

1- Introduction :

La taxonomie (systématique) est la science qui étudie la classification des êtres vivants. Malgré l'extraordinaire diversité du règne végétal, il est possible de retrouver des caractères communs permettant de regrouper les végétaux en ensembles appelés taxons.

2- Historique :

Les premiers auteurs construisent leurs classification en s'appuyant sur des caractères utilitaires. *Dioscoride* (20 après J.-C.) classait les plantes en 4 groupes : les aromatiques, les alimentaires, les médicinales et les vineuses (goût, odeur et couleur du vin). *Dodoneus* au XVI^e siècle, reconnaissait : les fleurs sauvages, les fourrages, les assaisonnements ou épices et les aliments. *Césalpin* (1519 – 1603) est l'un des premiers à considérer les caractères des plantes, en fonction, non de l'homme, mais de la plante elle-même : absence ou présence de fleurs, fruit et graine, ovaire supère ou infère.

Au XVII^e siècle, *John Ray*, *Magnol*, *Tournefort*, tout en séparant encore entre herbes, arbres et arbrisseaux, distinguent un certain nombre de familles, genres et espèces. Au XVIII^e arrive *Linné* (1707 – 1778) qui, le premier, reconnut l'importance des organes de reproduction, fit des classes d'après le nombre d'étamines, des ordres d'après le gynécée, le fruit, le port. *Antoine-Laurent de Jussieu* (1748 – 1836) est le premier à chercher une hiérarchie dans les caractères des plantes elles-mêmes. Il distingue des caractères primaires constants tirés de l'organe même (présence ou absence de cotylédons), des caractères secondaires, avec quelques variations, des caractères tertiaires, etc.

Avec *Lamarck*, *Darwin*, de *Candolle*, intervient la notion de parenté des plantes : la phylogénèse. On cherche alors à construire des arbres généalogiques.

3- Méthodes modernes :

Les botanistes modernes font appel à de nombreuses branches des sciences pour établir cette parenté :

- **Morphologie**
- **Anatomie**
- **Palynologie** : étude des grains de pollen
- **Paléontologie** : recherche de l'origine des végétaux actuels parmi les végétaux fossiles
- **Ontogénie** : étude de développement depuis le sac embryonnaire jusqu'à la plante entièrement constituée
- **Cytologie** : caractères de la cellule, comme le nombre de chromosomes
- **Géographie botanique** : permet de rapprocher entre-elles des espèces polymorphes (dont la forme varie avec le lieu où elles poussent)

Grâce aux progrès de la biologie moléculaire, une nouvelle classification proposée par *Whittaker* et *Margulis* subdivise le monde des vivants en 5 règnes (**Planche 1**), dont celui des *Plantae* ou des végétaux au sens strict du terme, et qui regroupe 300 000 espèces.

Planche 1 : Classification des êtres vivants actuels (d'après Whittaker & Margulis)

Type Cellulaire	Organisation	Principaux Phylums ou Embranchements
Règne des PROKARYOTAE = 4000 espèces		
Procaryote	Généralement unicellulaire	Archaeobactéries Eubactéries <ul style="list-style-type: none"> • Bactéries fermentantes • Actinobactéries • Cyanobactéries et autres...
Règne des PROTOCTISTA = 70 000 espèces		
Eucaryote	Généralement unicellulaire	Protozoaires Protophytes
	Généralement pluricellulaire	Algues <ul style="list-style-type: none"> • Chlorophycées (Algues vertes) • Phaeophycées (Algues brunes) • Rhodophycées (Algues rouges)
Règne des FUNGI = 80 000 espèces		
Eucaryote	Pluricellulaire	Champignons <ul style="list-style-type: none"> • Zygomycètes • Ascomycètes • Basidiomycètes Lichens
Règne des PLANTAE (règne végétal <i>sensu stricto</i>) = 300 000 espèces		
Eucaryote	Pluricellulaire	Bryophytes (Mousses) Ptéridophytes (Fougères) Spermaphytes (Plantes à graines) <ul style="list-style-type: none"> • Gymnospermes • Angiospermes <ul style="list-style-type: none"> Monocotylédones Dicotylédones
Règne des ANIMALIA (règne animal) = 1 200 000 espèces		
Eucaryote	Pluricellulaire	<ul style="list-style-type: none"> • Spongiaires • Cnidaires • Plathelminthes • Nématodes • Annélides • Mollusques • Arthropodes • Cordés • Echinodermes

4- Etude des différents règnes :

4-1- Règne des *Prokaryotae* ou des procaryotes :

Des êtres généralement unicellulaires, sans vrai noyau et représentés par deux phylums (embranchements) : *Archaeobactéries* et *Eubactéries*. Parmi les *Eubactéries*, on trouve les *Cyanophycées* (Cyanobactéries ou algues bleues) comme *Nostoc sp.*

Ces algues bleues sont formées de cellules organisées en file linéaire, pourvues de chlorophylle et d'autres pigments comme la phycocyanine (pigment bleu) et sont caractérisées par la présence d'une cellule différente des autres cellules par sa grandeur appelée : hétérocyste. L'hétérocyste est dépourvue de pigments, possède une paroi épaisse gélatineuse et joue un rôle probable dans la fixation de l'azote.

4-2- Règne des *Protoctista* ou des protistes :

Les êtres de ce règne présentent un type cellulaire eucaryote. Ils sont représentés par 3 phylums : les *Protozoaires*, les *Protophytes* et les *Algues*.

Les *Algues* qui sont généralement pluricellulaires, sont subdivisées en plusieurs sous-phylums dont les *Algues vertes* ou *Chlorophycées*. Ces *Chlorophycées* comme *Spirogyra sp.*, sont caractérisées par la présence d'un thalle (*Thallophytes*), possèdent de la chlorophylle et vivent dans les milieux terrestres humides ou aquatiques.

4-3- Règne des *Fungi* :

Parmi les *Fungi*, on trouve deux principaux phylums : les *Champignons* ou *Mycètes* et les *Lichens*.

L'appareil végétatif des *Mycètes* est un thalle appelé mycélium, constitué de filaments isolés ou enchevêtrés appelés hyphes. Les *Champignons* sont dépourvus de chlorophylle et sont donc hétérotrophes pour le carbone. Leur mode de vie peut être sous trois modes :

- **Saprophytes** : vivent sur les organismes morts
- **Parasites** : vivent sur les organismes vivants, provoquant des maladies chez les animaux (mycoses) et chez les végétaux comme la rouille du blé, le mildiou de la vigne et le bayoud du palmier
- **Symbiose** : association avec d'autres végétaux comme les racines des Légumineuses.

On appelle *Lichen* une association symbiotique entre une *Algue verte* et un *Champignon*. Ainsi, l'*Algue* assure l'alimentation carbonée de l'ensemble par ses pigments assimilateurs et le *Champignon* fournit un support à l'*Algue*. Le *Lichen* est constitué d'un thalle avec une forme d'ouverture soudée au thalle appelé apothécie où se trouvent les sorédies, nécessaire à la reproduction.

4-4- Règne des *Plantae* ou des végétaux :

Ce règne regroupe 3 phylums : phylum des *Bryophytes* (Mousses), phylum des *Ptéridophytes* (Fougères) et le phylum des *Spermaphytes* (Plantes à graines).

Planche 2 : Critères de classification des *Plantae*

Mode de nutrition	AUTOTROPHES			
Structure anatomique	AVASCULAIRES	VASCULAIRES (Trachéophytes)		
Appareil reproducteur	CRYPTOGAMES		PHANEROGAMES	
Protection des cellules sexuelles	ARCHEGONIATES (Angyophytes)			
Appareil végétatif	CORMOPHYTES			
Type cellulaire	EUCARYOTES			
Sous-Embranchements (Sous-Phylums)			GYMNOSPERMES (à graine nue)	ANGIOSPERMES (à graine contenue dans le fruit) 2 classes : Monocotylédones Dicotylédones
Embranchements (Phylums)	BRYOPHYTES	PTERIDOPHYTES	SPERMAPHYTES	

4-4-1- Caractères communs :

Trois caractères ont permis de regrouper ces 3 phylums dans le règne des *Plantae* (**Planche 2**) :

- **Caractères morphologiques** : Basé sur l'appareil végétatif appelé *cormus* qui est différencié en tige, racine et feuilles. Les 3 phylums présentant un *cormus* sont appelés *Cormophytes* par opposition aux *Thallophytes*. Dans le cycle des 3 phylums, on peut distinguer deux phases, haploïde et diploïde, alternant régulièrement.
- **Structure des organes reproducteurs (Planche 3)** : Les spores enfermées dans des sporanges (*ange* du grec *aggos* : vase ou urne) et les gamètes dans des gamétanges sont protégés par une assise de cellules protectrices. Ces 3 phylums sont dits *Angyophytes* ou *Archégoniates* car le gamétange femelle est un archégone, qui présente une structure en forme de bouteille.
- **Mode de nutrition** : Les 3 phylums sont tous autotrophes car ils sont chlorophylliens, capables de synthétiser leur propre matière organique.

4-4-2- Caractères spécifiques :

- **Bryophytes** :

- **Cormus rudimentaire** : tige, feuilles, sans racines

- **Avasculaires** : sans tissus conducteurs

Des cellules appelées *rhizoïdes* jouent le rôle de fixation. La sève circule grâce à des cellules : *hydroïdes* (cellules allongées à paroi mince dont les parois transversales sont partiellement résorbées pour permettre le passage de la sève).

- **Cryptogames** : ils ne possèdent pas de fleurs, les organes reproducteurs sont peu ou pas visibles (reproduction dans l'eau)

- **Ptéridophytes** :

- **Cormus vrai** : tige, feuilles et racines

- **Vasculaires** : présence de tissus conducteurs

Ce phylum est plus évolué que celui des Bryophytes avec l'apparition des racines et des tissus conducteurs

- **Cryptogames**

- **Spermaphytes**

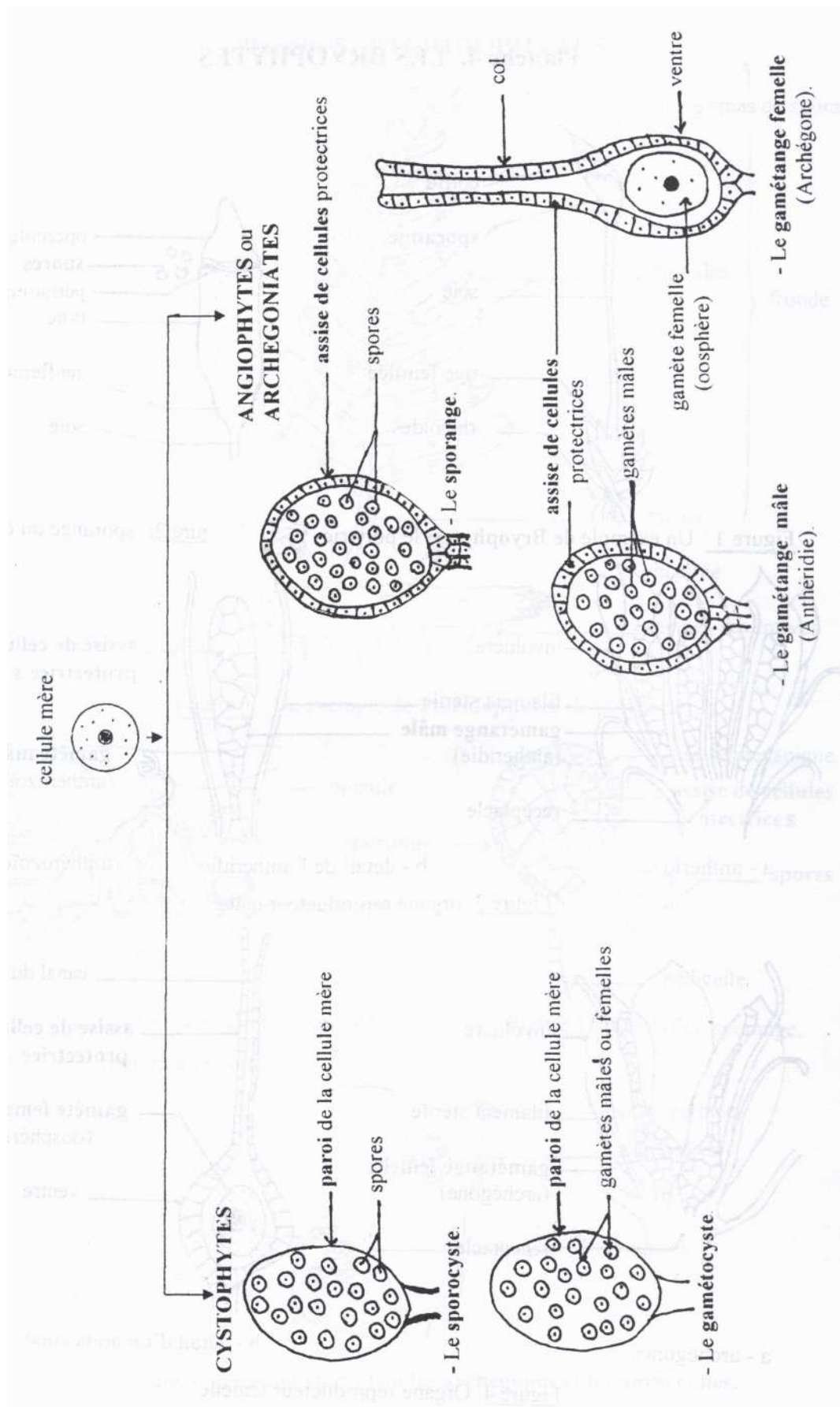
- **Cormus vrai** : tige, feuilles et racines plus complexes

- **Vasculaires** : présence de tissus conducteurs

- **Phanérogames** : les organes reproducteurs sont visibles, ce sont les fleurs (la reproduction se déroule en milieu aérien)

Après la fécondation, l'ovule se transforme en graine (*Spermaphytes*) qui permet la conservation de l'espèce. Grâce à cette capacité de former les graines, ce phylum est le plus évolué. Ces végétaux sont très nombreux et très diversifiés. Seul ce phylum sera étudié.

Planche 3 : Protection des cellules sexuelles



Le phylum des *Spermaphytes* est subdivisé en deux sous-embranchements ou deux sous-phylums :

- S/E ou S/P des *Gymnospermes* : à graines nues, directement accessibles (exemple : Pin)
- S/E ou S/P des *Angiospermes* : à graines enfermées dans une cavité close = Ovaire

Le S/E des *Angiospermes* est subdivisé en deux classes :

- Classe des *Monocotylédones* : embryon présente un seul cotylédon
- Classe des *Dicotylédones* : embryon à deux cotylédons.

5- Nomenclature :

L'espèce est l'unité fondamentale. Elle est désignée par la nomenclature binaire de Linné (1757).

Exemple : *Phoenix dactylifera* L. = Palmier dattier

Embranchement ou phylum : Spermaphytes

Sous-Embranchement ou Sous-phylum : Angiospermes

Classe : Monocotylédones

Ordre : Phoenicoïdae

Famille : Arécaceae

Genre : Phoenix

Espèce : *Phoenix dactylifera* L.

1- Définition de l'histologie :

C'est l'étude des tissus. Les tissus sont des groupements de cellules plus ou moins différenciées, remplissant une fonction déterminée.

2- Origine des tissus : méristèmes

Les tissus adultes ou tissus différenciés résultent de la prolifération des cellules de tissus indifférenciés ou *méristèmes*. On en distingue deux sortes de méristèmes :

- Méristèmes primaires
- Méristèmes secondaires

Ils diffèrent par leur localisation au sein de la plante, leur caractères cytologiques et leurs rôles dans la formation des tissus et des organes.

Méristèmes primaires**1- Localisation :**

Les méristèmes primaires se retrouvent au niveau de l'embryon de la graine et persistent dans la plante adulte (**Planche 4 – Fig. 1**) :

- A l'extrémité ou apex des tiges et racines = méristèmes apicaux ou terminaux ; caulinaire et radiculaire
- A la base des feuilles ou méristèmes intercalaires (nœuds) ou axillaires (latéraux ou bourgeons axillaires)

Ces méristèmes favorisent la croissance en longueur.

2- Caractères cytologiques (Planche 4 – Fig. 2) :

- Cellules petites, isodiamétriques (préfixe *iso-*, signifiant égal) et jointives (pas de méats)
- Paroi primaire mince, riche en plasmodesmes
- Cytoplasme riche en organites (ribosomes, mitochondries, golgi, vacuoles)
- Nombreuses vacuoles petites et sphériques ou allongées
- Présence de proplastides
- Noyau volumineux, rapport nucléoplasmique (noyau / cytoplasme = N / P) est élevé

Remarque : L'orientation de plan de division est différente d'une cellule à l'autre dans un même tissu méristématique, donnant naissance à des amas cellulaires.

3- Différenciation et dédifférenciation cellulaires :**3-1- Différenciation cellulaire :**

Les méristèmes primaires interviennent dans la formation des tissus primaires par le phénomène de différenciation, favorisant dans ce cas la croissance en longueur des organes. Ces tissus primaires entrent dans la constitution des organes jeunes de la plante. Ces tissus primaires sont : les tissus de revêtements primaires, les parenchymes, les tissus de soutien primaires, les tissus conducteurs primaires et les tissus sécréteurs primaires.

Planche 4 : Méristèmes primaires

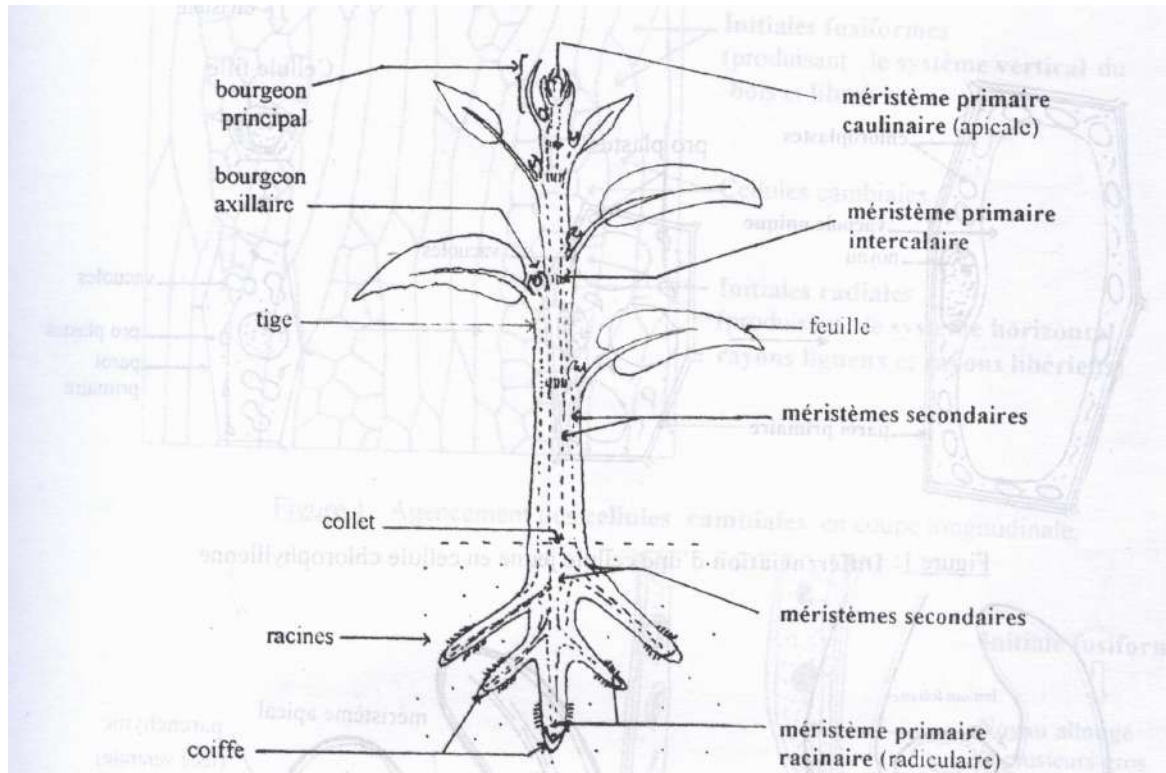


Figure 1 : Localisation des méristèmes dans une plante (Angiosperme dicotylédone).

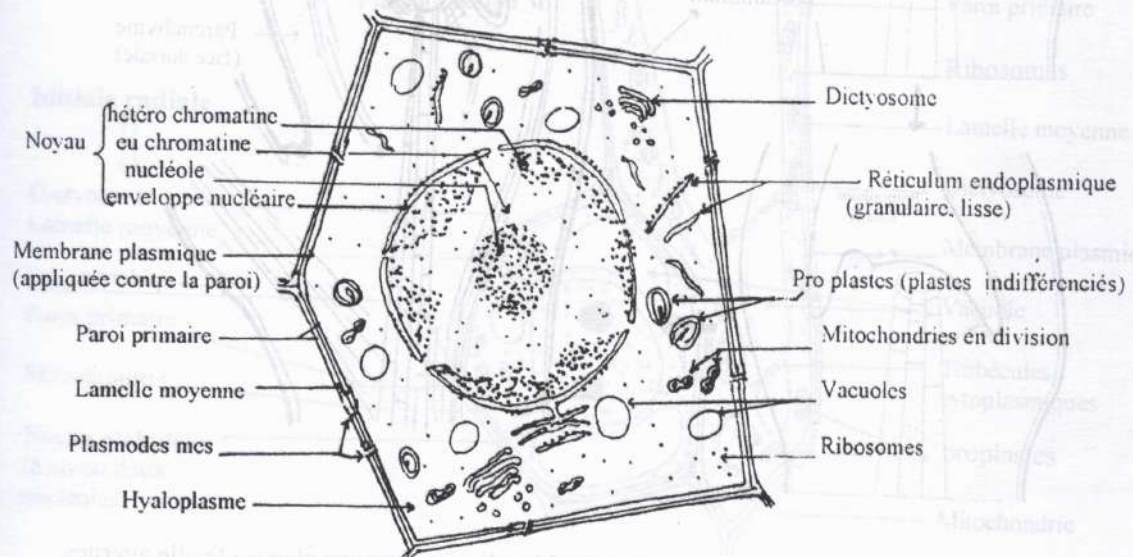


Figure 2 : cellule d'un méristème primaire.

Exemple de formation du parenchyme chlorophyllien :

En se divisant, les cellules méristématiques indifférenciées donnent des cellules filles qui se transforment en cellules adultes différenciées.

En observant des cellules de feuilles en développement, on peut suivre les étapes qui aboutissent à la formation de cellules parenchymateuses adultes, ce qui permet de dégager les caractères essentiels de la différenciation (**Planche 4 bis – Fig. 1**) :

- Etirement et léger épaissement de la paroi primaire par synthèse de nouveaux constituants (cellulose – hémicellulose – protéines)
- Augmentation de la taille des vacuoles et fusion pour constituer une grande vacuole de la cellule adulte
- Proplastes évoluent en chloroplastes (mise en place des *granum* et accumulation de pigments assimilateurs)
- Diminution du rapport nucléoplasmique ($N / P < 1$)

Remarques :

- Dans le cas du parenchyme amylacé, la différenciation est identique sauf que les proplastes évoluent en amyloplast
- Les parenchymes ne développent pas de paroi secondaire. Cependant, dans certains tissus, la croissance en longueur de la cellule se termine par le dépôt d'une paroi secondaire dont la rigidité empêche tout accroissement cellulaire.

En conclusion, la différenciation cellulaire :

- Est associée à un allongement cellulaire
- Est caractérisée par la transformation de constituants cellulaires, comme la transformation par exemple des proplastes en plastes
- Permet une adaptation des cellules à une fonction précise : photosynthèse, mise en réserve, protection, conduction, etc.
- Entraîne également le vieillissement cellulaire

Donc, les cellules acquièrent une forme, une structure et une fonction caractéristique de chaque tissu.

3-2- Dédifférenciation cellulaire :

Des cellules différenciées qui sont généralement des parenchymes et parfois des épidermes à paroi primaire cellulosique, peuvent retourner à l'état méristématique. C'est la dédifférenciation (**Planche 4 bis – Fig. 1**). Elles perdent leurs caractères de cellule adulte et ont la possibilité de se diviser.

Au cours de la dédifférenciation, la cellule parenchymateuse ne diminue pas de taille, mais se divise pour donner des cellules filles de petite taille. Les plastes redeviennent des proplastes et la grande vacuole se fragmente en petites vacuoles.

Planche 4 bis : MÉRISTÈMES PRIMAIRES

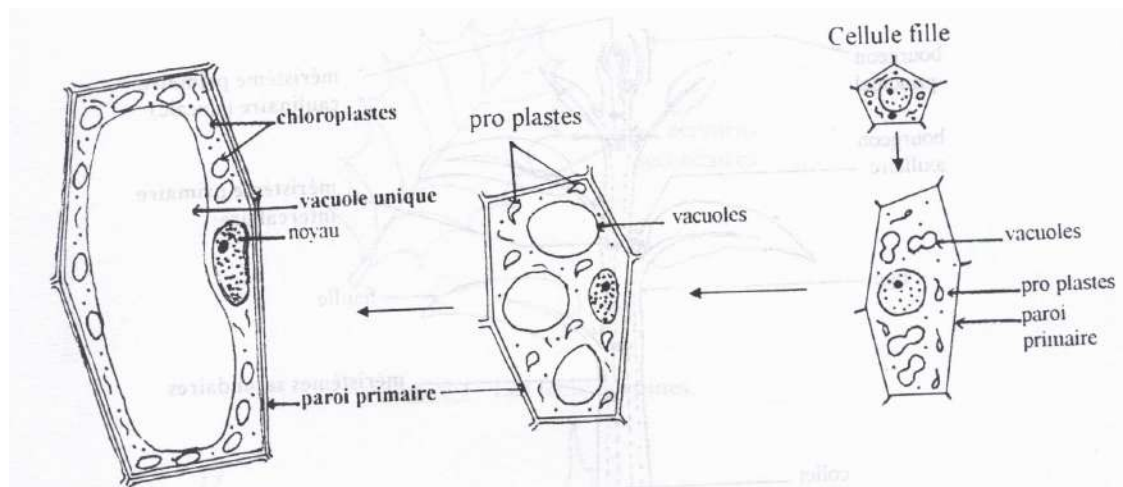


Figure 1: Différenciation d'une cellule jeune en cellule chlorophyllienne.

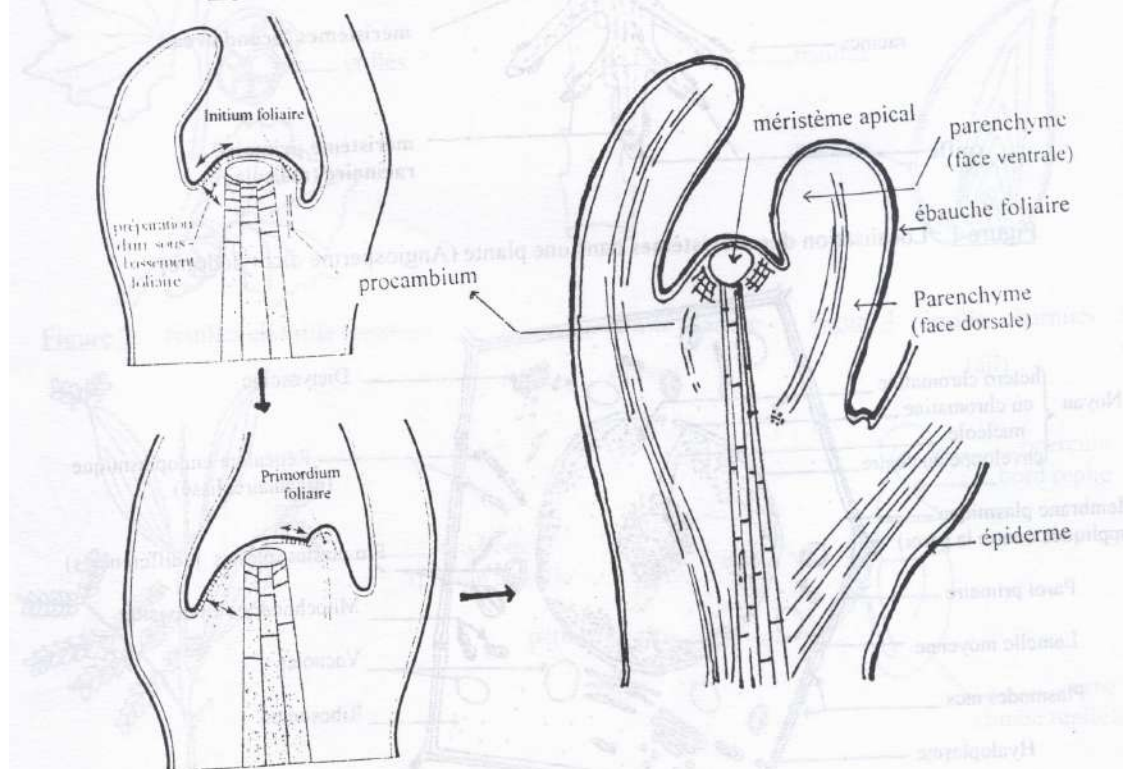


Figure 2: Fonctionnement du point végétatif caulinaire dans une plante à feuille alternes, en coupe longitudinale.

La dédifférenciation s'observe :

- En culture *in vitro* de tissus (conditions artificielles)
- Blessures
- Bouturage d'une tige (conditions naturelles)

Le bouturage est une technique, qui consiste à prélever un fragment de tige et à le replanter. Des racines apparaissent à la base du rameau donnant ainsi, un organisme végétal complet.

Ces nouvelles racines se forment par dédifférenciation des cellules de l'écorce de la tige (cellules parenchymateuses). Ces cellules ont la capacité de se diviser, les plastes redeviennent des proplast, la grande vacuole se fragmente en petites vacuoles. Il se forme alors, des amas de cellules méristématiques qui se différencient et donnent naissance aux racines de la bouture.

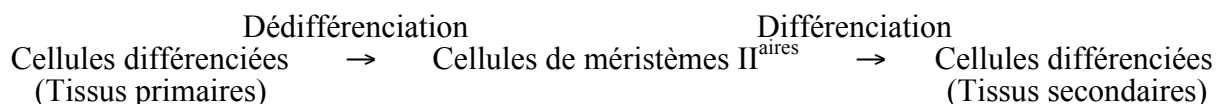
Remarque : seules les cellules du parenchyme et parfois des épidermes peuvent se dédifférencier. Par contre, les cellules sans noyaux ne peuvent pas retourner à l'état méristématique (exemples : vaisseaux, suber, fibres, etc.)

Méristèmes secondaires

1- Origine :

Chez les *phanérogames* ou *spermaphytes*, la croissance en épaisseur des organes est assurée par le fonctionnement des méristèmes secondaires, appelés également zones génératrices ou assises génératrices.

Ils se forment au sein des tissus primaires par dédifférenciation :

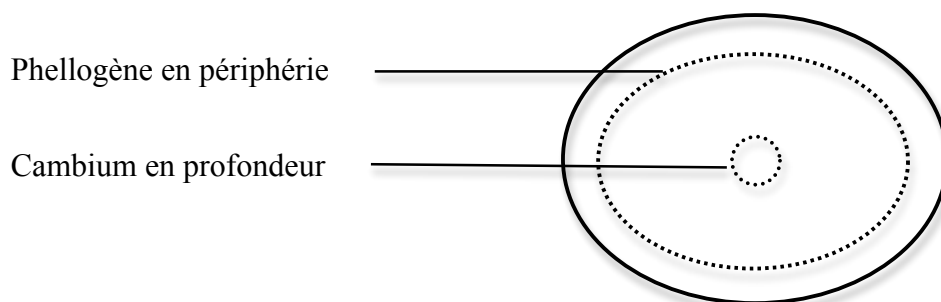


Il existe deux types de méristèmes secondaires :

- Assise subéro – phellodermique = phellogène
- Assise libéro – ligneuse = cambium

2- Localisation :

- Phellogène : tiges – racines (gymnospermes et angiospermes)
- Cambium : tiges – racines et feuilles (gymnospermes et angiospermes dicotylédones)



Coupe transversale d'une tige ou racine

Planche 5 : Cambium, méristème secondaire

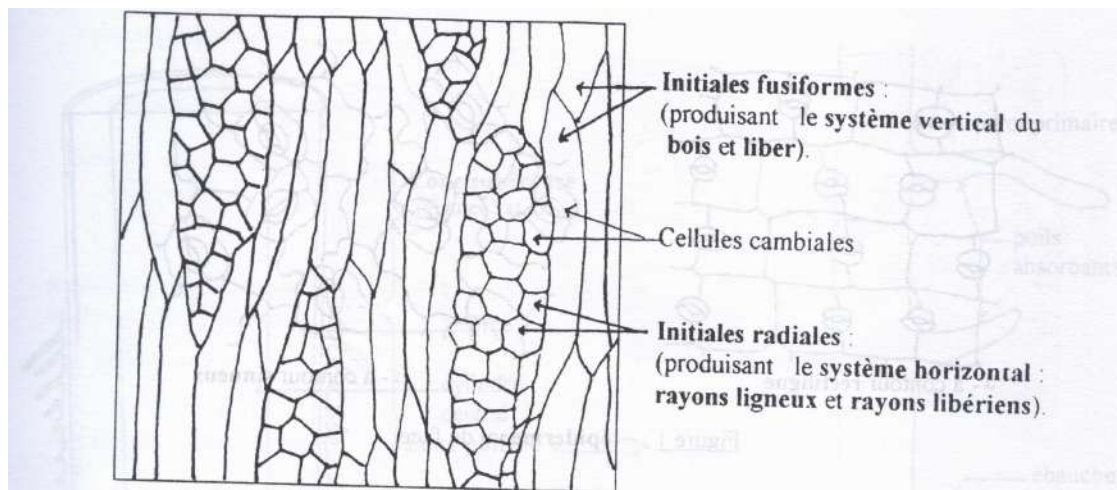


Figure 1 : Agencement des **cellules cambiales** en coupe longitudinale.

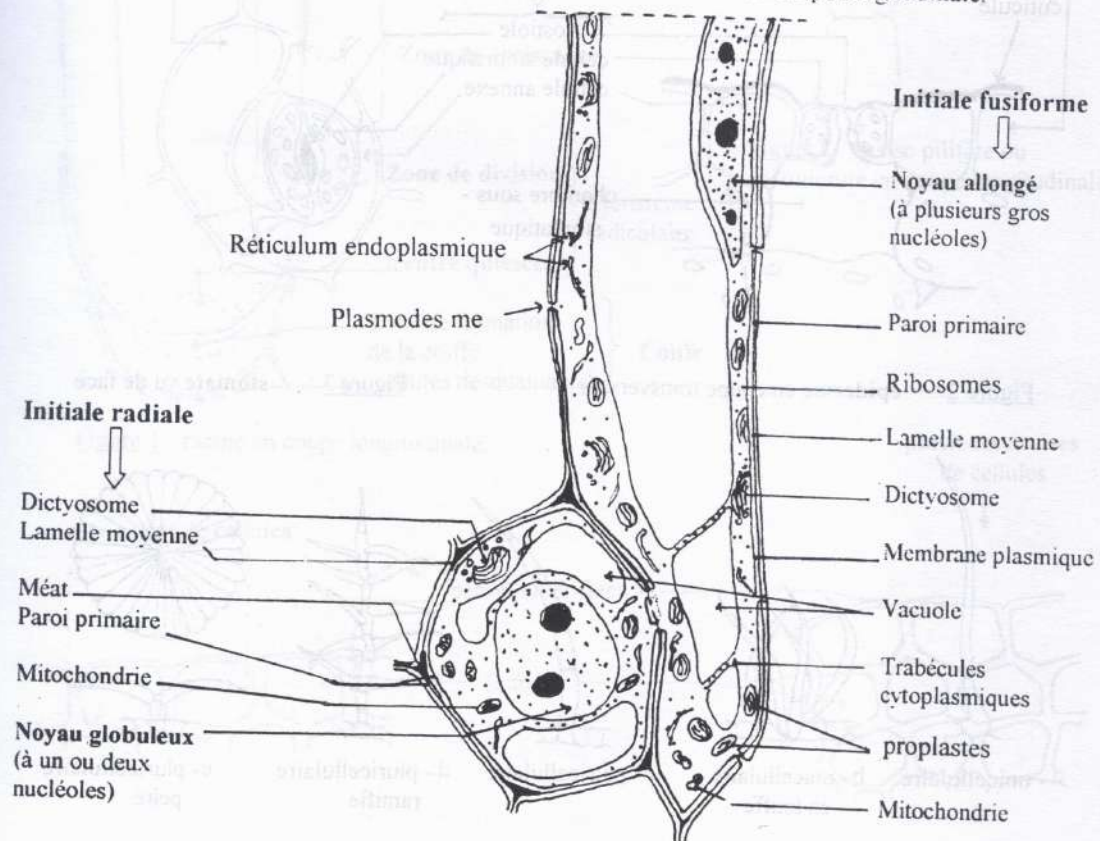


Figure 2 : Ultra structure des **cellules cambiales**.

3- Caractères cytologiques :

3-1- Cambium :

En période d'activité, les cellules cambiales se distinguent des cellules de méristèmes primaires par (**Planche 5 – Fig. 1 et 2**) :

- Leur importante vacuolisation (grande vacuole occupant toute la cellule) et présence de petites vacuoles aux extrémités de la cellule
- Cytoplasme et noyau repoussés à la périphérie
- Noyau plus ou moins allongé
- Rapport N / P varie selon les espèces

Les autres caractères sont identiques à ceux des méristèmes primaires (paroi mince cellulosique, cytoplasme riche en organites, proplastides).

On distingue deux types de cellules cambiales (**Planche 5 – Fig. 1 et 2**):

- **Initiales fusiformes** : cellules de forme fusiforme (effilée aux deux extrémités). La cellule est allongée parallèlement au grand axe de l'organe. Noyau ellipsoïde plus ou moins allongé possédant plusieurs nucléoles. Ces initiales forment un cambium étagé. En coupe transversale, une seule assise de cellules aplaties.
- **Initiales radiales** : cellule courte de même structure que la cellule fusiforme, sauf que la longueur de la cellule est disposée dans le rayon de l'organe ou perpendiculairement au grand axe de l'organe. Les cellules sont groupées en massifs lenticulaires, formés d'une ou plusieurs files de cellules.

3-2- Phellogène :

Constitué d'une seule sorte d'initiales, plus ou moins vacuolisées.

4- Différenciation des méristèmes secondaires :

Cambium et phellogène favorisent la croissance en épaisseur des organes par division des initiales. Chaque méristème secondaire donne deux types de tissus secondaires :

4-1- Phellogène :

Le phellogène donne :

- Suber ou liège vers l'extérieur, formant le tissu de revêtement des tiges et racines (plusieurs assises)
- Phelloderme ou phelloderme secondaire vers l'intérieur (1 à 2 assises)

Le phellogène, le suber et le phelloderme constituent le périderme

4-2- Cambium :

Dans la zone cambiale, on observe 3 types de divisions : divisions périclines (tangentiellles), anticlines (radiales) et transversales.

Le fonctionnement de ces cellules aboutit à la formation des tissus conducteurs secondaires : bois vers l'intérieur de l'organe et liber vers l'extérieur de l'organe.

Le cambium, le bois et le liber constituent le pachyte.

Tissus de revêtements primaires

1- Définition et origine :

Ils recouvrent les parties de la plante en contact avec le milieu extérieur. Ils dérivent de la différenciation des méristèmes primaires.

- Organes aériens (tige, feuilles et fleurs) → épidermes
- Organes souterrains (racines) → assise pilifère, assise subéreuse, subéroïde

2- Epidermes

Tissus situés en périphérie des organes aériens (feuilles, tiges et fleurs). L'épiderme est constitué de trois parties :

- Cellules épidermiques cutinisées, assurant la protection contre la déshydratation
 - Stomates, permettant les échanges gazeux
 - Poils épidermiques, chez certaines plantes, prolongements de cellules épidermiques.
- Rôle : protecteur, sécréteur ...

2-1- Cellules épidermiques

En général, une assise de cellules constitue un épiderme simple. Plusieurs assises de cellules forment un épiderme composé.

Vue de face (**Planche 6 – Fig. 1**), les cellules sont de forme variable, étroitement accolées les unes aux autres, sans méats, à contours rectiligne ou sinueux.

Vue en coupe (**Planche 6 – Fig. 2**), les cellules forment une assise de cellules plus ou moins rectangulaires. Les parois latérales et internes sont minces et cellulodiques. Les parois externes sont épaisses, cutinisées, formant un revêtement imperméable et résistant à la surface de l'épiderme : la cuticule (formée de cutine, de cires et de triterpènes).

De point de vue cytologique, les cellules épidermiques sont des cellules vivantes, présentant 1 à 2 vacuoles bien développées, un cytoplasme périphérique, un noyau pariétal et sont dépourvues de chloroplastes, sauf chez les plantes aquatiques et les plantes d'ombre. Les vacuoles renferment des pigments (fleurs, feuilles).

Les cellules épidermiques assurent un rôle protecteur des tissus sous-jacents contre les agressions et la déshydratation.

2-2- Stomates (**Planche 6 – Fig. 1, 2 et 3**)

Structures ménagées dans l'assise épidermique par lesquelles s'effectuent les échanges gazeux et la transpiration, car les cellules épidermiques sont imperméables.

Un stomate est constitué de :

- Deux cellules réniformes ou cellules stomatiques chlorophylliennes qui laissent une ouverture entre elles : l'ostiole
- Une chambre sous-stomatique, lacune située sous les deux cellules stomatiques. Cette lacune emmagasine les gaz.

La paroi de chaque cellule stomatique est épaisse du côté de l'ostiole et mince du côté opposé.

Planche 6 : Epidermes

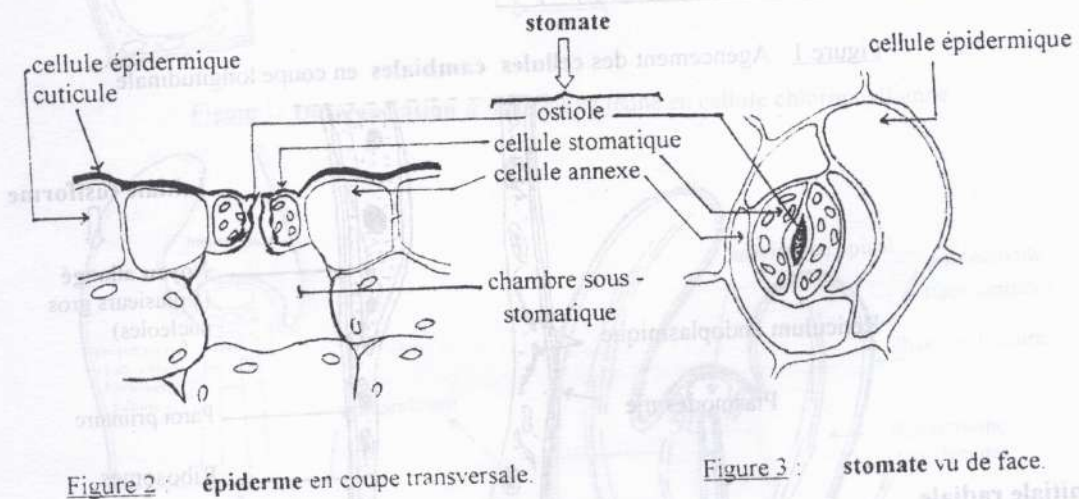
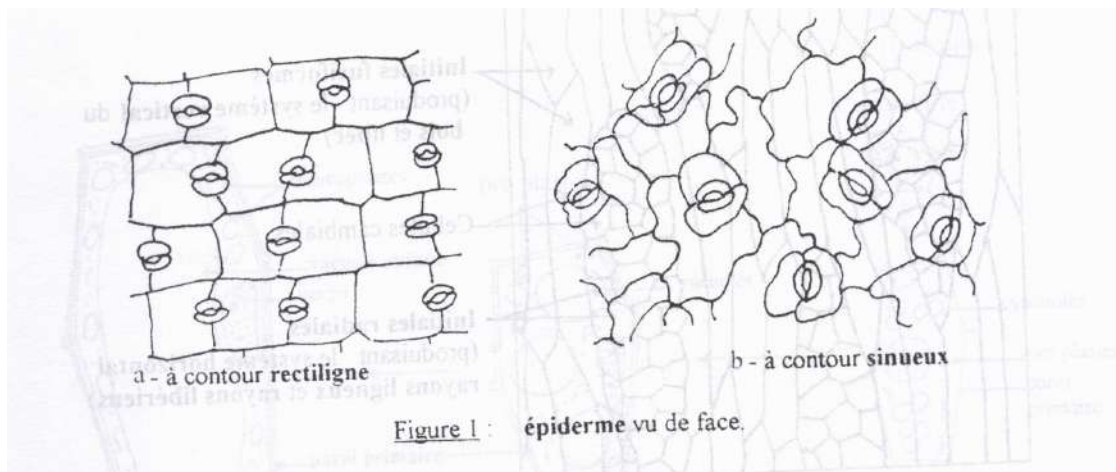


Figure 3 : stomate vu de face.

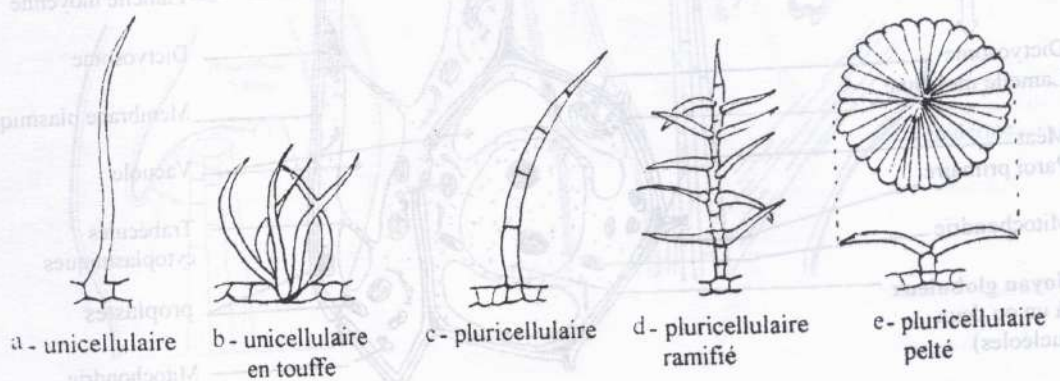


Figure 4 : Quelques poils épidermiques tecteurs.

Rôle : les variations osmotiques du milieu cellulaire des cellules stomatiques, provoquent l'ouverture et la fermeture de l'ostiole. Par ces variations, les cellules stomatiques se déforment d'où l'existence d'une paroi épaisse, rigide du côté de l'ostiole. Ces mouvements assurent la régulation des échanges entre l'atmosphère et la chambre sous-stomatique, ces échanges s'effectuent au niveau de l'ostiole.

2-3- Poils épidermiques

Chez de nombreuses espèces, les cellules épidermiques peuvent s'allonger et se différencier pour donner des poils épidermiques uni- ou pluricellulaires (**Planche 6 – Fig. 4**). Ils forment un duvet laineux à la surface des feuilles et des tiges.

Les poils épidermiques sont un moyen de protection renforcé contre la déshydratation, ce sont des poils tecteurs (rôle protecteur). Ils sont abondants chez les xérophytes.

Chez certains végétaux, ils peuvent être sécréteurs de substances agréables ou non (essences, résines, etc.) et sont appelés poils sécréteurs.

3- Assise pilifère, assise subéreuse et subéroïde

Ce sont les tissus de revêtement des organes souterrains. La zone pilifère des racines jeunes est constituée de poils absorbants. En coupe longitudinale et transversale de cette zone, on observe une assise de cellules périphériques prolongées par des poils absorbants, c'est l'assise pilifère (**Planche 7 – Fig. 1 et 2**). Elle absorbe l'eau et les sels minéraux par diffusion.

3-1- Assise pilifère ou rhizoderme

Assise de cellules vivantes, à parois minces cellulodiques, émettant un prolongement vers l'extérieur = poils absorbants. La grande vacuole repousse le cytoplasme à la périphérie. Le noyau de la cellule se trouve à l'extrémité du poil (**Planche 7 – Fig. 2**).

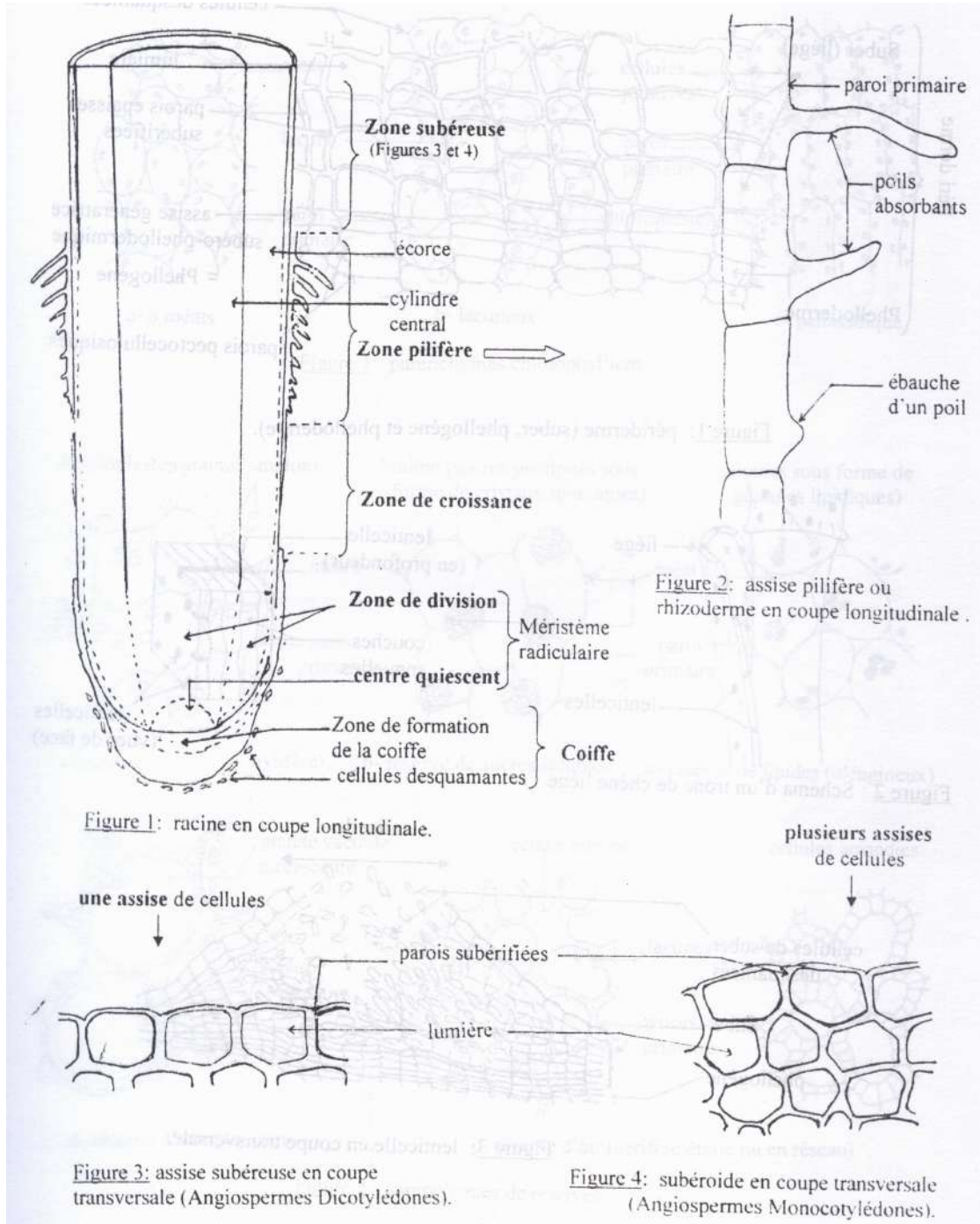
La vie des poils absorbants est de courte durée. En effet, de nouveaux poils se forment de côté de la zone de croissance, et les plus anciens qui se trouvent du côté de la zone subéreuse disparaissent (**Planche 7 – Fig. 1**). Donc, la longueur et la position de la zone pilifère resteront constantes.

3-2- Assise subéreuse et subéroïde

Après la chute des poils absorbants, la protection de la racine est assurée chez :

- Les angiospermes dicotylédones jeunes, par l'assise subéreuse : une assise de cellules subérifiées donnant naissance à la zone subéreuse (**Planche 7 – Fig. 3**)
- Les angiospermes monocotylédones, par le subéroïde formé de plusieurs assises de cellules à parois subérifiées (**Planche 7 – Fig. 4**).

Planche 7 : Assise pilifère, assise subéreuse et subéroïde



Tissus de revêtements secondaires

Suber ou liège

1- Introduction :

C'est un tissu de revêtement commun à la tige et à la racine. Il constitue un revêtement imperméable et résistant à la surface de ces deux organes. Il dérive du méristème secondaire subéro - phellodermique ou phellogène qui donne, après différenciation, des cellules à parois subérifiées, donc des cellules mortes.

2- Origine :

- Dans les tiges jeunes, la protection est assurée par l'épiderme
- Dans les racines jeunes, l'assise subéreuse chez les dicotylédones ; et le subéroïde chez les monocotylédones, constituent les tissus protecteurs
- Par contre, dans les tiges et racines âgées (**Planche 8 – Fig. 1**), les assises les plus externes sont détruites, par suite de l'augmentation des organes en épaisseur, résultant du fonctionnement du méristème subéro – phellodermique ou phellogène, à l'origine du suber ou liège, dont les parois cellulaires se subérifient, et le contenu des cellules dégénère, aboutissant à la mort des cellules.

3- Lenticelles :

Le suber étant imperméable, les échanges gazeux entre le milieu externe et les tissus internes d'une tige âgée ont lieu grâce à des ouvertures en forme de boutonnières appelés : lenticelles (**Planche 8 – Fig. 2**).

Elles forment un puits rempli de cellules mortes et subérifiées, qui s'écartent les unes des autres, permettant une circulation des gaz entre les interstices (**Planche 8 – Fig. 3**).

Planche 8 : Suber et phelloderme

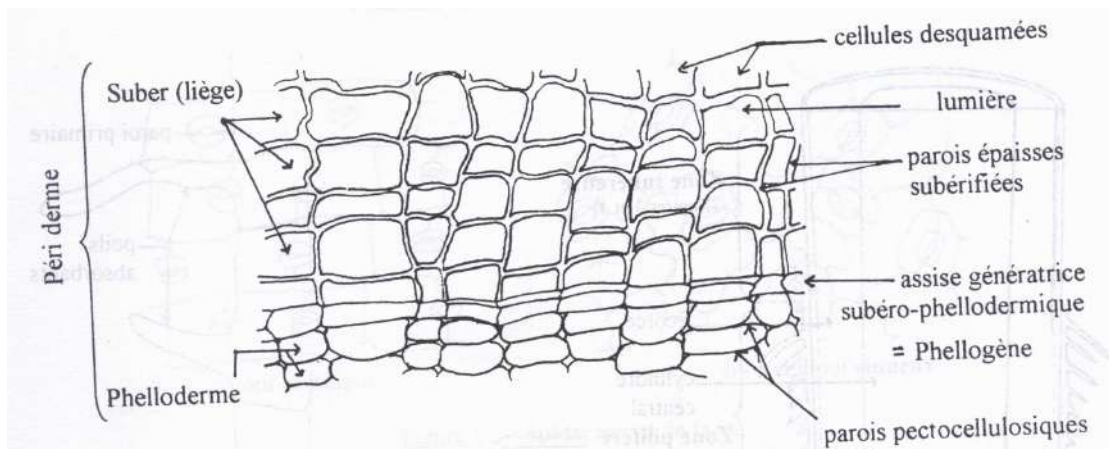


Figure 1: périderme (suber, phellogène et phelloderme).

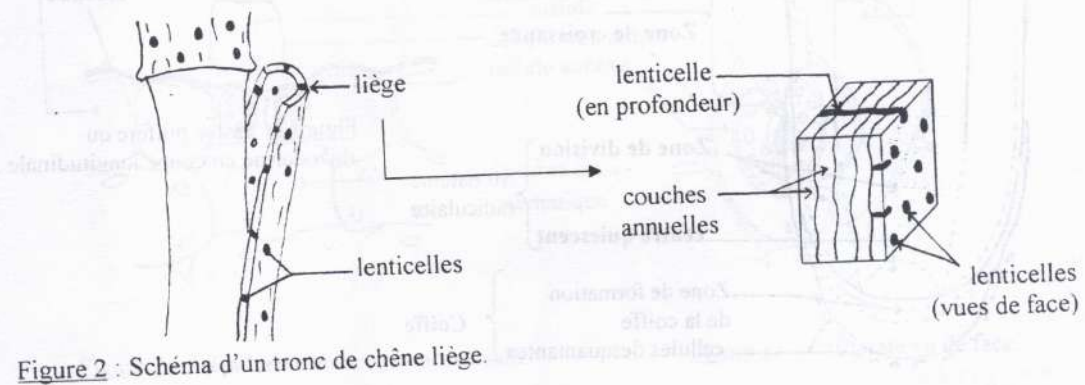


Figure 2 : Schéma d'un tronc de chêne liège.

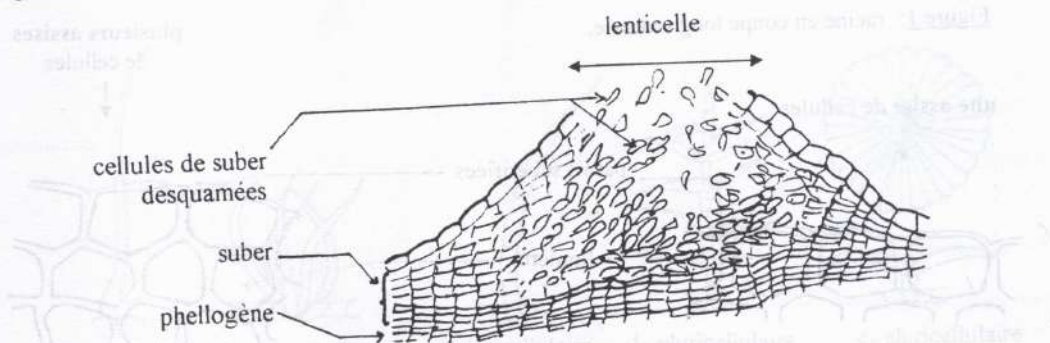


Figure 3: lenticelle en coupe transversale.

Parenchymes

1- Définition et origine :

Ce sont les tissus fondamentaux des végétaux, ils sont le siège des métabolismes de la plante, où ils sont abondants. Ce sont les tissus les moins différenciés, ils peuvent se différencier pour donner d'autres tissus. Formés de cellules vivantes à paroi mince et à vacuole bien développée. D'origine primaire, ils proviennent des méristèmes primaires. Classés d'après la forme des cellules et la fonction des tissus.

2- Classification selon la forme :

- **Parenchyme à méats** : Cellules plus ou moins arrondies, par décollement de la lamelle moyenne (constituant de la paroi cellulaire assurant le lien entre des cellules voisines), pour former des méats. Situés au niveau des feuilles (face inférieure), tige, pétiole et racines (**Planche 9 – Fig. 1a**).
- **Parenchyme lacuneux** : Cellules plus ou moins arrondies ou étoilées, entre lesquelles se trouve de grandes lacunes où circulent les gaz. Situées dans les faces inférieures des feuilles, tiges et pétioles (**Planche 9 – Fig. 1b**).
- **Parenchyme palissadique** : Cellules allongées, polyédriques et accolées les unes aux autres, sans méats. Une à deux assises de cellules situées du côté de la face supérieure des feuilles (face la plus éclairée) et très riche en chloroplastes (**Planche 9 – Fig. 1c**).

3- Classification selon la fonction :

- **Parenchymes chlorophylliens** : Les cellules sont riches en chloroplastes, rôle dans la photosynthèse, situés en périphérie des organes aériens (**Planche 9 – Fig. 1a, b et c**).
- **Parenchymes de réserves** : On en distingue plusieurs types :
 - **Parenchymes de réserve de métabolites** : Parenchymes à méats, situés plus profondément dans les organes. Ils reçoivent les composés élaborés par les parenchymes chlorophylliens, et une fois remaniés, ils sont accumulés dans ces parenchymes. Ces composés peuvent être des glucides (**Planche 9 – Fig. 2a et b**) ou des lipides (**Planche 9 – Fig. 2c**). Ils sont localisés dans les organes souterrains (racines, rhizomes, tubercules et bulbes), les graines (albumen et cotylédons) et les tiges aériennes (cylindre central et moelle).
 - **Parenchyme aquifère** : Parenchymes qui mettent en réserve de l'eau dans de grandes vacuoles. Les cellules sont grandes à méats. Ces parenchymes sont abondants dans les tiges et feuilles des plantes succulentes (plantes grasses). Certains végétaux utilisent l'eau mise en réserve pendant les périodes de sécheresse (**Planche 9 – Fig. 2d**).
 - **Parenchyme aérifère ou aërenchyme** : Fréquent chez les plantes aquatiques, ce sont des parenchymes lacuneux, où les lacunes très grandes emmagasinent de l'air : CO_2 et O_2 pour les échanges gazeux. On en distingue deux types de parenchymes ; l'un dont les cellules sont de forme étoilée, l'autre dont les cellules sont de forme arrondies délimitant une lacune (**Planche 9 – Fig. 2e**).

Planche 9 : Parenchymes

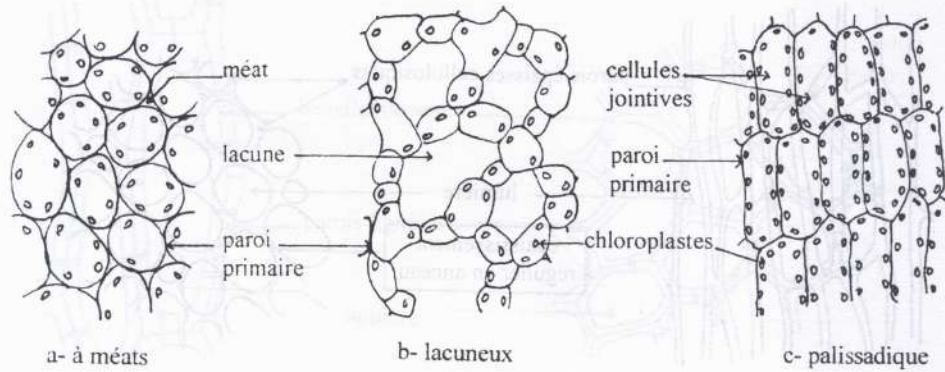


Figure 1: parenchymes chlorophylliens.

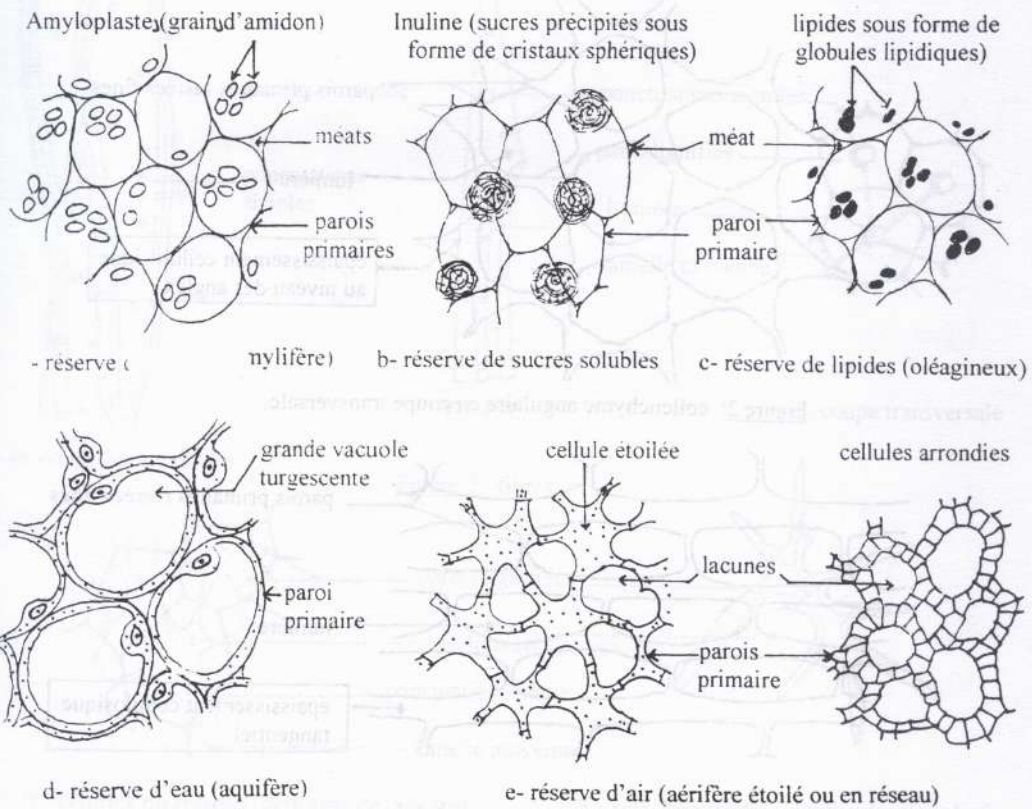


Figure 2: parenchymes de réserves.

Tissus de soutien

1- Définition et origine :

Ce sont des tissus plus ou moins rigides qui assurent l'élasticité et la solidité de la plante. D'origine primaire, puisque provenant de la différenciation des méristèmes primaires. De ce fait, ils se mettent en place dans les organes jeunes de deux façons :

- Soit directement à partir de la différenciation de méristèmes primaires
- Soit indirectement à partir de cellules parenchymateuses qui se dédifférencient en cellules méristématiques primaires, lesquelles se différencient de nouveau en tissus de soutien

Les parois des cellules sont très épaisses, et suivant la nature des parois, on distingue deux types de tissus de soutien : les collenchymes et les sclérenchymes.

2- Collenchymes :

Ce sont les tissus de soutien des organes aériens jeunes, qui n'ont pas terminé leur croissance. Ils se trouvent en général en périphérie des organes. En coupe longitudinale (**Planche 10 – Fig. 1a**), les tissus de soutien sont constitués de cellules vivantes plus ou moins allongées, à paroi primaire cellulosique épaisse et étroitement accolées les unes aux autres.

En coupe transversale, les collenchymes présentent différents aspects selon l'organisation du dépôt de cellulose, on en distingue trois types :

- **Collenchyme rond ou annulaire** : la paroi est uniformément épaissie (épaississement régulier en anneau), avec absence de méats (**Planche 10 – Fig. 1b**).
- **Collenchyme angulaire** : l'épaississement de cellulose est important au niveau des angles des cellules (**Planche 10 – Fig. 2**).
- **Collenchyme tangentiel** : les parois tangentielles sont plus épaisses que les parois latérales (**Planche 10 – Fig. 3**).

Les cellules du collenchyme communiquent entre elles par des ponctuations simples. **Rôle** : élasticité des organes.

3- Sclérenchymes :

Tissus de soutien des organes qui ont terminé leur croissance en longueur. Ils sont situés généralement en profondeur dans les organes aériens et parfois souterrains, entourant les tissus conducteurs.

En coupe longitudinale et transversale (**Planche 11 – Fig. 1a et b**), les cellules sont à paroi épaisse et lignifiée, donc ce sont des cellules mortes dépourvues de protoplasme.

D'après la forme des cellules, on distingue :

- **Le tissu sclérenchymateux proprement dit** : les cellules sont de forme allongée en coupe longitudinale (**Planche 11 – Fig. 1a**) et de forme polyédrique en coupe transversale (**Planche 11 – Fig. 1b**).

Planche 10 : Collenchymes

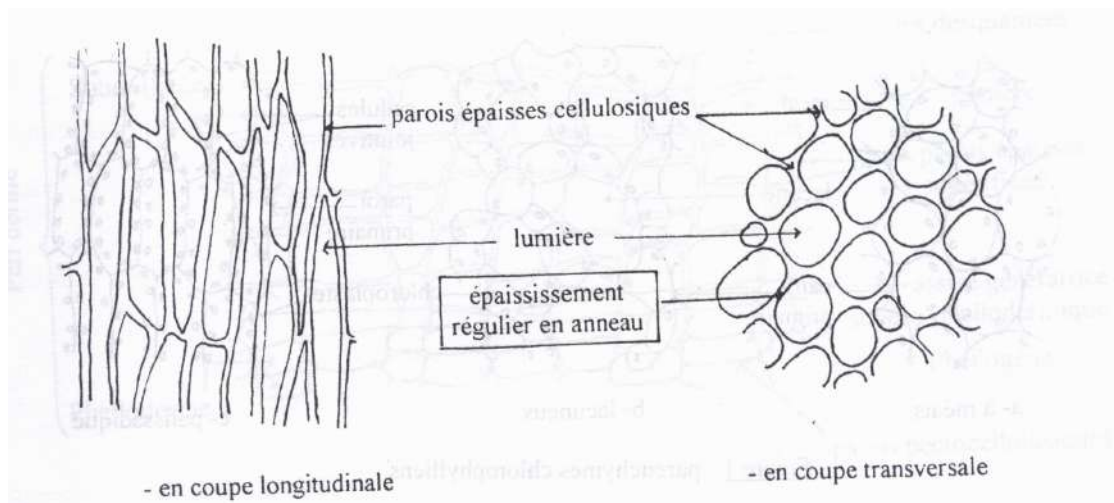


Figure 1: collenchyme rond ou annulaire.

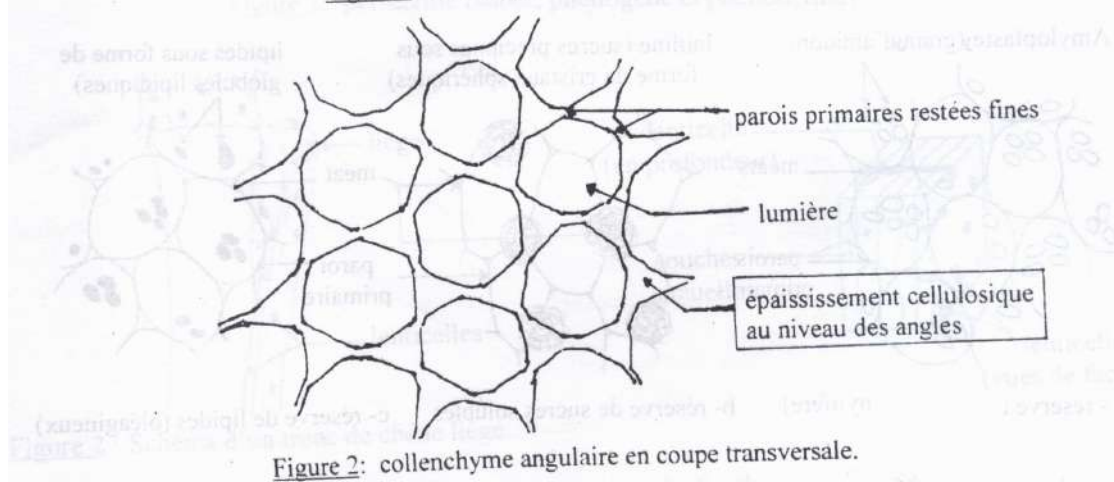


Figure 2: collenchyme angulaire en coupe transversale.

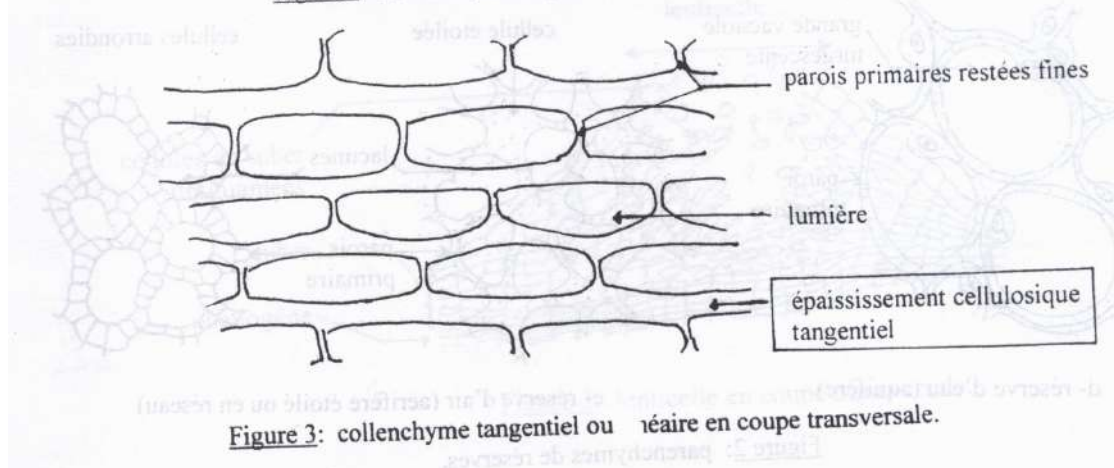
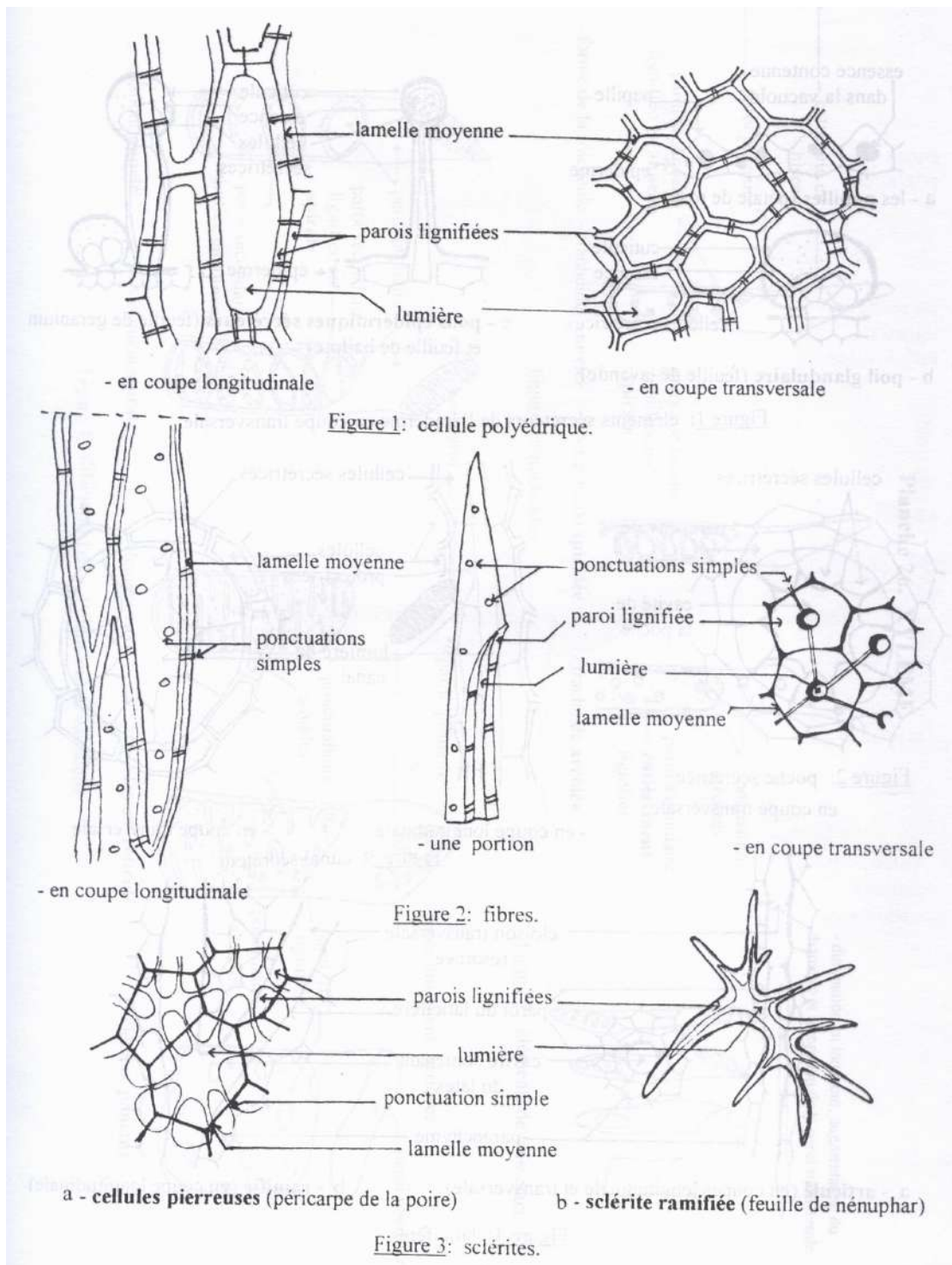


Figure 3: collenchyme tangentiel ou annulaire en coupe transversale.

- **Fibres** : les cellules sont de forme fusiforme très allongées, effilées aux deux extrémités et pouvant atteindre plusieurs cm de longueur (**Planche 11 – Fig. 2**). Elles peuvent être isolées ou groupées.
- **Sclérites** : ce sont des cellules courtes de forme variable, à paroi épaisse et lignifiée. Elles peuvent être :
 - **Groupées** : sclérites ou cellules pierreuses du péricarpe de la poire, de la pomme (**Planche 11 – Fig. 3a**)
 - **Isolées** : sclérite ramifiée, isolée au sein du parenchyme de la feuille du Nénuphar (**Planche 11 – Fig. 3b**)
 - **Assemblées** : en une assise continue de sclérites, dans le tégument de la graine du haricot par exemple

La lignification des parois cellulaires confère au sclérenchyme une rigidité plus grande que celle du collenchyme. **Rôle** : rigidité des organes.

Planche 11 : Sclérenchymes



Tissus sécréteurs

1- Définition :

Ce sont des tissus spécialisés dans la synthèse (sécrétion) de certaines substances : essences, tannins, résines, latex, etc.

Ces tissus peuvent accumuler les produits synthétisés au sein même de leurs cellules ou bien les rejeter hors de celles-ci dans des cavités ménagées dans les organes ; dans ce cas il y a excrétion des produits sécrétés.

Deux catégories de tissus sécréteurs sont à distinguer :

- Tissus sécréteurs externes : épiderme et poils sécréteurs
- Tissus sécréteurs internes : cellules sécrétrices isolées, poches et canaux sécréteurs, laticifères

2- Tissus sécréteurs externes :

2-1- Cellules d'épidermes :

Peuvent élaborer et accumuler dans leur cytoplasme des essences volatiles, qui en se vaporisant au travers de la cuticule mince, produisent des parfums agréables ou non de certaines plantes (**Planche 12 – Fig. 1a**).

2-2- Poils épidermiques :

Ou bien poils glandulaires (**Planche 12 – Fig. 1b**) ou poils sécréteurs (**Planche 12 – Fig. 1c**). Ce sont des poils composés ou pluricellulaires, dont la ou les cellules terminales accumulent des essences volatiles. L'essence sécrétée est accumulée entre la paroi des cellules et la cuticule. La déchirure de cette cuticule libère l'essence qui se volatilise.

3- Tissus sécréteurs internes :

3-1- Cellules sécrétrices isolées :

Au sein des parenchymes, on peut observer des cellules isolées accumulant dans les vacuoles, les produits qu'elles ont synthétisés. **Exemple** : cellules à tannins.

3-2- Poches sécrétrices :

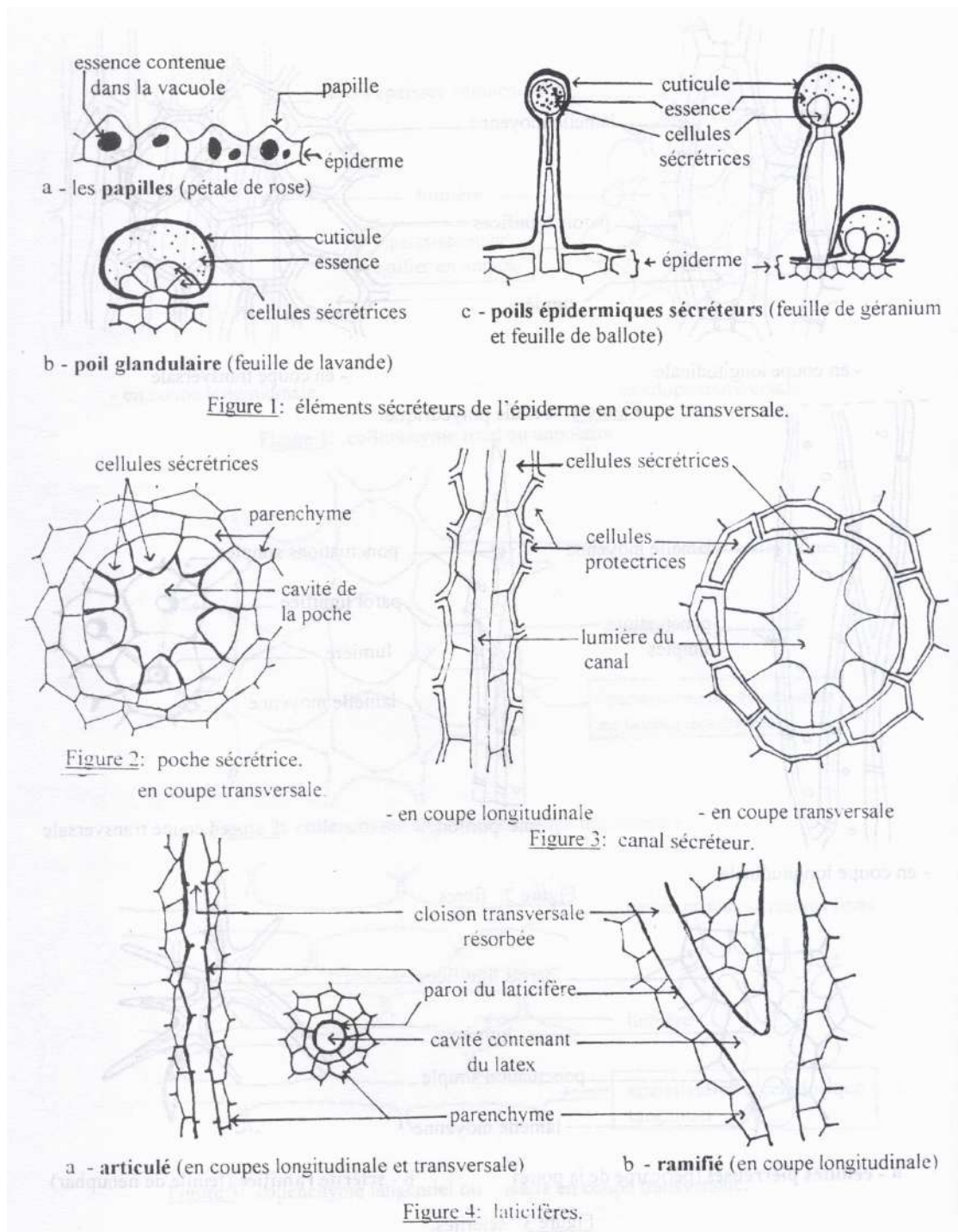
Cavités sphériques situées dans les parenchymes des feuilles, tiges et fruits chez certaines espèces. Ces poches sont bordées de cellules qui sécrètent et excrètent leurs produits (**Planche 12 – Fig. 2**). **Exemples** : péricarpe de l'orange, mandarine, citron et résines des feuilles et tiges de Pin.

3-3- Canaux sécréteurs :

Tubes allongés en coupe longitudinale (**Planche 12 – Fig. 3a**) et circulaires en coupe transversale (**Planche 12 – Fig. 3b**), délimitant un canal limité par deux assises de cellules :

- Cellules sécrétrices bordant la lumière dans laquelle le produit est excrété
- Cellules protectrices entourant les cellules sécrétrices

Planche 12 : Tissus sécréteurs



3-4- Laticifères :

Ce sont des éléments allongés, ramifiés ou non, renfermant un liquide généralement blanc comme le lait = latex. Le latex est un liquide visqueux parfois coloré.

Ils renferment de l'eau, glucose, acides organiques, sels minéraux, alcaloïdes, tannins, mucilages, enzymes, terpènes et amidon. **Exemple** : caoutchouc (terpènes).

Suivant leur mode de formation, on distingue deux catégories de laticifères :

- **Laticifères vrais** : chaque laticifère provient d'une cellule parenchymateuse qui s'allonge considérablement pendant la croissance des organes. Suivant les espèces, cette cellule en s'allongeant peut se ramifier (**Planche 12 – Fig. 4b**). Au cours de cette croissance, les noyaux subissent des mitoses. Ainsi, chaque laticifère est formé d'une grande cellule très allongée, contenant plusieurs noyaux (cénocytes).
- **Laticifères articulés** : ils s'organisent à partir de nombreuses cellules parenchymateuses disposées en files (chaque cellule = article du laticifère). Les parois transversales qui séparent les différents articles, peuvent persister ou être perforées ou encore être résorbées (**Planche 12 – Fig. 4a**). Dans ce cas, le laticifère est devenu un faux cénocyte. Ils peuvent rester indépendants ou bien communiquer entre eux.

Tissus conducteurs primaires

1- Introduction :

Les tissus conducteurs sont des tissus spécialisés dans le transport des sèves au sein du végétal. On en distingue deux sortes :

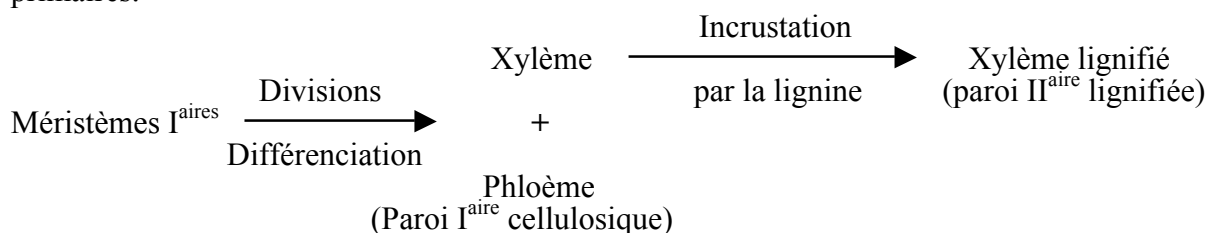
- **Xylème ou tissu ligneux** : assure la conduction de la sève brute (eau + sels minéraux) absorbée par les racines grâce à l'assise pilifère.
- **Phloème ou tissu criblé** : conduit la sève élaborée (substances organiques provenant de la photosynthèse) vers tous les organes de la plante.

Les végétaux possédant des tissus conducteurs sont dits vasculaires (trachéophytes).

C'est à partir des ptéridophytes qu'apparaissent des tissus conducteurs simplifiés, la différenciation s'accroît avec les Gymnospermes et les Angiospermes.

2- Origine :

Xylème et phloème sont des tissus conducteurs d'origine primaire, provenant de méristèmes primaires.



3- Localisation :

Xylème et phloème se mettent en place dans les organes jeunes (tiges, feuilles et racines). Ils sont situés en profondeur dans les organes au niveau du cylindre central ou moelle.

4- Organisation du xylème :

Le xylème est constitué d'éléments conducteurs associés à des éléments accessoires non conducteurs.

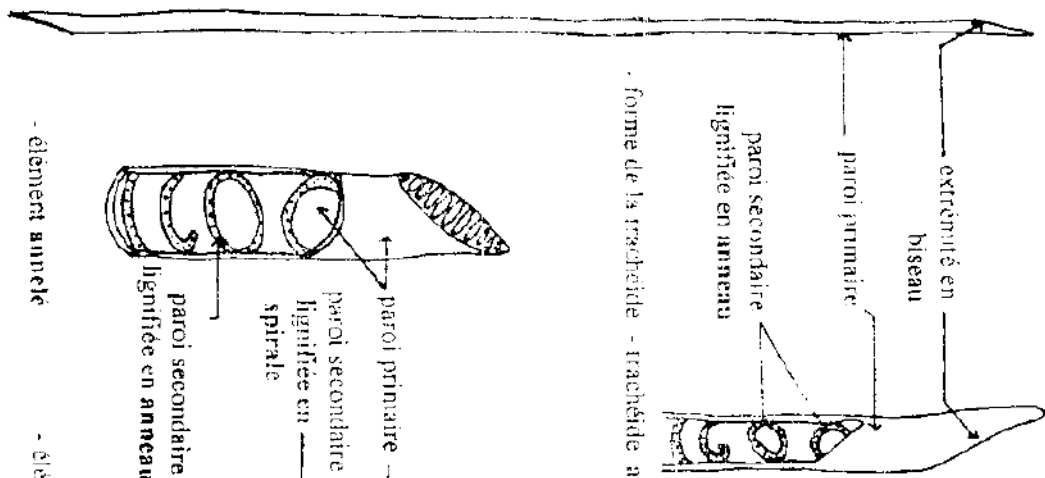
4-1- Eléments conducteurs :

Les éléments caractéristiques sont les trachéides et les vaisseaux. Ce sont des cellules lignifiées, mortes, qui deviennent fonctionnelles après la dégénérescence du cytoplasme.

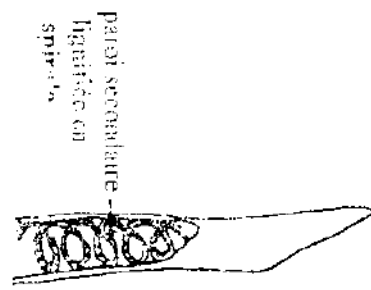
4-1-1- Trachéides (Planche 13 – Fig. 1)

Eléments primitifs peu différenciés, présents chez les végétaux vasculaires les moins évolués : Gymnospermes et Angiospermes archaïques. Ce sont des cellules allongées, fusiformes, à paroi secondaire épaisse, lignifiée et dépourvue de cytoplasme lorsqu'elles sont différenciées ; ce sont des cellules mortes. Elles communiquent entre elles (circulation de la sève) et avec les cellules parenchymateuses par les ponctuations.

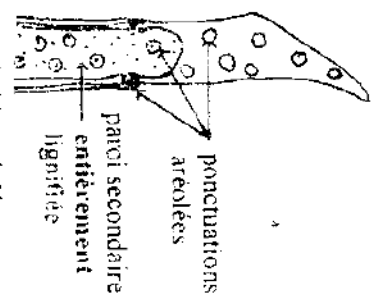
Planche 13 : Xylème



forme de la trachéide - trachéide annelé



trachéide spirale



trachéide aréolée

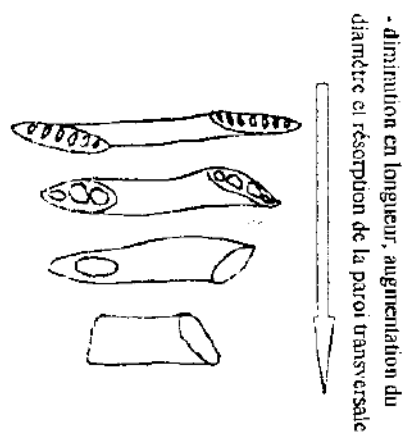
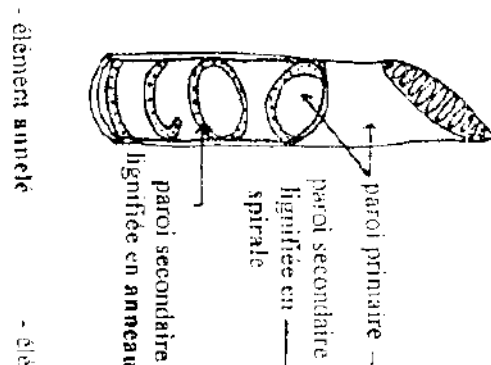


Fig. 1: trachéides.

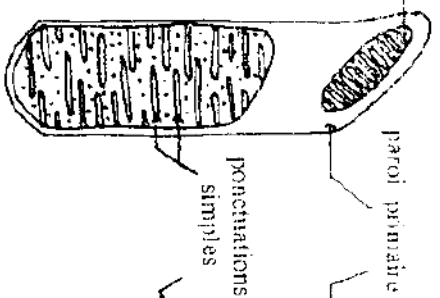
Figure 2: éléments de vaisseaux.



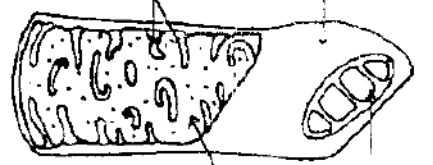
- élément annelé



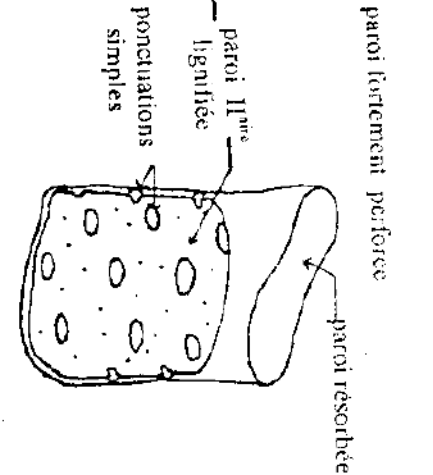
- élément spirale



- élément rayé



- élément réticulé



- élément ponctué

Figure 3: différents types d'éléments de vaisseaux.

Suivant l'organisation du dépôt de lignine ou suivant la forme des ponctuations, on distingue :

- **Trachéides annelées et spiralées** : (Ptéridophytes – Gymnospermes et Angiospermes primitives), ce sont des éléments de petit calibre qui apparaissent les premiers dans tous les organes jeunes. Les parois secondaires latérales portent des épaississements de lignine en anneaux ou en spirales (**Planche 13 – Fig. 1**).
- **Trachéides aréolées** : (Gymnospermes) présentant des ponctuations aréolées et paroi secondaire entièrement lignifiée (**Planche 13 – Fig. 1**).

Les trachéides ont un double rôle de soutien et de conduction :

- La paroi épaisse et lignifiée confère une rigidité
- La grande lumière des trachéides permet une circulation rapide de la sève brute

Remarques :

- Les trachéides sont également appelées vaisseaux imparfaits car elles possèdent des parois transversales.
- Ces trachéides primitives sont le plus souvent étirés et écrasés pendant la croissance de l'organe et peuvent donc disparaître.

4-1-2- Vaisseaux (Planche 13 – Fig. 2 et 3)

Se trouvent uniquement chez les végétaux vasculaires les plus évolués c'est à dire les Angiospermes. Ce sont de longs tubes partant de l'extrémité de la racine et se prolongeant dans les tiges et feuilles. La paroi secondaire épaisse est lignifiée de différentes façons :

- En anneau : vaisseaux annelés
- En spirale : vaisseaux spiralés
- En bandes transversales : vaisseaux rayés – vaisseaux réticulés
- Revêtement de lignine continu sauf au niveau des ponctuations où la paroi secondaire est interrompue : vaisseaux ponctués

Remarques :

- Les vaisseaux annelés et spiralés ont un petit calibre (**Planche 13 bis – Fig. 1 et 2**).
- Les vaisseaux rayés, réticulés et ponctués sont plus larges (**Planche 13 bis – Fig. 1 et 2**).
- Les vaisseaux sont dépourvus de paroi transversale : longs tubes.

4-2- Eléments non conducteurs :

4-2-1- Parenchymes

Ce sont des cellules vivantes à paroi cellulosique. Ces cellules accompagnent les éléments conducteurs du xylème et ils jouent un rôle de réserve et de contrôle du pH. Des cellules parenchymateuses peuvent être légèrement lignifiées et associées au xylème, on parle de xylenchyme ou d'un parenchyme ligneux lignifié (**Planche 13 bis – Fig. 1 et 2**).

4-2-2- Fibres

Ce sont des cellules allongées, fusiformes, à parois épaisses, lignifiées et donc mortes, elles jouent un rôle de soutien. Elles peuvent être isolées ou en amas.

Planche 13 bis : Xylème

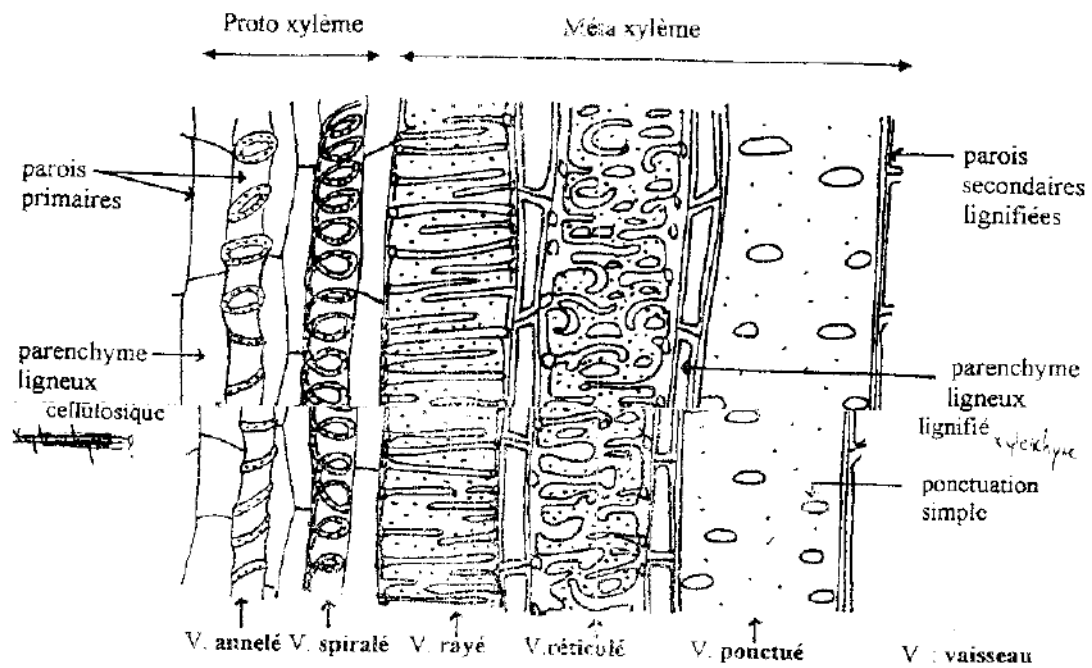


Figure 1: coupe longitudinale d'un faisceau vasculaire d'une Angiosperme

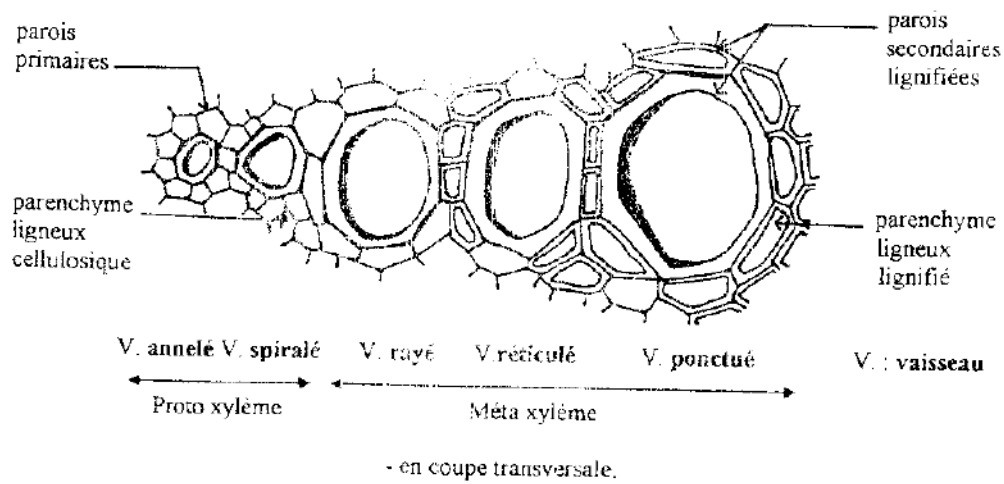


Figure 2: coupe transversale d'un faisceau vasculaire d'une Angiosperme

4-3- Structure du xylème :

Suivant le moment de la différenciation, on distingue deux catégories d'éléments conducteurs disposés en faisceaux de xylème ou faisceaux vasculaires :

- **Protoxylème (Planche 13 bis – Fig. 1 et 2) :** Ce sont les éléments qui apparaissent en premier dans les organes jeunes. Ces éléments conducteurs s'allongent pendant la croissance de l'organe. Ils peuvent être écrasés et disparaître dans les organes qui ont achevé leur croissance.
- **Métaxylème (Planche 13 bis – Fig. 1 et 2) :** Ils se différencient dans les organes à croissance achevée.

5- Organisation du phloème :

Le phloème est constitué d'éléments conducteurs de la sève élaborée et d'éléments non conducteurs.

5-1- Éléments conducteurs :

Un ensemble de cellules placées bout à bout en file longitudinale, à paroi cellulosique ± épaisse constituent un tube criblé chez les Angiospermes (on parle de cellules criblées chez les Gymnospermes). Les parois comportent des perforations ou pores au niveau desquels la lamelle moyenne et la paroi sont interrompues (plasmodesmes). Ces cloisons sont appelés cribles (**Planche 14 – Fig. 1**).

Le long de chaque cellule criblée se trouve une cellule allongée étroite à paroi cellulosique mince (cellule compagne) à noyau volumineux et peu différenciée (**Planche 14 – Fig. 1**).

Le fonctionnement d'un tube criblé est de courte durée :

- Végétaux annuels : tubes criblés vivent une année.
- Végétaux vivaces et pérennes : en hiver, il se forme des cals temporaires (dépôt de callose = polymère de glucose), lesquels sont dissous au printemps.

Remarque :

Les cribles peuvent être simples ou composés (**Planche 14 – Fig. 2**).

5-2- Éléments non conducteurs :

5-2-1- Parenchyme phloémien cellulosique

Rôle de réserve, cellules à paroi cellulosique mince.

5-2-2- Fibres

Moins abondantes, parfois absentes. Rôle de soutien.

Planche 14 : Phloème

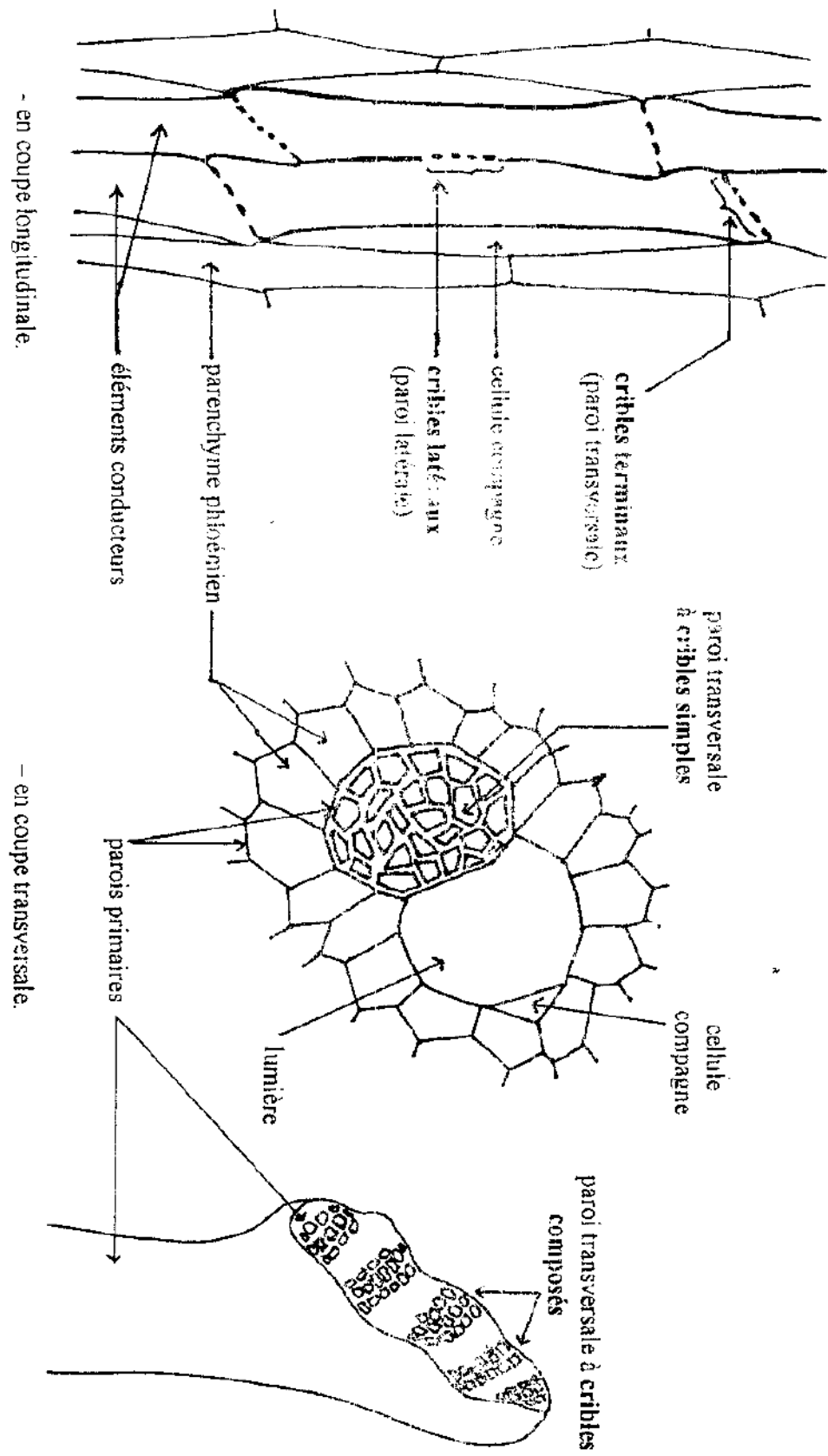


Figure 1 : phloème (tissu criblé) d'une Angiosperme.

Figure 2 : Un élément conducteur à cribles composés.

5-3- Structure du phloème :

Suivant l'ordre d'apparition des éléments conducteurs du phloème, on distingue :

- **Protophloème** : Apparaît en premier dans les organes jeunes.
- **Métaphloème** : Au cours de la croissance de l'organe ou à croissance achevée.

Ils sont également disposés en amas, mais ils ne se distinguent pas comme le protoxylème (PTX) et le métaxylème (MTX). En effet, protophloème (PTP) et métaphloème (MTP) sont constitués de tubes criblés identiques.

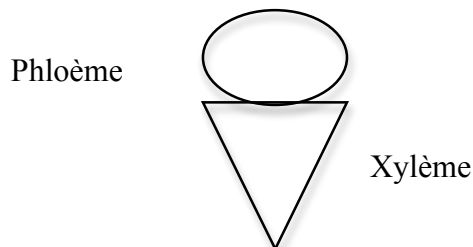


6- Organisation des faisceaux criblo-vasculaires

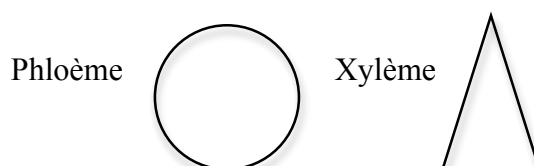
L'association des faisceaux du xylème et des amas du phloème constitue les faisceaux criblo-vasculaires, provenant de la différenciation de méristèmes primaires. Ils caractérisent la structure primaire des organes végétaux.

Xylème et phloème s'associent de deux manières :

- Un au dessus de l'autre ou superposés (tiges et feuilles)



- Côte à côte ou alternes (racine)



7- Conclusion :

Les tissus conducteurs primaires forment des complexes tissulaires constitués par des éléments conducteurs, du parenchyme et des fibres.

Tissus conducteurs secondaires

1- Introduction :

Ce sont des tissus conducteurs des sèves dans le corps du végétal. Ils proviennent du fonctionnement des méristèmes secondaires libéro-ligneux ou cambium, et donc présents dans les organes âgés des Gymnospermes et des Angiospermes Dicotylédones uniquement (tige, feuilles, racine).

Ils sont peu développés dans les tiges herbacées des Dicotylédones, mais très développés dans les tiges ligneuses des Gymnospermes et des Angiospermes Dicotylédones formant le "bois". L'étude d'une coupe transversale de racine ou de tige âgée de ces deux sous embranchements montre que le cambium donne naissance à deux tissus conducteurs secondaires :

- Le liber dirigé vers l'extérieur.
- Le bois dirigé vers l'intérieur.

Lesquels sont situés en profondeur dans les organes c'est à dire dans le cylindre central comme les tissus conducteurs primaires.

- Le liber s'ajoute au phloème qui est repoussé vers la périphérie.
- Le bois s'ajoute au xylème qui est repoussé en profondeur.

Dans les tiges ligneuses (tronc, branches), le développement important du "bois" entraîne l'écrasement et même la disparition des tissus conducteurs primaires (phloème et xylème).

2- Plans d'études :

L'étude des tissus conducteurs secondaires des tiges et des racines peut se faire à partir de 3 plans de coupes :

- **Plan tangentiel** : Coupe longitudinale parallèle à l'axe de l'organe (**Planche 15 – Fig. 1**).
- **Plan radial** : Coupe longitudinale perpendiculaire au plan tangentiel qui passe par l'axe de l'organe (**Planche 15 – Fig. 2**).
- **Plan transversal** : Coupe transversale perpendiculaire à l'axe de l'organe (**Planche 15 – Fig. 3**).

3- Fonctionnement du cambium :

Le cambium est constitué de deux catégories de cellules :

- **Initiales fusiformes** : Cellules longues, donnant naissance aux constituants du bois et du liber allongées dans le sens de l'axe formant le système vertical (**Planche 5 – Fig. 2**).
- **Initiales radiales** : Cellules courtes, produisant les cellules du parenchyme horizontal ou rayons allongés dans le sens radial formant le système horizontal des tissus conducteurs (**Planche 5 – Fig. 2**).

Planche 15 : Différents plans de coupe dans tiges ou racines

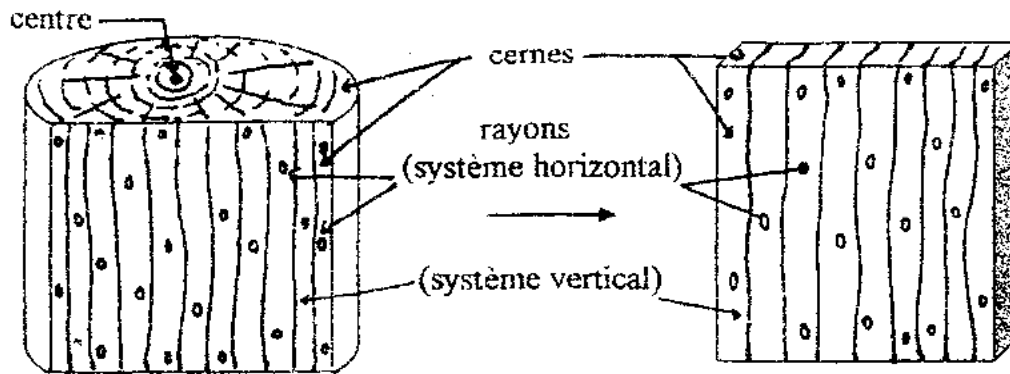


Figure 1 : Plan tangentiel et coupe longitudinale tangentielle.

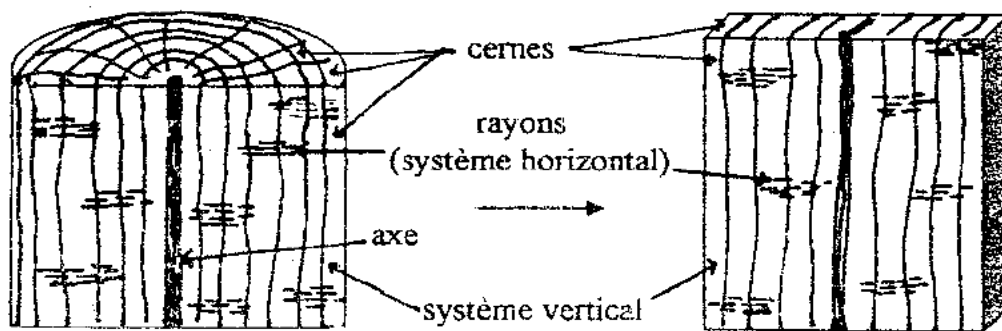


Figure 2 : Plan radial et coupe longitudinale radiale.

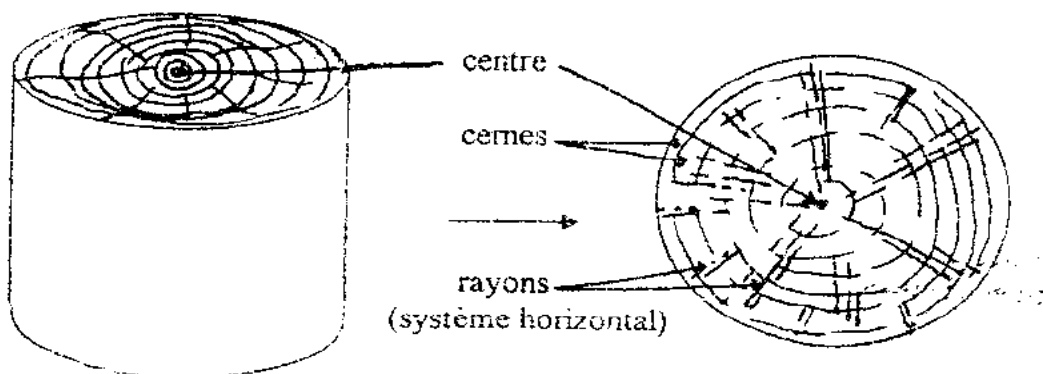


Figure 3 : Plan transversal et coupe transversale.

Dans cette zone cambiale, on distingue 3 modes de divisions :

- **Divisions périclinales ou tangentielles** : Représentant 90% des mitoses cambiales produisant les éléments du bois et du liber. Elles concernent les initiales fusiformes. Chez les arbres, la quantité de bois est toujours supérieure à celle du liber, du à un fonctionnement dissymétrique du cambium, mais aussi à un grand nombre de mitoses qui se produisent dans les dérivés ligneux.
- **Divisions anticlines ou radiales** : Peu fréquentes, concernent les deux types d'initiales favorisant l'augmentation de la circonférence cambiale par production du bois et du liber.
- **Divisions transversales** : Se rencontrent dans les deux types d'initiales, elles permettent l'apparition de nouveaux rayons formant le parenchyme horizontal.

4- Bois :

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

4-1- Bois des Gymnospermes : (Planche 16 – Fig. 2)

- Eléments conducteurs = Trachéides aréolées
- Fibres absentes
- Parenchyme ligneux horizontal = Parenchyme ligneux cellulosique ou lignifié formant les rayons ligneux unisériés (une seule file de cellules)
- Parenchyme vertical rare réduit à quelques cellules parenchymateuses.

On parle d'un : bois homogène ou homoxylé (**Planche 16 – Fig. 2**) et (**Planche 16 bis – Fig. 4**).

4-2- Bois des Angiospermes Dicotylédones : (Planche 16 – Fig. 1)

- Eléments conducteurs = Vaisseaux rayés, réticulés et ponctués
- Fibres très abondantes
- Parenchyme ligneux horizontal = Rayons ligneux uni ou plurisériés (plusieurs files de cellules)
- Parenchyme ligneux vertical présent.

On parle d'un : bois hétérogène ou hétéroxylé (**Planche 16 – Fig. 1**) et (**Planche 16 bis – Fig. 3**).

4-3- Formation des cernes :

L'observation à l'œil nu d'une coupe transversale de tronc d'arbre ou bois des Gymnospermes et des Angiospermes Dicotylédones montre qu'il est constitué de couches concentriques ou cernes (**Planche 15 – Fig. 1, 2 et 3**). Chaque cerne est un anneau ligneux correspondant à une année de formation de bois. Une cerne est constituée par :

- Partie claire = bois initial = bois de printemps (**Planche 16 bis – Figure 3**)
- Partie sombre = bois final = bois d'automne (**Planche 16 bis – Figure 3**)

Donc 1 cerne = 1 année de bois

Le nombre de cernes = nombre d'années = âge de l'arbre

Planche 16 : Bois et liber

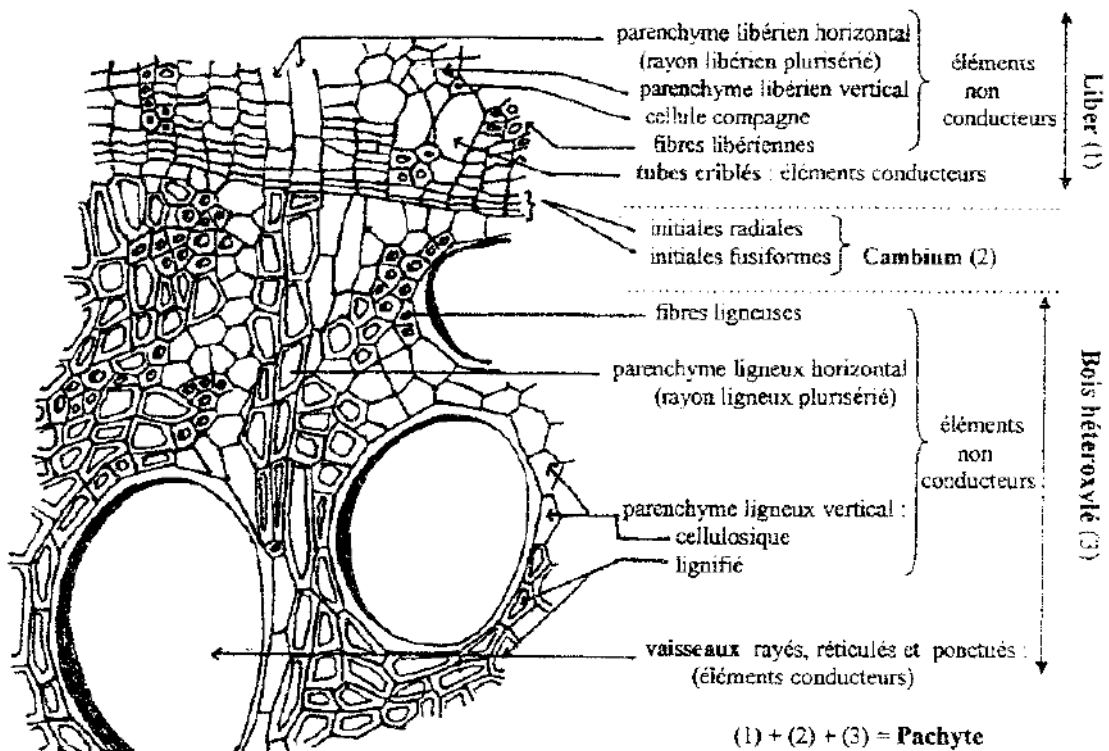


Figure 1: coupe transversale d'une tige âgée de mercuriale (Angiosperme Dicotylédone) montrant le bois hétéroxylé et le liber.

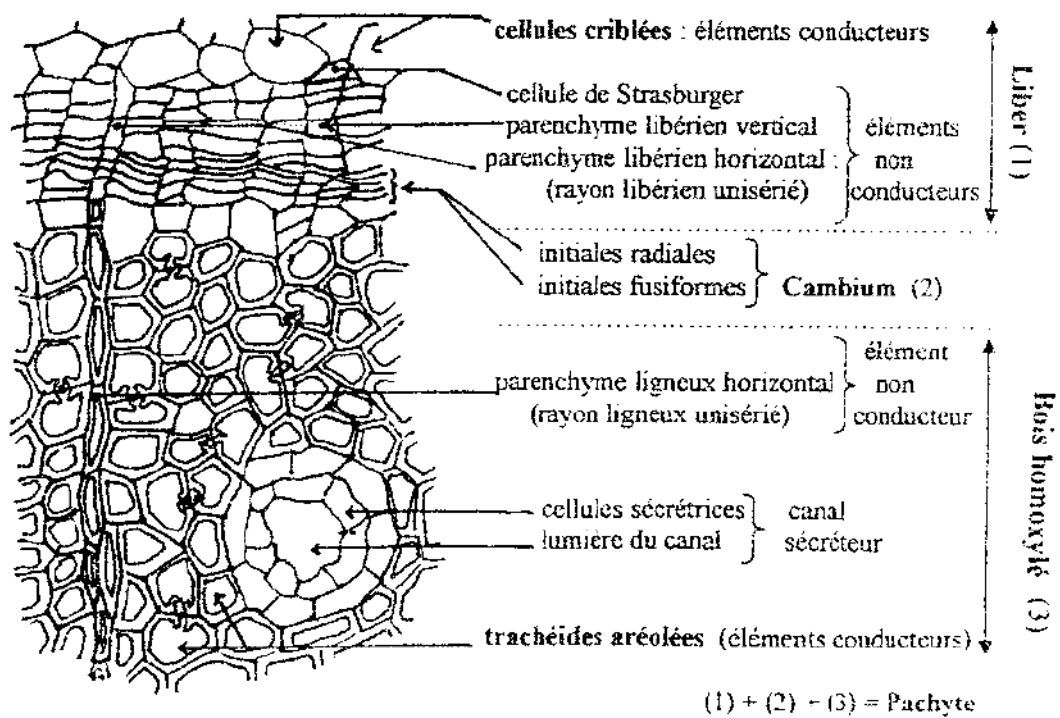


Figure 2: coupe transversale d'une tige âgée de Pin (Gymnosperme) montrant le bois homoxylé et le liber.

Remarques :

- Bois de printemps = clair : vaisseaux à grande lumière où circule une sève abondante.
- Bois d'automne = sombre : vaisseaux à petite lumière et paroi lignifiée très épaisse, sève peu abondante.

5- Liber :

Le liber conduit la sève élaborée, il s'ajoute au phloème.

5-1- Liber des Gymnospermes : (Planche 16 – Fig. 2)

- Eléments conducteurs = Cellules criblées
- Pas de cellules compagnes, mais des cellules de Strasburger (réserves albuminées)
- Plus ou moins de fibres
- Parenchyme libérien vertical
- Parenchyme libérien horizontal = rayons libériens unisériés qui se prolongent avec les rayons ligneux.

5-1- Liber des Angiospermes Dicotylédones : (Planche 16 – Fig. 1)

- Eléments conducteurs = Tubes criblés
- Présence de cellules compagnes
- Plus ou moins de fibres
- Parenchyme libérien vertical
- Parenchyme libérien horizontal = rayons libériens uni ou plurisériés qui se prolongent avec les rayons ligneux.

Remarques :

- Le parenchyme horizontal formant les rayons ligneux et libériens assure le transport de l'eau, des sels minéraux et des substances organiques à travers la zone cambiale indispensable à la survie des initiales.
- Le liber, cambium et bois constituent le pachyte.

Planche 16 bis : Bloc diagramme du bois des Gymnospermes

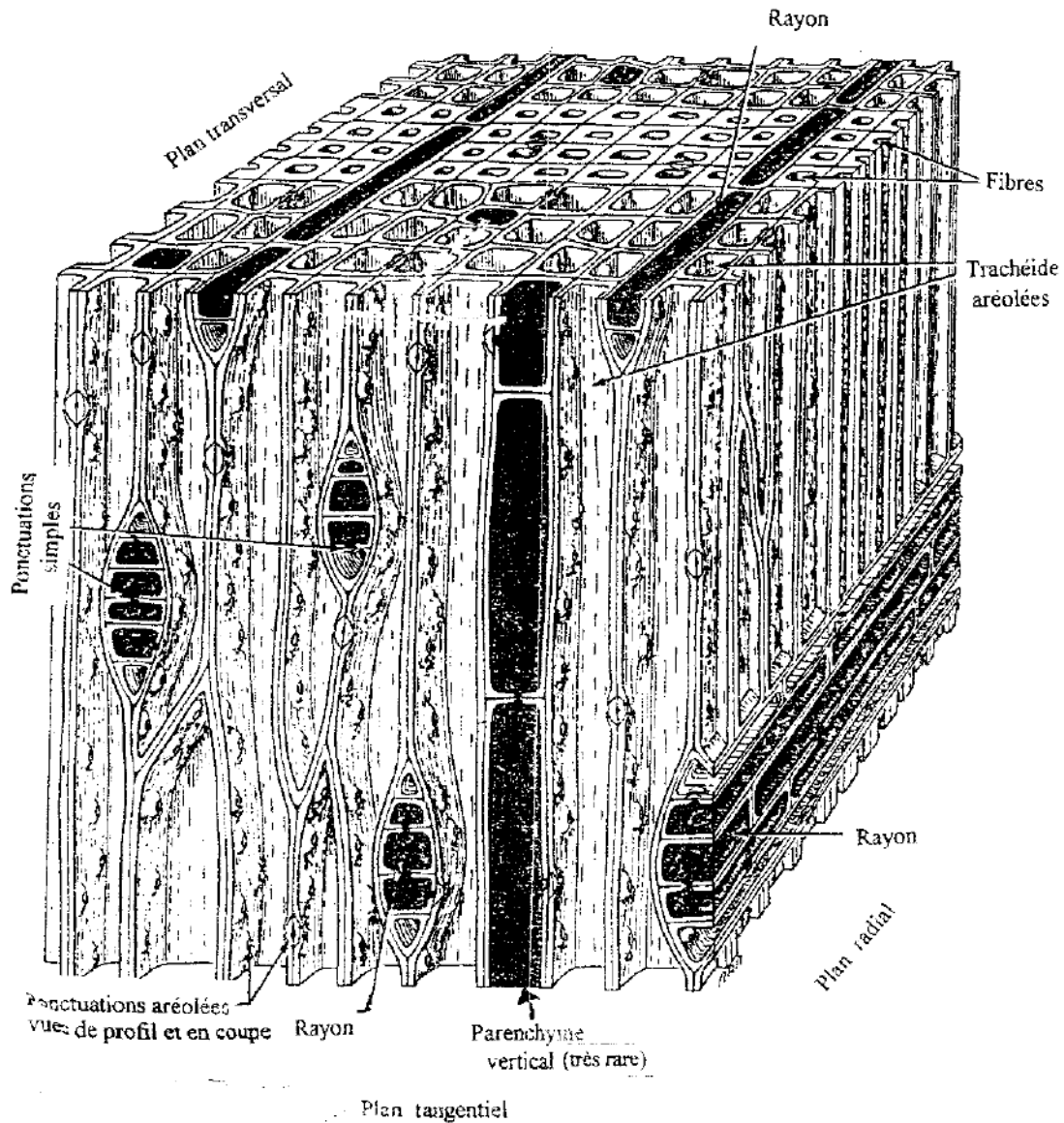


Figure 4 : Bloc diagramme montrant les systèmes vertical et horizontal en plans transversal, radial et tangentiel d'une portion de bois homoxylé d'une Gymnosperme (*Sequoia sempervirens*).

Planche 16 bis : Bloc diagramme du bois des Angiospermes

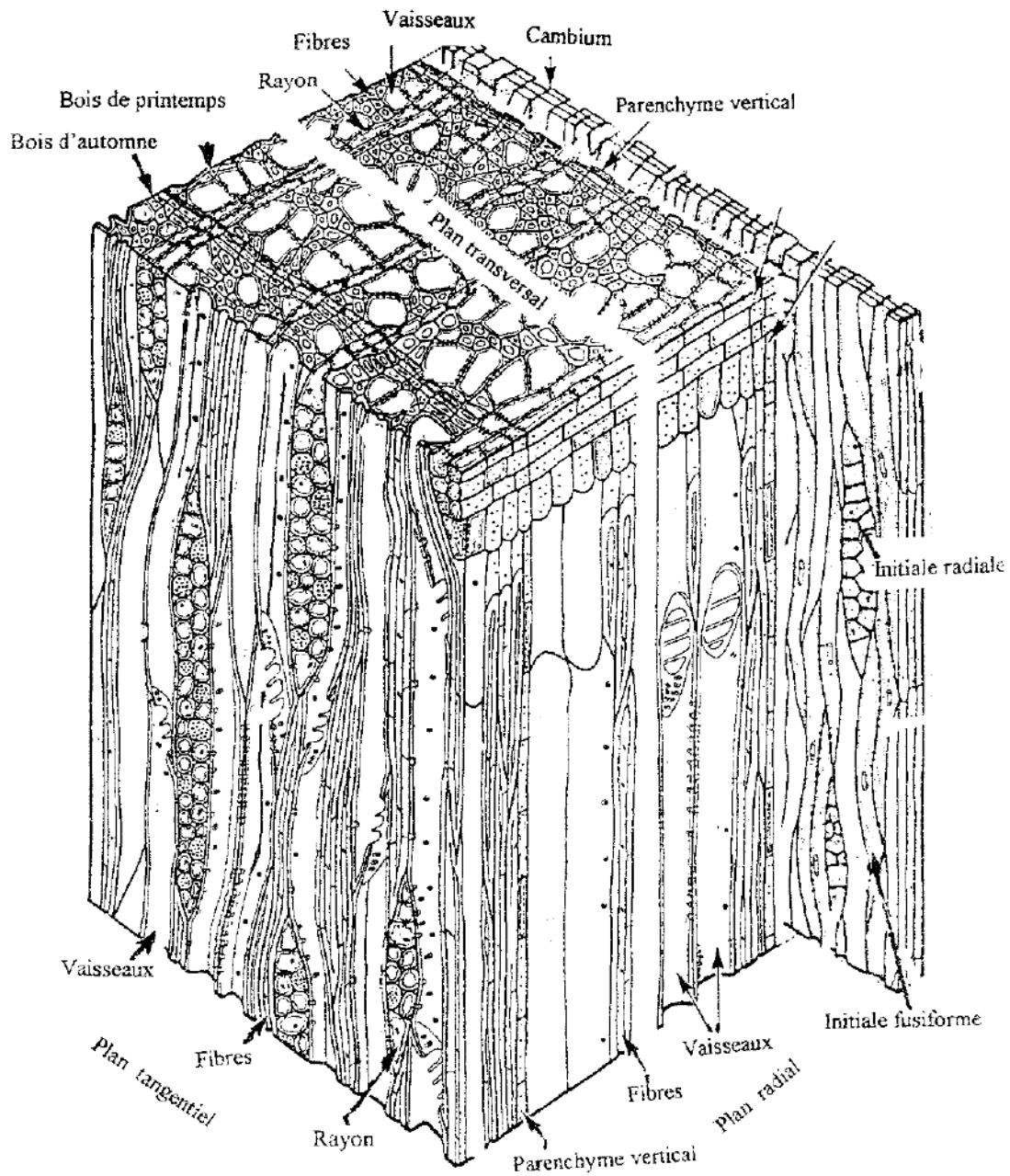


Figure 3 : Bloc diagramme montrant les systèmes vertical et horizontal en plans transversal, radial et tangentiel d'une portion de **bois hétérozygote** d'une **Angiosperme Dicotylédone** (*Liriodendron tulipifera*). (Esau, 1965)

Morphologie et Anatomie de l'appareil végétatif des Spermaphytes

Racine

I- Morphologie :

1- Définition :

La racine est l'organe de la plante qui se développe généralement dans le sol. Elle intervient dans la nutrition de la plante en puisant par absorption l'eau et les sels minéraux se trouvant dans son environnement. Grâce à ses nombreuses ramifications, elle permet la fixation de la plante dans le sol.

La racine présente un géotropisme positif et un phototropisme négatif.

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

2- Organisation du système racinaire :

2-1- Ramifications :

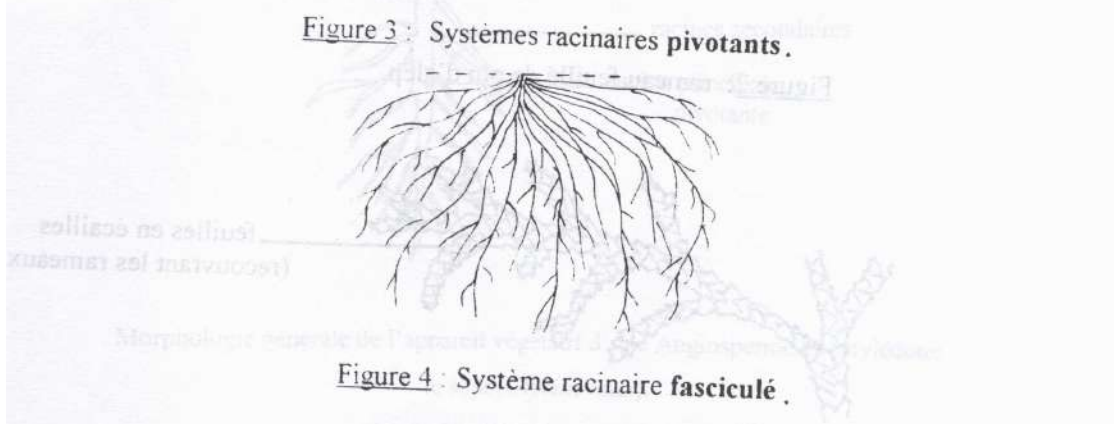
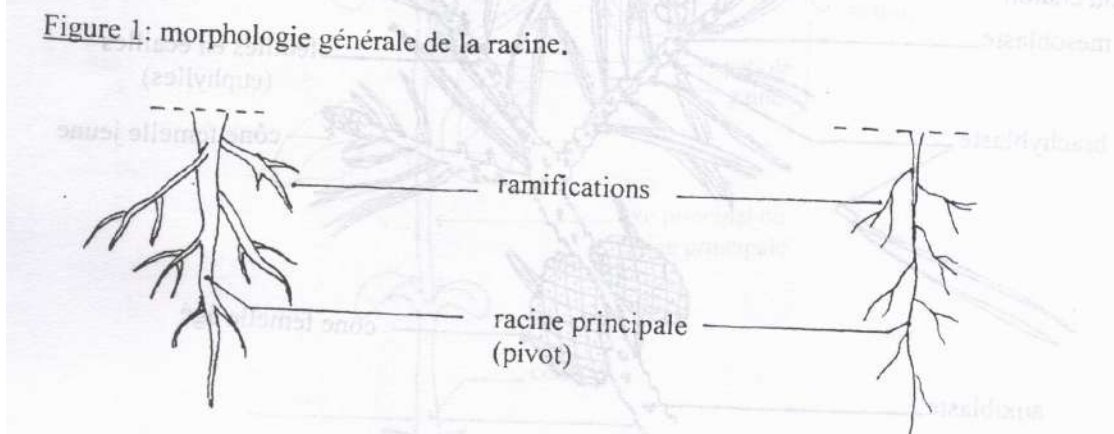
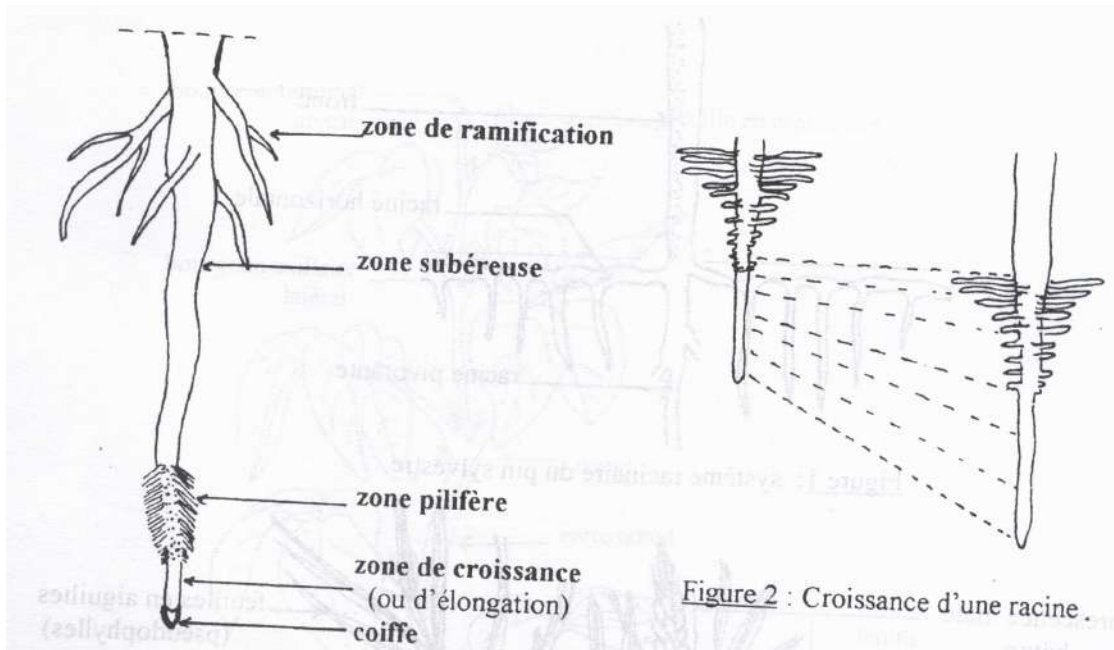
La racine principale émet des ramifications latérales secondaires qui émettent à leur tour des ramifications latérales tertiaires, etc. Les dernières ramifications dites radicules sont les plus fines, c'est à leur niveau que l'absorption est la plus élevée. L'ensemble forme le système racinaire ou système racinaire.

2-2- Différentes parties d'une racine :

Dans un système racinaire, on distingue de bas en haut (**Planche 17 – Fig. 1**) :

- **Coiffe** : La coiffe de forme conique, se trouve à l'extrémité de la racine. Elle protège le méristème racinaire et permet à la racine de se frayer un chemin à travers le sol. La coiffe se desquame et se régénère continuellement.
- **Zone de croissance** : C'est une zone courte, 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 (**Planche 17 – Fig. 2**).
- **Zone pilifère** : La zone pilifère est la partie de la racine renfermant les poils absorbants, c'est à leur niveau que se fait l'absorption de l'eau et des sels minéraux. Bien que la durée de vie de ces poils soit courte, la longueur et la position de la zone pilifère restent sensiblement constantes (**Planche 17 – Fig. 2**).
- **Zone de ramification** : Elle est aussi appelée zone subéreuse, c'est la partie la plus importante en longueur et en masse ; à son niveau se forment toutes les ramifications du système racinaire.

Planche 17 : Morphologie du système racinaire



2-3- Systèmes racinaires :

Selon l'importance de la racine principale par rapport aux ramifications, on distingue les systèmes racinaires suivants :

- **Système racinaire pivotant** : La racine principale a une longueur et un diamètre plus importants que les ramifications. Il est caractéristique des Angiospermes Dicotylédones et des Gymnospermes (**Planche 17 – Fig. 3**).
- **Système racinaire fasciculé** : Il est difficile de distinguer la racine principale des ramifications. Toutes les racines de ce système ont un diamètre plus ou moins égal. Il est caractéristique des Angiospermes Monocotylédones (**Planche 17 – Fig. 4**).

3- Adaptations fonctionnelles :

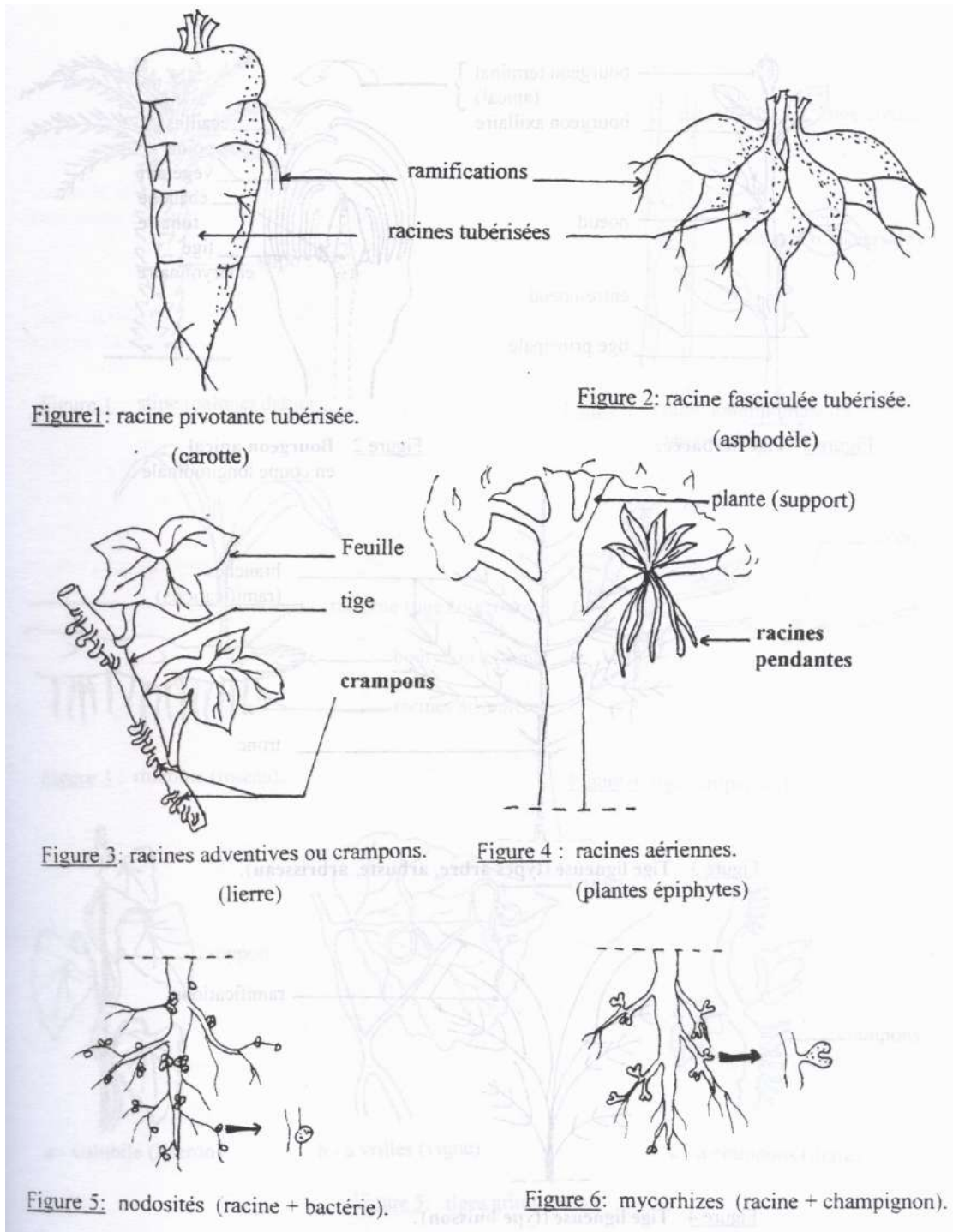
Toutes les racines ne ressemblent pas exactement au type que nous venons de décrire ; il en existe qui sont adaptées à des milieux différents ou à des fonctions spéciales. Nous citons quelques unes de ces adaptations liées :

- **Au rôle de fixation** : La croissance des racines orientée vers le bas permet de fixer solidement le végétal dans le sol. Certaines plantes, en plus de leur système racinaire souterrain présentent des racines adventives (*Adventicus* veut dire supplémentaire) aériennes (au niveau de la tige) qui lui servent de moyen de fixation (**Planche 17 bis – Fig. 3**).
- **A la fonction d'absorption** : L'absorption de l'eau et des sels minéraux est maximale au niveau de la zone pilifère grâce aux poils absorbants. Chez les plantes parasites, la racine principale se transforme en suçoir, organe qui s'enfonce dans les tissus vasculaires de la plante hôte, pour y puiser la sève (**Exemple** : le gui). Les plantes épiphytes présentent des racines aériennes pendantes (**Planche 17 bis – Fig. 4**), qui absorbent l'eau atmosphérique par les perforations se trouvant dans leurs parois. Ces plantes sont dépourvues de poils absorbants, elles ne parasitent pas la plante hôte (**Exemples** : Ficus, Philodendron).
- **A la fonction de réserve** : Certaines racines sont tubérisées à la suite d'une accumulation de réserves (amidon, inuline ou autre). Ces substances nutritives sont accumulées dans divers tissus (**Exemples** : liber pour la Carotte (**Planche 17 bis – Fig. 1**), parenchyme cortical pour l'Asphodèle (**Planche 17 bis – Fig. 2**), parenchyme cortical et bois pour le Radis, parenchyme secondaire pour la Betterave).

Remarque :

Des associations entre racines d'une plante et autres organismes vivants (Bactéries, Champignons) peuvent exister, comme les nodosités (**Planche 17 bis – Fig. 5**) et les mycorhizes (**Planche 17 bis – Fig. 6**).

Planche 17 bis : Quelques adaptations des racines



II- Anatomie :

1- Structure anatomique primaire :

Le méristème primaire radiculaire produit des tissus primaires dont la disposition constitue la structure primaire de la racine jeune.

1-1- Angiospermes Monocotylédones :

L'étude anatomique est réalisée sur une coupe transversale d'une racine jeune ou âgée. On distingue deux zones concentriques (symétrie axiale) : L'écorce et le cylindre central. On note que l'écorce est légèrement supérieure au cylindre central.

1-1-1- Ecorce ou cortex :

Les tissus observés de l'extérieur vers l'intérieur de l'écorce sont (**Planche 18 – Fig. 1**) :

- **Assise pilifère** : Cellules à paroi mince, émettant des prolongements, les poils absorbants.
- **Subéroïde** : Quelques assises de cellules à paroi subérifiées.
- **Parenchyme cortical** : Cellules plus ou moins arrondies à méats, à parois minces. Il s'agit en général d'un parenchyme amylofère.
- **Endoderme** : Assise de cellules caractérisées 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 (**Planche 18 – Fig. 2**).

1-1-2- Cylindre central ou stèle :

Les tissus observés de l'extérieur du cylindre central vers le centre sont (**Planche 18 – Fig. 1**) :

- **Péricycle** : Formé en général, d'une assise de cellules alternes et étroitement appliquées contre celles de l'endoderme.
- **Tissus conducteurs primaires** : Le xylème et le phloème sont alternes. Le xylème est à différenciation centripète (protoxylème vers l'extérieur et métaxylème vers l'axe de la racine). Les faisceaux de xylème et de phloème sont nombreux (supérieur à 10).
- **Moelle** : Formée de parenchyme médullaire, présentant souvent des cellules sclérifiées.

1-2- Angiospermes Dicotylédones :

L'étude anatomique est réalisée sur une coupe transversale d'une jeune racine. La symétrie est axiale, l'écorce est supérieure au cylindre central.

1-2-1- Ecorce ou cortex :

Les tissus observés de l'extérieur vers l'intérieur sont (**Planche 18 bis – Fig. 1**) :

- **Assise pilifère** : Elle est formée de cellules à parois pectocellulosiques dont certaines émettent des prolongements : les poils absorbants.
- **Assise subéreuse** : Elle est formée d'une seule assise de cellules dont les parois sont subérifiées.

Planche 18 : Structure anatomique primaire de la racine

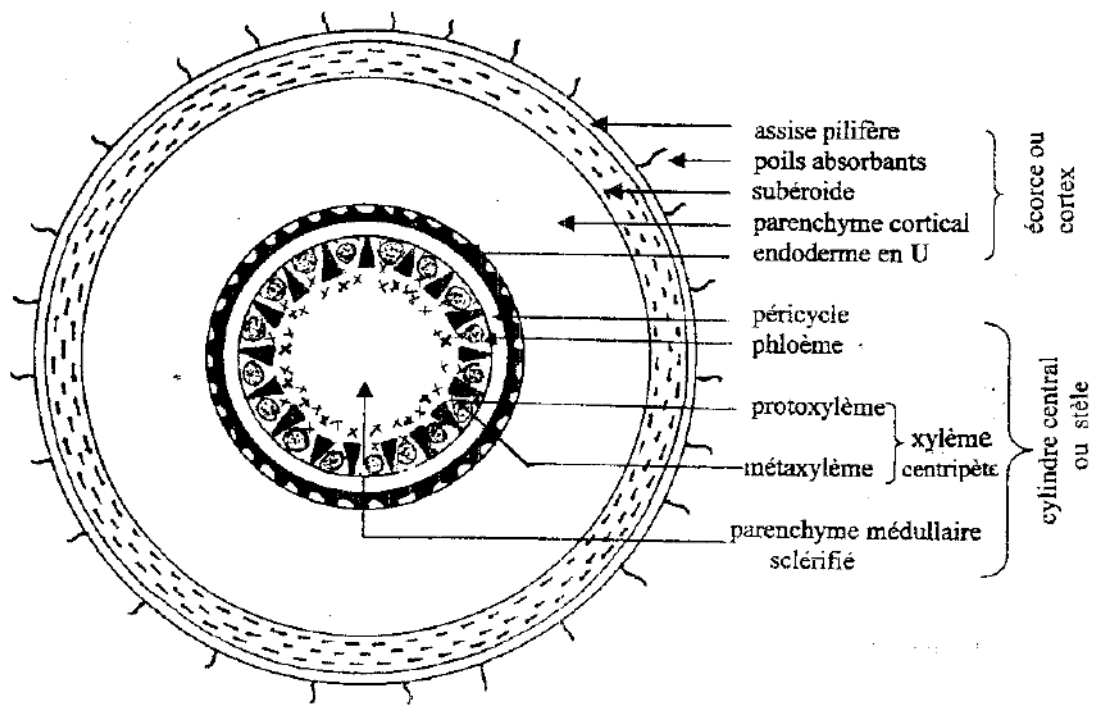


Figure 1 : Schéma général d'une coupe transversale d'une racine d'Angiosperme Monocotylédone.

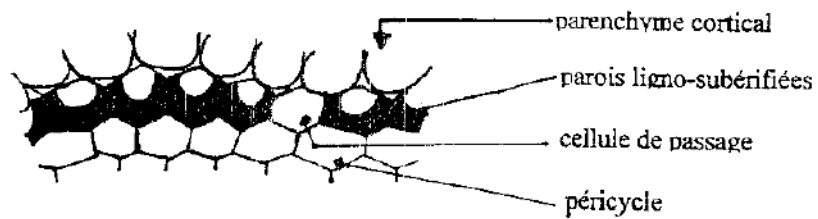


Figure 2 : Endoderme en fer à cheval en coupe transversale.

- **Parenchyme cortical** : Les cellules sont plus ou moins arrondies à méats. Les parois sont cellulósiques et minces. En général, c'est un parenchyme de réserve.
- **Endoderme** : Il s'agit d'un endoderme à cadre. Les parois latérales de chaque cellule présente un épaississement de lignine et de subérine correspondant aux sections d'un cadre ligno-subérifié (**Planche 18 bis – Fig. 2**).

1-2-2- Cylindre central ou stèle :

Les tissus observés de l'extérieur vers le centre sont (**Planche 18 bis – Fig. 1**) :

- **Péricycle** : Voir plus haut.
- **Tissus conducteurs primaires** : Le xylème et le phloème sont alternes. Le xylème est à différenciation centripète. Les faisceaux de xylème et de phloème sont peu nombreux (inférieur ou égal à 10).
- **Moelle** : La moelle est constituée d'un parenchyme médullaire qui a tendance à disparaître au cours de l'installation de la structure secondaire.

Remarque :

La même structure anatomique primaire est observée dans la racine jeune des Gymnospermes.

2- 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 et des Gymnospermes.

L'étude anatomique est réalisée sur une coupe transversale d'une racine âgée d'Angiospermes Dicotylédones.

2-1- Pachyte :

Les faisceaux de xylème et de phloème étant alternes, le cambium apparaît sous forme d'arcs à la face interne du phloème, par différenciation du parenchyme médullaire, et à la face externe du xylème par différenciation du péricycle. Ils se raccordent pour former un cambium sinueux qui produit du bois hétéroxylé vers l'intérieur et du liber vers l'extérieur.

La formation importante des tissus conducteurs secondaires entraîne une pression sur le cambium sinueux qui devient circulaire (**Planche 19 – Fig. 1**).

Cambium, bois et liber constituent le pachyte (**Planche 19 bis – Fig. 1**).

Remarque :

La même structure anatomique secondaire est observée dans la racine âgée des Gymnospermes (**Planche 19 bis – Fig. 2**).

2-2- Périderme :

L'installation du phellogène est plus tardive par rapport au cambium. Le phellogène produit du suber vers l'extérieur et du phelloderme vers l'intérieur.

Phellogène, suber et phelloderme constituent le périderme (**Planche 19 bis – Fig. 1**).

Planche 18 bis : Structure anatomique primaire de la racine

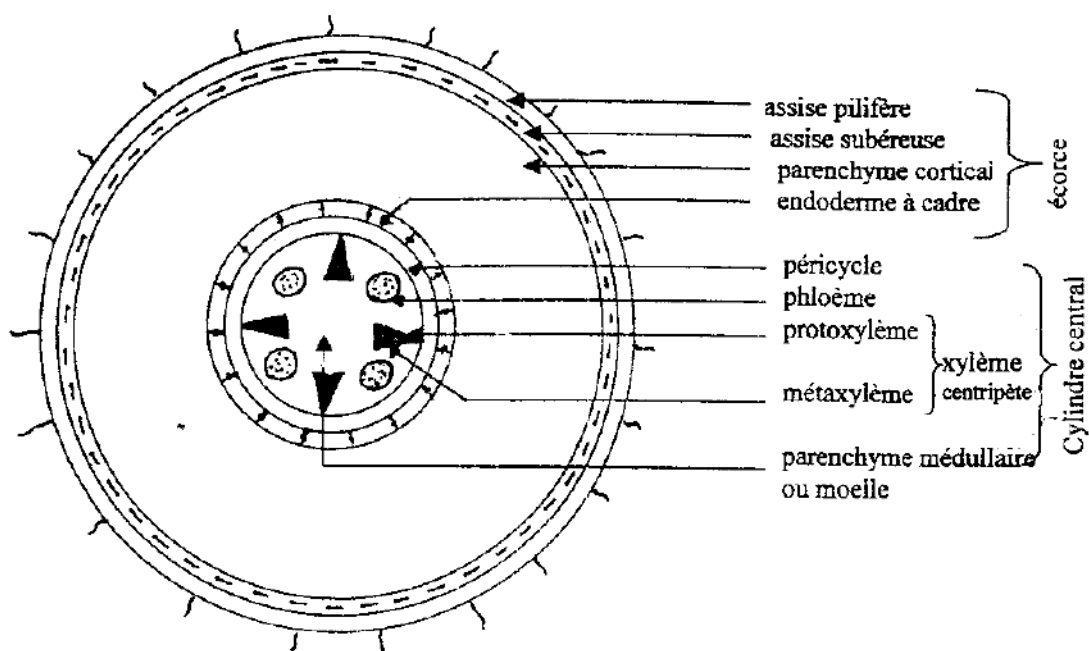


Figure 1: Schéma général d'une coupe transversale d'une racine jeune d'Angiosperme Dicotylédone et Gymnosperme.

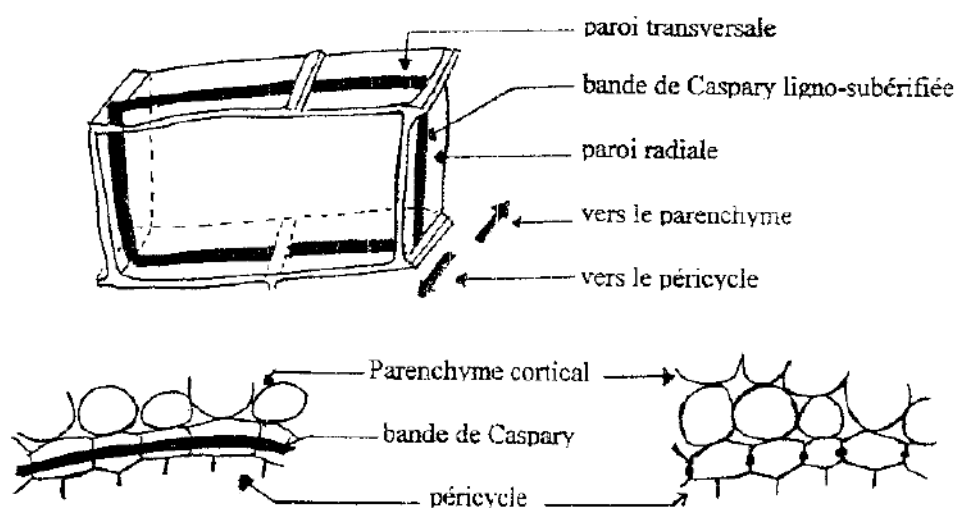


Figure 2: Endoderme à cadre en coupe transversale.

Planche 19 : Structure anatomique secondaire de la racine

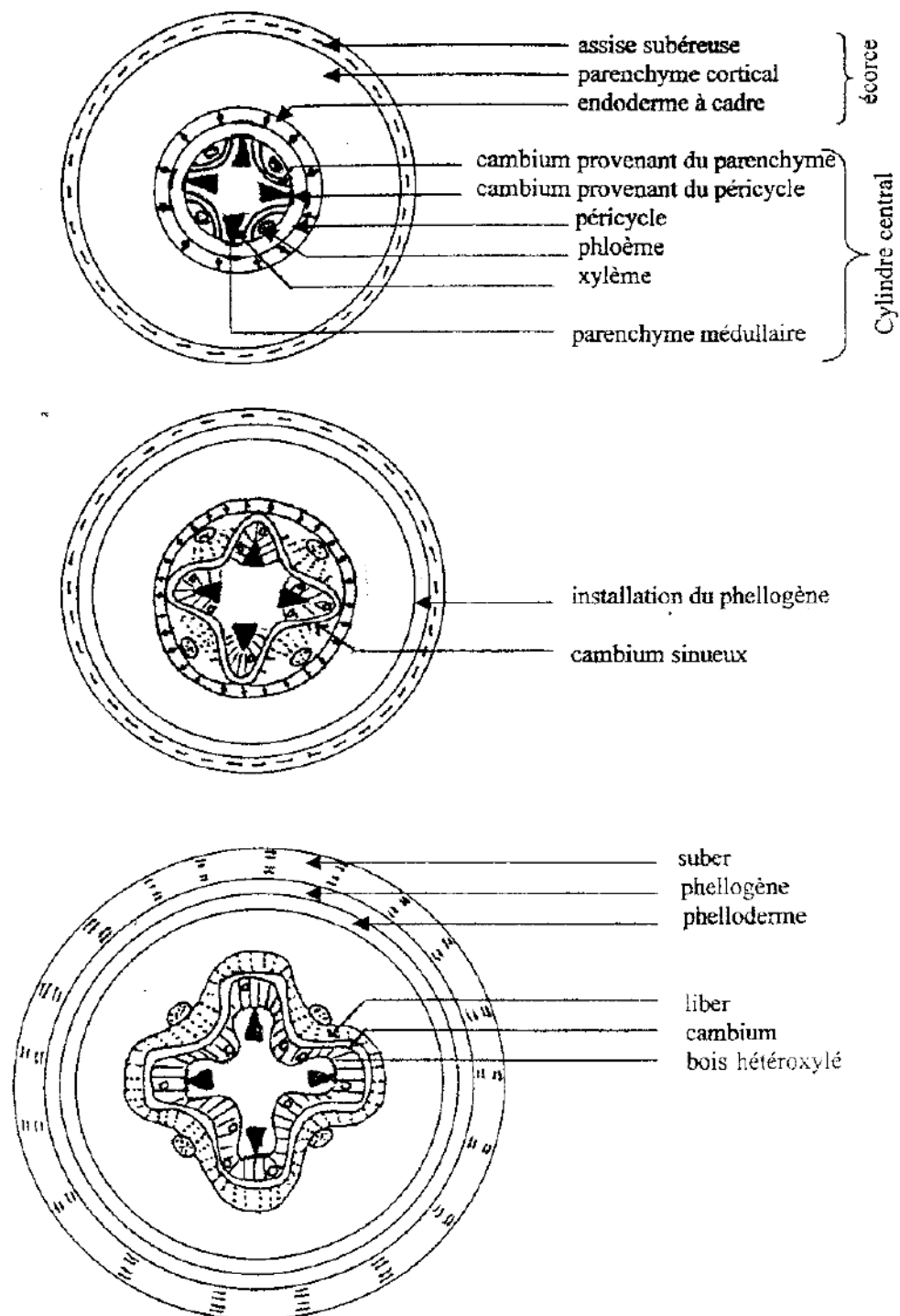


Figure 1 : Installation et fonctionnement des méristèmes secondaires chez les Angiospermes Dicotylédones et (Gymnospermes avec bois homoxylé).

Planche 19 bis : Structure anatomique secondaire de la racine

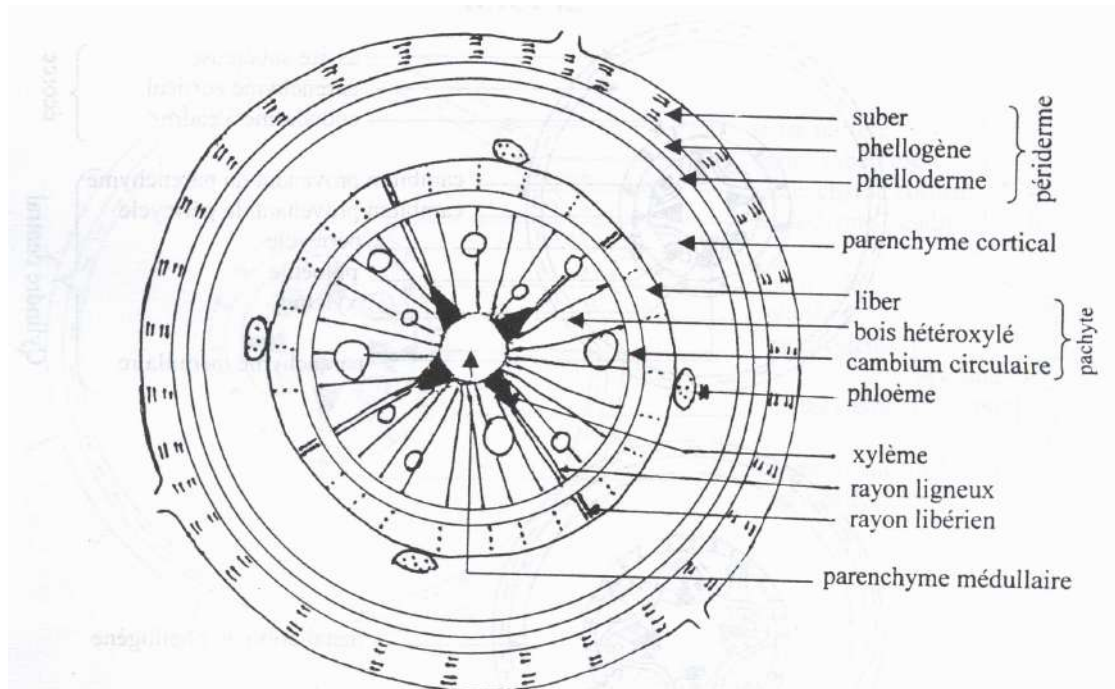


Figure 1 : schéma générale d'une coupe transversale de racine âgée d'Angiospermes Dicotylédones.

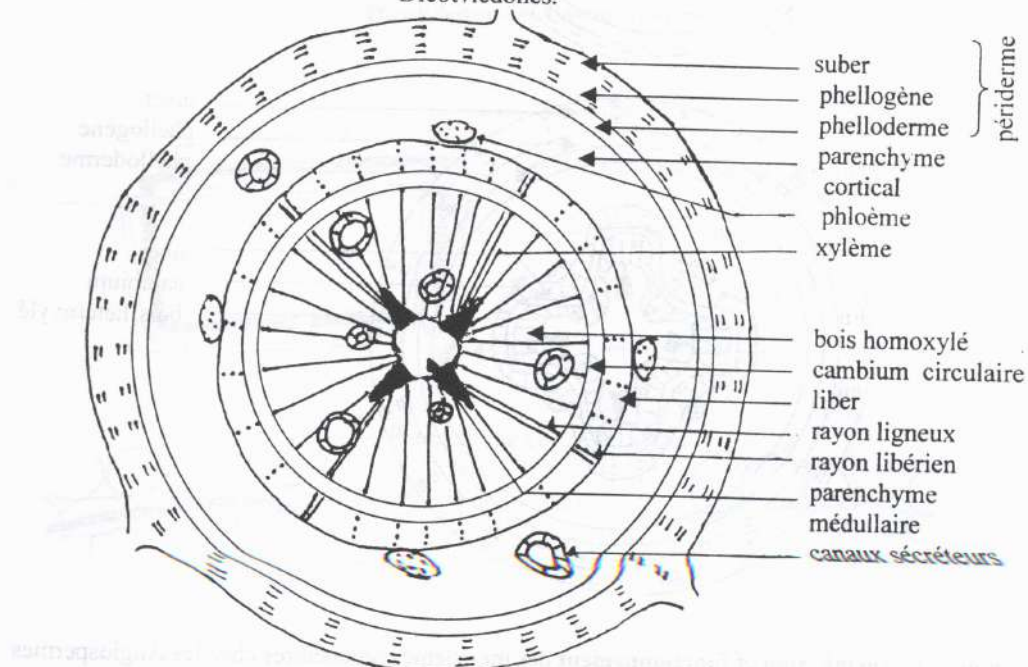


Figure 2 : schéma générale d'une coupe transversale de racine âgée de Gymnospermes.
Remarque: idem pour les Gymnospermes qui ont un bois homoxylé

Remarque :

La même structure du périderme est observée dans la racine âgée des Gymnospermes (Planche 19 bis – Fig. 2).

3- Conclusion :

Caractères anatomiques de la racine
<ul style="list-style-type: none"> • Symétrie axiale • Cylindre central plus petit que l'écorce • Xylème et phloème alternes • Xylème à différenciation centripète • Présence d'une assise pilifère • Présence d'un endoderme

Angiospermes Monocotylédones	Angiospermes Dicotylédones et Gymnospermes
<ul style="list-style-type: none"> • Nombre important de faisceaux de xylème et de phloème (>10) • Endoderme en U • Subéroïde • Pas de pachyte 	<ul style="list-style-type: none"> • Peu de faisceaux de xylème et de phloème (<10) • Endoderme à cadre • Assise subéreuse • Présence du pachyte (structure secondaire)

Morphologie et Anatomie de l'appareil végétatif des Spermaphytes

Tige

I- Morphologie :

1- Définition :

La tige est l'organe généralement aérien qui porte les feuilles et l'appareil reproducteur (fleur) et donc aussi les fruits et les graines. Elle a un rôle de conduction et de soutien. Elle est reliée à la racine par le collet qui est une zone transitoire entre les deux organes.

La tige présente un phototropisme positif et un géotropisme négatif.

2- Organisation du système caulinaire :

2-1- Différentes parties de la tige :

La tige est constituée de plusieurs parties :

- **Axe principal** : L'axe principal d'une tige porte les feuilles, les bourgeons et les rameaux feuillés. Il est appelé aussi tige principale (**Planche 20 – Fig. 1**).
- **Nœuds et entre nœuds** : Le nœud est l'endroit où est attachée une feuille ou un rameau feuillé. Deux nœuds successifs sont séparés par un entre nœud ; c'est au niveau des entre nœuds que se fait la croissance en longueur de la tige (**Planche 20 – Fig. 1**).
- **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 la tige, la formation des feuilles et des rameaux (**Planche 20 – Fig. 1 et 2**).

2-2- Types morphologiques :

2-2-1- Tiges herbacées

La tige herbacée est caractérisée par sa section réduite (diamètre), sa couleur verte et sa souplesse. Dans le type herbacé, la tige principale et ses ramifications lorsqu'elles existent ne subissent pas une croissance en épaisseur importante. Les tiges herbacées peuvent être :

- **Dressées** : L'axe principal est dressé verticalement (**Planche 20 – Fig. 1**).
- **Rampantes** : Ces tiges sont très longues à section très réduite, les tissus de soutien sont rares. Elles s'étalent sur le sol, leur croissance est horizontale (**Planche 20 bis – Fig. 4**).
- **Grimpantes** : Ce sont des tiges très allongées qui se développent en hauteur en se tordant autour d'un support (**Planche 20 bis – Fig. 5a**) ou en s'appuyant à celui-ci par des vrilles (**Planche 20 bis – Fig. 5b**) ou des crampons (**Planche 20 bis – Fig. 5c**).

Planche 20 : Morphologie du système caulaire

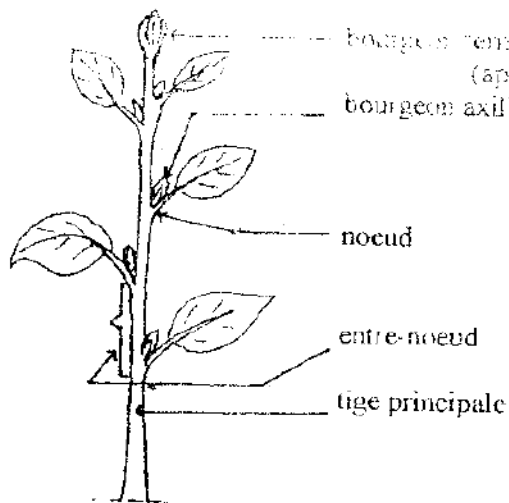


Figure 1 : Tige herbacée.

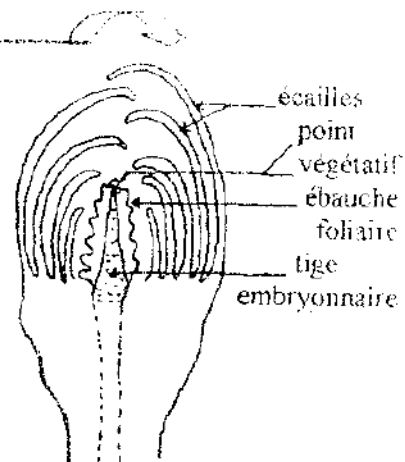


Figure 2 : Bourgeon apical en coupe longitudinale.

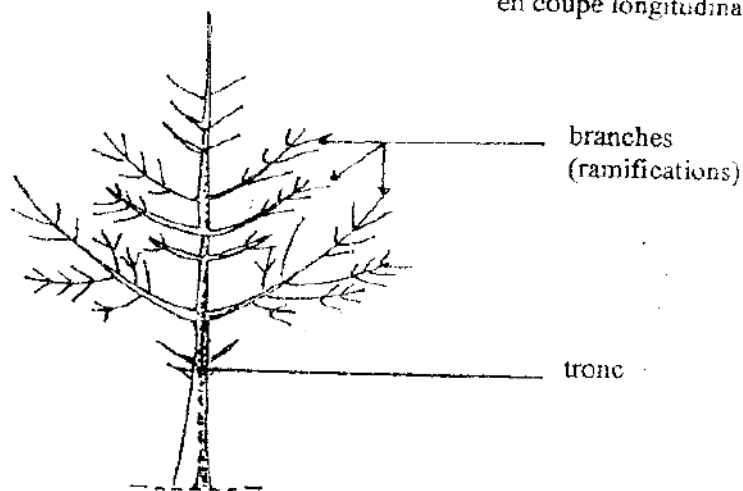


Figure 3 : Tige ligneuse (types arbre, arbuste, arbrisseau).

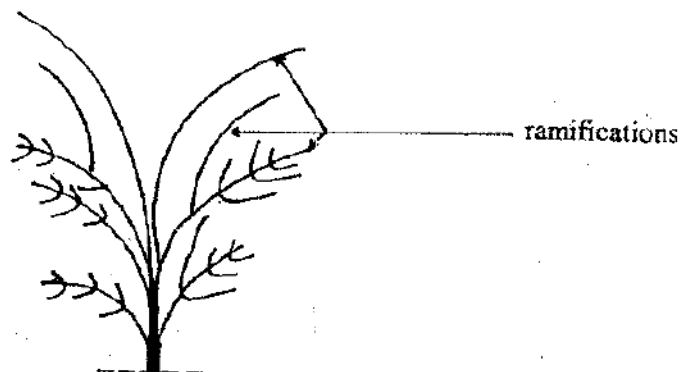


Figure 4 : Tige ligneuse (type buisson).

Planche 20 bis : Diverses sortes de tiges

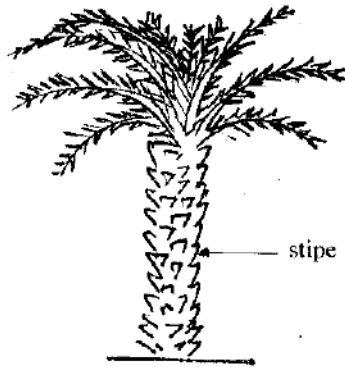


Figure 1 : stipe (palmier dattier).

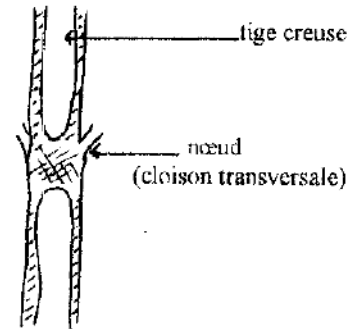


Figure 2 : coupe longitudinale du chaume (blé).

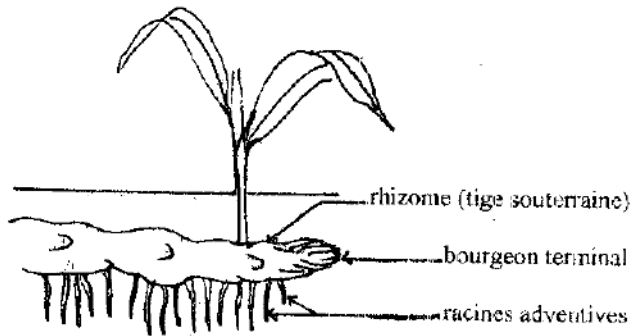
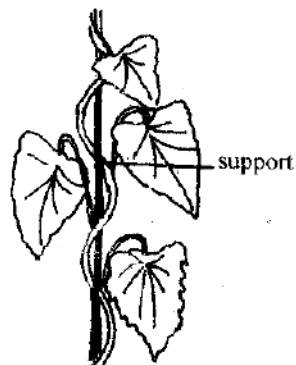


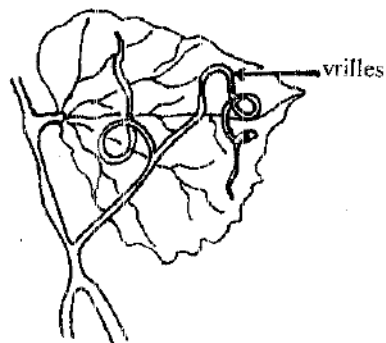
Figure 3 : rhizome (roseau).



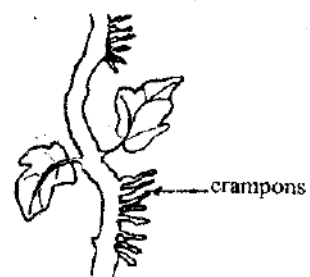
Figure 4 : tige rampante (fraisier).



a - volubile (liseron)



b - à vrilles (vigne)



c - à crampons (lierre)

Figure 5: tiges grimpantes

2-2-2- Tiges ligneuses

La tige des plantes ligneuses est caractérisée par une grande section (épaisse), sa couleur foncée (marron) et sa dureté. La ramification des tiges ligneuses nous permet de distinguer les principaux types morphologiques suivants :

- **Type ou port arborescent** : Ce port concerne les arbres, les arbustes et les arbrisseaux. La tige principale appelée tronc est épaisse et présente des ramifications (branches) étalées à partir d'une certaine hauteur (**Planche 20 – Fig. 3**).
- **Type ou port buissonnant** : C'est un ensemble de tiges ligneuses formant une touffe, jaillissant de la base et parmi lesquelles, on ne peut distinguer un tronc (**Planche 20 – Fig. 4**).

2-2-3- Autres types de tiges

On trouve également d'autres types de tiges particulières comme :

- **Stipe** : C'est un axe cylindrique non ramifié marqué par les cicatrices des bases des feuilles (palmes tombées), son épaisseur n'est pas due à l'installation de tissus ligneux (totalement absents). Il caractérise les Angiospermes Monocotylédones arborescentes (**Planche 20 bis – Fig. 1**).
- **Chaume** : C'est une tige creuse, sauf au niveau des nœuds où se trouve une cloison fine appelée diaphragme (**Planche 20 bis – Fig. 2**). Le chaume est une tige grêle et résistante pouvant atteindre plusieurs mètres de haut (**Exemple** : roseau et bambou).
- **Tiges souterraines** : C'est des tiges vivant dans le sol, profondément modifiées par le milieu dans lequel elles se trouvent. Leur couleur est semblable à celle des racines, elles portent des bourgeons, des feuilles en écailles non chlorophylliennes et des racines adventives (**Planche 20 bis – Fig. 3**).

2-3- Adaptations fonctionnelles :

Toutes les tiges ne ressemblent pas exactement au type que nous venons de décrire ; certaines sont adaptées à des milieux différents ou à des fonctions particulières. Nous citons quelques unes de ces adaptations liées :

- **A la conduction de la sève** : Elle est caractérisée par l'importance des tissus conducteurs et par la réduction du parenchyme cortical. Cette importance des tissus conducteurs apparaît très nettement chez les tiges grimpantes (très longues) et chez les tiges ligneuses (très épaisses).
- **A la fonction d'assimilation chlorophyllienne** : Les cladodes sont des tiges aplaties, ressemblant morphologiquement aux feuilles (**Planche 21 – Fig. 4**).
- **A la fonction de réserve** : Certaines tiges souvent souterraines peuvent s'hypertrophier et accumuler des substances de réserves. Exemples : rhizome d'iris ou de roseau (**Planche 20 bis – Fig. 3**) ; tubercules de pomme de terre à réserve d'amidon (**Planche 21 – Fig. 1**) ou de topinambour à réserve d'inuline ; plateau d'un bulbe d'oignon (**Planche 21 – Fig. 2**).

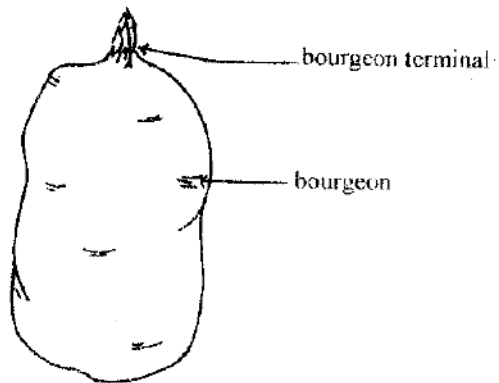
Planche 21 : Quelques adaptations des tiges

Figure 1 : tubercule (pomme de terre).

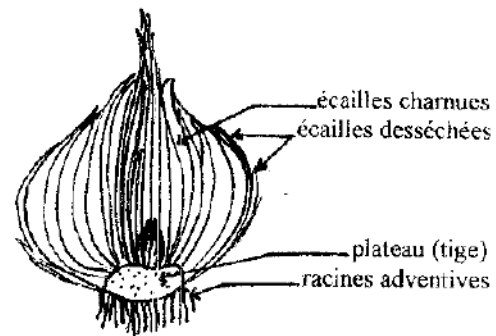


Figure 2: coupe longitudinale d'un bulbe (oignon).

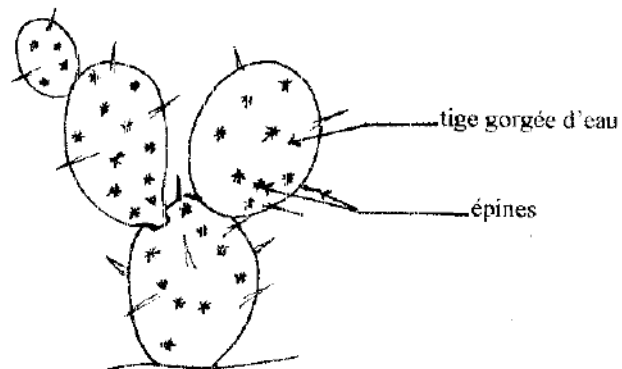


Figure 3 : tige charnue (cactus).

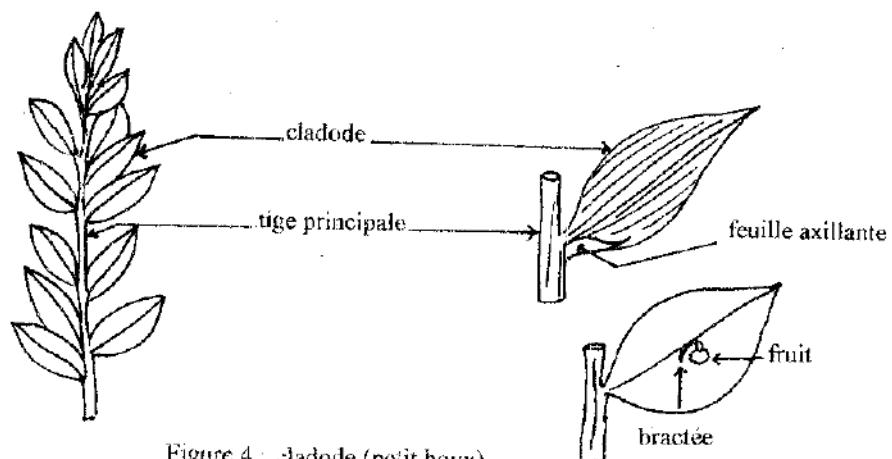


Figure 4 : cladode (petit houx).

- **A la sécheresse :** Les plantes grasses mettent en réserve de l'eau dans le parenchyme aquifère. Cette modification des feuilles ou des tiges (**Planche 21 – Fig. 3**) correspond à une adaptation à la sécheresse. Les tiges en épines sont de courtes ramifications qui se transforment en épines. Ce type de tige est caractéristique de plantes des zones arides. Cette adaptation permet une réduction de l'évapotranspiration et protège l'espèce contre les herbivores.

Remarque : Il existe des plantes sans tiges, on dit que ce sont des plantes acaules.

II- Anatomie :

1- Structure anatomique primaire :

Le méristème primaire caulinaire produit des tissus primaires dont la disposition constitue la structure primaire de la tige jeune.

1-1- Angiospermes Monocotylédones :

L'étude anatomique est réalisée sur une coupe transversale de tige jeune. On distingue deux zones concentriques, l'écorce et le cylindre central. On note que le cylindre central est assez important par rapport à l'écorce.

1-1-1- Ecorce ou cortex :

Les tissus observés de l'extérieur vers l'intérieur de l'écorce sont (**Planche 22 – Fig. 1**) :

- **Epiderme :** Il est souvent cutinisé à stomates, formé de cellules à paroi pectocellulosique (primaires). Il peut présenter des poils épidermiques.
- **Parenchyme cortical :** Il occupe une zone très réduite, il est généralement chlorophyllien à cellules plus ou moins arrondies formant des méats. Les parois sont cellulosiques et minces.

1-1-2- Cylindre central ou stèle :

Les tissus observés de l'extérieur du cylindre central vers le centre sont (**Planche 22 – Fig. 1**):

- **Zone péricyclique sclérifiée :** Elle délimite le cylindre central, elle est formée d'un tissu de soutien appelé sclérenchyme.
- **Tissus conducteurs primaires :** Le xylème et le phloème sont superposés formant un faisceau criblo-vasculaire. Ces derniers sont très nombreux et sont disposés sur plusieurs cercles concentriques. Leur taille augmente progressivement de la périphérie du cylindre central vers le centre de la tige (les plus externes sont les plus jeunes). Le xylème est à différenciation centrifuge, les faisceaux criblo-vasculaires sont entourés par un tissu de soutien, le sclérenchyme formant une gaine sclérifiée.
- **Moelle :** C'est un parenchyme médullaire, formé de cellules de grandes tailles plus ou moins arrondies avec des méats.

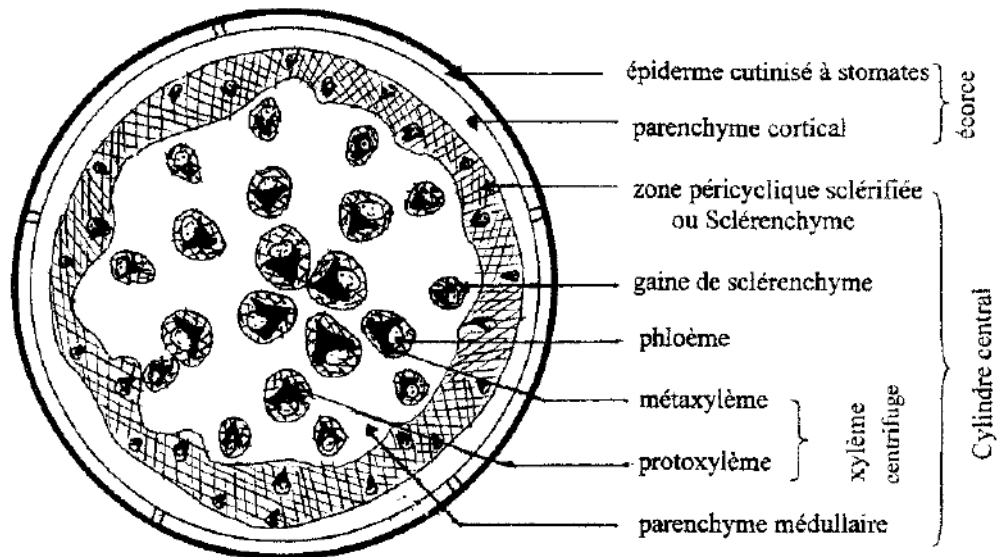
Planche 22 : Structure anatomique primaire de la tige

Figure 1 : Schéma général d'une coupe transversale d'une tige d'Angiospermes Monocotylédones.

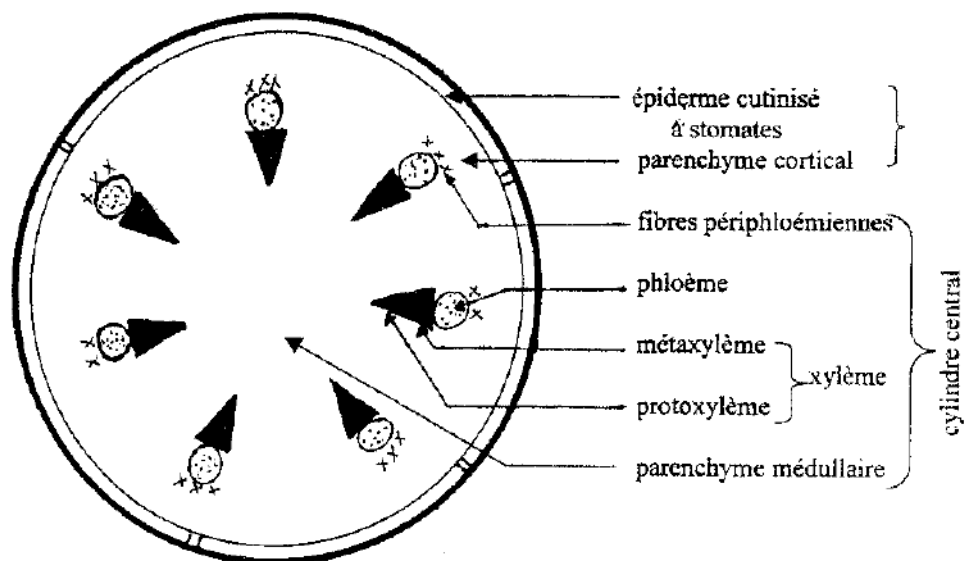


Figure 2 : Schéma général d'une coupe transversale d'une tige jeune d'Angiospermes Dicotylédones.

1-2- Angiospermes Dicotylédones :

L'étude est réalisée sur une coupe transversale d'une tige jeune. On note que le cylindre central est assez important par rapport à l'écorce.

1-2-1- Ecorce ou cortex :

Les tissus observés de l'extérieur vers l'intérieur de l'écorce sont (**Planche 22 – Fig. 2**) :

- **Epiderme** : C'est un épiderme cutinisé à stomates, pouvant présenter des poils épidermiques.
- **Parenchyme cortical** : C'est un parenchyme chlorophyllien occupant une zone très étroite. Dans cette zone, on peut trouver des tissus de soutien.

1-2-2- Cylindre central ou stèle :

Les tissus observés de l'extérieur du cylindre central vers le centre sont (**Planche 22 – Fig. 2**) :

- **Tissus conducteurs primaires** : Le xylème et le phloème sont superposés constituant des faisceaux criblo-vasculaires disposés sur un ou deux cercles. Le xylème est à différenciation centrifuge. Le phloème est souvent surmonté de fibres périphloémiennes.
- **Moelle** : C'est un parenchyme médullaire à méats, à grandes cellules contenant des réserves. La moelle a tendance à disparaître au cours de la formation de la structure secondaire.

Remarque : La même structure anatomique primaire est observée dans la tige jeune des Gymnospermes.

2- Structure anatomique secondaire :

L'étude anatomique est réalisée sur une coupe transversale d'une tige âgée d'Angiospermes Dicotylédones.

2-1- Pachyte :

Dans la tige apparaît un cambium dans le faisceau criblo-vasculaire, entre le xylème et le phloème, c'est le cambium intrafasciculaire (**Planche 23 – Fig. 1a**). Ce dernier, donne naissance au liber, repoussant le phloème vers l'extérieur et au bois hétéroxylé, repoussant le xylème vers l'intérieur. Au début, ce cambium étant le seul fonctionnel, il donne une tige à pachyte discontinu (**Planche 23 – Fig. 1b**) ; apparaît ensuite un cambium interfasciculaire, qui se raccorde au premier pour donner un cambium continu et circulaire dans tout le cylindre central (**Planche 23 – Fig. 1c**). Celui-ci produit en fonctionnant un important pachyte continu (**Planche 23 bis – Fig. 1**).

Remarque : Chez les Gymnospermes, la même structure anatomique secondaire est observée à l'exception de la présence d'un bois homoxylé avec canaux sécréteurs de résines (**Planche 23 bis – Fig. 2**).

Planche 23 : Structure anatomique secondaire de la tige

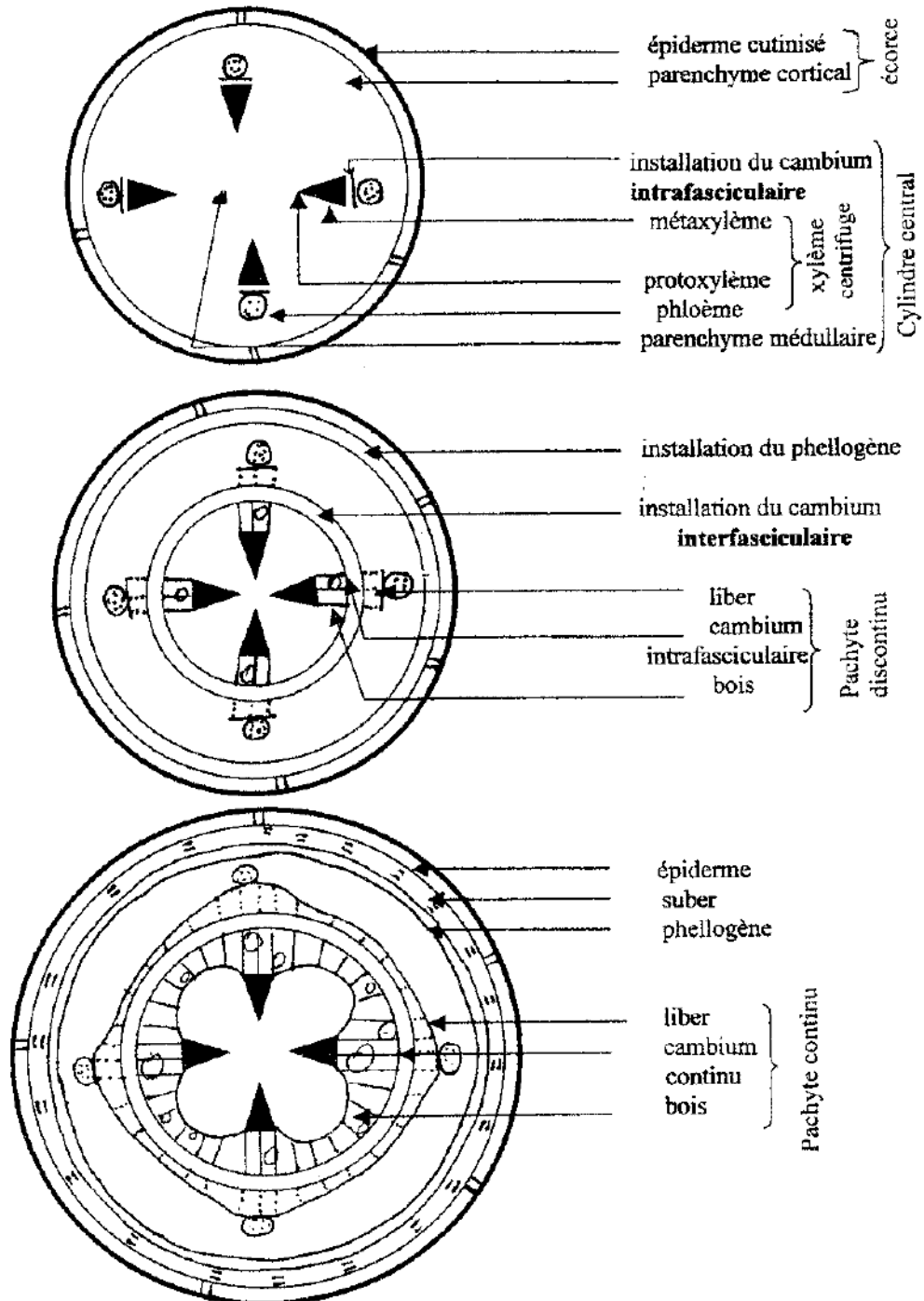


Figure 1 : Installation et fonctionnement des méristèmes secondaires chez les Angiospermes Dicotylédones et les Gymnospermes

2-2- Périoderme :

Le phellogène apparaît plus tard que le cambium par dédifférenciation du parenchyme dans l'écorce des tiges âgées d'Angiospermes Dicotylédones (**Planche 23 – Fig. 1b**). Il donne naissance au suber et au phelloderme (**Planche 23 – Fig. 1c ; Planche 23 bis – Fig. 1**).

Le suber présente lui aussi des couches annuelles, bien visibles à l'œil nu. Chaque bande est alors constituée par un suber initial (de printemps) à larges cellules et un suber final (d'automne) formé de cellules étroites.

Remarque : Chez les Gymnospermes, la même structure du périoderme est observée dans la tige âgée (**Planche 23 bis – Fig. 2**).

3- Conclusion :

Caractères anatomiques de la tige
<ul style="list-style-type: none">• Symétrie axiale• Cylindre central plus important que l'écorce• Xylème et phloème superposés• Xylème à différenciation centrifuge• Présence d'un épiderme• Absence de l'endoderme

Angiospermes Monocotylédones	Angiospermes Dicotylédones et Gymnospermes
<ul style="list-style-type: none">• Nombre élevé de faisceaux criblo-vasculaires disposés sur plusieurs cercles (> 2)• Pas de pachyte	<ul style="list-style-type: none">• Peu de faisceaux criblo-vasculaires disposés sur un ou deux cercles• Présence du pachyte (structure secondaire)

Planche 23 bis : Structure anatomique secondaire de la tige

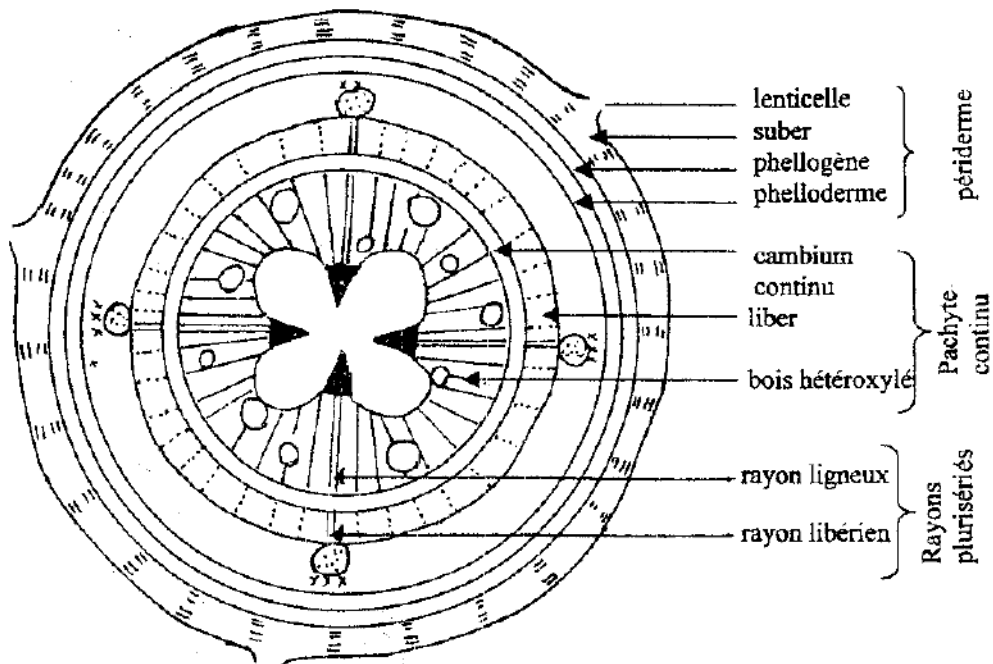


Figure 1 : schéma générale d'une coupe transversale de tige âgée d'Angiospermes Dicotylédones.

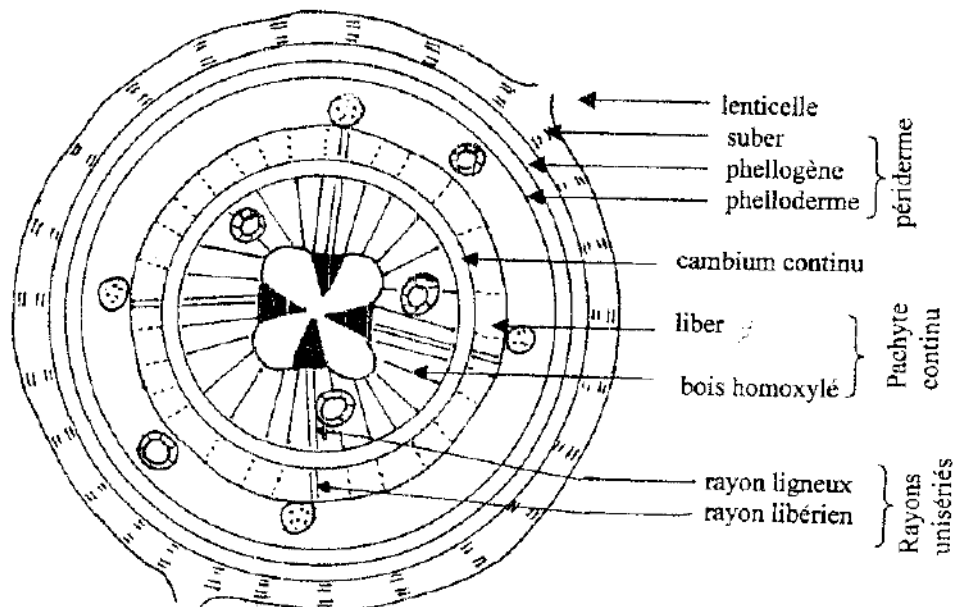


Figure 2 : schéma générale d'une coupe transversale de tige âgée de Gymnospermes.
(Remarque : idem pour les Gymnospermes qui ont un bois homoxylé)

Morphologie et Anatomie de l'appareil végétatif des Spermaphytes

Feuille

I- Morphologie :

1- Définition :

La feuille est un organe aplati généralement vert, fixé au niveau d'un nœud. Sa forme est très variable. Elle présente une symétrie bilatérale et assure la photosynthèse, la respiration et la transpiration.

2- Organisation :

2-1- Feuilles des Gymnospermes :

Il existe deux types de feuilles chez les Gymnospermes :

- **Euphylls (vraies feuilles) :** Chez les Pins, les euphylls sont situées à la base des rameaux nains (**Planche 24 – Fig. 2**), ce sont des feuilles réduites en écailles, dures, non chlorophylliennes à durée de vie très courte. Chez les Cyprès, les feuilles sont des écailles, tendres et chlorophylliennes recouvrant les jeunes rameaux (**Planche 24 – Fig. 3**).
- **Pseudophylls (fausses feuilles) :** Les pseudophylls sont réparties le long des rameaux moyens (**Planche 24 – Fig. 2**), ce sont des feuilles longues en aiguilles, fines et chlorophylliennes.

2-2- Feuilles des Angiospermes Dicotylédones :

Une feuille complète d'une plante appartenant aux Angiospermes Dicotylédones comprend :

2-2-1- Limbe :

Le limbe est la partie aplatie, généralement verte de la feuille, il possède deux faces : une face supérieure (ventrale) et une face inférieure (dorsale). La morphologie du limbe est variable.

- **Forme :** Le limbe peut être simple ou composé :
 - **Limbe simple (Planche 25 – Fig. 1) :** Celui-ci est une lame unique dont la forme et le découpage périphérique est très diversifié, il peut être entier (**Planche 25 bis – Fig. 1a**), denté (**Planche 25 bis – Fig. 1b**) ou lobé (**Planche 25 bis – Fig. 1c**).
 - **Limbe composé (Planche 25 – Fig. 2) :** Il est découpé en folioles complètement séparés les uns des autres (**Planche 25 bis – Fig. 1d et 2d**).
- **Nervation :** Le limbe est parcouru par des nervures assurant la conduction de la sève. Il existe deux modes de nervation :
 - **Nervation pennée :** Elle est formée par une nervure principale, portant des nervures secondaires, ces dernières se ramifient en nervures plus fines formant un réseau réticulé. La feuille qui présente ce type de nervation est dite : feuille simple pennée si son limbe est simple (**Planche 25 – Fig. 1a**) ou feuille composée pennée si son limbe est composé (**Planche 25 – Fig. 1b**).

Planche 24 : Morphologie des Gymnospermes

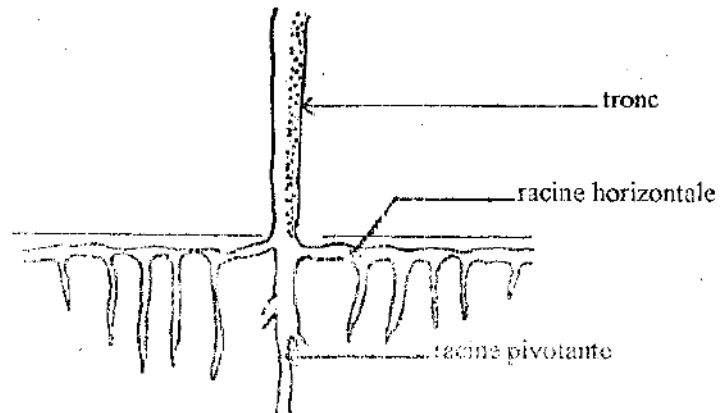


Figure 1: système racinaire du pin sylvestre.

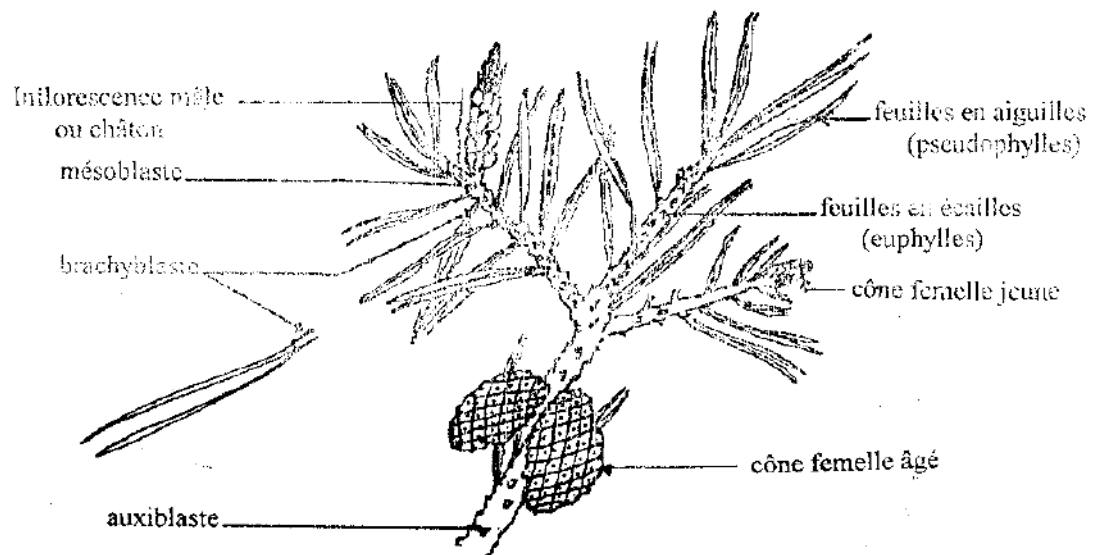


Figure 2: rameau feuillé de pin d'alep.

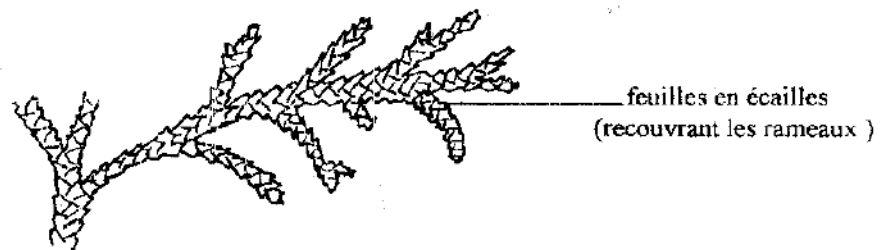


Figure 3: rameau feuillé de cyprès.

Planche 25 : Morphologie foliaire

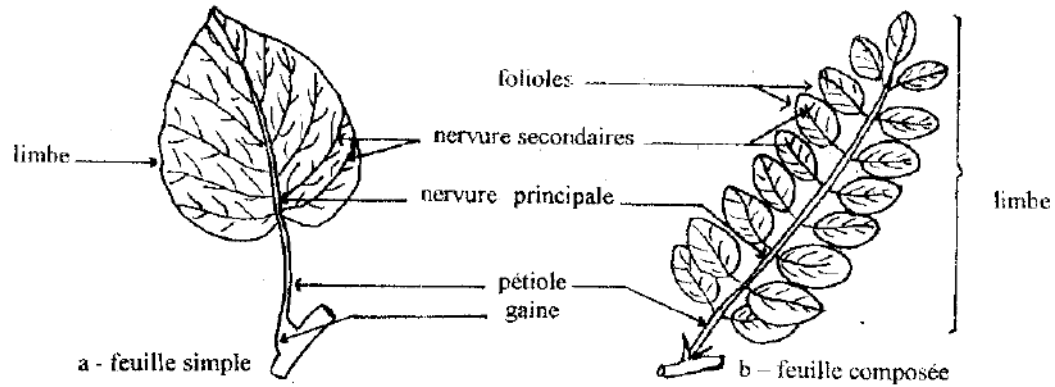


Figure 1 : Feuilles à **nervation pennée** (Angiospermes Dicotylédones).

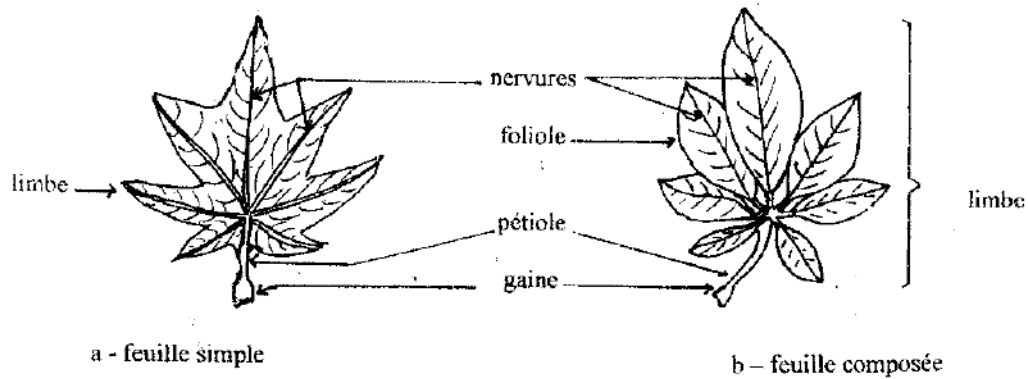


Figure 2 : Feuilles à **nervation palmée** (Angiospermes Dicotylédones).

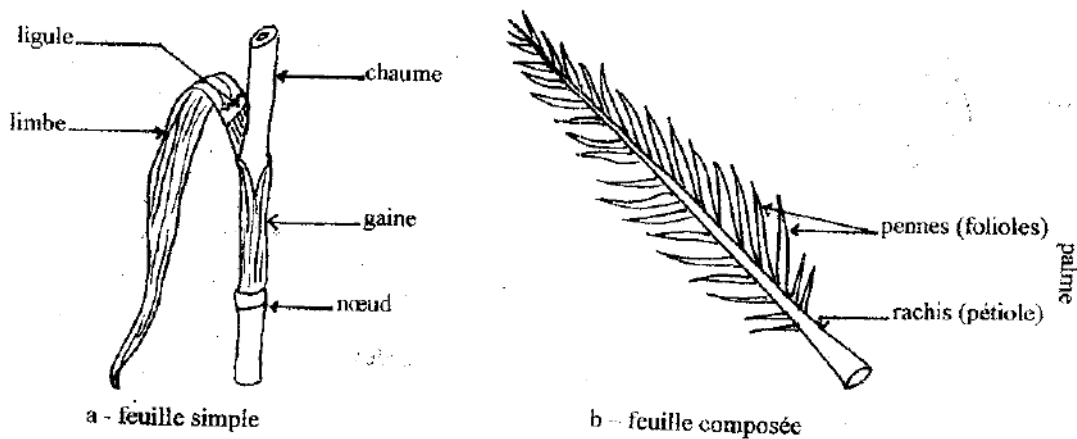
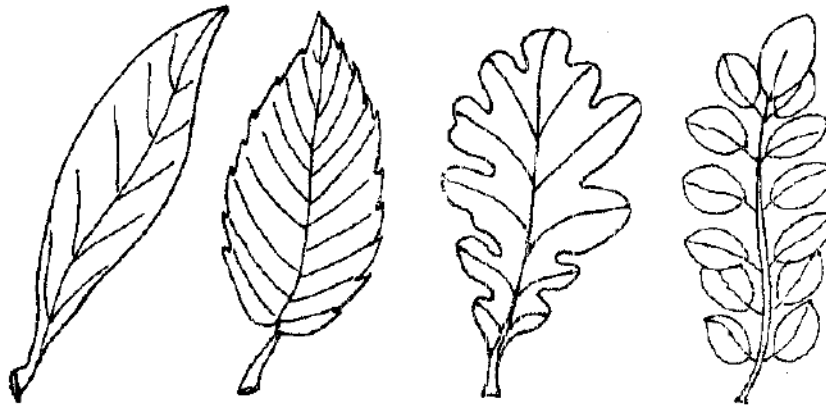


Figure 3 : Feuilles à **nervation parallèle** (Angiospermes Monocotylédones).

Planche 25 bis : Diverses sortes de limbes



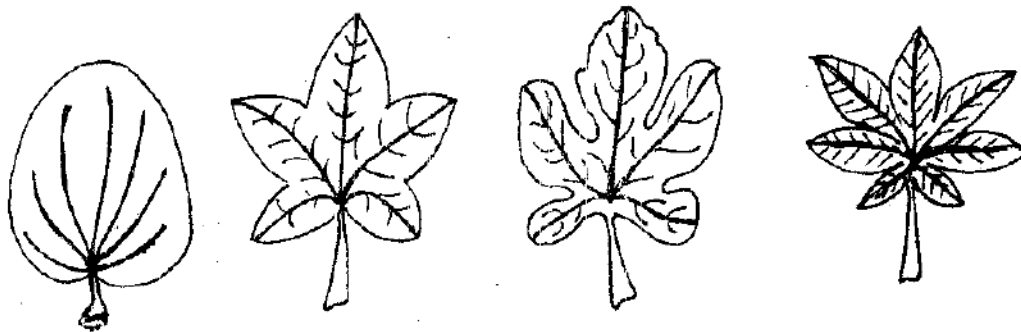
a - limbe entier
(olivier)

b - limbe denté
(chataignier)

c - limbe lobé
(chêne)

d - limbe découpé
(robinier)

Figure 1: feuilles pennées.



a - limbe entier
(arbre de Judée)

b - limbe denté
(lierre)

c - limbe lobé
(figuier)

d - limbe découpé
(marronnier)

Figure 1: feuilles palmées.

- **Nervation palmée** : Cette nervation ne présente pas de nervure principale mais plusieurs nervures qui divergent de la base du limbe. Celles-ci se ramifient en nervures secondaires qui à leur tour se ramifient en nervures plus fines formant un réseau. La feuille qui présente ce type de nervation est dite : feuille simple palmée si son limbe est simple (**Planche 25 – Fig. 2a**) ou feuille composée palmée si son limbe est composé (**Planche 25 – Fig. 2b**).

2-2-2- Pétiole :

Le pétiole est la partie étroite de la feuille, qui relie le limbe à la tige, sa longueur est variable. Il peut être élargi à sa base pour former une gaine. Il peut aussi être absent, on dit que la feuille est sessile.

2-2-3- Stipules :

Les stipules sont généralement une à deux lames foliacées portées par la gaine et situées de part et d'autre du pétiole ; parfois, ils se présentent sous forme d'épines (**Planche 25 – Fig. 1b**).

2-3- Feuilles des Angiospermes Monocotylédones :

Une feuille complète d'une plante appartenant aux Angiospermes Monocotylédones comprend :

2-3-1- Limbe :

Les feuilles des Monocotylédones présentent aussi une diversité morphologique. La nervation est parallèle.

- **Limbe simple** : Dans ce cas, le limbe est allongé, plus ou moins large ou effilé et souvent plié. La feuille est dite feuille simple à nervation parallèle (**Planche 25 – Fig. 3a**).
- **Limbe composé** : Celui-ci est composé d'un rachis central sur lequel sont disposés les folioles (pennes), allongées, effilées et assez résistantes. La disposition des folioles varie selon les espèces. La feuille est dite composée à nervation parallèle ou palme chez les palmiers (**Planche 25 – Fig. 3b**).

2-3-2- Pétiole :

Chez beaucoup d'espèces de Monocotylédones, le pétiole est absent.

2-3-3- Gaines :

La gaine est une dilatation de la base du limbe ; très développée chez certaines familles (Graminées) entourant partiellement ou entièrement le chaume (**Planche 25 – Fig. 3a**).

2-3-4- Stipules :

Lorsqu'ils existent, ils sont soit au nombre de deux à la base du limbe, soit soudés formant la ligule entre la gaine et le limbe (**Planche 25 – Fig. 3a**).

Planche 26 : Disposition des feuilles sur la tige

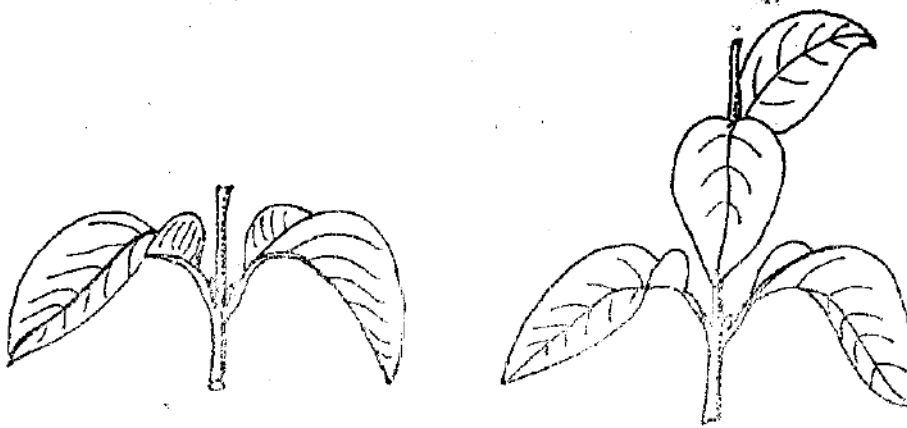


Figure 1: feuilles opposées et feuilles opposées décussées.

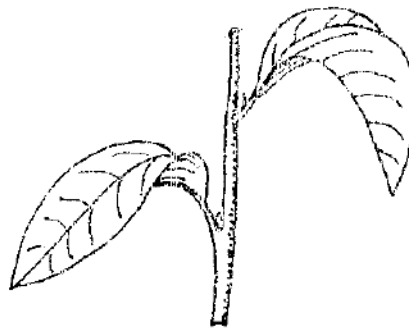


Figure 2: feuilles alternes.

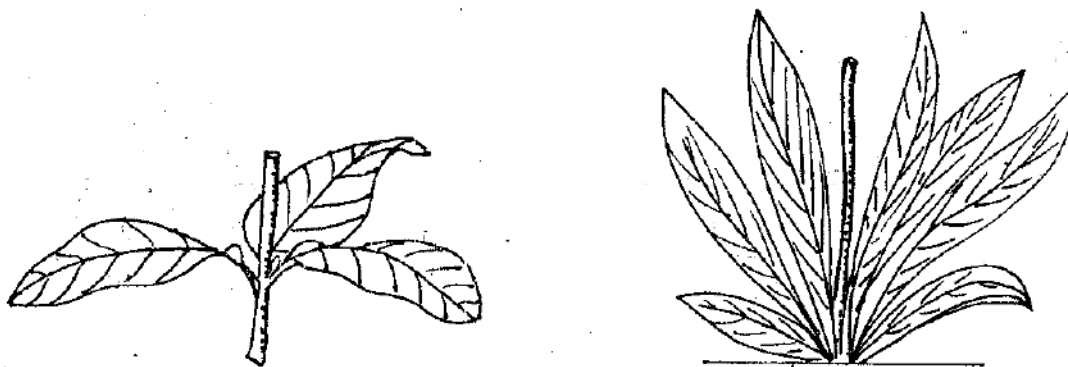


Figure 3: feuilles verticillées et feuilles en rosette.

3- Phyllotaxie :

La phyllotaxie correspond à l'arrangement ou la disposition des feuilles sur la tige.

- **Feuilles opposées et opposées décussées :** Les feuilles opposées sont insérées par paire (une en face de l'autre) sur un même nœud. On dit qu'elles sont opposées décussées quand les paires se croisent d'un angle droit d'un nœud à l'autre (**Planche 26 – Fig. 1**).
- **Feuilles alternes :** Les feuilles sont alternes quand elles sont insérées isolément (une par une) sur un nœud. Elles sont dites aussi isolées ou spiralées (**Planche 26 – Fig. 2**).
- **Feuilles verticillées :** Les feuilles verticillées sont insérées par plus de deux sur un nœud, le groupe de feuilles attachées au niveau d'un même nœud est dit verticille. On parle de feuilles en rosette chez les plantes présentant une seule couronne foliaire à la base de la tige (**Planche 26 – Fig. 3**).

4- Adaptations fonctionnelles :

Par leur forme et leur organisation, les feuilles sont essentiellement adaptées à certaines fonctions de nutrition. Dans certains cas, les feuilles peuvent jouer un rôle d'organe de protection ou celui d'organe de réserve. Nous citons quelques une de ces adaptations liées :

- **A la fonction de nutrition :** L'organisation du mésophylle en parenchymes palissadique et lacuneux est une adaptation de la feuille des Angiospermes Dicotylédones à deux fonctions essentielles : Photosynthèse pour le parenchyme palissadique et échanges gazeux (respiration, transpiration) pour le parenchyme lacuneux.

Remarques :

- Les vrilles issues de la transformation totale du limbe permet au végétal de grimper en s'enroulant autour d'un support pour aller chercher la lumière (**Planche 27 – Fig. 2**).
- Les phyllodes sont des pétioles aplatis, ressemblant morphologiquement aux feuilles, ils interviennent dans l'assimilation chlorophyllienne à la place des feuilles qui sont très réduites (**Planche 27 – Fig. 5**).
- Les feuilles modifiées des plantes carnivores sont très particulières. Le pétiole aplati et ailé porte à son extrémité un limbe replié en urne facilitant la capture d'insectes indispensables pour leur nutrition (**Planche 27 – Fig. 6**).
- **Au rôle de protection :** Les feuilles épineuses transformées en partie (**Planche 27 – Fig. 1**) ou totalement en épines empêchent la déshydratation de la plante en saison sèche.
- **Au rôle de réserve :** Certaines feuilles s'hypertrophient en accumulant des substances de réserve, elles sont dites feuilles charnues. **Exemples :** réserve de glucides dans les écailles du bulbe d'ail (**Planche 27 – Fig. 4**) ou d'oignon et réserve d'eau dans les feuilles d'Aloès (**Planche 27 – Fig. 3**).

Planche 27 : Quelques adaptations des feuilles

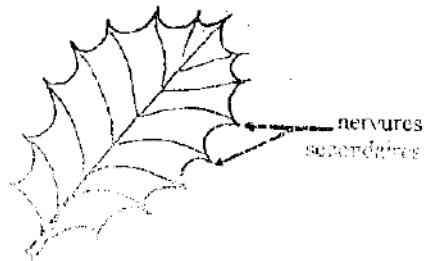


Figure 1 : Les feuilles épinées.

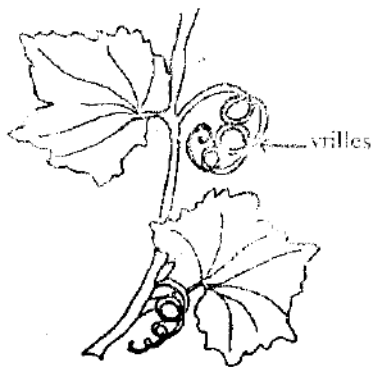


Figure 2: feuilles en vrille (bryone).

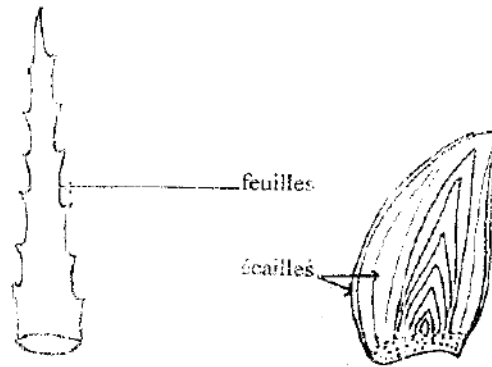


Figure 3: feuille charnue (aloès)

Figure 4: écailles charnues (ail)

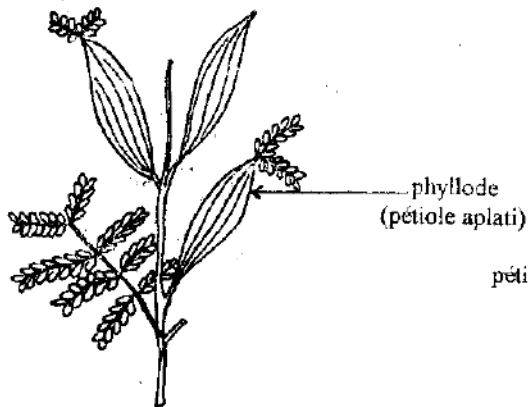


Figure 5: phyllodes (acacia).

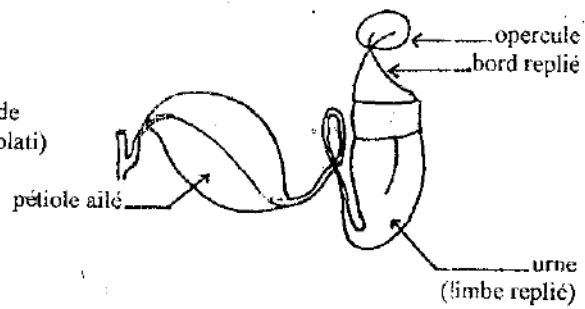


Figure 6: feuille en urne (plante carnivore).

II- Anatomie :

1- Angiospermes Monocotylédones :

L'étude est menée sur une coupe transversale réalisée au niveau du limbe d'une feuille d'Angiospermes Monocotylédones. On distingue deux faces, une face supérieure exposée à la lumière et une face inférieure non exposée, la symétrie est bilatérale. Les tissus observés sont (**Planche 28 – Fig. 1**) :

- **Epiderme supérieur** : Il recouvre la face supérieure de la feuille, il est cutinisé à nombre réduit de stomates.
- **Epiderme inférieur** : Il protège la face inférieure, il est aussi cutinisé présentant la même répartition en stomates que l'épiderme supérieur.
- **Sclérenchyme** : C'est un tissu de soutien présent en amas contre les deux épidermes.
- **Mésophylle homogène** : Il s'agit d'un seul type de parenchyme chlorophyllien (lacuneux ou à méat).
- **Tissus conducteurs primaires** : Ce sont plusieurs faisceaux criblo-vasculaires correspondant aux nervures ayant à peu près la même taille. Chaque faisceau criblo-vasculaire présente le xylème vers la face supérieure et le phloème vers la face inférieure, l'ensemble est entouré par une gaine de sclérenchyme.

2- Angiospermes Dicotylédones :

Une coupe transversale réalisée au niveau du limbe d'une feuille d'Angiospermes Dicotylédones présente une symétrie bilatérale. Les tissus observés sont (**Planche 28 – Fig. 2**) :

- **Epiderme supérieur** : C'est un épiderme cutinisé à stomates (nombre réduit).
- **Epiderme inférieur** : Il est cutinisé et présente un nombre plus important en stomates que l'épiderme supérieur.
- **Mésophylle hétérogène** : Il est formé de deux parenchymes chlorophylliens, le parenchyme palissadique vers la face supérieure et le parenchyme lacuneux vers la face inférieure.
- **Tissus conducteurs** : C'est des faisceaux criblo-vasculaires qui correspondent aux nervures dont la taille est différente. Nous observons une nervure principale très importante qui fait saillie vers la face inférieure, elle est formée de tissus conducteurs primaires (xylème et phloème) et secondaires (bois hétéroxylé et liber) et des nervures secondaires formées uniquement de tissus conducteurs primaires.
- **Tissus de soutien** : Du collenchyme et du sclérenchyme sont présents au contact des épidermes.

Planche 28 : Structure anatomique des feuilles d'Angiospermes

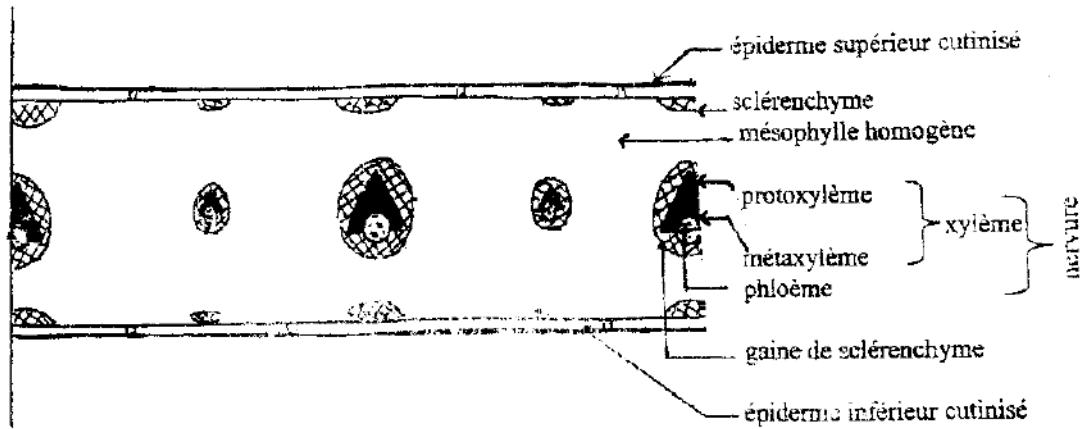


Figure 1 : schéma général d'une coupe transversale de feuille d'Angiospermes **Monocotylédones**.

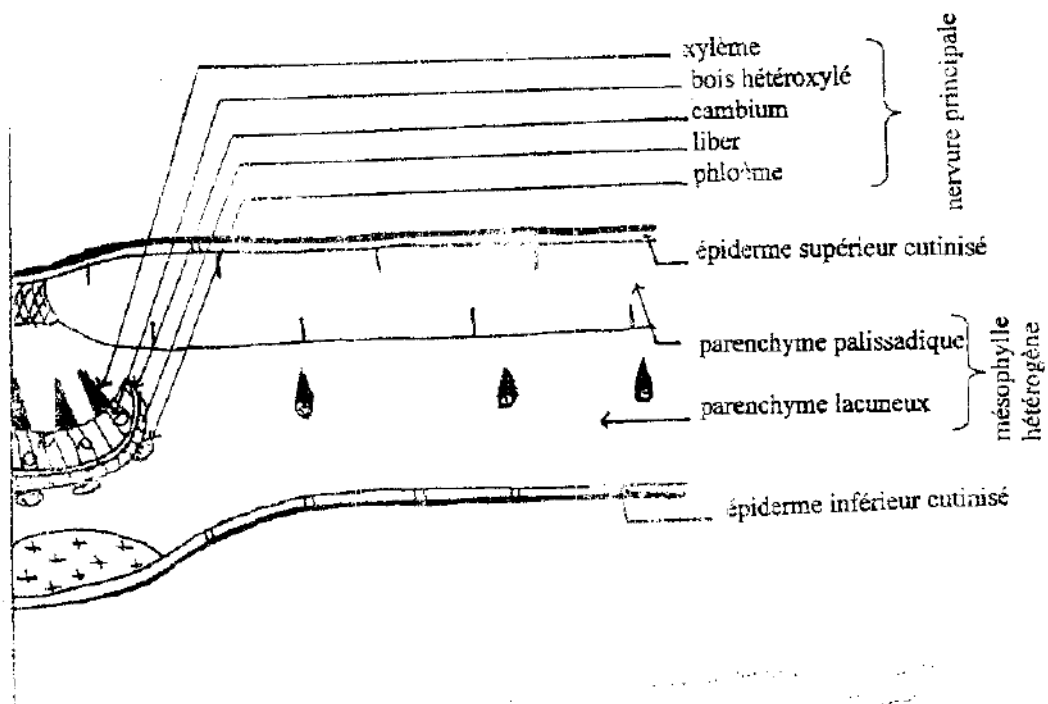


Figure 2 : schéma général d'une coupe transversale de feuille d'Angiospermes **Dicotylédones**.

3- Gymnospermes :

L'étude est menée sur une coupe transversale réalisée au niveau d'une aiguille (pseudophylle) de Pin d'Alep. Celle-ci présente une face supérieure plate et une face inférieure arrondie, la symétrie est bilatérale. Les tissus observés sont (**Planche 28 bis**):

- **Epiderme** : C'est une assise de cellules qui entoure l'aiguille, il est cutinisé à stomates.
- **Hypoderme** : Il s'agit d'un tissu de soutien, le sclérenchyme qui se trouve au contact de l'épiderme et s'interrompt au niveau des stomates.
- **Mésophylle** : C'est un parenchyme foliaire formé de cellules plissées chlorophylliennes à parois pectocellulosiques. Il contient deux canaux sécréteurs à résine entourés chacun d'une gaine de sclérenchyme.
- **Gaine protectrice** : C'est une assise de cellules à parois épaisses souvent lignifiées.
- **Tissu de transfusion** : Il s'agit d'un parenchyme formé de petites cellules jointives à parois cellulosesiques. Il entoure les deux nervures.
- **Tissus conducteurs** : Ce sont deux faisceaux criblo-vasculaires qui correspondent à deux nervures de même taille. Elles sont formées de tissus conducteurs primaires (xylème et phloème) et secondaires (bois homoxylé et liber).

Planche 28 bis : Structure anatomique d'une pseudophylle

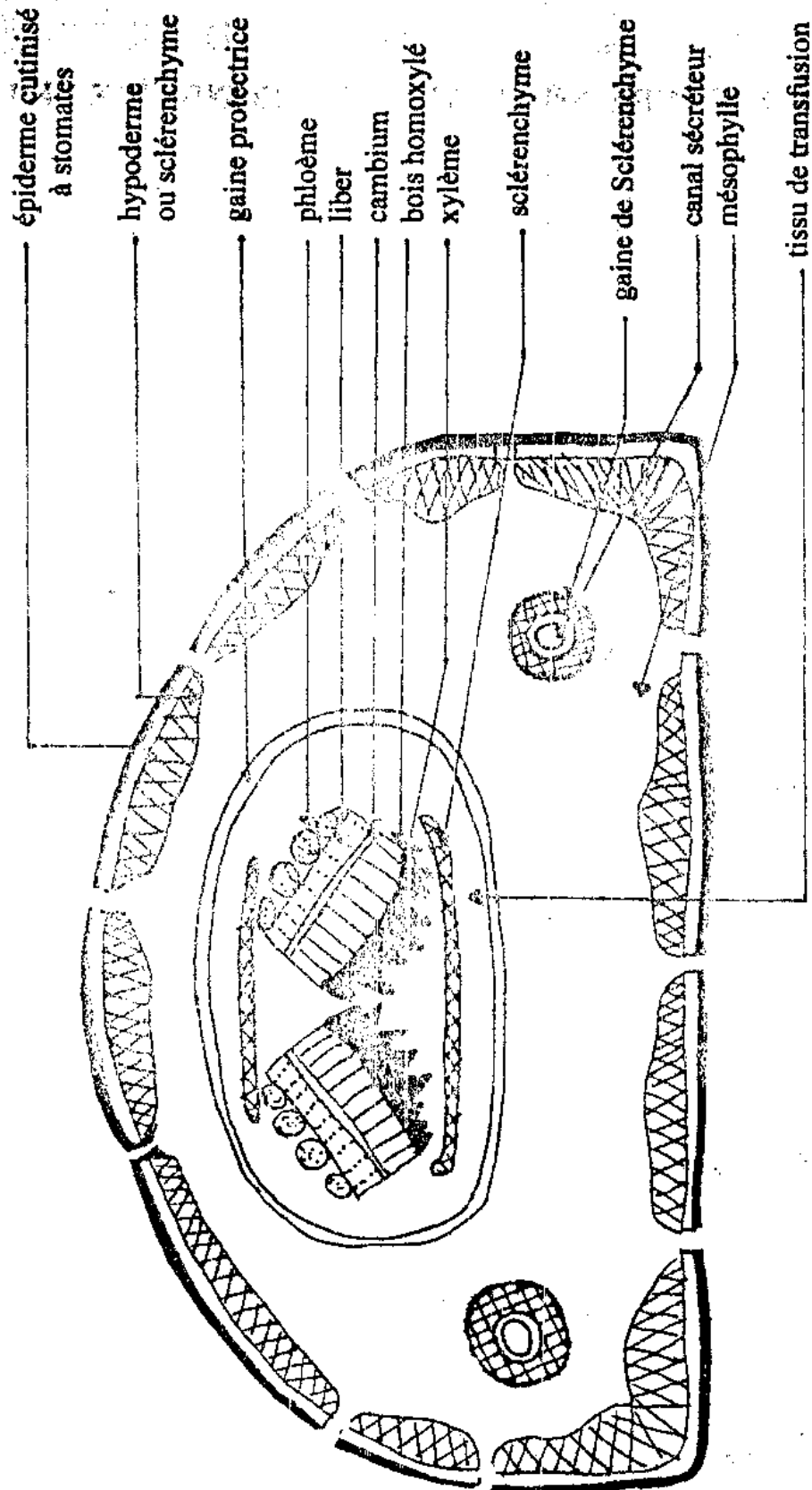


Schéma général d'une coupe transversale dans une aiguille de pin d'Alep.

Biologie de la reproduction chez les phanérogames

1- Introduction :

Après un temps de végétation dont la durée est caractéristique de chaque espèce, les phanérogames peuvent entrer en phase de reproduction sexuée. Ce passage de l'état végétatif à l'état de reproduction sexuée dépend de nombreux facteurs tels les rythmes d'éclairement (photopériodisme) et de température (thermopériodisme).

Lorsque toutes ces conditions sont réalisées, les phanérogames édifient leur appareil reproducteur et, selon les espèces, sous forme soit de fleurs solitaires ou fleurs isolées, soit de groupes de fleurs ou inflorescences (**Planche 29 - Fig. 1**).

La fleur est l'appareil reproducteur constitué par les organes reproducteurs mâles et femelles, protégés ou non par des pièces stériles.

Le grain de pollen ou gamétophyte mâle, s'est spécialisé dans le transport de gamètes sur l'appareil reproducteur femelle, après dissémination du pollen ou pollinisation.

L'ovule ou organe femelle contenant le gamétophyte femelle, se transforme après fécondation en graines qui perpétuent l'espèce.

2- Répartition des sexes

Si les organes mâles et femelles sont portés par la même fleur, la fleur est dite hermaphrodite. C'est l'exemple typique des Angiospermes.

Si les organes mâles et femelles sont séparés, chacun porté par une fleur, donc fleur mâle et fleur femelle, on dit que la fleur est unisexuée. Les fleurs unisexuées peuvent être portées de deux manières :

- Les fleurs unisexuées portées par le même individu (ou le même pied), l'espèce est dite monoïque. La monoécie est très répandue chez les Gymnospermes (Pins, Sapins) et les Angiospermes les moins évolués (Châtaigner, Noyer, Noisetier).
- Les fleurs unisexuées sont portées par des pieds séparés, l'espèce est dite dioïque. La diécie est moins fréquente que la monoécie. On la trouve chez quelques Gymnospermes anciens (Ginkgo) et quelques Angiospermes (Palmier).

3- Morphologie florale des Angiospermes

Etude d'une fleur solitaire hermaphrodite (Planche 29 – Fig. 2 & 3) :

Une fleur est généralement portée par un pédoncule floral directement relié à la tige. Lorsque le pédoncule est absent, la fleur est dite sessile.

A la base du pédoncule floral, ou à la base de la fleur sessile se trouve une bractée, petite feuille en général de couleur verte.

Planche 29 : Fleurs des Angiospermes

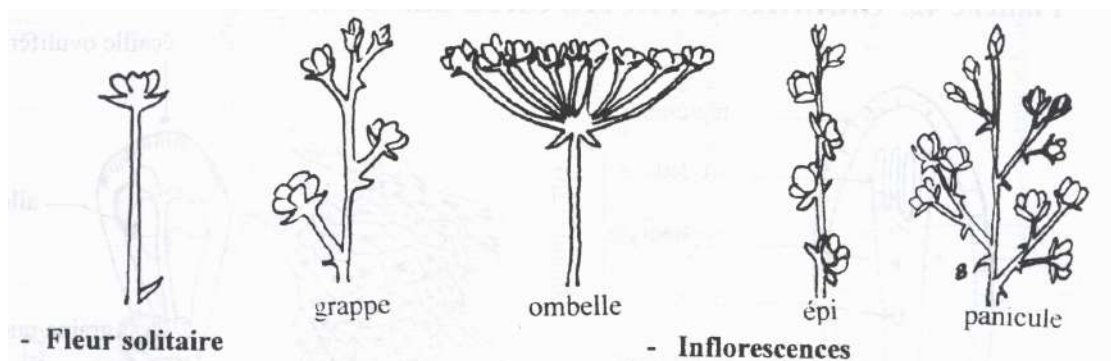


Figure 1 : Quelques type d'inflorescences

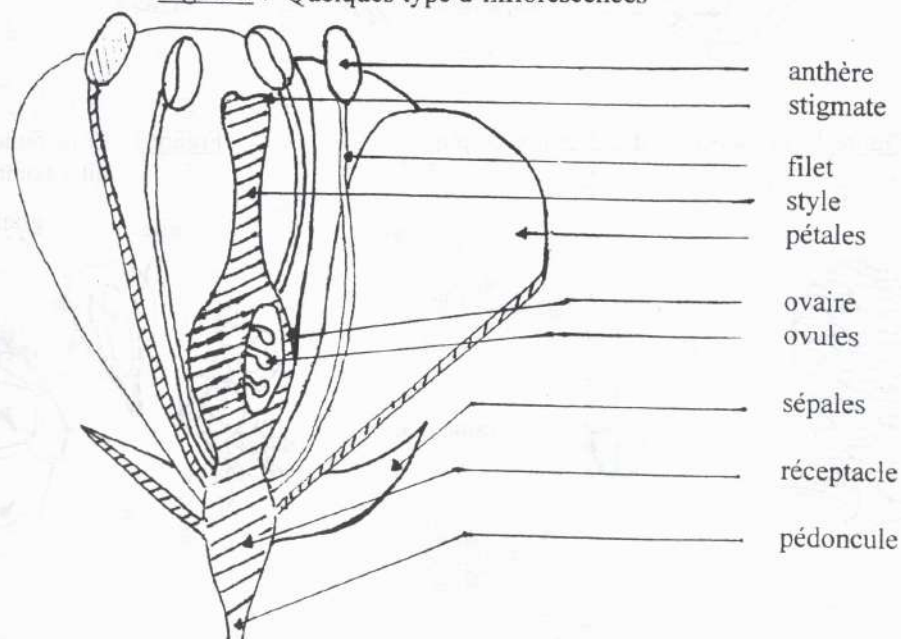


Figure 2 : Coupe longitudinale d'une fleur à **ovaire supère**.

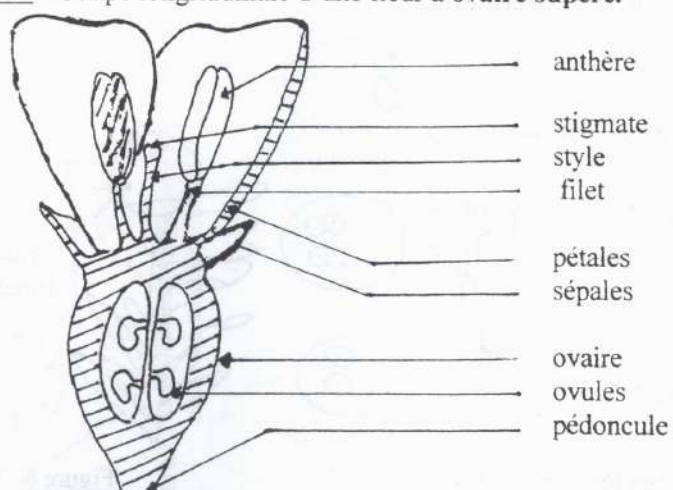


Figure 3 : Coupe longitudinale d'une fleur à **ovaire infère**.

A maturité, une fleur est composée de deux types différents de pièces florales, organisées en quatre verticilles. Les verticilles sont représentés par les pièces florales disposées sur des cercles concentriques et situés de l'extérieur vers l'intérieur de la fleur. Ces pièces florales sont disposées sur le réceptacle qui correspond à l'extrémité renflée du pédoncule floral.

3-1- Pièces florales stériles ou périanthe :

Constituent les deux premiers verticilles : le calice et la corolle qui ont un rôle protecteur des organes reproducteurs.

- **Calice** : C'est le premier verticille externe constitué par l'ensemble des sépales. Elles présentent un aspect foliacé, de couleur le plus souvent verdâtre. Les sépales peuvent être libres (dialysépales), soudées (gamosépales) ou absentes (fleur asépales).
- **Corolle** : C'est l'ensemble des pétales, constituant le deuxième verticille. La corolle est généralement bien développée et toujours colorée par des couleurs vives, suite à la présence des pigments (anthocyanes). Les pétales peuvent être libres (dialypétales), soudées (gamopétales) ou absentes (fleur apétales). En plus de son rôle protecteur, la corolle favorise l'attraction des agents pollinisateurs grâce aux couleurs vives.

Remarques :

- L'ensemble calice + corolle peuvent être de même couleur vive et de même taille, on parle de tépales
- La corolle alterne avec le calice

3-2- Pièces florales fertiles ou organes reproducteurs :

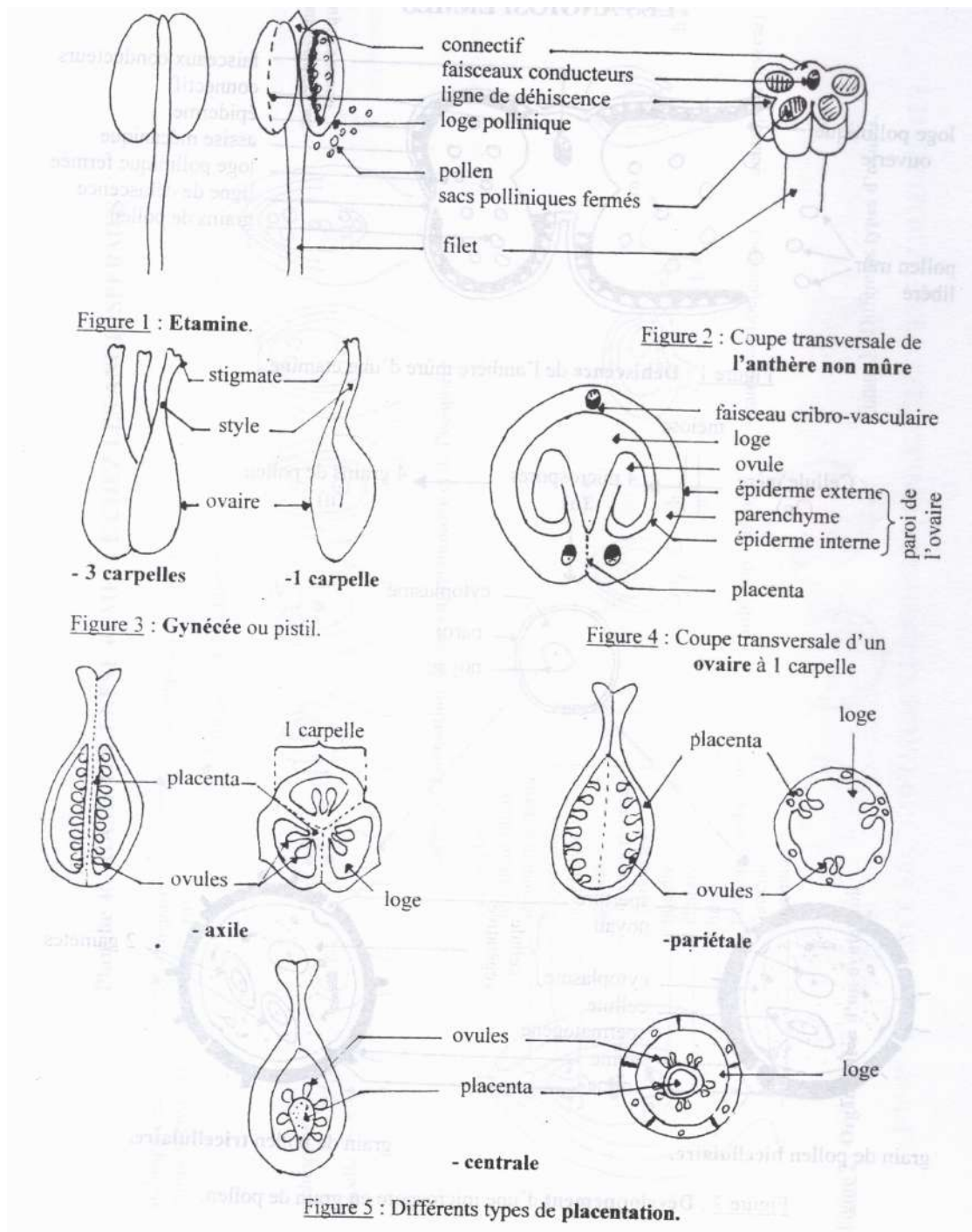
Elles sont impliquées dans la reproduction, protégées par le périanthe. Disposées également sur deux verticilles et de l'extérieur vers l'intérieur, on distingue :

- **Organe reproducteur mâle ou androcée** : L'androcée est l'ensemble des étamines de la fleur, constituant le troisième verticille. Chaque étamine est constituée par un filet et une anthère (**Planche 29 – Fig. 2 & 3**). L'étamine s'insère sur le réceptacle grâce au filet prolongé par le connectif soudé à l'anthère. Le filet est parcouru par les tissus conducteurs qui se prolongent jusque dans le connectif (**Planche 30 – Fig. 1**).

Structure d'une anthère : L'anthère est formée de deux sacs polliniques situés de part et d'autre du connectif. Chaque sac renferme deux loges qui fusionnent à maturité pour ne former qu'une seule loge dans chaque sac. C'est dans les anthères immatures que se développent les grains de pollen (**Planche 30 – Fig. 2**).

- **Organe reproducteur femelle ou gynécée** : Le gynécée ou pistil est constitué par l'ensemble des carpelles fermés, organisés en une base élargie et creuse appelée ovaire et renfermant les ovules et une partie supérieure étroite, le style terminé au sommet par le stigmate. Chez les Angiospermes, il y a un ou plus souvent plusieurs carpelles libres ou plus ou moins soudés entre eux et toujours fermés qui entourent complètement les ovules (un ou plusieurs ovules par carpelle) (**Planche 30 – Fig. 3**).

Planche 30 : Organes reproducteurs mâles et femelles chez les Angiospermes



Organisation du gynécée : Du sommet vers la base, on trouve (**Planche 29 – Fig. 2 & 3**) :

- **Le stigmate** : Situé au sommet du gynécée, il présente différentes formes. Il est récepteur du pollen et possède des papilles qui sécrètent un liquide visqueux favorisant l'accolement et la germination des grains de pollen au cours de la fécondation.
- **Le style** : C'est un tube qui prolonge l'ovaire.
- **L'ovaire** : C'est la partie basale ou renflée du gynécée. Il peut provenir d'un seul carpelle fermé (ovaire unicarpellé) ou de plusieurs carpelles soudées (ovaire pluricarpellé). Il renferme les ovules (mégasporange). Les ovules sont rattachés à l'ovaire par le funicule au niveau de la région appelée placenta (**Planche 30 – Fig. 4**).

Selon le mode de soudure des carpelles, on distingue différents types de placentation (**Planche 30 – Fig. 5**) :

- **Placentation pariétale** : Lorsque les carpelles se soudent entre eux par leurs bords donnant un ovaire à une loge quelque soit le nombre de carpelles. Les ovules sont portés par les bords des carpelles.
- **Placentation axile** : Les carpelles se referment chacun sur lui-même avant de se souder entre eux par leurs faces latérales, donnant un ovaire à autant de loges que de carpelles. Chaque loge étant séparée par une cloison. Les ovules sont alors portés par la région axiale de l'ovaire.
- **Placentation centrale** : Elle est organisée comme la placentation axile, mais les cloisons séparant les loges ont disparus. Les ovules sont attachés au centre. L'ovaire apparaît constitué d'une seule loge même s'il comprend plusieurs carpelles.

Par ailleurs, selon le mode d'insertion de l'ovaire sur le réceptacle par rapport aux autres verticilles, on distingue :

- **Ovaire supère** : Lorsque l'ovaire est situé au dessus par rapport aux autres verticilles (**Planche 29 – Fig. 2**).
- **Ovaire infère** : Lorsque l'ovaire est situé en dessous par rapport aux autres verticilles (**Planche 29 – Fig. 3**).

4- Reproduction des Angiospermes :

4-1- Gamétogenèse mâle :

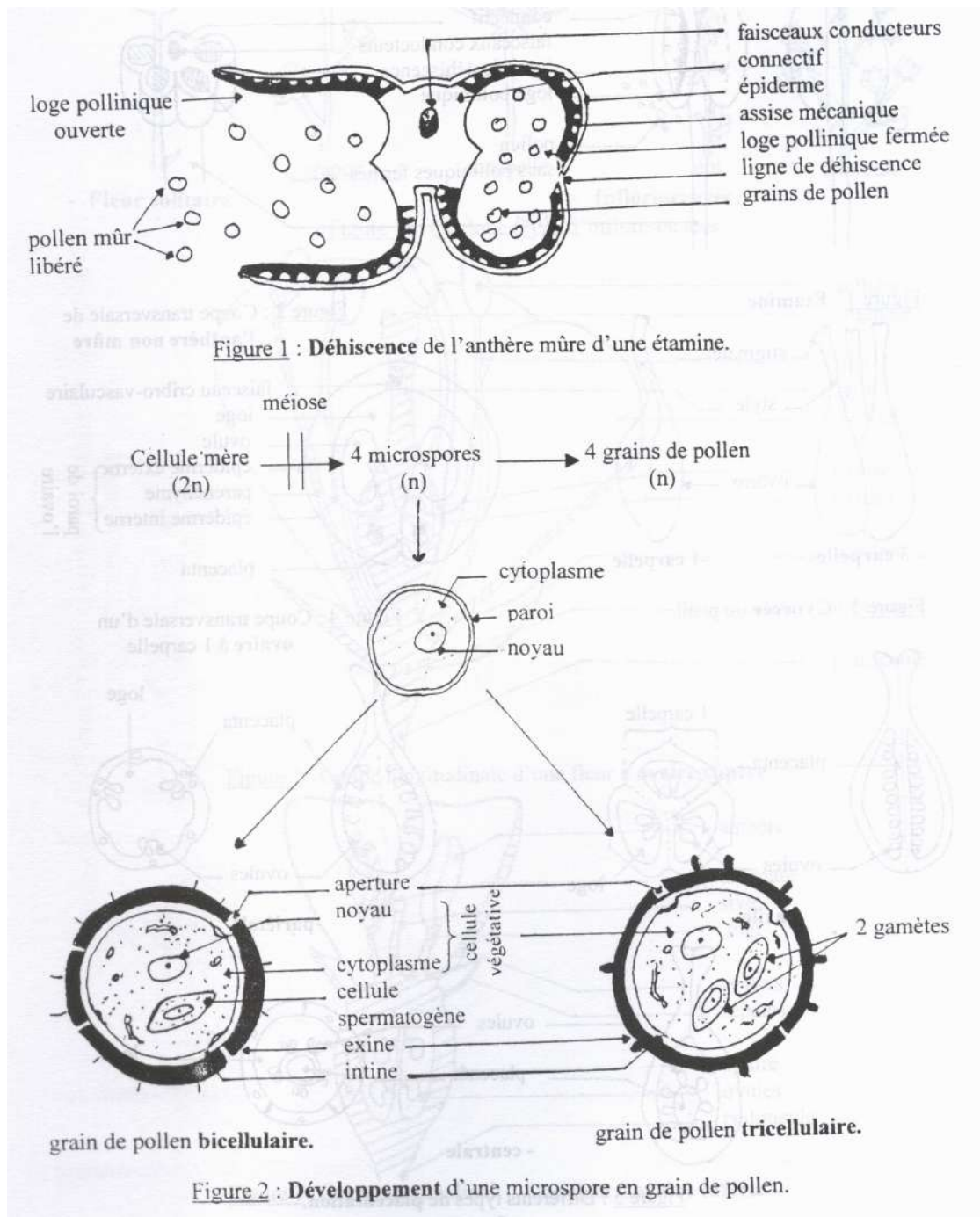
4-1-1- Structure de l'anthere :

Une coupe transversale montre de l'extérieur vers l'intérieur (**Planche 31 – Fig. 1**) :

- Une assise de cellules épidermiques entourant l'anthere
- Une assise mécanique, formée de cellules dont les parois latérales et internes lignifiées. Les parois externes cellulodiques. Cette assise intervient dans l'ouverture ou la déhiscence de l'anthere à maturité
- Plusieurs assises cellulaires transitoires nourricières, constituant le tapis, qui joue un rôle dans le développement des grains de pollen

- Loges polliniques au nombre de deux dans les sacs polliniques matures. Ces loges renferment les grains de pollen
- Un faisceau criblo – vasculaire constituant les tissus conducteurs situés dans le connectif

Planche 31 : Anthère mûre et gamétogenèse mâle chez les Angiospermes



4-1-2- Déhiscence de l'anthère (Planche 31 – Fig. 1) :

Lorsque le pollen arrive à maturité, il est libéré au niveau de la ligne de déhiscence de l'anthère. La libération des grains de pollen est associée à une dessiccation du contenu de l'anthère qui entraîne une rétraction des parois cellulaires de l'assise mécanique. Celle-ci s'incurve et entraîne une déchirure des cellules à parois cellulodiques de la ligne de déhiscence. Le pollen est alors libéré et il est disséminé par le vent ou par les insectes.

4-1-3- Structure du grain du pollen (Planche 31 – Fig. 2) :

Dans les anthères immatures, apparaissent des cellules mères à $(2n)$, qui après méiose et mitose donne chacune, quatre cellules ou microspores à (n) . Chaque microspore se différencie en grain de pollen.

Les grains de pollen sont des éléments arrondis ou ovoïdes, de très petite taille, généralement de couleur jaune. Ils se présentent avec :

- Une cellule végétative nourricière, contenant des réserves nutritives
- Une cellule spermatogène, qui donne deux gamètes dans le grain de pollen mûr
- Une paroi avec l'exine épaisse et cutinisée, qui peut être lisse ou ornementée ; et l'intine, qui est cellulodique et mince

Au niveau de l'aperture, l'exine est très amincie alors que l'intine est épaisse.

L'aperture présente un rôle germinatif, le tube pollinique entouré par l'intine perce l'exine au niveau de l'aperture.

4-2- Gamétogenèse femelle :**4-2-1- Organisation de l'ovule :**

En coupe longitudinale, l'ovule est constitué par (Planche 32 – Fig. 2) :

- Un funicule, pédoncule de l'ovule qui le fixe au placenta
- Le hile, qui correspond à la base de l'ovule
- Le nucelle, ensemble de cellules parenchymateuses, dans lequel se différencie la cellule mère à $(2n)$ qui formera le sac embryonnaire
- Le sac embryonnaire, constitué de 8 cellules haploïdes contenant l'oosphère ou gamétophyte femelle
- Un à deux téguments, qui protègent l'ovule et qui ménagent une ouverture au sommet de l'ovule : le micropyle
- Des tissus conducteurs, qui pénètrent dans l'ovule et se terminent à la base du nucelle. Le lieu de terminaison des tissus conducteurs est dit chalaze.

4-2-2- Différents types d'ovules :

Il existe trois types d'ovules chez les Angiospermes (Planche 32 – Fig. 3) :

- Ovule orthotrope ou droit
- Ovule campylotrope ou courbé
- Ovule anatrophe ou renversé

Planche 32 : Gamétogenèse femelle chez les Angiospermes

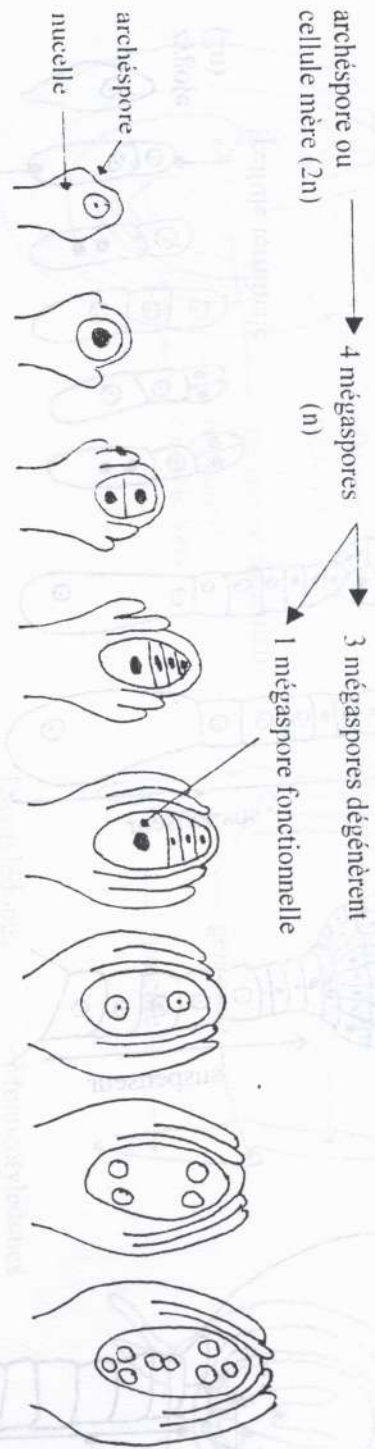


Figure 1 : Formation du sac embryonnaire et de l'oosphère.

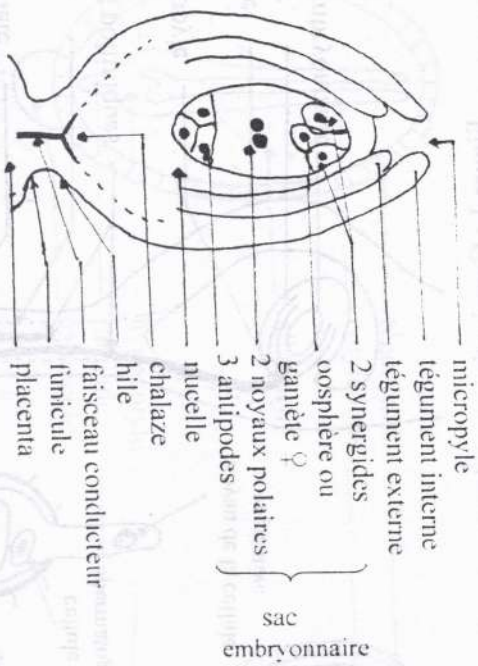


Figure 2 : Organisation d'un ovule droit.

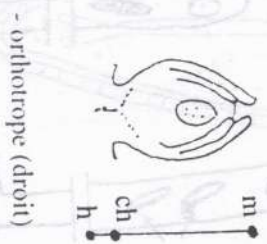


Figure 3 : Différents types d'ovules.

4-2-3- Sac embryonnaire :

Dans les cellules du nucelle se différencie une cellule mère à $(2n)$ qui aboutit après méiose et 3 mitoses successives à la formation du sac embryonnaire formé de 8 cellules haploïdes : oosphère + 2 synergides au pôle micropylaire + 3 antipodes au pôle opposé + 2 noyaux polaires au centre (**Planche 32 – Fig. 1**).

4-3- Pollinisation :

4-3-1- Modes de pollinisation :

Deux modes de pollinisation :

- Autopollinisation, où le stigmate d'une fleur est pollinisé par le pollen porté par la même fleur. Ce mode de pollinisation est exceptionnel.
- Allopollinisation ou pollinisation croisée qui concerne des plante de même espèce dans le cas : sexes séparés (plantes dioïques tel le palmier) ; organes sexuels mâles et femelles n'arrivent pas à maturité en même temps (pollen mûr et stigmate immature, pollen non mûr et stigmate réceptif) ; auto - incompatibilité ou barrière physiologique, lorsque le pollen mûr d'une fleur ne peut germer sur le stigmate mature de cette même fleur.

4-3-2- Agents de la pollinisation :

- **Insectes** : 4/5 des Angiospermes sont des plantes entomophiles, c'est l'entomogamie.
- **Vent** : 1/5 des espèces sont anémophiles, c'est l'anémogamie
- **Eau** : mode de pollinisation rare. Le pollen est filamenteux et dépourvu d'exine (Angiospermes aquatiques).

4-3-3- Germination du grain du pollen (**Planche 33 – Fig. 1**) :

Au contact du stigmate, le grain de pollen est reconnu. Un mouvement d'eau a lieu entre le grain de pollen et les tissus du gynécée, provoquant une hydratation du grain de pollen, lequel augmente de volume, entraînant la sortie de l'intine et d'une partie du cytoplasme à l'origine d'un tube pollinique : c'est la germination du grain du pollen.

Au cours de l'allongement du tube pollinique, le noyau de la cellule végétative et la cellule spermatogène passent dans le tube pollinique. Dans le cas du grain de pollen bicellulaire, la cellule spermatogène subit une mitose et donne deux gamètes mâles.

4-4- Double fécondation (**Planche 33 – Fig. 2**) :

Le tube pollinique pénètre dans l'ovule par le micropyle, traverse le nucelle et arrive au sac embryonnaire. Le premier gamète mâle féconde l'oosphère à l'origine d'un zygote principal diploïde $(2n)$ ou embryon. Le second gamète mâle fusionne avec les deux noyaux secondaires pour donner le zygote accessoire triploïde $(3n)$ ou albumen.

Cette double fécondation est caractéristique des Angiospermes. L'embryon à $(2n)$ donne la nouvelle plantule et l'albumen à $(3n)$ assure la nutrition de l'embryon et parfois de la plantule au cours de la germination de la graine.

Planche 33 : Double fécondation et embryogenèse chez les Angiospermes

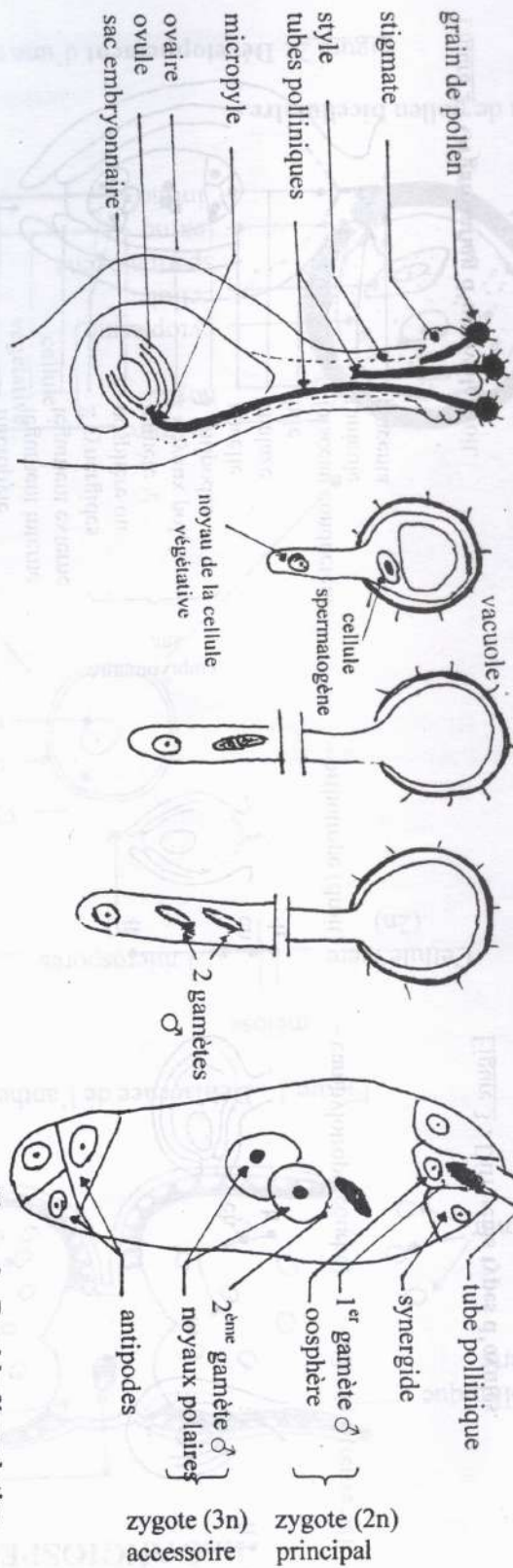


Figure 2 : Double fécondation.

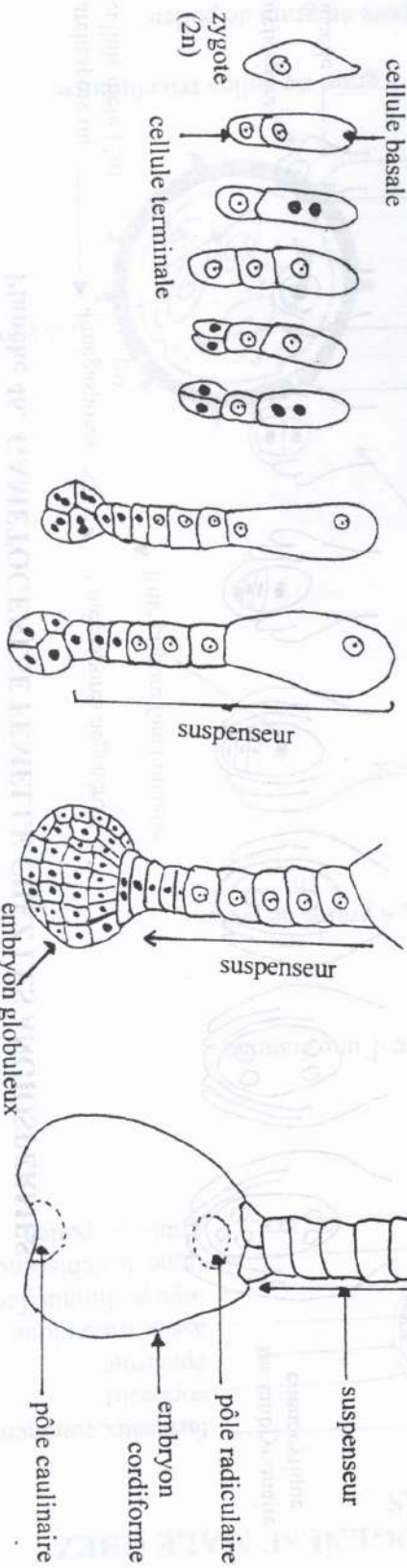


Figure 3 : Développement du zygote principal en embryon.

5- Embryogenèse et formation de la graine :

5-1- Développement de l'embryon :

La division du zygote principal donne (**Planche 33 – Fig. 3**) :

- Globule embryonnaire, de forme sphérique fixé à l'albumen par un suspenseur
- Embryon cordiforme, avec mise en place des méristèmes apicaux radicaire et caulinaire
- Transformation de l'embryon en une jeune plantule au sein de l'ovule (**Planche 34 – Fig. 1**).

Remarque : Chez les monocotylédones, l'embryon n'est pas cordiforme. Jusqu'au stade globulaire, les étapes sont identiques à celles des Angiospermes dicotylédones. Après ce stade, la formation du pôle caulinaire sur le côté permet le développement d'un seul cotylédon (**Planche 34 – Fig. 2**).

5-2- Développement de l'albumen :

Le tissu nourricier est utilisé par l'embryon et par la plantule en formation. Sa disparition est parfois complète lorsque la graine est mûre.

5-3- Formation de la graine (Planche 34 – Fig. 3) :

5-3-1- Transformation des téguments de l'ovule :

Les téguments de l'ovule se transforment en téguments de la graine. Si l'ovule possède deux téguments, le tégument interne est réduit à une lame tandis que les cellules du tégument externe s'agrandissent, leurs parois se lignifient assurant la protection de la graine.

5-3-2- Evolution du nucelle :

La croissance de l'albumen et de l'embryon provoque la disparition progressive et parfois complète du nucelle. Chez certaines espèces végétales, une grande partie du nucelle persiste et constitue le péricarpe (graines à péricarpe) où s'accumule une partie des réserves, stockées dans la graine.

5-3-3- Accumulation des réserves :

Pendant la maturation de la graine qui a lieu sur la plante, les substances de réserve sont accumulées soit dans l'albumen s'il persiste, soit dans le ou les cotylédons lorsque l'albumen a été utilisé et parfois dans le nucelle si celui-ci persiste. Les réserves peuvent être :

- Protéines : Les protéines sont accumulées sous forme de grains d'aleurone, on parle de graines protéagineuses (Pois chiche)
- Lipides : Graines oléagineuses (Colza, Ricin, Soja, Tournesol)
- Glucides : Amidon, grains amylacés (Blé, maïs)
- Association protéo – oléagineuses
- Association oléo – protéagineuses

Planche 34 : Embryogenèse et graines chez les Angiospermes

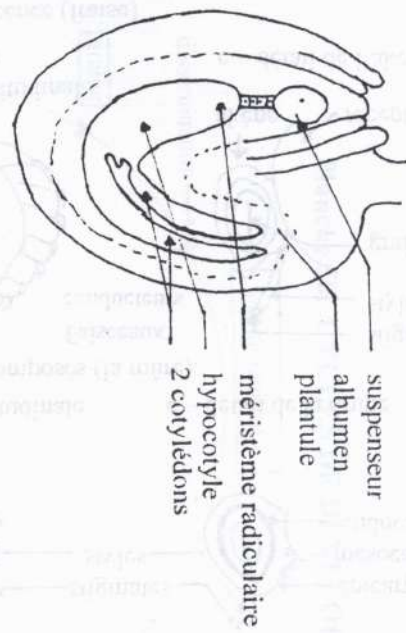
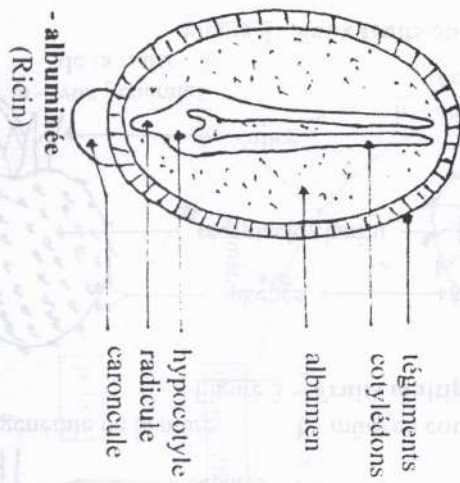
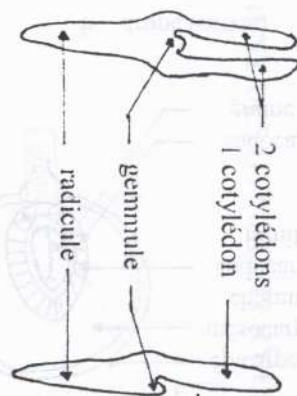


Figure 1 : jeune plantule dans l'ovule.



- albuminée
(Ricin)



- Dicotylédones

- Monocotylédones

Figure 2 : Plantules.

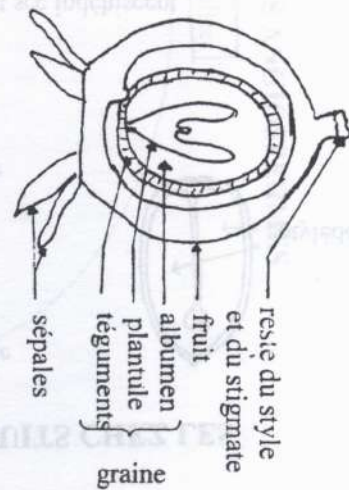
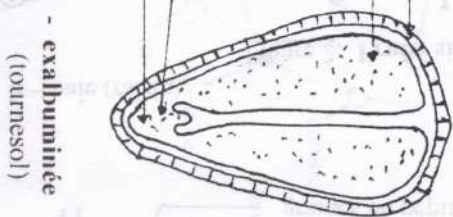
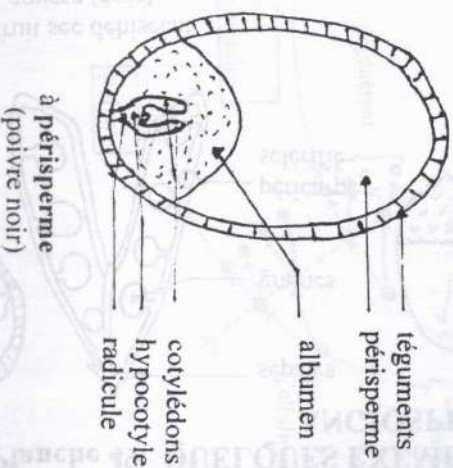


Figure 3 : graine dans le fruit.



- exalbuminée
(lourmesol)



à péricarpe
(poivre noir)

Figure 4 : Différents types de graines.

5-4- Organisation de la graine mûre et les différents types de graines :

Les graines mûres d'Angiospermes sont de taille très diverses, petites de 500 à 600 μm (Tabac, Orchidées) ou volumineuses de quelques cm (graine de Noix de Coco).

La graine est constituée :

- Un tégument, plus ou moins épais, provient du ou des téguments de l'ovule
- L'amande, partie vivante constituée par la plantule et les tissus nourriciers réalisant ainsi 3 types de graines (**Planche 34 – Fig. 4**) :

- **Graines albuminées** : Les cotylédons restent plus ou moins foliacés et plats, et l'albumen persiste et devient volumineux par accumulation de réserves (Exemple : Ricin).

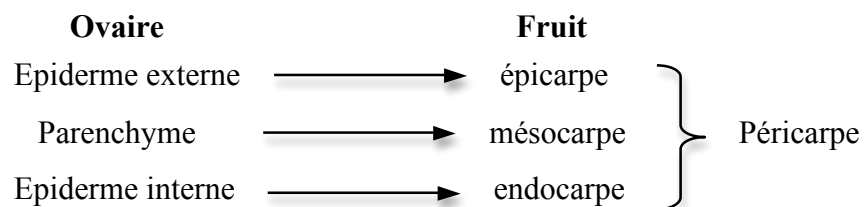
- **Graines exalbuminées** : L'albumen est consommé totalement par l'embryon au cours de son développement, dans ce cas les réserves de la graine sont accumulées dans les cotylédons qui sont très développés (Exemple : Haricot, Tournesol, Petit-Pois).

- **Graines à périsperme** : L'albumen et une partie du nucelle qui persiste, participant au stockage des réserves (Exemple : Poivre noir).

6- Fruits :

6-1- Organisation du fruit :

Après la pollinisation, l'androcée se dessèche. Après la fécondation, la corolle se fane, il ne reste que le calice. Le gynécée subit des transformations, l'ovaire se développe en fruit contenant une ou plusieurs graines. La croissance de l'ovaire en fruit se fait sous l'action d'une hormone de croissance, l'auxine.



6-2- Différents types de fruits :

On distingue plusieurs types de fruits selon la consistance et l'épaisseur du péricarpe, le type de carpelle et le mode de déhiscence du fruit.

6-2-1- Fruits simples :

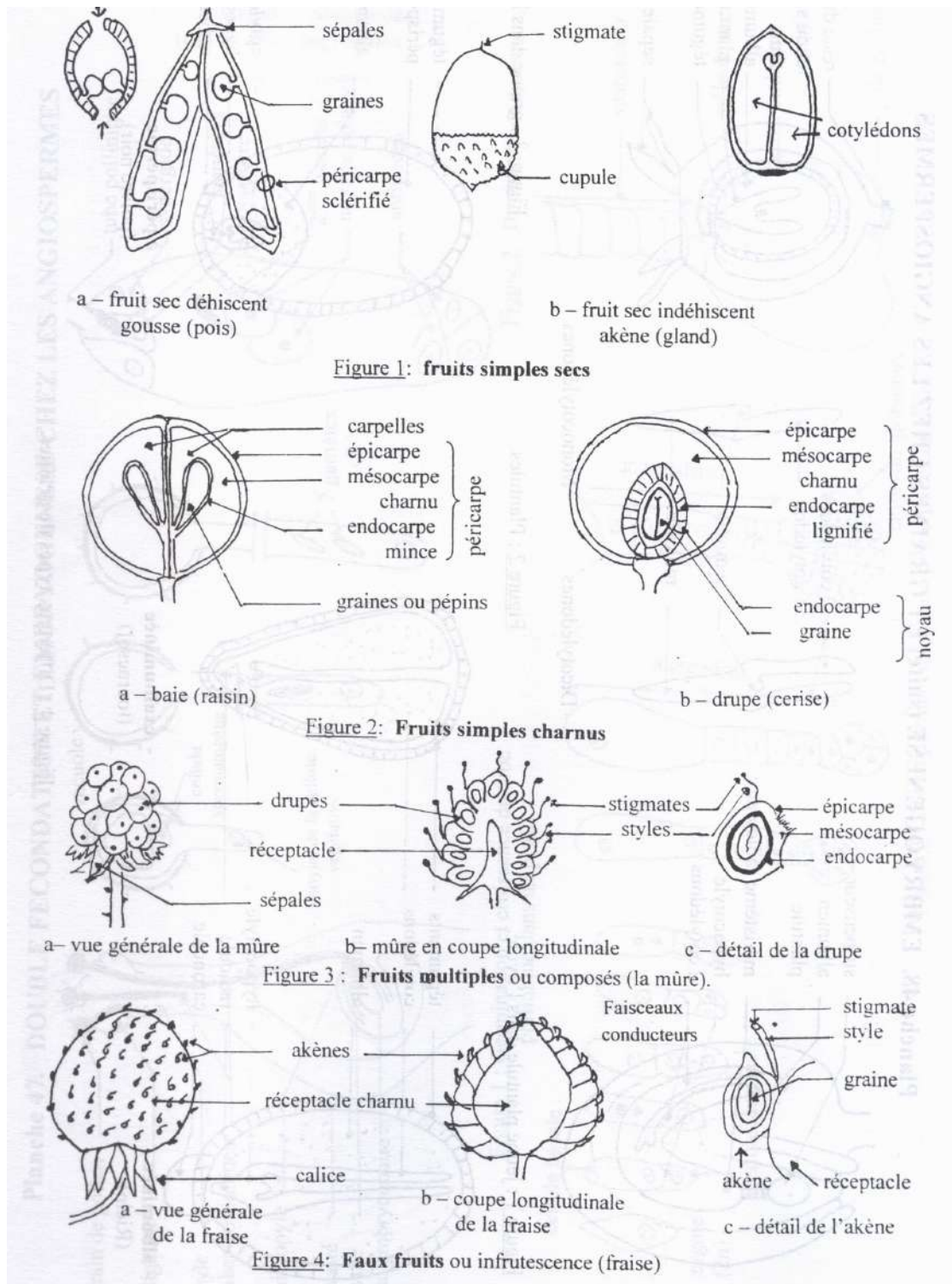
Ils se forment à partir d'un ovaire unique de la fleur. Il peut être uniloculaire ou pluriloculaire soudé à une seule loge. Il existe deux sortes de fruits simples :

a) Fruits simples secs (Planche 35 – Fig. 1) : Le péricarpe est détaché et se sclérifie. On distingue deux types de fruits secs :

- **Fruits secs déhiscents** : Ils s'ouvrent à maturité et libèrent les graines :

- **Gousse** : Fruit souvent allongé, provenant d'un ovaire uniloculaire. Ce fruit s'ouvre par deux fentes de déhiscence longitudinales, le long de la nervure médiane et du bord placentaire. **Exemple** : Pois (**Planche 35 – Fig. 1a**), haricot, fèves.

Planche 35 : Quelques exemples de fruits chez les Angiospermes



- **Silique** : Fruit issu d'un ovaire à deux carpelles soudés et séparés par une fausse cloison sur laquelle sont fixés les graines. **Exemple** : Chou, giroflée.
 - **Capsule** : Issu d'un ovaire à plusieurs carpelles soudés. Ce fruit s'ouvre par plusieurs fentes ou par des pores. **Exemple** : Pavot.
 - **Follicule** : Formé d'un carpelle unique.
- **Fruits secs indéhiscents** : Ils ne s'ouvrent pas à maturité. Ils tombent sur le sol, le péricarpe se décompose et la graine est libérée :
- **Akène** : Fruit contenant une seule graine séparée du péricarpe. **Exemple** : Gland (**Planche 35 – Fig. 1b**), noisette.
 - **Caryopse** : Le tégument de la graine est soudé au péricarpe du fruit. **Exemple** : Blé, maïs.
- b) Fruits simples charnus (Planche 35 – Fig. 2)** : Le péricarpe devient charnu en se chargeant d'eau et de substances de réserves. On distingue également deux types de fruits charnus :
- **Baie ou fruit à pépins (graines)** : Le péricarpe est entièrement charnu :
- **Baie monosperme** : Fruit contenant une seule graine. **Exemple** : Datte, le péricarpe est charnu et comestible ; la graine appelée improprement noyau est constituée par l'albumen dont les parois cellulaires sont très épaisses par développement de cellulose qui réduit la lumière des cellules (noyau ou graine dure).
 - **Baie polysperme** : Fruit contenant plusieurs graines. **Exemple** : Raisin (**Planche 35 – Fig. 2a**), tomate, orange.
- **Drupe ou fruit à noyau** : L'épicarpe et le mésocarpe sont charnus, l'endocarpe est constitué de fibres sclérifiées formant autour de la graine une enveloppe dure (endocarpe sclérifié). **Exemple** : Cerise (**Planche 35 – Fig. 2b**).

6-2-2- Fruits multiples (Planche 35 – Fig. 3) :

Ils se forment à partir de fleurs dont le gynécée est constitué de plusieurs carpelles libres. Chaque carpelle donne un fruit, et donc une fleur donne plusieurs fruits, on parle de fruits multiples. **Exemple** : Mûre.

6-2-3- Faux fruits ou infrutescence (Planche 35 – Fig. 4) :

Fruits complexes qui dérivent du gynécée d'une fleur auquel s'associent d'autres parties de la fleur (réceptacle, calice, corolle). **Exemple** : Fraise, la partie charnue du fruit provient du réceptacle de la fleur, sur lequel se trouvent les vrais fruits ou akènes.