

1. Feuille

1.1. Introduction

La feuille est un organe généralement aérien, porté latéralement par les tiges sur lesquelles elle s'insère au niveau des nœuds, **Elle se met en place grâce au fonctionnement du méristème caulinaire situé à l'apex d'un bourgeon.** La feuille comporte **une face supérieure ou ventrale** tandis que l'autre face, est appelée **face inférieure ou dorsale**. Sa forme aplatie lui permet de capter un maximum de lumière ce qui permet **la photosynthèse dans les chloroplastes** des cellules de parenchyme.

Aussi, la feuille est considérée comme un véritable laboratoire où se réalise **la transformation de la sève brute en sève élaborée** grâce aux échanges gazeux entre la feuille et le milieu ambiant (Figure 1).

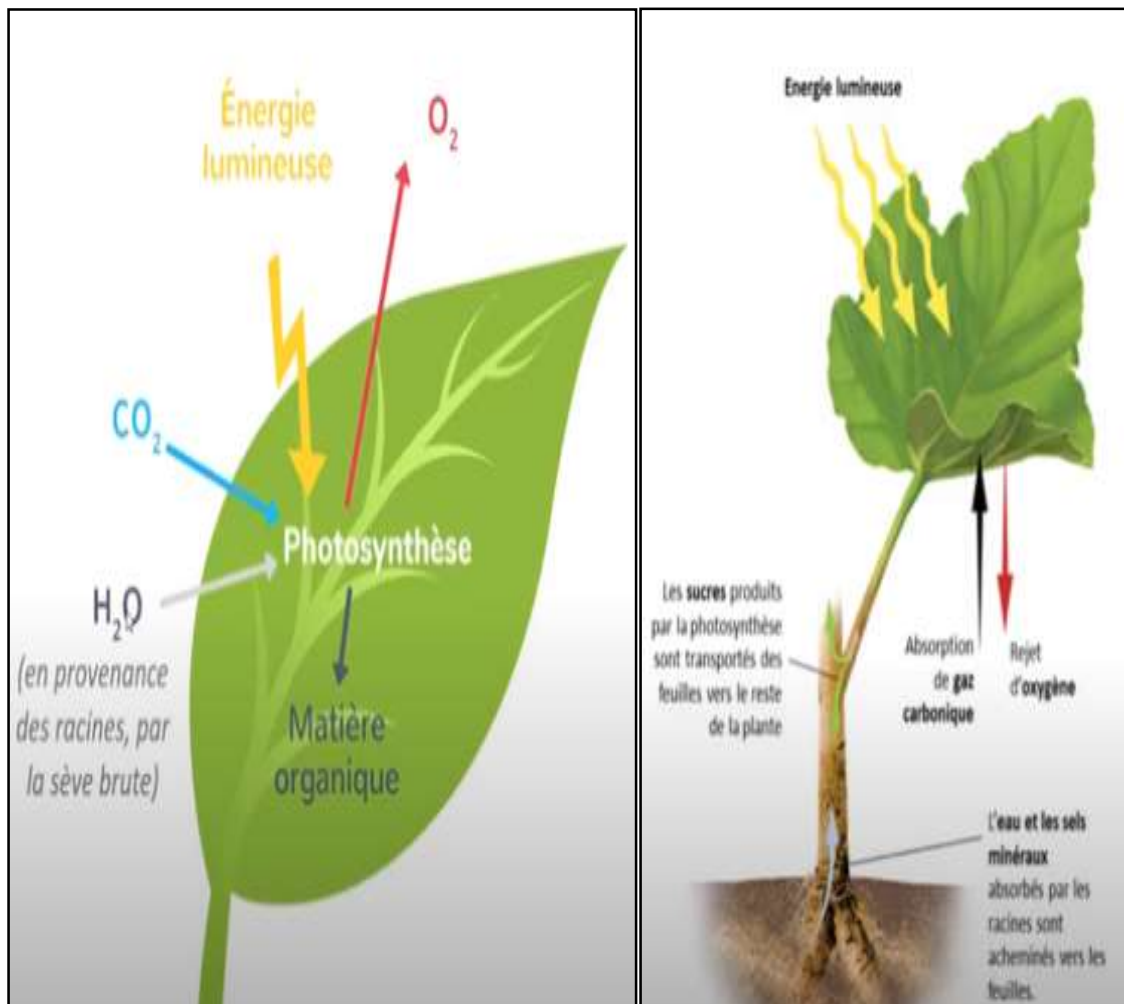


Figure 1 : Photosynthèse et transformation de la sève brute en sève élaborée au niveau de la feuille

1.2. Morphologie de la feuille

La feuille est une expansion latérale de la tige, au niveau de laquelle, on distingue les parties suivantes (Figures 2-3-4-5) :

- **Le Limbe** : Partie plate ayant souvent une plus grande surface, assurant les fonctions vitales de la plante. Elle est de couleur verte sur laquelle sont réparties des stomates. Le limbe est maintenu par des nervures, le pourtour s'appelle la marge.
- **Le pétiole** : Axe porteur cylindrique plus ou moins aplatie entre le limbe et la tige, il peut s'élargir à sa base pour former une gaine. Le pétiole peut être absent chez certaines espèces, on considère que la feuille est sessile.
- **La gaine** : Lorsque le pétiole s'élargit, il forme la gaine qui est une partie plus ou moins renflée et joint le reste de la feuille à la tige au niveau du nœud.
- **Le stipule** : C'est la **base du pétiole**. Lame verte de nature foliacée ou membraneuse, disposée en nombre pair au niveau d'insertion du pétiole sur la tige ou au niveau du nœud (deux petits appendices appelés stipules). Les stipules sont particulièrement développés chez les rosacées et les légumineuses.

Les nervures : Sont d'une section souvent cylindrique, elles sillonnent le limbe.

La foliole : Parfois appelé penne ou pinnule, est une pièce foliaire constituant une des parties du limbe d'une feuille composée. La foliole a la même structure interne que le limbe.

- ✓ Une feuille complète comporte trois parties : **Le limbe, le pétiole, la gaine**

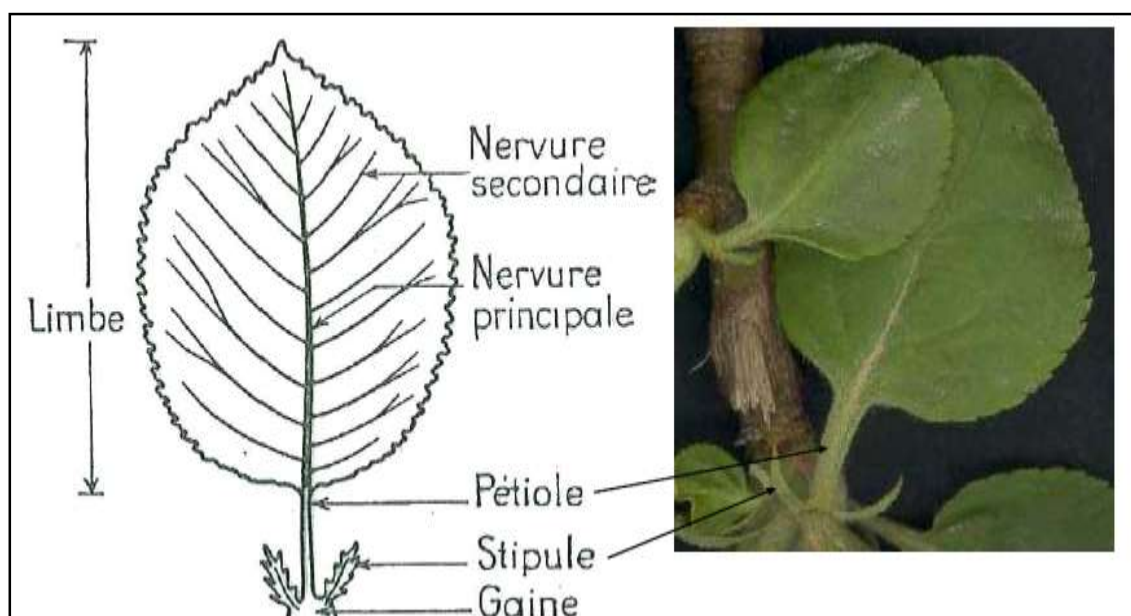


Figure 2 : Feuille jeune de prunier (Rosacées)

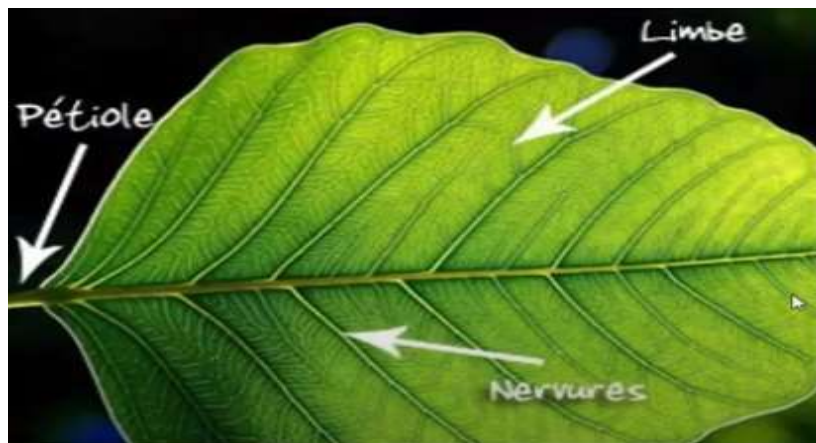


Figure 3 : Nervures au niveau de la feuille

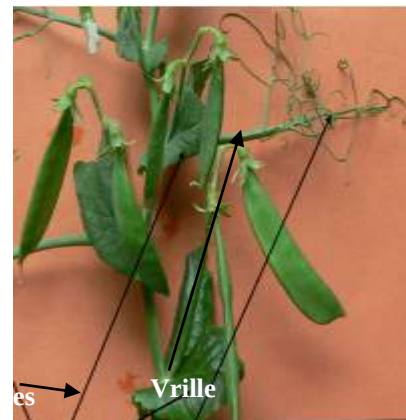
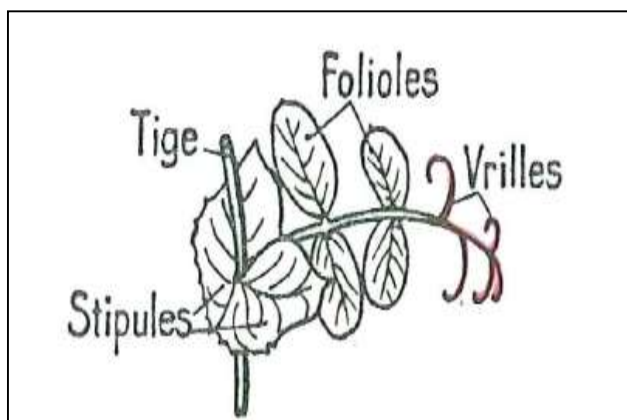


Figure 4 : Stipules foliacés persistants des Fabacées (pois)

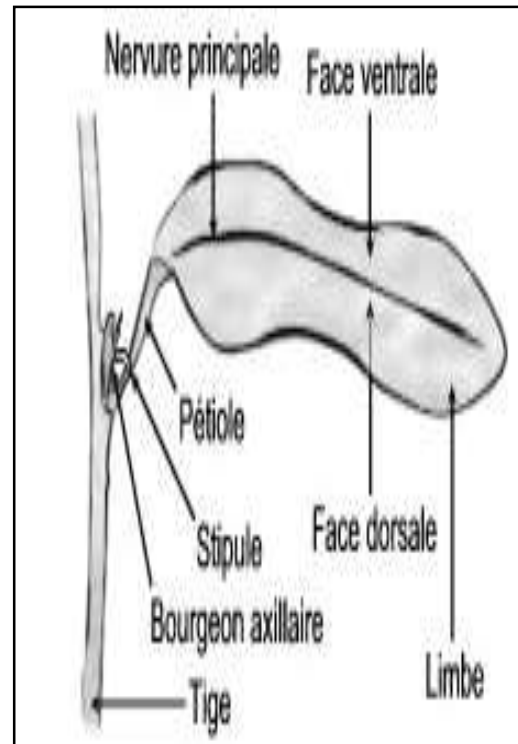
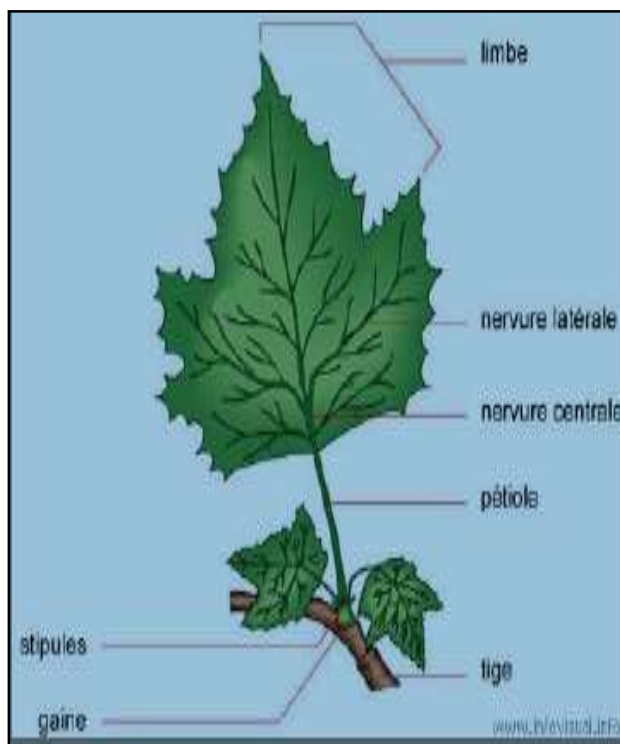


Figure 5 : Morphologie de la feuille

1.3. Classification des feuilles selon les formes

Il existe plusieurs formes des feuilles sur lesquelles on peut décrire plusieurs caractères, on distingue les classifications suivantes :

- **Suivant leur durée de vie**

- Les plantes à **feuille caduques**, feuilles qui tombent à l'automne
- Les plantes à **feuilles persistantes** subsistent plusieurs années
- Les plantes à **feuilles marcescentes**, elles changent de couleur en automne, mais ne tombent généralement qu'à la repousse.

- **Suivant le limbe**

- Une **feuille simple** possède **un seul limbe** continu à l'extrémité d'un pétiole non ramifié.
- Une **feuille pétiolée** lorsque le limbe est fréquemment attaché à la tige par un pétiole
- Une **feuille sessile** lorsque le limbe foliaire est directement attaché à la tige.
- Une **feuille composée** lorsqu'un pétiole se ramifie, portant à l'extrémité de chacune de ses ramifications un limbe (ou foliole) (Figure 6-7).

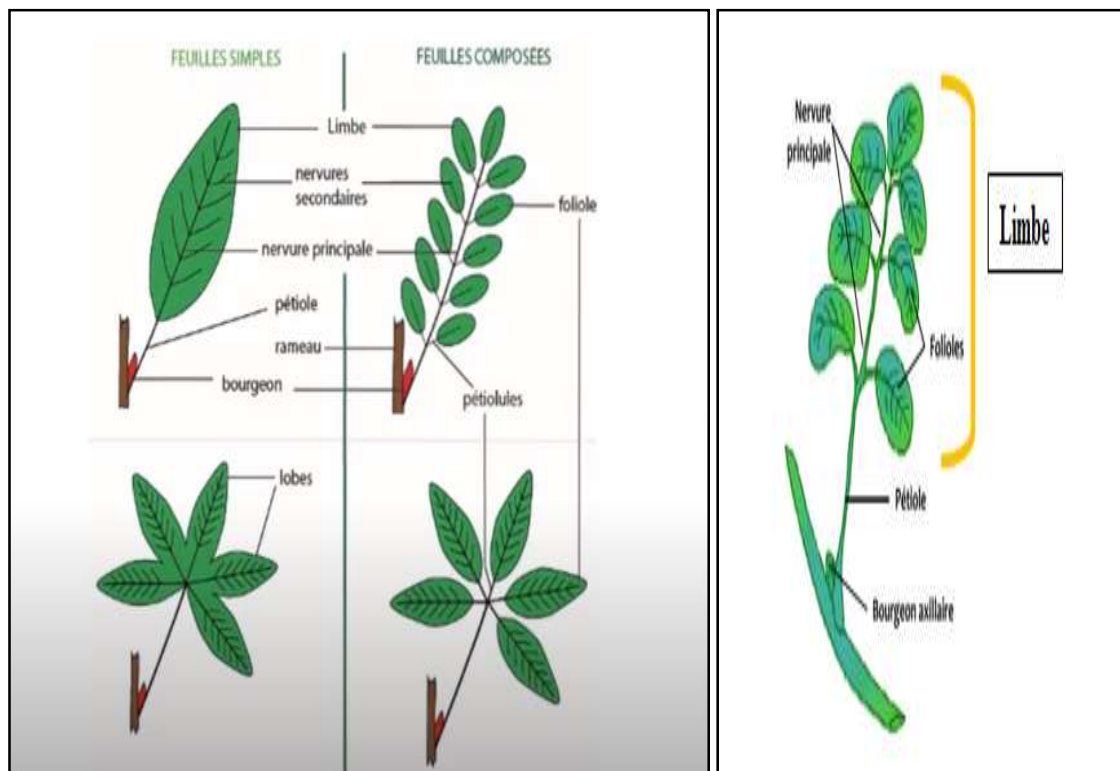


Figure 6 : Feuille simple et composée

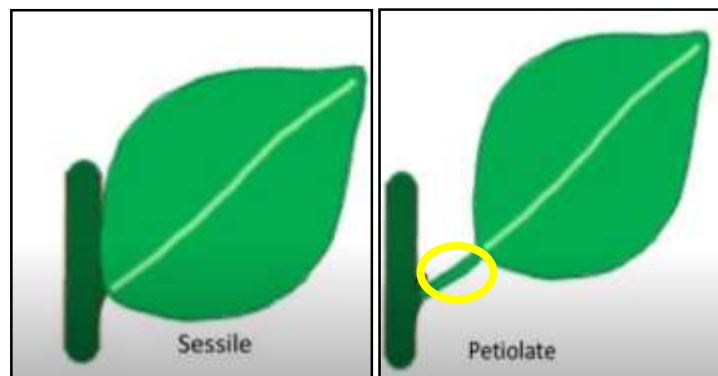
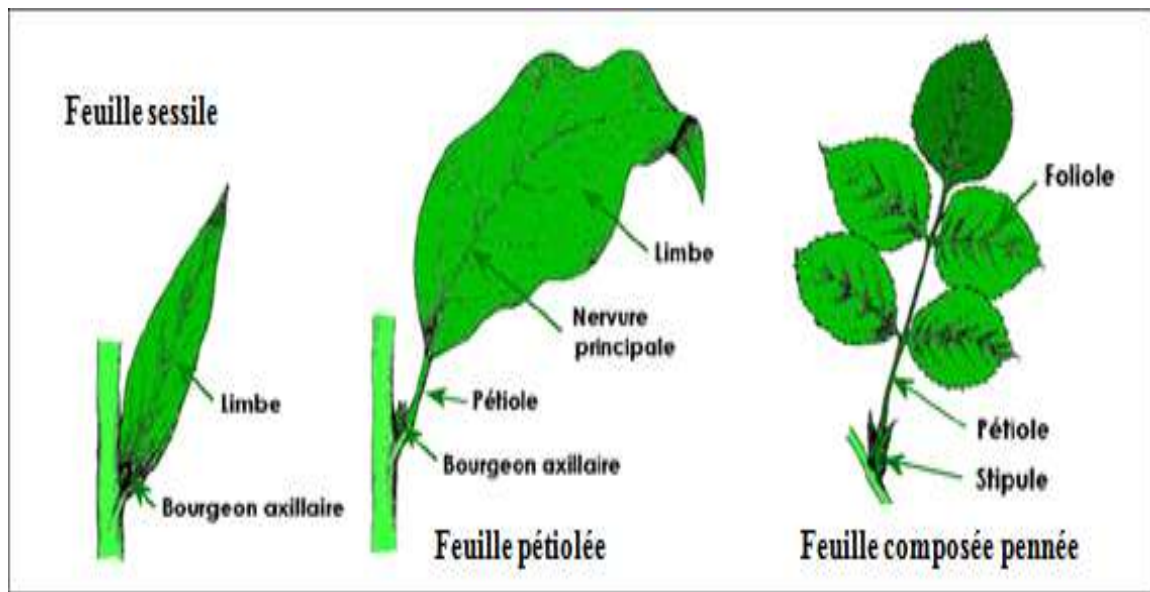


Figure 7 : Feuille sessile, pétiolée et feuille composée pennée

A/ Feuilles simples

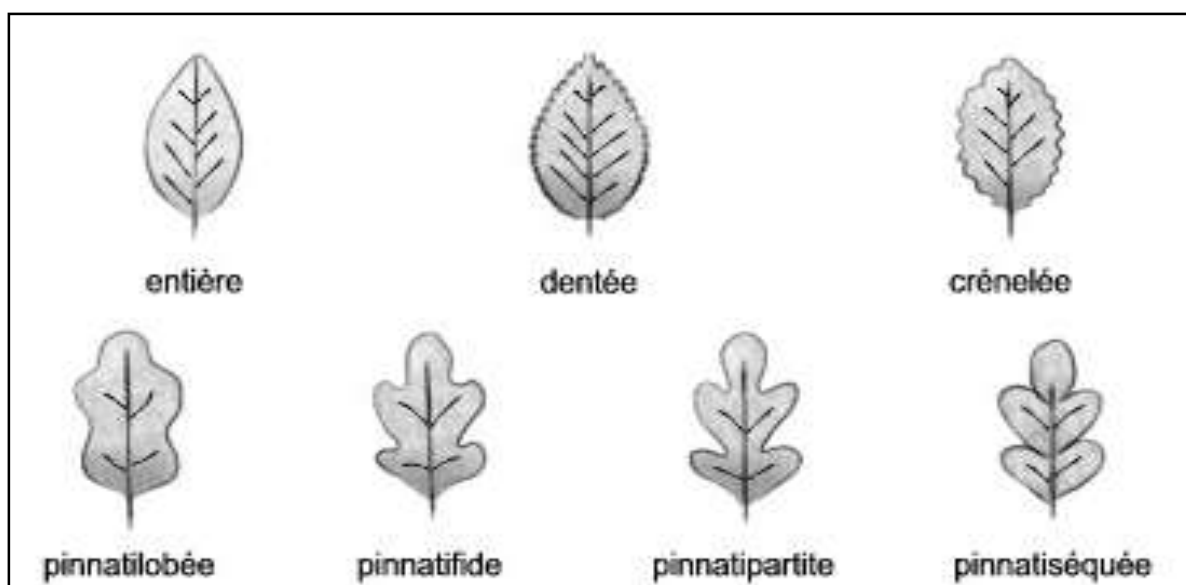


Figure 8 : Feuille simples penninerves

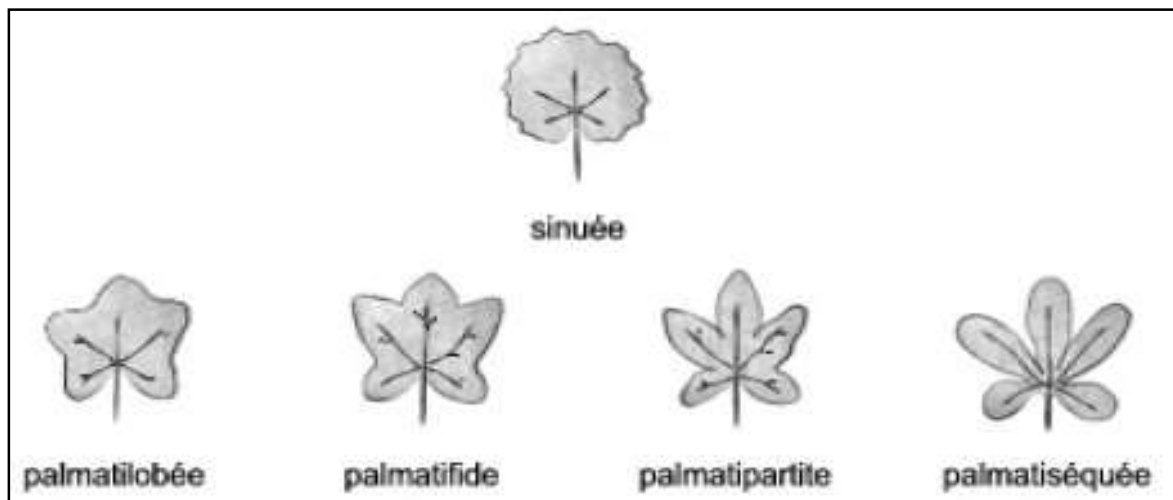
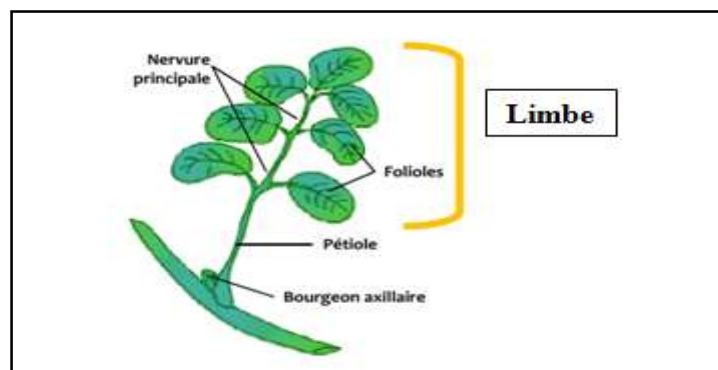


Figure 9 : Feuilles simples palmatinerves

B/ Feuilles composées



Feuilles composée

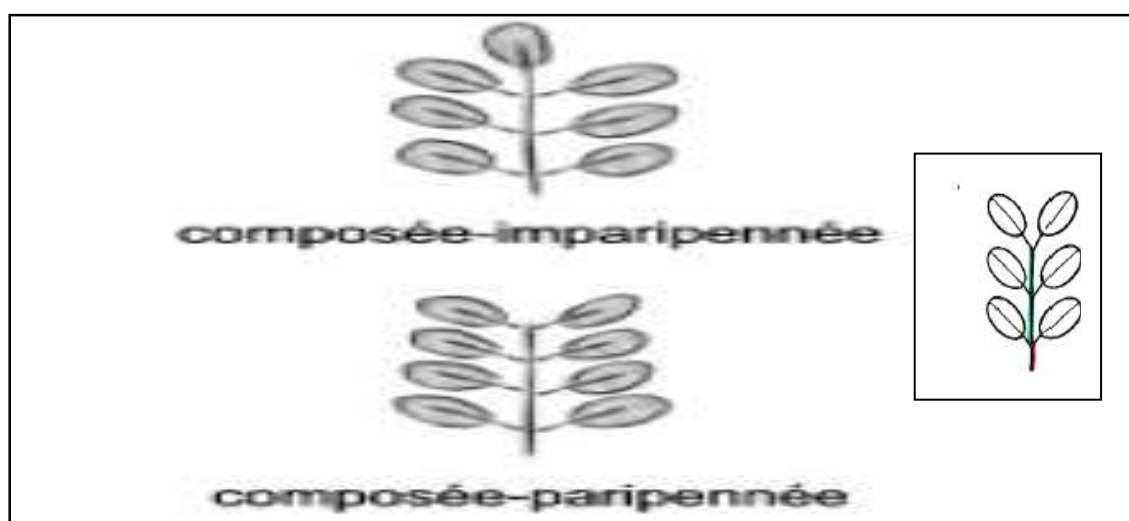


Figure 10 : Feuilles composées penninerves

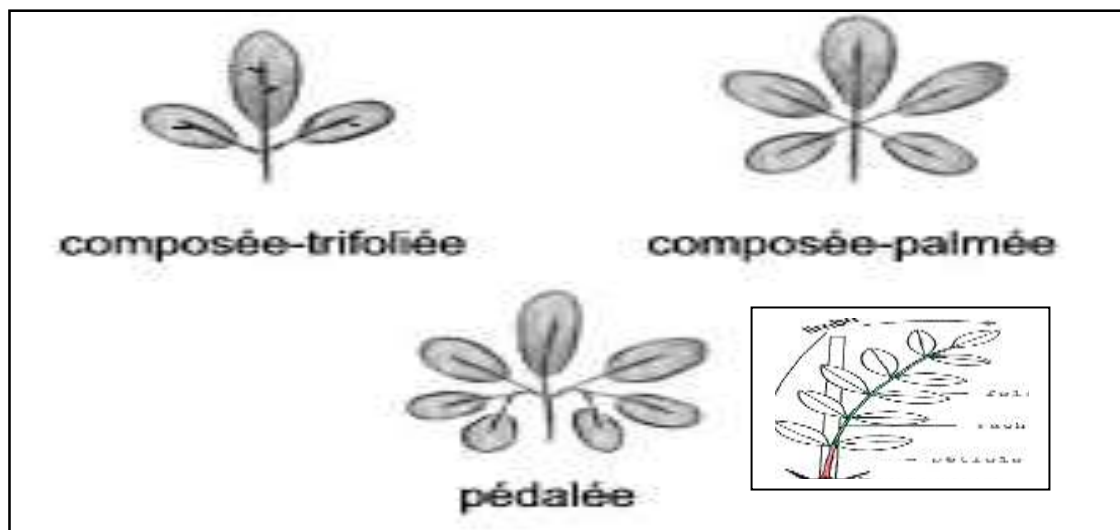


Figure 11 : Feuilles comopsées palmatinerves

	FEUILLES SIMPLES	FEUILLES COMPOSEES
FEUILLES PENNINERVES	 entière  dentée  crênelée  pinnatilobée  pinnatifide  pinnatipartite  pinnatiséquée	 composée-imparipennée  composée-paripennée
FEUILLES PALMATINERVES	 sinuée  palmatilobée  palmatifide  palmatipartite  palmatiséquée	 composée-trifoliée  composée-palmée  pédalée

Figure 12: Formes des feuilles simples et composées

▪ Selon la forme du limbe

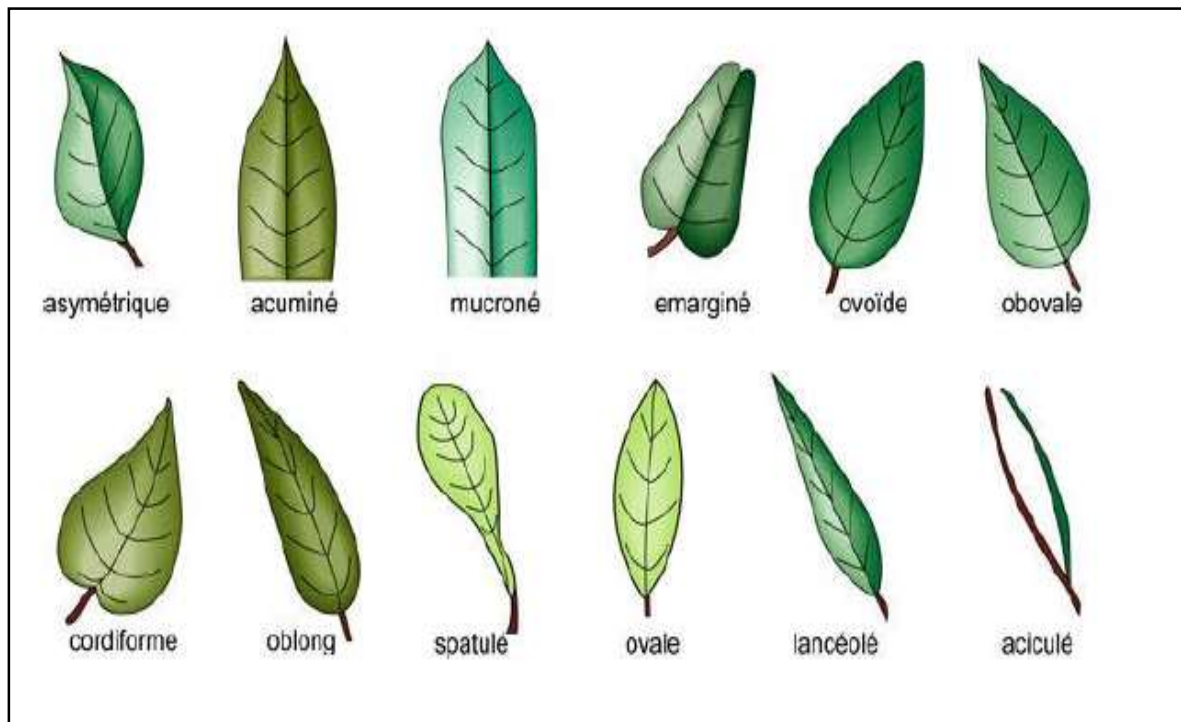


Figure 13: Différentes formes du limbe

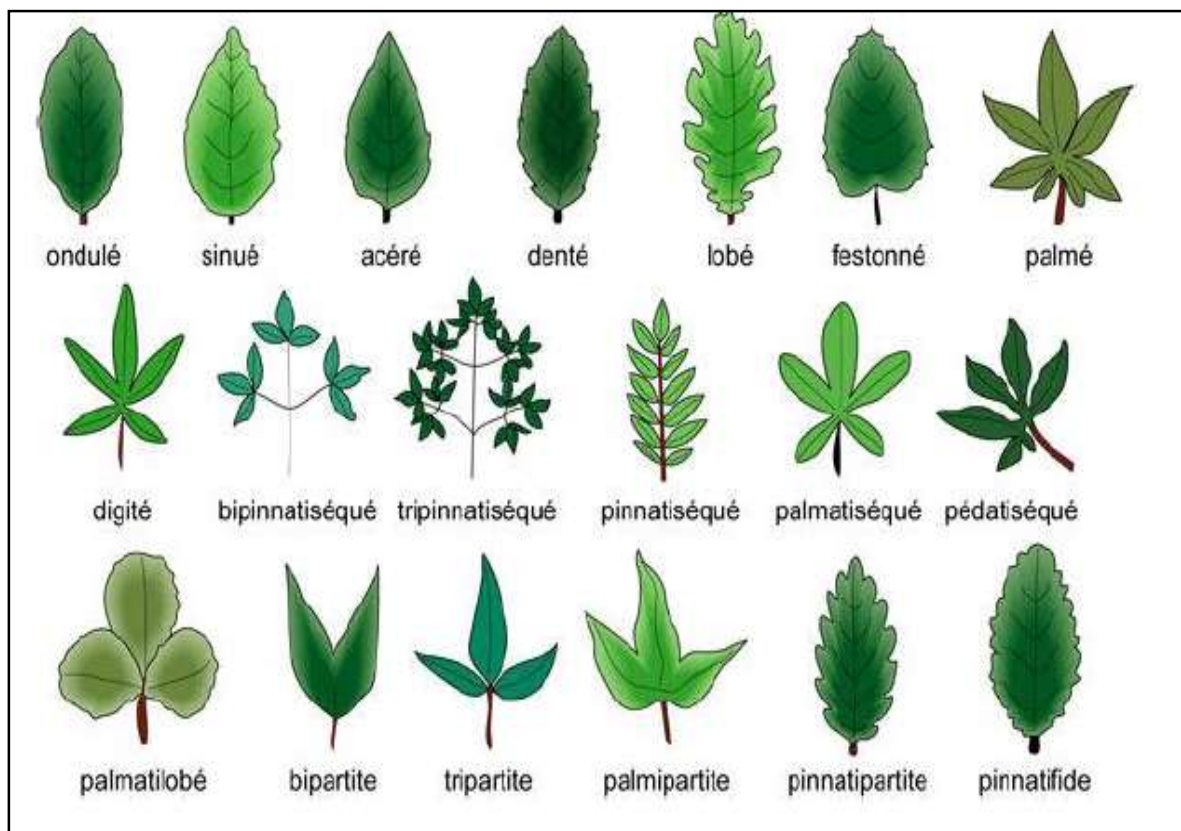


Figure 14: Différentes formes des marges du limbe

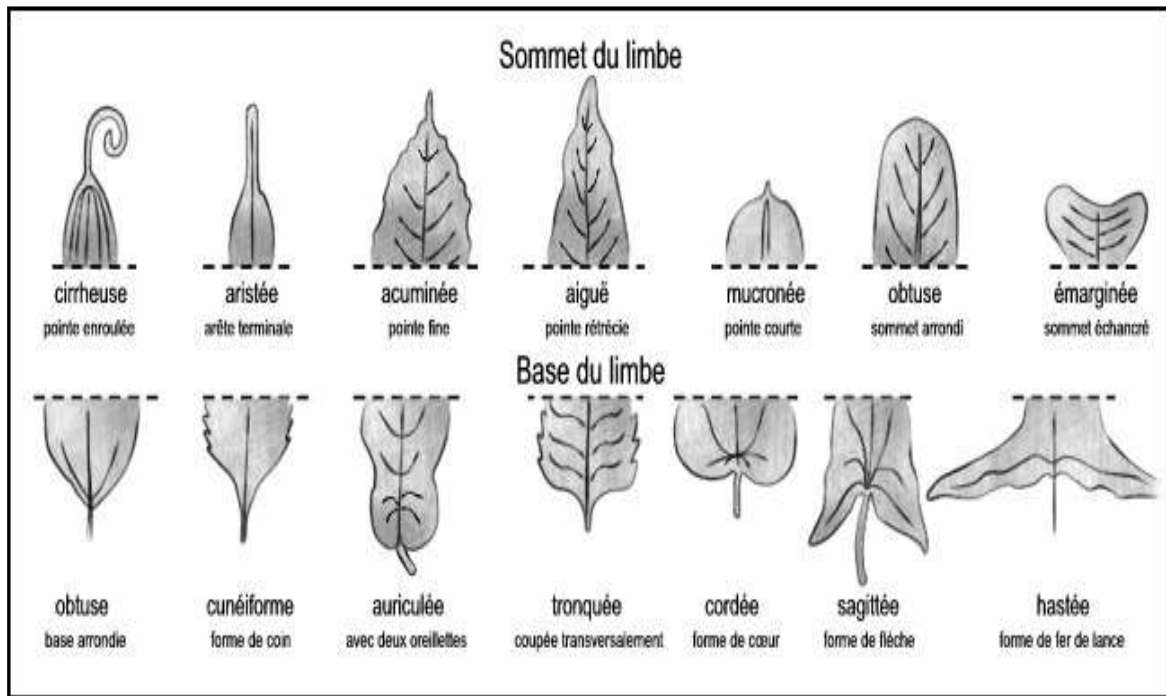


Figure 15: Classification des feuilles selon la forme du sommet et la base du limbe

▪ Suivant la présence ou l'absence du pétiole

C'est la structure qui relie le limbe à la tige parcouru par les vaisseaux conducteurs de sève. Chez certaines plantes, le pétiole est absent : **feuilles sessiles**. Selon l'insertion de la feuille sur la tige on distingue :

Feuilles sessiles:

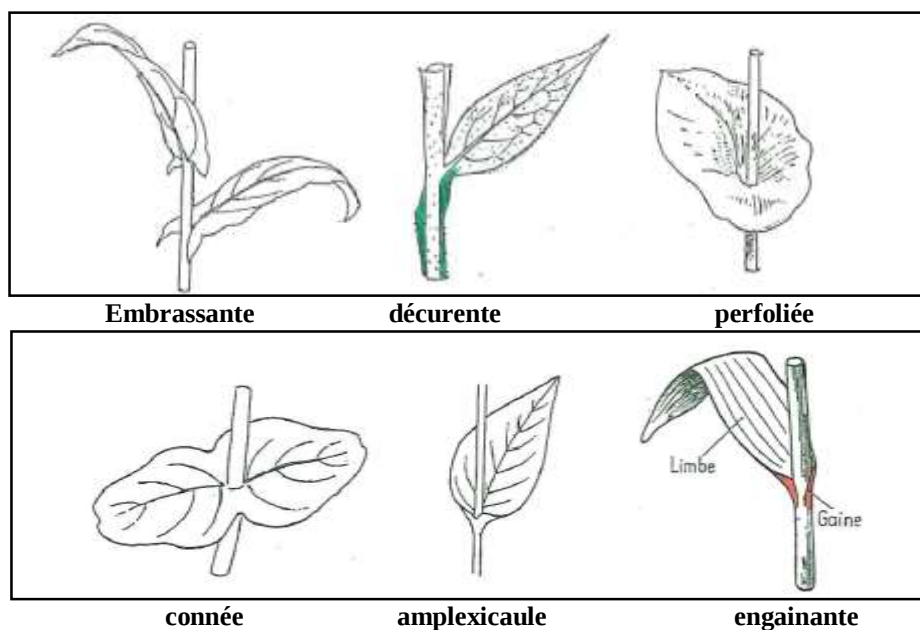


Figure 16 : Différentes formes des feuilles sessiles

▪ Selon la forme des nervures

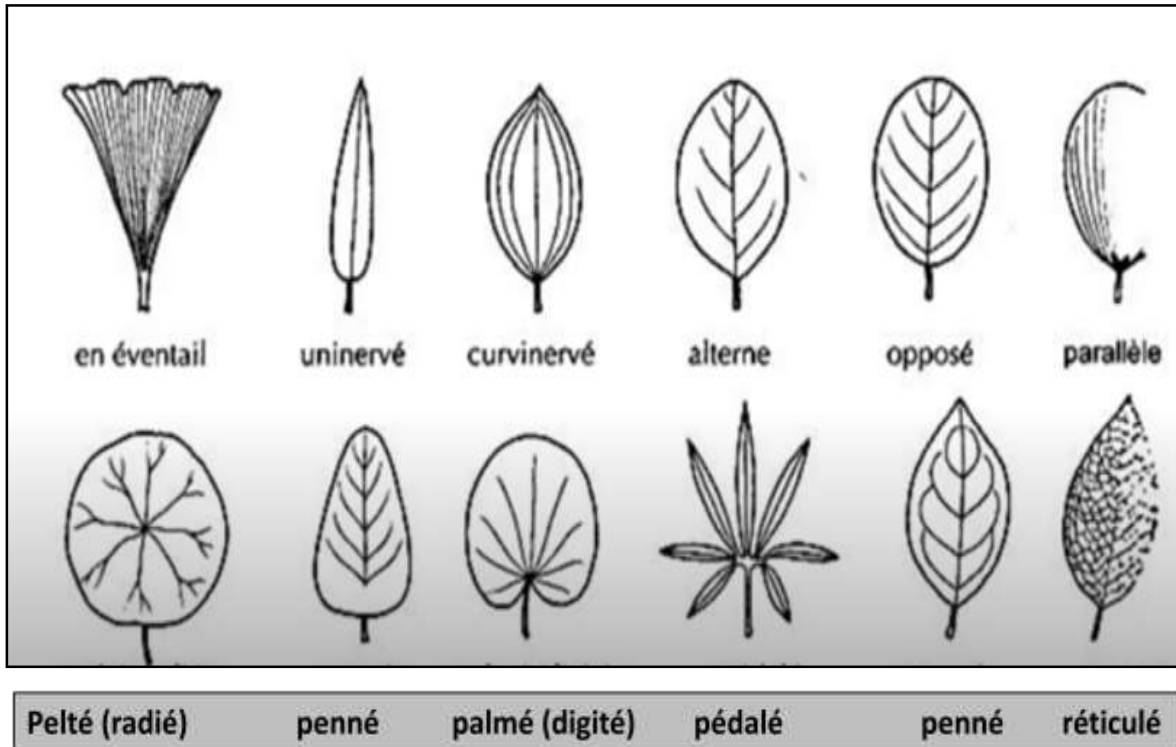


Figure 17 : Formes des nervures

▪ **Phyllotaxie**

Le mot « phyllotaxie » vient du grec « phylle » qui signifie feuille et « taxon » qui se traduit par disposition ou ordre. La « phyllotaxie » est l'étude de la disposition des feuilles autour des branches, c'est-à-dire l'ordre dans lequel sont implantés les feuilles ou les rameaux sur la tige d'une plante, ou, par extension, la disposition des éléments d'un fruit ou d'une fleur d'un bourgeon ou d'un capitule.

Ce terme est aussi utilisé pour qualifier la science étudiant ces dispositions. On distingue trois grands modes phyllotaxiques, en fonction des agencements observés (Figure 18) :

- **Opposé**, où deux feuilles se font face sur un même nœud, et disposées à 180 degrés. exemple : (Lilas, Érable)
- **Spiralé ou alterne**, défini par la présence d'une seule feuille par nœud, exemple : (Frêne)
- **Verticillé**, caractérisé par l'insertion de trois ou plusieurs feuilles sur un même nœud.

RQ : Une même plante peut présenter deux phyllotaxies. Par exemple, l'eucalyptus dont les feuilles jeunes sont opposées décussées, et les feuilles adultes alternes.

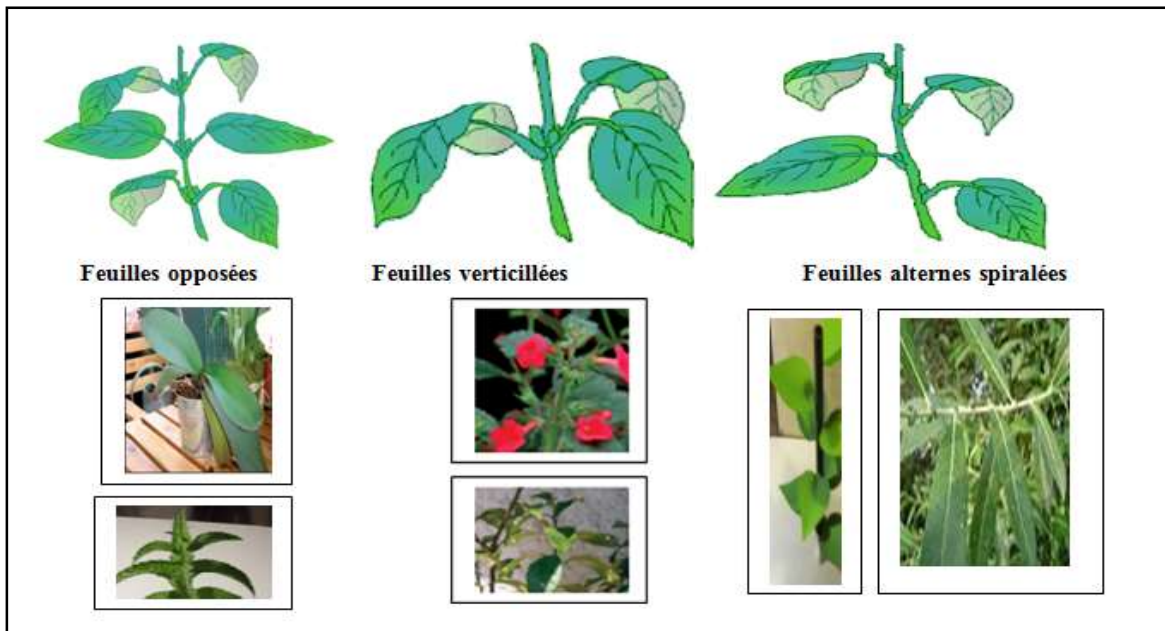


Figure 18: Trois types d'agencements des feuilles

1.4. Structure anatomique de la feuille

L'apparition d'un bombement sur **les flancs du méristème apical caulinaire** est le premier signe de la formation **d'un primordium**, qui se développe ensuite **en jeune feuille** avec pétiole et limbe aplati. Une bande de cellules prolifératrices, localisée de chaque côté du limbe, est à l'origine de la forme de la feuille.

La feuille est composée d'un épiderme (**supérieur et inférieur**), d'un tissu vert appelé **mésophylle** et de **nervures** comprenant **les faisceaux vasculaires** qui apportent l'eau et les sels minéraux nécessaires à la photosynthèse. Les stomates permettent l'entrée et la sortie des gaz. La structure de la feuille est mince mais plusieurs rangées de cellules la composent (Figure 19).

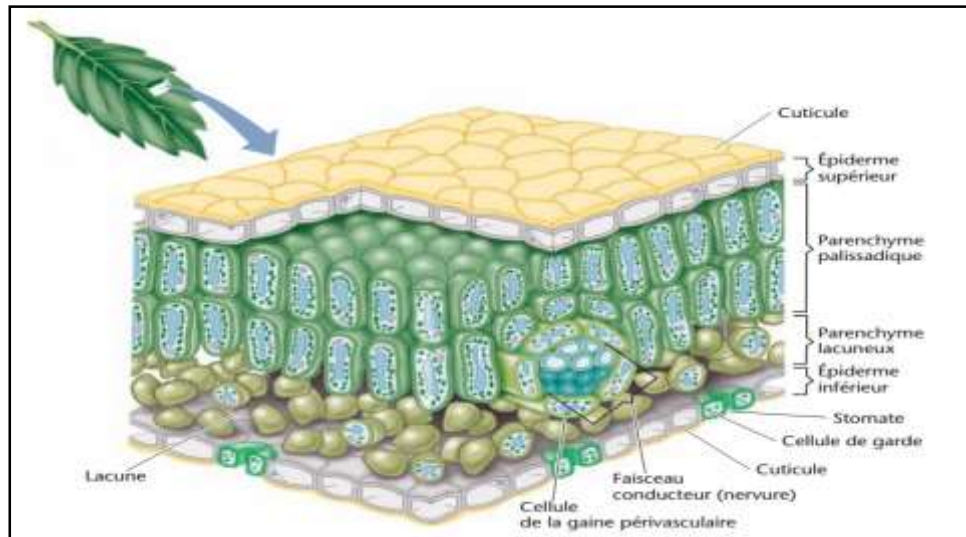


Figure 19 : Structure anatomique d'une feuille

1.4.1. Épiderme supérieur

L'épiderme supérieur recouvre la face ventrale (supérieure) du limbe, il est composé de cellules très jointives et recouvert de cuticule, substance cireuse (cire, cutine) imperméable à l'eau et à l'air. L'épiderme est parsemé de petits trous, les stomates (surtout au niveau de la face inférieure ($300/\text{mm}^2$)). Les stomates permettent les échanges gazeux qui s'opèrent par diffusion et l'élimination du surplus d'eau sous forme de vapeur d'eau (transpiration).

1.4.2. Mésophylle

Le mésophylle est le tissu fondamental de la feuille, formé **de parenchyme disposé en palissade et de parenchyme lacuneux**. Leurs cellules qui contiennent les chloroplastes déterminent l'épaisseur de la feuille.

1.4.2.1. Parenchyme chlorophyllien palissadique

Le parenchyme chlorophyllien palissadique est situé sous l'épiderme supérieur. Il est composé de cellules allongées et accolées les unes aux autres, sans méats. Les cellules situées du côté de la **face foliaire supérieure des feuilles** contiennent de **nombreux chloroplastes**, ce qui **permet la photosynthèse**. Le parenchyme palissadique est parcouru par les nervures.

1.4.2.2. Parenchyme chlorophyllien lacuneux

Le parenchyme chlorophyllien lacuneux se trouve sur la **face foliaire inférieure**. Il est composé par des cellules plus ou moins arrondies ou étoilées, caractérisées par un **nombre**

réduit de chloroplastes, entre lesquelles se trouve de grandes lacunes afin d'assurer les échanges gazeux par les stomates. (**Voir chapitre 2**)

1.4.3. Nervures (faisceaux cribrovasculaires)

Les nervures se subdivisent en terminaisons vasculaires. Les faisceaux cribro-vasculaires de la feuille, appelés nervures, sont en continuité avec ceux de la tige. Ces terminaisons dans le mésophylle, apportent l'eau et les sels qui constituent la sève brute; de plus ils absorbent et enlèvent les produits de la photosynthèse, sève élaborée.

Les tissus conducteurs sont organisés en nervures et sont composés d'un ou plusieurs faisceaux libéro-ligneux **superposés** de la même manière qu'au niveau de la tige (suite de la tige et du pétiole). **Le phloème est tourné vers le bas, et le xylème vers le haut** (figure 20).

Des formations secondaires sont rencontrées en générale au niveau de la nervure principale mais **elle reste peu développée**.

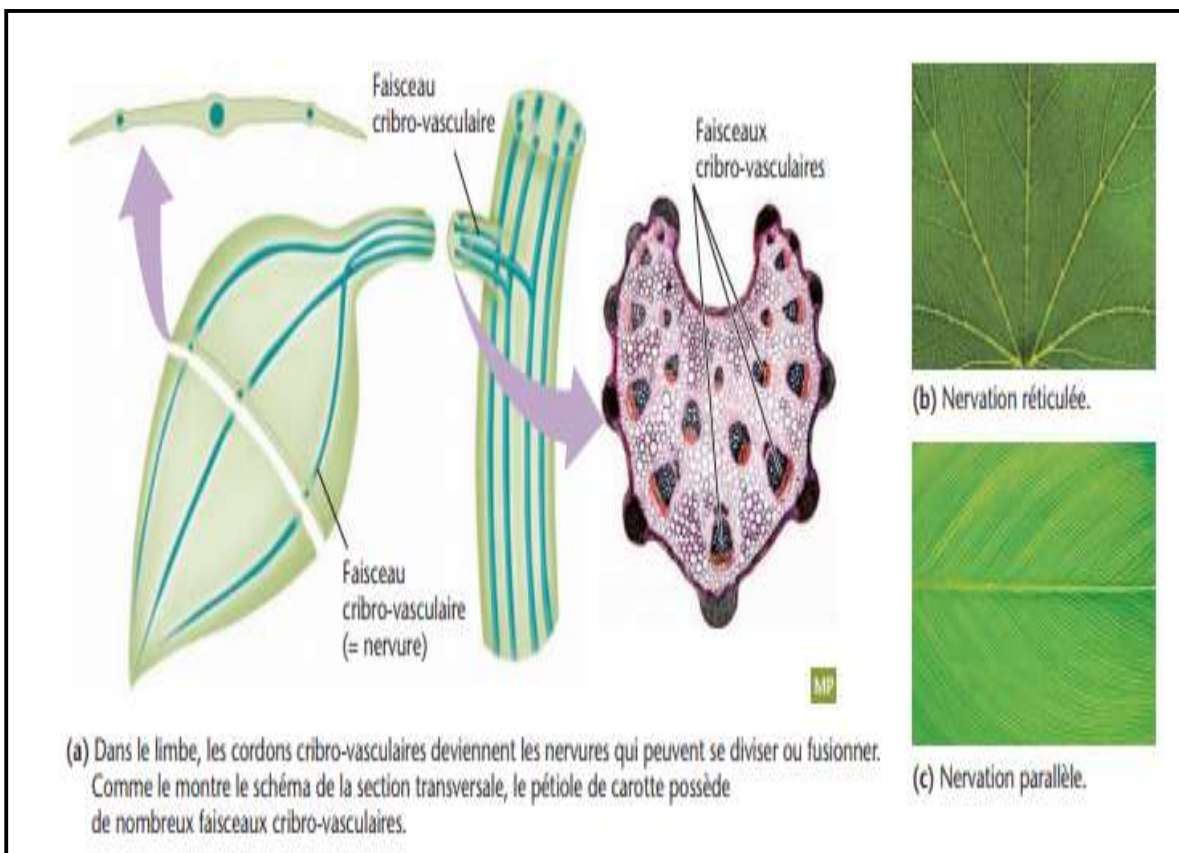


Figure 20: Faisceaux cribro-vasculaires et différents types de nervations.

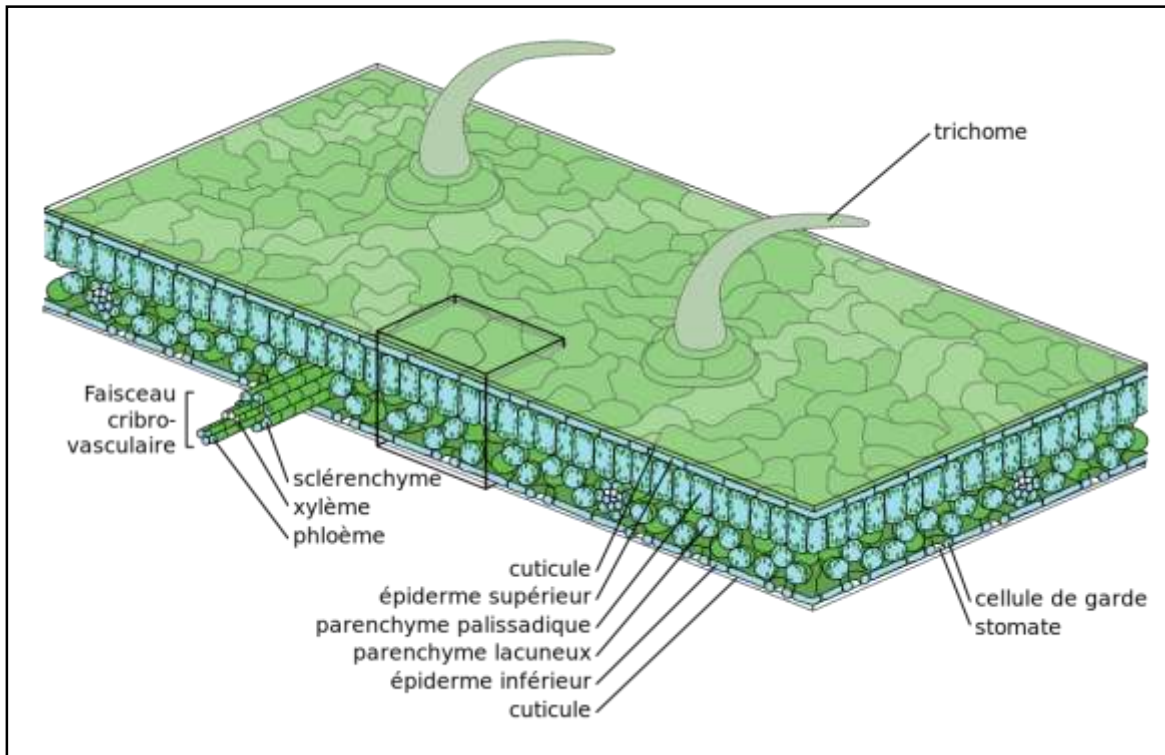


Figure 21 : Disposition du Faisceau criblo-vasculaire au niveau de la feuille

1.4.4. Epiderme inférieur

Il est recouvert aussi de cuticule, substance cireuse qui est imperméable à l'eau et à l'air, permettant les échanges gazeux et réduisant les pertes en eau et les risques d'entrée de champignons ou de bactéries dans les tissus de la feuille. Les échanges de CO_2 , d' O_2 et de vapeur d'eau avec l'extérieur se font *via* les stomates dont l'ouverture ou la fermeture de l'ostiole est régulée par les cellules stomatiques.

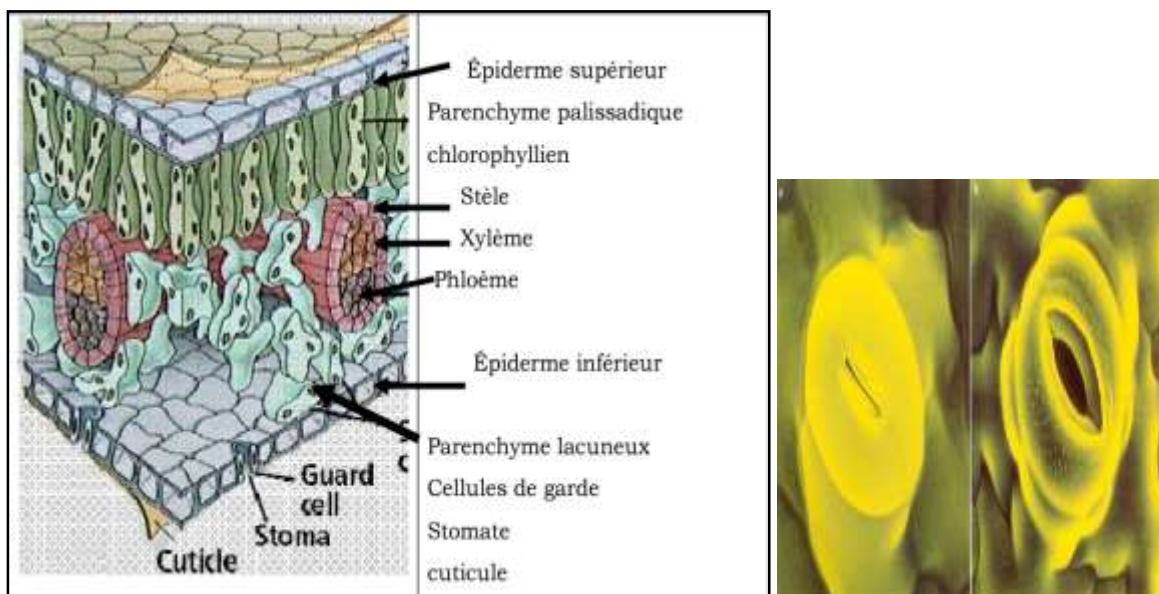


Figure 22 : Disposition des stomates au niveau de la feuille

1.5. Différences anatomiques entre les feuilles des plantes monocotylédones et les plantes dicotylédones

L'observation d'une feuille monocotylédone ou dicotylédone nous donne quelques différences morphologiques et anatomiques :

1.5.1. Feuille dicotylédone

Une feuille dicotylédone est constituée de l'extérieur vers l'intérieur de:

- **Épiderme supérieur et inférieur** sur la face dorsale pourvu d'une cuticule mince et riche en stomates et l'épiderme supérieur sur la face ventrale, bordé d'une épaisse cuticule **mais on constate un nombre réduit de stomates**, Chez les dicotylédones, les stomates sont répartis uniquement sur la face inférieure, la moins exposée au soleil (ce qui évite la déshydratation extrême ou dessiccation).

- **Mésophylle hétérogène**, c'est le parenchyme chlorophyllien bifacial asymétrique.

Parenchyme palissadique, se trouve sur la face ventrale, riches en chloroplastes, il est situé sous l'épiderme supérieur (figure 23).

Parenchyme lacuneux (spongieux), se trouvant sur la face dorsale, localisé entre l'épiderme inférieur et le parenchyme palissadique, **moins riche en chloroplastes**, il contrôle les échanges gazeux entre la feuille et l'atmosphère.

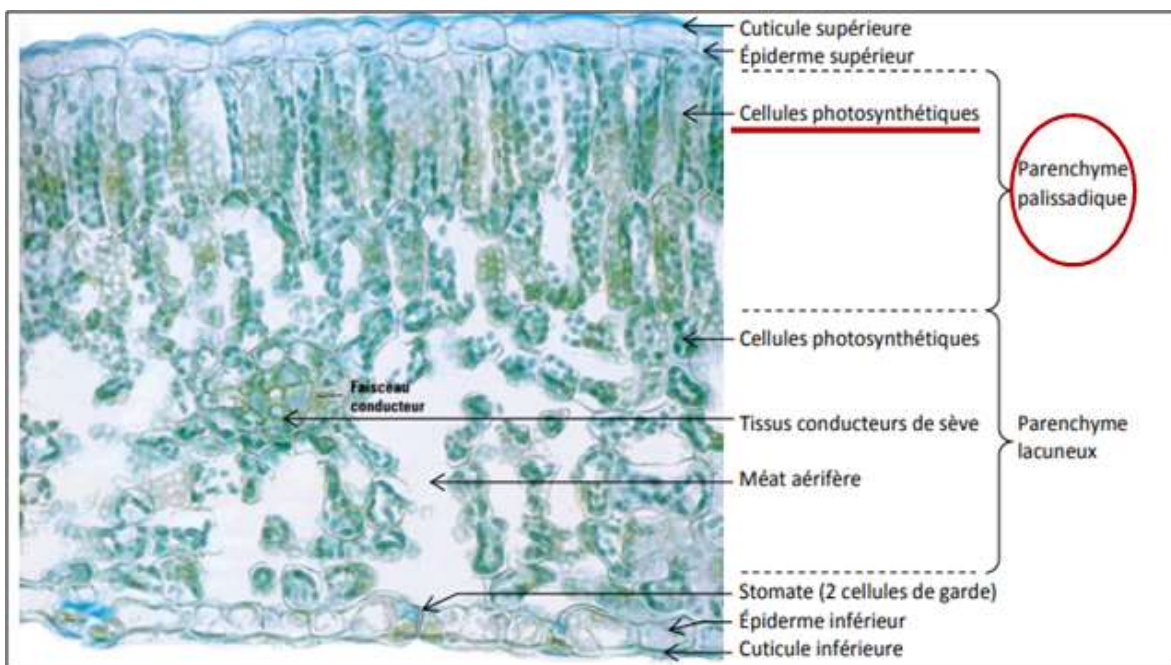


Figure 23 : Disposition des cellules photosynthétiques au niveau de la feuille

Au niveau du parenchyme palissadique, les cellules photosynthétiques localisées chez les dicotylédones contre la face supérieure de la feuille, sont dirigées vers les rayons lumineux ce qui permet d'optimiser le rendement de la photosynthèse.

- **Système vasculaire**, composé de **phloème I et de xylème I** (phloème II et de xylème II de part et d'autre et du cambium dans les formations secondaires). La nervure principale présente des tissus de soutien, **du collenchyme**, près de l'épiderme, et du **sclérenchyme** près des vaisseaux (figure 25).

- **Les feuilles dicotylédones** sont caractérisées **par une nervation ramifiée** (une grosse nervure centrale et des nervures secondaires qui partent obliquement), la nervure médiane est très saillante mais on peut constater aussi d'autres types de nervation :

Pennée (nervures secondaires de part et d'autre d'un axe formé par la nervure principale,

Palmée (toutes les nervures partent d'un même point proche du pétiole) ;

Pédalée ce type de nervation est beaucoup plus rare (ex. Hellébore) : (nervure secondaire qui prend sur la principale ou plutôt la précédente, puis une nouvelle nervure qui prend sur la précédente à nouveau, et ainsi de suite).

- **La forme du limbe** : entier, denté, lobé, très découpé, composé, tant pour les feuilles à nervation pennée que pour celle à nervation palmée.

- **Il peut y avoir une gaine (assez souvent)** ; parfois cette gaine peut être surmontée par des stipules.

- **Chez de nombreuses dicotylédones, les stomates sont localisés sur la face inférieure** la plus protégée de l'évaporation par transpiration.

RQ : Les feuilles âgées de Dicotylédone peuvent contenir des tissus secondaires surtout chez les plantes à feuilles persistantes (vivent de 3 à 4 ans). Les Dicotylédones annuelles n'ont généralement pas de tissus secondaires.

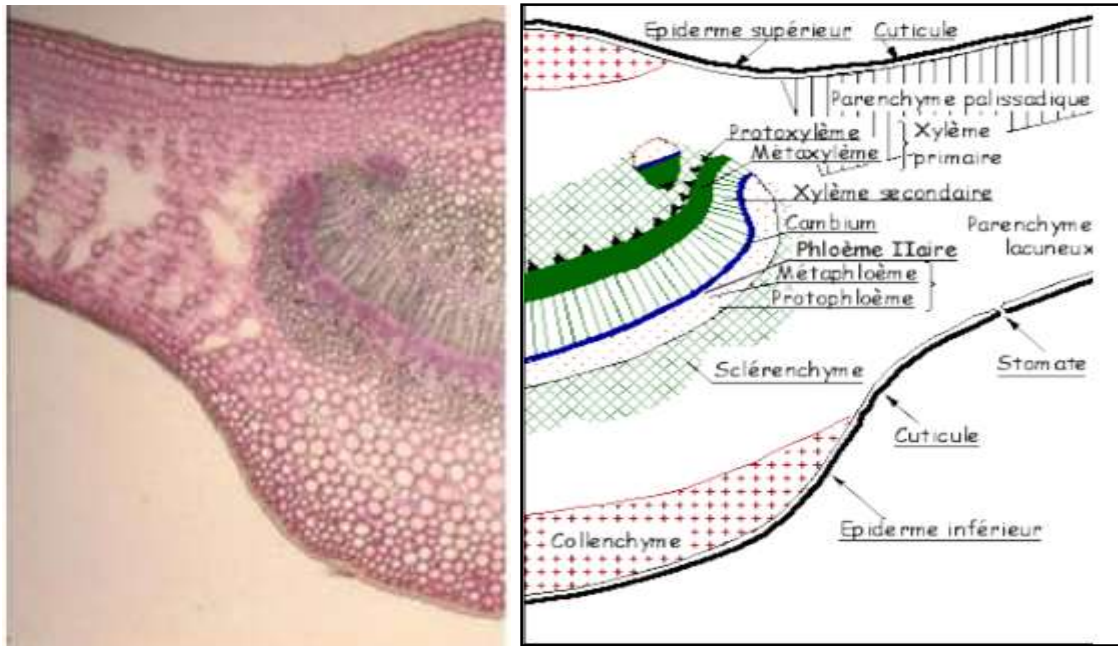


Figure 24 : Coupe transversale de limbes de feuilles diotylédones

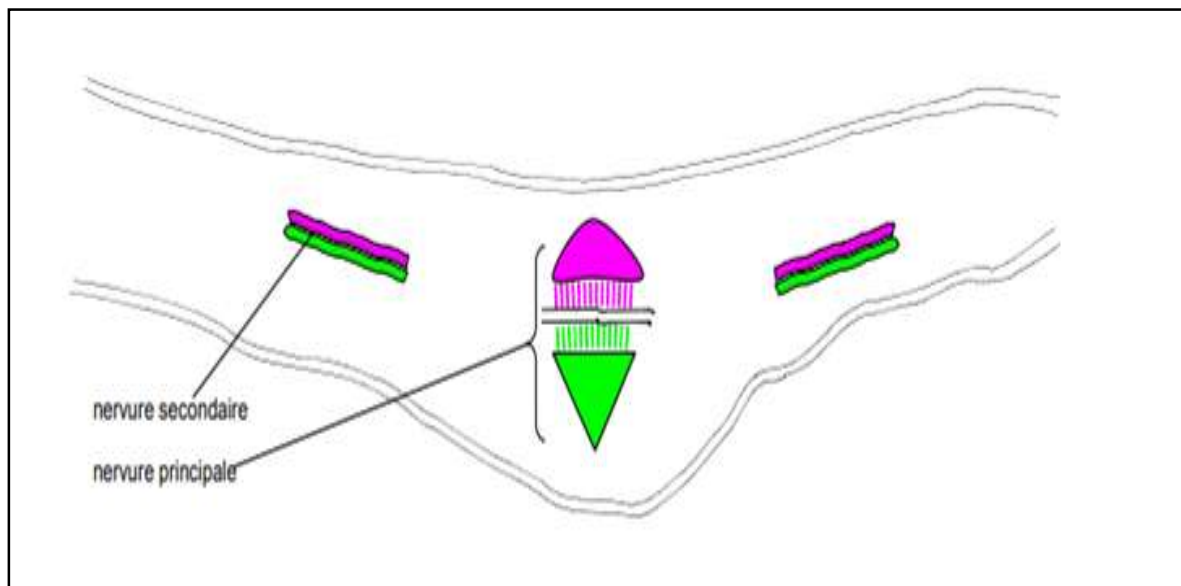


Figure 25 : Xylème et phloème superposés, tissus de soutien fréquents, nervation pennée (une grosse nervure centrale, et des nervures secondaires qui partent obliquement)

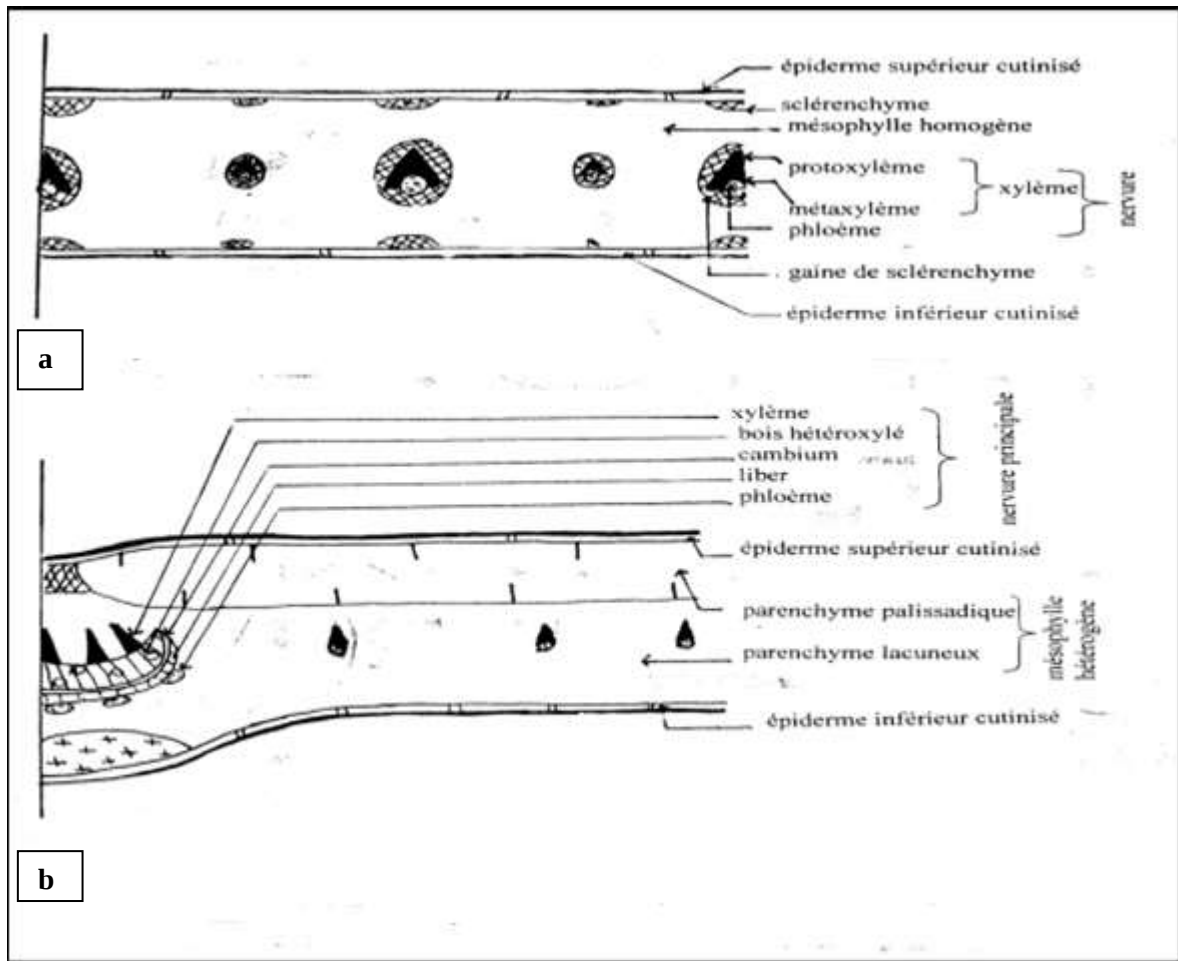


Figure 26 : Schéma général d'une coupe transversale de feuille d'Angiospermes monocotylédones (a) et dicotylédones (b)

1.5.2. Feuille monocotylédone

L'organisation d'une feuille de monocotylédone est similaire qu'une feuille dicotylédone sauf qu'elle ne possède pas de parenchyme palissadique et lacuneux distincts (**mésophylle homogène**). Chez les monocotylédones, les feuilles sont le plus souvent verticales et les stomates sont distribués équitablement sur les deux faces, ainsi de l'extérieur vers l'intérieur on constate:

- **Epiderme** à la surface de l'organe
- **Stomates** sont répartis de façon égale sur l'épiderme de la face ventrale et dorsale,
- **Mésophylle homogène**: constitué que de parenchyme à méats
- **Système vasculaire**, qui correspond aux nervures, composé de xylème primaire ventral et de phloème primaire dorsal,
- **Sclérenchyme** coiffant et protégeant les tissus conducteurs,
- **Parenchyme** à parois cellulosiques qui entoure la nervure.

- **Nervures sont parallèles** présentent les nervures médianes et les nervures marginales, elles sont parallèles, et reliées entre elles par des fines nervures transversales.

Les feuilles sont le plus souvent allongées, longilignes, rubanées.

La gaine a une morphologie qui peut être très particulière, par ex. chez les Poacées, elle entoure la tige dont elle prend la forme ; elle est fendue. A la limite entre la tige et le limbe, il y a la ligule (important car sert pour la détermination chez les Poacées).

- Chez l'oignon, la gaine entoure le bulbe et il y a une ligule longue plus haut.

- Chez l'iris : la gaine est fendue avec le limbe au-dessus.

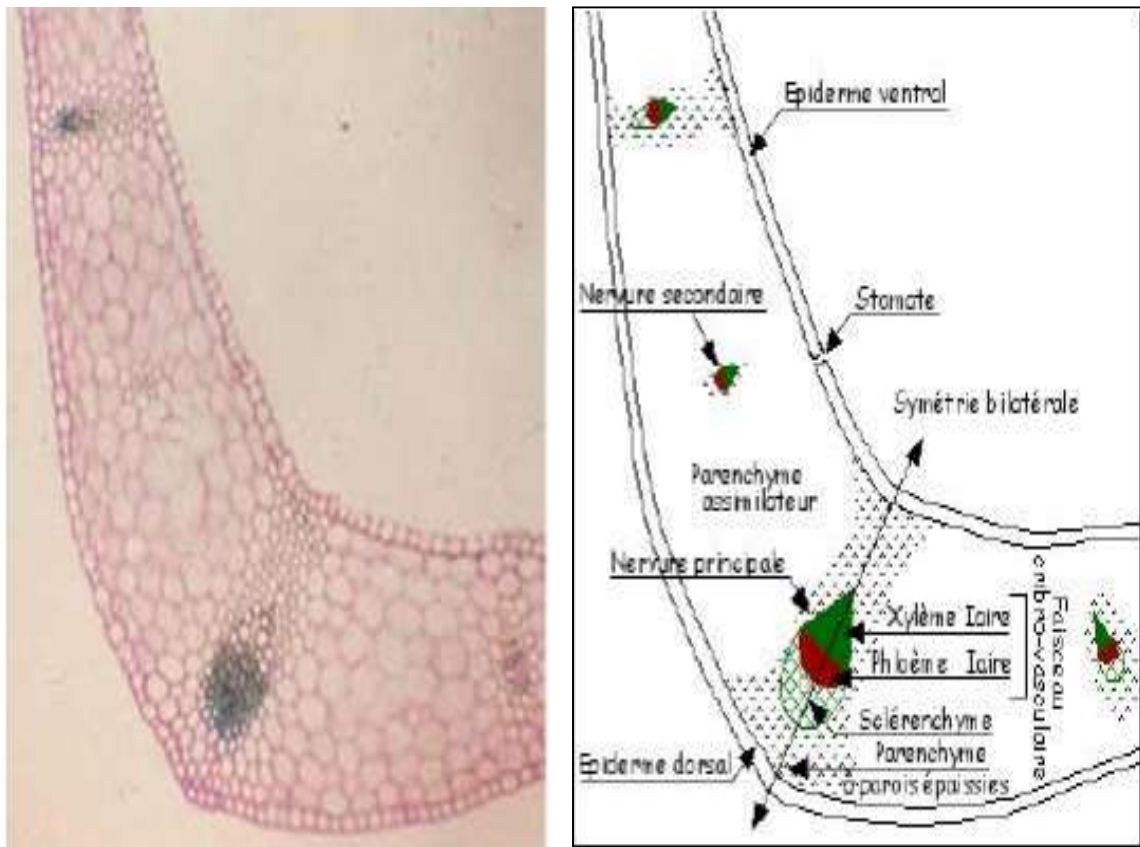


Figure 27 : Coupe transversale dans le limbe de Muguet



Figure 28 : Plante herbacée, nervures parallèles

RQ : Chez diverses Monocotylédones en particulier chez les Poacées (graminées) les stomates sont localisés sur la face supérieure, qui peut être protégée de la dessiccation par repli de la feuille grâce aux cellules bulliformes de l'épiderme supérieur

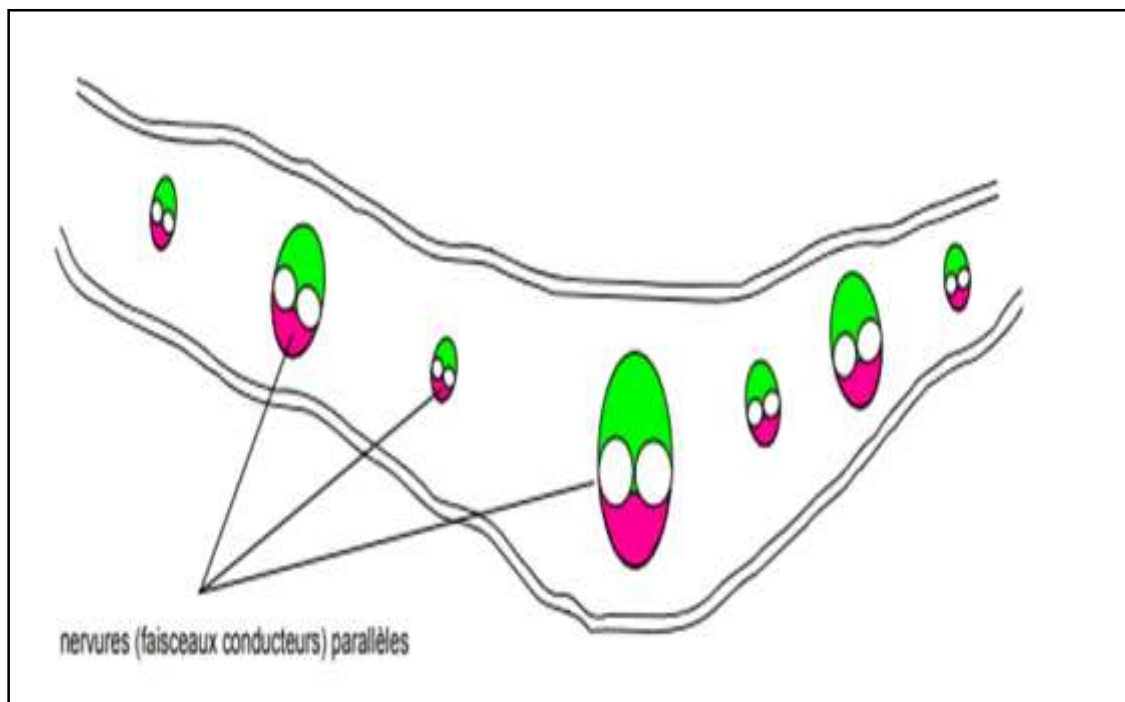


Figure 29 : Xylème et phloème superposés, tissus de soutien fréquents, nervures (=faisceaux conducteurs) parallèles

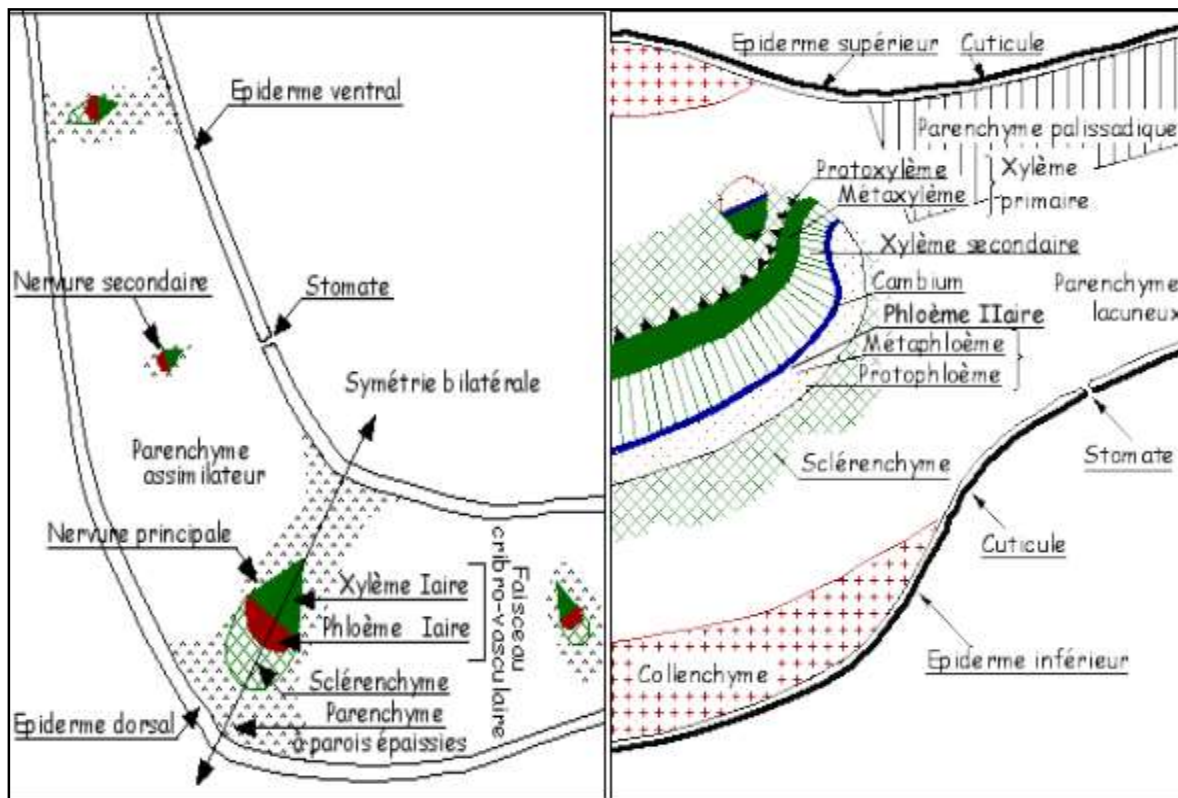


Figure 30 : Comparaison des schémas des coupes transversales de limbes de feuilles Monocotylédone (Muguet) et Dicotylédone (Houx).

Tableau 1 : Différences entre une feuille monocotylédone et dicotylédone

	Monocotylédones	Dicotylédones
Epiderme Stomates	Répartition égale des stomates sur les deux faces foliaires	Face dorsale riche en stomates (150/cm ²)
Mésophylle (parenchyme chlorophyllien)	- Homogène ne possède pas de parenchyme palissadique et lacuneux distincts	- Hétérogène possède un parenchyme palissadique et lacuneux
Faisceaux conducteurs	Nervures parallèles constituées d'un faisceau unique soudé à l'épiderme dorsal par des bandes de fibres sclérifiées	Nervures ramifiées constituées d'un ou plusieurs faisceaux de xylème interne et de phloème externe, entourés de tissus de soutien.
Formations secondaires	Absente	Rencontrée en générale au niveau de la nervure principale mais elle reste peu développée.

1.6. Fonctions de la feuille et adaptation pour ces fonctions

Les végétaux ont développé de nombreux moyens de défense à commencer par la cuticule qui est une fine couche de cire qui favorise la protection contre l'environnement et les insectes, elle est imperméable en limitant l'évaporation et donc la déshydratation (dessiccation). D'autres systèmes de protection existent face aux animaux: certaines plantes (comme la Sensitive) replient leurs folioles à la moindre agression, ce qui les rend beaucoup moins appétissantes, d'autres fabriquent des composés amers, ou peu digestes voire toxiques (tanins, menthol, digitaline, aconitine et autres alcaloïdes divers).

1.6.1. Organes protecteurs

Chez les plantes épineuses, les feuilles sont souvent transformées en **épines** qui résultent de la modification des folioles, ou des stipules, ou simplement des poils. Il s'agit d'un mécanisme de défense contre **la sécheresse** (plantes xérophiles), ou bien de défense contre **le broutage des animaux herbivores**.

Certaines épines très fines, ainsi que des cils, permettent à la plante de collecter de la rosée (effet de pointe) ; Dans certaines familles, comme les rosacées, les feuilles portent parfois des glandes dont la localisation est variable suivant les espèces. Ces glandes sont des organes de forme très variable, mais produisant une sécrétion. Il peut s'agir de poils modifiés (trichomes) (exemple : poils urticants de l'Ortie).

Les écailles sont de petites lames foliacées, membraneuses et plus ou moins coriaces, exemple les aiguillons (Rosier), différents des épines qui dérivent des bourgeons, des feuilles ou des stipules.

- Écailles des bourgeons ; chez certains, on passe petit à petit d'une écaille à la feuille.
- Écailles et tuniques de bulbes = feuilles modifiées.
- Pétales et sépales de fleurs = feuilles modifiées dans un but de protection florale.



Figure 31 : Plantes épineuses (Les cladodes sont des tiges et non pas des feuilles ex. Ruscus)

1.6.2. Organes de réserve

- Tuniques les moins externes gorgées de réserves comme chez l'oignon.
- Les cotylédons des plantules sont les premières feuilles = feuilles de réserves.

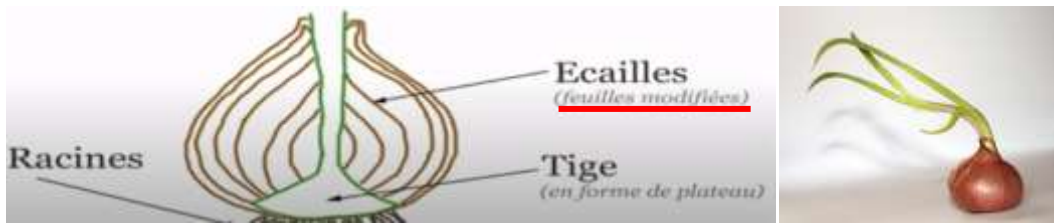


Figure 32 : Oignon organe de réserve

1.6.3. Organes absorbants

- Certains cotylédons subsistent avec les premières feuilles auxquelles ils transmettent les réserves.
- Les feuilles de certaines plantes carnivores (ex. Drosera).
- Des feuilles qui présentent des mouvements ; par exemple :
 - * Les feuilles du Trèfle (*Trifolium*) se ferment la nuit ;
 - * Pour la Sensitive : les "nastries" seraient dues à des différences de charges électriques ; exemple aussi le Mimosa
 - * Les lobes de la Dionnée qui se referment au contact.

1.6.4. Fonction de sécrétion

- Des nectaires à la base de certaines feuilles ; ex. 2 petites glandes géâtres à la base du limbe des feuilles de Cerisier.
- Feuilles transformées en étamines et en carpelles.
- Feuilles transformées en organes divers :
 - * piquants et aiguilles des gymnospermes ;
 - * piquants des Robiniers = stipules modifiées
 - * les vrilles sont des parties foliaires (folioles modifiées) ; parfois c'est la feuille entière qui se modifie (ex. chez les Cucurbitacées) ;
 - * feuilles réduites à des écailles ; c'est le cas chez les tiges souterraines le plus souvent.



Figure 33 : Plante feuille en vrilles et en écailles

Références bibliographiques

http://svtbcpst.free.fr/livrets_pdf/memento_anat_veg.pdf

http://barbaramacclintok.weebly.com/uploads/2/1/7/6/21762838/prsentation_racine.pdf

<http://gentiana.org/sites/commun/generique/fckeditor/File/Systematique/generalites/bota-generalites.pdf>

<http://gentiana.org/sites/commun/generique/fckeditor/File/Systematique/generalites/bota-generalites.pdf>

<http://nico8386.free.fr/cours/BA/BVcoursresume.pdf>

<http://repo.evolonline.org/agro/SVT/BVTP2015.pdf>

http://ts2-thierrymaulnier.wifeo.com/documents/RdactionTPE_finale.pdf

<http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/anatomie/feuille/muguet/psmuguet.html>

<http://www.webclasse.fr/tpe/nombredor/phyllotaxie.html>

<https://biologievegetale.be/morphologie-vegetale/angiospermes/angiospermes-organographie/feuilles/>

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=29509540>

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=29509586>

<https://floranet.pagesperso-orange.fr/gene/botagen/gen4.htm>

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Feuille>

https://fr.wikipedia.org/wiki/Forme_foliaire

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Phyllotaxie>

https://www.dphu.org/uploads/attachements/books/books_1082_0.pdf

https://www.pearson.ch/download/media/9782744073069_sp_biologievegetale_chap04.pdf

https://www.ville-ge.ch/cjb/jardinmath/jardinmath_pdf/spirales/3_phyllotaxie.pdf

Les angiospermes : description et appareil végétatif http://lycee.nicolas-cohen.org/fichiers/fichiers_pdf/les_angiospermes.pdf