

## Chapitre I : Rappel sur différents types des tissus végétaux

### Introduction

Un tissu est un groupement de cellules semblables ayant la même origine embryonnaire, ayant le même aspect et qui remplissent une fonction physiologique déterminée. Les tissus formeront des organes tels que les racines, les tiges, les fleurs.

### I- Les tissus primaires

#### 1. Les Méristèmes Primaire

Les cellules des méristèmes primaires se localisent sur l'extrémité des tiges et des racines sont petites, isodiamétriques, le noyau est sphérique, volumineux, très riche en chromatine, les vacuoles sont nombreuses et très petites et des plastes non différenciés, proplastides.

A l'apex (l'extrémité d'une tige ou d'une racine), apparaissent les nouveaux organes grâce au fonctionnement des méristèmes, ce sont les méristèmes apicaux caulinaire situés sur la région apicale des tiges et les méristèmes apicaux racinaires localisés sur l'extrémité de la racine. Ils sont présents chez toutes les plantes, mais fonctionnent d'une manière différente. Ils assurent la croissance en longueur de toute les plantes.

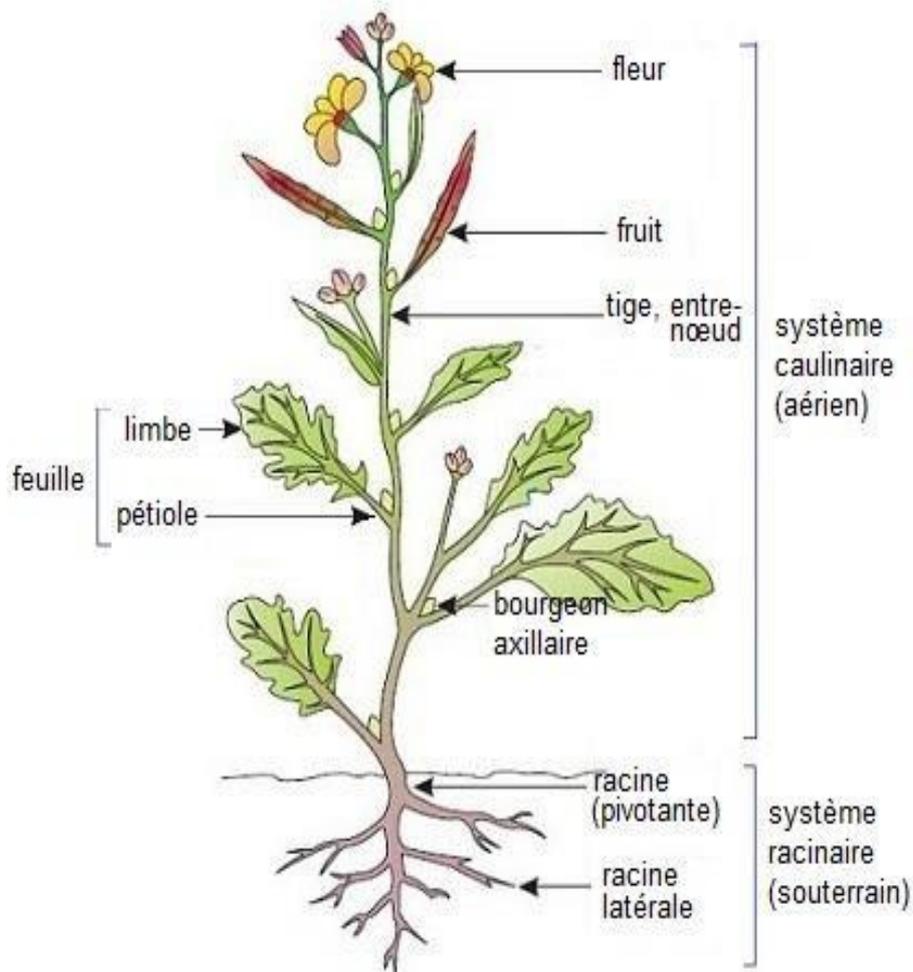


Figure01 : la morphologie de base d'une plante à fleurs

### 1.1. Le méristème caulinaire

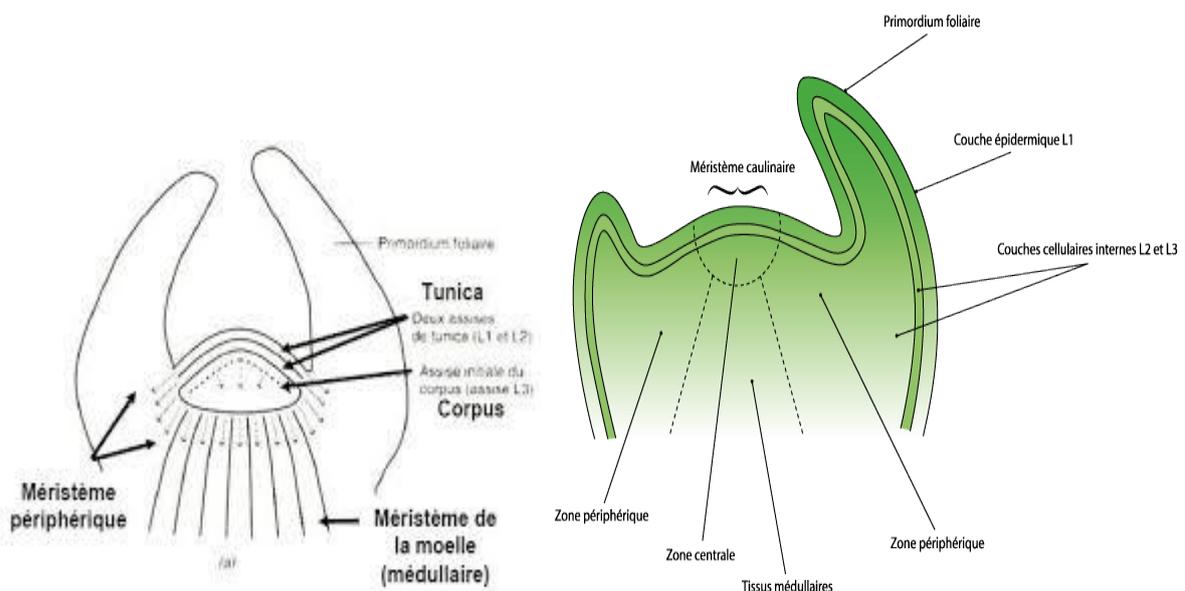
Le méristème caulinaire est responsable de l'édification de la partie aérienne de la plante, de lui, apparaissent des cellules qui en se multipliant et en se différenciant donneront les tiges, les feuilles, les bourgeons axillaires et les bourgeons floraux, il est donc histogène et organogène.

La section centrale du méristème caulinaire révèle l'existence de trois régions :

**1- Une zone axiale,  $Z_a$** , avec deux couches superficielles, les tunics T1 et T2 et le corpus C. L'assise superficielle, tunica (T1), tout autour du méristème se distingue par ses divisions strictement anticlines (cloisons perpendiculaires à la surface), elle est à l'origine de l'épiderme. La tunica T2, initie les feuilles par cloisonnement et le corpus, C, sous-jacent situé au-dessous donne les tissus centraux de la tige et des feuilles. Dans cette couche, les mitoses s'effectuent dans tous les sens.

**2- Une zone latérale,  $Z_L$**  entourant cette zone axiale, la partie à droite correspond à l'apparition d'une feuille, ZLF.

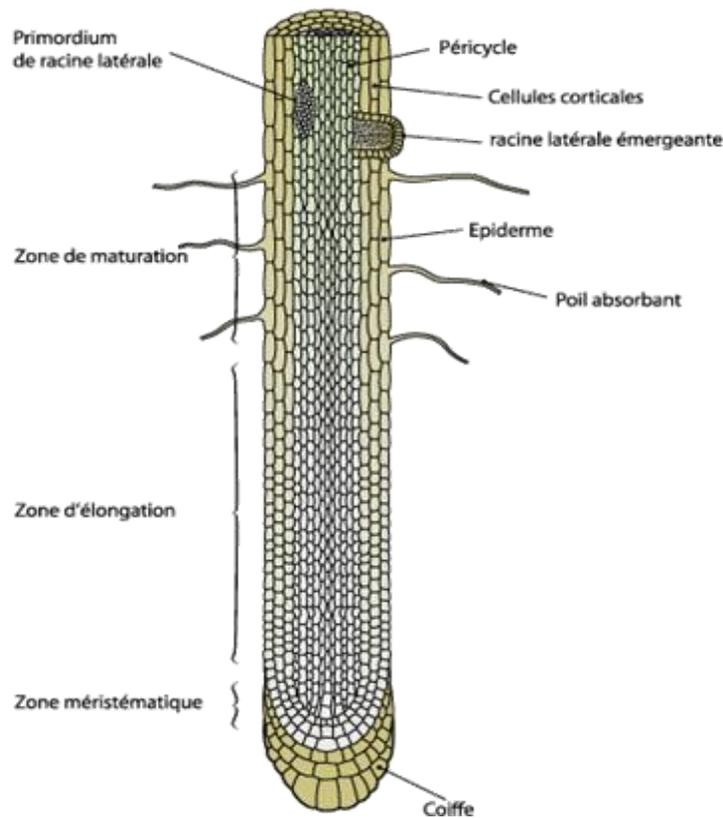
**3- Un méristème médullaire,  $M_m$** , aux mitoses peu fréquentes formant des files empilées de cellules à l'origine de la moelle centrale, M.



**Figure 2** : La zonation du méristème végétatif caulinaire

### 1.2. Le méristème racinaire

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



**Figure 3** : le méristème racinaire

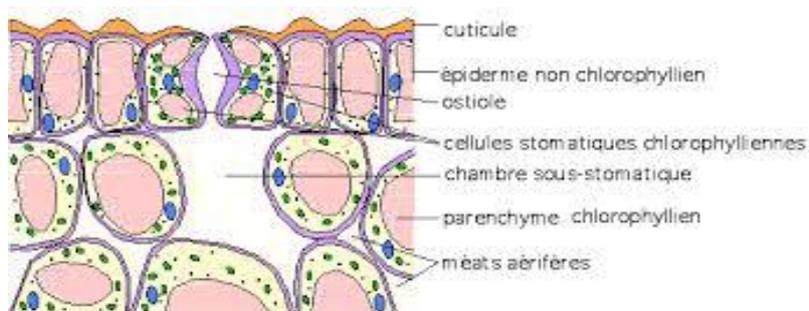
## 2. Les Tissus Protecteurs

Ce sont des tissus de surface et de recouvrement qui permettent la protection de la plante contre les agressions extérieures.

### 2.1. L'épiderme

Tissu primaire compact formé d'une seule assise de cellules superficielles vivantes présente à la surface de toute la plante, qui recouvre les parties aériennes d'une plante et fournit une protection contre la dessiccation et les agressions extérieures tout en permettant les échanges gazeux avec l'atmosphère

L'épiderme est interrompu par des cellules stomatiques. La paroi externe des cellules épidermiques est épaissie par un dépôt de cutine (matière cireuse de nature lipidique) constituant la cuticule.



**Figure 4** : les cellules de l'épiderme

## 2.1. Le rhizoderme

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

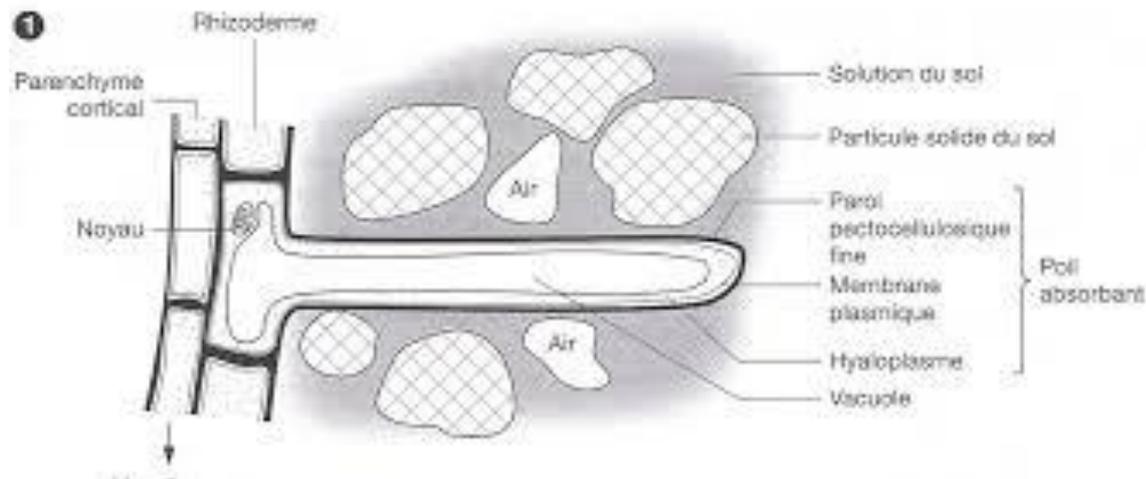
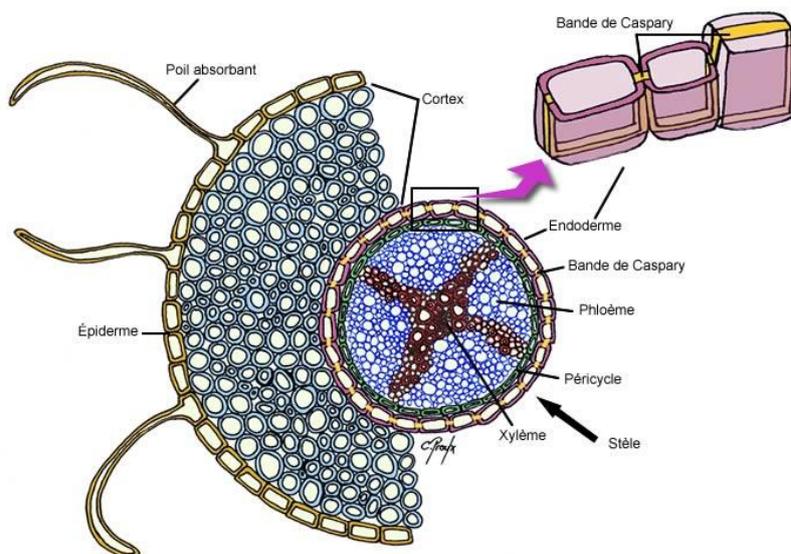
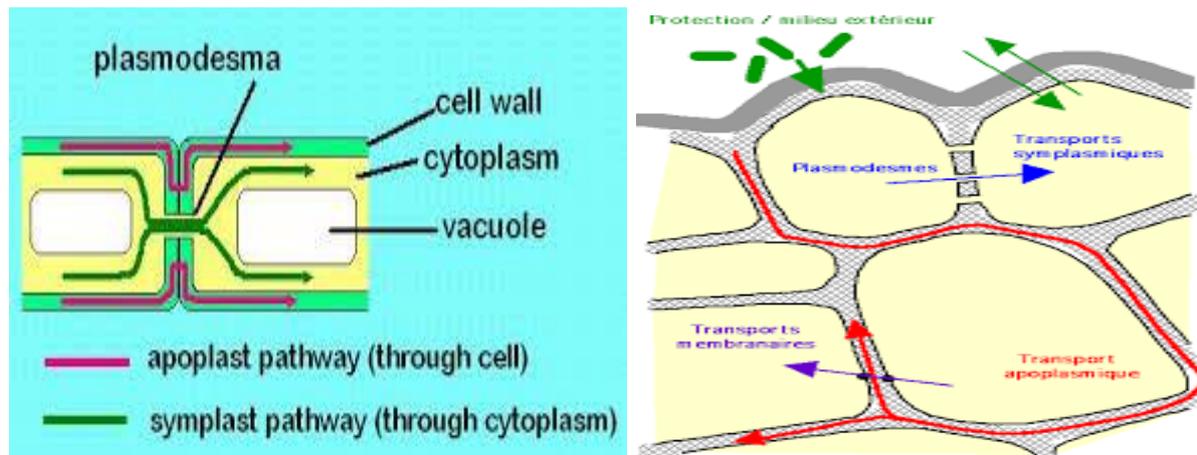


Figure 5 : les poils absorbant chez le rhizoderme

## 2.2. L'endoderme

Les cellules de l'endoderme présentent une lignification et subérification, plus les plantes vieillissent plus l'endoderme va se lignifier ainsi on observe des épaissements subéreux en forme de cadre formant les cadres de Caspary qui assurent ainsi une sélectivité des substances assimilées via l'empêchement des voies de transports *apoplasmiques* et l'obligation des voies de transport *symplasmique*.



**Figure 6** : endoderme et le cadre de caspary**Figure 7** : voies de transport symplasmique et apoplasmique

### 3. Les Tissus de Remplissage : Les Tissu parenchymateux

#### 4. 3.1. Les parenchymes chlorophylliens ou chlorenchymes

Ils sont caractérisés par la présence de nombreux chloroplastes dans leurs cellules, situés dans les régions externes des tiges et dans les feuilles qui sont responsables de la photosynthèse

##### A- Le parenchyme chlorophyllien palissadique

Cellules allongées et accolées les unes aux autres, sans méats. Les cellules situées du côté de la face foliaire supérieure des feuilles présentent un nombre important en chloroplastes en assurant ainsi la photosynthèse.

##### B- Le parenchyme chlorophyllien lacuneux

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 et qui se trouvent dans la face foliaire inférieure.

#### 3.2. Les parenchymes de réserve

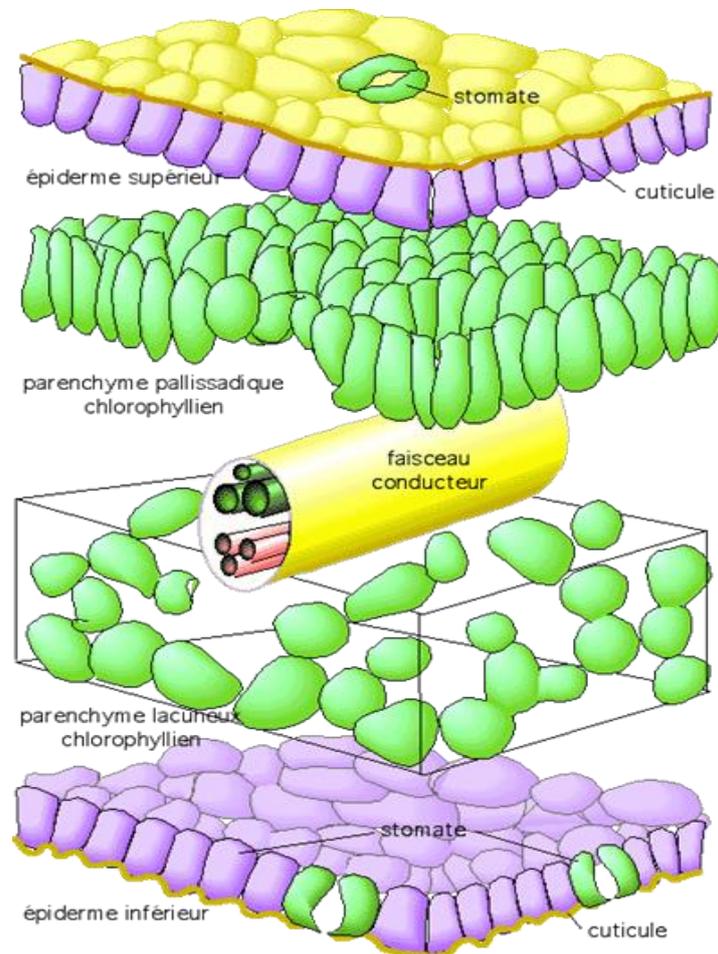
qui accumulent les substances énergétiques (amidon dans les plastes, oses, osides et protéines dans les vacuoles et lipides dans le cytoplasme) ;

##### A- Le parenchyme aquifère

Constitués de cellules volumineuses, pourvues d'une vacuole très développée, abondants dans les tiges ou les feuilles des plantes grasses où ils constituent une réserve d'eau ;

##### B- Le parenchyme aérifère

variétés de tissus lacuneux qui emprisonnent de l'air (plantes aquatiques).



**Figure 08** : Élément histologique du limbe d'une feuille de Dicotylédones

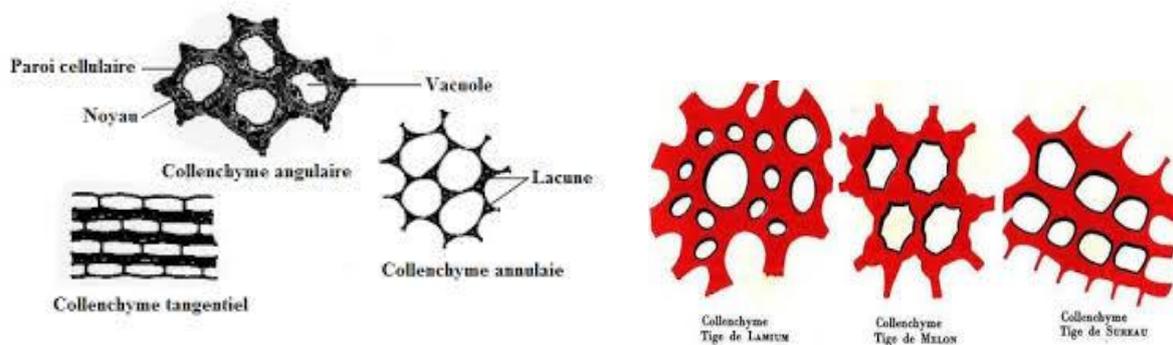
#### 4-Tissus de Soutien

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

##### 4.1 Le collenchyme

Le collenchyme se forme dans les organes jeunes en croissance, aériens essentiellement. C'est un tissu vivant dont les parois sont épaissies par un dépôt de cellulose, ce qui confère à la plante une grande résistance à la flexion et à la traction, une élasticité et une certaine souplesse. Il est généralement situé en anneaux ou en îlots sous l'épiderme des tiges et des pétioles, ou encore accolé à des vaisseaux conducteurs dans les pétioles ou les limbes des feuilles.

<b>Collenchyme</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- tissu vivant,</li> <li>- cellules fusiformes plus ou moins allongées,</li> <li>- paroi cellulosique épaissie.</li> <li>- fin cytoplasme, noyau, vacuole unique et volumineuse,</li> <li>- 3 types selon l'épaississement.</li> </ul>	<b>Annulaire : dépôt de cellulose uniformément réparti tout autour de la paroi.</b>
		<b>Angulaire : épaississement cellulosique de la paroi aux angles.</b>
		<b>Tangentiel : épaississement des parois tangentielles seulement (parois parallèles à la surface externe).</b>

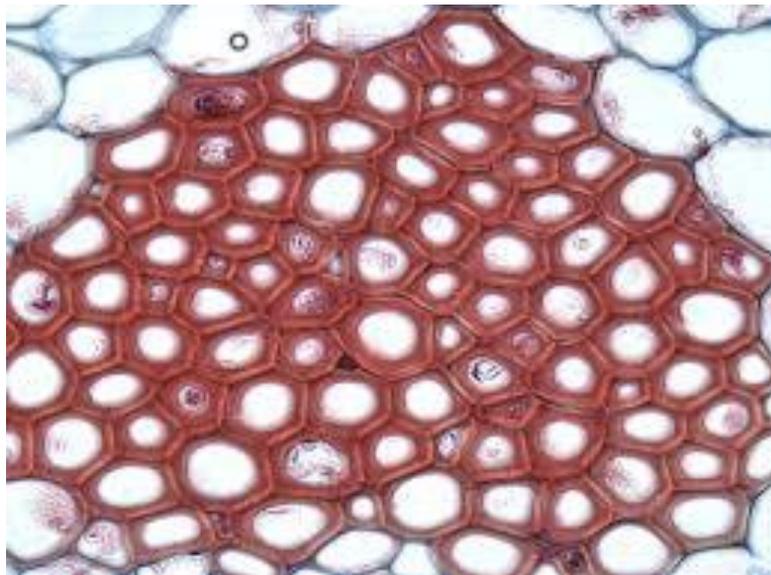


**Figure 9 :** différents types de collenchyme

#### 4.2. Le sclérenchyme

Le sclérenchyme est le tissu de soutien des organes dont l'allongement est achevé. C'est un tissu constitué de cellules mortes dont les parois sont épaissies par un dépôt de lignine qui confère dureté et rigidité à la plante.

<b>Sclérenchyme</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- tissu mort,</li> <li>- cellules allongées,</li> <li>- paroi épaisse lignifiée imperméable,</li> <li>- ponctuations</li> <li>- 2 types de cellules.</li> </ul>	<b>Fibres scléreuses : cellules très allongées en fuseau, à lumière étroite. Section transversale circulaire, elliptique ou polygonale. En anneau continu sous l'épiderme, proche du cylindre central ou regroupées en îlots.</b>
		<b>Sclérites : cellules courtes de forme variable, isolées dans les parenchymes, groupées en amas ou en assises continues. Elles assurent la rigidité ou la consolidation des organes.</b>



**Figure 10 : le sclérenchyme**

## 5. Les Tissus Conducteurs

Chez les Angiospermes la circulation des sèves est assurée par un appareil conducteur composé de deux types de tissus : le xylème et le phloème.

### 5.1. Le phloème

Le phloème, ou liber, conduit la sève élaborée, solution de substances organiques riches en glucides, des feuilles vers les autres organes

- Tissu complexe, composé de différents types de cellules vivantes ou mortes. Fondamentalement, on distingue :

- Les éléments conducteurs : tubes criblés
- Les éléments non conducteurs : les fibres, le parenchyme

<b>LE PHLOÈME</b>	<b>Éléments conducteurs</b> ( <i>tissu vivant</i> )	- cellules allongées disposées en file communiquant entre elles par des pores qui interrompent la paroi cellulosique, - pas de noyau ni de vacuole.
	<b>Cellules compagnes</b>	- bordent les tubes criblés.
	<b>Cellules parenchymateuses</b>	- de réserve, sécrétrices.
	<b>Fibres</b>	- cellules à paroi épaisse, lignifiées ou cellulosiques.

## 5.2. Le xylème

Le xylème conduit la sève brute, liquide contenant l'eau et les sels minéraux puisés dans le sol par les racines au niveau de l'assise pilifère, vers les feuilles où s'effectue la photosynthèse

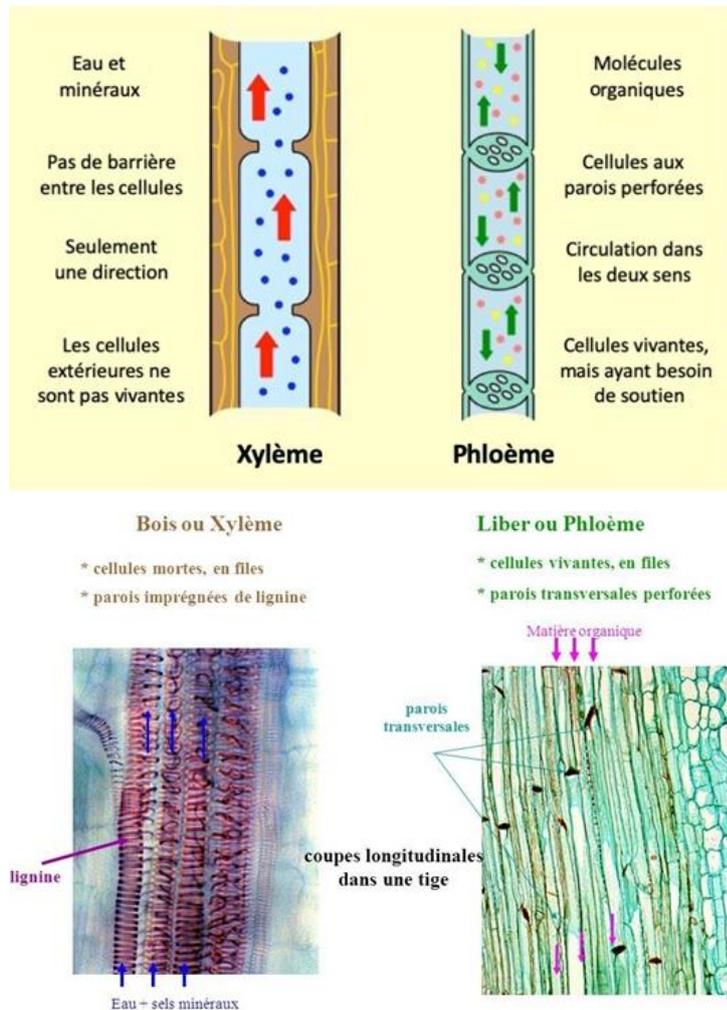
Tissu complexe, composé de différents types de cellules vivantes ou mortes. Fondamentalement, on distingue :

- Les éléments conducteurs : trachéides et trachées (vaisseaux parfaits)
- Les éléments non conducteurs : les fibres, le parenchyme

**A- Les éléments conducteurs :** En fin de différenciation, ils sont dépourvus de protoplasme. ils sont morts. Ils ont des parois rigides lignifiées et sont donc de longs tubes conducteurs sillonnant la plante. Ces éléments communiquent entre eux et avec les cellules avoisinantes à l'aide de ponctuations. Il existe deux types d'éléments conducteurs : Les Trachéides et les trachées « Vaisseaux parfaits ».

**B- Les éléments non conducteurs :**

- a- **Les fibres** Elles peuvent être disposées de façon très variées. (Revoir le cours des tissus de soutiens)
- b- **Les parenchymes** Ce sont des cellules qui entourent les éléments conducteurs et qui constituent le parenchyme ligneux. Dans le protoxylème, leurs parois sont cellulosiques. Dans le métaxylème, leurs parois sont le plus souvent lignifiées. Elles forment alors le parenchyme ligneux lignifié.

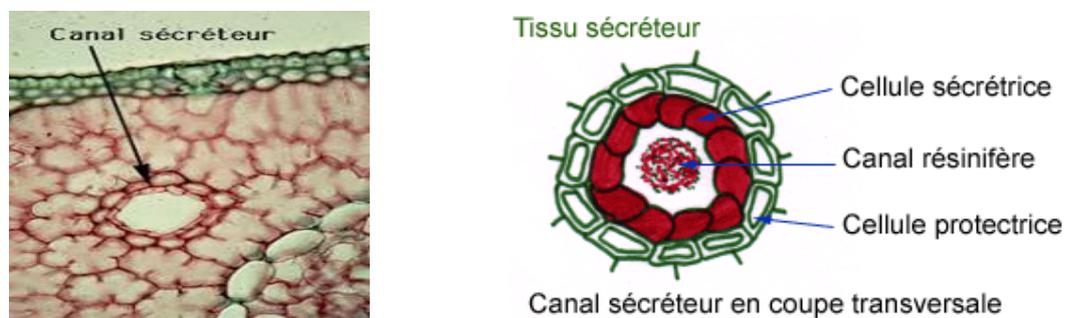


**Figure 11 :** la différence entre xylème et phloème

## 6. Les tissus sécréteurs

Ils peuvent être localisés dans tous les organes, dans tous les tissus et sont de différents types. Sur la base de leur localisation on distingue :

- Des structures sécrétrices externes : Poils sécrétrices (trichomes) et glandes sécrétrices
- Des structures sécrétrices internes : Cellules sécrétrices isolées : exemple de tige de rosier Laticifères Canaux sécrétrices exemples de pétiole de céleri, de tige d'estragon



**Figure12 :** tissu sécrèteur et canal sécréteur

## Chapitre 2 : développement et architecture de la plante

### I-Développement architectural et ramification racinaire

Les principales fonctions des racines sont l'ancrage de la plante dans le sol et l'absorption puis la conduction de l'eau et des sels minéraux. Elles doivent transporter l'eau et les sels minéraux vers les tiges et les feuilles, mais également importer les molécules organiques provenant des tiges et des feuilles. En plus de l'absorption et de la conduction, les racines produisent des hormones et d'autres substances qui régulent le développement et la structuration de la plante.

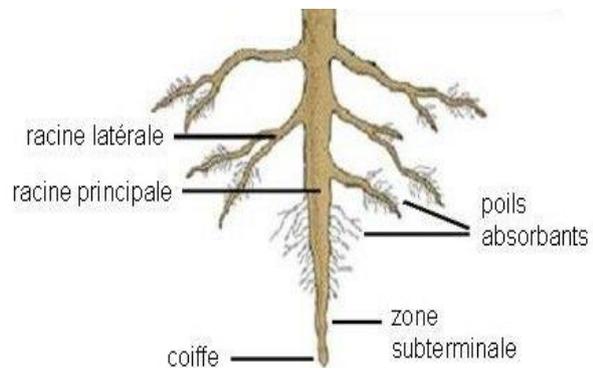
#### 1-Les types principaux de système racinaire

Il existe différents types de systèmes racinaires, avec tous les types intermédiaires, voire des plantes possédant des racines relevant de plusieurs types. L'architecture du système racinaire dépend de l'espèce à laquelle appartient la plante, mais pas seulement : elle est également fonction de la disponibilité des nutriments, du type de sol, de sa composition.

##### 1.1- Système racinaire pivotants

Ce type de système racinaire se rencontre notamment chez les Dicotylédones et les Gymnospermes. Il est caractérisé par une racine principale qui s'enfonce verticalement dans le sol, et sur laquelle se développent des racines secondaires latérales. Permettant un ancrage particulièrement efficace

Le pivot se développe directement à partir de la radicule, ou racine embryonnaire, et produit des ramifications appelées racines latérales ou racines secondaires. Les racines latérales peuvent développer à leur tour leurs propres racines, permettant une augmentation du volume racinaire. Les pivots pénètrent généralement très profondément dans le sol et conviennent bien aux plantes qui deviennent plus volumineuses chaque année, comme les arbres



**Figure 13 :** Système racinaire pivotant

Certains grands arbres, comme les conifères, ont des pivots peu profonds. Cet aspect est typique en montagne où les sols sont superficiels et reposent sur les rochers. Les plantes herbacées n'ont pas non plus forcément des pivots volumineux. De nombreuses petites plantes possèdent un système racinaire pivotant, particulièrement lorsqu'elles doivent survivre durant de longues périodes de sécheresse.

### 1.2- Système racinaire fasciculé

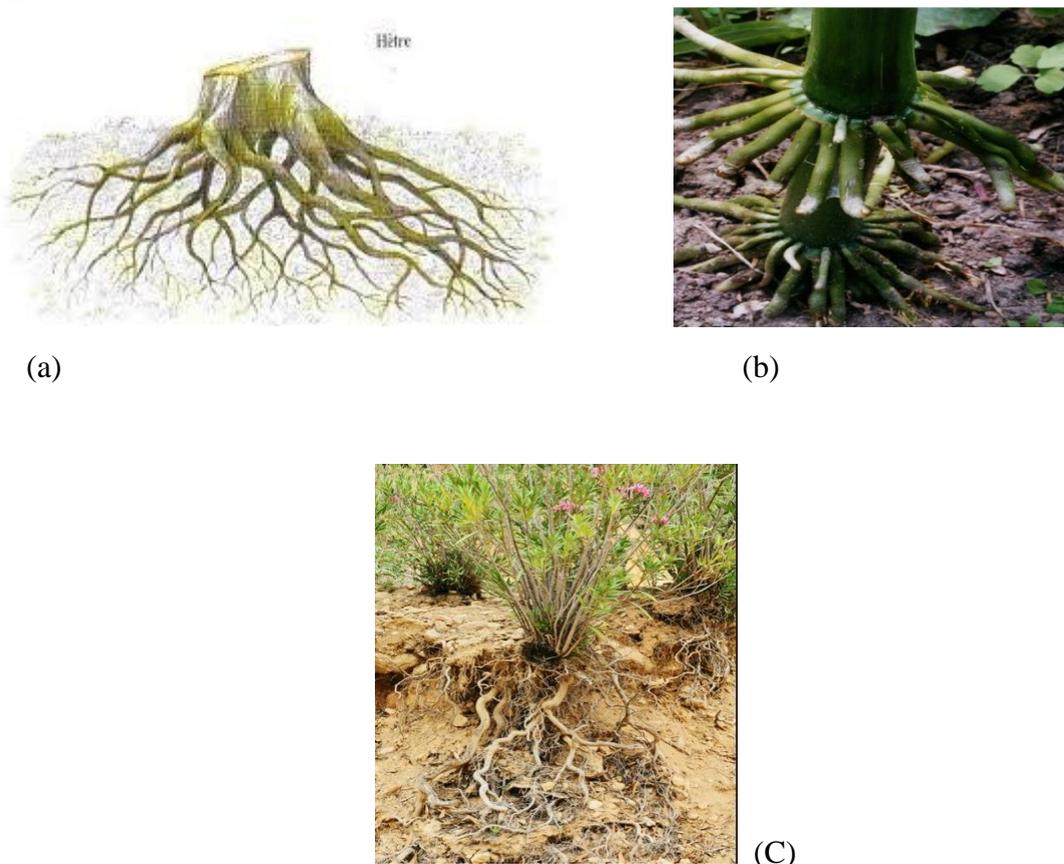
Observé chez de nombreuses Monocotylédones, le système racinaire fasciculaire forme, comme son nom l'indique, un faisceau : les racines démarrent toutes au même point, et il n'y a pas de prédominance d'une racine principale. C'est typiquement le cas chez les plantes bulbeuses : les racines apparaissent à partir d'un plateau. Les graminées, le maïs en sont d'autres exemples.

### 1.3- Système racinaire adventives

Les racines adventives se forment sur les tiges, à partir d'un nœud. Les racines adventives sont souvent complémentaires d'un autre type de système racinaire. Par exemple, chez certains lys, des racines adventives apparaissent dans la partie enterrée des tiges, au-dessus du bulbe qui est, lui, à l'origine des racines fasciculées. Les racines adventives sont aussi observables chez les tomates, le maïs... et toutes les plantes qui se multiplient par bouturage de tige ou celles qui possèdent des tiges rampantes capables de s'enraciner (menthe, pervenche...) ou qui émettent des stolons (fraisiers)

### 1.4- Système racinaire traçantes

Les racines traçantes se développent horizontalement sous la surface du sol. Sur ce type de racine, des tiges et des racines complémentaires peuvent apparaître, ce qui permet de donner naissance à une nouvelle plante. Les racines traçantes sont typiques de nombreux bambous et des plantes couvre-sol capables de former de vastes tapis.



**Figure 14** : les différents systèmes racinaires : (a) fasciculé, (b) adventives, (c) traçantes

## 2-Le développement des cellules et leurs différenciations dans la racine

La croissance, commence par des divisions dans le méristème apical, situé à son extrémité. Le méristème est une « fontaine de jeunesse » grâce à un petit groupe de cellules capables de se diviser, appelées **initiales**

Les initiales du méristème racinaire sont localisées dans une petite zone sphérique du méristème, d'environ 0,1 millimètre de diamètre, et se divisent très lentement [voir figure Cette zone est appelée centre **quiescent**

Quand une initiale se divise, une cellule fille reste dans le méristème apical, à l'état d'initiale, tandis que l'autre devient une dérivée qui est prête pour la croissance et la différenciation cellulaires.

Chaque cellule du méristème apical racinaire semble avoir une « carte du développement » lui permettant de reconstruire l'ensemble de la structure. De part et d'autre du centre **quiescent**, on distingue deux zones méristématiques aux devenir totalement différents. Au-dessous du centre quiescent, **la zone d'entretien de la coiffe** est constituée de cellules aplaties, au cycle cellulaire très court, qui sont à l'origine de l'ensemble de la coiffe. Au-dessus du centre quiescent, **le méristème apical** est constitué de cellules se divisant très fréquemment et dont les dérivées sont à l'origine **du protoderme, du méristème fondamental** et du **procambium**. Les mitoses qui ont lieu dans ces trois zones produisent des cellules qui se différencieront en tissus. Le protoderme, qui donne naissance au **rhizoderme**, se développe à partir des cellules externes du méristème apical. Le méristème fondamental, qui produit les **tissus fondamentaux**, est localisé au-dessous du protoderme. Le procambium, à l'origine des tissus conducteurs primaires, est interne par rapport au méristème fondamental.

Dans une racine, la division, l'élongation et la différenciation cellulaires peuvent être suivies linéairement dans trois zones qui se recouvrent : la zone de division cellulaire, la zone d'élongation et la zone de différenciation

**La zone de division cellulaire** comprend le méristème apical racinaire et les trois zones méristématiques qui en dérivent.

**La zone d'élongation** correspond à l'endroit où les cellules ne se divisent plus et commencent à s'allonger. Cette zone et la précédente se chevauchent légèrement car certaines cellules sont encore en train de se diviser alors que d'autres ont cessé et commencent à s'allonger.

**La zone d'élongation** est l'endroit où s'effectue la majeure partie de la croissance racinaire, permettant à la racine de s'enfoncer plus profondément dans le sol. La zone d'élongation recouvre un peu la zone de différenciation où les cellules commencent à se spécialiser en différentes catégories cellulaires, comme les cellules du rhizoderme ou les cellules conductrices. La zone de différenciation correspond également au niveau où certaines cellules rhizodermiques se différencient en poils absorbants.

## La coiffe

Appelée aussi coiffe radulaire, représente la terminaison d'une racine qui sert à la fois à protéger le méristème apical de la racine, à faciliter sa pénétration dans le sol grâce au mucilage et à contrôler la réaction de la racine

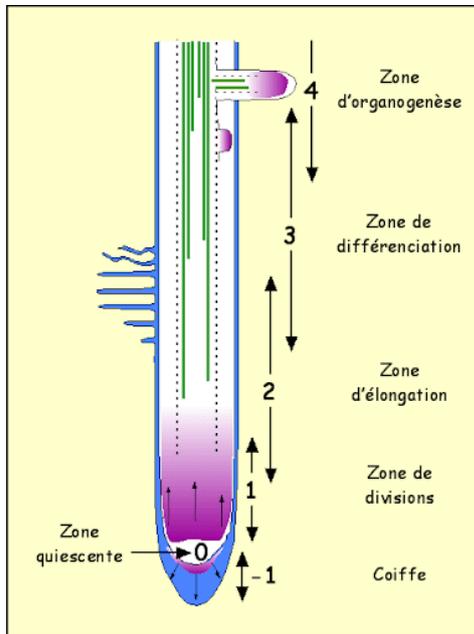
Les cellules externes de la coiffe produisent une gaine de **mucilage** polysaccharidique, qui joue le rôle d'un lubrifiant, facilitant la progression de la racine dans le sol. Toutes les cellules des plantes possèdent l'information génétique permettant de sécréter le mucilage, mais seules les cellules externes de la coiffe expriment cette capacité. À l'intérieur de chaque cellule externe de la coiffe, le mucilage est contenu dans des vésicules golgiennes qui migrent vers la membrane plasmique, fusionnent avec celle-ci et libèrent leur contenu entre la membrane plasmique et la paroi.

## Poils absorbants

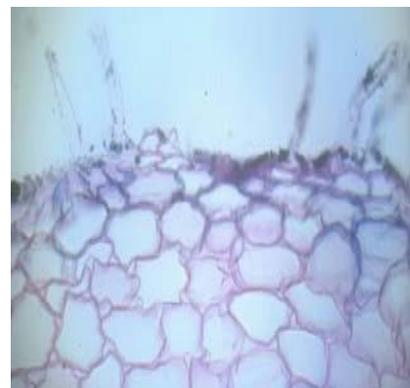
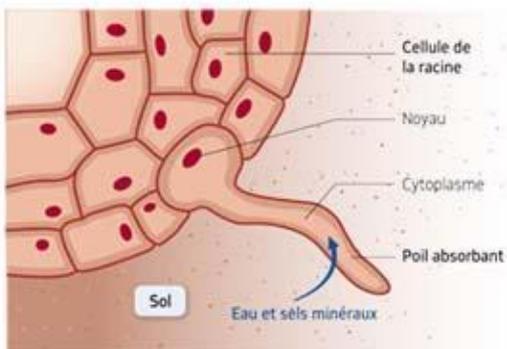
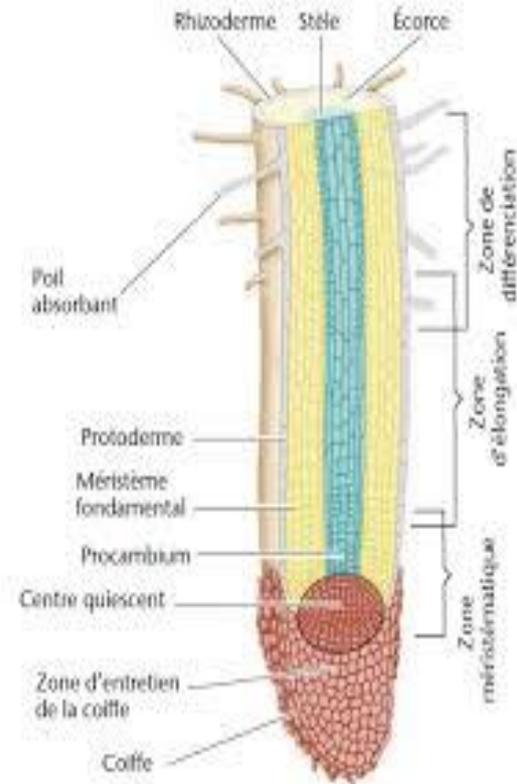
Dans les racines jeunes, les poils absorbants, comme leur nom l'indique, représentent le lieu principal d'absorption de l'eau et des sels minéraux par les racines. Ces poils sont constitués chacun d'une cellule unique différenciée à partir d'une cellule du rhizoderme. Leur croissance est très rapide mais leur durée de vie est courte.

C'est dans la zone de différenciation, située au-dessus de la zone d'élongation, que la racine produit des cellules du rhizoderme qui sont à l'origine des poils absorbants

L'essentiel de l'absorption de l'eau et des sels minéraux se fait via les poils absorbants, y compris pour les racines les plus volumineuses. Chez les plantes possédant un pivot, les poils absorbants se développent à une grande profondeur. Chez les systèmes racinaires fasciculés, les racines ne sont pas très profondes mais elles sont très étalées ; les poils absorbants ne sont donc pas très près de la base de la tige. C'est pour ces raisons qu'un arrosage court, effectué au niveau où la plante pénètre dans le sol, est généralement inefficace, l'eau n'arrivant pas à pénétrer dans la plante.



(A)



(B)

Figure 15 : (A) méristème apicale racinaire (B) poils absorbants

### **3-Diversité adaptative des racines (fonction racinaire)**

L'ancrage dans le sol et l'absorption d'eau et des sels minéraux ne sont pas les seules fonctions des racines. D'autres fonctions adaptatives sont assurées par le système racinaire suites à des modifications plus ou moins importantes de la racine :

#### **3-1- Racines aérienne d'une orchidée épiphyte**

Qui se servent d'autres plantes comme support, sans y puiser d'éléments nutritifs. Chez les orchidées, qui se développent en épiphytes sur les arbres, les racines aériennes assurent leur fixation mais, surtout, elles absorbent l'eau et les sels minéraux contenus dans les eaux de pluie qui ruissellent à travers la canopée, située au-dessus d'elles (absorbent eau de l'atmosphère).

#### **3-2- Racines aériennes adventives (racine étauçons).**

Elles naissent à la base de la tige et s'enfoncent dans le sol, renforçant ainsi l'ancrage de plante dans le sol

#### **3-3-Racines crampons**

Exemple : Les crampons du Lierre sont de fines et de nombreuse racine adventive qui lui permettent de s'agripper solidement sur les murs et les arbres

#### **3-4-Racines contrefort**

Excroissance latérale situées a la base de certains grands arbres tropicaux, sont des hautes racines (aériennes) permettant une stabilisation dans le sol peu profond, et léger naissant sur des rameaux.

#### **3-5-Racines pneumatophores**

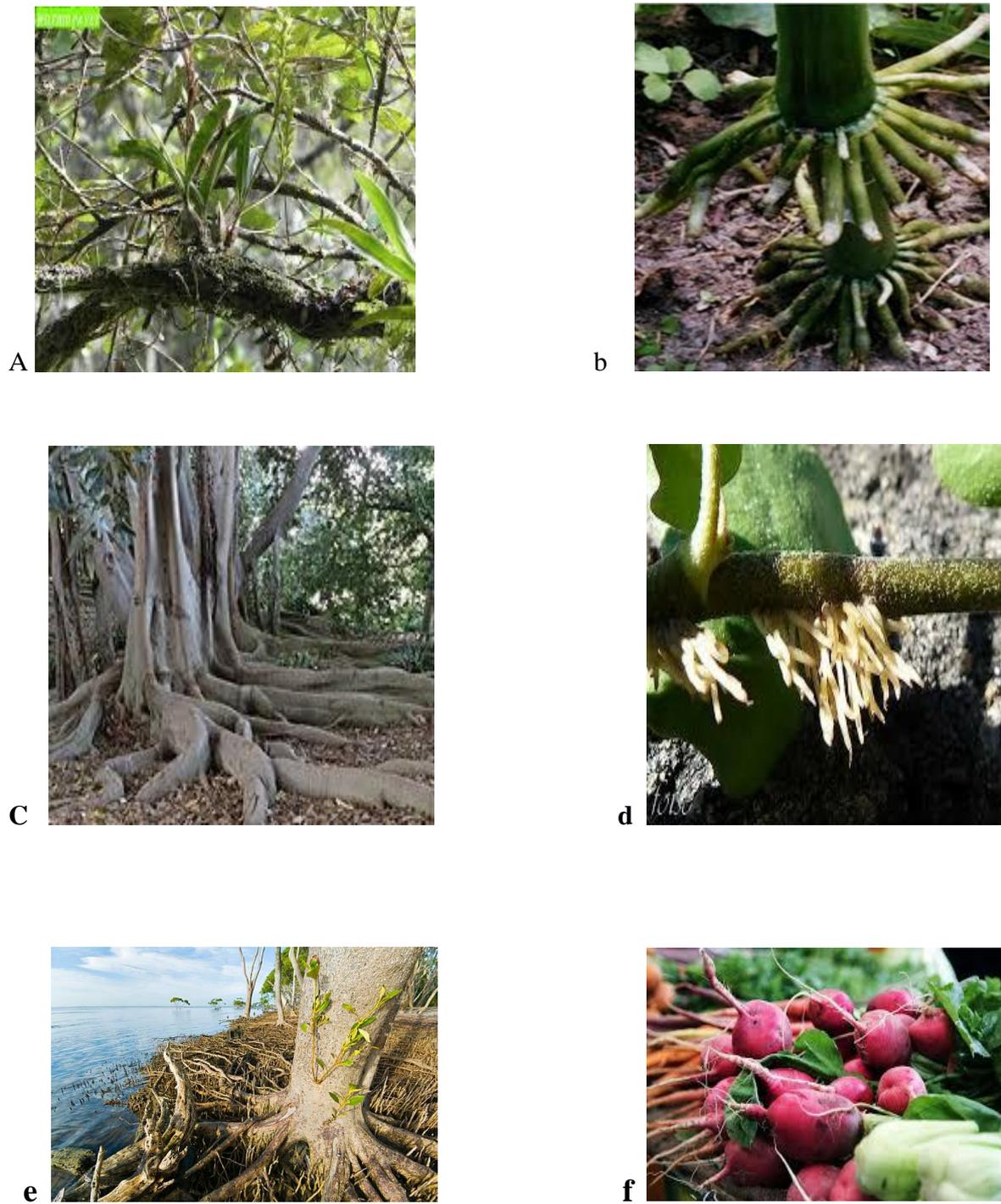
Ou racines aérifères, sont des racines qui croissent vers le haut [voir figure 4.6(e)] ; elles sortent des sols asphyxiques où la concentration en oxygène dissous dans l'eau est très faible. Les arbres de la mangrove, le palétuvier blanc (*Avicennia*) par exemple, produisent des pneumatophores qui émergent de la vase salée

#### **3-6-Racines de réserve**

Chez certaines plantes, telles que la carotte, les racines sont transformées en organes de réserves hypertrophiés qui stockent de l'eau et des substances nutritives, De nombreux types racinaires, comme la carotte, la patate douce et la betterave sucrière, stockent de l'amidon et des sucres susceptibles d'être utilisés lors de la deuxième année de culture

#### **3-7- Racines suçoirs : observées chez les plantes parasites**

Les racines de certaines phanérogames parasites ont été transformées. Appelées haustoriums ou suçoirs, elles pénètrent dans les tiges (cas du gui) ou les racines (cas du Strig et de l'Orobanche) des plantes hôtes afin d'y puiser l'eau, les sels minéraux et les substances organiques nécessaires à leur développement. Le genre *Striga* dans les zones intertropicales, et le genre *Orobanche*, dans les pays du pourtour méditerranéen, sont devenus de véritables fléaux agricoles.



**Figure 16 : adaptative des racines (fonction racinaire)**

(A) crampons (b) racine étançons (c) Racines contrefort (d) orchidée épiphyte (e) Racines pneumatophores (f) Racines de réserve.

#### 4-Interactions entre racines et organismes

Les racines forment fréquemment des associations avec d'autres organismes, appelées Symbioses. Ces types d'associations sont bénéfiques pour les deux participant

##### 4-1-mycorhize

Un mycorhize (du grec myco, « champignon » et rhiza, « racine », terme introduit en 1885 par le botaniste Albert Bernhard Frank) est le résultat de l'association symbiotique, appelée mycorhization, entre des champignons et les racines des plantes. Les deux principales associations mycorhiziennes sont les endomycorhizes et les ectomycorhizes.

**Les endomycorhizes**, le champignon pénètre dans la racine, traverse la paroi des cellules corticales et produit des digitations appelées **arbuscules**. Ces arbuscules repoussent la membrane plasmique des cellules corticales et peuvent ainsi absorber des nutriments

##### Les ectomycorhizes

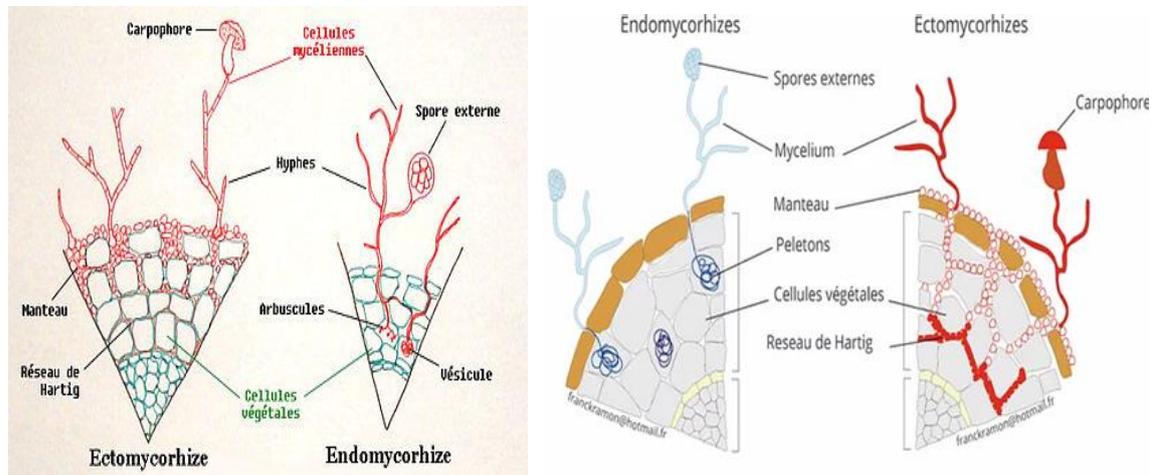
Les ectomycorhizes (ou mycorhizes externes) concernent seulement 5 % des plantes vasculaires, en majorité des arbres des forêts tempérées et boréales (comme les Fagacées, les Pinacées ou les Bétulacées) et des champignons de la division des Ascomycètes, des Basidiomycètes ou des Zygomycètes. Ces mycorhizes ne pénètrent pas à travers des parois cellulaires à l'intérieur des cellules de la plante, mais entourent simplement les racines, formant un **manteau** de mycélium et un réseau entre les parois des cellules de la racine.

Le champignon s'associe d'abord aux racines fines à croissance déterminée, dépourvues de poils absorbants. Puis, il enveloppe la racine d'un manteau d'hyphes, le manchon mycorhizien. D'autres hyphes croissent entre les cellules dans la partie externe du parenchyme cortical, formant ainsi l'interface symbiotique ou « réseau de Hartig ». La symbiose modifie la physiologie de la racine mycorhizée : elle se renfle, cesse de croître et peut se ramifier de façon abondante. La coiffe et le méristème apical sont alors réduits.

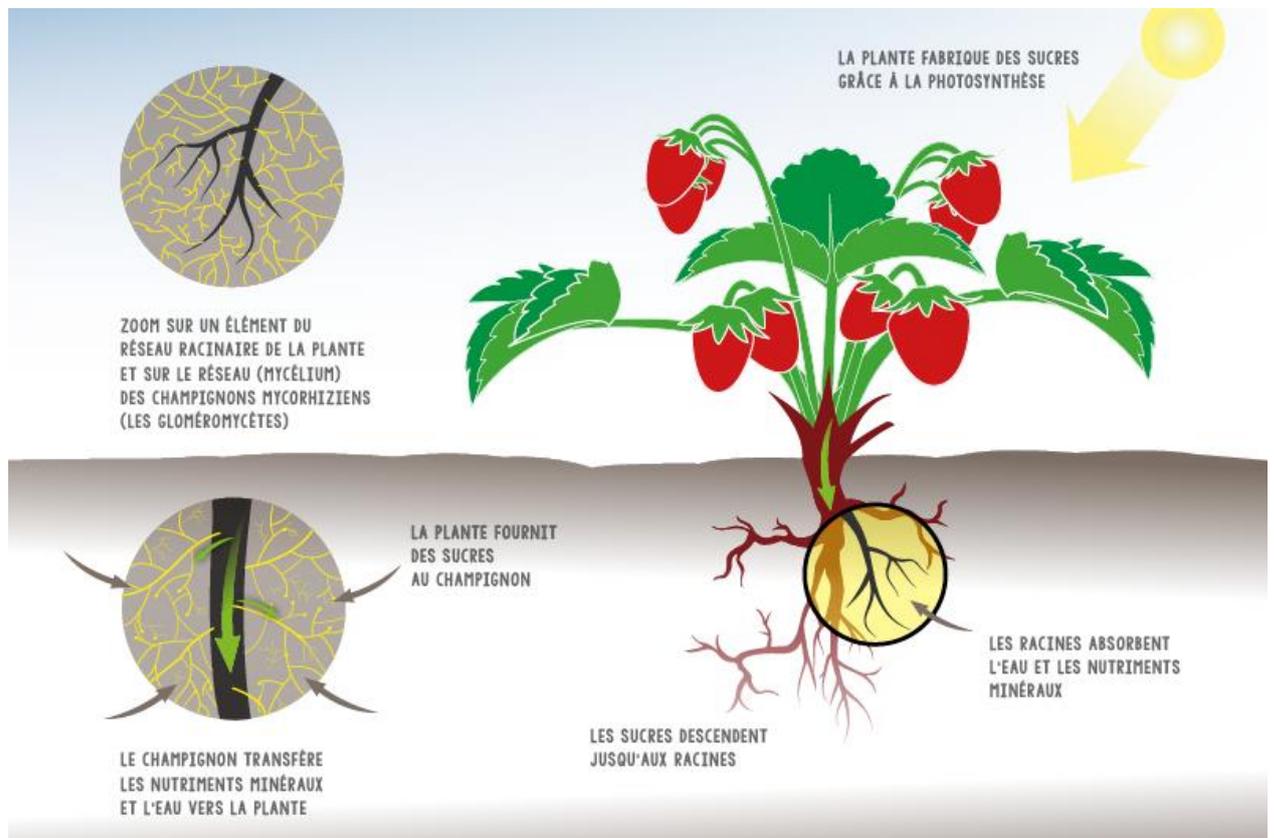
On parle alors de symbiose mutualiste, c'est à dire que cette association entre plante et champignon se fait au bénéfice de nos deux acteurs. Le champignon transfère l'eau et les éléments minéraux puisés dans le sol aux racines de la plante, quand cette dernière fournit au champignon des sucres fabriqués grâce à la photosynthèse. Pour comprendre ce mécanisme, le microscope sera de mise. Ectomycorhize, Endomycorhize à arbuscules et d'autres encore sont autant de formes différentes d'associations entre racines et champignons, invisibles à l'œil nu.

##### 4-2-. Bactérie fixatrice d'azote

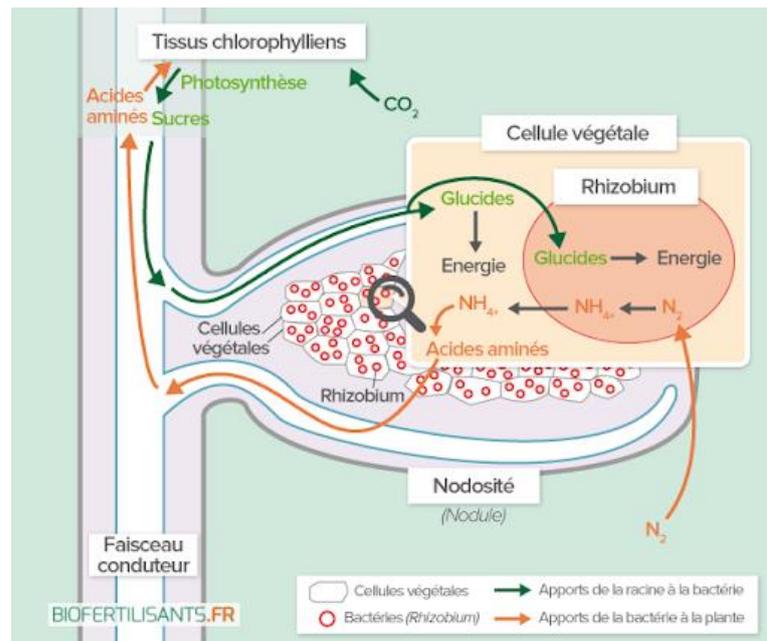
Certaines plantes peuvent également établir une symbiose avec des bactéries fixatrices d'azote, capables de convertir l'azote de l'air en ions ammonium, qui sont incorporés dans diverses molécules organiques. Les plantes peuvent alors bénéficier de l'azote fixé par les bactéries et l'incorporer dans les acides aminés, les nucléotides et dans d'autres composés vitaux contenant de l'azote. C'est le seul exemple où l'azote inorganique entre directement dans les chaînes trophiques. Parmi les plantes de la famille des légumineuses, celles de la sous-famille des fabacées, particulièrement importantes pour l'homme, portent des nodosités racinaires induites par la présence d'une bactérie capable d'assimiler l'azote atmosphérique. Cette symbiose entre la plante et la bactérie permet de limiter l'apport d'engrais azotés. Cet enrichissement est important car, généralement, la récolte des cultures aboutit à une diminution dans le sol des éléments minéraux comme les nitrates.



**Figure 17** : une coupe de racine mycorrhizée montrant deux principaux types de mycorrhizes : les endomycorrhizes et les ectomycorrhizes



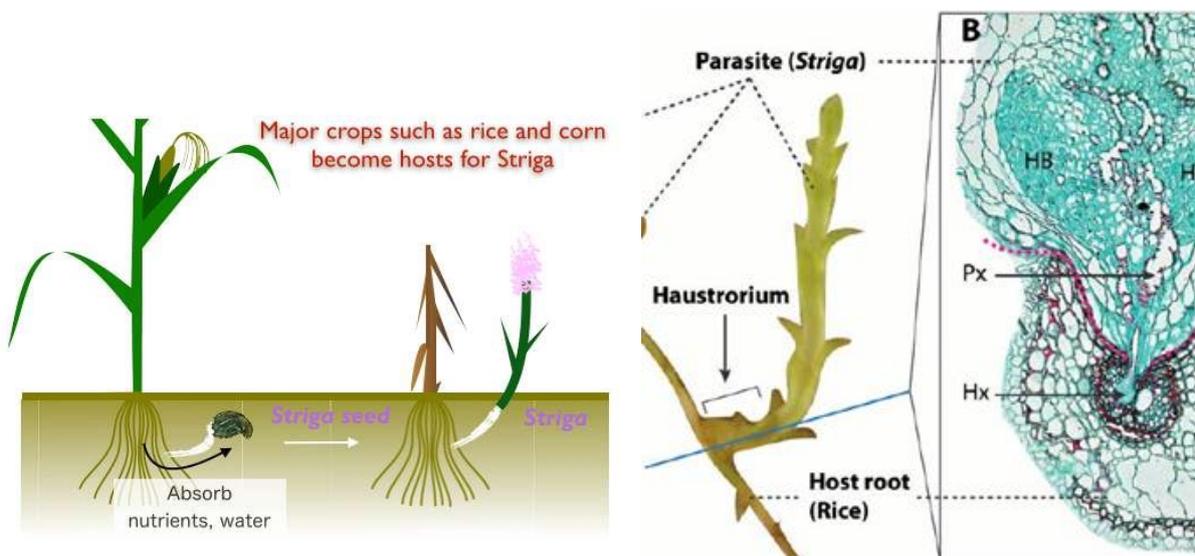
**Figure 18** : activité symbiotique entre racine et champignon



**Figure 19 : Fixation biologique de l’azote**

**4-3-parasitisme**

La croissance primaire des plantes produit des tiges, qui recherchent la lumière, et des racines, qui vont chercher l’eau et les sels minéraux dans le sol. Cependant, certaines plantes trouvent leur nourriture par d’autres moyens : elles développent un haustorium, ou suçoir, qui s’enfonce dans les tissus de l’hôte afin d’y puiser l’eau, les sels minéraux et les produits carbonés nécessaires à leur développement. Les principales plantes parasites sont les guis, la cuscute, le Striga et l’Orobanche



**Figure 20 : le striga, une plante parasite des racines des cultures vivrières tropicale**

## II- Le développement des tiges (développement inflorescentiel)

Les tiges et les feuilles constituent généralement la partie aérienne des plantes. Les tiges amènent les feuilles vers la lumière et les éloignent de l'ombre produite par d'autres plantes ou d'autres structures. Afin de supporter le poids des feuilles et de résister à la force du vent, les tiges doivent être résistantes, particulièrement chez les arbres. Elles assurent également la conduction de l'eau, des sels minéraux et des molécules organiques entre les racines et les feuilles. . Comme vous le savez, les feuilles sont attachées sur la tige au niveau des nœuds et la portion de tige comprise entre deux nœuds successifs correspond à l'entrenœud. Dans la majorité des plantes, un bourgeon axillaire dormant est localisé à l'aisselle des feuilles, c'est-à-dire au niveau où le pétiole se rattache à la tige. Les bourgeons axillaires sont à l'origine de nouvelles tiges feuillées ; ils sont donc responsables de la ramification caulinaire. Les nœuds, les entrenœuds et les bourgeons axillaires caractérisent les tiges, y compris les tiges souterraines.

La croissance d'une tige est plus complexe que celle d'une racine car la tige ne fait pas que s'allonger, elle produit régulièrement des feuilles et des bourgeons axillaires grâce au méristème apical caulinaire.

### 1-Croissance et fonctionnement de méristème apicale caulinaire

#### 1-1-Organisation du méristème apicale caulinaire

Méristème apical caulinaire est constitué de plusieurs zones qui n'ont pas de délimitations très nettes. Chez les angiospermes, il forme un dôme de 0,5 à 3 mm de diamètre formé de petites cellules de tailles non équivalentes

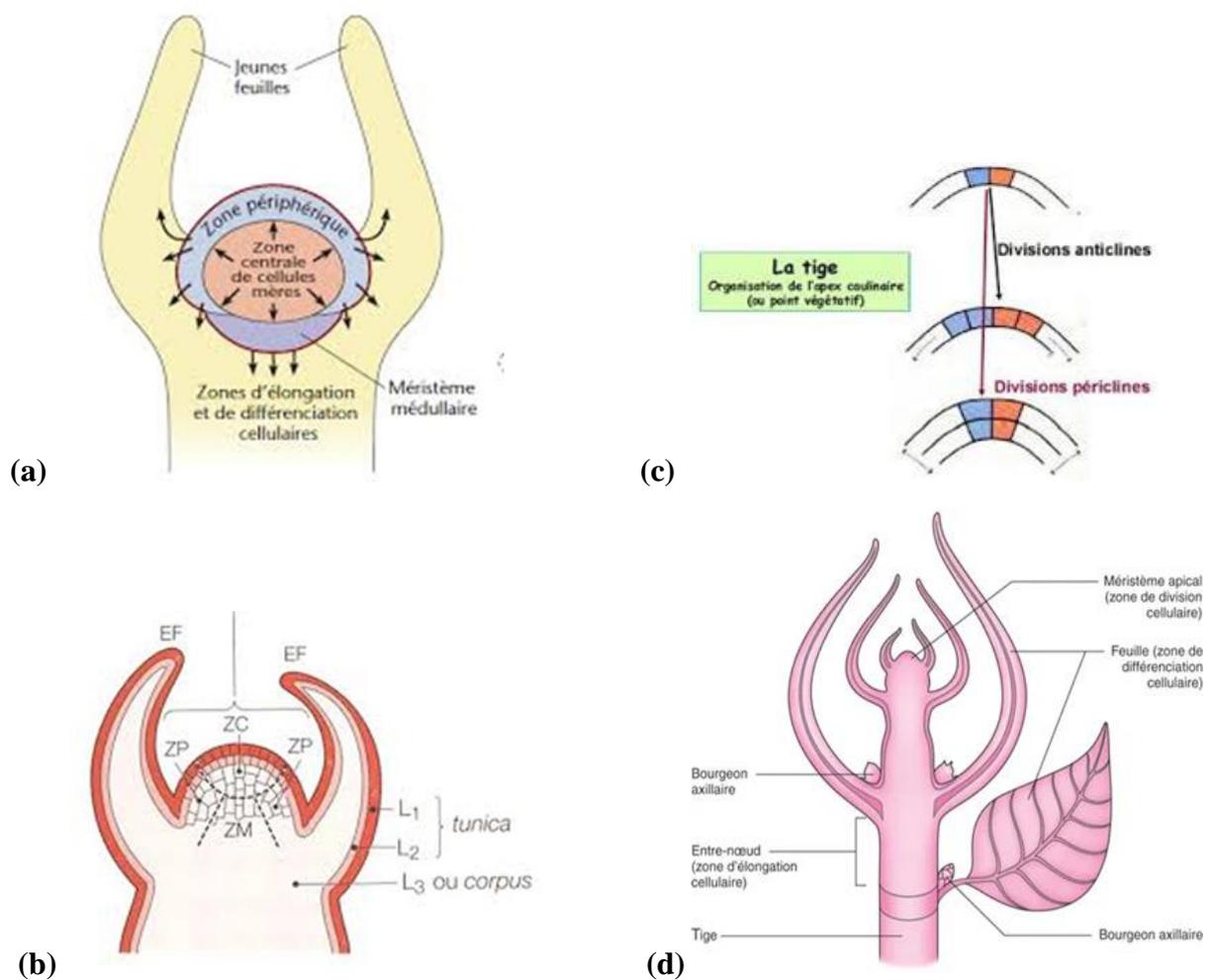
Ces méristèmes apicaux fonctionnent tout au long de la vie de la plante. Sous l'action de nombreux signaux (variation de la photopériode, vernalisation...), les méristèmes caulinaires vont se transformer en méristèmes floraux, et vont donc être à l'origine de la formation d'une fleur. Cette fleur peut être unique ou en inflorescence.

Deux modèles d'organisation de méristème apicale caulinaire

**Le modèle zoné** décrit le méristème apical caulinaire comme un dôme divisé en trois régions la zone centrale des cellules mères, la zone périphérique et le méristème médullaire La zone centrale des cellules mères contient des cellules qui se divisent rarement et donnent naissance aux cellules de la zone périphérique et du méristème médullaire. La zone périphérique forme un anneau entourant la zone centrale. Elle est constituée de cellules qui se divisent rapidement pour donner naissance aux primordium foliaires et à une partie de la tige. Sous les zones centrale et périphérique se trouve le méristème médullaire qui produit la moelle. Sous ces zones du méristème apical caulinaire, les cellules s'allongent puis se différencient pour former la moelle de la tige.

**Le modèle en assises cellulaires**, également appelé **modèle tunica-carpus**, suggère que les initiales du méristème apical caulinaire constituent plusieurs assises cellulaires (L1, L2 et L3). Les assises externes d'initiales forment **la tunica** qui est l'équivalent de la partie extérieure de la zone périphérique dans le modèle zoné. La plupart des plantes possèdent deux assises tunica les, L1 et L2. Dans l'assise L1, les divisions sont toutes perpendiculaires à la surface du dôme méristématique : ce sont des divisions **anticlines**. L'assise L3 et ses dérivées forment **le carpus**, qui est globalement l'équivalent de la partie interne de la zone périphérique et de la zone centrale. Dans les initiales du carpus, on peut observer des divisions anticlines, mais aussi

périclines, qui sont parallèles à la surface du méristème. Dans le modèle en assises cellulaires, les cellules de l'assise L1 donnent le protoderme puis l'épiderme des feuilles, tandis que les cellules des assises L2, L3 et du corpus sont à l'origine des primordium foliaires.



**Figure 21** : méristème apical caulinaire, (a) modèle zoné, (b) modèle en assises tunica-corporus (c) division a cellulaire (d) Apex caulinaire

### 1-2- croissance des tiges

Au niveau de l'extrémité des tiges, les cellules méristématiques forment un anneau subapical à partir duquel prolifèrent des cellules qui constitueront les feuilles et les entrenœuds. Les bourgeons latéraux se forment à partir d'un îlot de cellules méristématiques issues de l'anneau subapical. La croissance des tiges se poursuit simultanément sur plusieurs entrenœuds successifs, l'emplacement et l'importance des zones d'élongation variant selon les espèces. La

croissance des entrenœuds résulte à la fois de la persistance de cellules en division à leur niveau (méristème intercalaire plus ou moins nets et actifs) et de l'élongation des cellules.

Dans la tige de la majorité des plantes à graines, c'est-à-dire les gymnospermes et les angiospermes, les tissus conducteurs forment des **faisceaux cribro-vasculaires** comprenant xylème et phloème.

Dans la plupart des faisceaux cribro-vasculaires, le xylème est à l'intérieur tandis que le phloème est vers l'extérieur. Ces faisceaux cribro-vasculaires sont souvent entourés d'une gaine de sclérenchyme. (**Eustèle**) Ces sections transversales montrent l'organisation basique des tiges chez les plantes.

**\*Protostèle** Les protostèles sont également présentes chez les premières plantes fossiles étudiées

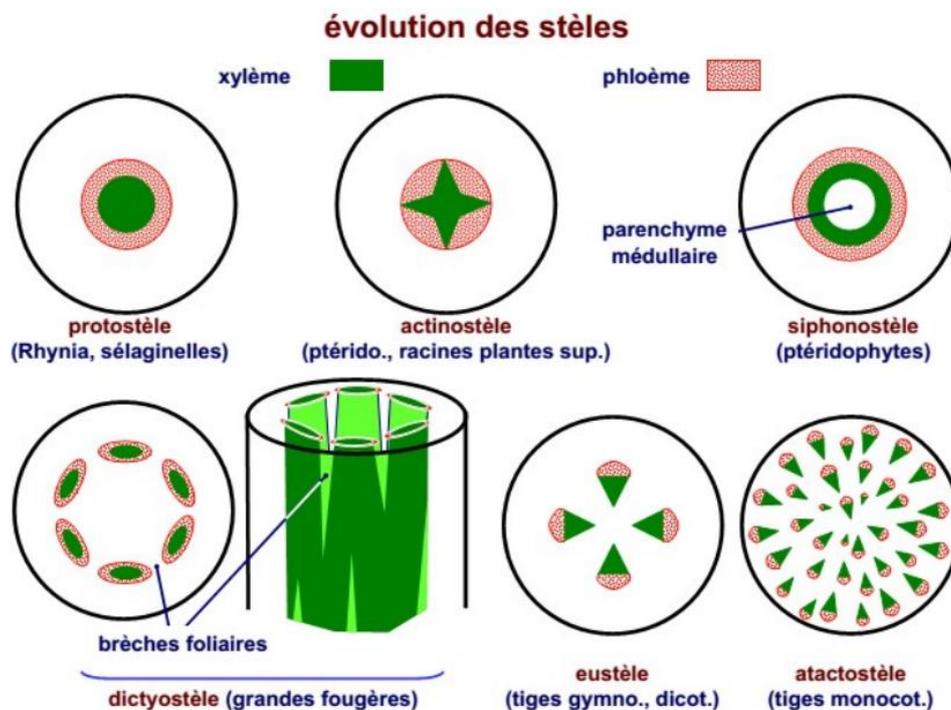
**\*Siphonostèle** (la plupart des plantes vasculaires sans graines)

Comprenant un cylindre vasculaire continu qui entoure une moelle axiale. Dans les siphonostèles dérivant des protostèles, le phloème est externe par rapport au xylème ou des deux côtés de celui-ci

**\*Eustèle** : stèle avec des faisceaux cribro-vasculaires tout autour de la moelle (certaines dicotylédones et gymnospermes)

**\*Eustèle** : stèle avec des faisceaux cribro-vasculaires séparés les uns des autres (la plupart des dicotylédones et quelques gymnospermes)

**\*Atactostèle** : stèle avec des faisceaux cribro-vasculaires dispersés dans le tissu parenchymateux (la plupart des monocotylédones)



### 1-3-Diversité adaptative des tiges (tiges modifiées)

#### \*Les stolons

Les plantes dites stolonifères ont une manière bien spécifique de se reproduire sans pour autant avoir forcément recours à une multiplication sexuée (pollinisation des fleurs en vue de la production de graines). Ces plantes produisent des stolons, qui sont des tiges aériennes poussant généralement à l'horizontale à la surface du sol. Ces tiges reliées au pied-mère portent un ou plusieurs bourgeons susceptibles de produire une ou plusieurs nouvelles plantes identiques en tous points au pied-mère et capables de s'enraciner dans la périphérie de celui-ci.

Ex **Le fraisier** produit des stolons, sortes de tiges rampantes poussant au-dessus du sol qui permettent à la plante de se multiplier de façon asexuée

La violette qui forme des touffes délicatement odorantes

#### \*Rhizomes

Tiges souterraines horizontales, généralement épaissies, émettant des tiges dressées et des racines ; ils sont, par exemple, à la base d'un plant d'iris.

#### \*Bulbe

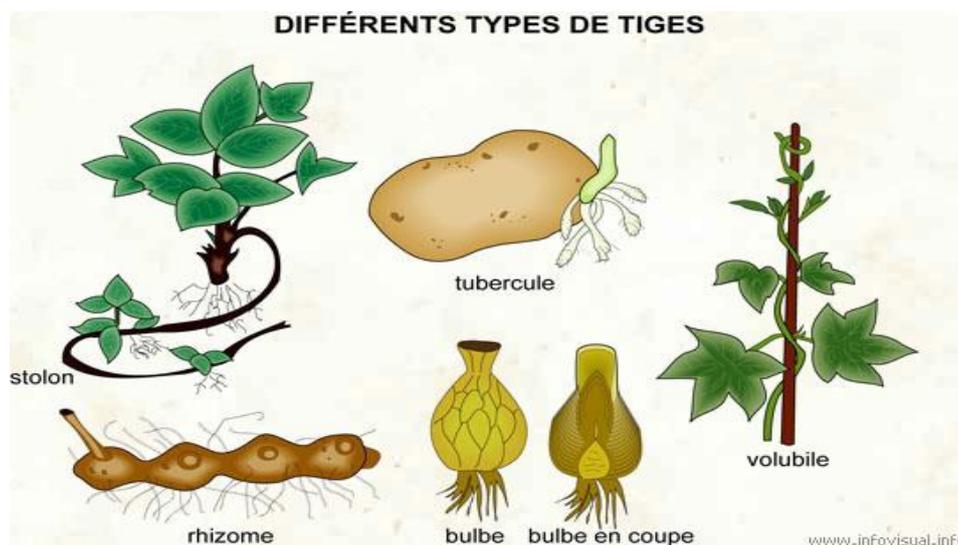
Un bulbe est une tige souterraine verticale résultant d'une tubérisation de feuilles (écailles) ou de gaines de feuilles, et utilisée comme organe de stockage de nourriture par une plante à dormance. Un bulbe disposant de feuille à la base n'en développe généralement pas d'autres. Il contient des réserves de nourriture pour permettre à la plante de survivre dans les situations adverses.

#### \*Tubercule

Un certain nombre de plantes, comme la patate douce, forment des tubercules, tiges souterraines renflées stockant de l'amidon.

#### \*Comes

Le glaïeul possède une corne, qui ressemble à un bulbe mais dont les feuilles sont petites et fines et les réserves sont stockées dans la tige plutôt que dans les feuilles.

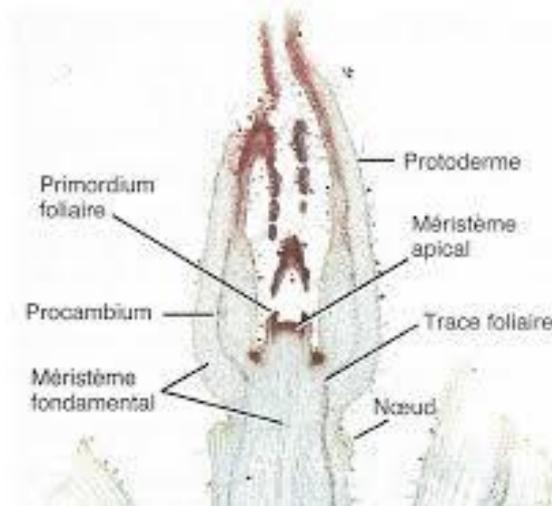


**Figure 23** : les différents types des tiges

## 2- Croissance et différenciation de primordium foliaire

### 2-1- formation foliaire

La formation d'un bombement, sur le flanc du méristème apical caulinaire, est la première manifestation d'une nouvelle feuille. Pendant que le méristème apical se surélève, les cellules du bombement continuent à se diviser pour donner finalement un primordium foliaire



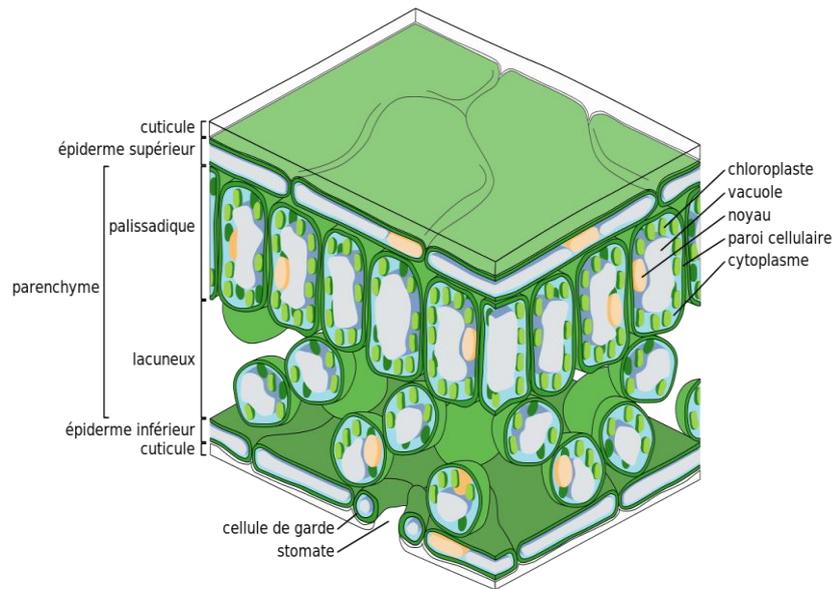
**Figure 24** : méristème apicale caulinaire et primordium foliaire

Après l'élongation et la différenciation des cellules, les primordiums forment deux feuilles caractérisées par un cordon procambial axial. Par la suite, les feuilles comprennent un fin pétiole et un limbe, plus ou moins étalé. La morphologie des pétioles peut varier, certains ressemblant à des tiges alors que d'autres se confondent avec le limbe des feuilles. Les stipules sont des appendices portés par la feuille de part et d'autre de son insertion sur la tige au niveau du nœud. Certaines feuilles, dépourvues de pétiole, sont directement rattachées à la tige ; il s'agit de feuilles sessiles. Caractéristiques de nombreuses monocotylédones, elles forment une gaine autour de la tige

La plus grande partie de l'intérieur d'une feuille, entre l'épiderme inférieur et supérieur, est composée d'un parenchyme appelé **mésophylle**. Ce tissu joue un rôle très important dans la photosynthèse

Le mésophylle est composé de deux parties : vers la face supérieure, *le parenchyme palissadique* est constitué de cellules verticales, allongées et serrées, riches en chloroplastes : c'est dans ce parenchyme que se déroule l'essentiel de la photosynthèse. Vers la face inférieure se trouve *le parenchyme lacuneux* (ou spongieux), aux cellules plus arrondies et moins serrées. Les lacunes entre ces cellules contiennent les gaz échangés entre la feuille et l'atmosphère.

Chez les **monocotylédones** le mésophylle est homogène. Il est composé d'un parenchyme uniforme

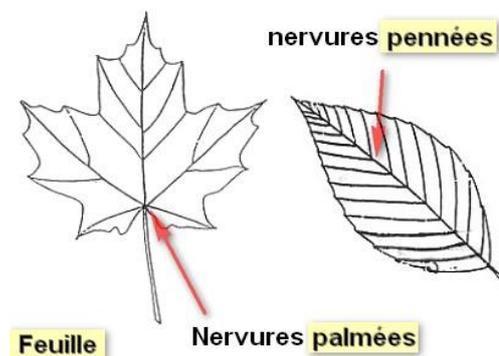


**Figure 25 :** Diagramme de l'anatomie de la feuille avec son mésophylle

Dans les feuilles, les tissus conducteurs sont organisés en nervures. Les tissus conducteurs des feuilles sont en continuité avec ceux de la tige. Au niveau de chaque nœud, un ou plusieurs **faisceaux cribro-vasculaires**, appelés *traces foliaires*, se ramifient à partir du système conducteur de la tige, pour se diriger vers le limbe, en passant par le pétiole. (**Les faisceaux cribrovasculaires du limbe constituent les nervures**). La formation des nervures est sous l'influence d'hormones, particulièrement l'auxine.

Dans les nervures, le xylème est toujours du côté de la face supérieure de la feuille tandis que le phloème est sur la face inférieure. En plus de leur rôle dans la conduction, les nervures apportent un soutien mécanique à la feuille, d'autant qu'elles sont souvent entourées par une gaine périvasculaire.

La nervation peut être réticulée ou parallèle. Chez la plupart des dicotylédones et des fougères qui présentent une nervation **réticulée**, les nervures constituent un réseau. En revanche, chez la plupart des monocotylédones et des gymnospermes qui présentent une nervation **parallèle**, les nervures sont parallèles entre elles et avec les bords des feuilles.



**Figure 26 :** différents types de nervations

## 2-2-La morphologie et la disposition des feuilles ont une signification environnementale

La forme et la taille des feuilles ainsi que leur disposition sur la tige aident les plantes à assurer la photosynthèse, entre autres fonctions. Sous contrôle génétique, la forme et la structure des feuilles reflètent des adaptations qui ont permis aux plantes de survivre dans différents environnements. Les feuilles peuvent être grandes ou petites, nombreuses ou rares, épaisses ou fines, persistantes ou caduques, en fonction de l'espèce, des besoins photosynthétiques et de l'environnement.

Par exemple, les feuilles épaisses de nombreuses plantes succulentes assurent leur survie en stockant de l'eau dans les flores, la description des feuilles est un critère d'identification déterminant qui prend en considération l'aspect du limbe, simple ou divisé, la forme de la feuille, les caractéristiques des marges et le type de nervation. Par exemple, une feuille simple possède un limbe entier, parfois lobé. Une feuille composée à un limbe divisé en folioles. Chez les feuilles composées palmées, les folioles sont toutes insérées à l'extrémité du pétiole, à la manière d'une patte palmée. Chez les feuilles composées pennées, les folioles sont disposées selon deux rangées, de part et d'autre d'un axe, à la manière d'une plume d'oiseau. Généralement, les feuilles larges au limbe fin et lisse caractérisent les plantes qui vivent dans des environnements humides, où les températures sont plus basses, le niveau lumineux plutôt faible et le vent absent. L'importante surface compense la faible luminosité. Les feuilles plus petites avec des marges irrégulières se rencontrent chez les plantes des environnements plus chauds, plus lumineux, secs et ventés. Leur taille et leurs marges irrégulières les protègent notamment des effets du vent.

Les feuilles présentent une structure différente selon qu'elles se développent en plein soleil ou qu'elles poussent à l'ombre. Chez certaines plantes, elles peuvent même changer d'orientation en fonction de la lumière. La plante boussole (*Silphium laciniatum*) est ainsi nommée car la face supérieure de ses feuilles est orientée Est-Ouest. À midi, le soleil frappe les bords des feuilles, évitant ainsi un risque de surchauffe durant la période la plus chaude de la journée. Les feuilles peuvent également s'adapter au vent de différentes façons. Certaines plantes, comme les pins, possèdent des aiguilles qui présentent un minimum de résistance au vent. D'autres plantes perdent simplement leurs feuilles durant la saison ventée. D'autres encore enroulent leurs grandes feuilles à la manière de cônes, minimisant ainsi la résistance au vent. Chez le peuplier faux-tremble (*Populus tremuloïdes*), le pétiole des feuilles est aplati et disposé à angle droit par rapport au limbe, ce qui leur permet de pivoter. Ces feuilles tremblent et scintillent dans le vent avec un bruissement caractéristique.

## 2-3-adaptation des feuilles aux condition écologiques

Certaines feuilles assurent des fonctions spécialisées, autres que la photosynthèse et la transpiration. Les feuilles peuvent être modifiées afin de permettre aux plantes d'assurer certaines fonctions. Les feuilles tolérantes à la sécheresse ont des adaptations visant à limiter les pertes en eau. Les plantes qui poussent dans les régions sèches sont appelées **xérophytes** (du grec xeros, sec, et phyton, plante).

Certaines plantes du désert ne produisent des feuilles qu'après une brève période humide. D'autres forment des tiges ou des *feuilles épaisses*, succulentes, avec *une cuticule épaisse*, retenant l'eau durant les périodes de sécheresse. Les stomates sont généralement localisés au fond de sillons, voire de cryptes pilifères, riches en poils. *Les stomates enfoncés échappent à l'action du vent*, limitant ainsi les pertes en eau. Certaines plantes sont recouvertes de *poils laineux* formant un revêtement blanchâtre et duveteux. Ces poils réduisent les pertes en eau et empêchent la feuille de surchauffer.

Certaines feuilles, transformées en excroissances pointues, forment une barrière protectrice contre les herbivores.

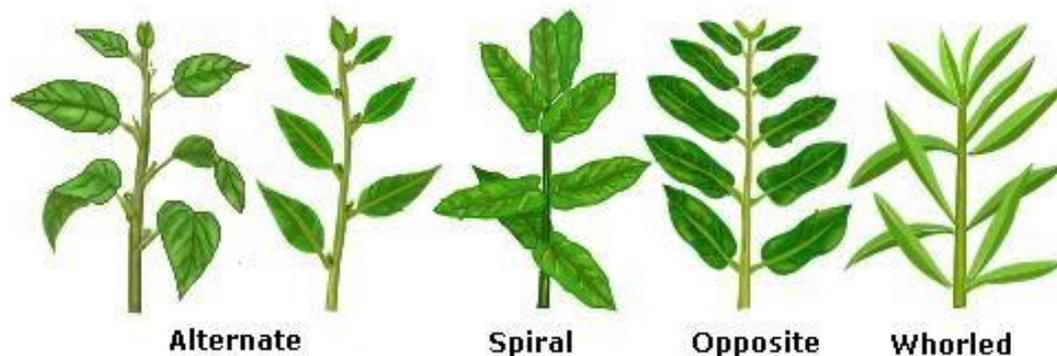
**Les épines**, très pointues, sont des feuilles ou des stipules modifiées. Chez certaines espèces, les piquants sont en réalité des tiges modifiées, formées à partir de bourgeons axillaires (cas de l'aubépine). Les aiguillons ne sont ni des feuilles, ni des tiges modifiées, mais des expansions des cellules épidermiques (cas de la tige de rosier).

**Les plantes grimpantes** forment des vrilles, structures filiformes qui s'enroulent autour d'un support. Ce sont typiquement des feuilles modifiées, comme dans le cas du pois. Mais, dans certains cas, elles correspondent à des tiges modifiées (exemple de la vigne).

**Les vrilles** qui dérivent de tiges produisent fréquemment des feuilles. Les vrilles effectuent un mouvement appelé thigmotropisme (du grec thigma, toucher).

### 1.1- Phyllotaxie : disposition des organes

La structure interne des tiges peut énormément varier. Il en est de même pour la disposition des feuilles le long de la tige. Les primordiums foliaires se forment sur les flancs du méristème apical caulinaire d'une façon ordonnée et selon un ordre déterminé, ou phyllotaxie (du grec taxis, ordre, arrangement, et phyllon, feuille), pour chaque espèce. Il existe trois principaux types de phyllotaxie, qui diffèrent par le nombre de feuilles et leur mode d'insertion au niveau d'un nœud : **alterne, opposée et verticillée**. Dans le cas d'une disposition alterne, une seule feuille est insérée au niveau d'un nœud et les feuilles sont disposées selon une spirale ou une hélice foliaire. Dans la disposition opposée, deux feuilles sont face à face, à chaque nœud. Dans une variante, chaque paire de feuilles est orientée comme la précédente. Dans une autre variante, la disposition opposée décussée, chaque paire de feuilles se met en place dans le plan perpendiculaire aux précédentes. Enfin, dans la disposition verticillée, trois feuilles ou plus forment une couronne à chaque nœud. Quelle que soit leur phyllotaxie, les feuilles doivent finalement être bien exposées au soleil afin d'effectuer facilement la photosynthèse



**Figure 26** : principaux types de disposition des feuilles