</b>	- Assise pilifère. - Assise subéreuse ou subéroïde.	Epiderme	Epiderme
<b>Tissus de soutien</b>	Rares	Fréquents	Fréquents
<b>Délimitation : Ecorce/Cylindre central</b>	Nette grâce à : L'endoderme toujours présent.	-	-
<b>Tissus particuliers</b>	Péricycle	-	Mésophylles
<b>Tissus conducteurs</b>	Xylème primaire et phloème primaire sont alternés. Le xylème primaire à différenciation centripète.	Xylème primaire et phloème primaire sont superposés. Le xylème primaire à différenciation centrifuge.	Xylème primaire et phloème primaire sont superposés. Le xylème primaire orienté vers la face supérieure



### Comparaison anatomique des racines entre les monocotylédones et dicotylédone :

La comparaison anatomique des deux racines des plantes : une dicotylédone et une monocotylédone montre, en coupe transversale :

Une racine qui est composée d'une région externe (écorce) et une région centrale (stèle), cette dernière est bien développée chez les monocotylédones que chez les dicotylédones et caractérisée par une moelle abondante remplie par le parenchyme médullaire. Le cylindre central limité par une assise de cellules, le péricycle, il contient les tissus conducteurs ; le xylème et le phloème disposés en alternance. Chez les dicotylédones, il existe de deux à cinq faisceaux. La structure est semblablement la même chez les monocotylédones mais les faisceaux sont plus nombreux, plus de 6 et souvent 12 à 20.

Chez les monocotylédones l'endoderme est caractérisé par un épaississement en fer à cheval (endoderme en U). Les parois latérales et profondes sont lignifiées et subérifiées à la fois, seule la paroi externe située du côté du parenchyme cortical reste cellulosique. Chez les dicotylédones il s'agit d'un endoderme à cadre. Les parois latérales de chaque cellule présentent un épaississement de lignine et de subérine correspondant aux sections d'un cadre ligno-subéréfié.

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

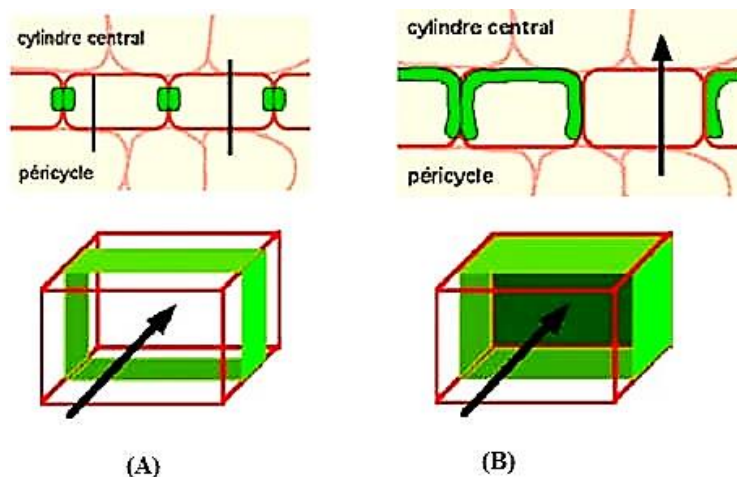


Figure. 114 : Endoderme d'une racine dicotylédone (A) et monocotylédone (B)

Tableau. 8 : Comparatif entre Racine Monocotylédone et Dicotylédone

Caractères	Racine (Monocotylédone)	Racine (Dicotylédone)
Tissus protecteurs	Subéroïde	Assise subéreuse
Endoderme	En U (fer à cheval)	À cadre
Péricycle	Réduit	Plus important
Nombre de F.L. L	Nombre important (12 à 20)	Réduit important ((2 à 6)
Moelle	Abondante	Absente (ou bien remplacée par xylème)
Formation secondaires	Absente	- Suber remplace assise subéreuse. - Xylème secondaire (Bois), phloème secondaire (Liber) heteroxylé

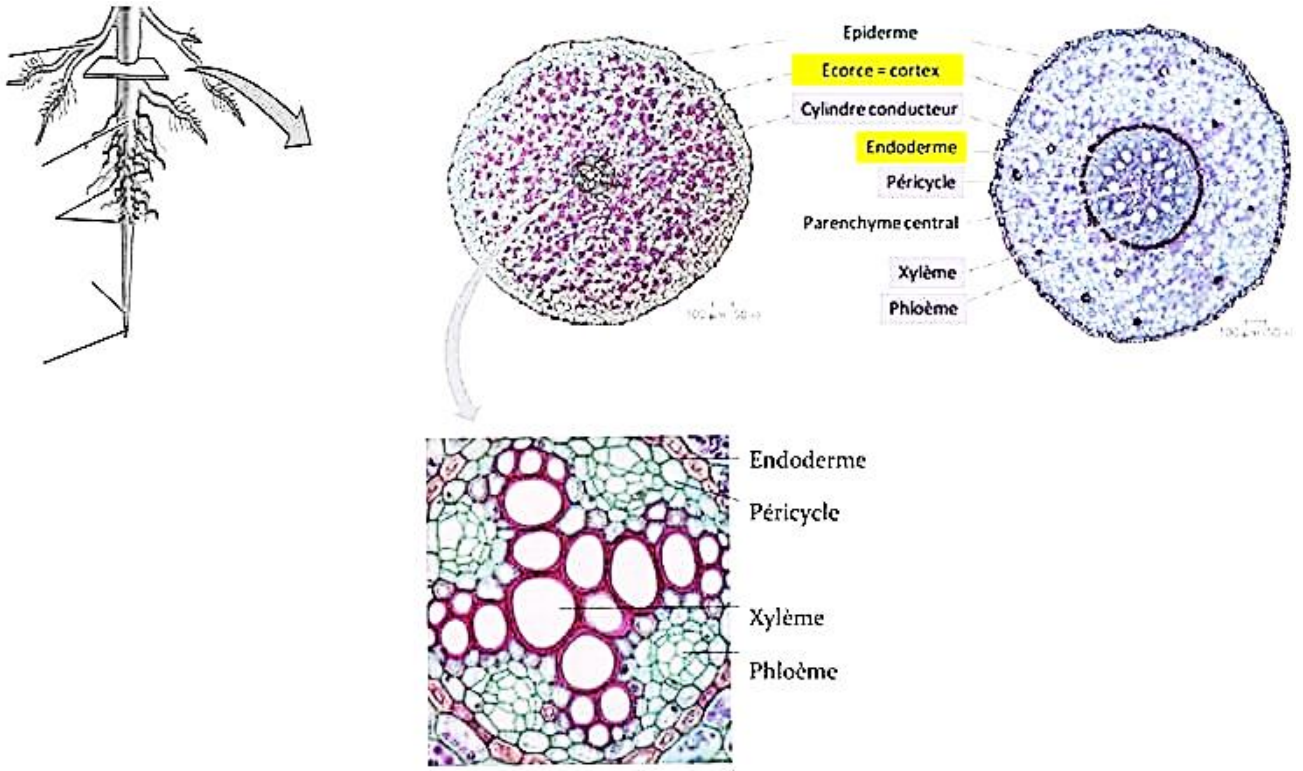


Figure. 115 : Différences entre une racine monocotylédone et dicotylédone

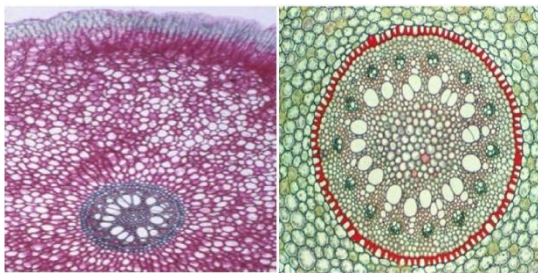


Figure. 116 : Coupe transversale d'une racine monocotylédone

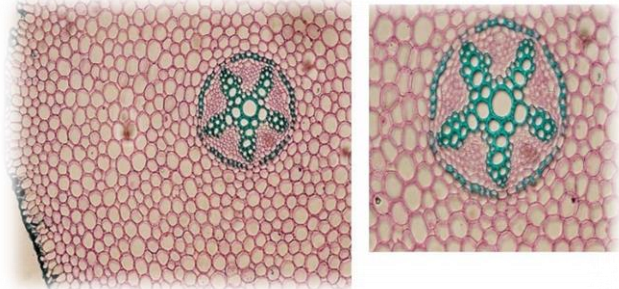


Figure. 117 : Coupe transversale d'une racine dicotylédone

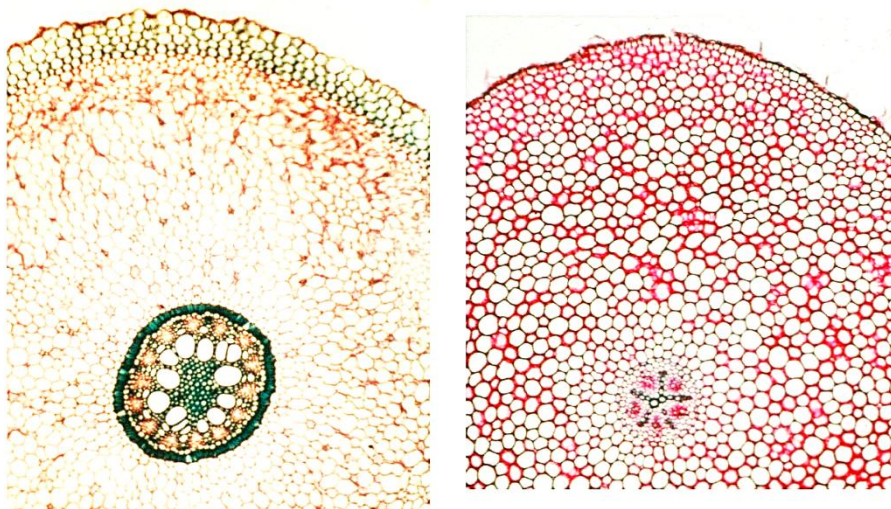


Figure. 118 : Observation microscopique d'une racine monocotylédone et dicotylédone



## Structure anatomique secondaire

A la structure précédente formée de tissus d'origine primaire s'ajoutent les tissus d'origine secondaire, provenant du fonctionnement des méristèmes secondaires (cambium et phellogène). Cette structure caractérise les organes âgés des Angiospermes Dicotylédones. Les faisceaux de xylème et de phloème étant alternes, le cambium apparaît sous forme d'arcs à la face interne du phloème, par dédifférenciation (retour des cellules ou des tissus à un état moins différencié, plus proche de l'état embryonnaire) du parenchyme médullaire, et à la face externe du xylème par dédifférenciation du péricycle. Ils se raccordent pour former un cambium sinueux qui produit du bois (xylème secondaire) vers l'intérieur et du liber (phloème secondaire) vers l'extérieur.

La formation importante des tissus conducteurs secondaires entraîne une pression sur le cambium sinueux qui devient circulaire. Cambium, bois et liber constituent le pachyte. L'installation du phellogène (*assise subéro-phéllodermique*) est plus tardive par rapport au cambium. Il est situé vers la périphérie de la racine, crée quant à lui une couche externe de suber (liège) ainsi qu'une couche interne de phelloderme, toutes les deux assurent la protection de la racine.

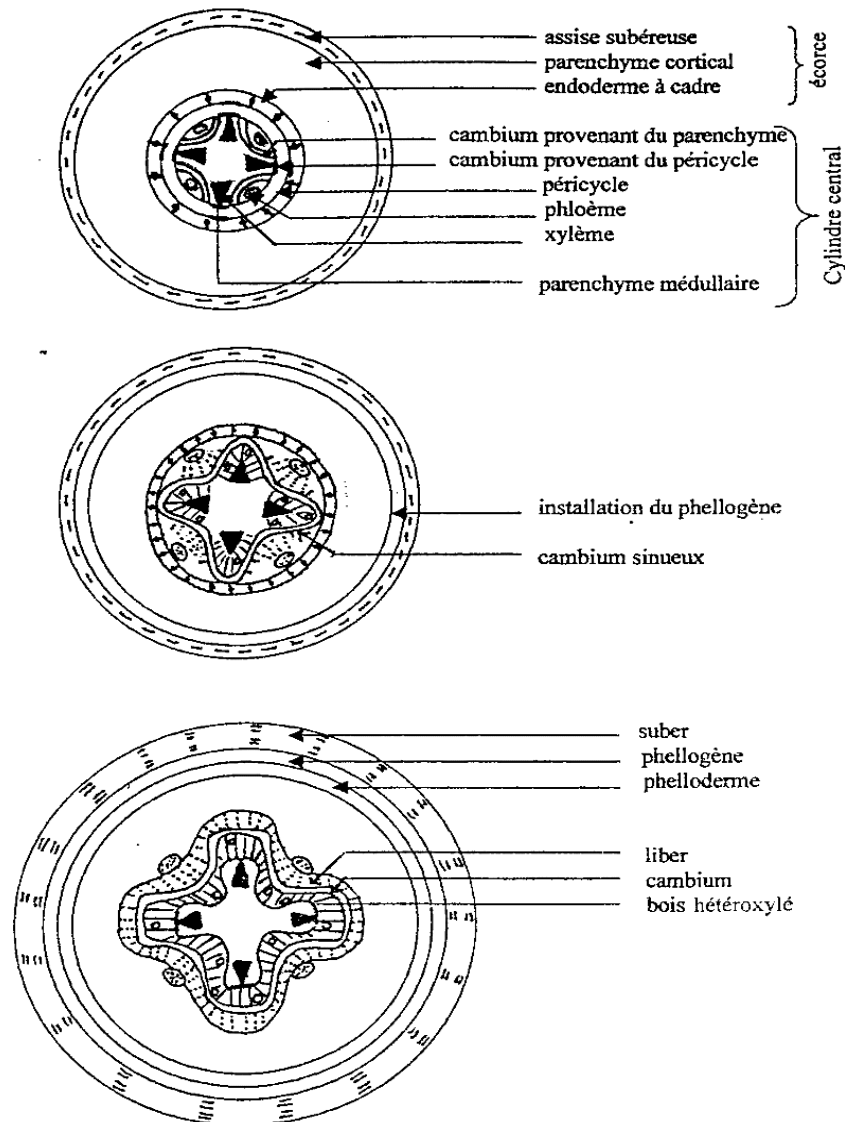


Figure. 119 : Structure anatomique secondaire d'une racine dicotylédone

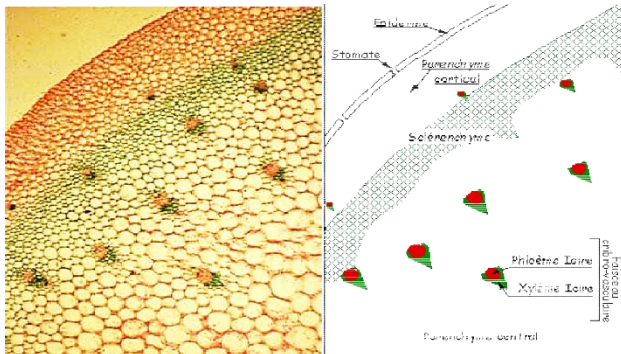


### Différence anatomique entre les monocotylédones et dicotylédones :

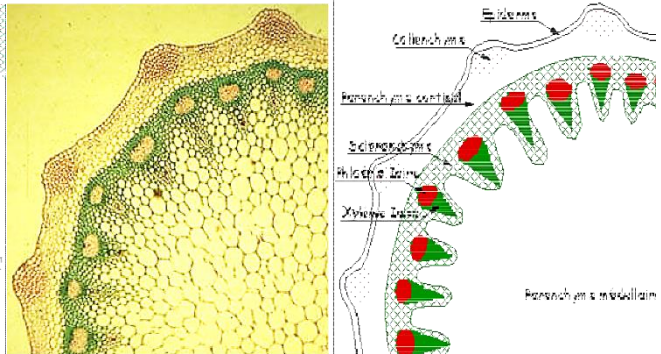
Dans la tige des monocotylédones, les nombreux faisceaux libéro-ligneux (superposés, xylème à différenciation centrifuge) sont dispersés en spirales ou en plusieurs cercles concentriques dans le parenchyme médullaire tandis que dans la tige des dicotylédones, les faisceaux libéro-ligneux sont disposés en un cercle unique. Le cortex occupe peu de place par rapport à la moelle. Absence de formations secondaires chez les monocotylédones (pas d'assises génératrices)

**Tableau. 9** Comparatif entre Tige Monocotylédone et Dicotylédone

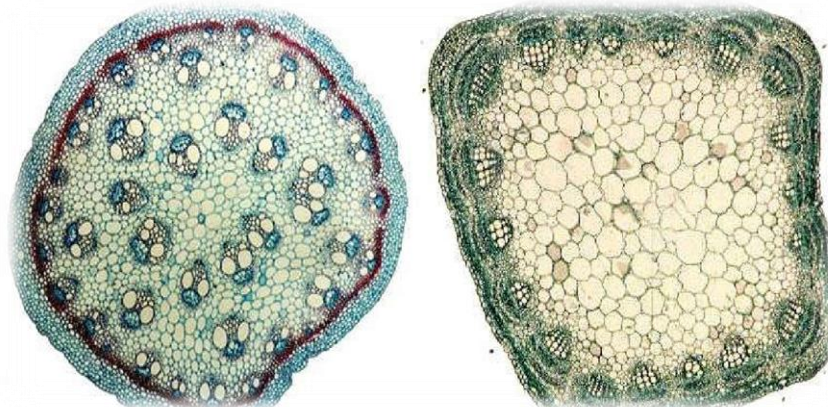
Caractères	Tige (Monocotylédone)	Tige (Dicotylédone)
<b>Faisceaux Libéro-Ligneux</b>	Nombreux et disposés sur plusieurs cercles concentriques de faisceaux cribrovasculaires.	Peu nombreux et (généralement) faisceaux disposés sur un seul ou deux cercles concentriques).
<b>Xylème primaire</b>	En forme de V avec le phloème primaire logé dans le creux.	En triangle avec le phloème primaire sur la base du triangle.
<b>Formation secondaires</b>	Absente	- Suber remplace l'épiderme. - Xylème secondaire (Bois) ; phloème secondaire (Liber) hétéroxylé
<b>Moelle</b>	Ecorce absente ou réduite, moelle développée	Parenchyme médullaire plus abondant que le parenchyme cortical



**Figure. 120 :** Coupe transversale d'une tige monocotylédone et schéma de la coupe transversale



**Figure. 121 :** Coupe transversale d'une tige dicotylédone et schéma de la coupe transversale



**Figure122 :** Coupe transversale d'une tige dicotylédone et monocotylédone

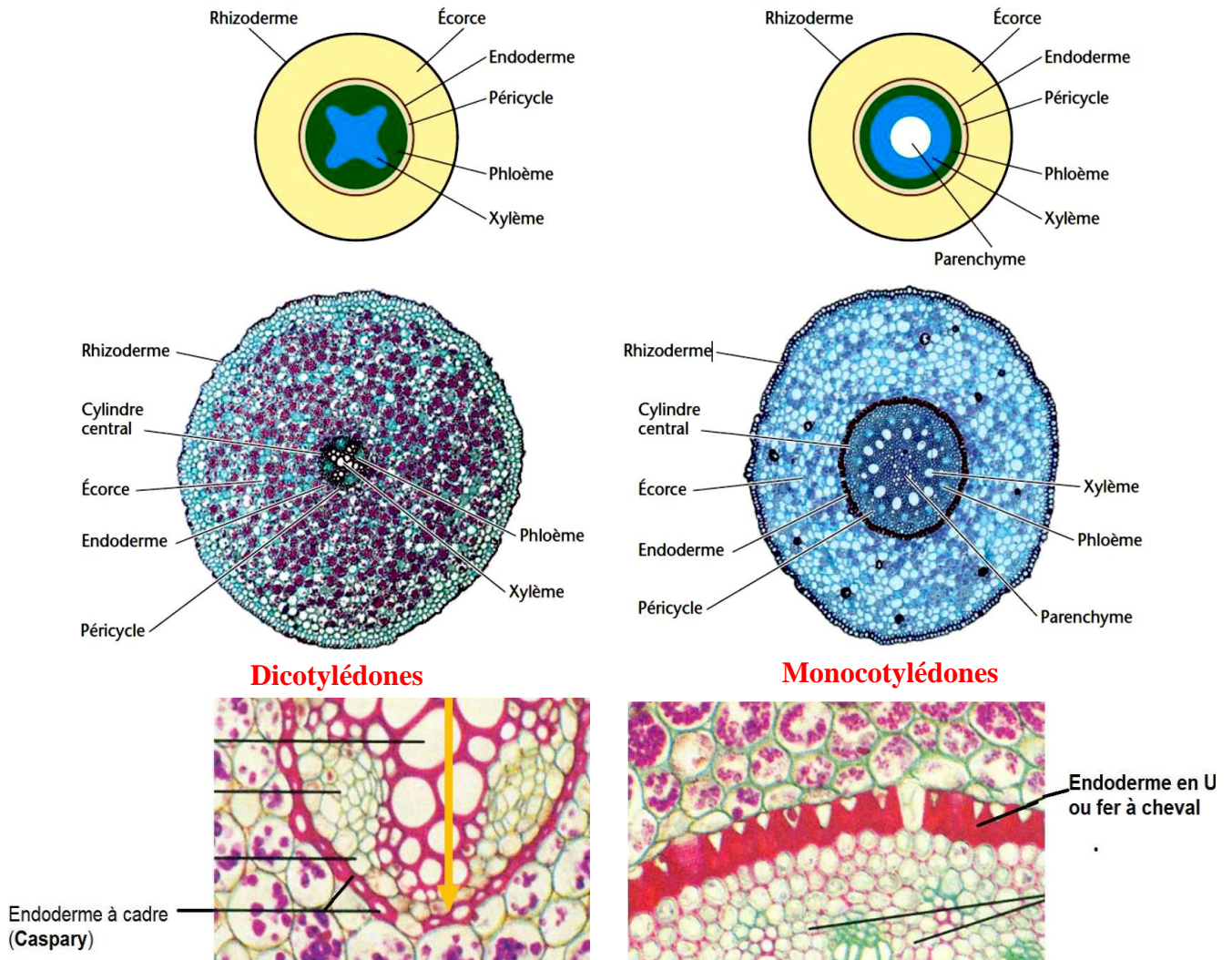


Figure. 123 : Comparaison monocotylédones et dicotylédones

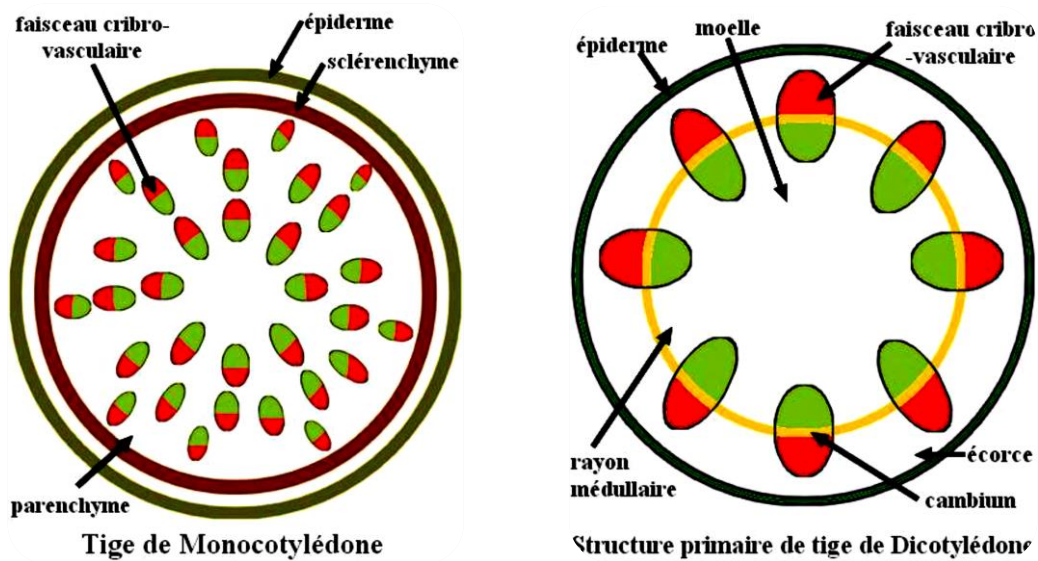
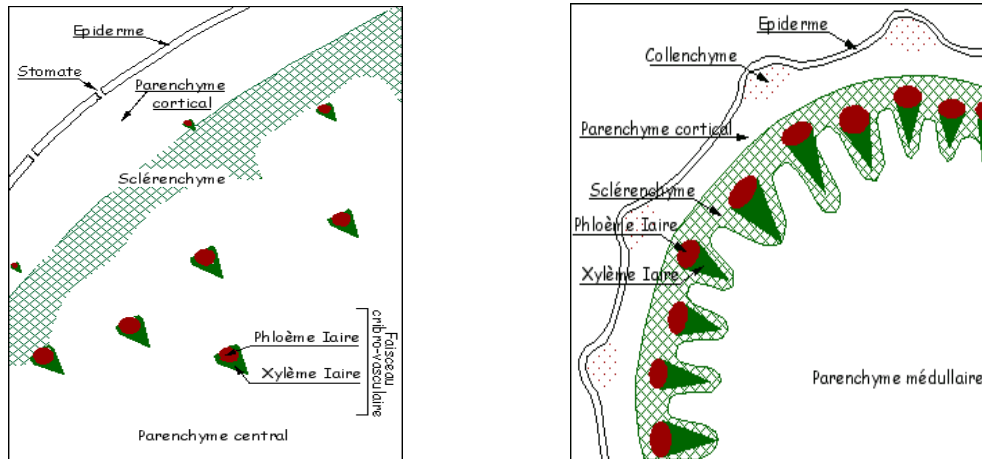


Figure. 124 : Analogies et différences entre Monocots et Dicots



**Figure. 125 :** Comparaison des schémas des coupes transversales de tiges Monocotylédone (l'Iris) et Dicotylédone (la Sanicula).

#### 4- Détermination d'un organe végétatif à partir d'une coupe anatomique :

Ainsi qu'il a été dit au début du chapitre, les coupes anatomiques d'un même organe peuvent varier dans le détail d'une plante à l'autre. Cependant on peut reconnaître des caractères valables pour toutes les tiges, racines et feuilles. Nous chercherons d'abord quel est le type de symétrie des éléments internes : xylème et phloème.

**A-** Ces éléments sont symétriques par rapport au centre. Quelle que soit la forme extérieure de la coupe, c'est ce que nous avons appelé une symétrie axiale. Il s'agit alors d'une racine ou d'une tige.

##### 1- Il n'y a pas de xylème secondaire (Bois) :

**a)** Le xylème primaire, bien visible, est à disposition centripète. Les faisceaux de xylème et de phloème alternent. Il s'agit d'une racine de Monocotylédone ou d'une racine de Dicotylédone jeune. Dans ce dernier cas, il n'est pas rare de voir les cellules les plus internes du phloème présenter des cloisonnements tangentiels.

**b)** Le xylème primaire est à disposition centrifuge. Il forme avec le phloème des faisceaux libéro-ligneux. S'il y a plusieurs cercles concentriques de faisceaux, c'est une tige de Monocotylédone. S'il n'y a qu'un seul cercle de faisceaux, ce peut être une tige de Monocotylédone ou une tige de Dicotylédone jeune, dans ce cas, il faut chercher s'il n'y a pas trace de cambium.

##### 2- Il y a du xylème secondaire (Bois) :

**a)** Si le xylème primaire est encore visible, il est facile de distinguer la tige à xylème centrifuge de la racine centripète

**b)** Si le xylème primaire a disparu, la distinction devient très malaisée. On peut cependant se baser sur le fait que le cambium est discontinu dans la racine. Il y a autant de tronçons qu'il y avait de faisceaux de phloème primaire. Le xylème secondaire (Bois) peut donc lui aussi paraître découpé en plusieurs plages contiguës.

**B-** Les éléments de la coupe sont symétriques par rapport à un plan.

- a)** S'il y a un limbe, il s'agit d'une feuille.
- b)** S'il n'y a pas de limbe, c'est un pétiole.



La distinction entre une feuille de Monocotylédone et une feuille de Dicotylédone est basée sur la présence de xylème secondaire (Bois) chez cette dernière. D'une façon générale, les feuilles de Monocotylédones sont des feuilles dressées, et il n'y a que peu de différences entre la face supérieure et la face inférieure. Les feuilles de Dicotylédones sont généralement horizontales ou tout au moins obliques, le parenchyme chlorophyllien y est localisé surtout à la face supérieure.

**Tableau. 10 :** Comparatif entre Feuille Monocotylédone et Dicotylédone

<i>Caractères</i>	<i>Feuille (Monocotylédone)</i>	<i>Feuille (Dicotylédone)</i>
<b>Mésophylle</b>	Homogène : Parenchyme à méats	Hétérogène : Parenchyme palissadique : Face supérieure. Parenchyme lacuneux : Face inférieure
<b>Faisceaux Libéro-Ligneux</b>	Nombreux sensiblement identiques (Nervures parallèles).	En générale au niveau de la nervure principale, parfois dans le limbe au niveau des nervures secondaire.
<b>Formation secondaires</b>	Absente	- Peu développés en générale au niveau de la nervure. - Xylème secondaire (Bois) ; phloème secondaire (Liber) heteroxylé



**Tableau. 11 :** Différences structurales entre les feuilles de Monocotylédones et de Dicotylédones.

Monocotylédones	Dicotylédones
LIMBE À SYMÉTRIE BILATÉRALE	
ÉPIDERME	
Peu ou pas de stomates sur la face inférieure	Stomates répartis généralement sur les 2 faces
PARENCHYME CHLOROPHYLLIEN	
Cellules isodiamétriques, peu chlorophylliennes, sans méats Présence fréquente de collenchyme et de sclérenchyme	
homogène	hétérogène - parenchyme palissadique - parenchyme lacuneux
TISSUS CONDUCTEURS	
Un ou plusieurs faisceaux criblovasculaires	
Faisceaux criblovasculaires Xylème et phloème superposés Xylème vers la face ventrale de la feuille Phloème vers la face dorsale de la feuille	
Nervures parallèles constituées d'un faisceau unique, très souvent uni à l'épiderme dorsal par les bandes des fibres sclérifiées.	Nervures ramifiées constituées d'un ou plusieurs faisceaux de xylème interne et de phloème externe, entourés de tissus de soutien
PÉTIOLE À SYMÉTRIE BILATÉRALE	
ÉPIDERME Cutinisé, stomatifère	

## Anatomie d'organes végétatifs d'Angiospermes

**Organe aérien**

**Racine**  
écorce épaisse, moelle réduite, existence d'un endoderme, xylème et phloème primaire en alternance, xylème primaire à différenciation centripète (assise pilifère pour les organes jeunes)

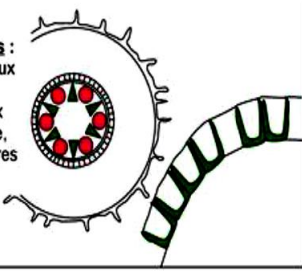
**épiderme** (au moins pour les organes jeunes), avec éventuellement des stomates ; xylème et phloème primaires superposés, tissus de soutien fréquents

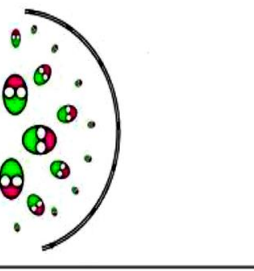
**tige** : symétrie axiale, au moins pour les faisceaux conducteurs ; écorce réduite, moelle développée (parfois remplacée par une lacune)

**feuille** : symétrie bilatérale, parenchyme photosynthétique, stomates. Dans une feuille typique, le xylème est en haut, et le phloème en bas.

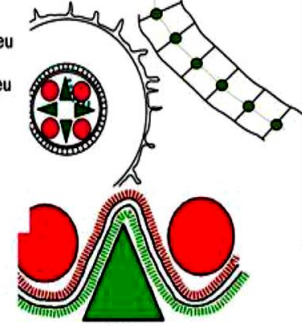
**Pétiole, phylloides, tiges ailées : caractères intermédiaires**

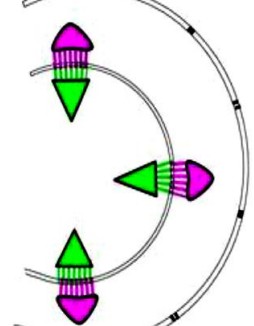
**Monocotylédones :**  
Nombreux faisceaux conducteurs, gros vaisseaux de métaxylème, pas de structures secondaires.

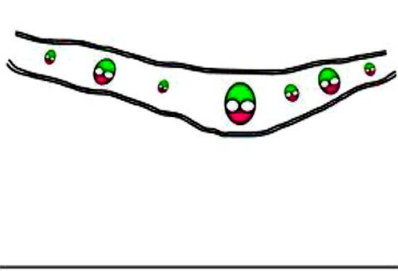


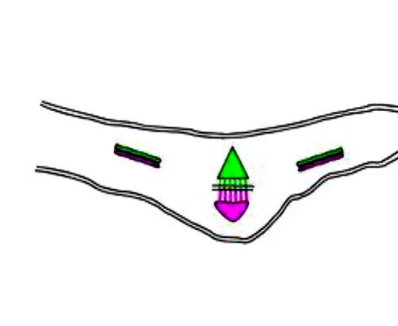


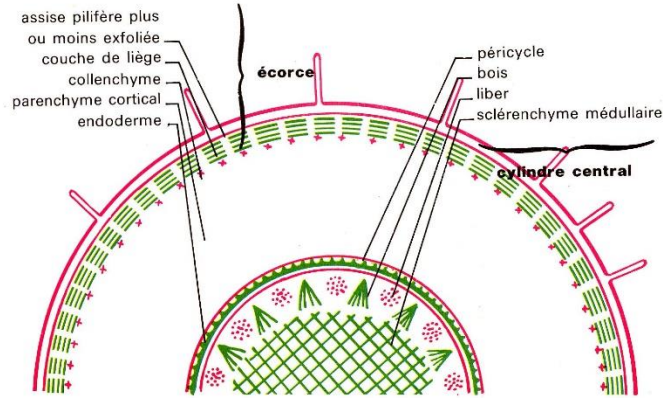
**Monocotylédones :**  
Faisceaux conducteurs peu nombreux, métaxylème peu différent du protoxylème, structures secondaires (bois et liber) fréquentes.



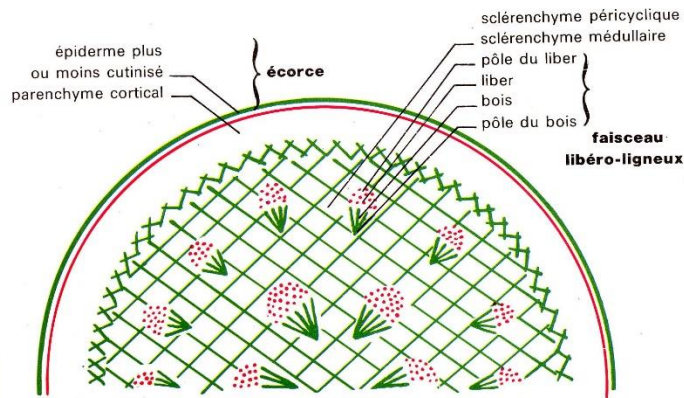




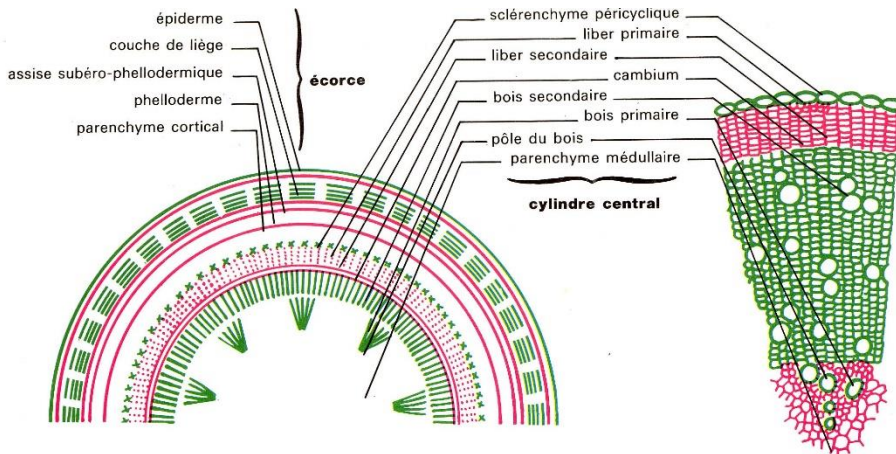




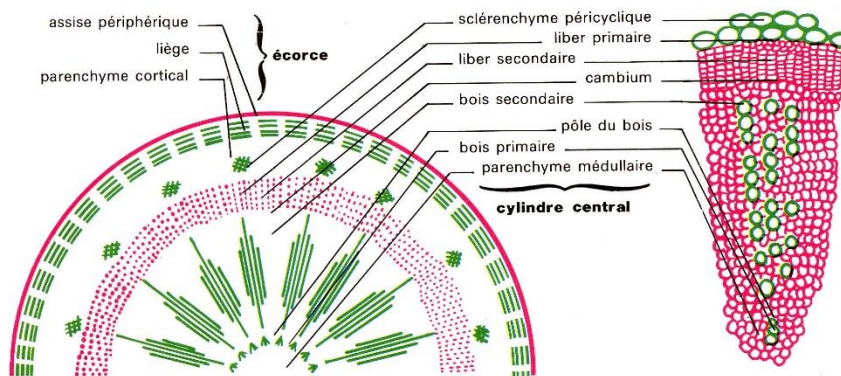
Racine du Petit-houx (coupe schématique)



Tige du Petit-houx (coupe schématique)



Tige de Sureau (coupe schématique et détail du cylindre central)



Racine d'Oseille (coupe schématique et détail du cylindre central)



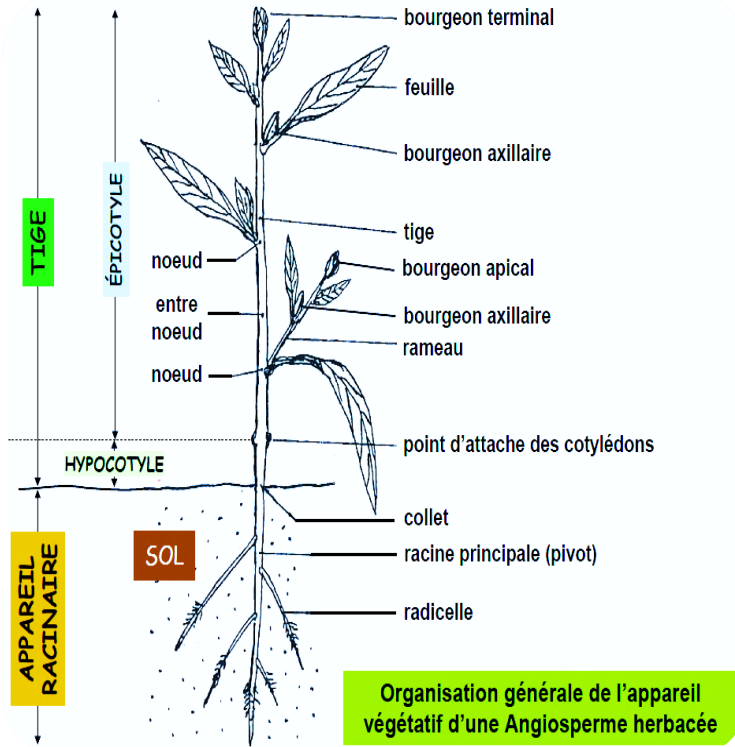
## Etude de l'Appareil végétatif des végétaux supérieurs (Morphologie végétal):

### Introduction :

Les plantes à fleurs constituent la majeure partie des végétaux terrestre. Elles ont un appareil végétatif typiquement formé de racines, de tiges, de feuilles et d'organes reproducteurs groupés en fleurs. Cette leçon est consacrée à la morphologie comparée de leur appareil végétatif.

Une plante est composée de 3 grandes parties : racines, tiges et feuilles. La façon dont sont ordonnées ces 3 parties conditionne le port de la plante. La reproduction est assurée par les fleurs, qui peuvent être groupées en inflorescence. Les fruits, issus de la fécondation des fleurs, ont des formes très différentes selon les plantes.

Les classifications végétales sont toutes basées sur ces différents critères anatomiques qui ont évolué au



### 1. Système racinaire :

#### 1-1- Etude morphologique des racines (Organisation de l'apex racinaire):

L'ensemble des racines forme le système racinaire de la plante. La racine est la partie basale de l'axe inférieure de plante qui permet la fixation du végétal dans le sol ainsi que l'absorption de l'eau et des substances dissoutes nécessaires au développement de la plante. La racine ne porte jamais de feuilles et n'a pas de nœuds ; sa structure anatomique est également différente. Elle se forme très tôt lors du développement de plante, dès le début de la germination et elle porte une coiffe terminale. La racine est caractérisée par un *géotropisme positif* et un *phototropisme négatif*. L'appareil racinaire, ensemble de racines est généralement souterrain, une de ses caractéristiques et sa grande longueur.

Une racine Jeune, observé à la loupe, permet de distinguer de bas en haut 04 régions:

- ✚ La coiffe
- ✚ La zone d'élongation ou zone de croissance.
- ✚ La zone pilifère.
- ✚ La zone subéreuse.

- ❖ **Le géotropisme** : Orientation de la croissance de certains organes (racine) par rapport à la pesanteur, *géotropisme positif* du haut vers le bas et *géotropisme négatif* du bas vers le haut.
- ❖ **Phototropisme** : Phénomène d'attraction ou de répulsion d'organes en croissance par rapport à la lumière *phototropisme positif* attraction et *phototropisme négatif* répulsion.



## Surface d'absorption

Absorption se fait surtout par les poils des racines : permettent une grande surface d'absorption.

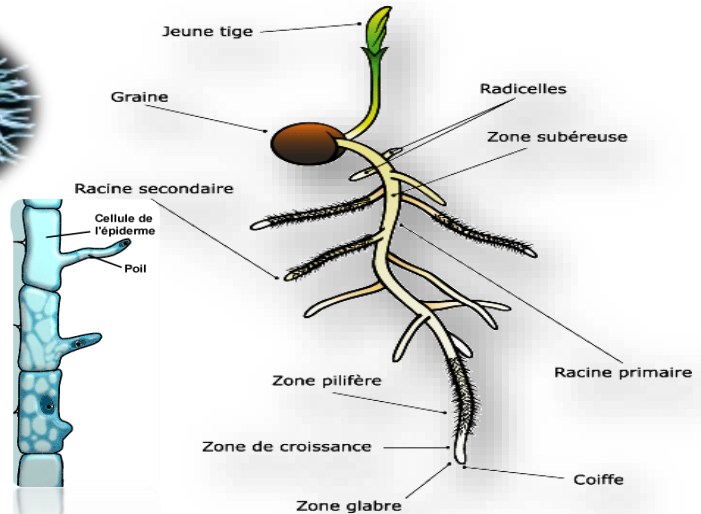
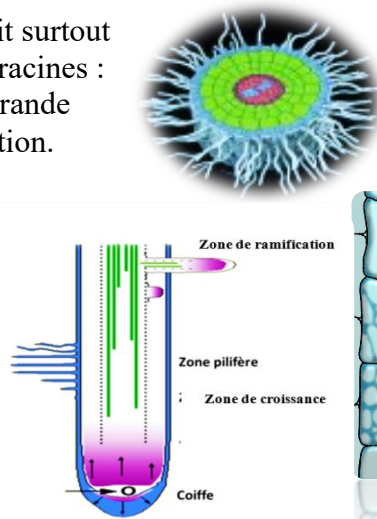


Figure. 126 : Le système racinaire

Sur une racine âgée, nous distinguons en plus de ce que nous avons observé chez la racine jeune, de nombreuses ramifications, Ainsi la racine la plus importante, est dite principale, ses ramifications sont dites racines latérales :

**a/ La coiffe:** la coiffe de forme conique, c'est une sorte de capuchon qui recouvre l'extrémité de la racine. Chez les plantes terrestres, c'est un épaississement jaunâtre, elle élabore un mucilage qui favorise sa pénétration plus profonde dans le sol (permet à la racine de tracer un chemin à travers le sol). Sa fermeté, due à une imprégnation de cutine, lui permet de jouer un rôle protecteur vis à vis des parties supérieures de la racine (Elle protège le méristème racinaire contre les aspérités du sol). La coiffe se desquame et se régénère continuellement.

**b/ La zone d'élongation:** une zone glabre est appelée également zone de croissance, c'est une zone courte, longue de 01 à 02 cm. Elle est lisse et claire c'est à son niveau que se fait la différenciation des tissus qui constituent la racine. Elle assure la croissance en longueur de l'organe.

**c/ La zone pilifère:** elle commence à quelques millimètres de la coiffe, à ce niveau, la racine présente des filaments translucides qui peuvent atteindre s'étend sur 2 ou 3cm de longueur. Elle est caractérisée par la présence des poils absorbantes plus ou moins abondants. Le nombre de ces poils absorbantes est très grande. On estime à plusieurs milliards pour beaucoup de plantes. Ainsi se trouve réalisée une surface d'échanges considérable entre les racines et le sol. Comme la coiffe, l'existence des poils racinaires (absorbants) n'est pas constante, les racines de la Jacinthe d'eau n'en portent pas, mais il n'existe pas de loi générale. Bien que la vie de ces poils soit courte durée, leur longueur et leur position restent sensiblement constantes.

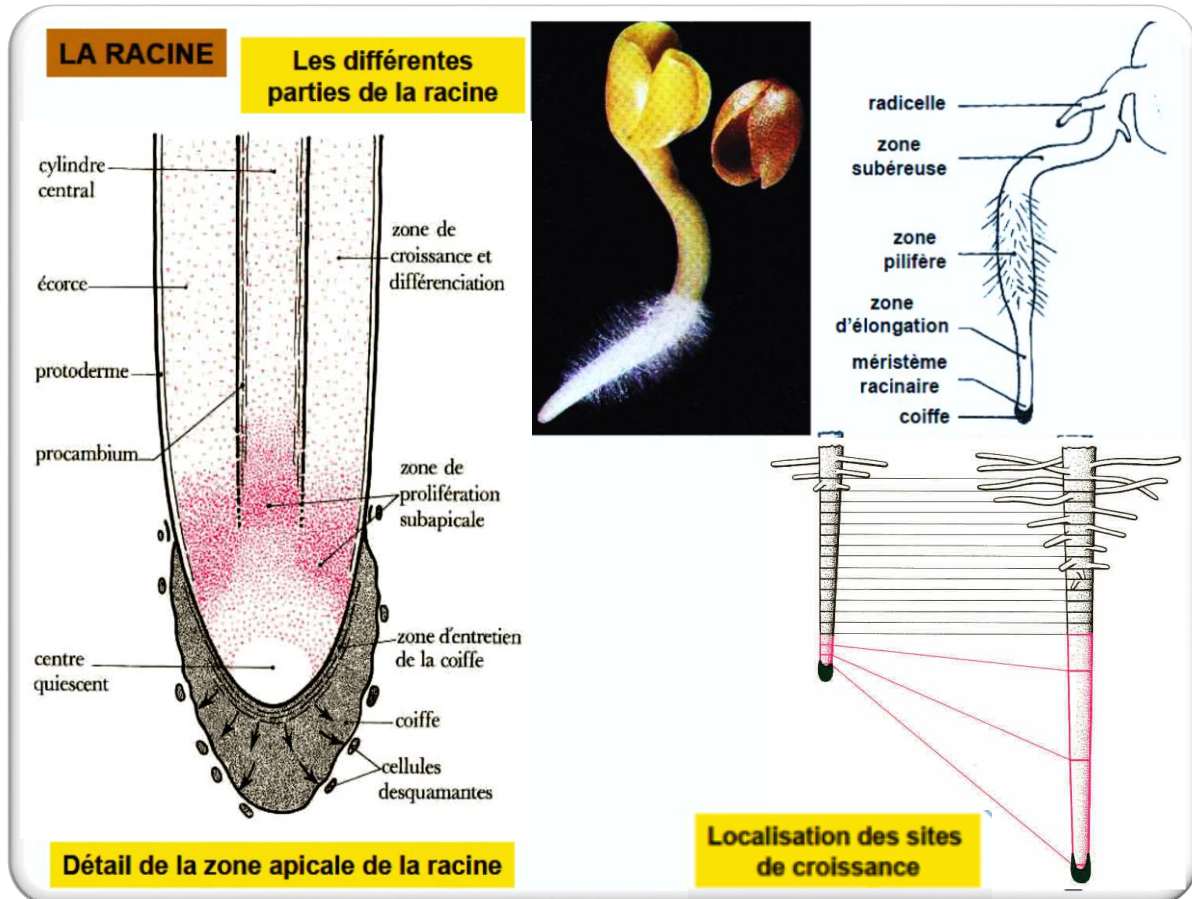
La zone pilifère forme un manchon de taille constante. De nombreux poils-absorbants apparaissent continuellement à base et remplace ceux qui flétrissent et tombent à sa partie supérieure. Remarquons que seuls les traits situés entre la coiffe et la zone pilifère se sont bien écartés les uns des autres. Il découle de ce résultats les faits suivant:

- ✚ La racine croît en longueur.
- ✚ Son élongation est localisée dans une région située un peu au-dessus de la coiffe : la zone d'élongation



**d/ La zone subéreuse:** Elle s'étend au-dessus de la zone pilifère jusqu'à la tige en cas de structure primaire ou jusqu'à l'apparition des formations *subero-phellodermiques* dans le cas contraire, elle nous apparaît brunâtre et rugueuse. Elle doit son nom à la présence d'une couche imprégnée de subérine.

**e/ La zone de ramification:** elle correspond à la région de la racine d'où sortent les racines latérales qui renforcent la fixation de la plante dans le sol et augmentent la surface d'échange entre la plante et le sol. C'est la partie la plus importante en longueur et en masse à son niveau se forment toutes les ramifications du système racinaire les dernières ramifications dites radicelles sont les plus fines, c'est à leur niveau que l'absorption est la plus élevée



### Ramification et croissance :

La racine présente plusieurs analogies avec la tige à propos de la ramification et de la croissance :

- ✓ La ramification est dichotomique à tendance monopodique chez les *Ptéridophytes* ou latérales chez les *Spermaphytes*.
- ✓ La croissance en longueur, toujours plus importante que la croissance en épaisseur. Seules les racines des *Spermaphytes* (*Gymnospermes*, *Angiospermes Dicotylédones*) manifestent une croissance en épaisseur, plus particulièrement pour les espèces arborescence.



## 1-2- L'origine des racines :

On peut différencier trois types de racines d'après leur origine :

- 1)- **Les primaires ou séminales** : qui proviennent de l'évolution de la radicule de l'embryon, elles sont persistantes.
- 2)- **Les secondaires** : d'ordre 2,3,4, elles naissent par voie endogène à partir de la racine primaire ou d'une racine secondaire d'ordre plus élevé, elles ont une persistance variable
- 3)- **Les adventives** : formées sur une partie quelconque du végétal (tiges, feuilles, etc.).

## 1-3- Etude comparative des racines (Types et diversités des racines):

La racine principale et les radicelles forment le système racinaire de la racine. Celui-ci est variable d'une plante à l'autre en particulier chez les Angiospermes. Les racines se distinguent par leur forme, leur origine, leur rôle par l'accumulation des réserves dont elles peuvent être le siège et par leur milieu où elles évoluent.

### a/ Les racines pivotantes (*Dicotylédones* en général):

L'appareil racinaire de ce type est constitué d'une racine principale considérablement plus volumineuse que les racines latérales en forme de Pivot et s'enfonçant en général verticalement et profondément dans le sol, cette racine principale est dite pivotante exemple: Pissenlit, trèfle, coquelicot, carotte sauvage, betterave, ces racines prennent la nourriture dans les parties profondes du sol.

### b/ Les racines fasciculées (*Monocotylédones* en général):

Quand nous observons une plantule de blé de quelques jours nous remarquons que la racine principale demeure courte et fine et que les racines latérales, au nombre de 4 sont aussi développées que la racine principale. Elles constituent un faisceau à la base de la tige, chez l'Iris, pois, haricot et blé se trouve également un faisceau de racines qui ont une même taille. S'enfonçant peu profondément dans le sol, se nourrissant de minéraux de surface. Toutes ces racines sont dites fasciculées.

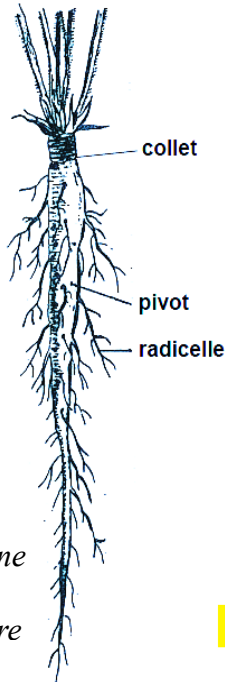
### c/ Les racines adventives:

Les racines qui se développent sur n'importe quelle partie de la plante, à la base des tiges des *Poaceae*, mais ces racines peuvent se former ailleurs qu'à la base, sur un nœud généralement, parfois, elles apparaissent sur des tiges rampantes sur le sol (fraisier), parfois sur des tiges souterraines (iris, chiendent), mais non sur la racine principale sont dites racines adventives exemple: Menthe, oignon, lierre.

Les racines prenant naissance sur une tige aérienne ou souterraine ou tout autres parties du végétal.

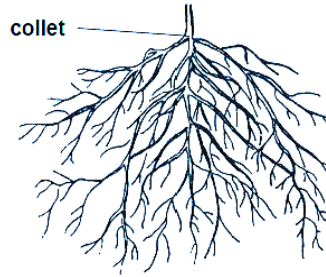


**LA RACINE**



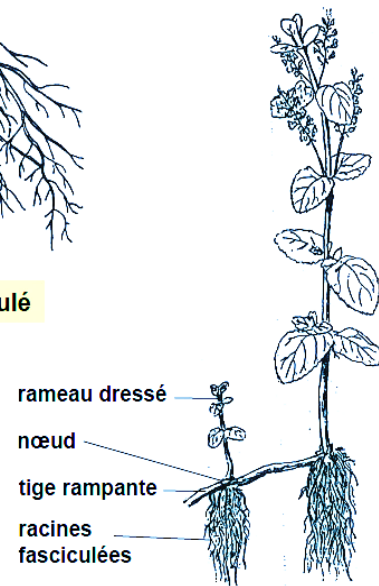
Racines profondes  
Ancrage solide Racine  
peut accumuler des  
réserves de nourriture

**Système pivotant  
(carotte)**



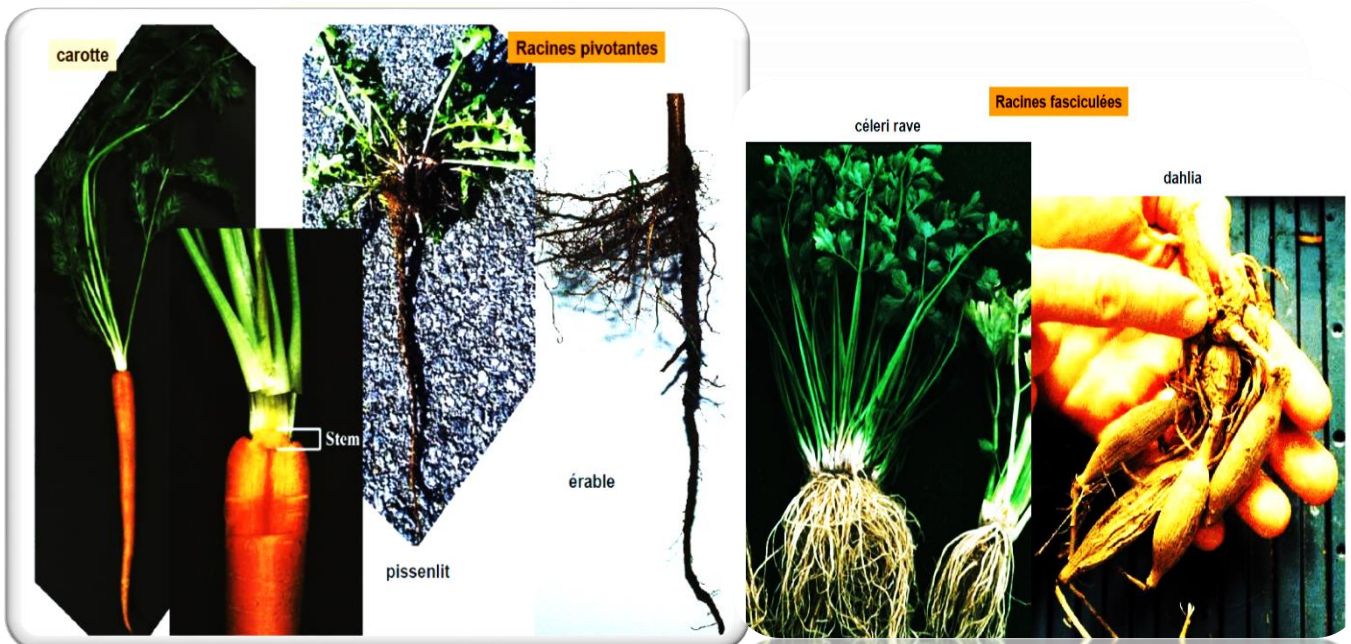
**Système fasciculé**

Peu profondes  
Couvrent une grande  
surface Contribuent  
à empêcher l'érosion  
des sols



**Système adventif  
et fasciculé  
(véronique)**

**Les différents types d'appareils racinaires**





Maïs



Figuier des Banyans (*Ficus benghalensis*)

Cet arbre commence sa croissance à partir de jeunes pousses qui se développent directement sur les branches d'un autre arbre (plante épiphyte). Il émet par la suite de nombreuses racines adventives qui l'ancrent au sol.

#### 1-4- Adaptation fonctionnelle des racines (Les racines modifiées):

En plus de ces trois cas, certaines plantes, en fonction de leur environnement, notamment pour la fonction d'ancrage, semblent avoir développé des racines fortement modifiées. Les trois sortes de racines que nous venons de signaler peuvent subir des modifications importantes :

**1-4-1- Racines tubéreuses ou tuberculeuses:** Ils se sont spécialisées dans l'accumulation de réserve et développent des racines "*tubérisées*", donc on appelle racines tubérisées des racines qui se renflent, gorgées de substances nutritives chez lesquelles on distingue :

##### ✚ Des racines pivotantes tubéreuses :

Les racines pivotantes de la Carotte et de la Betterave sont gonflées par des matières de réserves, ce sont des racines tuberculeuses ou racines *pivotantes-tuberculeuses* précisons qu'une partie de la tige participe souvent à la formation de la région renflée. Ex: Radis, Betterave, Carotte.



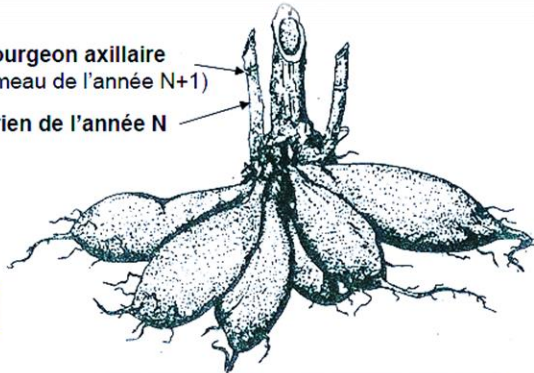
✚ **Des racines fasciculées tubéreuses** : Chez l'Asphodèle, l'appareil racinaire est constitué de racines *tubéreuses fasciculées* ou *tuberculeuse fasciculées* Ex: dahlia, Orchis.

Les plantes à racine tubérisées vivent généralement deux ou plusieurs années mais pendant la mauvaise saison leur appareil végétatif aérien disparaît et les réserves accumulées dans les tubercules serviront l'année suivante à nourrir la plante. Ces racines en raison de leur hypertrophie ne peuvent plus remplir leur fonction, la plante développe alors d'autres racines nutritives ramifiées de morphologie normale. On peut trouver aussi des racines adventives ou fasciculées tubérisées.



**LA RACINE**

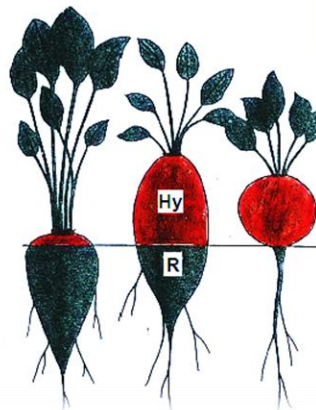
nœud avec bourgeon axillaire  
(donnera le rameau de l'année N+1)  
rameau aérien de l'année N



**Appareils racinaires tubérisés**

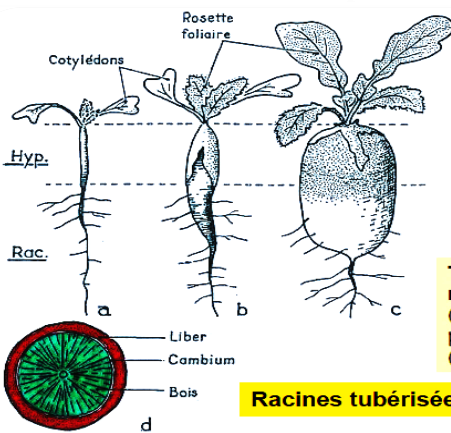
**Racines fasciculées tubérisées**  
dahlia – plante vivace

**Racine pivotante tubérisée de navet**  
(Brassicacées)  
plante bisannuelle



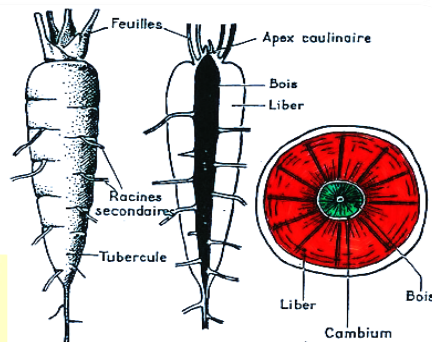
Hy : hypocotyle  
R : racine

**Racines pivotantes tubérisées de betterave**  
A : betterave à sucre  
B : betterave fourragère  
C : betterave rouge  
plantes bisannuelles



**LA RACINE**

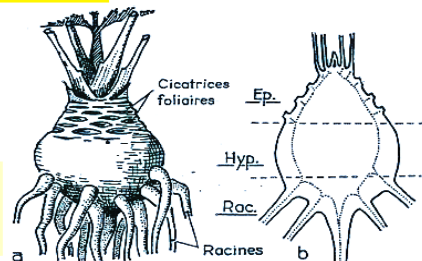
**Tubérisation de la racine de carotte**  
(Apiacées)  
plante bisannuelle  
(morphologie externe, coupe longitudinale et coupe transversale )



**Racines tubérisées de plantes alimentaires**

**Tubérisation de la racine et de l'hypocotyle du radis**  
(Brassicacées) - plante bisannuelle  
a, b, c : étapes de la tubérisation  
c : coupe transversale de la racine

**Tubérisation chez le céleri rave**  
(Apiacées) - plante bisannuelle  
(morphologie externe et coupe longitudinale)  
Ep, épicotyle ; Hyp, hypocotyle ; Rac, racine



Ep' épicotyle ; Hyp' hypocotyle ; Rac' racine  
(morphologie externe et coupe longitudinale)  
(Apiacées) - plante bisannuelle  
Tubérisation chez le céleri rave



Racines tubérisées

Tubérisation d'une part plus ou moins importante de racine (r/R) et d'hypocotyle (h/H) : les betteraves

betterave sucrière  
R + h



betterave fourragère  
R + H



betterave rouge  
(r) + H



#### 1-4-2- Racines suçoir :

Il y'a des plantes qui vivent en parasites sur d'autres. Leurs racines pénètrent dans les tissus de l'hôte pour y puiser la nourriture. Les racines sont de petits canaux qui se développent entre le parasite et son hôte (racine parasitées), c'est une partie ou tout le système racinaire qui se transforme en plusieurs suçoirs, Ex: Les Mélampyres qui sont parasites sur les Fabaceae et les Poaceae, Gui pousse sur certains arbres, Orobanche plante parasites d'autres plantes et Cuscuta...

#### 1-4-3- Racines crampons :

Ce sont principalement des racines adventives. Certaines plantes (le lierre grimpant) sur un côté de tige possèdent des nombreuses racines dont l'extrémité aplatie adhère fortement à un support (tronc d'arbre ou mur). Ces racines ne jouent aucun rôle dans la nutrition de la plante, elles n'ont ni coiffe, ni zone pilifère, ni ramification. Elles peuvent s'achever par une partie aplatie qui adhère fortement au support, on les qualifie de racines-crampons.

*Comme les crampons, nous avons aussi des épines (Macaranga), des vrilles ou encore les racines ventouses du Vanillier.*

#### 1-4-4- Racines aériennes (les racines pneumatophores):

La racine principale émet un rejet positionné horizontalement par rapport au sol, et le long de cette racine, il y a des prolongements qui sont en contact avec l'air (ex : la mangrove)

Les racines aériennes adventives du philodendron pendent dans l'air on est dit aérienne. Leur rôle est d'observer la vapeur d'eau de l'air grâce au tissu spongieux qui les recouvre.

#### 1-4-5- Racine aquatique :

La lentille d'eau est munie d'une racine aquatique. Ces deux dernières sortes de racines sont dépourvues de poils absorbants.



### 1-4-6- Les racines étrangleuses :

Les graines de certaines plantes germent sur les feuilles de divers arbres et les racines aériennes descendent le long du stipe (faux tronc) ou support formant un réseau de plus en plus dense sous lequel l'arbre finit par disparaître, d'où on parle du tronc ou racine étrangleuse.



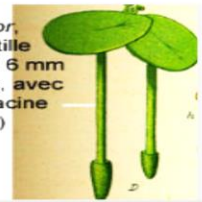
Palétuvier



Forêt de palétuviers



*Lemna minor*, la petite lentille d'eau (1,5 à 6 mm de diamètre, avec une seule racine de 2 à 5 cm)



Lentille d'eau

Les palétuviers sont des arbres pouvant pousser dans l'eau salée. Ils peuvent former de denses forêts le long des côtes.






### 1-5- Rôle des racines :

Elle assure plusieurs fonctions :

- ✚ Permet d'ancrer la plante au sol ou sur un support.
- ✚ Permet l'absorption de l'eau et les minéraux du sol, et leur transport au reste de la plante
- ✚ L'accumulation de réserves.
- ✚ Support d'associations symbiotiques complexes avec les microorganismes (bactéries et champignons).

Tableau. 12 : Les différents types de racines chez les cormophytes

Bryophytes	Ptéridophytes	Spermaphytes	
Rhizoïdes (Pseudo racines) Fonction : La fixation au sol	Racines adventives Se développent sur un rhizome	Gymnospermes Racines pivotantes	Angiospermes Monocotylédones Dicotylédones - Racines pivotantes - Racines adventives
			



## 1-6- Intérêt agricole et horticole des connaissances sur la morphologie de la racine :

### 1-6-1- Multiplication des végétaux:

Si l'on plante un rameau de peuplier de géranium ou d'œillet dans un sol chaud et humide, des racines adventives naissent sur la partie enterrée et nourrissent ce rameau qui devient une plante. Cette manière de multiplier les végétaux est le bouturage artificiel.

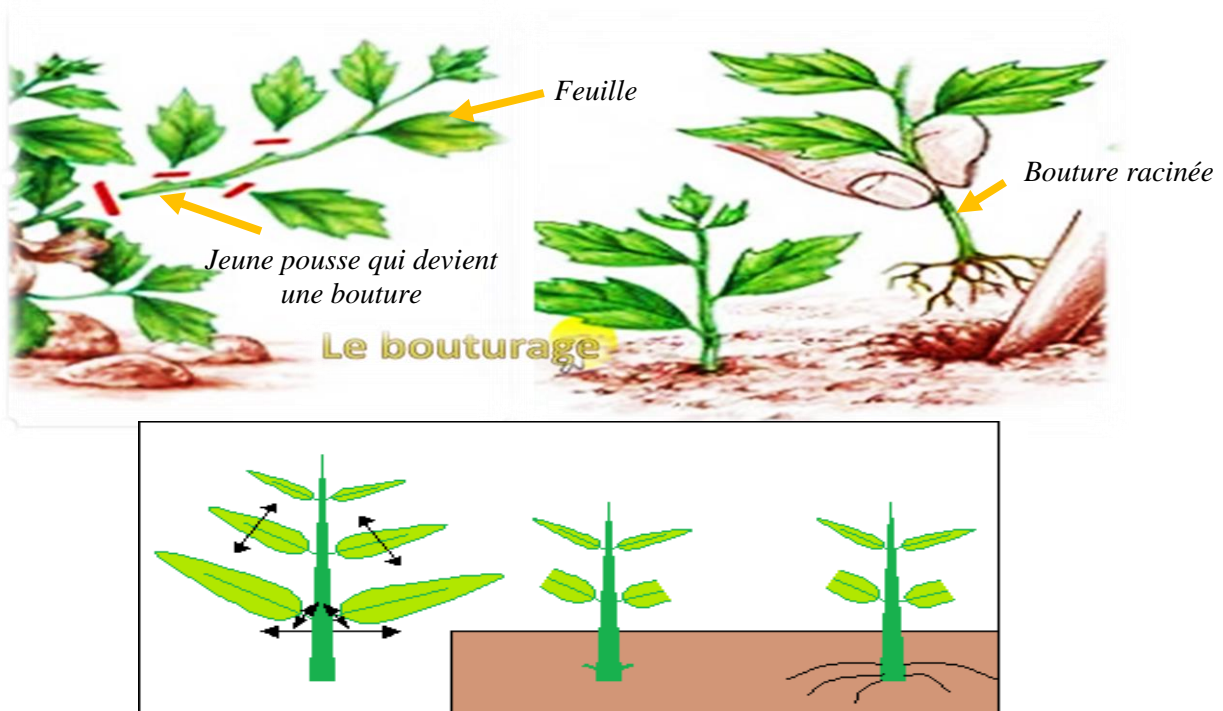


Figure 127. Bouturage artificiel

Les ronces, ainsi que les fraisiers émettent des tiges simples et arquées qui s'écartent de la souche s'incurvent viennent toucher le sol, s'enracinent au point au point de contact et constituent un individu pouvant se séparer du pied mère. Une telle multiplication est marcottage naturel.

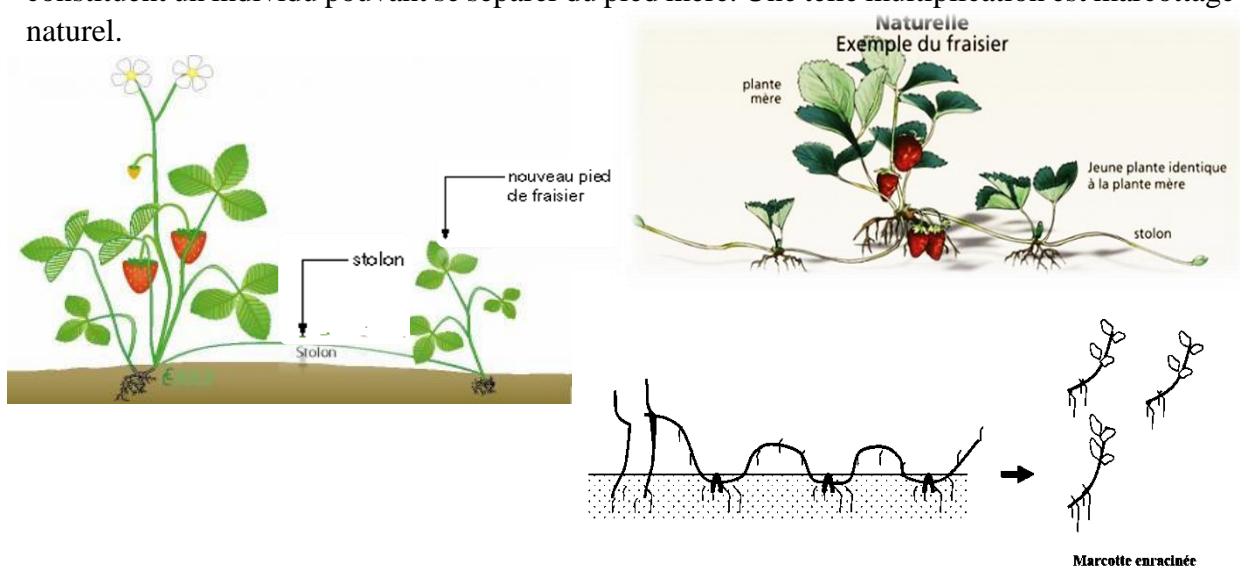


Figure. 128 : Marcottage naturel de fraisier



### 1-6-2- Repiquage, transplantation:

L'arrachage d'une jeune plante : arbre, arbuste, herbacée en vue de son repiquage brise toujours des racines donc nuit à la reprise

C'est pourquoi la transplantation en motte ou en gorget c'est à dire avec la terre qui entoure les racines doit être à a transplantation à racinaire

### 1-6-3- Arboriculture fruitière ou forestière:

**A/-** Les racines des arbres, après avoir plongé dans le sol remontent vers la surface pour puiser leur nourriture les couches vivantes et riches de terre.

En conséquence les labours peuvent blesser ou briser les racines qui reviennent vers la surface, d'où les résultats satisfaisants obtenus par les techniques culturales sans travail du sol des vergers et de vignes.

**B/-** C'est dans les couches superficielles du sol et sur toute la surface de la terre explorée par les racines qu'il convient d'apporter les engrais.

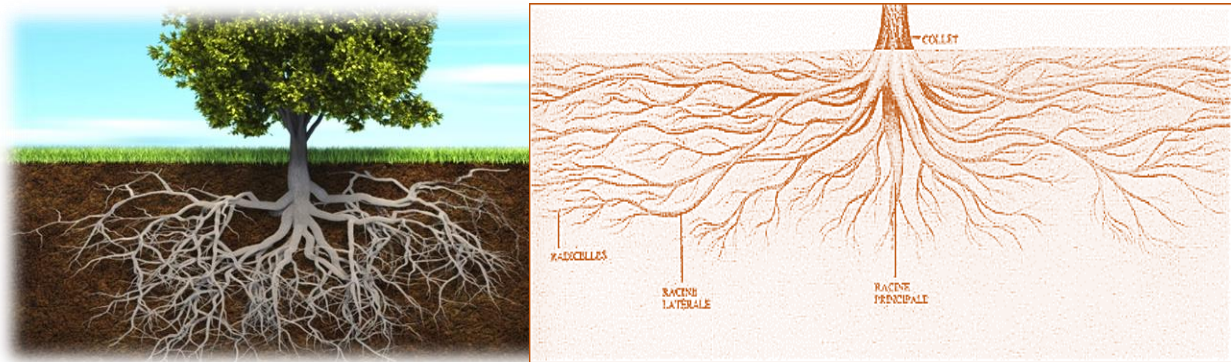


Figure. 129 : Racine des arbres

**C/-** Le pin maritime possède à la fois, un Pivot vertical et des racines traçantes, il se développe dans les sols superficiels aussi que dans les sols profonds.

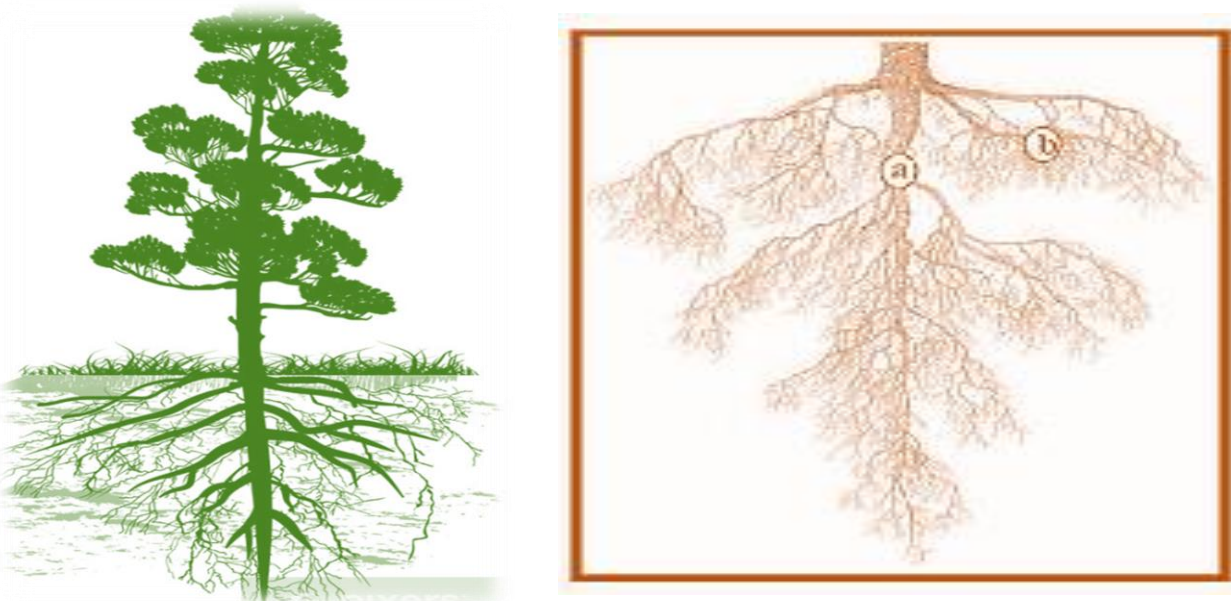


Figure. 130 : Racine du pin maritime



#### 1-6-4- Meilleure nutrition des plantes cultivées :

- A. Ameublir le sol facilite la pénétration des racines.
- B. Butter les pommes de terre ou le Maïs consiste à recouvrir de terre la base des tiges pour favoriser la formation de racines adventives qui contribuent à nourrir les plantes.

#### 1-6-5- Enrichissement du sol en azote :

Les racines des plantes de la famille des *Fabaceae* (Luzerne, Trèfle...) portent des renflements, les nodosités remplies de bactéries utiles se nourrissent de l'azote gazeux du sol. A cause de cette particularité les *Fabaceae* sont riches en azote, leur fourrage est recherché et les racines qu'elles laissent dans le sol, après leur culture, facilitent le terrain.

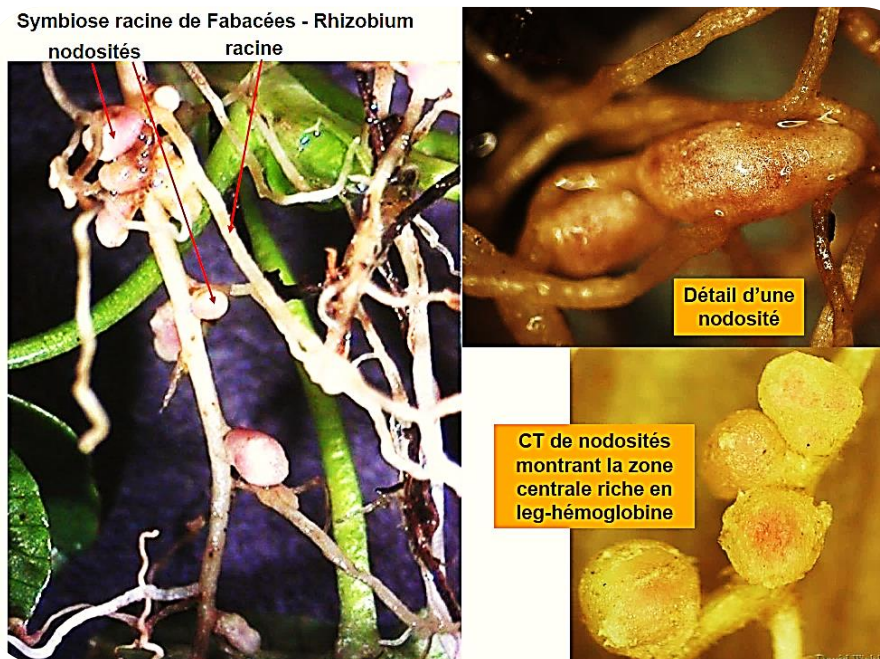


Figure. 131: Racine de Pois

En conséquence dans l'établissement des fumeurs, il faut tenir comptes de cet enrichissement.

#### 1-7- Rotation des cultures :

Pour bien exploiter, on faisait succéder sur la même par celle de plantes à racines superficielles comme le blé, a des plantes à racines profondes, comme la betterave.

#### Conclusion

Les racines sont des organes généralement souterrains qui fixent les plantes au sol et absorbent l'eau et les substances distantes.



## 2- Système caulinaire :

### 2-1- Etude Morphologique des Tiges (Organisation générale):

La tige est chez les plantes, l'axe végétatif en principe, la partie aérienne, qui prolonge la racine et porte les feuilles et les organes reproducteurs (fleurs, fruits et graines). Elle est également le lieu de transit de la sève brute et de la sève élaborée vers d'autres organes. Ils existent cependant des tiges qui restent souterraines et portent alors des feuilles réduites à l'état d'écaillés, ce sont des rhizomes, des bulbes, des tubercules caulinaires). La tige se ramifie généralement en branches et rameaux formant l'appareil caulinaire. Elle possède généralement une forme cylindro-conique qui lui assure une symétrie plus ou moins parfaite par rapport à son axe; parfois cependant elle s'aplatit et devient quadrangulaire, comme chez les *Lamiaceae*, ou bien triangulaire, comme chez beaucoup de *Cyperaceae*. La transition entre racine et tige se fait dans le « collet ». Une plante dont la tige est absente ou très réduite est dite acaule. Sa croissance s'effectue dans le sens opposé à l'attraction terrestre (géotropisme négatif) et vers la lumière (phototropisme positif). Leur taille ainsi que leur diamètre sont très variables.

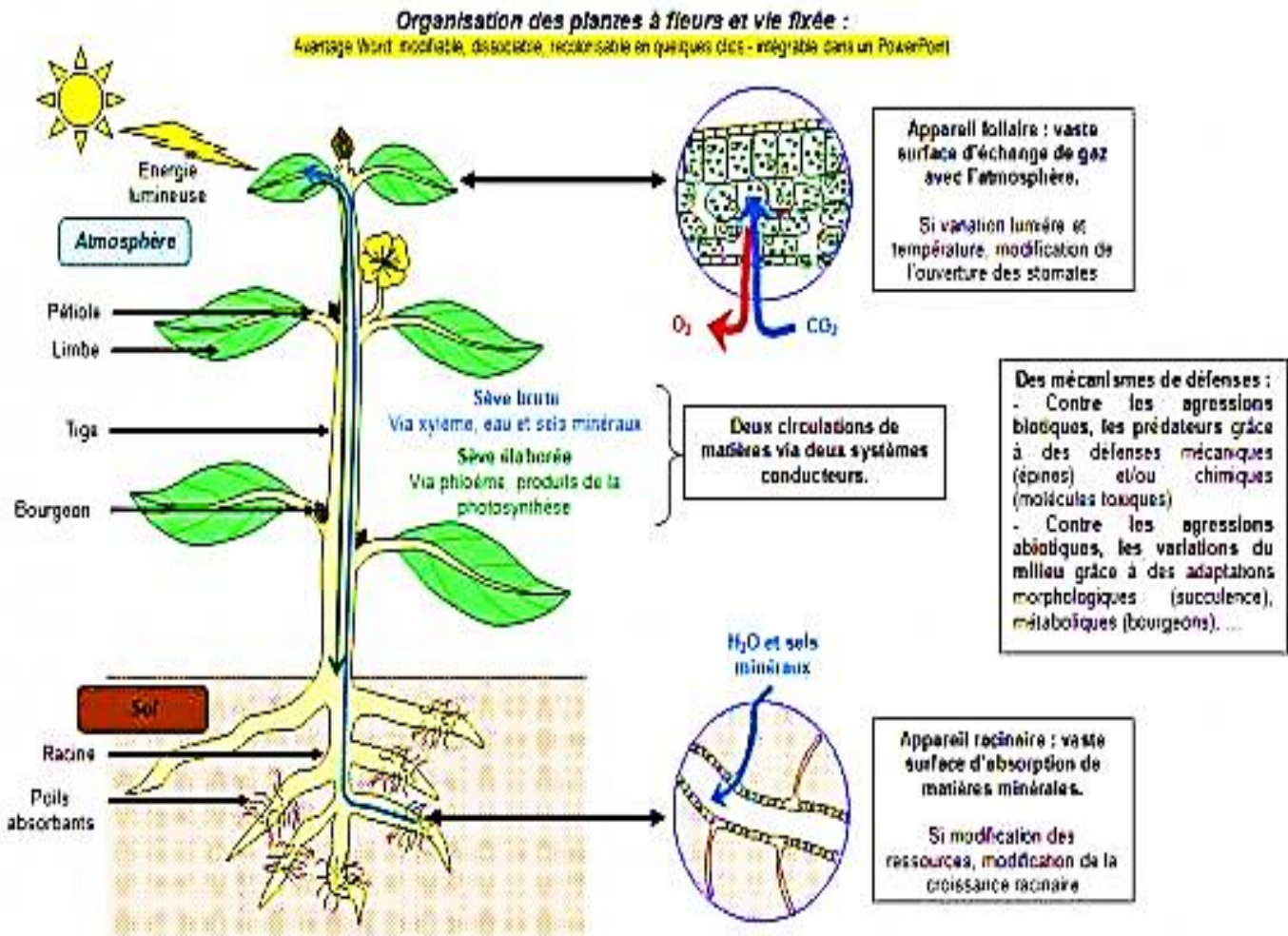


Figure. 132 : Organisation des plantes à fleurs et vie fixée



## Différentes parties de la tige :

La tige est constituée de plusieurs parties :

### A. L'axe principal :

L'axe principal d'une tige porte les feuilles, les bourgeons et les rameaux feuillés (ramifications). Il est appelé aussi tige principale.

### B. Les nœuds et les entre nœuds :

La tige est un axe constituée d'une succession de nœuds, points d'insertion des feuilles, et entre- nœuds. L'entre- nœud est une hauteur qui diminue au fur et à mesure qu'ils sont proche du Bourgeon apical.

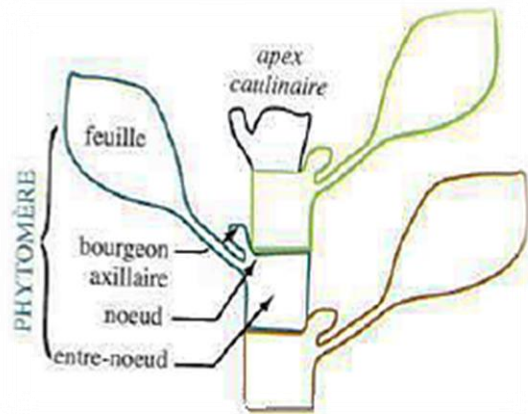
### C. Les bourgeons :

La tige porte des bourgeons, le bourgeon est constitué de très jeunes feuilles étroitement appliquées les unes sur les autres. Au fur et à mesure qu'on va vers l'intérieur du bourgeon, elles deviennent de plus en plus petites et entourent un point végétatif (zone méristématique). Les plus externes d'entre elles sont velues et enduites d'une substance qui les rend imperméables; elles ont un rôle protecteur. Le bourgeon permet l'élongation apicale de l'axe principal, la formation des feuilles et des rameaux. On distingue selon la position des bourgeons:

- ✚ Le bourgeon terminal ou apical qui est la gemmule de l'embryon, situés au sommet de la tige principale et des ramifications latérales.
- ✚ Les bourgeons axillaires ou latéraux situés au niveau des nœuds à l'aisselle des feuilles le bourgeon, qu'il soit terminal ou axillaire, et susceptible d'évoluer soit en tige feuillée soit en fleur, Ils permettent la formation des ramifications, selon la nature de l'ébauche qu'il contient on distingue dans le cas des ligneux :
  - ❖ Les bourgeons à feuilles ou les bourgeons à bois ou " Yeux " qui évoluent en rameaux feuillés. Les bourgeons sont souvent petits effilés et pointus.
  - ❖ Les bourgeons à fleurs ou " boutons" qui évoluent en fleurs. Ils sont plus gros et renflés produisent les rameaux florifères.
- ✚ Les bourgeons adventifs peuvent apparaître en diverses positions :
  - ❖ Autour de cicatrices ;
  - ❖ Sur des feuilles ;
  - ❖ Sur des racines (on parle alors de drageons).

Ces bourgeons adventifs se différencient à partir du tissu vivant de la plante à un endroit non préprogrammé à la suite de traumatismes (tels que la taille), ils peuvent apparaître n'importe où sur la tige et même au niveau du collet. Ils permettent la formation d'une nouvelle tige. C'est le cas par exemple pour les drageons du peuplier.

On distingue aussi bourgeons en activité et bourgeons dormants, la période de dormance pouvant varier d'un hiver à plusieurs années.



Bourgeon floral

Les bourgeons adventifs

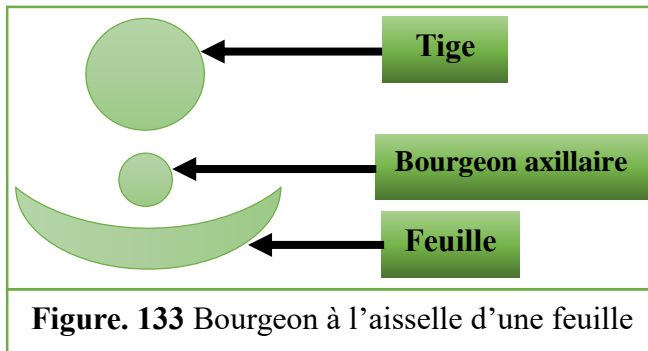


Figure. 133 Bourgeon à l'aisselle d'une feuille

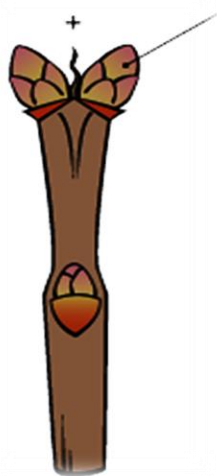


Figure. 134 : Tige sympodiale du lilas avec débourrement de 2 bourgeons

Bourgeon axillaire

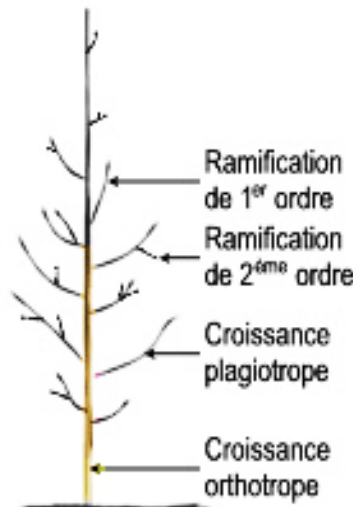
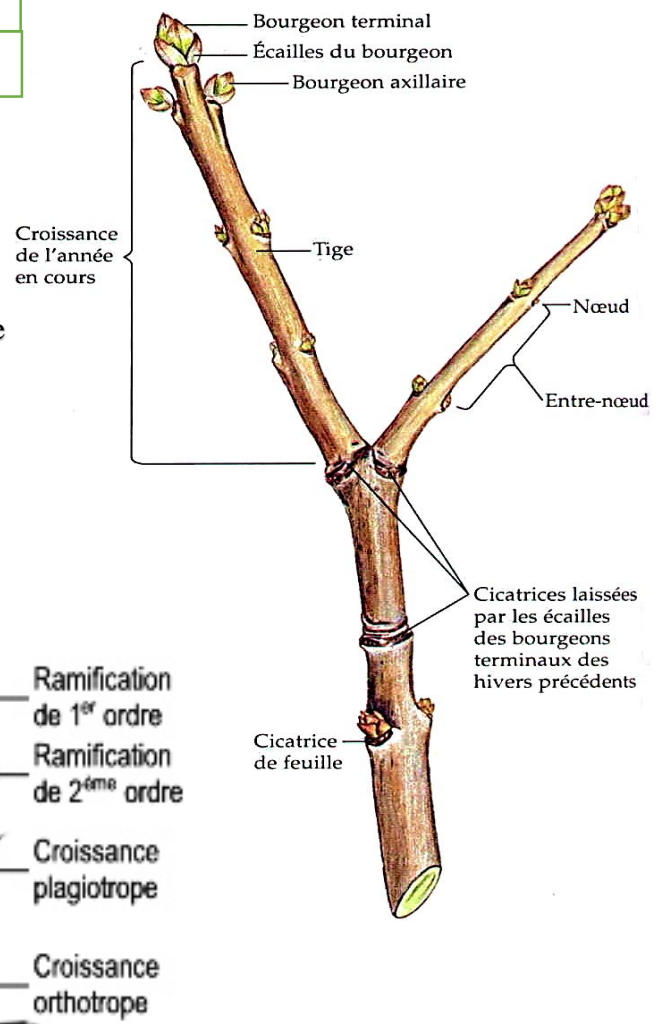


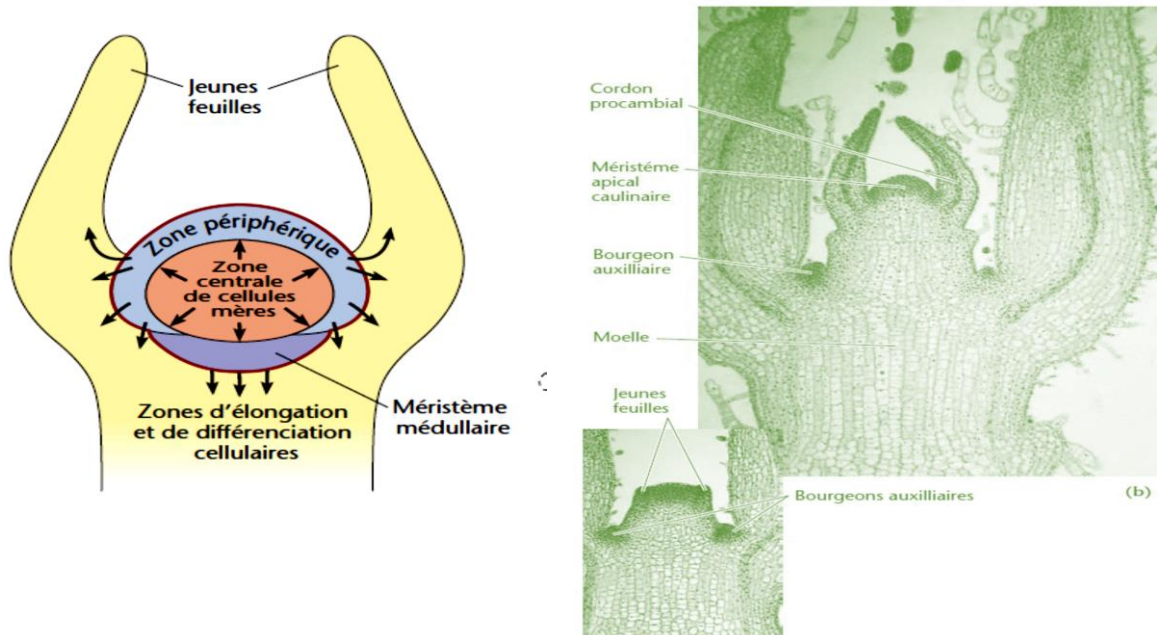
Figure. 135 : Ramification de premier et deuxième ordre sur la tige et sens de la croissance



## Croissance d'une tige :

La croissance de la tige et des feuilles se fait à partir du méristème caulinaire (apical). Il est constitué de plusieurs zones de croissance :

- ✚ **Zone périphérique (ZP)** assure l'initiation de la formation des ébauches de jeunes feuilles (*primordiums*).
- ✚ **Zone Centrale (ZC)** ou zone axiale assure la formation des organes et différents types de tissus La zone centrale et périphérique sont appelées des zones organogènes.
- ✚ **Zone médullaire (ZM)** c'est une zone histogène, responsable de la formation d'un seul tissu le parenchyme médullaire (moelle).



**Figure. 136 :** Coupe transversale d'une zone de croissance caulinaire

La croissance d'une pousse ligneuse peut se faire exclusivement à partir du bourgeon terminal et engendrer une tige "*monopodiale*" comme chez le chêne, le hêtre ou l'épicéa

Chez d'autres espèces, le bourgeon terminal se flétrit et meurt durant la phase de repos végétatif et la croissance est alors assurée par le bourgeon axillaire de la feuille située juste sous l'ancien bourgeon terminal. Le bourgeon axillaire produit une "ramification" qui se redresse dans le prolongement de la pousse de l'année précédente. La tige est construite à partir d'une succession de pousses annuelles provenant de bourgeons différents comme par exemple chez le charme ou le tilleul. On parle de croissance "*sympodiale*".

Dans certains cas, comme par exemple pour le lilas, la mort du bourgeon terminal entraîne le débourrement de deux bourgeons axillaires et donc le développement de deux tiges simultanément (Fig.12). La croissance peut se faire verticalement ; on dit que la croissance est orthotrope. Lorsque cette croissance est oblique, on parle de croissance plagiotrope. La tige principale du chêne ou tronc à une croissance normalement *orthotrope*, par contre les rameaux ont une croissance *plagiotrope*

- ✚ Lorsque la tige croît verticalement, on dit que sa croissance est *orthotrope*.
- ✚ Lorsque cette croissance est oblique, on parle de croissance *plagiotrope*.



En fonction de la croissance de la tige dans des conditions environnementales normales, on distingue :

- ✚ **L'arbre** : tronc bien différencié, dont la ramification apparente débute généralement à partir d'une certaine hauteur (houppier), et qui peut dépasser 7m de hauteur à l'état adulte.
- ✚ **L'arbuste** : végétal ligneux dont la tige à sa base est nue et non ramifiée (quand il est âgé) mais qui ne dépasse pas 7 à 8m.
- ✚ **L'arbrisseau** : végétal ligneux qui se ramifie naturellement dès la base et ne qui ne dépasse pas quelques mètres de hauteur.
- ✚ **Le sous-arbrisseau** : constitué d'une base ligneuse surmontée de rameaux herbacés qui dépérissent chaque année et ne dépassant habituellement pas les 50 cm.
- ✚ **La liane** : plante grimpante à tige ligneuse

Ces notions restent néanmoins assez subjectives.

### Ramification :

La tige peut rester entière, comme le chaume des *Poaceae* ou le stipe des palmiers, mais le plus souvent elle se développe en une structure plus ou moins ramifiée.

Les ramifications terminales (ou apicales) résultent de la division du méristème apical directement au niveau du dôme méristématique (ou de la cellule apicale). Selon que cette division entraîne la formation de deux axes ou plus, on parle respectivement de dichotomie ou de *polytomie*. Les embranchements peuvent être de taille égale (*isotonie*) ou non (*anisotonie*). C'est un mode de ramification archaïque qui se rencontre chez les bryophytes et les ptéridophytes, il est très rare chez les Angiospermes et les Gymnospermes.

Les ramifications latérales d'une tige sont dues au développement de ses bourgeons axillaires qui forment de nouveaux axes à une certaine distance du sommet. Ces rameaux latéraux peuvent former des rameaux de second ordre, qui à leur tour pourront en porter du troisième ordre, etc. C'est le mode de ramification le plus répandu chez les végétaux vasculaires.

Il en existe deux variantes :

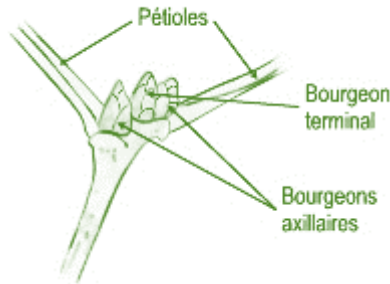
- ✚ Dans les ramifications *monopodiales*, l'axe porteur grandit continuellement à partir de son bourgeon terminal (croissance indéfinie du méristème apical). Chaque axe est issu d'un unique méristème. On retrouve ce mode de ramification dans les inflorescences indéfinies de type grappe, c'est le cas par exemple chez le Cerisier ou le Hêtre.
- ✚ Dans les ramifications *sympodiales*, le bourgeon terminal de l'axe porteur ralentit ou arrête sa croissance (avortement du méristème apical ou différenciation en vrille, inflorescence ou fleur...). Un ou plusieurs bourgeons axillaires prennent le relai pour édifier autant de rameaux latéraux. Selon que l'on obtient un, deux ou plusieurs nouveaux axes, on parle respectivement de *sympode*, *monochasial*, *dichasial* (gui, lilas), ou *polychasial*. Chaque segment d'un axe est issu d'un méristème différent. On retrouve ce mode de ramification dans les inflorescences définies de type cyme. On distingue deux types de cymes suivant la disposition des feuilles sur les rameaux :

- Les cymes unipares apparaissent chez les plantes à feuilles alternes comme le Saule, le Tilleul ou le Noisetier ;

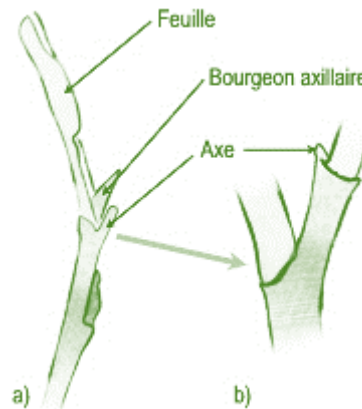
- Les cymes bipares sont spécifiques des plantes à feuilles opposées comme le Lilas.



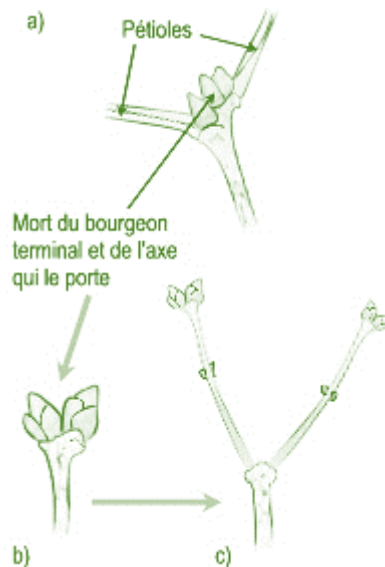
Ces deux modes de ramifications latérales ne sont pas exclusifs, certaines espèces peuvent être *monopodiales* jusqu'à la floraison, puis *sympodiales* (tomate).



**Figure .137 :** Ramification monopodiale ou en grappe chez le Cerisier : le bourgeon terminal qui persiste permettra l'allongement du rameau au printemps suivant



**Figure. 138 :** Cyme unipare chez le Saule rigide : a) le bourgeon axillaire supérieur hiverne et prendra la relève du bourgeon terminal dont l'axe persiste à côté de ce bourgeon axillaire ; b) la même extrémité de tige, au cours de l'été suivant : le bourgeon axillaire supérieur a produit un rameau à la base duquel se retrouve l'axe du bourgeon mort l'année précédente



**Figure 13.** Développement d'une cyme bipare de Lilas : a) le bourgeon terminal épuisé est mort, b) le même rameau après la chute des feuilles et c) un an plus tard, les deux bourgeons axillaires ont produit un rameau dont le bourgeon terminal est mort à son tour

#### Forme :

Les tiges présentent en général une section circulaire, Le contour peut être régulier mais également présenter un relief particulier. Dans certains cas, la tige peut être de forme très variée :

- Carrée
- Carrée concave
- Trigone concave
- Trigone convexe
- Cylindrique
- Aplatie ou elliptique
- Renflée ou noueuse
- Ailée
- Striée (marquée de lignes parallèles entre elles)
- Sillonnée (creusée de sillons longitudinaux)



- Cannelée (qui présente des côtes longitudinales régulières, séparées par des sillons)
- Côtelée (saillie parcourant longitudinalement la tige)

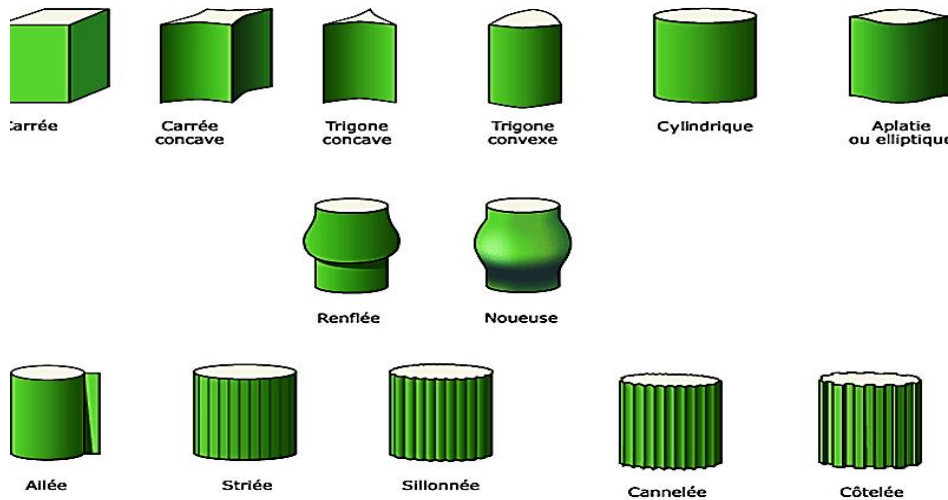


Figure. 139 : Différents types de section et de forme de

**Surface :**

Les caractères de la surface de la tige varient en fonction de l'âge de la tige ou du rameau et de la saison. La couleur est un caractère fort variable, difficile à utiliser. D'autres caractères, comme la pilosité et les excroissances diverses sont d'expression plus stables et peuvent plus facilement être utilisés pour la détermination de l'espèce. La surface des rameaux de nombreuses plantes ligneuses peut également être parsemée de lenticelles. La surface des tiges peut être :

- Glabre
- Pubescente
- Velue ou poilue
- Laineuse ou cotonneuse (couverte de longs poils mous comme de la laine)
- Epineuse
- Verruqueuse
- Glanduleuse
- Subéreuse (à crêtes liégeuses)

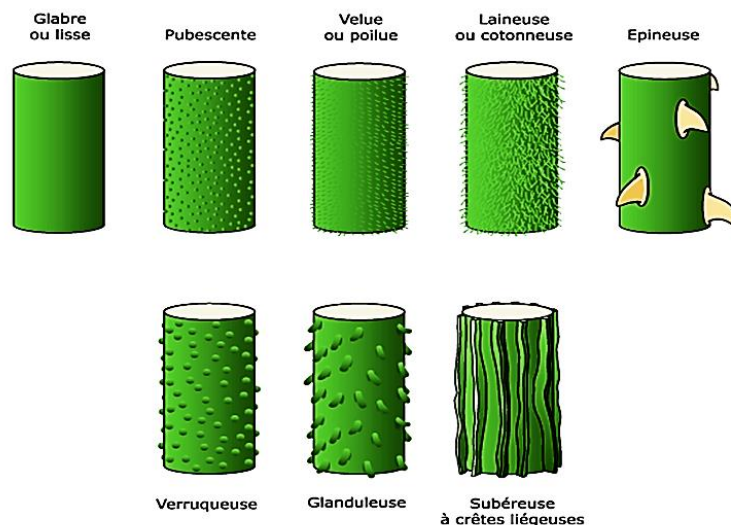


Figure. 140 : Différents types de surface de



## 2-2- Etude Comparative des Tiges :

Beaucoup de tiges sont aériennes mais il en existe qui sont souterraine et d'autres aquatiques. D'après leurs consistances, les tiges herbacées sont vertes et tendres, elles ne contiennent pas de tissu de soutien. Les tiges ligneuses sont rigides, car elles sont riches en tissus de soutien. Ex : tronc des arbres, chaume des *Poaceae*.

### 2-2-1- Les tiges aériennes :

Ce sont les plus fréquenter, depuis celles des herbes les plus modestes jusqu'à celles des arbres les plus élevées. Elles n'ont pas toutes le même port. On observe trois types de ports caractéristiques, permettant de différencier les plantes dressées, grimpantes ou rampantes :

#### A/- Tige dressées :

Elles sont caractérisées par une croissance verticale (*orthotrope*) pour l'axe principal et par une croissance oblique (*plagiotrope*) pour les ramifications. Comme leur nom l'indique, ce sont celles qui s'élèvent à peu près verticalement. Elles sont dites dressées. Certaines sont **herbacées** dont la croissance est limitée par l'absence de tissus de soutien, les autres sont **ligneuses** plus robustes, regroupant **arbres**, **arbustes** et **arbrisseaux**. Un vocabulaire précis peut être nécessaire pour désigner diverses tiges dressées. On appelle **tronc** les tiges dressées des grands arbres et des arbustes. Ils s'épaississent d'année en année. Leurs tiges latérales portent les noms de branches et de rameaux. **Ex** : Chêne; Sapin.

- ❖ Les troncs des Palmiers s'appellent des **stripes**. Ils ont une forme cylindrique, nom ramifié, se termine par un bouquet des feuilles. En fait, le **stripe** provient de l'empilement de la base des pétioles, ce n'est pas une vraie tige.
- ❖ Les tiges dressées des *Poaceae* ont reçu le nom de **chaumes**, elles sont creuses et dérivées en compartiments par des cloisons transversales. **Ex**: Maïs, Blé.

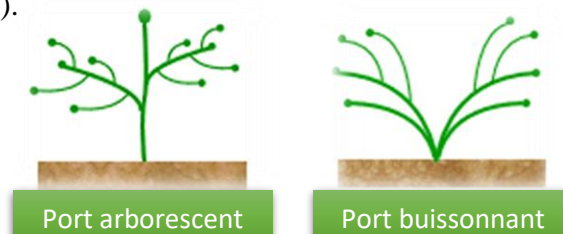
#### Les différents ports :

La position des rameaux sur la tige détermine le port de la plante. On distingue :

##### Le port arborescent :

- ✚ Port arborescent **Acrotonie** : Le tronc est formé par le bourgeon terminal.
- ✚ Port arborescent **Hypotonie** : Les bourgeons les plus gros sont dirigés vers le bas et donnent les plus longs rameaux.

Ce port concerne les arbres, arbustes, arbrisseaux et sous-arbrisseaux (petites plantes ligneuses comme le thym).



##### Le port buissonnant :

- ✚ **Basitonie** : Il y a développement de plusieurs bourgeons dès le collet (base de la tige).
- ✚ **Epitonie** : Les bourgeons les plus gros sont dirigés vers le haut.



Ce port concerne les buissons (ronces par exemple).

### Les herbacées :

Une plante herbacée (ou une herbacée) est un terme désignant au **XVIII<sup>e</sup>** siècle toutes les plantes « tendres, grêles, et qui ne sont point ligneuses », ou « jeunes tiges des plantes, lorsqu'elles sont encore tendres et succulentes »

### B/- Tige grimpantes :

Ce sont des tiges qui s'élèvent au-dessus du sol en s'aidant d'un support. Les plantes grimpantes présentent des adaptations morphologiques leur permettant de se fixer sur un support. Une liane est une plante grimpante herbacée ou ligneuse à la tige particulièrement souple qui utilise d'autres végétaux comme les arbres mais aussi d'autres supports verticaux, pour monter vers la canopée bénéficiant d'un meilleur ensoleillement. Les lianes constituent un des types biologiques transversaux de la classification de Raunkier (1904). Elles sont attachées à ce support de diverses manières :

- 1) Par des racines crampons, comme chez le Lierre.
- 2) Par des épines, comme chez les sinces ou des crochets, comme chez le Framboisier.
- 3) Par des vrilles, comme c'est le cas pour la vigne et certains liserons.
- 4) En s'envolant tout entières autour de leur support ce sont les tiges volubiles. Ex: le chèvrefeuille, certains liserons.

### C/- Tiges rampantes:

On appelle ainsi des tiges qui au lieu de s'élèver verticalement courent à la surface du sol et demeurent couchées. Ex : du chiendent qui forme le gazon de certaines pelouses. Au niveau des nœuds peuvent apparaître de racines adventives, et les bourgeons axillaires peuvent donner de nouvelles plantes qui ensuite se préparent de la plante mère par rupture du stolon c'est à dire de tige rampante ex : Fraisier et violette.



**Figure. 141 : Stolon** : tige rampant à la surface du sol et pouvant développer de nouvelles  
D/- Tiges aérienne modifiées :

### Les rameaux charnus des cactées :

Tige d'Opuntia, ou Figuier de barbarie, se compose d'une successions d'articles verts, épais et charnus, hérissées de soies piquantes (les raquettes). Malgré leur couleur vert, ces raquettes ne sont pas des feuilles parce qu'en Mai- Juin. Elles portent des fleurs jaunes puis des fruits. Ce sont des rameaux charnus. Comme ceux de nombreuses cactées (particuliers aux pays désertique).



### Les tiges-aiguillons:

Des plantes que nous trouvons surtout dans des milliers secs voient leurs tiges et leurs rameaux transformer en épines très acérées. Ce sont des tiges-aiguillons. C'est ce qui se produit, par exemple : chez certains Genêts comme le genêt à trois pointes qui se rattachent à la tige et portent des feuilles et des fleurs l'ensemble forme une tige aiguillon.

### Adaptations biologiques :

Certaines plantes, dites acaules, sont caractérisées par des entre-nœuds très courts. La plante semble dès lors dépourvue de tige et dotée uniquement d'une rosette de feuilles. C'est le cas du Pissenlit, de la Pâquerette...

Les plantes bisannuelles (dont le cycle reproductif s'étale sur deux années) présentent souvent la première année une telle rosette de feuilles et l'année suivante une tige florifère classique comme chez la Carotte, l'Onagre, la Molène...



Figure. 142 : Rosette de feuilles de

### 2-2- Les tiges souterraines :

Les tiges souterraines ont souvent l'aspect extérieur de racines mais la structure interne est bien celle d'une tige. Elles sont caractérisées par la présence de nœuds et par leur rôle d'organes de réserves. On distingue :

#### a/ Les rhizomes:

Ce sont des tiges souterraines allongées horizontalement, ramifiées et généralement volumineuses, car elles accumulent des réserves. Les rhizomes caractérisés par la présence de bourgeons, qui donnent naissance à des tiges aériennes ; ils portent également des écailles et des racines adventives. De ces tiges partent vers le bas des racines adventives et vers le haut, soit directement des feuilles, soit des tiges dressées qui portent des feuilles et fleurs. Les parties aériennes disparaissent généralement pendant la mauvaise saison. **Ex:** l'Iris, Arum et Asperges. On les rencontre souvent chez les monocotylédones (comme le Muguet), moins chez les dicotylédones (comme la Menthe).

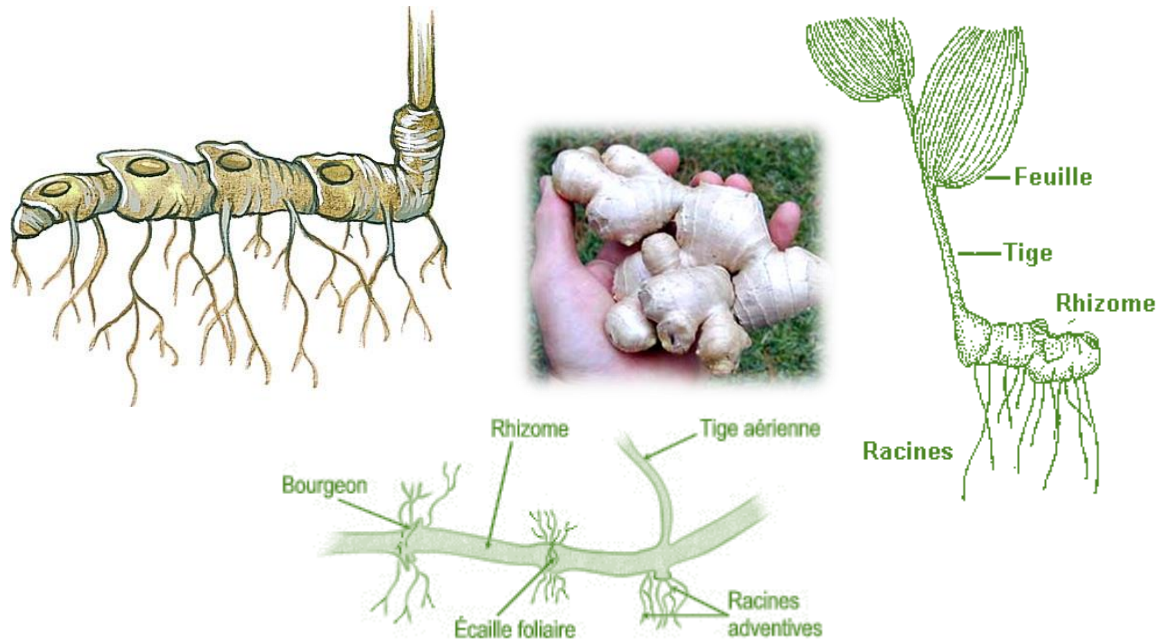
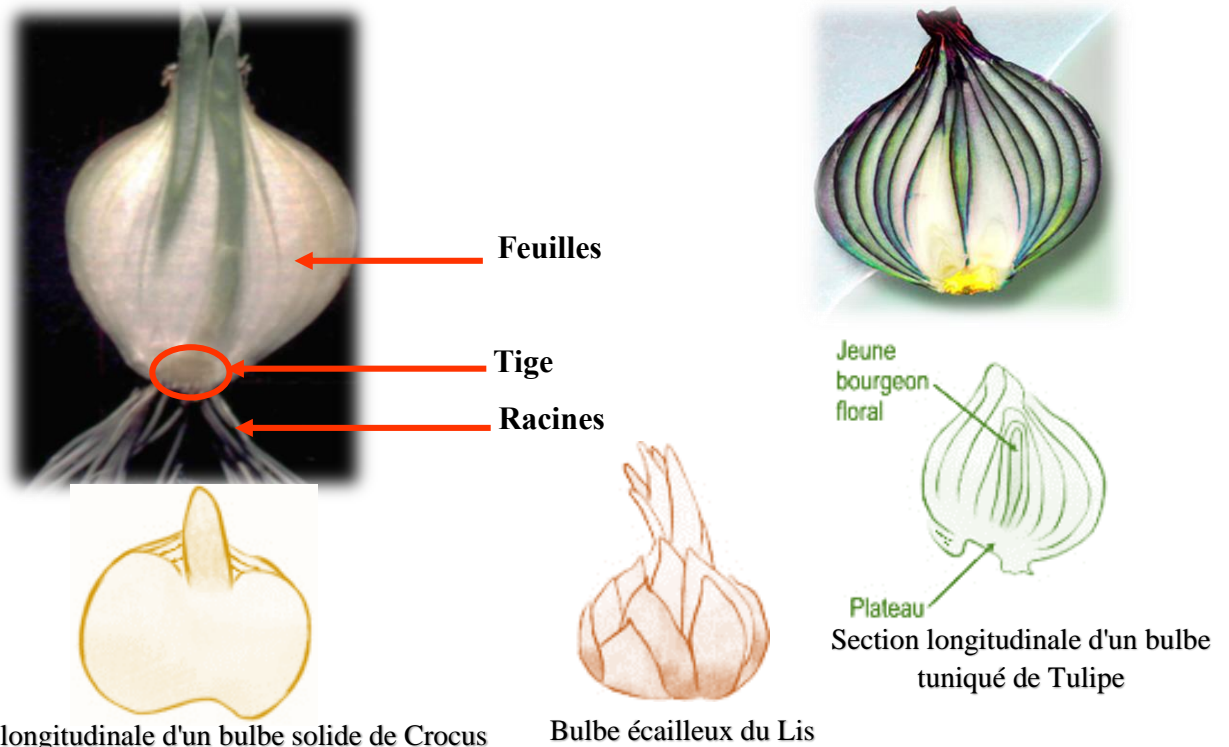


Figure. 143 : Rhizome de menthe

### b/ Les bulbes:

Ce sont de tiges souterraines courtes et charnues (renflées), qui portent des écailles très serrées, imbriquées, charnues elles aussi. Ces écailles sont des organes de réserve et de protection. **Ex:** Oignon, Poireau, Ail, Glaïeul, Narcisse...

Les bulbes parmi lesquels on distingue les bulbes solides ou cornes comme chez le Crocus et les bulbes feuillés comprenant les bulbes écailleux comme chez le Lis et les bulbes tuniqués comme chez la Tulipe.



Section longitudinale d'un bulbe solide de Crocus

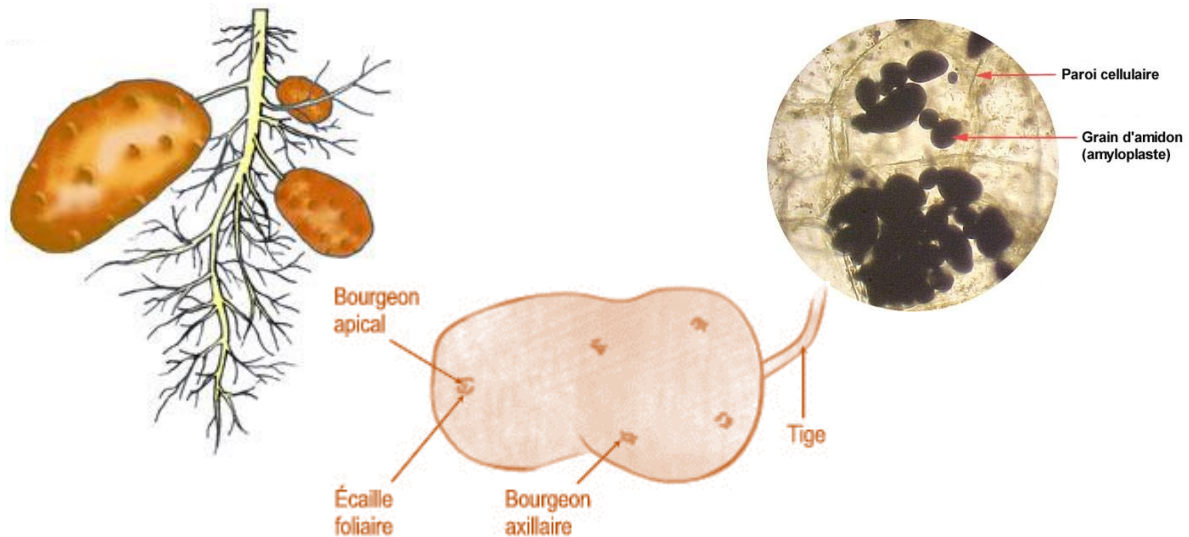
Bulbe écailleux du Lis

Figure. 144 : **Bulbe** : pousse souterraine formée de feuilles qui accumulent des réserves d'amidon.



### c/ Tubercules:

Les tiges tuberculeuses sont des portions d'organes hypertrophiées accumulant des substances de réserve. A leur surface, les bourgeons ou yeux attendant des conditions favorables pour devenir des rameaux. **Ex:** Pomme de terre, les tubercules permettent le stockage de l'amidon, Topinambour. Ils portent des bourgeons au niveau des écailles.



**Figure. 145 :** Tubercule de Pomme de terre

### 2-3- Les tiges aquatiques :

Les plantes aquatiques qui vivent dans l'eau douce telle que la renoncule, l'élodée et celle qui vivent dans l'eau de mer telles que la posidonie, présentent des tiges aquatiques. Notamment, il existe des plantes ayant une partie de leur tige aérienne et l'autre aquatique pour au moins une certaine période de l'année. **Ex :** Jonc, Roseau.

### 3-3- Intérêt agricole et horticole des connaissances sur la morphologie de la tige:

#### 3-1- Reproduction asexuée ou multiplication végétative des plantes:

Les plantes issues de la multiplication végétative ont le même génotype : elles perpétuent les caractères de la plante mère. Contrairement à la reproduction sexuée, il n'y a pas de brassage génétique. Les individus sont tous des clones, pour les plantes dioïques, tous les clones ont le même sexe.

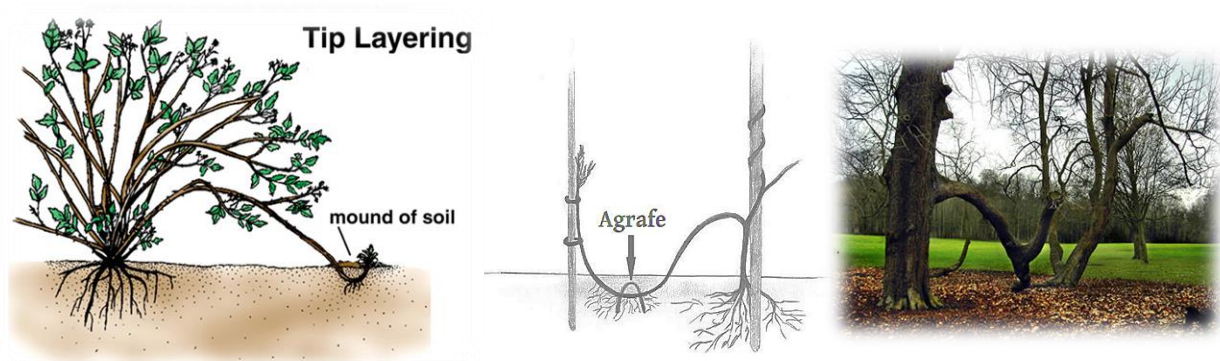
- A. Multiplication naturelle ou artificielle par des organes non spécialisés.
- B. Multiplication par des organes spécialisés.

#### A\ Multiplication par organes non spécialisés.

##### 1\ Marcottage naturel :

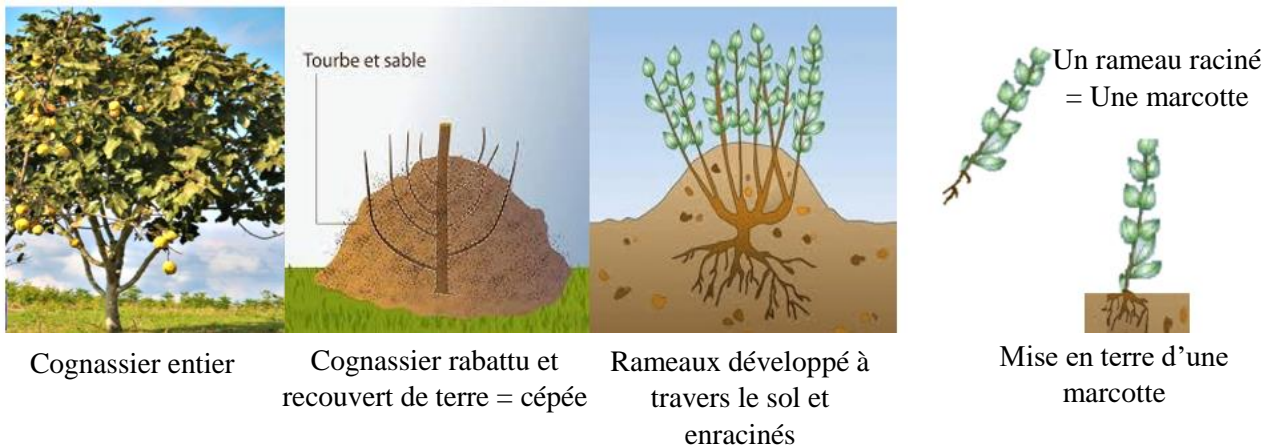
Exemple de la ronce (Rubus).

On a isolement d'une partie d'un végétal en enracinement. Une tige se courbe en anneau et entre en contact avec le sol : il y a formation de racines adventives qui fixent la tige au sol. Après la coupure, on a un nouvel individu, isolé, identique au pied mère.

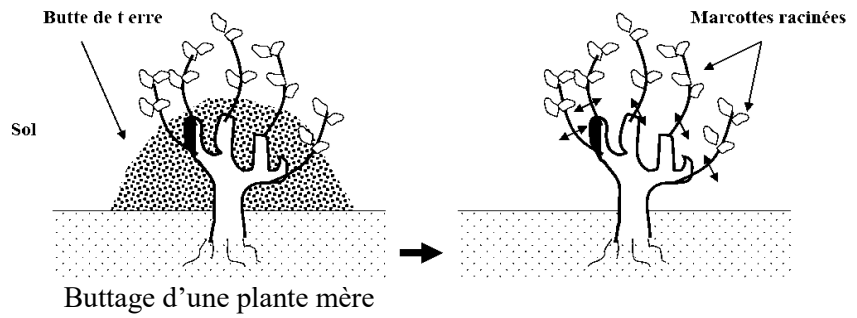
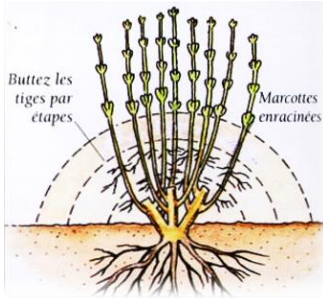


Sur des tiges recouvertes de terre, les blessures en tout simplement le contact avec la terre, fait surgir des bourgeons puis des rameaux qui s'enracinent d'eux-mêmes.

La multiplication des plantes (cognassier) par ce procédé est le " marcottage " artificiel

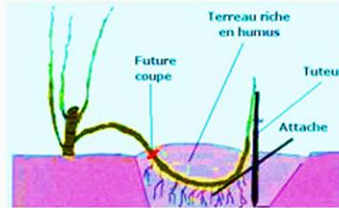


**Figure. 146 : Un Marcottage Artificiel**



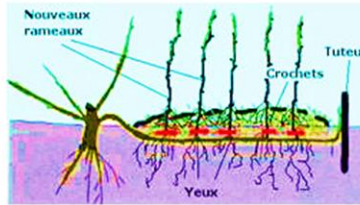
**a) Marcottage par couchage ou en archet :**

On courbe un rameau et on en terre au niveau de la courbe incisée longitudinalement et maintenue par un étrier.



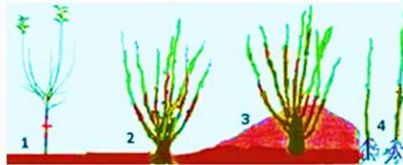
**b) Marcottage en pot, marcottage en l'air ou marcottage aérien :**

On place un cornet rempli de terre autour d'un rameau portant une incise annulaire.



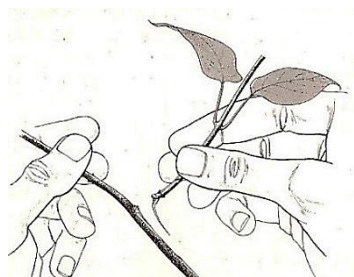
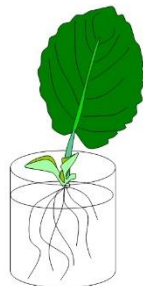
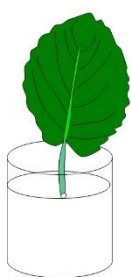
**c) Marcottage en cépée ou en butte :**

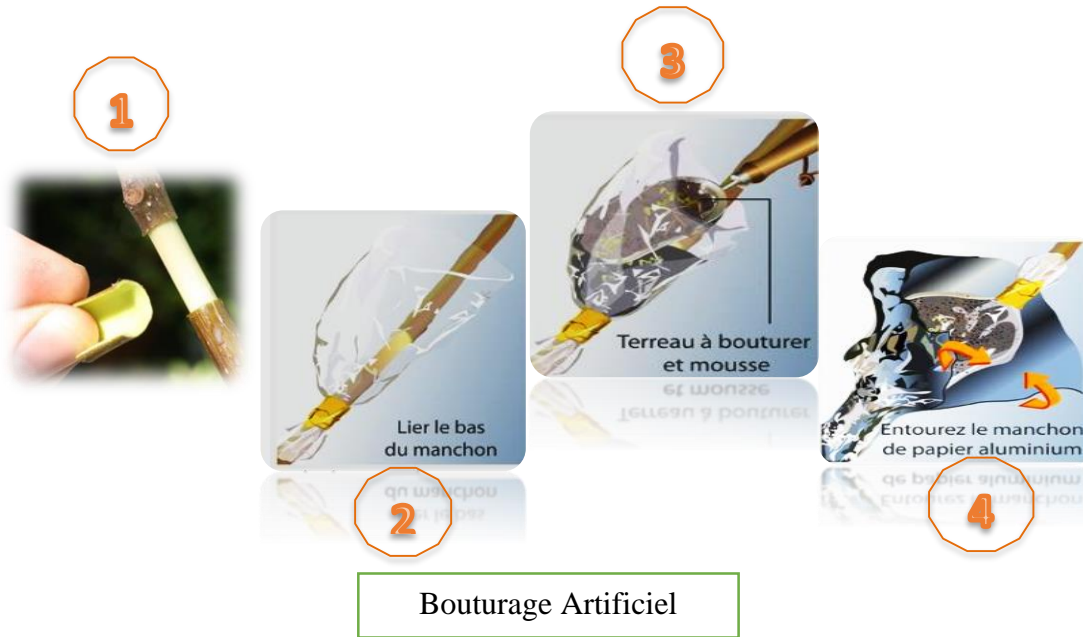
On butte le pied mère élagué et incisé transversalement pour freiner la sève.



**2\ Le bouturage :**

Le 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. Les racines se forment après séparation (naturelle) de la plante mère. La nouvelle plante est toujours un clone de la plante mère.





Des fragments de tige on bouture, mis en terre, engendrent des racines.

Les boutures sont naturelles, comme les tubercules de pommes de terre, ou artificielle comme les jeunes rameaux d'œillet, les branches de saule ou les segments de vigne que les pépiniéristes emploient pour multiplier ces plantes.



Prélèvement d'un rameau

Bouturage Artificiel *Ex* : Peuplier

### Comparaison entre bouture et greffage :

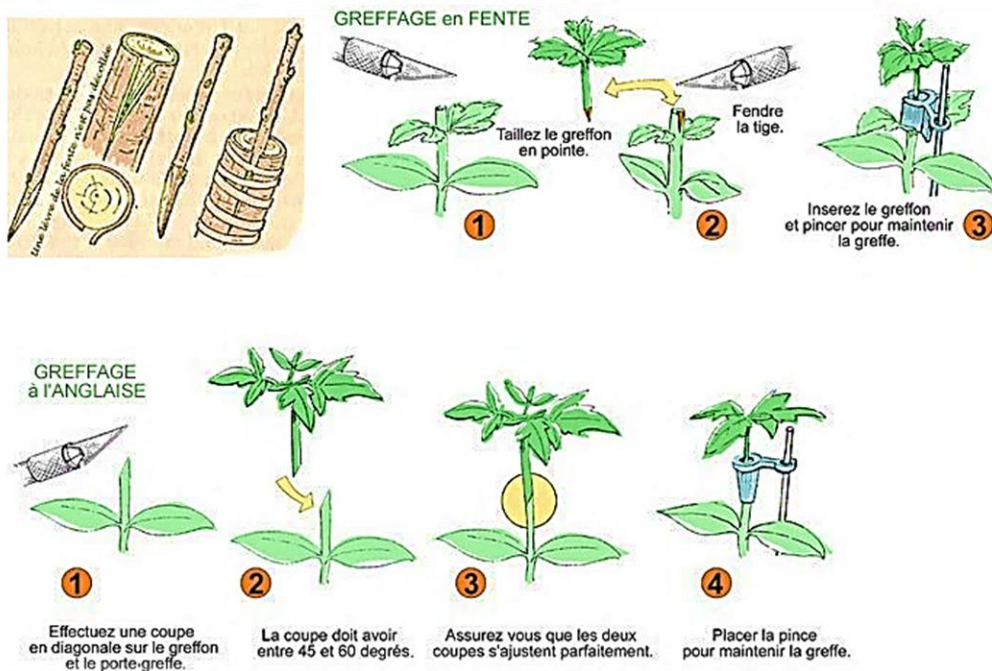
Le bouturage et le greffage permettent tous deux de reproduire une plante à l'identique à la différence du semis qui lui perpétue l'espèce mais en croisant le patrimoine génétique des parents dans leur descendance (donc en donnant un phénotype distinct).

Le bouturage est plutôt utilisé par les amateurs car il est beaucoup plus simple à réaliser que le greffage et ne nécessite aucun matériel particulier. Son seul inconvénient est d'être



souvent plus lent à produire des fruits ou des fleurs. De plus, certaines variétés ne se bouturent pas du tout ou très difficilement.

Les **pépiniéristes** privilégient plutôt le greffage. Celui-ci nécessite de bonnes compétences technique et un peu de matériel (greffoir, **porte-greffe**) mais il permet de produire en masse et rapidement des plants de qualité et adapté au besoin des clients. De plus, le greffage permet d'économiser le matériel végétal. Pour faire une bouture, on utilise un rameau de 20 cm, qui si cela réussit, permet d'obtenir un plant. En greffant, à partir de ce même rameau de 20 cm, on peut prélever 4 à 5 yeux environ, donc possibilité avec le même rameau de faire 4 à 5 plants au lieu d'un seul, ce qui est appréciable lorsque la variété qu'on souhaite multiplier n'est disponible qu'en petite quantité.



## B\ Multiplication par organes spécialisés.

### 1\ Les stolons.

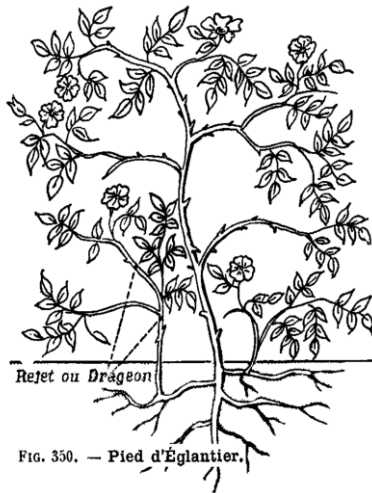
Les stolons sont des rameaux spécialisés, à croissance horizontale dont les entre-nœuds sont fortement étirés et portent des feuilles très courtes, réduites à des écailles. Les stolons permettent l'exploration du milieu puis la prise de racine a lieu plus loin.





## 2\ Les racines drageonnant (ou drageons).

Ce sont des racines généralement horizontales sur lesquelles apparaissent les bourgeons.  
Exemples : églantier, peuplier.



Le peuplier



La «force» des drageons

**A)** Les tiges herbacées, encore simple, peuvent être courbées sans se casser. Il est donc facile d'imposer une forme ou une direction artificielle aux jeunes arbres fruitiers ou d'ornement, forme ou direction qu'ils conservent après lignification.

**B)** L'arboriculteur taille ses jeunes arbres pour leur donner une forme facilitant les opérations culturales : travail du sol, traitements antiparasitaires, récolte. Il supprime l'extrémité des tiges ce qui limite leur allongement et provoque le développement de ramifications issues des bourgeons axillaires.

**C)** Les arbres âgés peuvent être régénérés : *l'émondage*, *l'élagage* (suppression de grosses branches mortes ou trop basses qui peuvent nuire à la croissance de l'arbre) et *le recépage* (suppression du tronc) font apparaître des bourgeons adventifs qui évoluent en rameaux, forment des nouvelles branches ou un nouveau tronc.

### 3-Ornementation :

a) Des espèces sont naturellement ornementales du fait :

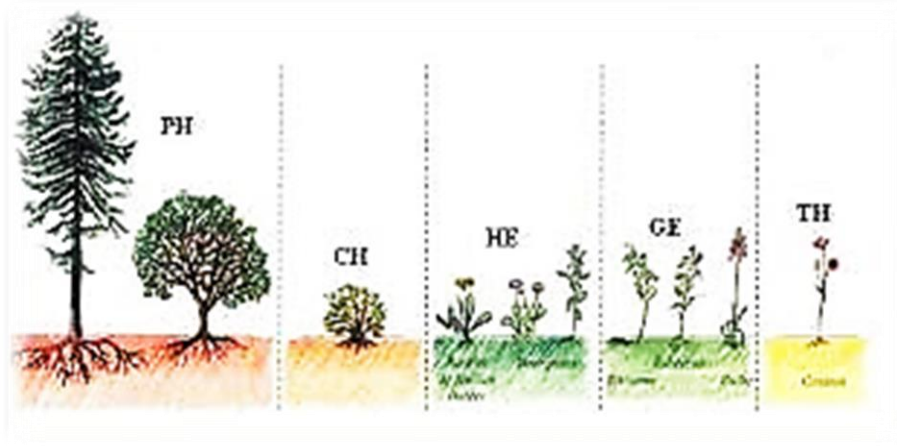
- ✚ De leur port naturel : sapin, cyprès, cèdre, pin parasol, peuplier.
- ✚ De leurs tiges grimpantes : lierre, vigne vierge, bougainvillée, de leurs tiges retombantes.
- ✚ De leurs tiges retombantes : seule pleureur, tradescantia (misère).

b) Les arbres d'ornement subissent une taille de formation qui leur donne une silhouette décorative (fuseau, boule, parasol).

### 4- Exploitation des prairies :

Le fauchage des prairies provoque à la base des plantes, la naissance et la croissance de bourgeon qui augmenteront la densité de l'herbe.

La tige est l'organe des végétaux qui porte des feuilles. Elle soutient aussi les fleurs et les fruits.



**Figure. 147 : Classification biologique des tiges**

Les végétaux ne sont pas tous adaptés de la même manière au passage de l'hiver. C. Raunkiaer était un botaniste scandinave qui proposa une classification des types biologiques pour les végétaux, en grande partie fondée sur le mode de protection de leurs bourgeons face au froid et à l'enneigement. À défaut d'être cohérente, voire utilisable, cette classification existe et de nombreux ouvrages ou auteurs y font référence.

1. **Phanérophyte**, les feuilles tombent ou non et les zones les plus sensibles (méristèmes) sont protégées par des structures temporaires de résistance : les bourgeons. Arbres ou des arbustes dont les bourgeons se trouvent en hiver très au-dessus de la couche de neige (cela valait pour la Scandinavie), c'est-à-dire à plus de 25 à 40 cm au-dessus du sol et qui assurent la protection de leurs bourgeons contre le froid en les entourant dans des enveloppes.
2. **Chaméphyte (chamaephyte)**, les feuilles tombent ou non, les bourgeons les plus bas bénéficient de la protection de la neige (NMN : niveau moyen de la neige). Arbustes de moins de 50 cm de hauteur et censés se retrouver, en hiver, sous la couche de neige protectrice... Les bourgeons des chaméphytes sont aussi protégés par des enveloppes (sans doute pour les années où il ne neige pas ou s'ils sont bretons !).
3. **Cryptophyte (géophyte)**, ces plantes passent la période froide protégées par le sol, la partie aérienne meurt. 3a : c. à bulbe. 3b : c. à rhizome. 3c : c. à tubercule. Les bourgeons sont souterrains (plantes dont les tiges souterraines sont des rhizomes, des tubercules ou des bulbes).
4. **Thérophyte**, (plantes annuelles) ces plantes passent l'hiver à l'état de graine, l'ensemble de la plante meurt. Plantes annuelles qui survivent à l'hiver sous forme de graines. Aucune précision n'est apportée, par exemple, sur la dépense énergétique que consent une plante à la production de graines, certaines en fabriquant des centaines, voire des milliers, d'autres quelques-unes seulement.
5. **Hémicryptophyte**, stratégie mixte qui combine celle des géophytes et des chaméphytes. Les bourgeons, au ras du sol, sont enfouis dans des rosettes de feuilles (pissenlits, plantains, iris, etc.). Il convient d'ajouter qu'il existe aussi
  - ✚ **Hydrophytes** ou plantes aquatiques,
  - ✚ **Hélophytes** ou plantes herbacées amphibies, essentiellement des ceintures autour des étangs, des marais, des tourbières ou des rives des cours d'eau,
  - ✚ **Epiphytes** ou plantes vivant sur d'autres plantes,



### 3- Etude Morphologique Des Feuilles :

Les feuilles sont des expansions latérales de la tige à laquelle elle se fixent au niveau des nœuds. A leur aisselle, se trouvent un ou plusieurs bourgeons latéraux ou axillaires. De morphologie très variée, elles peuvent avoir une base foliaire, un pétiole et un limbe parcouru de nervure.

#### 3-1- La Base Foliaire :

C'est la partie élargie de la base du pétiole. Elle porte généralement deux appendices le stipule. La base Foliaire peut être très réduites on s'élargir pour former une gaine essentiellement chez les Monocotylédones qui entourent la tige. Quand la gaine est très développée comme chez les *Poaceae* ex : *Avoine* on dit que la feuille est engainante. Les graines de certaines *Poaceae* se prolongent au-dessus du point d'insertion du Limbe, forment des ligules.

#### 3-2- Le Pétioles :

C'est la partie de l'axe foliaire qui relie le limbe à la tige et ne porte pas d'appendices.

- ✚ Si le pétiole est absent, la feuilles est dite *sessile* ex : *Le souci*.
- ✚ Si le limbe alors embrasse la tige comme c'est le cas chez *la laitue*, on dit qu'il est *amplexicaule*.
- ✚ Nous pouvons aussi distinguer des feuilles *peltées*, où le pétiole vient de s'attacher au centre du limbe ex : *la capucine*.

#### 3-3- Le Limbe :

C'est la surface verte parcourue par des nervures. Il a la forme d'une lame aplatie, sa symétrie est bilatérale (*symétrie par rapport à un plan*). En considérant la forme du limbe, nous pouvons distinguer des feuilles simples et des feuilles composées.

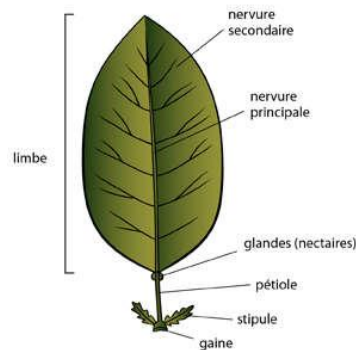


Figure. 148 : Morphologie d'une feuille

#### 3-1- Classification des feuilles

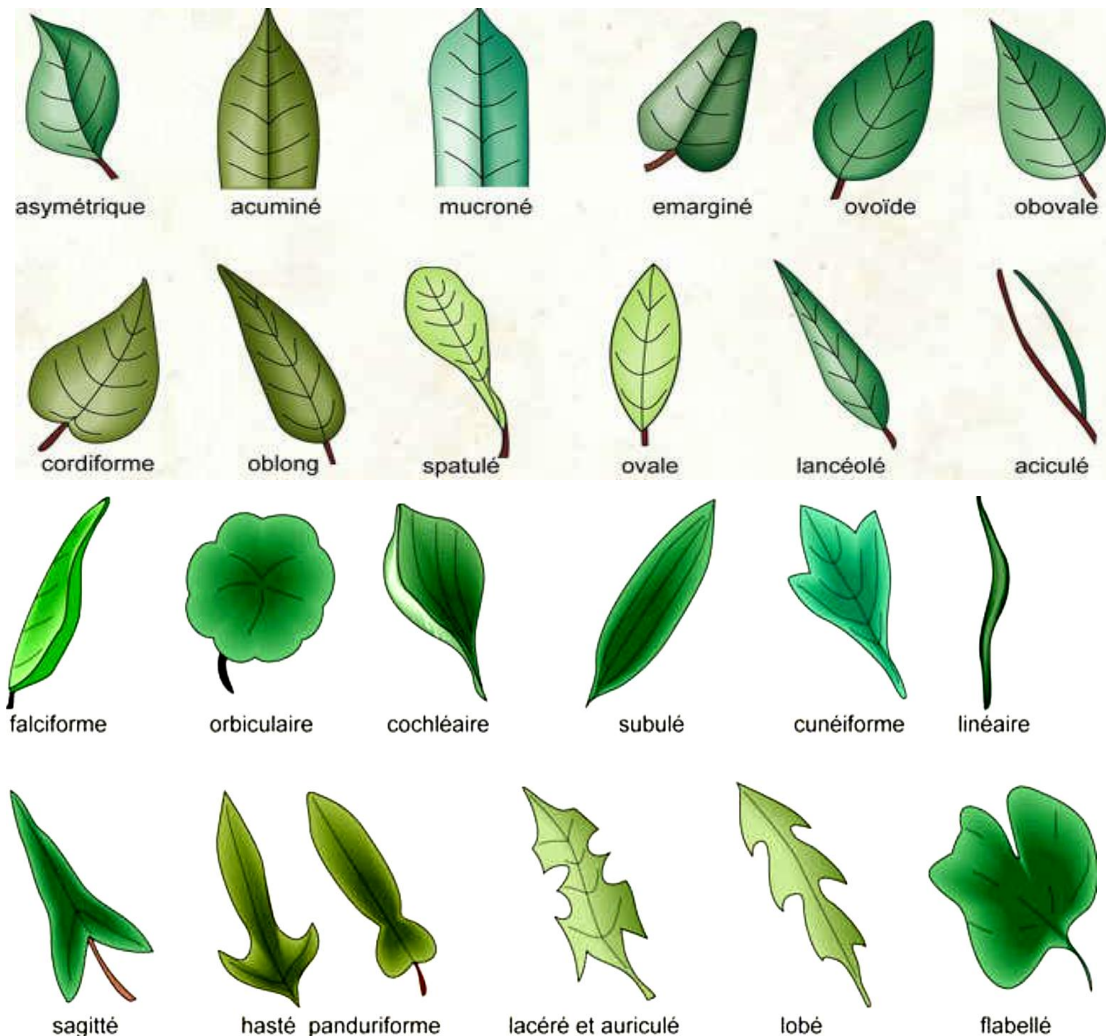
##### 3-1-1- Forme de limbe :

##### 3-3-1-1- Les feuilles simples :

Sont celles dont le limbe est d'une seule pièce, mais il peut néanmoins présenter sur son bord des dentelures ou des découpures plus au moins profondes. Parmi les feuilles simples nous trouvons :



- a) **Les feuilles entières** : *Le lilas, le laurier, buis... etc* ont un limbe uni et lisse sur ses bords.
- b) **Les feuilles dentées** : Comme celles du châtaignier, le limbe est garni de petites dents aiguës. Parfois (*le chêne vert, houx...ect.*) ces dents sont terminées par de véritables épines.
- c) **Les feuilles crénelées** : Sont les dents ont un bord monsse arrondi **ex** : *Morelle*.
- d) **Les feuilles hastées** : Comme celle de l'*Arum*, qui ont seulement deux lobes vers la base, ce qui les fait rassembler à un fer de la lance.
- e) **Les feuilles lobées** : Dont les découpures arrondis sont largement festonnées si les lobes sont placés symétriquement par rapport à l'axe longitudinal de la feuille, celle-ci est pennatilobées **ex** : *Chêne blanc*. S'ils convergent vers le point d'attache du pétiole, elle est palmatilobées (*Erable, Lierre*)
- f) **Les feuilles découpées** : Dont le limbe présente des échancrures parfois très profonds. Si les échancrures n'atteignent pas la nervure centrale, ou dit que les feuilles sont *partites*, si elles atteignent la nervure, elles sont *séquées* **ex** : *Granium*. Si les découpures sont disposées de part et d'autre de la nervure centrale, les feuilles seront *pennatipartites* ou *pennatiséquées* **ex** : *Fumeterre*. Si les découpures convergent vers le point d'attache du pétiole elles seront *palmatipartites* ou *palmatiséquées*.



**Figure. 149** : Différentes formes d'un limbe

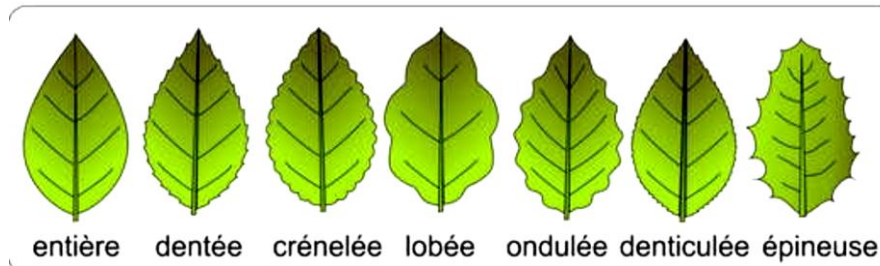


Figure. 150 : Différentes forme du bord de limbe

### 3-3-1-2 Les feuilles Composées :

Sont celles dont le limbe est formé d'un certain nombre de pièces ressemblent à de petites feuilles et que l'on appelle folioles. Le nombre et la disposition de ces pièces sur la nervure principale varie. On peut distinguer :

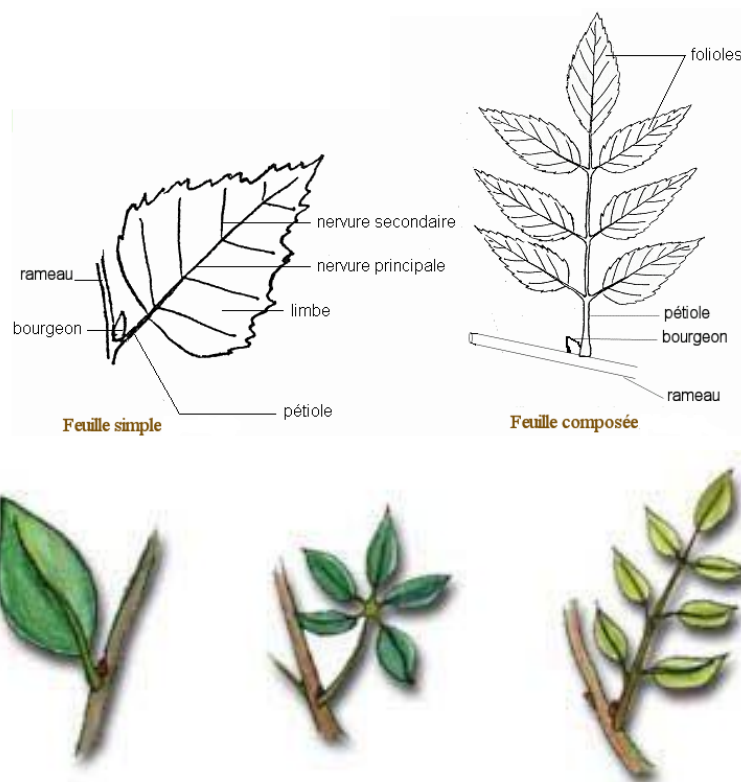


Figure. 151 : Morphologie d'une feuille simple et composée

a) - Les feuilles composées pennées : ex : *Gesse, Robinier, vesce...ect*, dont les folioles sont placées de part et l'autre de la nervure centrale. Elles sont **paripennées** si le nombre de folioles est pair, et **imparipennées** si une foliole impaire est située à l'extrémité de la nervure.

b) -Feuille doublement composée, bipennée si les folioles sont composées de foliolules, et tripennée si les folioles sont elles-mêmes composées

c) - Les feuilles composées palmées : ex : *Trèfle, Lupin...ect*, dont les folioles se rattachent toutes en un même point, à l'extrémité du pétiole, les folioles peuvent partir du même point

➤ Feuille composée trifoliées s'il y a trois folioles



- Feuille composée pédalée : feuille d'aspect palmé dont les segments latéraux sont le plus souvent plus petits et divergent vers le bas.

Les feuilles des Angiospermes peuvent aussi subir des modifications variées pour assurer certaines fonctions particulières. Le primordium foliaire peut se différencier en vrilles ou en épines.

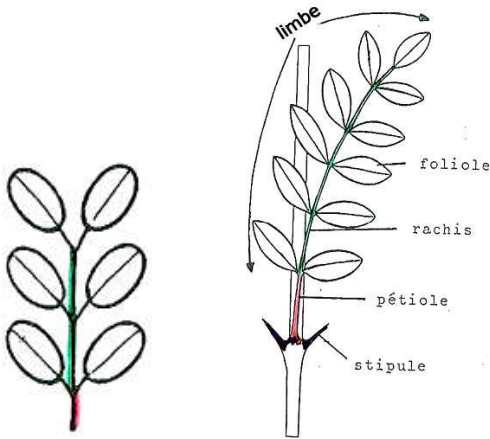


Figure. 152 : Feuille composée paripennée

Figure. 153 : Feuille composée imparipennée



Figure. 154 : Feuille composée bipennée

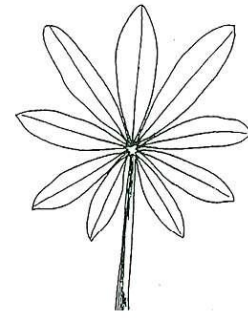


Figure. 155 : Feuille composée palmée

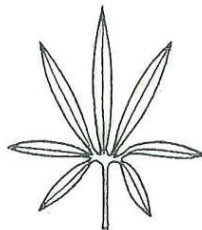


Figure. 156 : Feuille composées pédalée

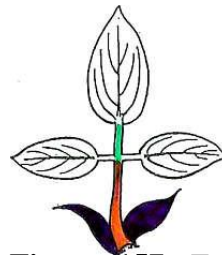


Figure. 157 : Feuille composée trifoliées

### 3-3- Cas particuliers :

Ils existent quelques plantes dont les feuilles ne peuvent être classées dans les groupes précédents. D'ailleurs, très souvent, on ne peut savoir qu'il s'agit des feuilles modifiées qu'après avoir étudié leur formation et leur structure interne.

**a) - Les Aiguilles :** Chez le *pin* et certaines autres plantes, les feuilles sont très longues, s'effilées, presque réduites à leur nervure centrale.

**b) - Les épines :** Chez certaines *Genêts*, une partie des feuilles est transformée en épines parfois très acérées.

**c) - Les écailles imbriquées :** Les *Cyprès*, les *Thuyas* sont des feuilles en aiguilles très courtes, étroitement appliquées contre la tige qu'elles recouvrent. On dit qu'elles sont imbriquées.

**d) - Les vrilles :** Nous avons déjà indiqué que certaines plantes grimpantes sont reliées à leur support par des vrilles, longs filaments qui s'enroulent. Ces vrilles peuvent correspondre à des feuilles, c'est ce que nous trouvons chez une *Gesse* qui présente deux expansions situées à la



base de la vrille ressemblent à des feuilles, ce sont deux stipules très développées. Les feuilles composées d'autres espèces de *Gesse* et de *Vesce* soient leurs dernières folioles transformées en vrilles.

e) - **Les feuilles charnues** : Les *Joubarbes* ont leurs feuilles gonflées de suc. Nous pouvons aussi classer dans les feuilles charnues les écailles des bulbes.

f) - **Les feuilles coriaces ou bractées** : Les écailles brunâtres nous retrouvons à la base des bourgeons, celles qui protègent certaines inflorescences, certaines fleurs et certains fruits, sont aussi, des feuilles profondément modifiées.

g) - **Les Cladodes** : Chez *le petit-houx*, nous remarquons que des éléments qui paraissent être des feuilles portent aussi des fleurs et des fruits. Ils jouent donc le rôle de pédoncules floraux. On leur a donné le nom particulier de Cladodes.

## 2- 4- Les Nervures :

Lorsqu'on fait la description d'une feuille, on doit aussi préciser la disposition des nervures secondaires, les feuilles sont :

2- 4-1 - A nervation pennée lorsque les nervures secondaires sont régulièrement disposées de part et d'autres de la nervures centrale **Ex** : *Orme, Laurier, Chêne*.

2- 4- 2- A nervation palmé lorsque les nervures secondaires partent toutes point d'arrivée du pétiole dans le limbe. **Ex** : *Vigne, Lierre*.

2-4-3- A nervation parallèle quand les nervures secondaires sont disposées parallèlement à la nervure centrale. **Ex** : *Avoine*, et généralement toutes les *Monocotylédones*.

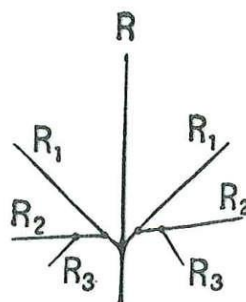
2- 4- 4- a nervation unique lorsqu'il n'existe plus que la nervure centrale. **Ex** : *Pin*.



**Figure. 158 :**  
Nervation palmée



**Figure. 160 :** Feuille  
de nervation palmée



**Figure. 161 :**  
Nervation pédalée



**Figure. 162 :** Feuille  
de nervation pédalée



**Figure. 163 :** Feuille  
de nervation parallèle



**Figure. 164 :** Feuille  
uninerve



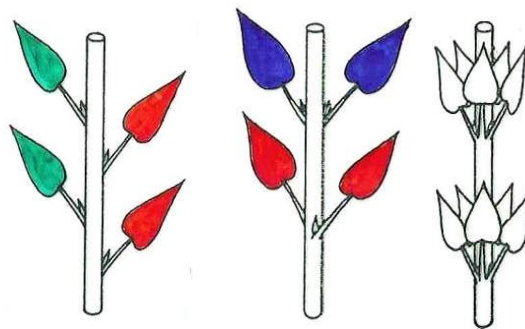
## 2- 5- Disposition des feuilles sur les Tiges ou sur les rameaux secondaires ou Phyllotaxie :

La disposition des feuilles sur les tiges se fait de manières différentes d'un végétal à un autre. Au point de vue de l'insertion des feuilles, on distingue :

**2-5-1-** Les feuilles alternes sont isolées, il y en a une à chaque nœud. **Ex :** *l'Orme*.

**2-5-2-** Les feuilles opposées. Il y a deux feuilles diamétralement opposées à chaque nœud. C'est ce que nous voyons chez *l'olivier*.

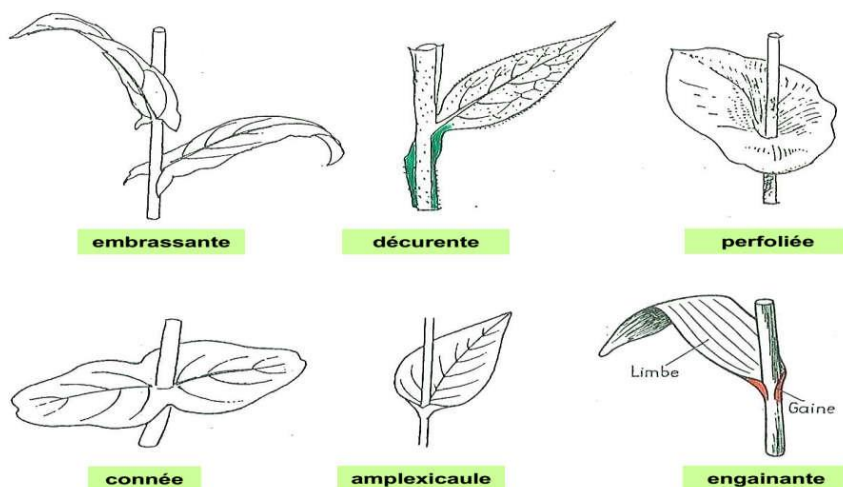
**2-5-3-** Les feuilles verticillées, chaque nœud porte un nombre plus au moins grand de feuilles disposées en couronne dans un même plan. Nous trouvons cette disposition chez le *Laurier-rose* par exemple qui a des feuilles verticillées par trois.



**Figure. 165 :** Différentes dispositions des feuilles sur une plante (alterne, opposée, verticillée)

## 3-1-2- Pétiole :

Partie rétrécie de la feuille qui unit le limbe à la tige. A sa base se trouve parfois des stipules. Le pétiole est parcouru par les tissus conducteurs qui irriguent le limbe au niveau des nervures. Les feuilles dépourvues de pétioles sont dites sessiles. Lorsque le pétiole est élargi jusqu'à remplacer la feuille dans sa fonction on parle de phyllode. Le pétiole peut être élargi à sa base pour former une gaine.



**Figure .166 :** Mode d'insertion des feuilles sur la tige



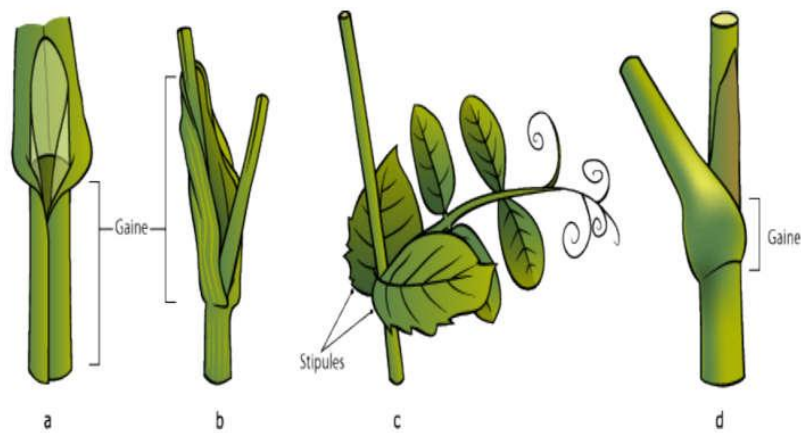
### 3-2- Parties accessoires des feuilles :

#### 3-2-1-Stipules :

Appendice foliacé, au nombre de deux, en forme de feuilles réduites situées de part et d'autre du pétiole, à sa base, au point d'insertion sur la tige.

#### 3-2-2/ Gaine

Chez certaines espèces, la gaine unit le limbe ou le pétiole à la tige. Elle constitue la partie basale élargie de la feuille qui entoure plus ou moins complètement la tige sur une longueur variable. Elle prend différentes formes suivant les espèces. Chez les ombellifères, elle est particulièrement importante. Dans d'autres cas, elle est absente et le pétiole s'insère directement sur la tige.

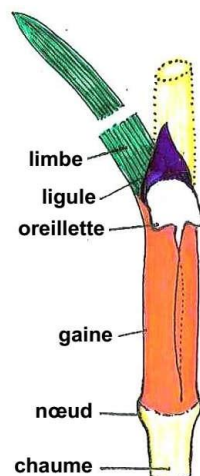


a. gaine de poacées - b. gaine d'apiacées - c. stipules de fabacées (gaine non visible) - d. gaine de polygonacées

**Figure. 167 :** Exemples de gaines

**3-2-3- Ochréa :** gaine membraneuse formée par les stipules soudées et entourant la tige au-dessus de l'insertion du pétiole.

**3-2-4/ Ligule :** sorte de petite languette membraneuse à la face supérieure des graminées.



**Figure. 168 :** Accessoires d'une feuille



### 3- Intérêt Agricole et Horticole des connaissances sur la morphologie de la feuille :

#### -3- 1- Multiplication des Plantes :

Des feuilles de *Bégonia rex* ou de *Sainpaulia* dont on incise les nervures et que l'on applique sur du sable humide, émettent des racines et des pousses aériennes qui forment des plants de *bégonia rex* ou de *sainpaulia*.

#### **Bouturage du *bégonia rex* nervures incisées, feuille posée sur le sol**

Les feuilles de certaines plantes grasses détachées et posées sur le sol régénèrent, elles aussi, des plantes entières.

#### 3- 2- Ornementation :

La morphologie infiniment variée des feuilles leur vaut d'être recherchée pour l'ornementation. Aux très nombreuses formes et dimensions s'ajoutent les teintes que le feuillage peut offrir pour égayer les appartements, les jardins et les parcs.

Le caoutchouc (*Ficus*) est recherché pour le brillant et la simplicité de ses feuilles, le *philodendron* pour les découpures de ses limbes, le *phalangium* pour ses panachures, le prunier à feuilles pourpres (*Purnis pissandi*) pour sa teinte sombre, les *asparagus* pour leur finesse...etc.

#### 3- 3- Reconnaissances des espèces et des variétés :

Les détails morphologiques des feuilles permettent les reconnaissances des espèces:

- ✚ De céréales en herbe (*blé, avoine, orge*)
- ✚ De *Poaceae* fourragères (*dactyle, féтуque, ray gras...*)
- ✚ D'arbres fruitiers (*pommier, poirier, cerisier, pêcher...*)
- ✚ De bien d'autres plantes cultivées.

La distinction peut être poussée jusqu'aux variétés d'une même espèce dans le cas des betteraves par exemple (*sucrières, fourragères*).

#### 3- 4- Alimentation et thérapeutique :

Beaucoup de végétaux sont consommés pour l'intérêt alimentaire que leurs feuilles apportent soit la *laitue* par exemple et *épinards*. D'autres utilisés en traitement médical tels que *l'eucalyptus*, le *Romarin*, la *Menthe*...etc.

### Conclusion

Une feuille est généralement une lame verte, fixée latéralement sur une tige, au niveau d'un nœud. A son aisselle se développe un bourgeon.



## 4- Fleur

Une fleur est un ensemble des organes assurant la reproduction des Angiospermes. Une fleur est constituée d'un axe prenant naissance à l'aisselle d'une feuille. La partie inférieure de cet axe représente le **pédoncule** de la fleur dont l'extrémité plus ou moins renflée constitue le **réceptacle** floral à la base duquel peut s'insérer une bractée. Sur ce réceptacle sont insérées les différentes pièces florales. Une fleur peut être **hermaphrodite** et contenir à la fois organes mâles (**étamines**) et femelles (**carpelles**), ou seulement mâles ou femelles (**fleur unisexuée ; fleur mâle ou femelle**). Une plante est **dioïque**, si chaque individu ne porte que des fleurs mâles ou femelles, la plante est **monoïque**, si chaque individu porte à la fois des fleurs mâles et femelles.

De l'extérieur vers l'intérieur d'une fleur hermaphrodite, on distingue généralement quatre types de pièces florales souvent regroupés en verticilles sur le réceptacle floral :

✚ Deux ensembles de pièces stériles ou enveloppes florales formant le **péricarpe** :

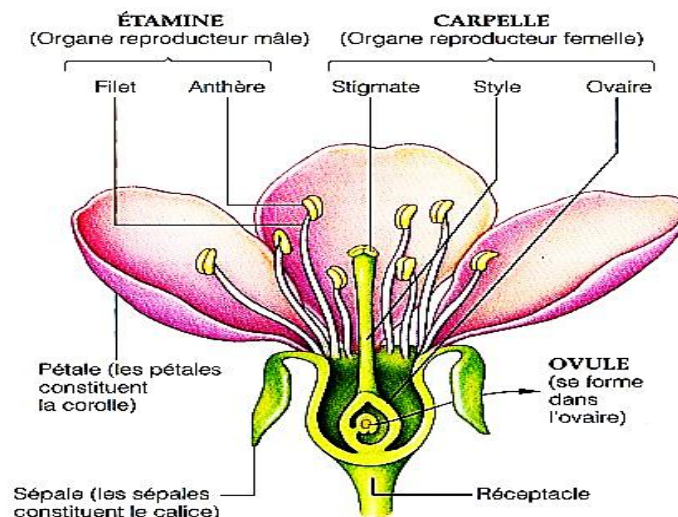
**A/ Calice** constitué de sépales généralement chlorophylliens, destinés à protéger la fleur ;

**B/ Corolle** constitué de pétales généralement vivement colorés dont le rôle est d'attirer les animaux pollinisateurs qui sont pour la plupart des insectes. Chez les dicotylédones, certaines fleurs sont dépourvues de pétales (apétales), d'autres sont à pétales séparés (dialypétales) et d'autres enfin à pétales soudés entre eux (gamopétales).

Deux ensembles de pièces fertiles directement impliqués dans les phénomènes de reproduction.

**A/ Androcée** constitué par l'ensemble des étamines ;

**B/ Gynécée** ou pistil constitué par l'ensemble des carpelles libres ou soudés entre eux, au centre de la fleur.



**Figure. 169** Coupe longitudinale d'une fleur hermaphrodite

### 4-1- Péricarpe :

Ensemble des enveloppes florales : calice+corolle, qui forme la partie stérile de la fleur. Les caractéristiques du péricarpe sont souvent en rapport étroit avec le type de pollinisation. Chez les plantes anémophiles, les pièces péricarpaires, lorsqu'elles existent, sont souvent



réduites, ne gênant pas le transport du pollen vers les organes reproducteurs de la fleur. Chez les plantes entomophiles, les fleurs ont des pièces périnthaires plus grandes, de couleur vive avec souvent un parfum attractif.

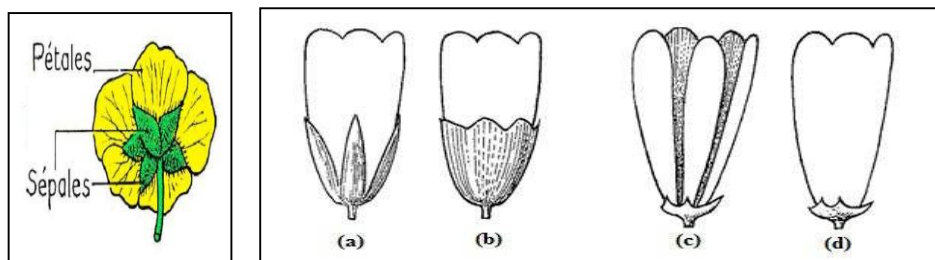
Lorsque les pièces périnthaires ne sont pas différenciées en pétales et sépales, on les nomme tépales (quand les sépales et les pétales sont de forme et de coloration identiques). Le périnthe peut être persistant ou caduc, accrescent (se dit d'une partie de la fleur qui continue sa croissance après la fécondation) ou non. Le nombre des pièces périnthaires (fleurs trimères, tétramères, pentamères ou polymère), leurs formes, leurs relations (libres ou soudées), leur symétrie (par rapport à un axe ou un plan), sont autant de caractères utilisés en systématique.

#### 4-1-1- Calice :

Enveloppe extérieure de la fleur, généralement de couleur verte, recouvrant le plus souvent la base de la corolle et constitué par l'ensemble des sépales. Ces derniers peuvent être libres jusqu'à la base (calice dialysépale) ou plus ou moins soudés entre eux (calice gamosépale). Dans certaines fleurs, le calice est coloré comme les pétales, on parle alors de sépales pétaloïdes ou de tépales.

#### 4-1-1 Corolle

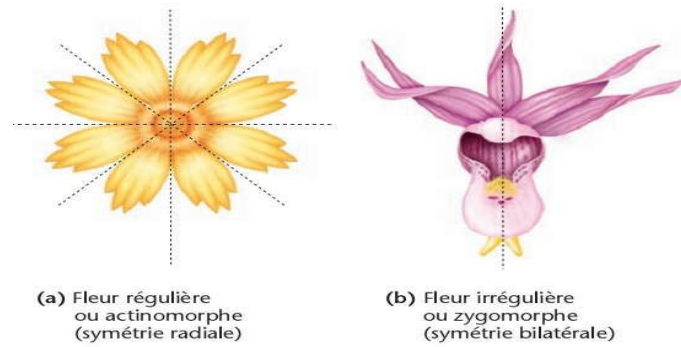
Ensemble formé par les pétales d'une fleur. Généralement colorée, non chlorophyllienne. La corolle a pour fonction d'attirer les insectes pollinisateurs. Elle est persistante ou caduc. Les pétales peuvent être libres (**corolle dialypétale**) ou plus ou moins soudés entre eux (**calice gamopétale**).



**Figure. 170** : Soudures des pièces des périnthées ((a) dialysépale, (b) gamosépale, (c) dialypétale, (d) gamopétale).

Ainsi pour des variations au niveau du périnthe on distingue aussi :

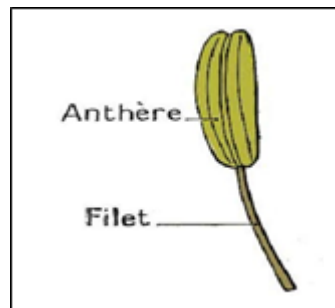
- ✚ **Fleur actinomorphe**, quand elle est régulière c'est-à-dire quand elle présente une symétrie radiale (par rapport à un axe).
- ✚ **Fleur zygomorphe**, quand elle est irrégulière et présente un plan de symétrie (par rapport à un plan).
- ✚ **Fleur asymétrique**, quand elle est dépourvue de tout plan de symétrie.



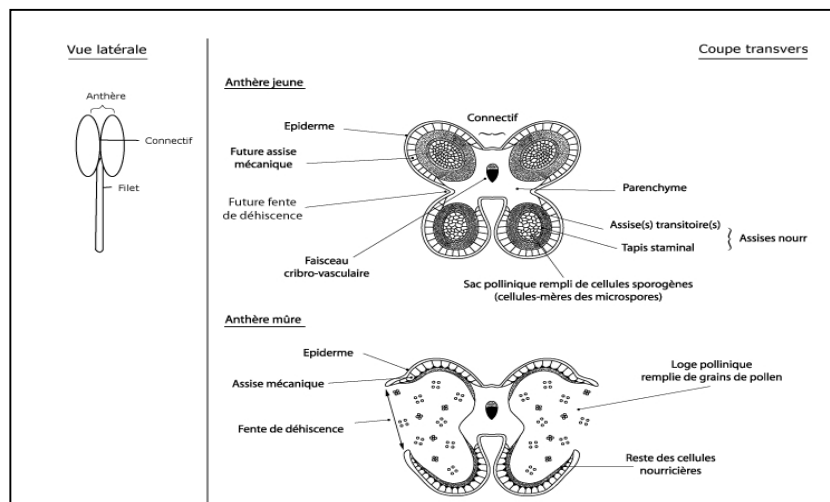
**Figure 171 :** Symétrie des fleurs ((a) actinomorphe, (b) zygomorphe)

#### 4-1 Pièces reproductrices 4-2-1- Androcées

Ensemble des étamines, constituant la partie mâle d'une fleur d'Angiospermes. L'étamine est considérée comme l'organe mâle d'une fleur, porté par le réceptacle floral et placé entre la corolle et le pistil. Une étamine est généralement formée d'une partie allongée et grêle appelée **filet** terminé par une partie renflée appelée anthère. Celle-ci est le lieu de production des grains de pollen (gamétophyte mâle), dans des cavités appelées sacs polliniques (microsporanges), généralement au nombre de quatre, souvent fusionnées en deux loges séparées par un connectif. Les étamines dont l'ensemble constitue l'**androcée**, peuvent être libres jusqu'à la base ou plus ou moins soudées entre elles ou aux autres parties de la fleur (pétales, pistil). Les fleurs qui n'ont que des étamines sans pistil sont appelées fleurs staminées. A maturité l'anthère s'ouvre et laisse échapper le pollen, qui permet la fécondation



**Figure. 172 :** Structure d'une étamine.

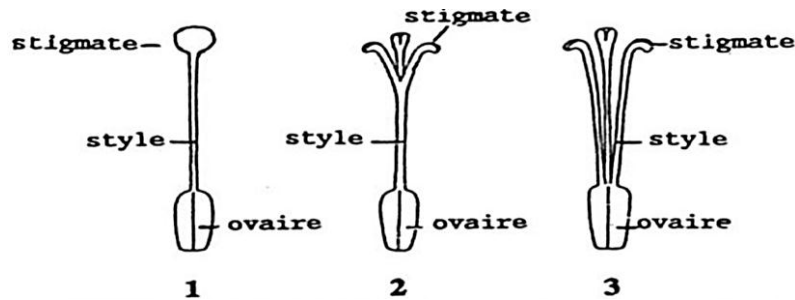


**Figure. 173 :** Coupe transversale d'une anthère jeune et mûre



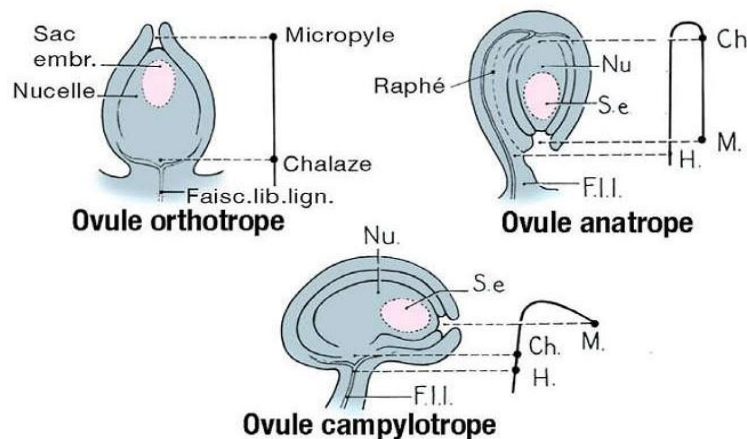
#### 4-2-2 Gynécée

Ensemble des carpelles constituant la partie femelle d'une fleur, ordinairement situés au centre de celle-ci en spirales ou en verticille. Un carpelle est composé de trois parties ; ovaire, style (colonne reliant l'ovaire aux stigmates) et stigmate (situé à l'extrémité du style, adaptée à la réception des graines de pollen). Les carpelles peuvent être libres entre eux (gynécée dialycarpe ou apocarpe) ou soudées (gynécée gamocarpe ou syncarpe). Dans le premier cas et à la base du gynécée, se trouvent les ovaires, dans le deuxième cas, un ovaire composé formé par la réunion des ovaires de chaque carpelle. Les fleurs n'ayant que le gynécée et pas d'étamines, sont dites fleurs pistillées ou fleurs femelles.



**Figure. 174 :** Différents types de carpelles (1) ovaires styles et stigmates soudés (2) ovaires et styles soudés (3) ovaires soudés, styles et stigmates libres.

L'ovaire d'une fleur est la partie basale, creuse et renflée du pistil (ou gynécée), correspondant à un ou plusieurs carpelles et renfermant un ou plusieurs ovules. Après fécondation et maturation, les ovules se transforment en graines et l'ovaire en fruit. On distingue trois types principaux d'ovules chez les Angiospermes, selon leur orientation par rapport à leur point d'insertion sur le carpelle : ovules orthotropes (droits), ovules campylotropes (courbés) ou ovules anatropes (renversés).



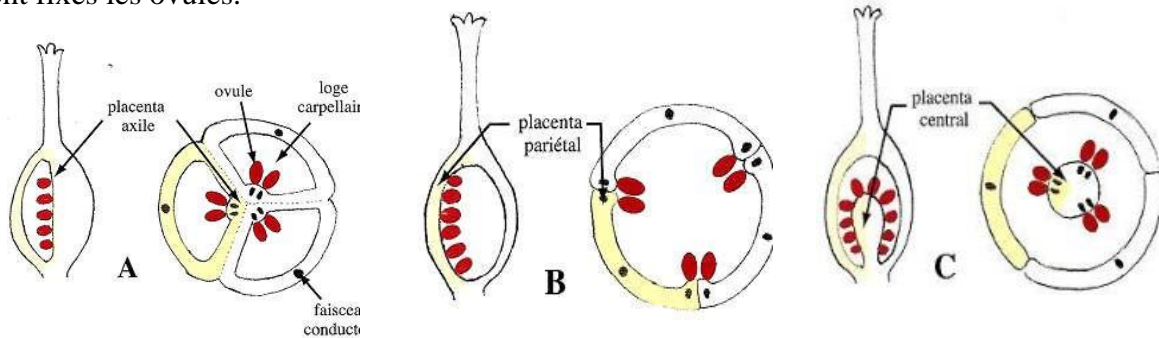
**Figure. 175 :** Différents types des ovules

**La placentation** définit la position des ovules à l'intérieur de l'ovaire. Celle-ci est très variable. Il est possible de les regrouper en trois grands types, il s'agit de :

- ✚ **Placentation axile** : les ovules sont fixés au centre d'un ovaire formé de plusieurs loges
- ✚ **Placentation pariétale** : les ovules sont insérés sur la paroi périphérique d'un ovaire non compartimenté.



**Placentation centrale** : dans un ovaire uniloculaire provenant de la soudure de plusieurs carpelles fermés dont les cloisons se sont résorbées seule reste une colonne centrale sur laquelle sont fixés les ovules.



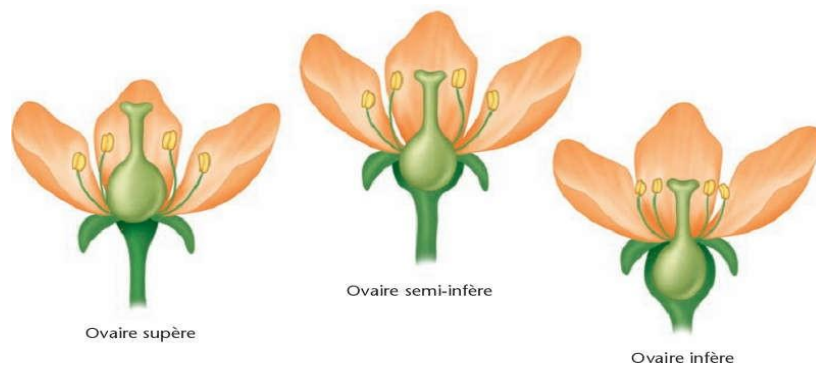
**Figure. 176** : Différents types de placentation (A) placentation axile, (B) placentation pariétale, (C) placentation centrale.

La disposition des ovaires et des pièces florales montre trois cas :

**Hypogyne** : se dit d'une fleur dont les pièces florales (sépalés, pétales et étamines) sont insérés au-dessous de l'ovaire qui est dit supère.

**Épigyne** : se dit des organes (étamines, enveloppes florales) d'une fleur à ovaire infère, situés au-dessus du gynécée

**Pérygyne** : se dit d'une fleur dont les enveloppes florales et l'androcée sont insérés autour de l'ovaire semi-infère, libre au fond du réceptacle creux.



**Figure. 177** : Disposition des ovaires et pièces florales ; hypogyne (ovaire supère), épigyne (ovaire infère), pérygyne (ovaire semi infère)

#### 4-1 Inflorescence des fleurs :

C'est la disposition des fleurs sur la tige d'une plante à fleur, on distingue des **inflorescences définies** (axe principal qui se termine par une fleur) et **indéfinies** (axe principal se termine par un bourgeon et s'allonge), selon que l'axe principal de l'inflorescence est terminé par un bourgeon ou par une fleur. L'inflorescence est considérée comme un moyen d'attraction des pollinisateurs.

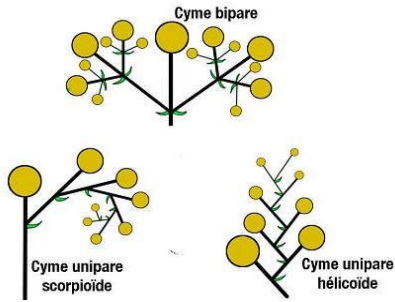


Figure. 178 : Exemples d'inflorescences définies

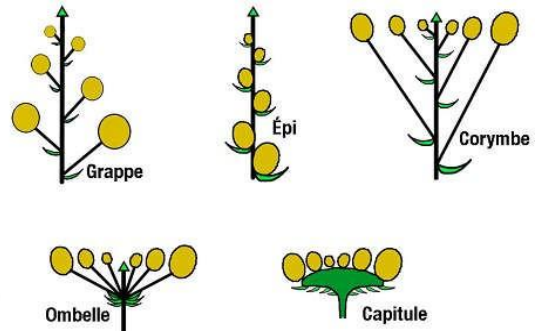


Figure. 179 : Exemples d'inflorescences indéfinies

Un type d'inflorescence particulier est celui en capitule dans lequel de petites fleurs sessiles sont insérées les unes à côté des autres sur un support commun ; le réceptacle élargi. On peut distinguer deux types de fleurs qui composent le capitule : fleurs tubulées (gamopétales actinomorphes) et fleurs ligulées (gamopétales zygomorphe). Il existe des capitules qui sont uniquement composés par les fleurs tubulées, d'autres composés uniquement par des fleurs ligulées ou bien des capitules composés à la fois par des fleurs tubulées (au centre) et ligulées (à la périphérie) (ex : tournesol et margueritte).

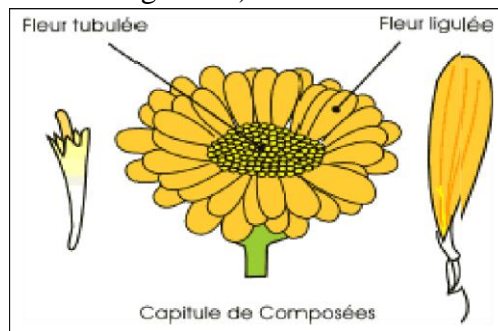


Figure. 180 : Exemple d'inflorescence en capitule

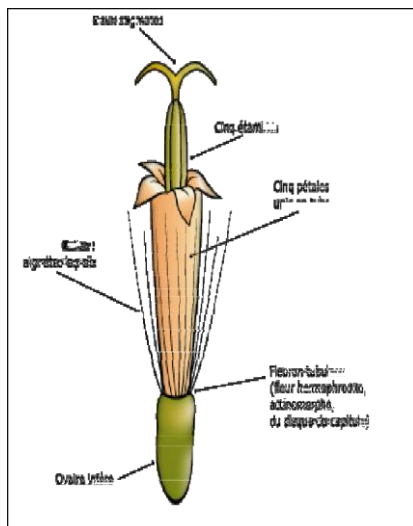


Figure 181 : Fleur tubulée

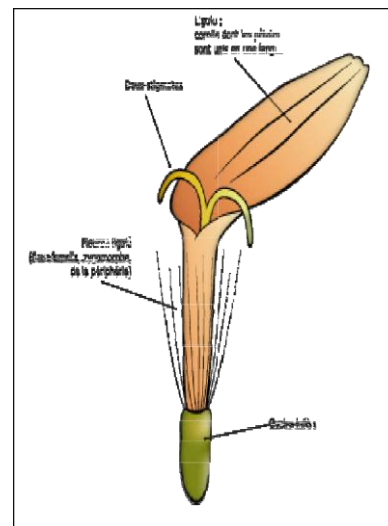


Figure 182 : Fleur ligulée



## 5- Fruit :

La pollinisation et la fécondation se réalisent lorsque la fleur est épanouie. Ensuite les ovules se transforment en graines et les parois de l'ovaire se transforment en fruit protégeant les graines. La croissance de l'ovaire, jusqu'à la réalisation d'un fruit, est attribuée à l'intervention des hormones de croissance, l'auxine et les gibbérellines. Parfois la transformation de l'ovaire en fruit peut avoir lieu en l'absence de pollinisation et de fécondation ; phénomène de parthénocarpe (formation d'un fruit en l'absence de fécondation des ovules, ce qui donnera donc un fruit dépourvu de graines, ex : bananes et oranges sans pépins). C'est essentiellement la paroi de l'ovaire qui est destinée à devenir la paroi du fruit ou péricarpe, ce dernier est formé essentiellement de :

- **Epicarpe** : correspondant à l'épiderme externe du fruit, très souvent extrêmement mince, appelée communément « peau de fruit ». Ex : épicarpe du raisin, de la pêche.
- **Mésocarpe** : couche moyenne (entre l'épicarpe et l'endocarpe) du péricarpe des fruits. Il est très développé chez les fruits charnus.
- **Endocarpe** : partie interne de l'enveloppe du fruit ou péricarpe, la plus proche de la graine. C'est cette partie qui constitue le noyau dans les drupes.

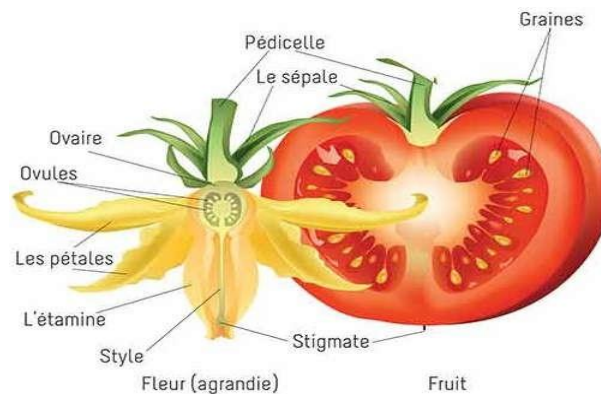


Figure 183 : transformation d'une fleur à un fruit

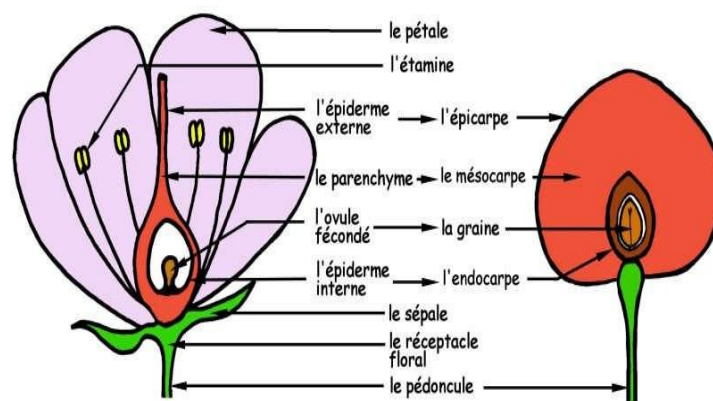


Figure 184 : Dessin explicatif de la transformation d'une fleur à un fruit

Outre la paroi de l'ovaire, d'autres parties de la fleur, voire de l'inflorescence, subissent une modification importante et participent à la constitution du fruit ; la complexité augmente avec la participation du réceptacle floral. Certains auteurs considèrent que dès qu'il y a

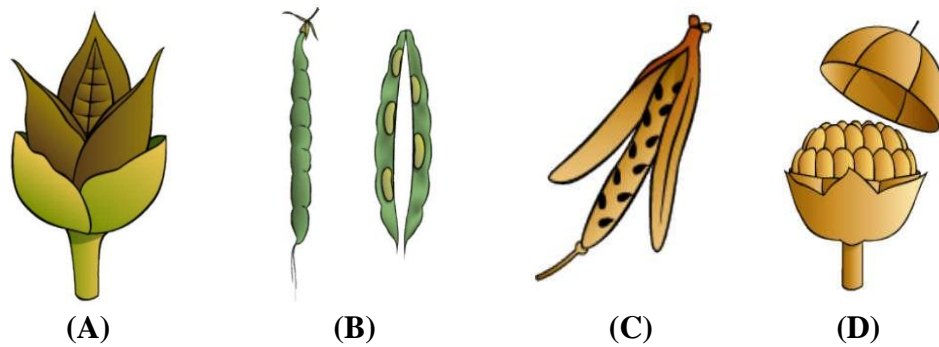


intervention, pour former le péricarpe, d'un élément autre que la paroi de l'ovaire, il faut parler de **faux-fruit** (ex. : pomme).

**5-1 - Vrai fruit** : Provenant uniquement de la croissance d'un ovaire ou d'un carpelle; c'est le cas de la plupart des plantes à ovaire supère (ex: cerise, orange, raisin...). On distingue selon la consistance du péricarpe, les **fruits charnus** et les **fruits secs**.

**5-1-1 - Fruit sec** : chez les fruits secs, le péricarpe se déshydrate et se lignifie, il devient dur. Certains fruits s'ouvrent à maturité et libèrent les graines. Ce sont des **fruits secs déhiscents**. On peut rencontrer :

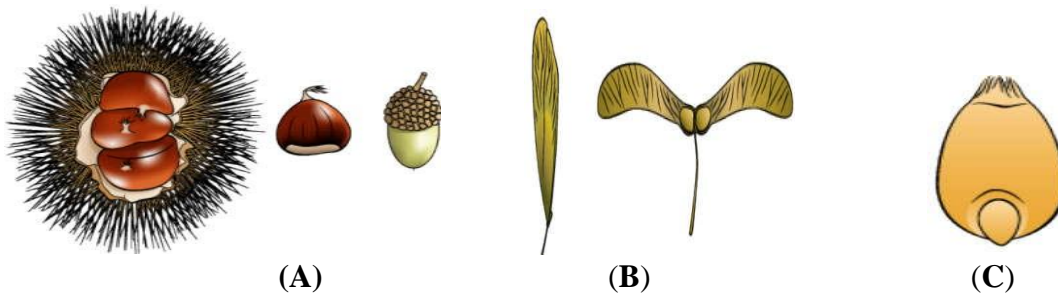
- **Follicule** : comprenant un carpelle et s'ouvrant selon une fente
- **Gousse** : à un carpelle et deux fentes
- **Silique** : à deux carpelles et quatre fentes
- **Capsule** : à plusieurs carpelles et nombreuses fentes et pores de déhiscences



**Figure. 185** : Exemples des fruits secs déhiscents ; (A) follicule, (B) gousse, (C) silique (D) capsule.

D'autres fruits secs restent fermés à maturité. Ce sont des **fruits secs indéhiscents**. Ils sont de trois types :

- **Akènes** : renfermant une seule graine libre
- **Samare** : qui est un akène ailé
- **Caryopse** : contenant une graine soudée au péricarpe sec. C'est le fruit caractéristique des cé réales.



**Figure. 186** : Exemples des fruits secs indéhiscents ; (A) akènes, (B) samare et disamare, (C) caryopse.



### 5-1-2 - Fruits charnus

Dans les fruits charnus, les parois du mésocarpe s'hypertrophient pour donner la pulpe. Deux types sont reconnaissables

\* **Bais** : fruit indéhiscent avec épicarpe et endocarpe membraneux et mésocarpe charnu ; la pulpe entièrement molle, renferme une bais monosperme ou généralement un nombre variable parfois élevé de graines ou de pépins (bais polysperme). Ex : raisin, tomate...etc.

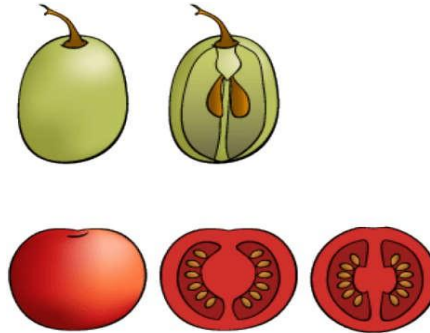


Figure. 187 : Exemple de fruit charnu (baie)

➤ **Drupe** : fruit indéhiscent avec épicarpe membraneux, le mésocarpe charnu et pulpeux tandis que l'endocarpe sclérifié constitue le noyau. Le contenu de ce dernier souvent appelé amande correspond à la graine. Ex : abricot, cerise, pêche...etc.

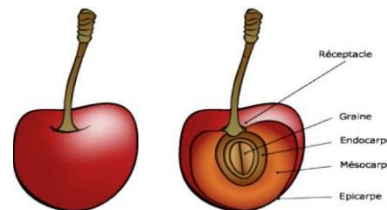


Figure. 188 : Exemple de fruit charnu (drupe)

**5-2- Faux fruit** : fruit complexe comprenant des structures autres que l'ovaire, souvent l'essentiel du faux fruit est constitué par le réceptacle floral (ex : fraise) ou du réceptacle d'inflorescence (ex : figue). Chez la fraise, le réceptacle floral se développe considérablement et produit la partie charnue principale du fruit, les akènes se sont transformés en akènes fixés sur ce volumineux réceptacle. Chez la pomme ou la poire, l'ovaire infère est soudé au réceptacle floral. Le fruit comprend un mésocarpe charnu provenant en partie du réceptacle hypertrophié et pour une autre part de la paroi externe des carpelles.

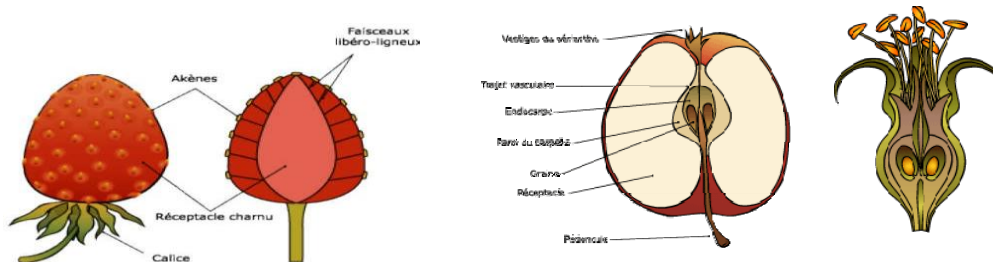
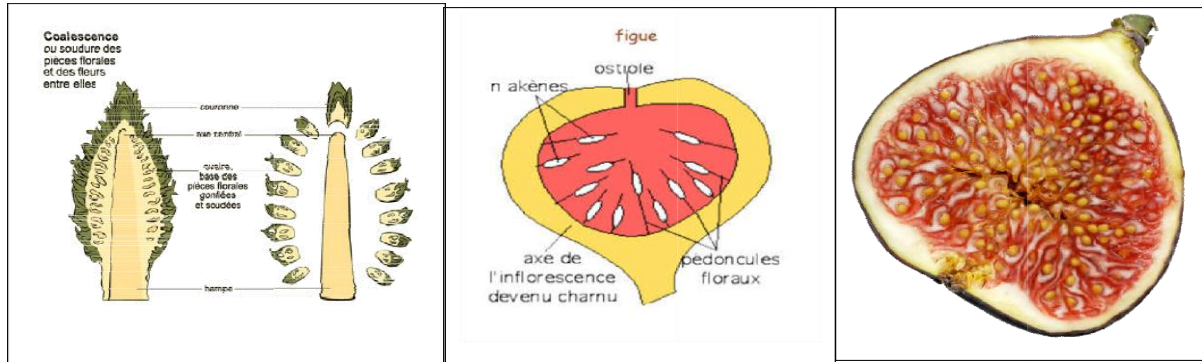


Figure. 189 : Exemples de faux-fruit (fraise et pomme)



### 5-3-Fruit composé :

C'est un fruit issu de plusieurs fleurs d'une même inflorescence. Il est formé par le développement de l'ovaire de chaque fleur, auquel peuvent s'ajouter le réceptacle floral, l'axe de l'inflorescence et les bractées florales. Ex : l'ananas où toute l'inflorescence (axe, bractée et ovaire) est charnue, ces différentes parties sont soudées les unes aux autres. Pour la figue ; l'axe de l'inflorescence devient charnu et se creuse en une outre à petite ouverture (ostiole), elle est tapissée par les multiples fleurs dont les ovaires deviennent des akènes à maturité.



**Figure. 190** : Exemple d'un fruit composé (**Ananas**) **Figure 113** : Exemple d'un fruit composé (**Figue**)

### 6- Graine :

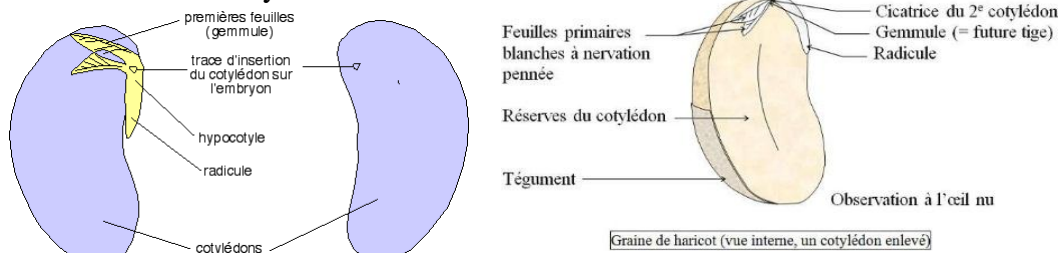
De manière générale, dès la reproduction sexuée chez les Angiospermes, l'ovaire subit de profondes modifications morphologiques qui aboutissent à la formation du fruit, tandis que les ovules deviennent des graines.

Les graines conservant la forme générale de l'ovule, mais leurs dimensions sont tout autres. Elles sont beaucoup plus grosses et contiennent :

1/ Embryon qui est une plantule pluricellulaire, différenciée en une radicule (première racine), une gemmule (bourgeon apical), une tigelle (première tige) et le ou les cotylédon (s) (premières feuilles assurant la nutrition de la plante).

2/ Téguments plus ou moins durs et coriaces qui résultent de la transformation des téguments de l'ovule. A leur surface, il est possible de reconnaître l'emplacement du hile (lieu de fixation de l'ovule dans le carpelle) et le micropyle (espace entre les téguments ovulaires permettant le passage du tube pollinique lors de la fécondation).

3/ Albumen est un tissu de réserve entourant l'embryon chez les Angiospermes et servant à nourrir l'embryon au début de son développement. Ce tissu provient de la fusion d'un des deux gamètes mâles avec deux noyaux centraux.



**Figure. 191** : Eléments d'une graine



En fonction des différents tissus de réserve on peut distinguer :

- **Graines à périsperme** : chez lesquelles le nucelle (un tissu végétal diploïde formant l'intérieur de l'ovule, et qui entoure le gamétophyte femelle) s'enrichit en totalité ou en partie de réserve. Les substances de réserve sont stockées dans un tissu appelé périsperme (reste du nucelle qui n'a pas été digéré et qui sert de réserve). Ces plantes possèdent également un endosperme, mais en quantité nettement moindre, et sont donc soutenues par l'endosperme ex : Betterave, Laitue, Quinoa, Poivre.

- **Graines albuminées** : où l'album en constitue le tissu de réserve. Dans ce cas les plantules sont minces et fines car noyées latéralement dans l'albumen qui s'est substitué au nucelle pendant le grossissement de la graine. Dans le cas de ces graines, les substances de réserve sont situées dans l'endosperme. Ces graines sont généralement idéales pour la germination et sont également largement consommées ou utilisées pour la production de divers produits.

Disparition du nucelle, cotylédons minces dans un albumen développé servant de réserve comme par exemple, les caryopses des céréales ex : Blé, Maïs, Riz (et les céréales en général), Ricin.

- **Graines exalbuminées** : où l'album en a été digéré. Les glucides ont migré vers les cotylédons pour former de l'amidon. Les cotylédons occupent tout l'espace entre les téguments. Ex : graines de pois, haricot sont des graines exalbuminées. L'endosperme de ce type de graine a été complètement absorbé par l'embryon et les substances de réserve sont stockées dans une structure de l'embryon.

Le nucelle a été digéré par l'albumen, qui sera digéré pour former l'embryon et les cotylédons qui renferment les matières de réserves, comme chez : Soja, Haricot, Tournesol, Lupin, Pois

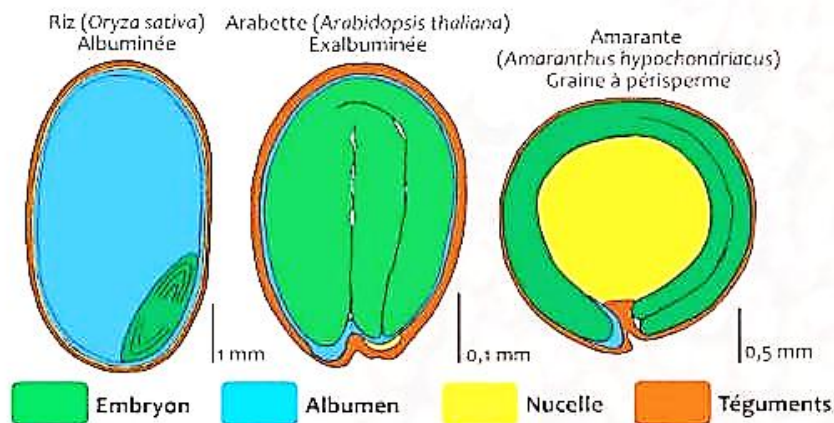


Figure. 191 : Schémas de graines matures stockant les réserves de manières différentes

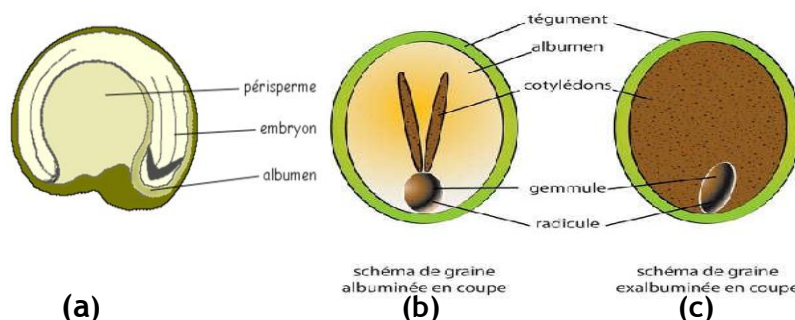


Figure. 192 : Schéma d'une graine à périsperme (a), albuminée (b), exalbuminée (c)

# *Chapitre IV*

*Morphologies des organes végétaux*

# *Chapitre V*

*Reproduction chez les*

*Angiospermes*



## 1- La gamétogénèse :

La gamétogénèse est un ensemble des processus contribuant à la formation des gamètes mâle et femelle à partir d'une cellule originelle dite cellule mère. Au sein des Organe mâle et femelle, certaines cellules subissent la réduction chromosomique, et il y a formation de gamètes *Haploïdes*.

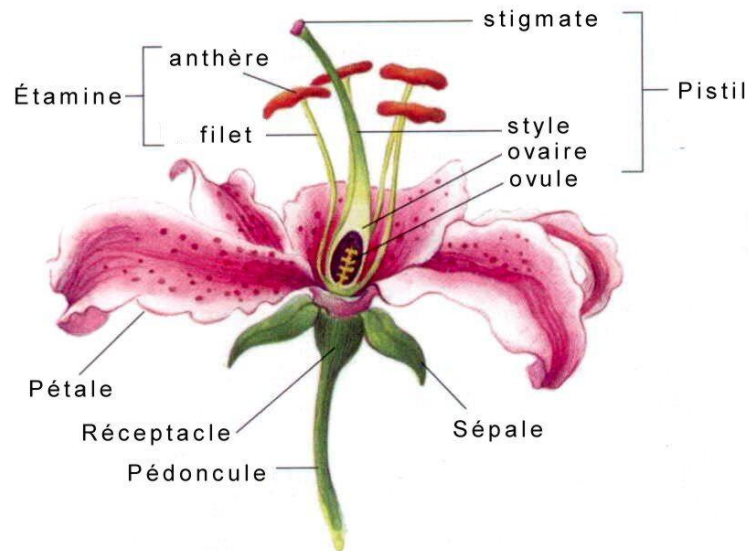
**Partie mâle = Étamines**

- + Anthères : contiennent les grains de pollen
- + Filet

**Partie femelle = Pistil**



- + Stigmate
- + Style
- + Ovaire : L'ovaire contient un ou plusieurs ovules.



**Figure. 193 :** Les organes reproducteurs des Spermaphytes

### 1-1- Développement de l'étamine : La microsporogénèse :

Elle est constituée de cellules non différenciées parmi lesquelles apparaissent quatre cellules embryonnaires : les archéosporés. Chaque archéosporé se divise tangentiellement et donne deux (2) cellules : cellule pariétale, cellule sporogène.

**La cellule sporogène**, par des mitoses répétées conduit à la formation d'un massif sporogène.

**La cellule pariétale** se divise tangentiellement et permet la formation de plusieurs assises superposées :

- Assise externe (qui deviendra l'assise mécanique)
- Assise interne (au contact des cellules sporogènes) qui forme le tapis, à rôle nourricier.
- Assise intermédiaires, transitoires.

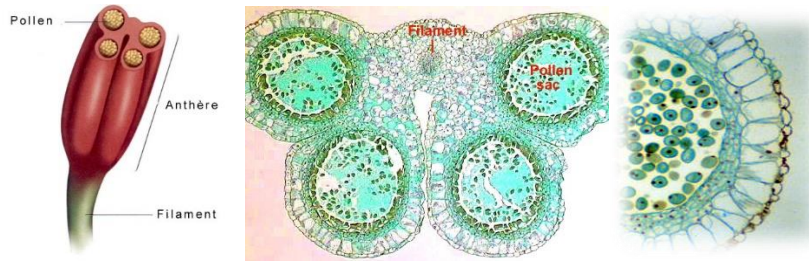


Figure. 194 : Anthère mûre

1-1-1- Anthère mûre:

Chaque cellule du massif sporogène subit simultanément mitose, puis une réduction chromatique, on aboutit à quatre (4) noyaux haploïdes, ensuite des cloisons se forment entre les noyaux, ce qui conduit à la formation de quatre (4) cellules à n chromosomes, qui restent groupées par quatre, on les appelle des Tetraspores (=4 Microspores), chaque massif sporogène forme un sac pollinique, les cloisons entre les deux sacs d'une même loge disparaissent et on aboutit à deux loges polliniques.

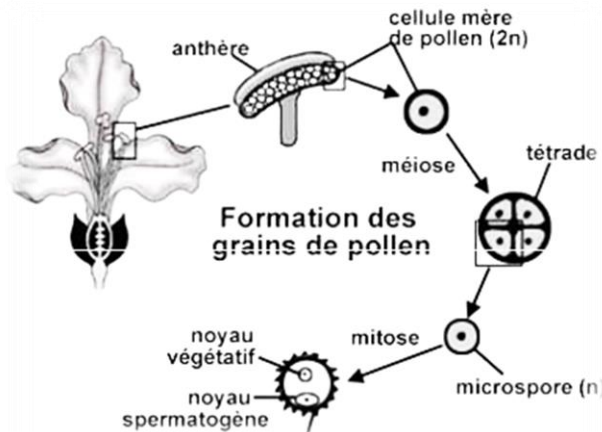
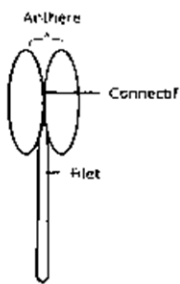


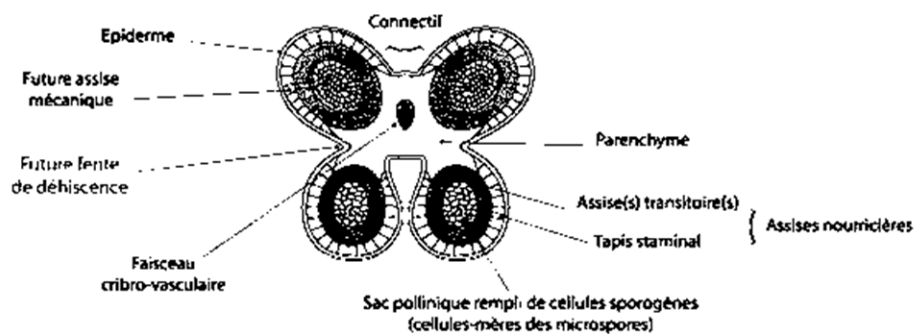
Figure. 195 : La microsporogénèse

Vue latérale



Coupe transversale

Anthère jeune



Anthère mûre



Figure. 196 : Étamine et coupe transversales d'anthère



### 1-1-2- Les microspores:

Par lyse de la paroi de la cellule mère, les quatre cellules de la Tétraspore se séparent et les microspores sont libérées dans le sac pollinique rempli de liquide sécrété par le tapis.

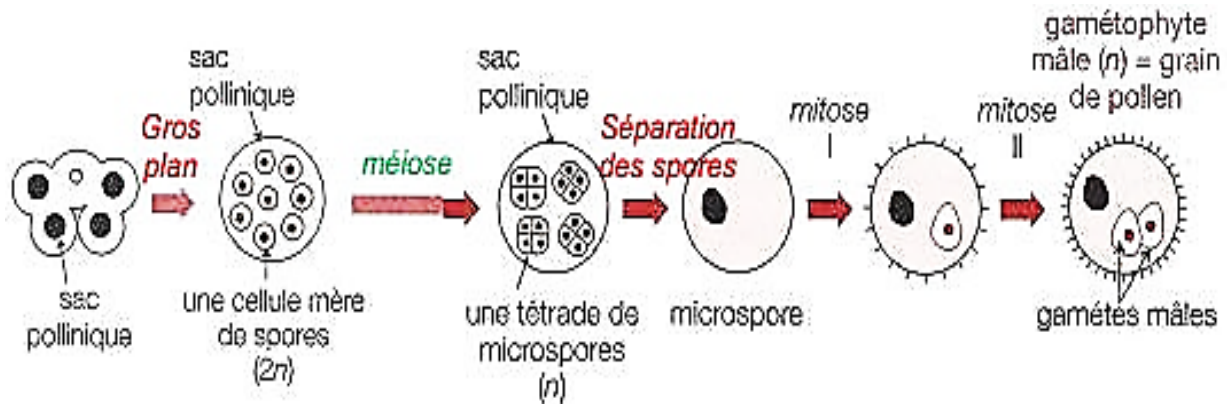


Figure. 197 : Etapes de la formation d'un grain de pollen

Le noyau de la microspore subit une mitose normale, ce qui engendre deux noyaux:

- Un noyau végétatif, sphérique, volumineux.
- Un noyau reproducteur de petite taille.

Une mince cloison apparaît et le pollen est formé, il comprend une grosse cellule végétative, une petite reproductrice, accolée à la paroi de la microspore, qui donnera les 2 gamètes mâles, la paroi se divise en deux couches superposées:

- L'exine: externe, cutinisée.
- L'intine: interne, cellulosique.

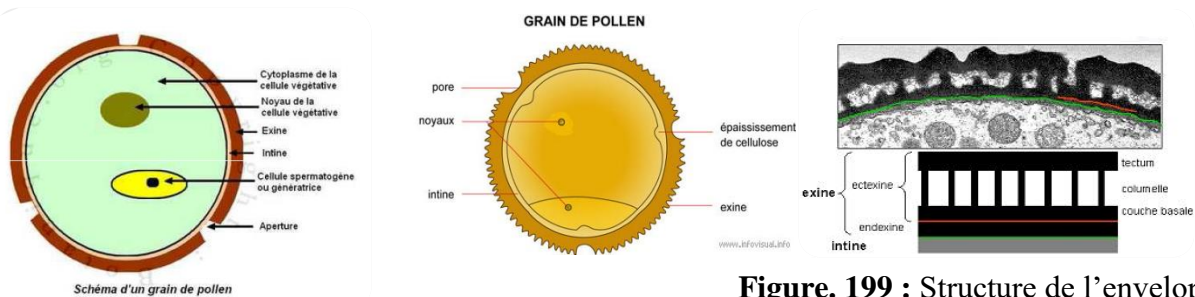


Figure. 199 : Structure de l'enveloppe

Figure. 198 : Grain de pollen triaperturé

Les ouvertures: sont des ouvertures dans l'exine par où sort le tube pollinique au moment de la germination.

### 1-1-3- Déhiscence de l'anthere :

Sous l'épiderme des loges polliniques, les cellules de l'assise mécanique ont des parois lignifiées en U, dont le côté cellulosique se déchire lorsque l'anthere se dessèche, la déhiscence de l'anthere libère le pollen.



## 1-2- Développement de l'ovule : La macrosporogénèse

### 1-2-1- Structure de l'ovule :

- ❖ **Placenta** : partie de l'ovaire à laquelle sont fixés les ovules, directement ou par l'intermédiaire d'un funicule.
- ❖ L'**ovule** est fixé à la paroi de l'ovaire par le **funicule** (petit pédoncule)
- ❖ Le **hile** est l'extrémité du funicule (endroit où commence la partie ovoïde)
- ❖ Par le funicule passe le faisceau conducteur qui alimente l'ovule
- ❖ La bifurcation (ramification) du faisceau s'appelle la **chalaze**
- ❖ L'ovule est entouré de **téguments**
- ❖ Le **micropyle** est l'endroit où passe le tube pollinique (ouverture dans les téguments de l'ovule)
- ❖ Le **raphé** est la soudure entre le tégument et le funicule
- ❖ Le **nucelle** est le tissu nourricier
- ❖ **Sac embryonnaire** : gamétophyte femelle

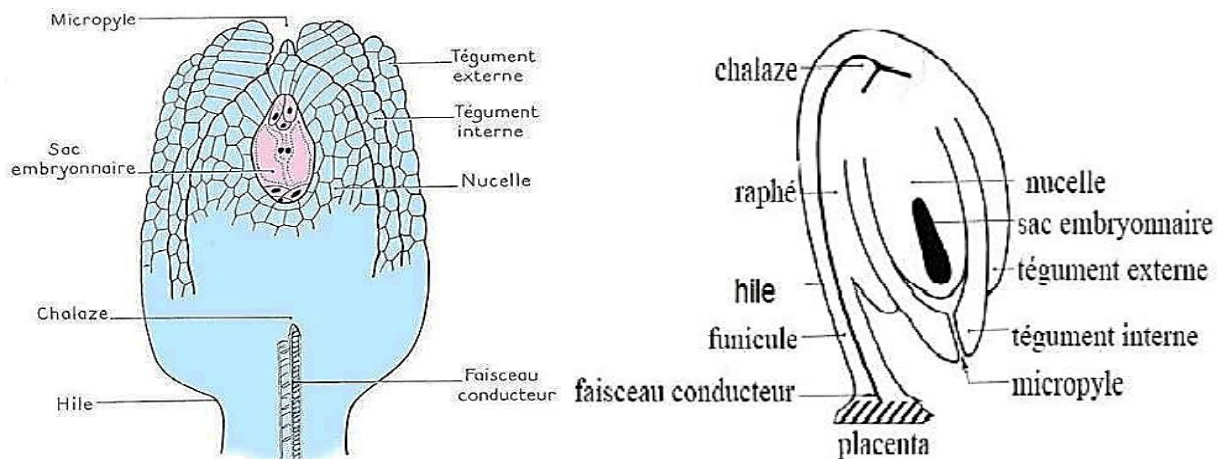


Figure. 200 : Structure générale d'un ovule

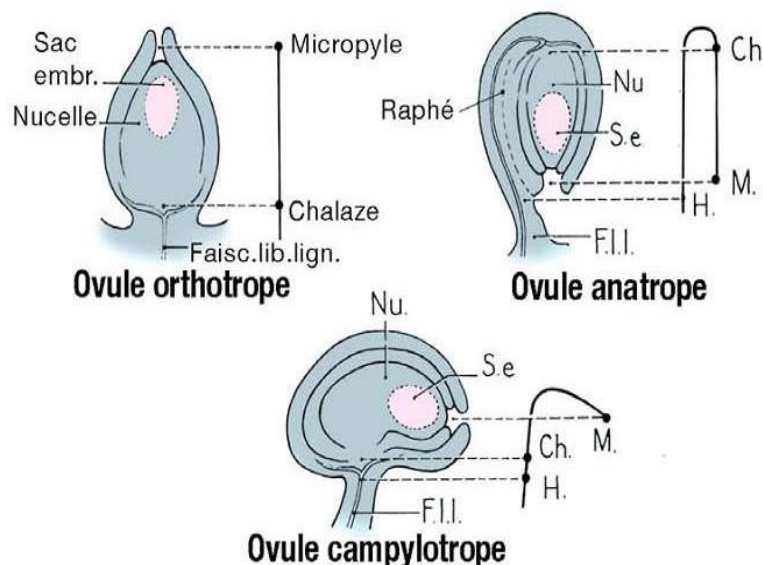


Figure. 201 : Différents types des ovules ; ovule orthotrope (droit), ovule anatrophe (renversé), ovule campylotrope (recourbé).



### 1-2-2- Formation de la macrospore :

Au sommet du nucelle (massif de cellule diploïde remplissant chaque ovule jeune) sous-épidermique, une cellule l'archéspore (Gr, *Arkhai*: ancien, *spora*: semence) se divise en deux cellules superposées, par cloison perpendiculaire à l'axe de l'ovule: la cellule externe, la plus voisine du micropyle, se divise à son tour plusieurs fois pour engendrer un massif cellulaire appelé **la calotte**, la cellule interne ou cellule sporogène ( cellule mère des macrospores) la plus éloignée du micropyle, **la cellule mère des macrospores** subit deux divisions une méiose (division réductionnelle chromatique) suivie d'une division équationnelle, ce qui génère quatre macrospores **haploïdes** dont trois dégénères tandis que la 4<sup>ème</sup> subsiste pour former le sac embryonnaire.

### 1-2- 3- Formation du sac embryonnaire :

Le noyau de la macrospore se divise 3 fois sans que le cytoplasme se cloisonne, ainsi on aboutit à la formation de huit (8) noyaux formant le sac embryonnaire, 4 noyaux se trouvant au pôle supérieur (micropylaire), 4 noyaux se trouvant au pôle inférieur (chalazien). Ils sont séparés par une grande vacuole, les cloisons apparaissent et les cellules formées se répartissent ainsi, 3 cellule au pôle micropylaire un noyau oosphère (gamète femelle), deux noyau synergides (rôle attractif et nourricier), 3 cellule au pôle chalazien trois antipodes (réserve du futur embryon), 2 noyaux polaires au centre. Les deux noyaux polaires migrent vers le centre du sac embryonnaire, fusionnent plus au moins tôt, donnant un noyau diploïde. Le nucelle est digéré peu à peu et disparaît, cependant il arrive qu'une partie du nucelle persiste, elle est appelée périsperme. La rencontre des gamètes mâles et les femelles se fait grâce à un phénomène dit pollinisation.

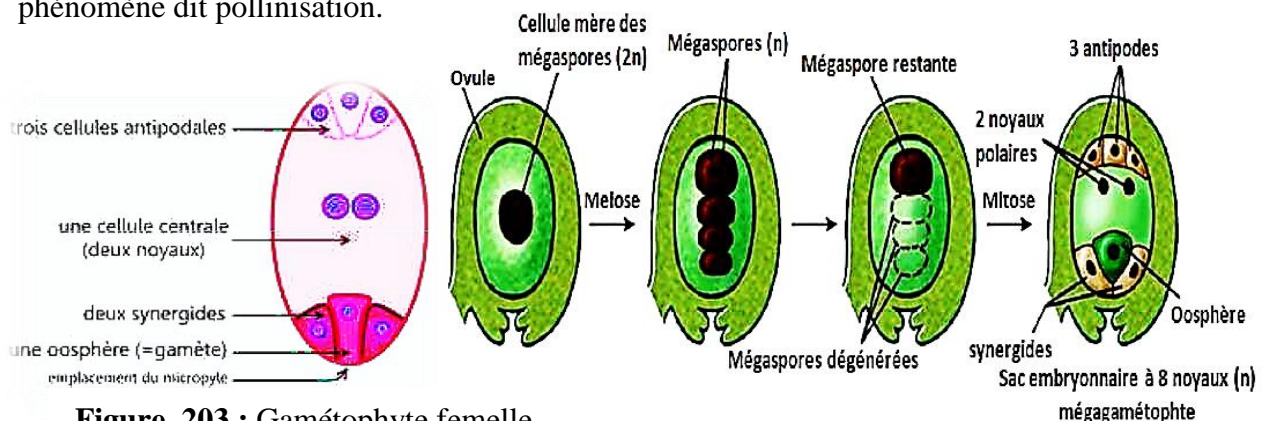


Figure. 203 : Gamétophyte femelle

Figure. 204 : Formation du sac embryonnaire

### 1- Première étape : La pollinisation

La pollinisation est le transfert du pollen depuis l'anthère jusqu'au stigmate. Elle est parfois facilitée par des mouvements de l'étamine. Dans la fleur de Pariétaire (*Parietaria officinalis*), à maturité, un contact déclenche une détente brusque du filet, et l'ouverture de l'anthère, ce qui projette le pollen à l'extérieur. Deux modes de pollinisation sont connus :

#### 1-1- Pollinisation directe ou autopolinisation :

C'est le cas où les grains de pollen d'une fleur tombent sur le stigmate de la même fleur. Elle aboutit à l'autofécondation. Toutefois, malgré le grand nombre de plantes à fleur complètes, on ne connaît l'autopolinisation que parmi 20% d'entre elles.

## 1-2- Pollinisation indirecte :

Le pollen d'une fleur tombe sur le stigmate d'une autre fleur de la même espèce. Elle aboutit à la fécondation croisée, et s'effectue par l'intermédiaire des agents de la pollinisation suivante : insectes, vent, eau, oiseaux et mammifères.

### 1-2-1- Pollinisation par l'intermédiaire des insectes : Entomophile (Entomogamie) :

De nombreux insectes visitent les fleurs, y prélevant généralement du nectar, cette solution sucrée (saccharose, glucose, fructose) est sécrétée par des glandes (Nectaires) situées souvent dans une région profonde de la fleur, entre les étamines, autour de l'ovaire. Les insectes sont attirés vers les fleurs par les odeurs qui en émanent ou du pollen lorsqu'ils butinent, des grains de pollen se fixent sur les pattes, abdomen et les poils de leur corps, sont transportés et abandonnés sur les stigmates gluants des autres fleurs qu'il visite. Les grains de pollen des végétaux entomophiles, sont relativement volumineux et denses ont une surface très ornementée. Les substances qui les entourent (pollen) leur confère une certaine adhésivité. Les stigmates qui les reçoivent sont petits et courts.



### 1-2-2- Pollinisation par le vent : Anémophile (Anémogamie)

Un grand nombre de fleurs n'attirent pas les insectes pollinisateurs. Elles sont souvent de petite taille, peu voyantes inodores. Chez elles, la pollinisation se fait sous l'effet du vent. Il joue un rôle important dans la pollinisation pour 1/5 des espèces d'Angiospermes, ont divers caractères adaptatifs, les stigmates des fleurs femelles sont souvent longs et ont une surface papilleuse qui retient les grains de pollen, ces derniers ont un diamètre réduit (25 à 40  $\mu\text{m}$ ), une densité faible et une surface lisse. Elle est, de ce fait, imprécise et exige une production énorme de pollen.

### 1-2-3- Pollinisation par l'eau : Hydrophile (Hydrogamie)

Chez quelques espèces marines (plantes aquatiques) ou d'eau douces, c'est un courant d'eau qui déplace le pollen est filamenteux (jusqu'à 5mm de long) dans les milieux aquatiques d'une façon passive, jusqu'aux organes femelles.

### 1-2-4- Pollinisation par des oiseaux : Ornithophile (Ornithogamie)

Quelques plantes tropicales sont pollinisées par les oiseaux à la recherche de nourriture (nectar) sécrétée par des fleurs de grande dimension. On citera l'exemple des fleurs de *Strelitzia reginae* (oiseau du paradis), plante de la famille des Musaceae, originaire de l'Afrique du sud et Madagascar qui ne peut être pollinisée que par le *Nectarinia* qui y parvient grâce à son long bec, sur lequel collent les grains de pollen et ainsi en allant vers une autre fleur, l'oiseau pollinise celle-ci.





### 1-2-5- Pollinisation par les Mammifères : Chéiroptérophile (Chéiroptérogamie)

Quelques espèces d'Angiospermes tropicales, dont les fleurs ne s'ouvrent que la nuit, sont pollinisées par des animaux nocturnes attirés par la production de nectar. C'est le cas du Baobab (*Adansonia digitata*) qui possède de fleurs isolées et pendantes productrices d'une grande quantité de nectar dont viennent se nourrir des chauves-souris, pendant leur récolte, les chauves-souris accrochées aux pétales prélèvent en même temps du pollen qui sera transporté sur la prochaine fleur.

### 2- Reproduction sexuée : Deuxième étape : La fécondation

L'autofécondation est rare chez les êtres vivants. L'existence de partenaires mâles et femelles permet d'obtenir le brassage génétique nécessaire à la variabilité au sein d'une espèce. Chez les plantes à fleurs, leur immobilité leur interdit une recherche active d'un partenaire complémentaire. De plus, de très nombreuses plantes à fleurs sont bisexuées.



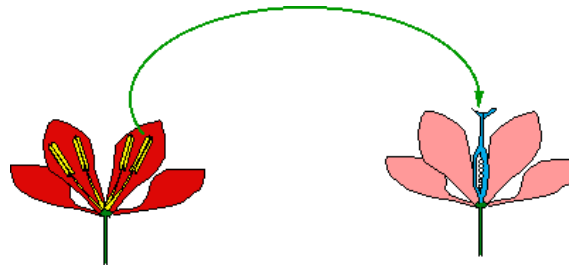
Considérons deux plantes de la même espèce, la pollinisation peut se réaliser de différentes façons selon que les fleurs sont *unisexuées* ou *bisexuées*. Lorsque les fleurs sont *unisexuées*, elles peuvent être portées par des individus différents (*plantes dioïques*, exemple: *Lychnis*) ou par le même individu (*plantes monoïques*, exemple : chêne, bouleau). Lorsque les fleurs sont *bisexuées*, l'autopollinisation (et donc l'autofécondation) peut être possible, mais certaines caractéristiques permettent de favoriser l'allopollinisation (et donc l'hétérofécondation). Ainsi, la pollinisation peut se réaliser :

- De manière orientée, chez *les plantes dioïques* présentant des fleurs mâles ou des fleurs femelles.
- Au hasard, chez de nombreuses plantes dont les fleurs sont *bisexuées* et qui ne possèdent pas de dispositifs permettant d'orienter le phénomène vers une *fécondation croisée* ou une *autofécondation*.
- En privilégiant l'autofécondation par des dispositifs anatomiques du développement floral.
- En privilégiant la fécondation croisée grâce à de nombreux dispositifs anatomiques ou génétiques.

Plantes dioïques :

Les fleurs sont unisexuées. La fécondation ne peut se réaliser qu'entre une plante mâle et une plante femelle. Un certain nombre de plantes utilisent cette stratégie. Assez fréquente chez les plantes arborescentes, elle est plutôt rare chez les plantes herbacées.

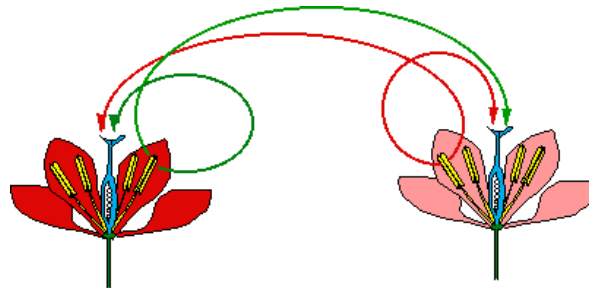
A cause de l'immobilité des plantes, une reproduction correcte implique l'existence sur le même lieu (ou à une distance autorisée par les processus de transport du pollen) des plantes des deux sexes. Exemple : *lychnis dioïque* (Caryophyllacées).



### A- Fécondation au hasard :

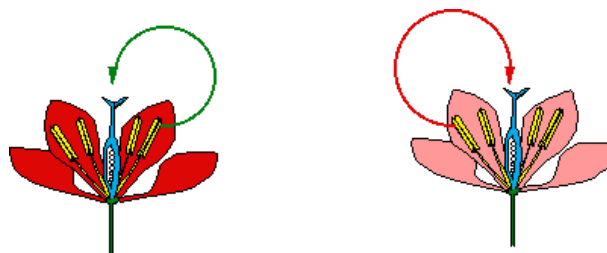
Les fleurs sont bisexuées, c'est le cas le plus général. Le pollen des étamines peut se déposer aussi bien sur les stigmates (partie réceptrice de l'organe femelle) de la même fleur, d'une autre fleur de la même plante ou d'une fleur d'une autre plante. Des autofécondations ou des fécondations croisées peuvent se réaliser au hasard, exemple : le maïs (Poaceae). Cela a des conséquences pour l'expérimentateur qui à des fins génétiques veut réaliser préférentiellement des autofécondations ou des fécondations croisées.

Le plus souvent cependant, des dispositifs particuliers (anatomiques, temporels ou génétiques) permettent de choisir une stratégie : autofécondation, fécondation croisée.



### B- Autofécondation :

Les fleurs sont bisexuées. Un dispositif autorise seulement l'autofécondation. Quelques plantes utilisent cette stratégie. Elle permet de conserver une lignée pure homozygotique pour tous les gènes mais supprime toute variabilité. Les plantes concernées réalisent souvent leur fécondation alors que leurs fleurs ne sont pas ouvertes. Dans ce cas, seule l'autofécondation est possible. Exemples : le pois (Fabaceae) et le blé (Poaceae). Il est donc difficile d'obtenir des hybrides.



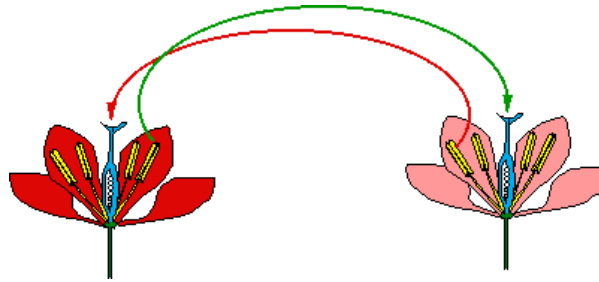
### C- Fécondation croisée :

Les fleurs sont bisexuées. Un dispositif autorise seulement la fécondation croisée. C'est dans ce cas que l'on trouve la plus grande variété de stratégies. Ces stratégies sont de nature :

- Anatomiques (en relation souvent avec la pollinisation par les insectes). Exemples : la sauge et de certaines orchidées et la primevère
- Temporelles (maturité différée des organes mâles et femelles) exemple : le maïs



- Génétiques : Quel que soit le transport du pollen sur le stigmate des fleurs, la poursuite des processus permettant la fécondation est contrôlée par des phénomènes d'incompatibilité génétique interdisant l'autofécondation.



## 2- 1- Germination du grain de pollen et cheminement du tube pollinique:

Le grain de pollen peut provenir de la même fleur (Autogamie) ou d'une fleur différente (Hétérogamie). Quand Le grain de pollen est libéré de l'anthere, il est partiellement déshydraté (teneur en eau de 6 à 60% selon les espèces) et même ainsi une vie ralentie, cet état est généralement réversible et au contact du stigmate visqueux, le grain de pollen compatible absorbe de l'eau et augmente de volume avant d'émettre un tube pollinique, qui sort par un pore de l'exine, traverse le style et pénètre dans l'ovule par micropyle. Cette croissance correspond à la reprise des activités biologiques dans le grain de pollen.

## 2- 2- On Germination ce passage de la vie ralentie à la vie active :

**A-** Après absorption d'eau, le grain de pollen gonfle, puis une hernie cytoplasmique apparaît au niveau de l'intine qui fait saillie et forme ainsi un tube pollinique.

**B-** La croissance du tube pollinique se fait dans la direction du stigmate celui-ci sécrète une substance soit une molécule qui s'appelle la protéine TTS (Transmitting Tissue Specific) considérée comme un facteur important de stimulation de la croissance du tube pollinique par son rôle chimiotactique et comme facteur d'adhésion.

**C-** Le tube pollinique grandit à l'intérieur du style qui contient un tissu gélatineux. Sa membrane est synthétisée grâce aux réserves de la cellule végétative et aux éléments puisés dans les cellules du style.

Le pollen tombe sur le stigmate Un long tube se forme à partir d'une cellule du grain de pollen Le tube s'enfonce dans le style jusqu'à l'intérieur de l'ovaire où il rejoint un ovule Deux noyaux contenus dans le grain de pollen « coulent » dans le tube jusqu'à l'ovule où ils se fusionnent avec les noyaux de celui-ci.

## 2- 3- La croissance du tube pollinique dans le style :

Après attaque enzymatique de la cuticule et de la paroi des cellules stigmatiques le tube pollinique pénètre dans le style. La zone cytoplasmique antérieure montre une accumulation remarquable de vésicules golgiennes, de dictyosomes et de mitochondries. Le noyau végétatif se situe juste en arrière, immédiatement suivi de deux spermatozoïdes sans paroi (issus de la division de la cellule spermatogène des grains de pollen, au cours de la croissance du tube pollinique). Vers l'arrière, le cytoplasme s'isole périodiquement par des bouchons de callose (polyglucoside formé de glucose  $\beta$ ).



## 2- 4- Pénétration du tube pollinique dans l'ovule :

Le plus souvent, le tube pollinique pénètre dans l'ovule par le micropyle, plus rarement il traverse le(s) tégument(s) au niveau de la chalaze ou latéralement. Il s'insinue entre les cellules du nucelle et aborde toujours le sac embryonnaire par son pôle micropylaire.

Il traverse la paroi apicale d'une synergide (au niveau où celle-ci forme souvent l'appareil filiforme), il y a d'abord obstruction de la paroi apicale du tube ainsi que des membranes plasmiques du tube et de la synergide, ce qui permet la décharge, dans le cytoplasme de celle-ci, de l'unité germinale mâle (association du noyau de la cellule végétative et deux gamètes mâles). Le noyau végétatif et la synergide dégénèrent, tandis que les deux gamètes mâles migrent, l'un vers l'oosphère, l'autre vers les deux noyaux polaires.

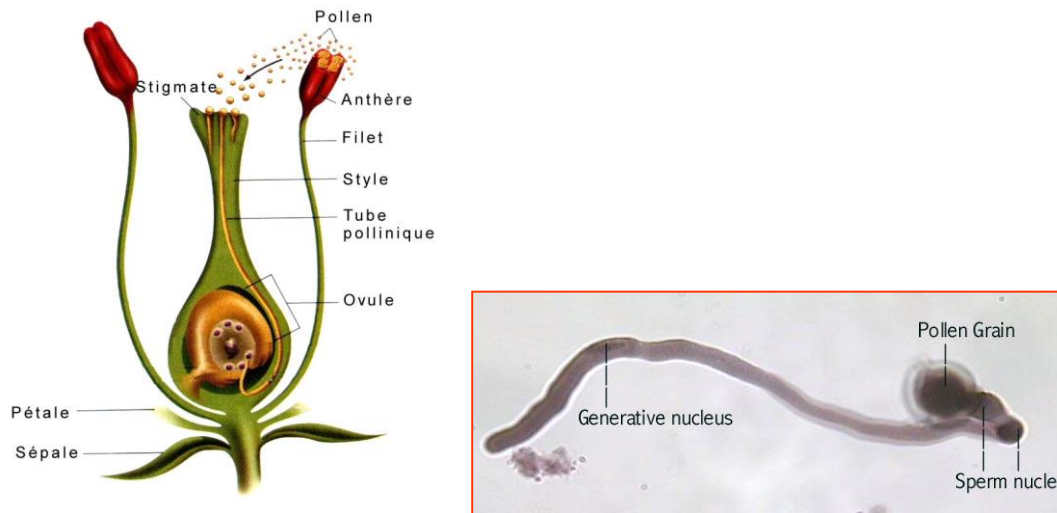


Figure. 205 : Croissance du tube pollinique

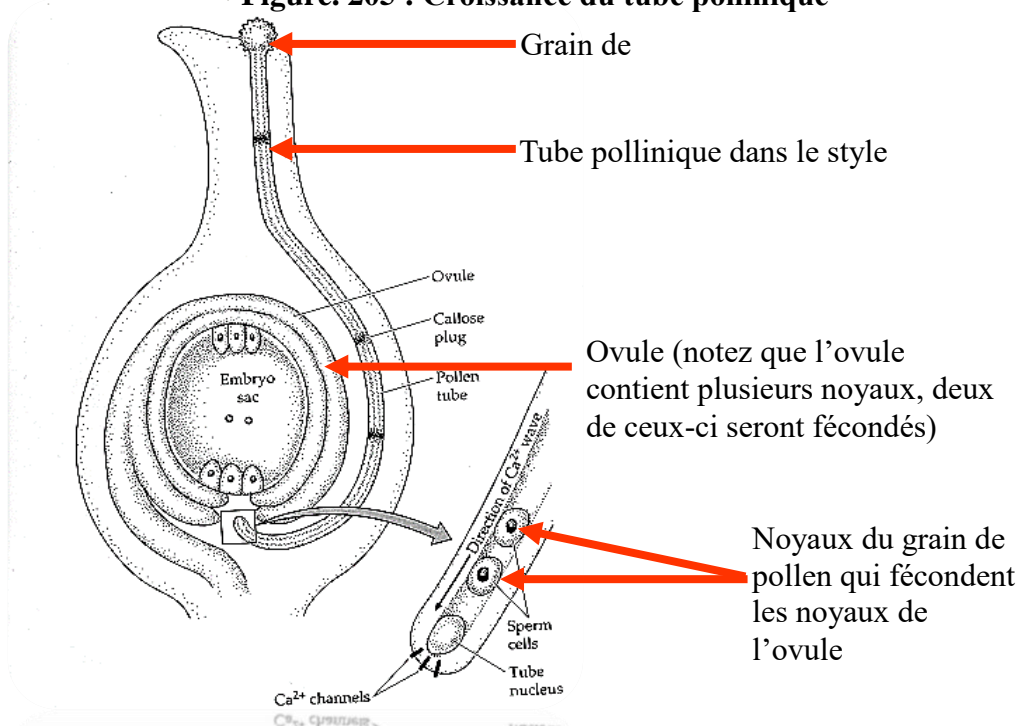


Figure. 206 : La fécondation



### 2- 5- La double fécondation :

Une première caryogamie concerne oosphère (fusion de son noyau avec un premier noyau mâle) et donne naissance au zygote principal ou œuf embryon ( $2n$  diploïde), une seconde caryogamie est à l'origine du zygote accessoire ou œuf albumen ( $3n$  triploïde) par la fusion du deuxième noyau mâle avec les deux noyaux polaires.

Les antipodes et les synergides disparaissent ainsi que toutes les pièces florales sauf l'ovaire qui se développe en fruit et l'ovule fécondé qui devient graine.

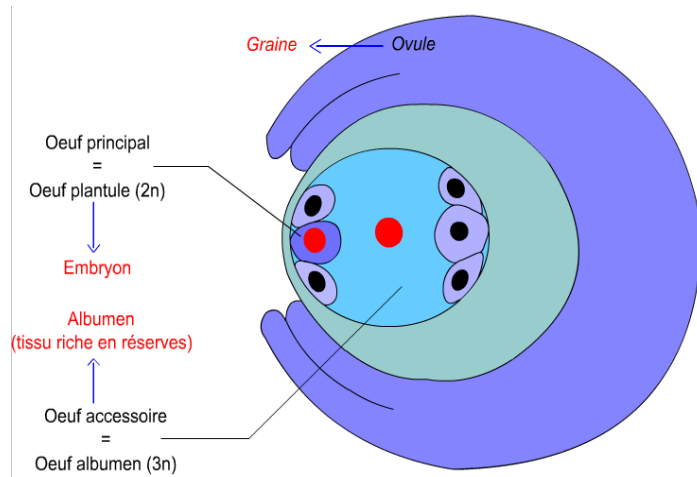


Figure. 207 : La double fécondation

La double fécondation : est le meilleur critère qui permet de définir les « Angiospermes »

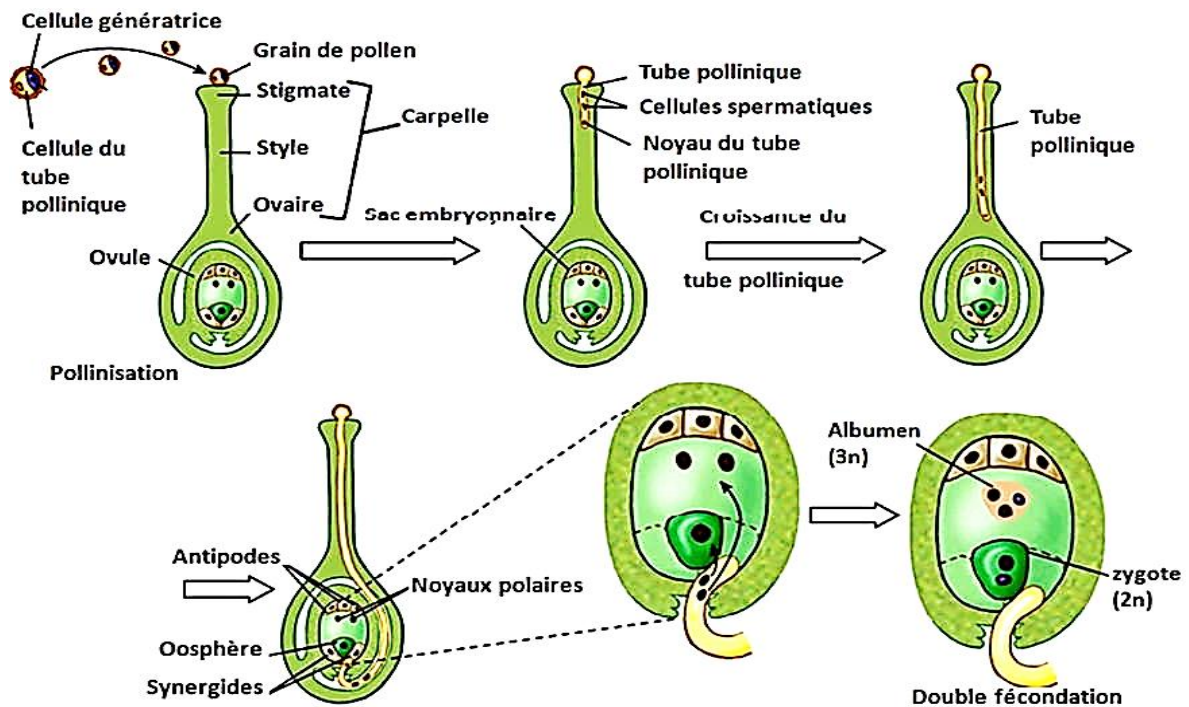


Figure. 208 : Processus de la double fécondation



### 3- Passage de la fleur au fruit :

#### 3- 1- Perte des parties florales :

Lorsque l'ovule a été fécondé, la fleur se fane, d'abord les pétales se détachent puis l'ensemble des sépales se déchire entraînant les étamines sèches.

#### 3- 2- Développement de l'ovaire :

L'ovaire grossit vite et s'arrondit, le développement intéresse ici la paroi de l'ovaire qui fournira la paroi du fruit ou péricarpe. Les autres parties du carpelle disparaissent généralement, lorsque l'ovaire est formé de capelle libres, chaque carpelle donne un fruit distinct, lorsque l'ovaire est formé de carpelle soudés entre eux, il donne un fruit unique.

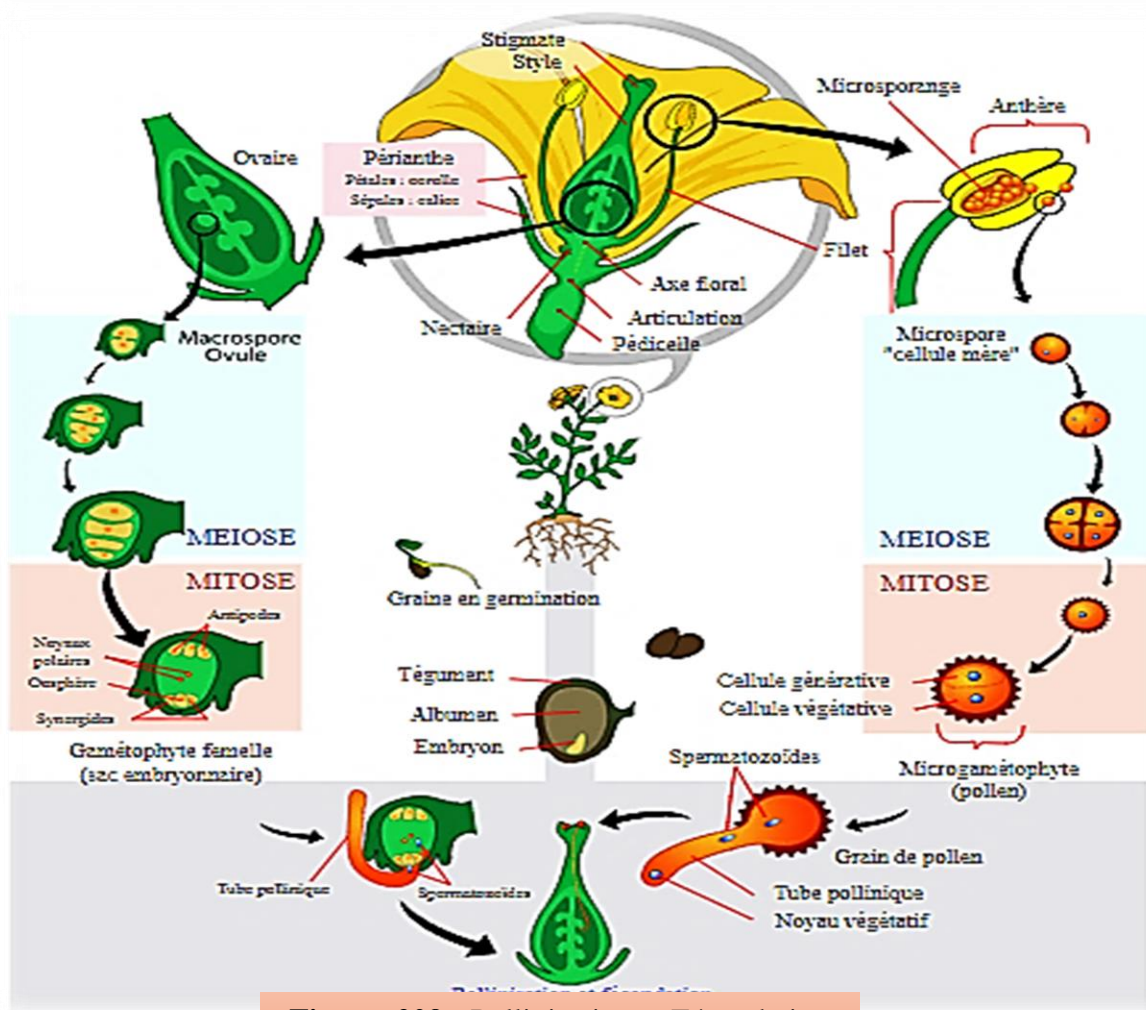


Figure. 209 : Pollinisation et Fécondation

#### 3- 3-Transformation des autres parties de la fleur :

##### A- Le calice :

En observant plusieurs cas de formation du fruit, nous découvrons que le calice peut être persistant ou accrescent (capable de se développer, de s'accroître), tel le cas de du Chêne dont les bractées de la fleur femelle se transforme en cupule où se loge le fruit.



## B- Le réceptacle floral :

Généralement le réceptacle floral ne se transforme pas. Parfois, il participe à la formation du fruit :

- ❖ Dans la rose, il forme une urne profonde dont les parois deviennent charnues à maturité.
- ❖ Dans la poire, une portion charnue correspond au réceptacle floral.

## 4- Formation de la graine :

Tandis que se déroule la transformation des parties extérieures de la fleur en fruit, l'ovule se transforme en graine.

### A- L'œuf principal :

La première mitose du zygote principale est toujours transversale. La cellule apicale (du côté chalazien) se divise longitudinalement et transversalement et engendre un proembryon globulaire

Se segmente pour donner un embryon. Sur le côté du micropyte, un suspenseur sur lequel s'individualise une ou deux feuilles minuscules qui se chargeront de réserves : les cotylédons. Entre le suspenseur et les cotylédons se forment :

- ✚ Une tigelle (future tige),
- ✚ Une radicule (future racine),
- ✚ Une gemmule (future bourgeon apical).

### B- L'œuf accessoire :

Se développe en même temps que l'œuf principal et il donne un tissu transitoire, l'albumen, destiné à servir d'aliment à l'embryon, le plus souvent une longue phase de multiplication des noyaux est suivie par un cloisonnement progressif du cytoplasme.

Au cours de son développement, l'albumen digère plus ou moins complètement le nucelle et accumule des réserves variées (polysaccharides, lipides, protéines) qui seront utilisées par la plantule au moment de la germination ou par l'embryon vers la fin de son évolution.

- ❖ Si la croissance de l'embryon est rapide, celui-ci utilise l'albumen dont les réserves passent dans les cotylédons et on aura une graine à cotylédons.
- ❖ Si la croissance est lente, l'albumen ne sera utilisé qu'au moment de la germination et on aura une graine à l'albumen.

### C- Maturation de la graine :

La graine arrive à maturité, arrête son développement. L'embryon se déshydrate, il est entouré alors de réserves également déshydratées et il est protégé par les téguments de l'ovule, devenus épais et imperméables.

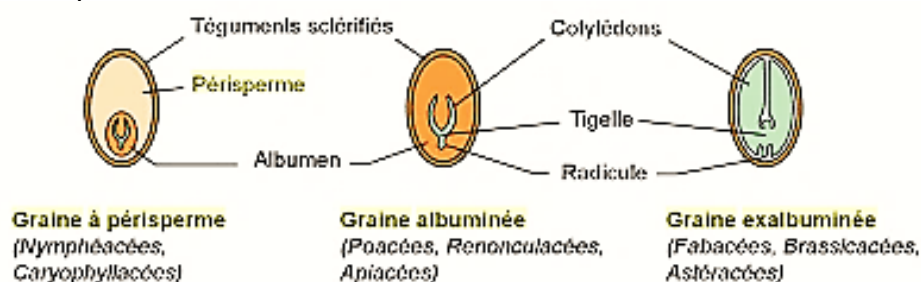


Figure. 210 : Différents types de Graines des Angiospermes



## 5- Le cycle de vie ou cycle de développement :

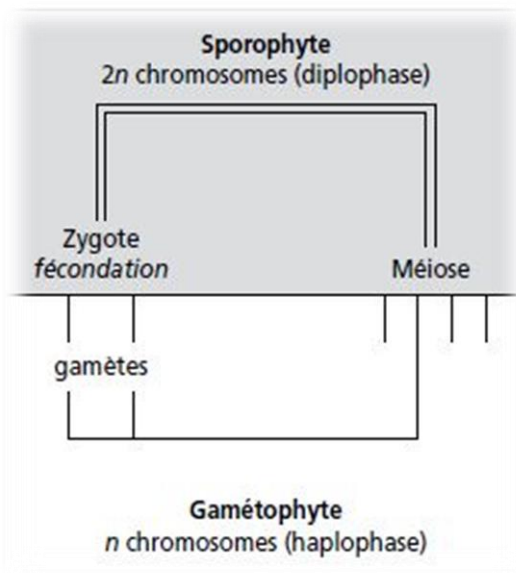
C'est la période de temps pendant laquelle se déroule la vie complète d'un organisme vivant par reproduction. Chez les Angiospermes, l'appareil végétatif est constitué de racines, tige et feuilles. Ces organes assurent la nutrition et la croissance de la plante. Cependant, l'appareil reproducteur est constitué de fleurs qui se transforment en fruits. Le fruit contient les graines qui assurent la dissémination de l'espèce et la résistance lors de la mauvaise saison. Les *Spermaphytes* sont des plantes à graines caractérisées par un cycle de développement à deux générations qui s'alternent, une génération diploïde ( $2n$ ) et l'autre *Haploïde* ( $n$ ).

### 5-1- Le gamétophyte :

C'est la génération du cycle de vie qui produit les gamètes de la plante chez les Angiospermes le gamétophyte femelle est le sac embryonnaire qui contient l'oosphère (le gamète femelle) et le gamétophyte mâle est réduit au grain de pollen (le gamète mâle) qui a une structure bicellulaire, tricellulaire. Le gamétophyte c'est une phase *Haploïde*.

### 5-2- Le sporophyte :

C'est la génération du cycle de reproduction des plantes qui produisent des spores Microspores (mâle) et Macrospores (femelle) qui sont disséminées ou non. Cette phase du cycle de développement fait suite à la fécondation et contient donc le double de chromosome du gamétophyte. Le sporophyte c'est une phase *Diploïde*, le sporophyte présente la fusion des gamètes mâles et femelles et ainsi la formation d'une plante.



### Phases :



**Diploïde**



**Haploïde**

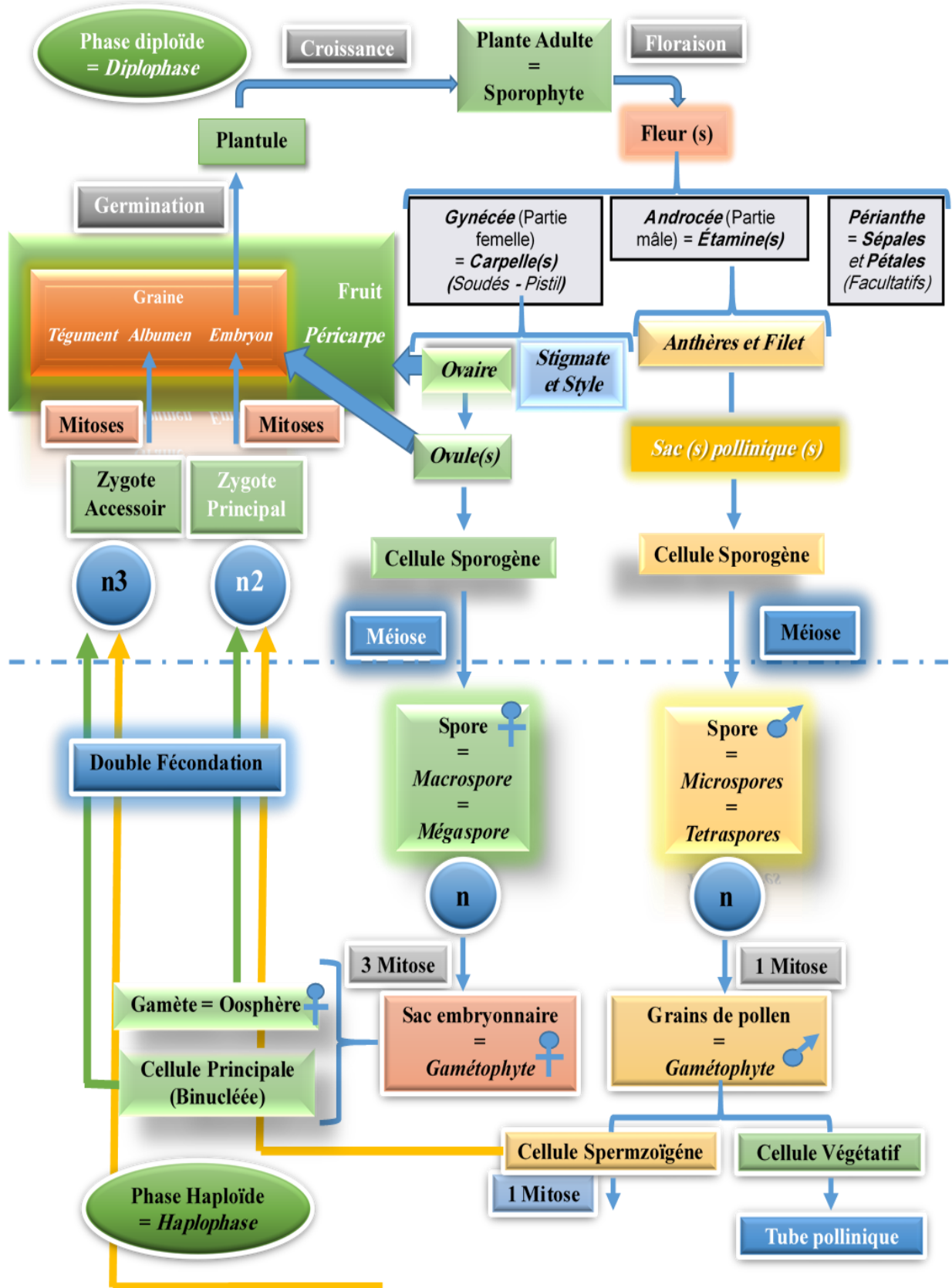


Figure. 210 : 2. Cycle biologique des Angiospermes

# *Références bibliographiques*

1. **Alain Raveneau *et al.*, 2014** : Biologie végétale. Ed. De Boeck, 733p.
2. **Boncompagni. E. 2017** : Le développement et les plans d'organisation des végétaux.  
**Bruno S.** 2014. Les racines des plantes (Anatomie et fonctionnement). Mémoire N3.
3. **Bouزيد. S. 2016** : Cours de Biologie végétale. 1ère année LMD. Université des Frères Mentouri-Constantine 1, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie. 37p.
4. **Chassany. V., Potage M et Ricou M.** 2014 : Mini manuel de biologie végétale 2<sup>ème</sup> édition. Dunod édition. Paris.
5. **Chelli. A. 2013** : Cours de biologie cellulaire. Université Mira-Bejaia.
6. **Jean François Morot-Gaudry *et al.*, 2012** : Biologie végétale. Ed. Dunod, Paris, 213p.
7. **Khouni. I. 2012** : Biologie et physiologie végétale (particularités de la cellule végétale). Université virtuelle de Tunisie.
8. **Labreche JC. 2004** : Biologie végétale 2<sup>ème</sup> édition. Dunod édition. Paris.
9. **Lehman L.G. 2015** : Cours de biologie cellulaire. Institut universitaire de technologie. Université de Douala.
10. **Marouf A and Reynaud J. 2007** : La botanique. Dunod édition. Paris.
11. **Gasceb-Terrak. R, Touam. D, Bouhired. L, *et al.*, 2019** : Cours illustré Biologie végétale. 1<sup>ère</sup> Année LMD Sciences de la nature et de la vie :3<sup>ème</sup> édition, office des publication universitaires. 132p
12. **Roland. JC, Roland. F, El Maarouf-Bouteau. H et Bouteau. 2008** : Atlas de Biologie végétale (organisation des plantes à fleurs. 9<sup>ème</sup> édition. Dunod édition. Paris.
13. **Savoie. J.M. 2007** : Cours de botanique (l'appareil végétatif des végétaux supérieurs).
14. **Zeghad. N. 2018** : Cours de Biologie végétale. 1<sup>ère</sup> année LMD. Université des Frères Mentouri-Constantine 1, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département de Biologie Végétale et Ecologie. 88p.