

L3 Écologie et Environnement

ÉCOPHYSIOLOGIE VÉGÉTALE



Conçu par

Dr BOUZID Salha

Cours Ecophysiologie végétale
3^{ème} écologie et environnement

Sommaire

Chapitre 1 : Organisation des Angiosperme

Chapitre 2 : Graine et germination

Chapitre 3 : Régulation du développement et croissance

Chapitre 4: Transport de l'eau et des minéraux chez les plantes

Chapitre 5 : Nutrition minérale

Chapitre 6 : Nutrition carbonée

Chapitre 7 : Hétérotrophie et relation entre plante

Chapitre 8 : Réponse des végétaux à l'environnement

2022

Dr BOUZID Salha

CHAPITRE 1 : ORGANISATION D'UNE PLANTE ANGIOSPERME**I. Rappel sur la cellule végétale**

1. Le plasmalemme appelé aussi membrane plasmique, délimite le cytoplasme de la périphérie de la cellule grâce à une perméabilité sélective par des ponts cytoplasmiques qu'on appelle: **plasmodesmes**

2. La paroi cellulaire

Ou apoplasme, composé par **la lamelle moyenne** est la partie **la plus externe** de la paroi cellulaire, elle est de nature pectique et constitue le ciment assurant la jonction entre les cellules, **la paroi primaire** formée de cellulose et hémicellulose, elle est **flexible et extensible** ce qui permet la croissance cellulaire et elle se dépose entre la lamelle moyenne et la membrane plasmique, et enfin **la paroi secondaire** est formée lors de **la différenciation** de la cellule, plus épaisse que la paroi primaire, se dépose entre la paroi primaire et la membrane plasmique, constituée de cellulose et hémicellulose ainsi que de la **lignine**, la **subérine** et la **cutine**.

3. Les vacuoles

Elles jouent un rôle de régulation des fonctions physiologiques, sa membrane est appelée le tonoplaste, elles peuvent stocker de l'eau, des éléments minéraux, des substances organiques et des pigments.

4. Les plastes

Ce sont des organites intracellulaires ovoïdes ou sphériques de quelques microns de long, délimités par une double membrane, dérivent des proplastes, elles peuvent synthétiser des pigments comme la chlorophylle ; ce sont **les chloroplastes**, ou les carotènes et les xanthophylles ; ce sont **les chromoplastes**, ou ils peuvent stocker de l'amidon ; ce sont **les amyloplastes**.

II. Les Angiospermes

1. Introduction

Les angiospermes sont des phanérogames (ou spermatophytes : plantes à fleurs ou à cône par opposition aux cryptogames où les organes de reproduction sont cachés) qui possèdent une graine enfermée dans un fruit (Angiosperme signifie «graine dans un récipient» en grec). Les angiospermes constituent un groupe que l'on oppose aux gymnospermes (qui signifie «graine sans enveloppe»).

2. Organisation des Angiospermes

Toutes les plantes à fleurs ont une même organisation générale : une tige portant des feuilles et ancrée dans le sol par un système racinaire. C'est ce que l'on nomme l'appareil végétatif. Il est néanmoins variable selon les espèces et selon les conditions du milieu.

3. L'appareil végétatif

3. 1. L'appareil racinaire

Qui est généralement souterrain, il peut être composé de différents types de racines, certaines plantes possèdent une racine principale très développée par rapport aux racines secondaires : c'est le pivot (on parle de système pivotant). D'autres ont en revanche de nombreuses racines de même importance, très ramifiées et dont on ne distingue pas la racine principale : il s'agit du système fasciculé. Enfin, il existe des végétaux qui stockent leurs réserves glucidiques dans leurs racines (carottes, radis...). Ces racines sont des organes de réserve : ce sont les racines tubérisées.

Le rôle de la racine est d'absorber l'eau et les sels minéraux par les poils absorbants, de fixer la plante au sol et d'accumuler les réserves nutritives.

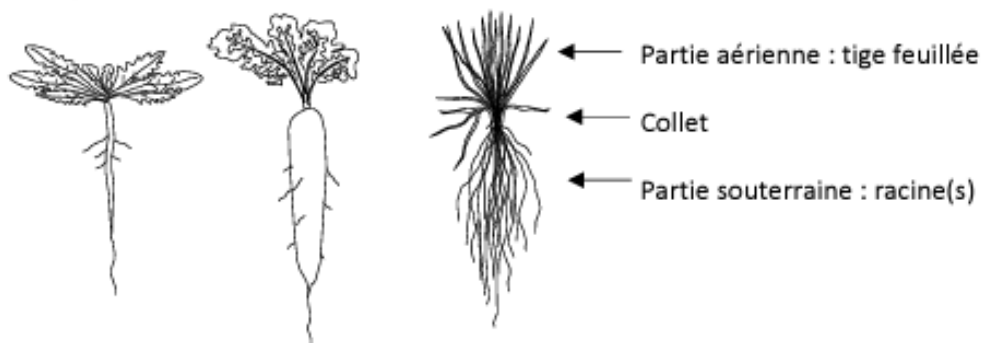


Figure 01 : les différents types de racines

3.2. L'appareil caulinaire

Généralement aérien, il est composé de tiges et de feuilles.

1. La tige

Elle sert de relais entre les racines et les feuilles dans l'échange de substances chimiques. La tige peut être souterraine, dans ce cas les feuilles sont réduites à l'état d'écaillés et la tige sert d'organe de réserve.

Le rôle de la tige est de soutenir les différents organes aériens, d'assurer la circulation de sève entre les racines et les autres organes de la plante, grâce à la présence de vaisseaux ainsi que d'accumuler des substances de réserve.

2. La feuille

Organe végétal fixé sur la tige par un pétiole mince qui porte le limbe, parcouru de nervures qui transporte la sève élaborée issue de la photosynthèse vers tous les autres organes végétaux. La feuille possède un rôle respiratoire : absorption d'O₂ oxygène et rejet de CO₂. Cette fonction est assurée par les stomates, elle s'effectue le jour et la nuit. Elle a aussi un rôle de transpiration par des gouttelettes d'eau.

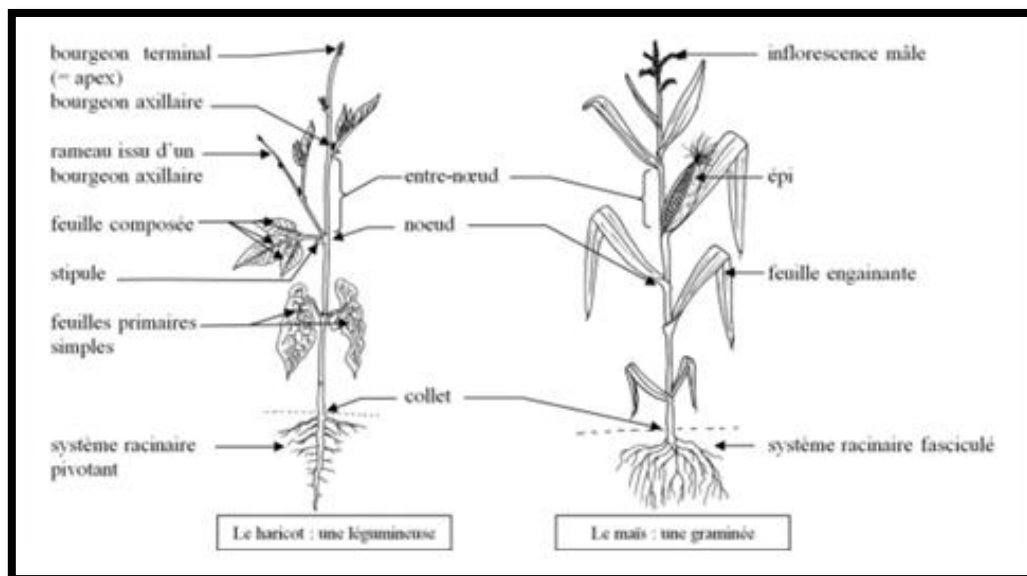


Figure 02 : Appareil caulinaire d'une dicotylédone et une monocotylédone

4. L'appareil reproducteur

Les plantes sont capables de se propager localement et tendent ainsi à envahir plus ou moins leur territoire.

Le plus souvent, la propagation se fait par multiplication végétative, c'est-à-dire par reproduction asexuée, tandis que la dissémination se fait par l'intermédiaire d'organes spécialisés, graines ou fruits, résultant de la reproduction sexuée et qualifiés globalement de semences. Le transport des semences sur de grandes distances est assuré par les vents, les eaux ou des animaux.

4.1. Reproduction sexuée

Les angiospermes regroupent les plantes à fleurs dont le(s) ovule(s) est (sont) enfermé(s) dans un ovaire.

La fleur type d'angiosperme est constituée d'un pédoncule, d'un réceptacle et de quatre verticilles ou groupes de pièces florales rangées en cercle ou en spirale.

Les quatre verticilles sont divisés en deux catégories:

(1) Le périanthe, ensemble de pièces stériles, ou enveloppe florale, composé de 2 verticilles :

a. Le calice, formé par l'ensemble des sépales, pièces souvent verdâtres d'aspect foliacé, situé à la base de la fleur.

b. La corolle, formée par l'ensemble des pétales souvent vivement colorés. Les pétales sont situés au-dessus des sépales.

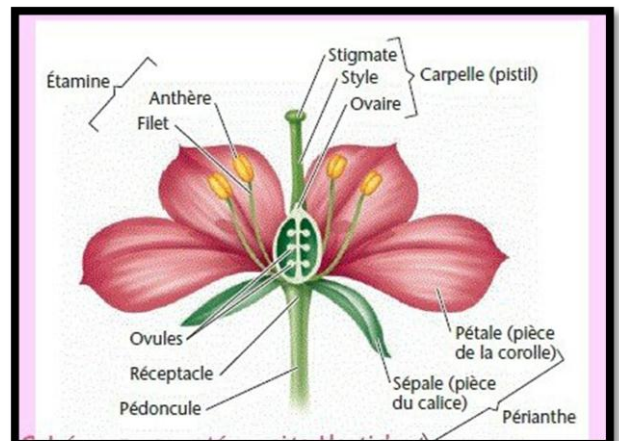


Figure 03 : Une fleur

(2) Les organes reproducteurs ou pièces fertiles directement impliqués dans la reproduction et composés également de 2 verticilles:

a. L'androcée, organe reproducteur mâle de la plante, formé par l'ensemble des étamines composés par un filet et une anthère libérant le pollen à maturité. L'anthère est constituée de 2 thèques comportant chacune 2 loges polliniques où est enfermé le pollen ;

b. Le gynécée ou pistil, organe reproducteur femelle de la plante, formé par un ou plusieurs carpelles libres ou soudés entre eux. Chaque carpelle est composé :

- d'une partie renflée et creuse (l'ovaire) renfermant l'(les) ovule(s) ;
- d'un style prolongeant l'ovaire ;
- d'un stigmate coiffant le style et permettant de retenir le pollen.

4.2. Reproduction asexuée

On qualifie souvent de **multiplication végétative** ce type de **reproduction asexuée** car elle est réalisée à partir de fragments spécialisés ou non de l'**appareil végétatif** (qui comprend les racines et la tige feuillée).

La multiplication végétative est un processus de reproduction qui permet d'obtenir un individu génétiquement identique à l'original qui se forme à partir d'un organe de la plante "mère", sans intervention de structures reproductrices spécifiques. Elle permet une reproduction identique de l'appareil végétatif, d'où son nom.

1. La Multiplication végétative naturelle

- **Les drageons**

Le drageon est une pousse se développant à partir d'un bourgeon placé sur une racine d'un arbre ou d'un arbuste et apparaissant à une distance plus ou moins éloigné du pied mère. Lorsqu'il est séparé, il devient rapidement autonome et se comporte comme le végétal d'origine

- **Les rejets**

Un rejet est une pousse jeune issue d'un bourgeon adventif développé sur un tronc ou une branche (les grenadiers, les lilas, ou bien même les bananiers).

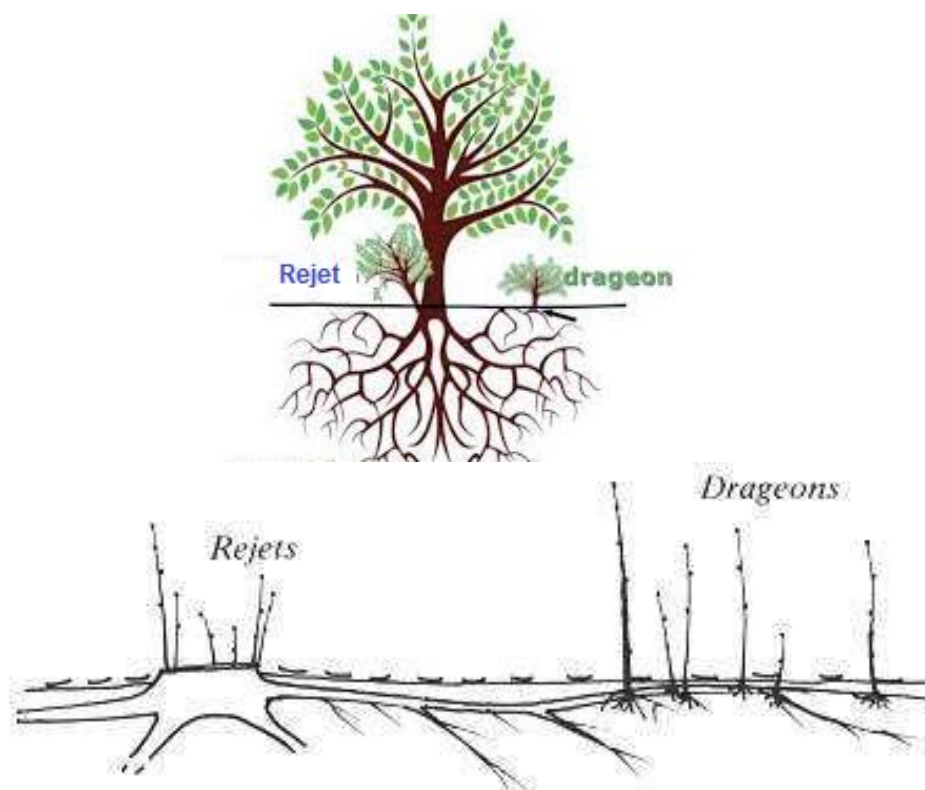


Figure 04 : schéma de rejets et de drageons

• **Les bulbilles et les bulbes**

Les bulbilles sont des bourgeons dormants, charnus, transformés en véritables petits bulbes riches en réserves. Ils restent à l'état de vie ralentie tant qu'ils sont portés par la plante qui les a formés. Une fois tombés sur le sol, chacun d'eux se développe en un nouvel individu.

Les bulbes sont des organes végétaux sous-terrains remplis de réserves nutritives permettant à la plante de reformer chaque année ses parties aériennes, ils peuvent être des bulbes souterrains, des bulbilles autour du bulbe aérien ou des bulbilles à la place d'une partie des fleurs de l'inflorescence ou de toutes les fleurs de l'inflorescence

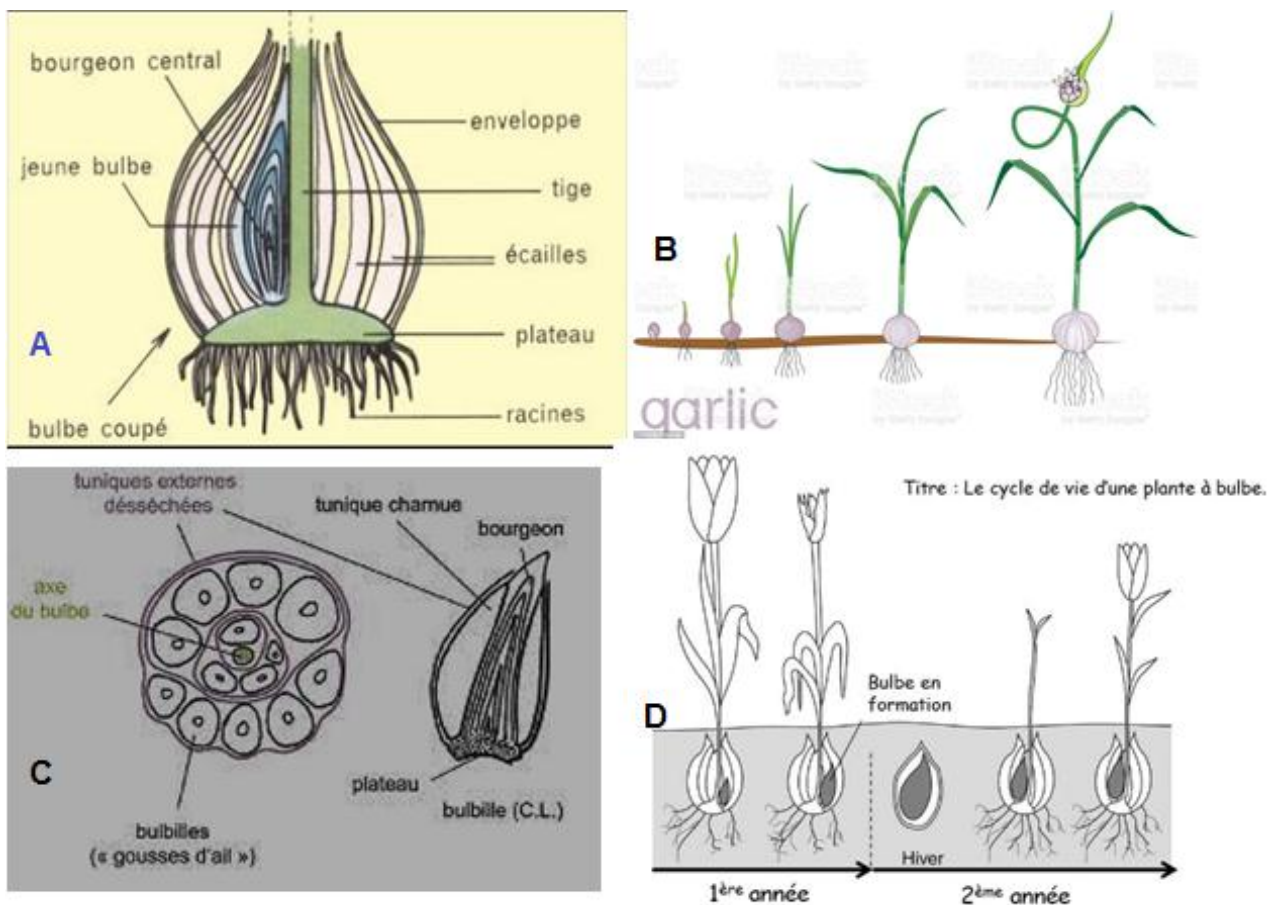


Figure 05 : A : Coupe longitudinale d'un bulbe d'oignon, B : Bulbille d'ail, C : Gousse et bulbille d'ail, D : Bulbe de tulipe

- **Les tubercules**

Les tubercules sont les organes renflés dans lesquelles sont accumulées des réserves organiques, il existe les tubercules racinaires comme la carotte qui participent rarement à la multiplication végétative, alors que les tubercules caulinaires comme la pomme de terre (*Solanum tuberosum*) et les topinambours (*Heliantus tuberosus*) peuvent produire, par le biais de leur bourgeon apical, des stolons souterrains ou des rhizomes qui produisent à leur tour de nouveaux petits tubercules et une plante feuillée.

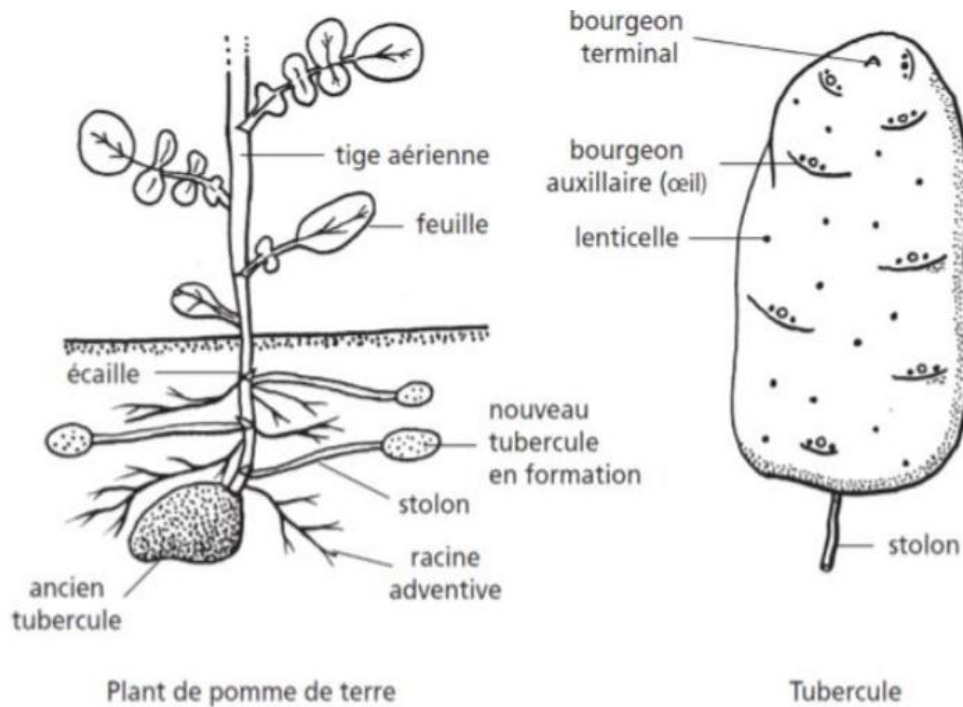


Figure 06 : Plant et tubercule de pomme de terre

2. La multiplication végétative artificielle

C'est un type de reproduction végétale qui implique une intervention humaine, en utilisant des méthodes sont utilisées par de nombreux agriculteurs et horticulteurs pour produire des cultures plus saines avec des qualités plus souhaitables.

- **Le bouturage**

Le bouturage est une méthode de multiplication des plantes par clonage naturel ou artificiel : il consiste à donner naissance à une nouvelle plante à partir d'un morceau de plante, comme un rameau, une feuille, une racine ou encore une tige. C'est la méthode de reproduction la plus simple et la plus abordable à réaliser.

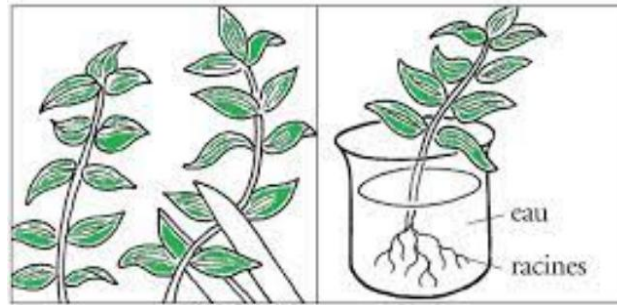


Figure 07 : Exemple de bouturage

- **Le marcottage**

C'est une méthode simple et moins coûteuse. Il consiste à développer des racines sur la partie de la tige enterré (plantes grimpantes, arbustes). Comme celle du fraisier (stolon ou tige horizontale). Ces plantes ont la capacité de produire de longues tiges comprenant des jeunes plants appelés stolons (fraisier). Ces petits clones ne comportent pas de racines et se nourrissent grâce au pied mère via la tige qui les relie. Lorsque les stolons entrent en contact avec de la terre, ils développent des racines (la rhizogénèse). Une fois le stolon bien implanté, la tige qui le relie au pied mère meurt et il devient une plante autonome.

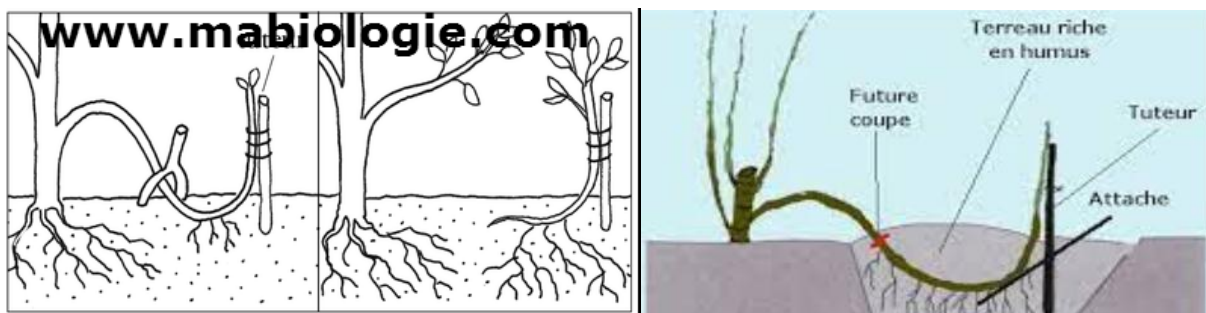


Figure 08 : Le marcottage

- **Le greffage**

Le greffage est une opération qui consiste à souder une portion de végétal (rameau ou bourgeon) sur un autre végétal qui lui servira de support nourricier.

Le but du greffage est de propager rapidement les diverses qualités de la variété d'où est tiré le greffon, le sujet ou porte-greffe conservant, vis-à-vis du sol, les avantages qui lui sont propres. LE PORTE GREFFE C'est l'arbre qui supportera la greffe, donc la partie de tige ou l'oeil d'un autre arbre (ou GREFFON), qui sera greffé sur lui. LE GREFFON C'est la partie de tige ou l'oeil de la variété d'arbre choisie.

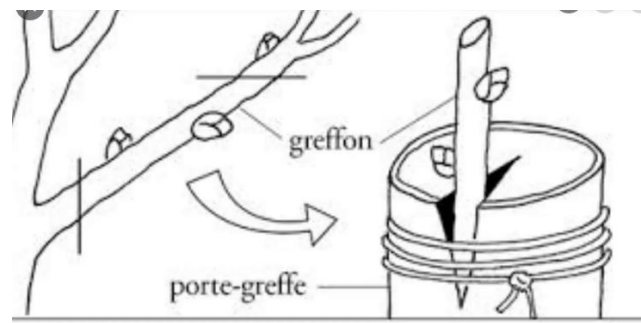


Figure 09 : Le greffage

- **Micropropagation par culture in vitro**

L'utilisation de la culture in vitro de végétaux aussi appelée micropropagation s'est généralisée à la fin des années 1960. Son principe repose sur la capacité des cellules végétales, dans les conditions adéquates, à régénérer une nouvelle plante. Elles sont alors cultivées en salle climatisée, dans des contenants stériles comportant un milieu de culture synthétique. Ce milieu leur apporte éléments minéraux, sucre, vitamines et hormones végétales : la plante n'a plus qu'à se développer !

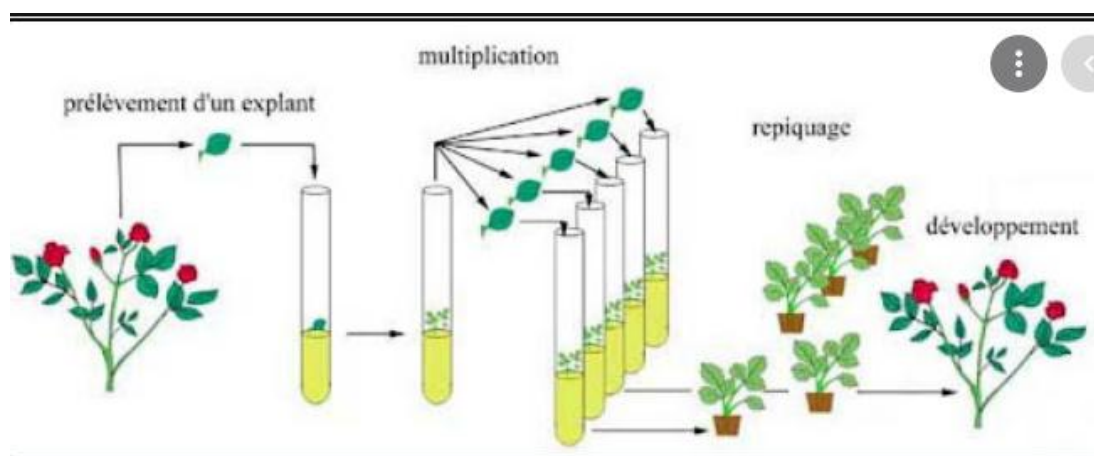


Figure 10 : La micropropagation

CHAPITRE 2 : GRAINE ET GERMIANTION**I. La graine****1. La composition de la graine**

Typiquement, toutes les graines comportent un embryon et des réserves, le tout étant enveloppé par un ou plusieurs téguments.

Un embryon est constitué d'une plantule portant un, deux ou plusieurs cotylédons, selon les groupes de plantes à fleur. La plantule est elle-même formée d'une radicule, à l'origine de la racine, d'une tigelle, à l'origine de la tige, sur laquelle sont fixés le ou les cotylédons et d'un bourgeon terminal, qualifié de gemmule.

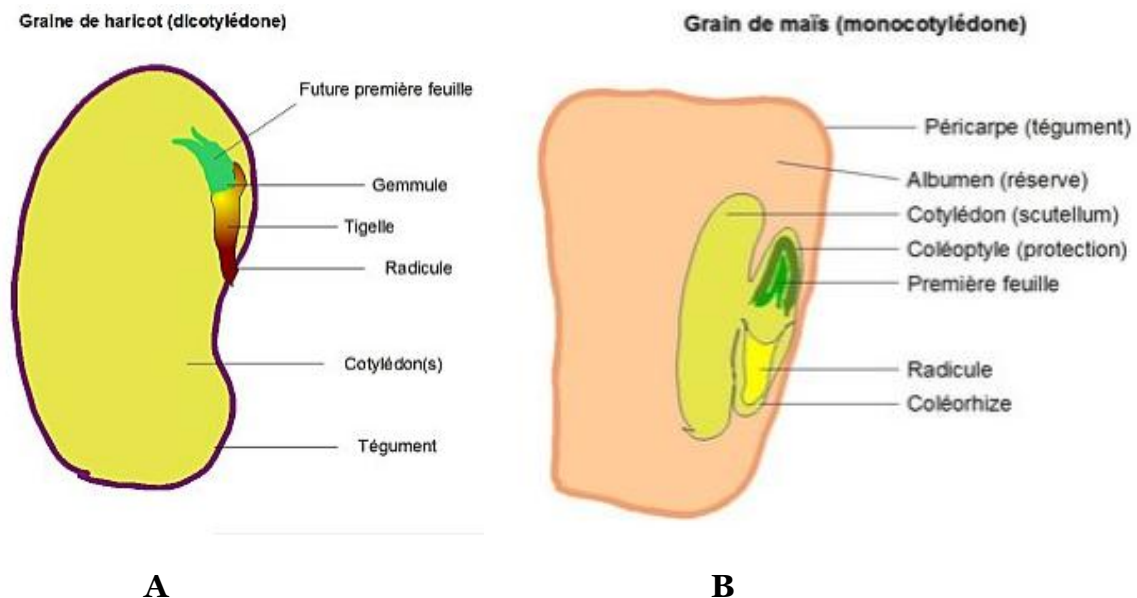


Figure 11 : A : graine dicotylédone, B : graine monocotylédone

Les plantes dont les graines ne comportent qu'un seul cotylédon sont qualifiées de monocotylédones et sont également caractérisées par les nervures parallèles de leurs feuilles, comme chez les graminées (blé, maïs, riz) ou les liliacées (lis, tulipe).

Celles dont les graines comportent deux cotylédons sont qualifiées de dicotylédones et sont également caractérisées par les nervures ramifiées de leurs feuilles. C'est dans ce groupe que l'on trouve la plus grande diversité d'espèces.

2. La formation des graines

La graine, organe caractéristique de la reproduction sexuée des plantes à fleur, est le résultat de la double fécondation d'un ovule par un grain de pollen produisant, d'une part, une cellule-œuf à l'origine d'un embryon et, d'autre part, un tissu de réserve, qui peut être un albumen, un périsperme ou bien des cotylédons.

Après la fécondation, la fleur se transforme, les ovules et la paroi de l'ovaire grossissent. Ces transformations aboutissent à la formation d'un fruit contenant des graines généralement libérées à la fin de l'été, elles permettent à la fois la dissémination à distance des plantes et le passage de la mauvaise saison.

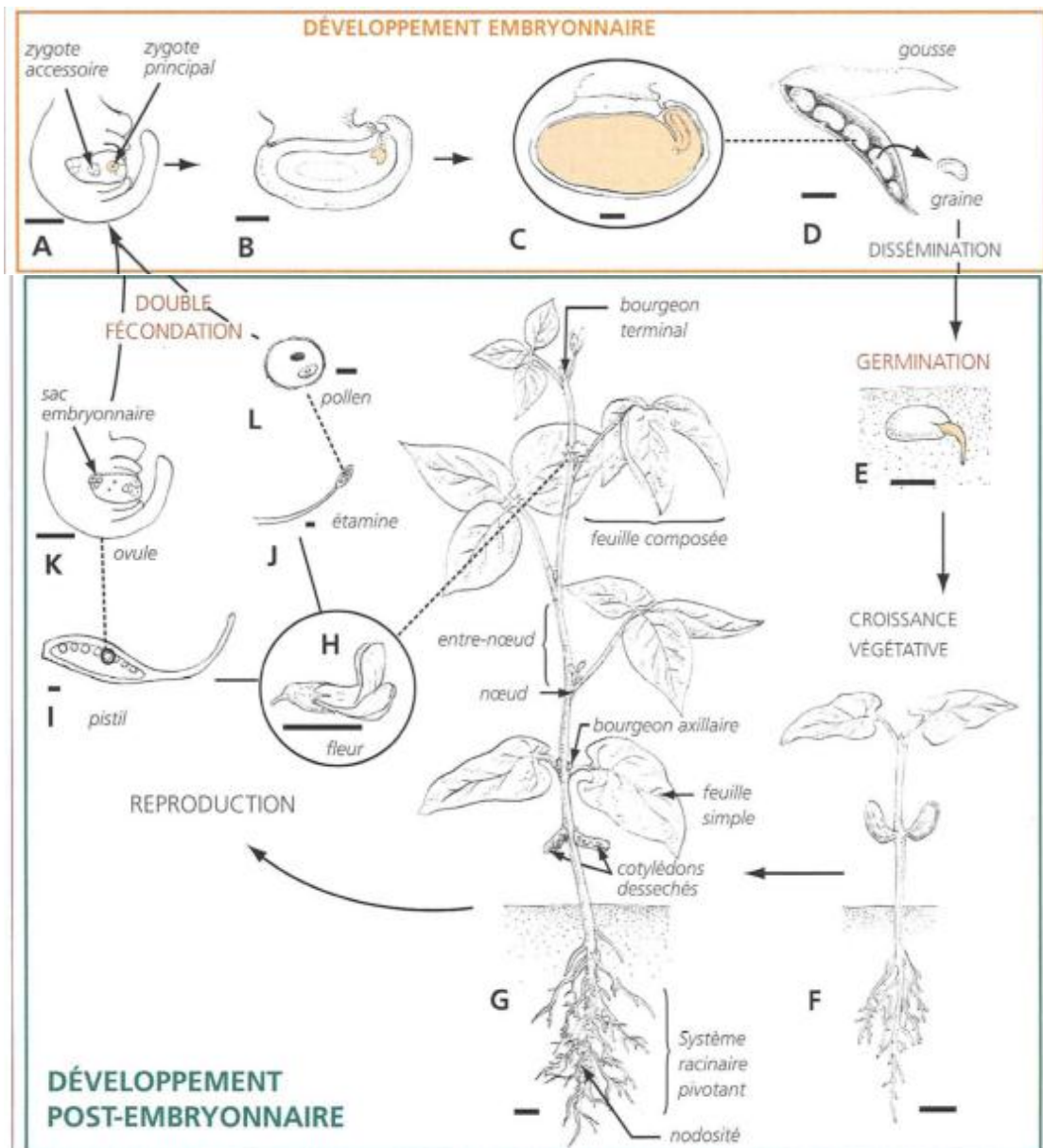


Figure 12 : la formation de la graine

3. La germination

La germination correspond à l'étape par laquelle une semence en vie ralentie "se réveille" et donne naissance à une plantule, ce passage met en jeu des mécanismes physiologiques complexes qui vont du début de l'hydratation de la semence à la croissance de la radicule.

La germination comprend trois phases successives ; la phase d'imbibition, la phase de germination stricto sensu et la phase de croissance. Jusqu'à la fin de la phase de germination stricto sensu, la semence peut être déshydratée sans être tuée, mais lorsque la radicule a commencé sa croissance, la déshydratation est fatale.

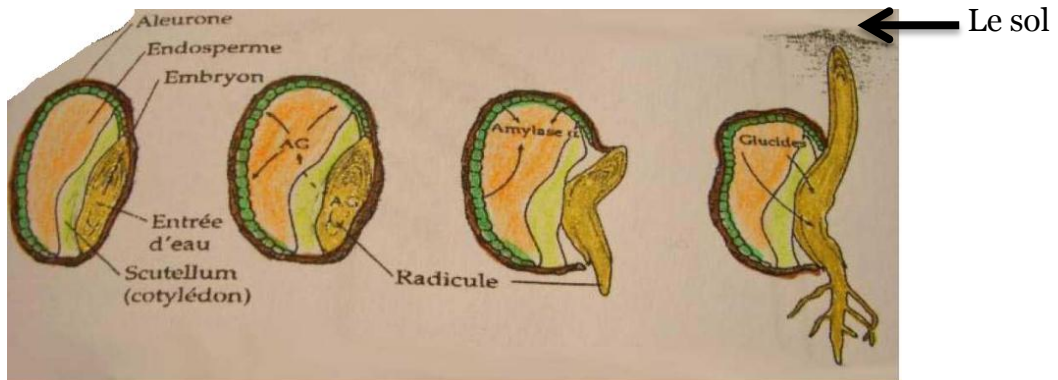


Figure 13 : la germination de la graine

4. Les différents types de germination

Toutes les graines ne germent pas de la même manière ;

4.1. Germination d'une monocotylédone

La radicule sort de la graine après avoir percé le coléorhize ; le coléoptile de son côté se dirige vers la surface avec en son sein la feuille qu'il protège des agressions du sol. Une fois à l'air libre, il arrête sa croissance, et la feuille qui en sort se développe.

Le cotylédon, ici appelé en réalité le scutellum, reste dans la graine; son rôle était de nourrir le coléoptile pendant son développement. La première feuille donnera naissance aux suivantes.

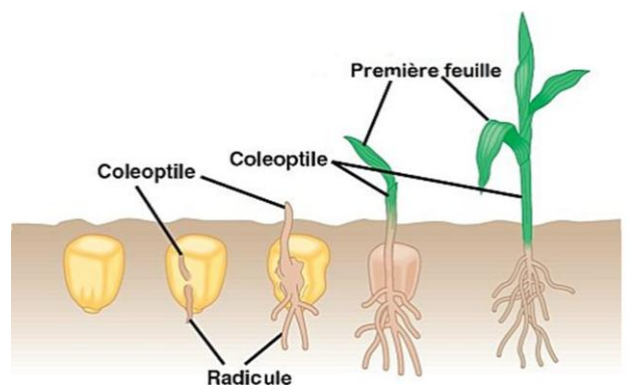


Figure 14 : Germination de graine monocotylédone

4.2. Germination d'une dicotylédone

La radicule sort de la graine et se dirige vers le bas pour former les futures racines ; elle se prolonge vers la graine par la tigelle devenue hypocotyle (signifie : sous le cotylédon) ; dans le cas représenté dans la fig.14, cet hypocotyle se développe et tire avec lui vers la surface le reste de la graine, principalement constituée des cotylédons. Une fois à l'air libre, les cotylédons s'étalent et rapidement, la première vraie feuille apparaît.

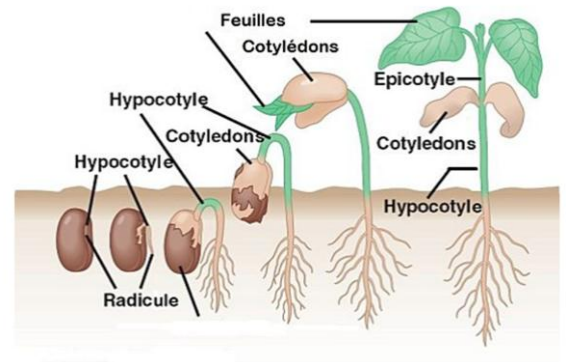


Figure 15 : Germination de graine dicotylédone

La principale différence entre ces deux germinations réside dans le fait que la monocotylédone produit un coléoptile, sorte de fourreau qui protège la première feuille jusqu'à l'air libre.

4.3. Germination hypogée ou épigée

Les schémas ci-dessus nous montrent que les cotylédons du haricot sortent à l'air libre alors que le cotylédon du maïs reste en terre... pourtant, ce n'est pas cette différence qui est mise en avant pour qualifier les différences en terme de germination et pour cause : la germination des dicotylédones peut être aussi hypogée, c'est à dire que les cotylédons peuvent parfois aussi rester sous le niveau du sol. Pour cette raison, nous devons encore différencier les germinations hypogées (lorsque les cotylédons restent sous le niveau du sol) et épigées (lorsque, comme dans notre exemple du haricot, les cotylédons se développent à l'air libre et donc au-dessus du niveau du sol).

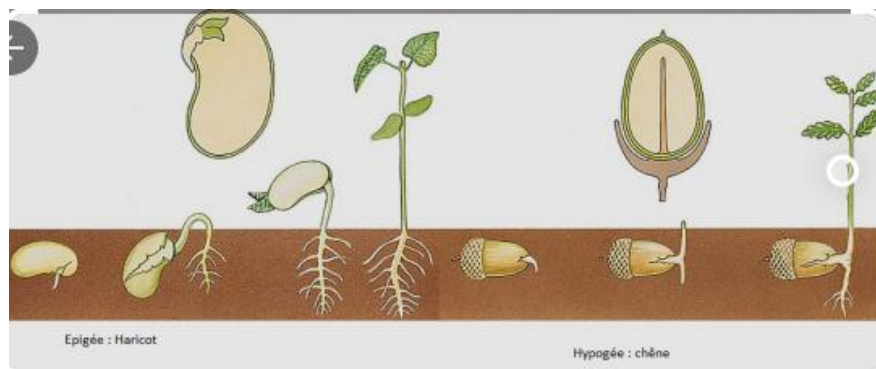
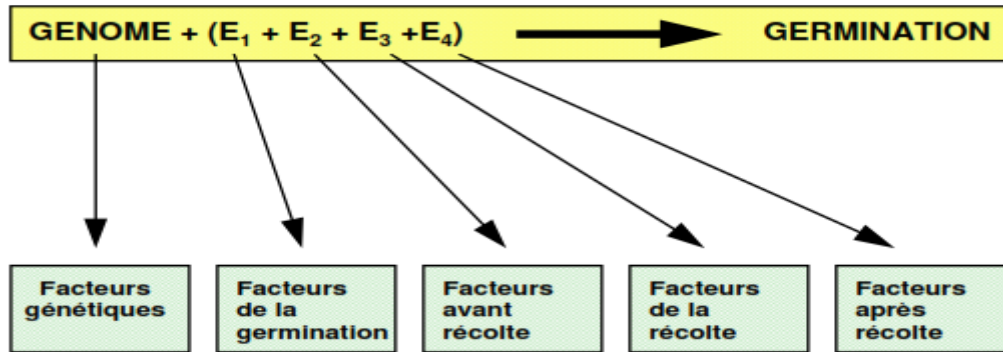


Figure 16 : Germination hypogée et épigée

5. Les facteurs affectant la germination

L'ensemble des facteurs qui interviennent au moment de la germination mais aussi tout au long de la vie d'une semence, depuis sa création sur la plante mère jusqu'à sa reprise d'activité, exerce une influence sur le comportement de cette semence lorsqu'elle est mise à germer.



5.1. Facteur génétique

L'espèce, la variété, la taille ou le poids des semences sont quelques facteurs génétiques qui peuvent avoir une influence sur la qualité germinative des semences.

5.2. Les facteurs internes de la graine

- **La maturité**

Toutes les parties constitutives de la semence : enveloppes séminales (téguments + péricarpe) et amande (tissus de réserve + embryon), soient complètement différenciées morphologiquement. Cependant, la graine peut être dormante.

- **La longévité**

La durée maximale qu'une graine peut conserver sa capacité de germer, quand l'ensemble des conditions sont réunies, elle varie considérablement selon les espèces. La conservation du pouvoir germinatif dépend de cette longévité qui définit trois types de semences : **Graines microbiontiques** dont la longévité peut être de quelques jours (cas du saule ou du bouleau), **Graines macrobiontiques** à l'opposé du cas précédent, elles ont une longévité de plusieurs années (certaines légumineuses et céréales), **Graines mésobiontiques** dont la durée de vie est comprise entre un et dix ans (cas général).

5.3. Les facteurs externes de l'environnement

- L'eau doit être disponible dans le milieu extérieur en quantités suffisantes
- L'oxygène est indispensable à la germination, d'où l'importance de l'aération des sols pour la levée des semis.
- La température intervient directement, en agissant sur la vitesse des réactions Biochimiques, elle doit être optimale pour stimuler la germination et éviter les températures trop basses.
- L'action de la lumière peut être soit nécessaire, soit défavorable à la germination selon la photosensibilité des espèces.

5.4. Les facteurs avant récolte

Ils correspondent, entre autres :

- au climat (température, pluie et lumière) ;
- aux techniques culturales (fumure, produits phytosanitaires...) ;
- à la position des semences sur la plante mère ;
- à l'âge de la plante mère.

5.5. Les facteurs de la récolte

Le stade de maturité des semences au moment de leur récolte est important car il intervient principalement dans la germination donc la date de récolte est importante.

5.6. Les facteurs après récolte

Tous les traitements auxquels les semences sont soumises après leur récolte comme le séchage, le nettoyage et le.

- L'âge des semences peut aussi modifier les conditions nécessaires à leur germination, notamment les conditions thermiques.
- Les facteurs de la germination, c'est à dire ceux qui interviennent au moment de la germination, sont nombreux. Les plus couramment étudiés sont la température, l'oxygène et la lumière.
- Les inhibiteurs de germination, le substrat (profondeur du semis et granulométrie) et les conditions des tests au laboratoire (pH du milieu, densité de semences) sont aussi des facteurs qui peuvent influencer la qualité germinative des semences.

6. La dormance

Les graines restent dans un état de dormance – un blocage temporaire de leur croissance, un arrêt momentané du développement– tant que les conditions environnementales ne sont pas idéales pour germer, et des fois même si elles sont placées dans de bonnes conditions de germination, elles ne germent pas, ce qui est dû à plusieurs types de dormances dont les plus importants sont l'inhibition tégumentaire et la dormance embryonnaire.

7. Les types de dormance

7.1. Les inhibitions tégumentaires

Les enveloppes séminales qui entourent l'embryon constituent des obstacles plus ou moins efficaces au passage de l'eau ou de l'oxygène et leur action sur la germination peut être très importante.

- **L'imperméabilité à l'eau**

Il existe des semences qui ne peuvent pas germer parce que leurs enveloppes ne laissent absolument pas passer l'eau. En milieu humide, ces semences ne gonflent pas, restent sèches et résistent à l'écrasement. C'est pourquoi elles sont appelées semences dures. Les espèces à semences dures sont couramment rencontrées chez les Légumineuses (Césalpiniées, Mimosacées et Papilionacées).

- **L'imperméabilité à l'oxygène**

Cela est dû au fait que les téguments sont peu perméables à l'oxygène.

- **Inhibiteur chimique**

Les enveloppes (téguments de la graine ou péricarpe) contiennent très fréquemment des inhibiteurs de germination ou de croissance, comme l'acide cyanhydrique, l'ammoniac, l'éthylène et d'autres dérivés soufrés, l'acide abscissique ainsi que les phénols.

7.2. Dormance embryonnaire

Une dormance embryonnaire a par définition son origine dans l'embryon lui-même, c'est-à-dire qu'elle n'est pas levée par un traitement sur les enveloppes et qu'elle se manifeste même si l'embryon est isolé.

- **Dormance primaire**

Elle s'installe lors de la maturation de la graine et empêche la sortie de la radicule.

A cet égard, on peut citer :

- _ Les dormances photolabiles qui sont levées par la lumière
- _ Les dormances scotolabiles qui sont levées par l'obscurité.
- _ Les dormances xérolabiles se lèvent par séjour prolongé en atmosphère sèche
- _ Les dormances psychrolabiles sont par contre levées par le froid humide.

- **Dormance secondaire ou induite**

Après la levée de dormance, généralement la germination se poursuit sans problèmes, et des fois il peut persister ou s'installer une dormance secondaire, qui nécessitera une nouvelle levée de dormance.

Ainsi il subsiste parfois une dormance de l'épicotyle (ou de la gemmule) ce qui empêche la germination, il faut alors parfois deux hivers successifs pour lever la dormance secondaire.

8. Levée de la dormance des graines

8.1. La vernalisation

L'exposition des graine au froid, il existent des graines qui ne germent pas sauf si elles n'ont pas été exposées au gel, car elles contiennent une hormone qui les empêche de se développer, et cette hormone ne peut être rendue inactive que par le gel.

8.2. La Stratification

Si l'on désire faire germer ces graines, il faudra les stratifier, c'est à dire les disposer dans de gros pots en terre cuite par couches successives séparées par des lits de sable, les graines seront semées au printemps.

8.3. La pré-germination

On pratique en serre la pré-germination, c'est à dire que l'on les trempe 2 à 3 jours dans de l'eau chaude afin d'en altérer l'enveloppe et donc d'en permettre la germination.

8.4. La scarification

Scarifier des semences, c'est en altérer l'enveloppe dure à l'aide de limes ou de papier de verre ou encore de machines ...afin de permettre l'humidité d'y pénétrer et donc de déclencher la germination.

CHAPITRE 3 : REGULATION DE DEVELOPPEMENT ET CROISSANCE

Introduction

La croissance et le développement d'une plante représentent les transformations quantitatives et qualitatives qui accompagnent le parcours des différentes étapes de sa vie, ce qui constitue le cycle de développement ;

- Germination et émergence des plantules
- Période de croissance végétative
- Phase de transition florale
- Période de croissance reproductive
- Sénescence progressive des organes et maturité du produit récoltable

L'ensemble de ces étapes de croissance et de développement représente le cycle biologique naturel de la plante, dans le cas d'une plante annuelle, le cycle biologique dure une année maximum et se termine par la mort de tous les organes, lorsque la plante est pluriannuelle, on observe une succession d'états végétatif et reproducteur qui alternent. Cette alternance assure la pérennité de la plante.

La dissémination des plantes se fait par graines, par propagation végétative ou par les deux voies à la fois.

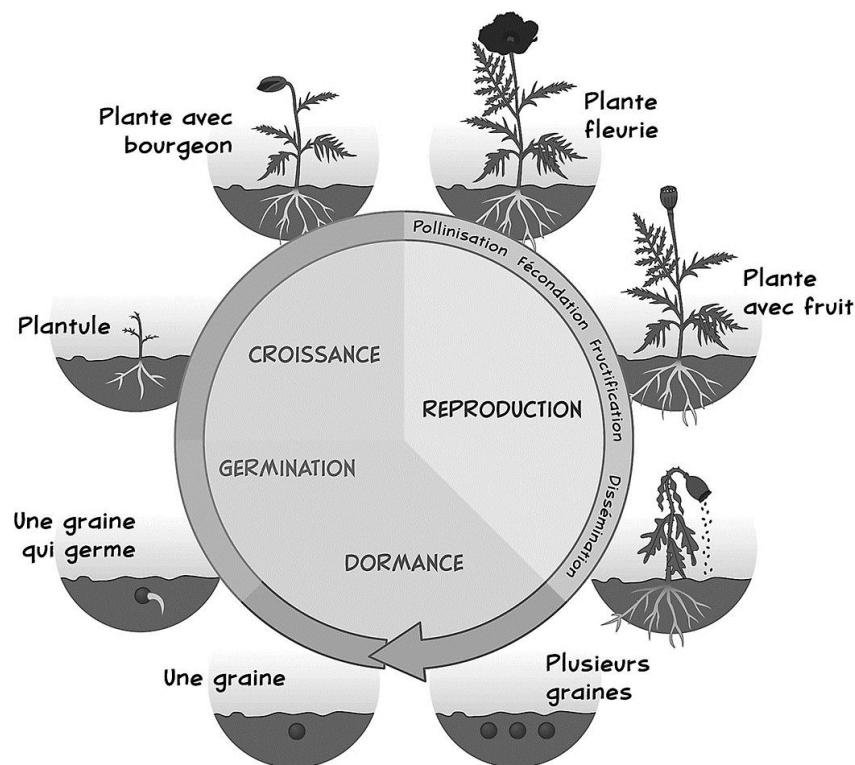


Figure 17 : Le cycle de vie des plantes

PARTIE A : La croissance et le développement

I. La croissance

La croissance végétale d'une plante est l'ensemble des changements quantitatifs irréversibles qui se produisent au cours de son cycle de vie.

La croissance est l'augmentation continue de toutes les dimensions de la plante : longueur, largeur, diamètre, surface, volume et masse.

1. La croissance cellulaire

1.1. La mérése

C'est une prolifération cellulaire qui consiste en une succession de divisions cellulaires ou mitoses, qui s'opèrent dans des régions localisées : les méristèmes

1. Les Méristèmes Primaires

Le méristème est un tissu végétal composé d'un groupe de cellules indifférenciées, à activité mitotique importante, responsables de la croissance en longueur indéfinie de la plante.

Les méristèmes primaires apparaissent en premier au cours de l'embryogénèse, et donnent les tissus primaires.

Les cellules des méristèmes primaires se localisent sur l'extrémité des tiges (méristème caulinaire histogène et organogène) et sur l'extrémité des racines (méristème racinaire, histogène)

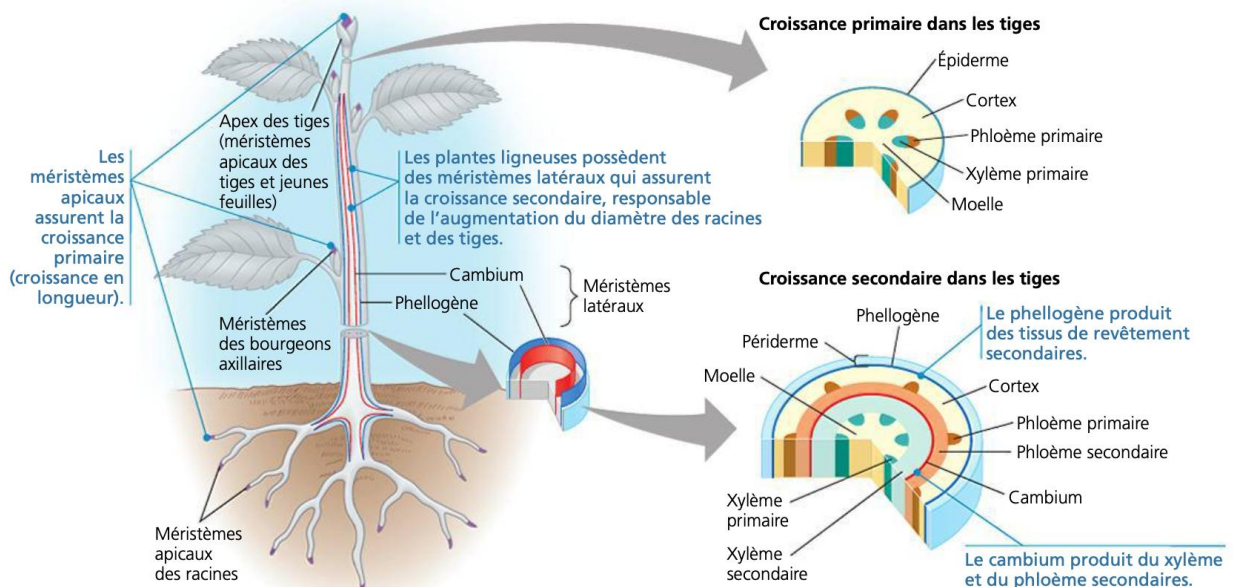


Figure 18 : La croissance primaire et secondaire

2. Les méristèmes secondaires

Les méristèmes secondaires sont à l'origine des tissus secondaires, apparaissant plus tard à maturité.

Les méristèmes secondaires permettent une croissance en épaisseur autour de la tige et des racines des Angiospermes Dicotylédones, les Monocotylédones n'en possèdent pas.

- **La zone génératrice libéro-ligneuse, ou cambium**, se localise entre le xylème et le phloème, il est responsable de la formation des tissus conducteurs secondaires ; du xylème secondaire (le bois) vers l'intérieur et du phloème secondaire (le liber) vers l'extérieur
- **La zone génératrice subéro-phellodermique, ou phellogène**, responsable de la formation des tissus protecteurs secondaires, il se trouve dans l'écorce, il est responsable de l'apparition du liège (suber) vers l'extérieur et du phelloderme vers l'intérieur.

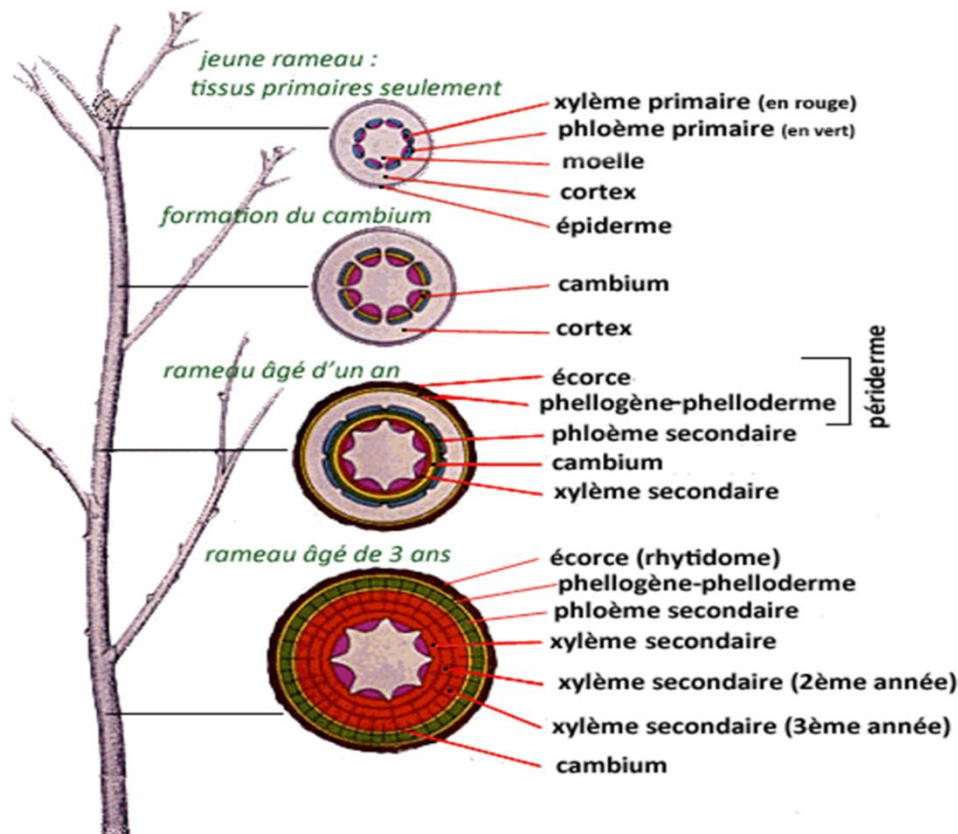


Figure 19 : La croissance secondaire dans une tige

1.2. L'auxèse

C'est une augmentation des dimensions des cellules,. Elle peut être

- Isodiamétrique : précise une croissance à diamètres égaux quelque soit la forme (circulaire, carrée ou rectangulaire), exemple du parenchyme de la feuille, de l'écorce ou des organes de réserve.
- Longitudinale (élongation) : cas le plus général.
- Radiale : croissance en épaisseur.

1.3. La différenciation cellulaire

Ce terme désigne l'ensemble des évènements qui transforment une cellule méristématique en cellule mature, de ce fait, elle acquiert la structure et la fonction qui seront les siennes, à l'état mature.

C'est le processus qui permet aux cellules d'acquérir des fonctions physiologiques particulières, différentes selon le tissu dans lequel elles se trouvent.

La différenciation correspond au changement qualitatif progressif des cellules dans le sens d'une *specialisation* pour former les organelles et produits cellulaires.

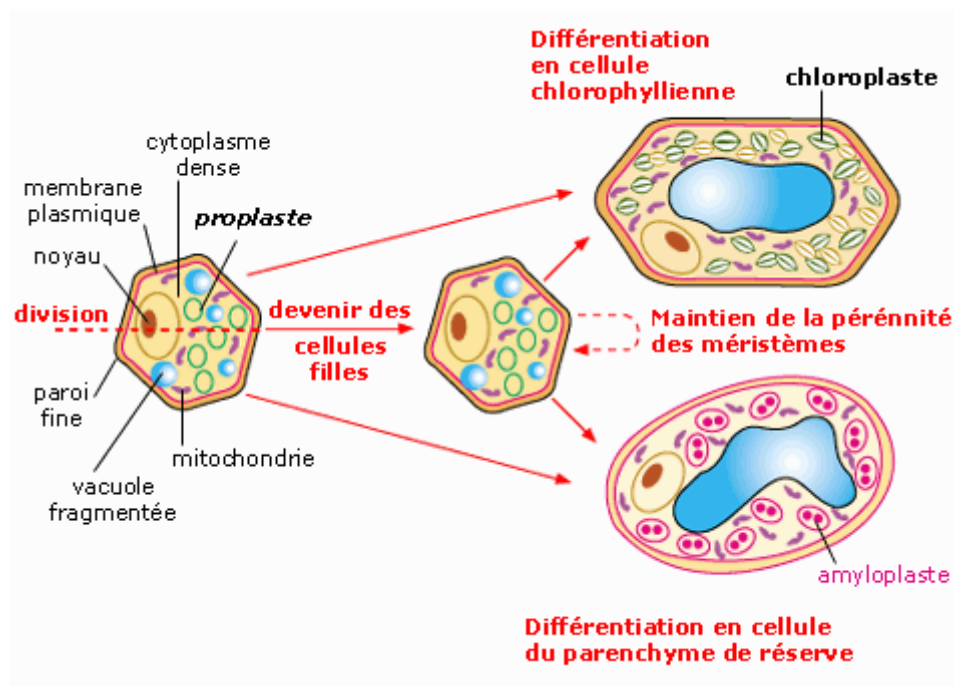


Figure 20 : La différenciation cellulaire

II. Le développement

C'est l'ensemble des changements qualitatifs dans la formation d'une plante. Il consiste en la mise en place des différents organes du végétal, appelée organogenèse, qui comprend la **Rhizogenèse** (Racines) et la **Caulogénèse** (Tiges).

On distingue la phase de développement végétatif et la phase de développement reproducteur. Durant la première phase et après la germination, la plante passe de l'état juvénile à un état où elle se ramifie et multiplie ses organes végétatifs (feuilles, tiges, racines). La phase de développement reproducteur est marquée par la fabrication d'organes reproducteurs des fleurs.

1. Caulogénèse

Pendant la formation de la graine, l'embryon porte une petite tige (tigelle) pourvue d'une ébauche de bourgeon terminal (gemmule), ainsi qu'une radicule, responsable de l'apparition de la partie racinaire.

1.1. La tige

La tige est constituée d'un empilement d'unité appelé phytomère, ces unités sont formées d'entre-nœuds et de nœuds (départ des feuilles). On retrouve un bourgeon axillaire à la base de chaque feuille.

L'organisation des parties aériennes dépend du fonctionnement des bourgeons, en effet, chez les plantes pérennes, l'activité des bourgeons se fait tout au long de la vie de la plante. En ce qui concerne le bourgeon apical, il éclot chaque printemps assurant la croissance et la ramification de la tige.

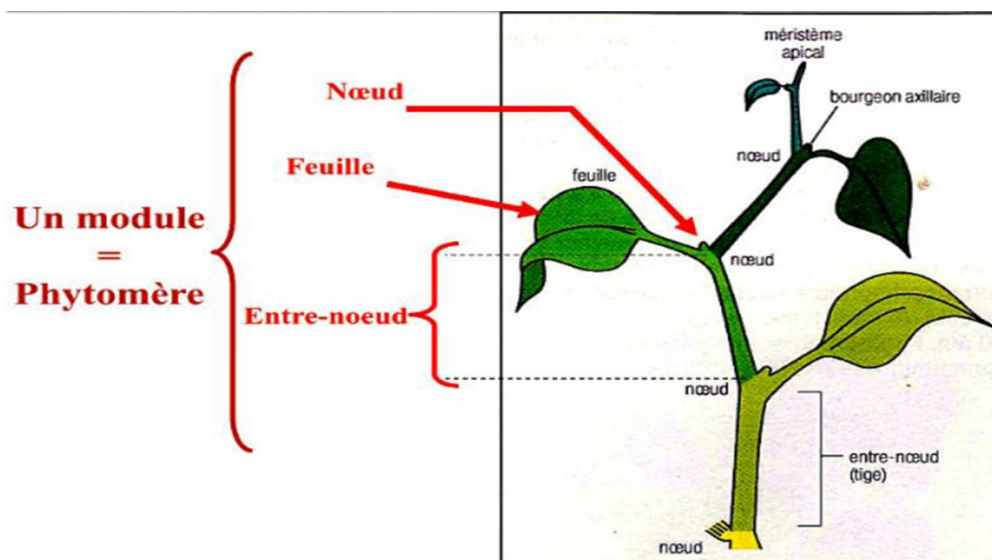


Figure 21 : L'édification de la partie aérienne

1.2. La feuille

Les feuilles sont insérées au niveau des nœuds qui comportent un bourgeon axillaire. C'est à partir de celui-ci que se développent les ramifications latérales.

L'édification des feuilles et des segments foliaires correspondants revient essentiellement à la zone périphérique (ZP) du bourgeon. Elle implique des changements dans la fréquence et la polarité des divisions cellulaires.

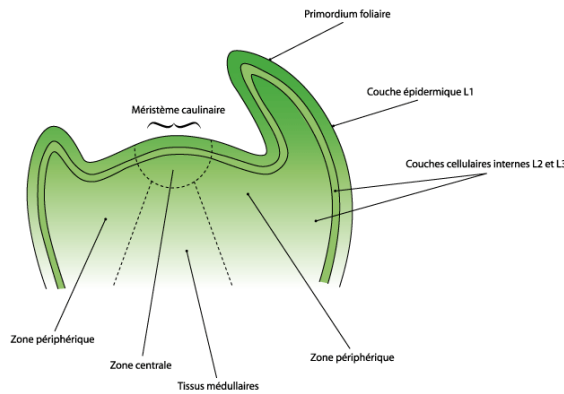


Figure 22 : la zone périphérique du méristème caulinaire

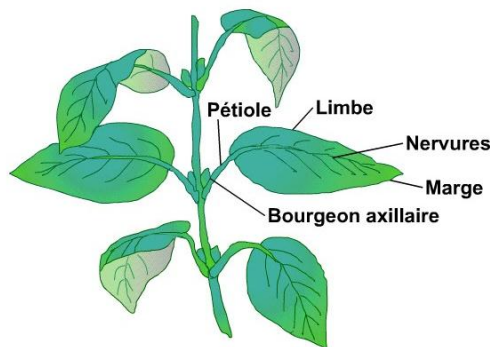


Figure 23 : La formation des feuilles

- **Phyllotaxie**

La phyllotaxie est l'ordre dans lequel sont implantés les feuilles ou les rameaux sur la tige d'une plante.

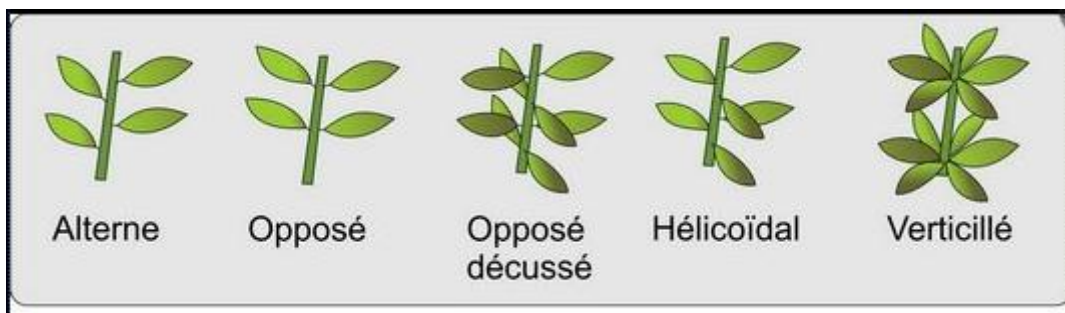


Figure 24 : Les différentes dispositions des feuilles

1.3. La rhizogénèse

La croissance en longueur de la racine repose sur une intense activité mitotique dans le méristème racinaire situé près de l'apex ainsi que sur l'élongation des cellules nouvellement produites dans la région séparant l'apex de la zone pilifère.

La formation des racines est conditionnée par plusieurs facteurs limitants: disponibilité en sels minéraux, en sucres, température, hormones (synergiques : auxines ; antagonistes : gibbérellines, cytokinines), lumière et développement foliaire.

Le renouvellement des racines est similaire à la chute périodique des feuilles, la mortalité et le renouvellement cyclique des racines fines est un processus naturel qui intervient constamment au cours du développement de l'arbre. Les racines fines ont une longévité le plus souvent inférieure à un an.

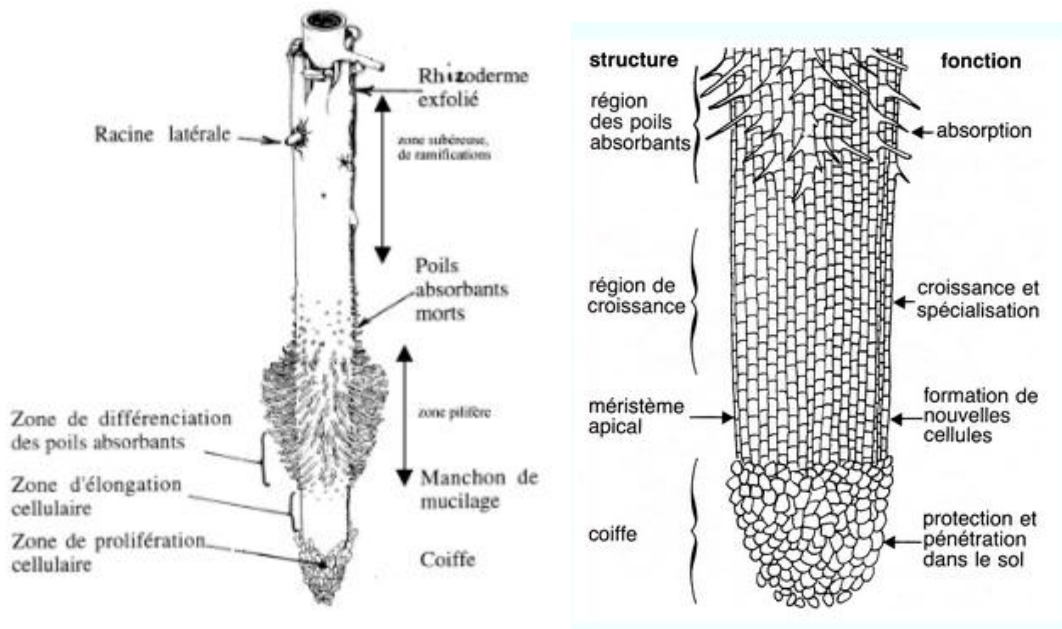


Figure 25 : Les différentes parties de la racine

III. La dominance apicale

1. Définition

Par dominance apicale, on entend l'action inhibitrice qu'exerce la région apicale d'une plante en pleine croissance sur l'initiation ou le développement d'axes latéraux (axillaires ou adventifs). Cette inhibition peut être totale ou partielle.

2. Facteurs influençant la dominance apicale

La présence de l'apex ne s'exerce pas toujours avec la même intensité. Elle varie avec:

L'espèce : chez le pois, les bourgeons axillaires sont totalement inhibés. Chez le millepertuis (*Hypericum perforatum*), ils évoluent en rameaux courts uniformément répartis sur toute la hauteur de la tige.

Chez certaines variétés de tomate et chez le galinsoga à petites fleurs (*Galinsoga parviflora*), des rameaux longs, peu différents de l'axe principal sont produits.

L'éloignement de l'apex : plus un axillaire est distant du bourgeon terminal, moins il est dominé.

L'âge de la plante : le degré de dominance faiblit lorsque la plante est plus âgée.

La mise à fleurs du méristème terminal : au moment de la transition florale, les bourgeons axillaires sont généralement libérés de la dominance apicale.

Les conditions d'environnement : sur un sol pauvre et sec ou sous une faible luminosité, la ramification est moins intense – donc le degré de dominance apicale plus fort – que sur un sol riche et bien irrigué ou sous une forte intensité lumineuse.

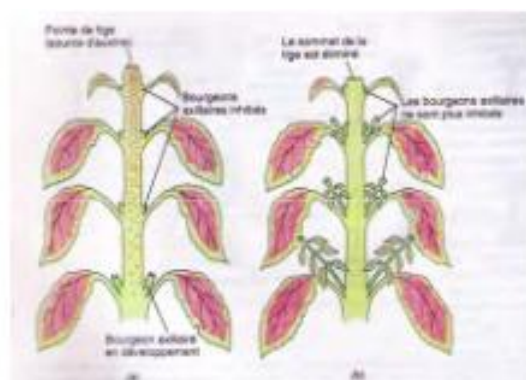


Figure 26 : La dominance apicale

3. Le siège de la dominance apicale

De nombreuses expériences ont démontré que le siège de la dominance apicale se situe dans le bourgeon terminal. En effet, lorsque celui-ci est excisé, une croissance importante des bourgeons axillaires, devenus distaux sur les pousses décapitées, est observée.

N.B. : *La production par la plante de bourgeons axillaires qui ne se développent pas joue un rôle important dans la survie de la plante. En effet, lorsque le bourgeon terminal est endommagé ou éliminé suite à une agression biotique ou abiotique, un bourgeon axillaire commence à se développer et reprend une position terminale, assurant la poursuite du développement de la plante.*

IV. La senescence

C'est le phénomène par lequel les feuilles perdent progressivement leur chlorophylle, chutent et meurent. La senescence a généralement lieu durant toute la vie de la plante bien que le processus soit plus accentué en phase reproductrice.

Avec l'avancement du développement reproducteur, la senescence s'accélère, la chute des feuilles augmente et au stade ultime, pour une culture comme le blé, il ne reste que la dernière feuille pour assurer la fourniture des assimilats nécessaires au remplissage des grains, avant qu'ils n'atteignent la maturité.

Après cette phase, tous les organes d'une culture annuelle meurent alors que les plantes pérennes reprennent leur développement végétatif si les conditions du milieu sont favorables.

PARTIE B : Régulation hormonale de la croissance et du développement**Introduction**

Les phénomènes de croissance et de développement dépendent de l'équilibre hormonal de la plante. Cet équilibre est régi par des rapports de concentrations ainsi que des gradients de concentrations.

La régulation hormonale de la croissance et du développement s'exerce aux niveaux suivants :

- division cellulaire, expansion des cellules et leur différenciation,
- germination et dormance des graines et des bourgeons,
- initiation des feuilles, tiges, racines,
- production de grains, fruits et leur maturation,
- senescence et mortalité des organes.

I. Les hormones végétales

Ce sont des composés organiques qui, synthétisés dans une partie de la plante, sont transloqués dans une autre partie, causent une réponse physiologique, à de très faibles concentrations.

Les hormones sont des protéines transcrites à partir de gènes souvent responsables de la régulation du métabolisme et des fonctions physiologiques dont fait partie la croissance

II. Les types d'hormone

Aux hormones de croissance (IAA GA CK) dont les effets, à concentration normale dans la plante, entraînent la promotion de la croissance, on oppose les hormones de stress (ABA, éthylène) dont les effets, à concentration élevée, entraînent l'inhibition de la croissance.

Avec une même concentration dans la plante, les hormones peuvent avoir des effets très contrastés sur les différents organes, en particulier sur la partie aérienne et racinaire.

Il existe cinq groupes d'hormones naturelles : – Les auxines, – Les gibbérellines, – Les cytokinines, – L'acide abscissique, – L'éthylène.

• Les auxines

L'auxine est synthétisée principalement dans les jeunes feuilles et est activement transportée vers les autres tissus de la plante pour en coordonner la croissance et faciliter les réponses aux variations de l'environnement.

- activent l'élongation des coléoptiles et des tiges, favorisent le phototropisme et le géotropisme,
- jouent un rôle important dans l'initiation et la formation de la racine principale, des racines latérales et des racines adventives ,

La production des auxines est inhibée par la déficience en zinc et en phosphore

• Les cytokinines

Les cytokinines sont produites préférentiellement dans la racine d'où elles migrent vers les différents organes. Récemment, des synthèses et des effets locaux ont été mis en évidence dans les zones en croissance, sous l'influence de l'auxine. Les cytokinines favorisent la division et la croissance cellulaires.

- jouent un rôle important dans la germination, favorisent la division, activent l'initiation des feuilles, des tiges,
- favorisent l'extension des feuilles et des cotylédons ainsi que le transport des nutriments.
- inhibent la sénescence des feuilles et permettent la levée de la dormance des graines.

le stress hydrique, les hautes températures et les conditions d'hydromorphie inhibent la production des cytokinines dans les racines et leur transport vers les parties aériennes.

• Les gibbérellines

- activent la germination des semences, l'élongation des tiges, l'expansion des feuilles, la floraison des plantes de jours longs et la croissance des fruits, lèvent la dormance des semences et la dominance apicale.
- inhibent la sénescence des feuilles et la maturation des fruits l'excès d'eau et par l'effet des jours courts inhibent la production des gibbérellines

La synthèse se déroule au niveau des méristèmes, des jeunes feuilles et de l'embryon

Les Hormones de stress

• L'éthylène

- Favorise la maturation des fruits, la sénescence des feuilles et la chute des organes
- inhibe la division cellulaire ainsi que le géotropisme des tiges et des racines.

La production de l'éthylène est stimulée par la maturation des fruits, la sénescence des feuilles et des fleurs, le stress hydrique. Elle est inhibée par la lumière et par des conditions d'anaérobiose.

• L'acide abscissique

- favorise la fermeture des stomates, la sénescence des feuilles, la dormance des bourgeons, et la formation des tubercules et des racines adventives,
- inhibe la germination des semences, la croissance des bourgeons axillaires, l'élongation des tiges et des racines, et l'initiation florale.

Le stress hydrique, l'excès d'eau, la déficience en éléments minéraux et la salinité augmentent la production de l'acide abscissique.

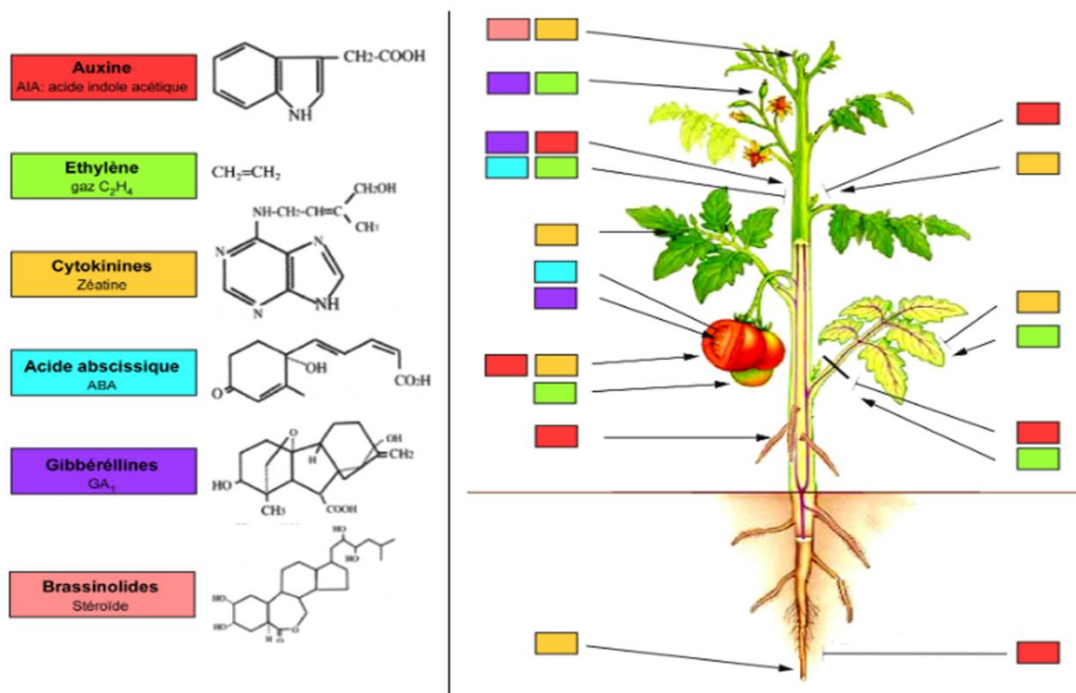


Figure 27 : Action des phytohormones sur la croissance

III. Influence des facteurs de l'environnement

Les plantes sont dotées d'une très grande plasticité phénotypique et sont capables de s'acclimater à leur environnement et à ses variations au cours de leur croissance. Un tel mécanisme nécessite que la plante puisse percevoir un signal environnemental qui modifie la croissance normale de la plante, ce qui correspond aux tropismes

Un tropisme est une courbure due à un stimulus. Ce stimulus n'est pas homogène et va engendrer un mouvement orienté. La courbure de l'organe est due à une différence de croissance des cellules. L'auxine a un rôle important dans les réponses aux tropismes

1. Le phototropisme

Les plantes vont pousser vers la lumière. Il va donc y avoir une réorientation pour optimiser la lumière qu'elles reçoivent. Il y a donc un phototropisme positif pour les parties aériennes et négatif pour les racines.

2. Le thigmotropisme :

La modification de la croissance à la suite d'un stimulus mécanique de contact comme le vent ou contact d'un objet étranger, (les plantes volubiles s'enroulant autour d'un tuteur)

3. Le gravitropisme

La gravité est certainement le facteur de l'environnement qui influence le plus la morphogenèse de toutes les plantes. La tige va avoir une réponse gravitropique négative (redressement vers le haut) contrairement à la racine qui va avoir une réponse gravitropique positive (redressement vers le bas). La tige va chercher à s'élever pour capter la lumière et la racine est optimisée pour s'ancrer dans le sol pour ancrer la plante et amener des nutriments

L'examen de l'extrémité de la racine montre que les cellules de la coiffe sont riches en amyloplastes. Ces organites, contenant de l'amidon, sont les plus denses de la cellule et se répartissent dans celle-ci en fonction de la gravité.

Les amyloplastes sont les seuls organites à être affectés physiquement par la gravité. Ils jouent un rôle essentiel dans la perception de la gravité. Ce sont les statolithes et les cellules de la coiffe (les statocystes) qui les contiennent.

La croissance de la racine est stimulée par des doses très faibles d'auxine. Les doses qui stimulent la croissance des tiges sont inhibitrices pour les racines.

CHAPITRE 4 : TRANSPORT DE L'EAU ET DES MINERAUX CHEZ LES PLANTES

Introduction

Comme tous les organismes vivants, la plante a besoin d'eau, elle est indispensable à la formation de la sève, participe ainsi à la circulation des éléments (organiques et minéraux) et donc à l'apport de nutriments aux différents organes de la plante.

L'eau est aussi impliquée dans des phénomènes métaboliques et des phénomènes de régulation tels que la transpiration. La présence de l'eau est aussi indispensable à la croissance, le développement et l'orientation des organes de la plante.

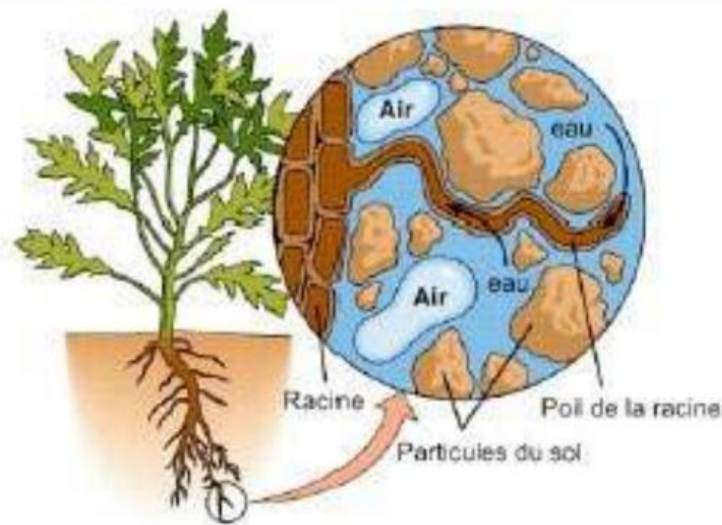


Figure 28 : Absorption de l'eau par les racines

I. L'eau dans la plante

1. La teneur en eau des végétaux

L'eau est stockée dans la vacuole qui sert de réservoir d'eau aux plantes. Le xylème et le phloème sont les vaisseaux qui conduisent les deux sèves. Le xylème est un ensemble de tissus morts, où circule la sève brute (eau + sels minéraux). Le phloème est composé de tissus vivants où circule la sève élaborée (eau + sels minéraux + substances organiques).

$\theta = \% \text{eau} = \frac{(\text{MF} - \text{MS})}{\text{MF}} \times 100$; MS = Matière Sèche ; MF = Matière Fraîche

La teneur en eau diminue avec l'âge de la plante, dans les graines, on trouve entre 5 et 10% d'eau.

2. Les états de l'eau dans la plante

Elle peut être en solution (dans les vacuoles ou les sèves), sous forme de vapeur (dans les méats, dans la chambre sous-stomatique).

Dans le milieu réactionnel de la cellule, l'eau est le solvant des molécules organiques.

2.1. L'eau liée

C'est l'eau immobilisée dans la cellule par des liaisons hydrogènes autour des groupements alcooliques, aminés ou carboxyliques.

2.2. L'eau libre

S'opposant à la précédente, c'est l'eau d'imbibition générale, facilement circulante ou stagnante dans les vacuoles.

2.3. L'eau de constitution

C'est l'eau qui stabilise la structure de certaines macromolécules et ne peut être enlevée de ces protéines sans en entrainer la dénaturation.

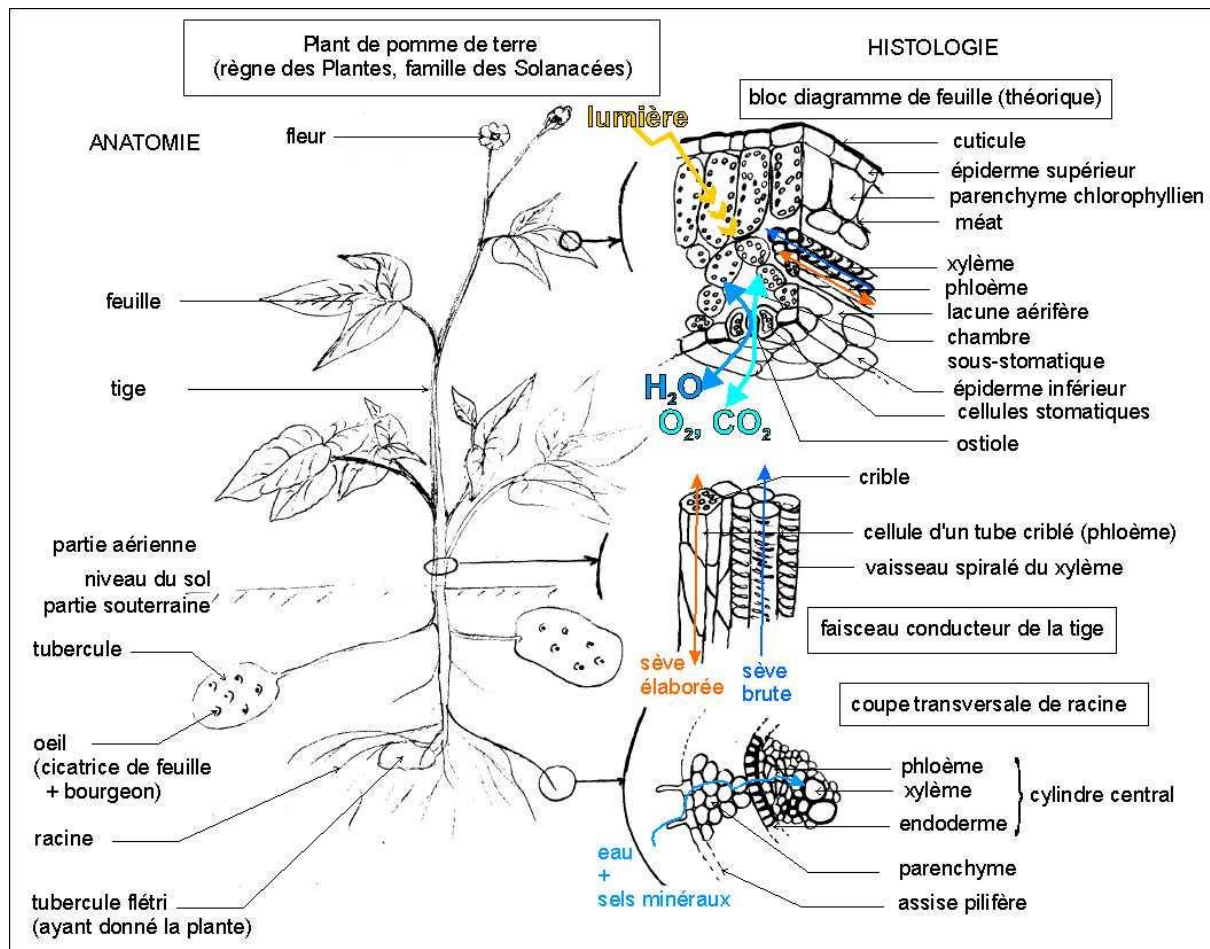


Figure 29 : La circulation de l'eau dans les différents organes de la plante

II. Absorption de l'eau et des sels minéraux

L'absorption racinaire est l'absorption d'eau et de sels minéraux par les racines d'une plante jusqu'à leur répartition dans ses parties supérieures. C'est par ce mécanisme que les plantes se nourrissent.

L'eau passe du sol à la vacuole d'une cellule de poil racinaire par osmose. L'osmose est le mouvement de l'eau d'une faible concentration de solutés (où il y a une forte concentration d'eau) vers une forte concentration de solutés (où il y a une faible concentration d'eau). L'osmose est un processus passif, ce qui signifie qu'elle ne nécessite pas d'énergie. Lorsque la concentration de solutés augmente, la « pression osmotique » qui provoque le mouvement de l'eau augmente également.

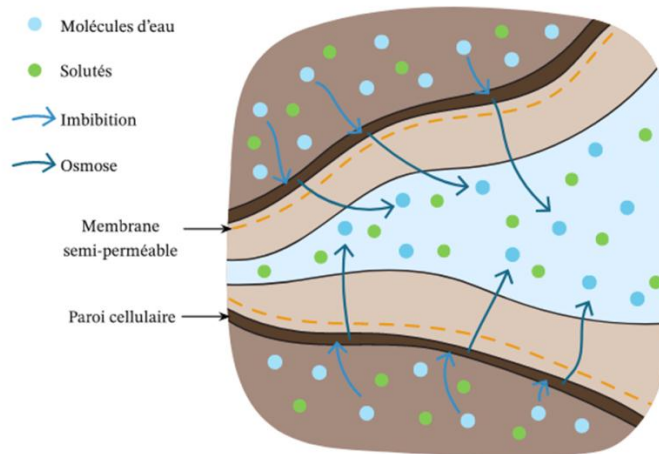


Figure 30 : Le passage de l'eau par osmose

Généralement, des molécules plus petites, comme l'eau et les sels, peuvent passer à travers les membranes, mais les grandes substances, comme les sucres et les protéines, ne le peuvent pas. En permettant à certaines molécules de traverser et en empêchant d'autres de le faire, les membranes cellulaires sont dites semi-perméables ou à perméabilité sélective.

1. Absorption de l'eau

1.1. Le lieu de l'absorption

L'absorption de l'eau par les plantes se fait au niveau des poils absorbants de la zone pilifère des racines, le transport de l'eau s'effectue de façon radiale, des poils absorbants vers la stèle centrale où se trouve le xylème (vaisseaux conducteurs de la sève brute), en traversant la paroi ou le cytoplasme des cellules du cortex.

1.2. Les étapes de l'absorption

- Du poil absorbant à l'endoderme: Selon la loi de l'osmose, l'eau migre dans la racine via l'apoplasme, le symplaste et la voie transmembranaire.

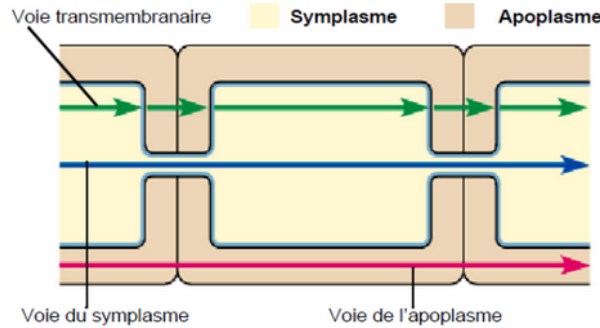


Figure 31 : La voie symplastique et la voie apoplastique

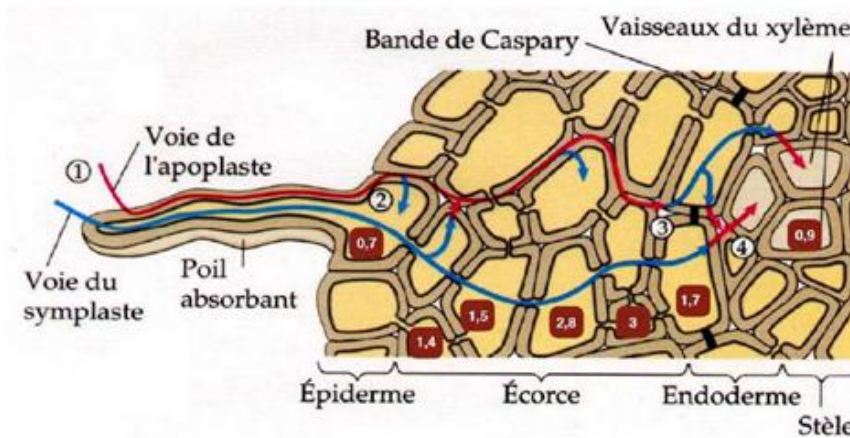


Figure 32 : Le passage de l'eau dans le cortex de la racine

- De l'endoderme à la stèle : (transport actif) Les cellules de l'endoderme sont ceinturées par la bande de Caspary (couche de cire). L'eau et les minéraux doivent pénétrer dans la stèle (les vaisseaux) en empruntant la voie du symplaste. La bande de Caspary empêche également le reflux d'eau et de sels dans le cylindre central vers la zone corticale.

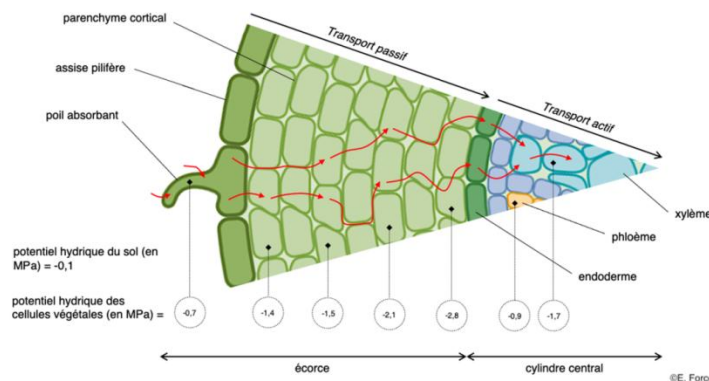


Figure 33 : Le passage de l'eau dans le cortex et la stèle de la racine

Chapitre 4 : Transport de l'eau et les minéraux chez les plantes

- L'eau et les sels minéraux gagnent le cylindre central, traversent l'endoderme, et se déversent dans les vaisseaux du xylème. La sève brute, ainsi formée, ne contient que des sels minéraux et de l'eau.

Les tissus conducteurs de la sève brute sont constitués de cellules mortes (vaisseaux du bois) dont la paroi est imprégnée d'une substance rigide et imperméable : la lignine. La sève brute monte dans la racine, puis dans la tige, jusqu'aux feuilles et à tous les organes aériens.

2. L'absorption des minéraux

2.1. Le processus de l'absorption

L'absorption des minéraux par les racines est un processus dynamique. Les éléments minéraux dissous dans la solution aqueuse du sol pénètrent dans la plante par les racines sous la forme d'ions. Chaque espèce végétale a des besoins précis en ions, liés à son métabolisme propre et possède des résistances variées aux éléments toxiques. La plante développe des mécanismes particuliers de transport d'ions, réglant ainsi les quantités absorbées selon ses besoins.

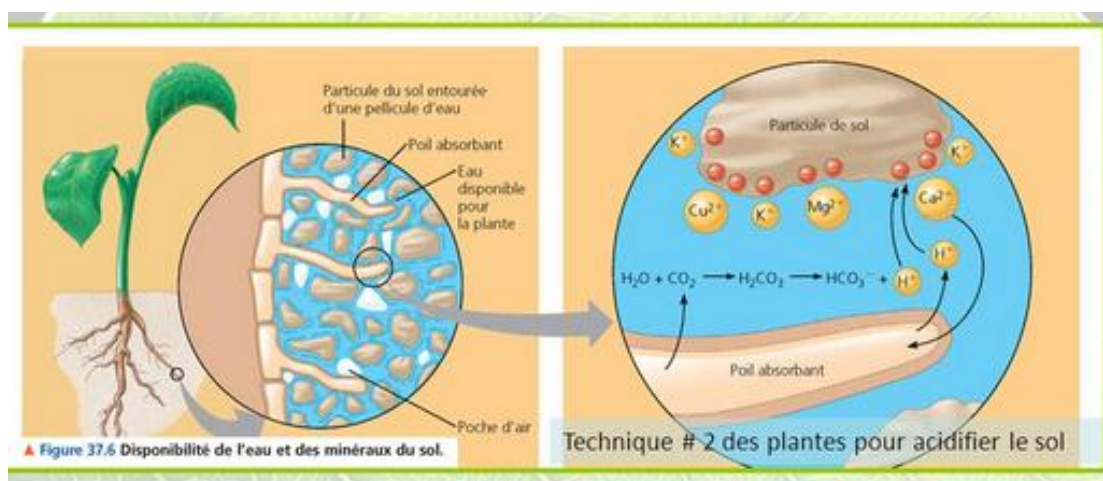


Figure 34 : L'absorption des élément minéraux

2.2. L'absorption sélective

L'absorption des éléments nutritifs par le système racinaire est sélective. Elle met en jeu plus de 400 protéines localisées sur les parois des cellules de l'épiderme, de l'endoderme et des vaisseaux qui règlent les transports de l'eau et des ions depuis le sol vers le xylème

Les cellules n'absorbent pas indifféremment les ions. Il existe une perméabilité sélective (le Na pénètre très mal dans la cellule. A l'opposé, le K se trouve à des concentrations plus élevées à l'intérieur qu'à l'extérieur (accumulation)).

Les cations présentent une vitesse de franchissement des membranes plus grande que celle des anions.

2.3. Les étapes de l'absorption

L'adsorption, étape de fixation superficielle des ions sur les racines, passive et réversible pendant laquelle, l'élément adsorbé peut être désorbé.

Adsorption (du latin **ad** =vers, **sorbere**=aspire, c'est l'adhérence d'un liquide, d'un gaz ou d'une substance dissoute à un solide, augmentant la concentration de cette substance)

L'absorption (au sens strict) qui suit la première étape et peut être active ou passive, selon les ions. Les éléments minéraux doivent être solubles dans l'eau afin d'être assimilé par la plante.

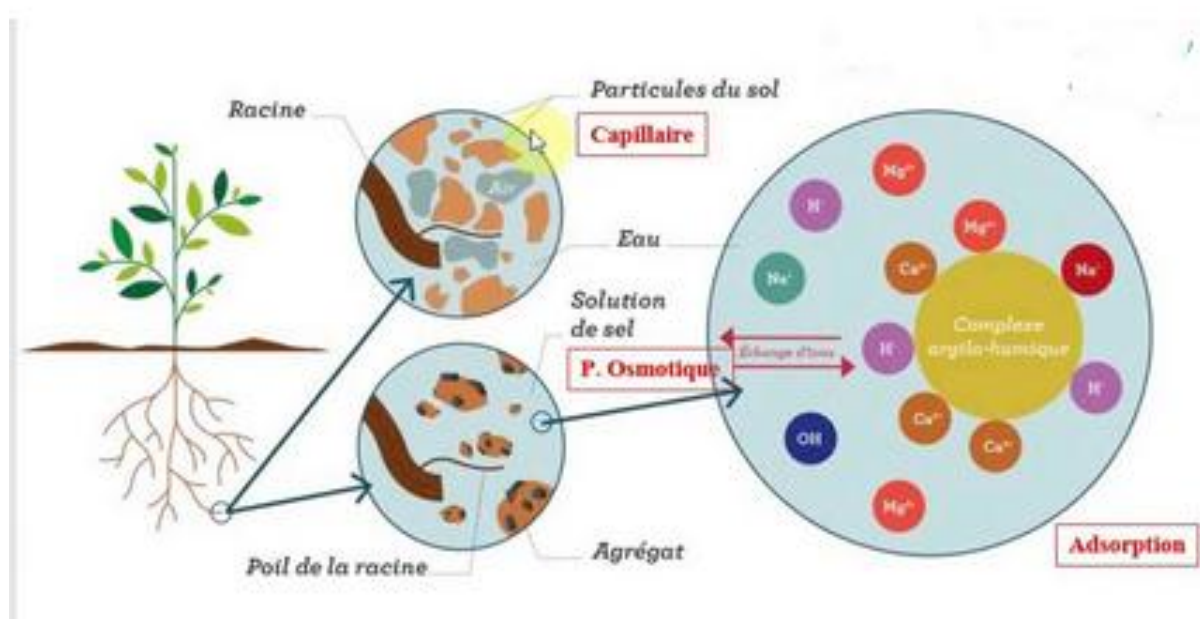


Figure 35 : L'absorption des minéraux

III. Transport de l'eau des minéraux

1. Le processus du transport

La sève brute est caractérisée par une concentration importante en sels minéraux et par un déplacement des racines aux feuilles dans le xylème (bois) ; la sève élaborée, quant à elle, est caractérisée par une concentration importante en sucres et en acides aminés, et par un déplacement descendant ou latéral (vers les autres organes de la plantes) dans le phloème (liber).

La sève brute circule dans l'organisme végétal grâce à un tissu conducteur, le xylème , uniquement dans le sens ascendant, c'est-à-dire de la racine à la feuille, à une vitesse ~ 15m/h. La plus grande partie de la sève brute s'évapore au niveau des feuilles.

Le passage d'eau et de nutriments entre les cellules se fait par les plasmodesmes, par les pompes à protons, ou par des symporteurs (ex : transporteur symport du saccharose activé par une pompe à proton).

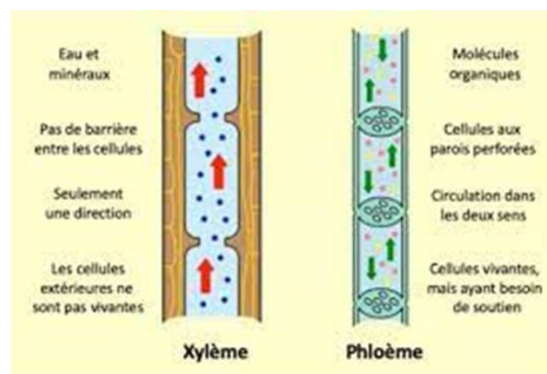


Figure 36 : Le transport de la sève brute et élaborée

2. Les mécanismes de transport

2.1. La pression racinaire

L'eau se déplace vers la stèle et pénètre dans le xylème par osmose = pression racinaire, elle peut entraîner dans certains cas la guttation, quand l'eau perle le matin au niveau des feuilles des petites plantes. Le phénomène ne se produit que si le sol est gorgé d'eau et si l'air est assez humide pour ralentir l'évaporation au niveau des feuilles. (Ce phénomène ne doit pas être confondu avec la rosée qui provient de la condensation de l'eau atmosphérique sur la plante)

2.2. La capillarité

Due à la cohésion (force d'union) des molécules d'eau entre elles et avec la paroi des vaisseaux conducteurs. La montée est inversement proportionnelle au diamètre des tubes du xylème

2.3. Aspiration foliaire

Elle prend naissance entre la chambre sous stomatique et les cellules du parenchyme lacuneux, l'eau occupe tous les espaces.

Lorsque l'eau s'évapore au niveau de la feuille, les lacunes du parenchyme se rétractent et provoquent un appel d'eau. Ainsi, l'eau en provenance du xylème est tractée. Il se crée alors une tension au niveau du xylème: une force de traction (=force d'aspiration) et par conséquence : l'évaporation de l'eau crée une force d'aspiration. C'est l'aspiration foliaire

L'évaporation de l'eau dans les feuilles « tire » sur les molécules d'eau dans les tubes du xylème. Plus l'eau s'évapore, plus la tension est grande et plus l'eau monte dans le xylème. Ce phénomène est aussi facilité par l'adhérence (liaisons hydrogène) des molécules d'eau aux parois du xylème. De plus, les molécules d'eau sont liées entre elles. Ainsi, plus l'eau s'évapore par la transpiration, plus la plante en absorbe et plus l'eau monte.

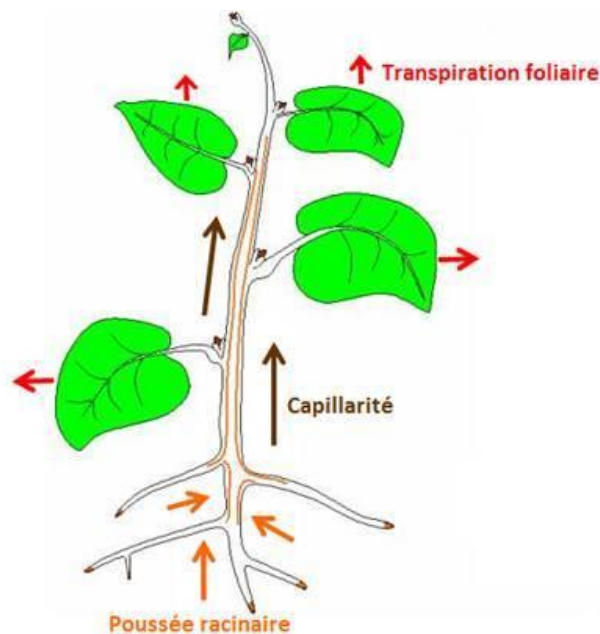


Figure 37 : Les mécanismes de transport de l'eau

IV. La transpiration

1. Définition de la transpiration

Moins de 5% de l'eau absorbée par les plantes, est réellement utilisée pour la croissance, et une quantité encore moindre est utilisée dans les réactions biochimiques; l'équilibre hydrique de la plante passe par une perte de vapeur d'eau, un phénomène nommé transpiration.

La plus grande partie de l'eau (plus de 90%) s'échappe par les feuilles. En effet le mécanisme de la transpiration est étroitement lié à l'anatomie de la feuille.

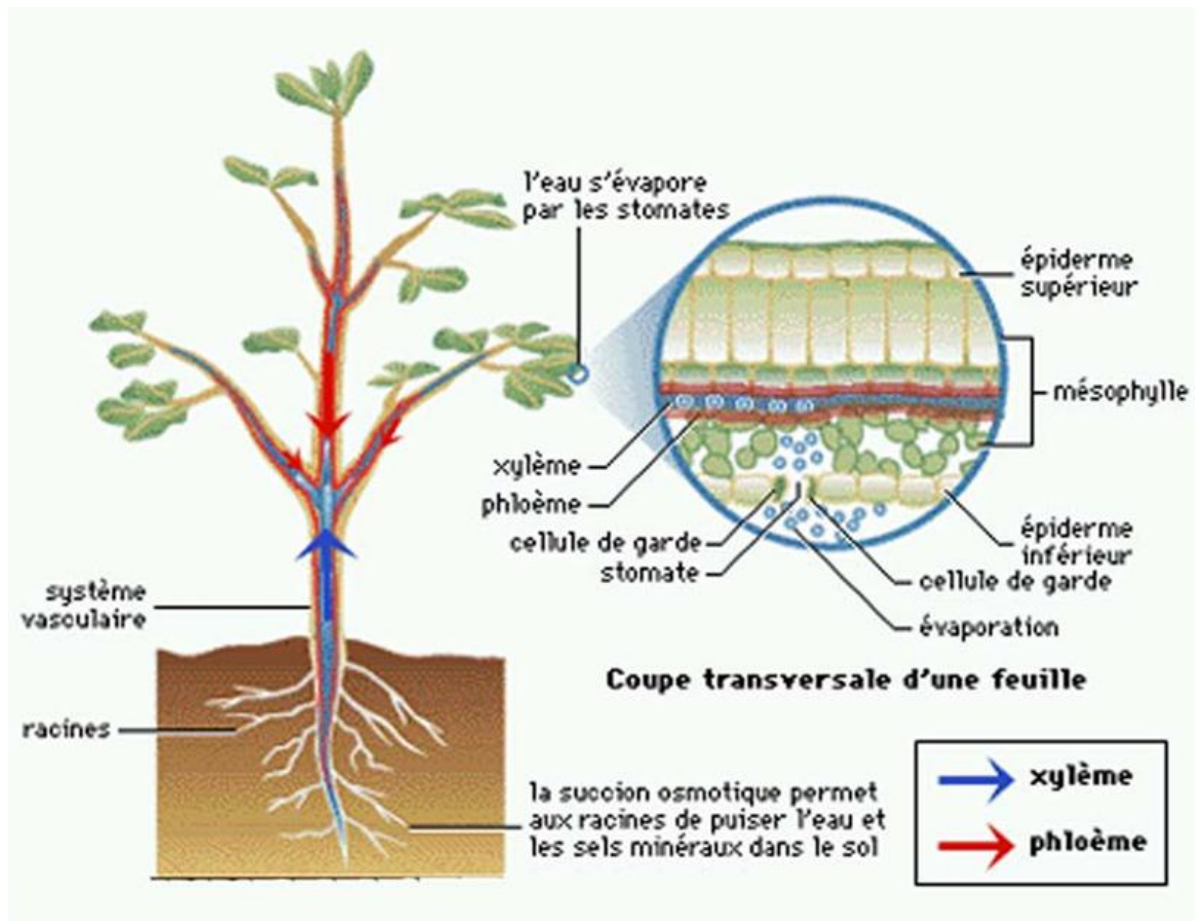


Figure 38 : La transpiration chez les plantes

2. Le mécanisme de la transpiration

La transpiration peut être considérée comme un mécanisme comprenant deux phases T1 l'évaporation de l'eau des parois cellulaires humides dans la chambre sous stomatique et T2 la diffusion de la vapeur d'eau des espaces sous-stomatique dans l'atmosphère.

La diffusion de la vapeur d'eau de l'espace sous-stomatique dans l'atmosphère est un phénomène relativement simple; une fois qu'elle a quitté la surface des cellules, la vapeur d'eau diffuse dans la chambre sous-stomatique et s'échappe des feuilles par les pores stomatiques (ostioles).

Afin de maintenir la turgescence des parties feuillées ainsi que les activités biochimiques à un niveau compatible avec la survie, l'eau perdue par les plantes au cours de la transpiration doit être continuellement remplacée.

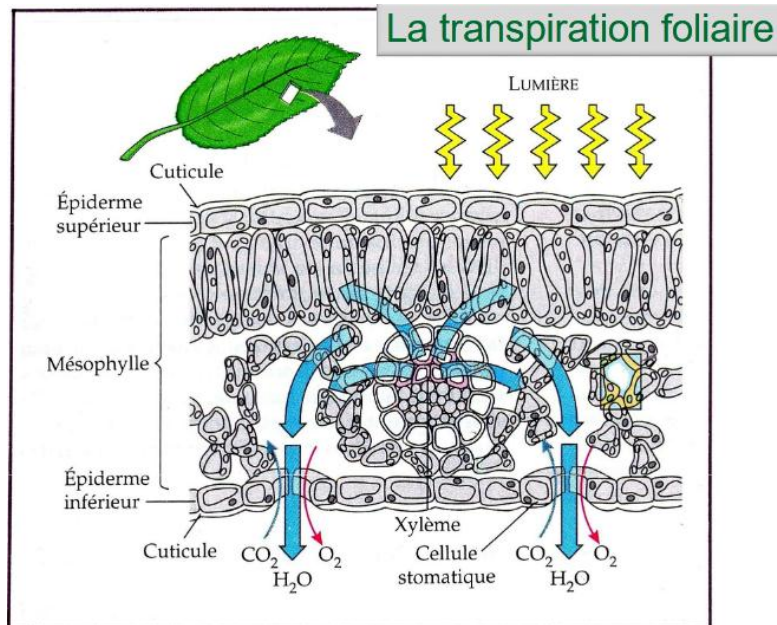


Figure 39 : Mécanisme de transpiration

Remarque : L'absorption d'eau par les racines peut s'effectuer parce qu'il existe un gradient de potentiel entre le sol et la racine. Par conséquent lorsque le sol s'assèche, le potentiel hydrique diminue et les plantes peuvent rencontrer des difficultés pour prélever l'eau suffisamment vite afin de compenser les pertes liées à la transpiration. Dans ces conditions, les plantes vont perdre leur turgescence et se flétrir. Si la transpiration est réduite ou empêchée pendant un certain temps (comme par exemple la nuit ou par la mise sous un sac en plastique), l'absorption d'eau peut reprendre, la turgescence peut être rétablie et les plantes retrouver leur port initial.

3. Les facteurs influençant la transpiration

3.1. Facteurs internes

Surface et épaisseur des feuilles : Une feuille plus petite transpirera moins vite qu'une feuille plus grande, car il y a moins de pores disponibles pour la perte d'eau. L'épiderme de la plupart des végétaux terrestres est recouvert d'une cuticule. Cet atout apporte une protection imperméabilisante qui prévient de l'assèchement. Plus la cuticule est épaisse plus la transpiration sera faible.

Nombre de stomates : L'eau de la transpiration étant évacuée par les stomates est proportionnelle au nombre de pores des stomates. Plus il y en a, plus la transpiration sera forte.

Nombre de feuilles : Un nombre de feuilles, ou autres organes photosynthétiques, plus grand augmente aussi le nombre de stomates disponibles pour la transpiration. Il y aura donc plus d'échanges gazeux avec le milieu externe.

3.2. Facteurs externes

Disponibilité de l'eau : Quand l'humidité du sol passe en dessous d'un seuil normal (entre -1,0 MPa et -4,0 MPa) pour la plante, les stomates se fermeront jusqu'à ce que la condition s'améliore et la transpiration sera ainsi réduite.

Humidité relative : La diminution de l'humidité relative, rendant l'air plus sec, abaisse considérablement le gradient potentiel hydrique atmosphérique ce qui contribue à augmenter la transpiration. La plus grande différence entre le potentiel hydrique interne des feuilles et externe encourage l'eau à quitter celles-ci.

Vent : Le vent défait la couche limite qui sert à protéger la surface des feuilles et augmente donc le dessèchement. Le changement d'air autour de la plante plus fréquent favorise l'évaporation de l'eau. Puis, la différence de potentiels hydriques entre les milieux, interne et externe, est augmentée, ce qui accroît alors tout de suite la transpiration, cherchant le renouvellement de sa couche limite.

Luminosité : Comme la plupart des plantes ouvrent leurs stomates durant le jour pour faire de la photosynthèse, à l'exception des plantes de la famille CAM, la vitesse de transpiration augmente avec l'intensité de la lumière laissant l'eau s'évaporer par les pores des feuilles. La transpiration est donc plus élevée le jour et diminue fortement durant la nuit.

Température : La température encourage l'ouverture des stomates pour permettre l'évaporation de l'eau cellulaire. Plus il fait chaud, plus les stomates s'ouvriront et donc, plus il y aura de transpiration. Ceci se produit jusqu'à ce que la température atteigne un certain seuil, de 25 à 30 °C. À ce seuil, les stomates commenceront à se refermer et ainsi à abaisser la transpiration pour éviter le dessèchement.

4. Les stomates

4.1. Structure des stomates

Ce sont des cellules particulières situées dans les feuilles. Elles ont une forme réniforme et sont constituées de deux cellules de gardes (qui contiennent des chloroplastes) et un vide entre les deux qu'on appelle ostiole.

L'ostiole est l'ouverture des stomates par lequel les gaz circulent et l'eau passe

Souvent, on observe la présence d'une chambre sous-stomatique.

Remarque : chez les monocotylédones, les stomates se trouvent sur les 2 faces de façon égale alors que chez les dicotylédones le nombre de stomates est plus élevé dans la face inférieure.

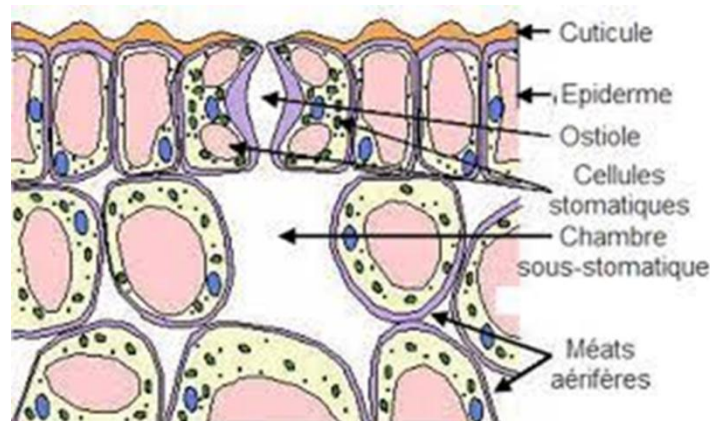


Figure 40 : Le stomate dans la feuille

4.2. Mécanismes d'ouverture des stomates

La transpiration stomatique varie suivant l'ouverture et à la fermeture des stomates, liées aux différences de pressions osmotiques dans les cellules de garde. Les cellules de garde (donc les stomates) s'ouvrent ou se ferment selon les forces osmotiques qui correspondent aux variations de la concentration de potassium intracellulaire. Par augmentation des concentrations potassiques il y a formation d'un milieu hypertonique qui entraîne une turgescence des cellules de gardes, et ainsi une ouverture des stomates.

Les cellules de garde ont des parois renforcées du côté interne qui délimite l'ostiole, et sont souvent accompagnées de cellules épidermiques, dépourvues de chloroplastes, avec lesquelles elles sont intimement en contact par leur face externe, permettant des échanges intercellulaire plus important.

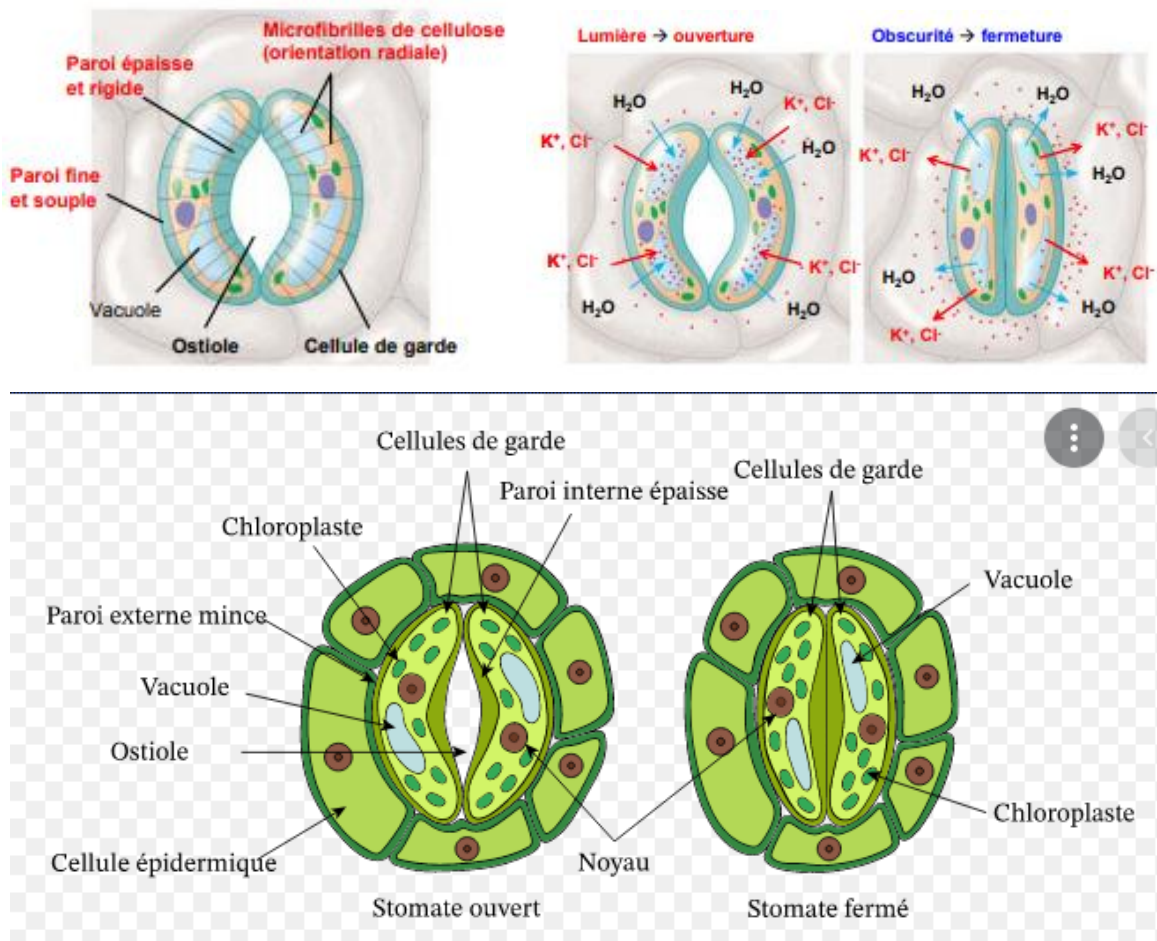


Figure 41 : Structure et Mécanisme d'ouverture des stomates

CHAPITRE 5 : NUTRITION MINERALE

Introduction

La sève brute est composée d'eau, de sels minéraux dissociés en ions (PO_4 , SO_4 , NH_4 , NO_3 , Ca, Mg, K, Na), d'oligoéléments et de micro substances organiques assimilables. À l'instar des autres êtres vivants, les plantes se nourrissent à la fois pour se procurer de l'énergie et pour se procurer les matériaux nécessaires à sa construction. Comme les animaux, les plantes ont besoin de deux types d'éléments nutritionnels : les macroéléments et les oligoéléments.

1. Définition

Les principaux éléments minéraux dont la plante a besoin pour sa croissance sont dits essentiels et sont classés, selon les quantités absorbées, en macroéléments principaux : azote(N), phosphore(P), potassium(K) ; et secondaires: calcium(Ca), magnésium(Mg), soufre(S), sodium(Na), et en microéléments comme le fer, le cuivre, le molybdène...

Une représentation typique de la croissance d'une plante présente un palier optimal entre l'insuffisance pour les faibles concentrations et l'excès pour les fortes concentrations. L'insuffisance peut se traduire par des carences et l'excès par des toxicités. La carence se manifeste par une limitation de croissance, se traduisant par des baisses de rendement.

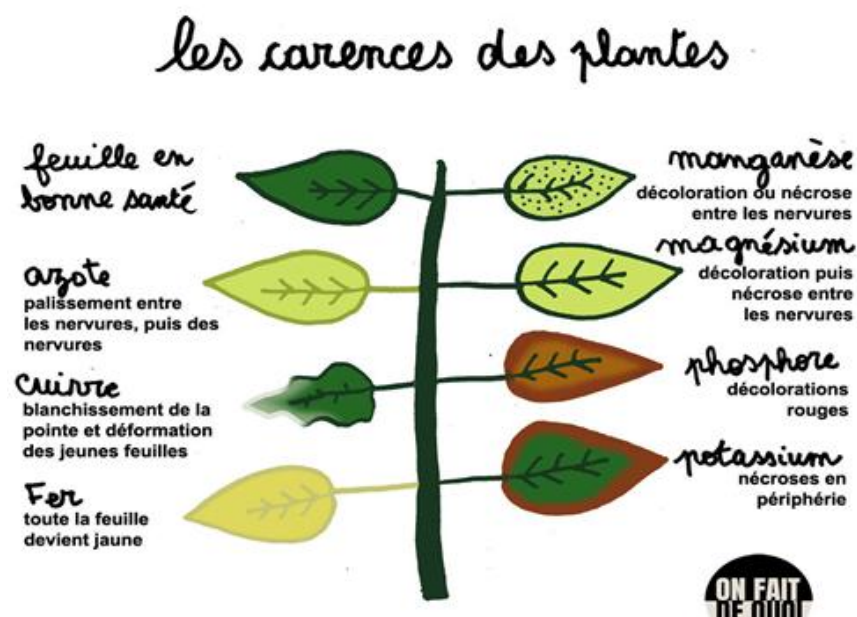


Figure 42 : Les différentes carences en minéraux

2. Les éléments majeurs ou macroéléments

Dans le monde végétal, on distingue 9 éléments principaux indispensables à la plante. Ces éléments sont le Carbone (C), l'Hydrogène (H), l'Oxygène (O), l'Azote (N), le Phosphore (P), le Potassium (K) mais également le Calcium (Ca), le Magnésium (Mg) et le Soufre (S) qui sont souvent classés comme éléments secondaires aussi important.

Les trois premiers (C,H,O) sont apportés directement par le dioxyde de carbone et l'eau, on ne doit dès lors pas se préoccuper de leur apport excepté dans les serres où on peut les facteurs de croissance.

2.1. L'azote

L'azote est le principal constituant des molécules essentielles à la construction des cellules végétales. Les acides nucléiques (ARN, ADN), les acides aminés, les nucléotides, les coenzymes et la chlorophylle ont besoin d'azote pour se former. Le taux de protéines des fruits est intimement lié à l'abondance d'azote dans le sol.

Les principaux signes de carences en azote :

- Une Chlorose apparaît tout d'abord sur les plus anciennes feuilles et très vite sur les plus jeunes. Les feuilles deviennent vert-jaunâtre suivit d'une couleur orangée qui s'ajoute à la chlorose. Finalement on observe la chute des feuilles.

L'excès d'humidité est une des causes principales de la disparition de l'azote.

Pour **éviter** les lessivages et enrichir le sol en azote, aérez le sol, reformez la couche d'humus (grande source d'azote), cultivez des engrais verts

2.2. Le potassium

Cet élément nutritif intervient dans l'ouverture des stomates. Le potassium permet la circulation des sels minéraux dans les tissus végétaux par le phénomène de l'osmose. Le phosphore réduit la transpiration des plantes et leur confère une plus grande résistance à la sécheresse.

Une carence en potassium se traduit par un développement retardé, le port des plantes devient mou, la bordure des feuilles varie du jaune au brun, le limbe se couvre de taches brunes. Chez les fruitiers, les feuilles les plus anciennes se crispent.

Pour enrichir le sol en potasse, effectuez des apports de matière organique, comme le compost (en se décomposant, elle libère du potassium disponible)

2.3. Le phosphore

On le retrouve dans les acides nucléiques, les chloroplastes et les protéines du noyau. Il est présent dans les molécules énergétiques que sont l'ATP (adénosine triphosphate) et l'ADP (adénosine diphosphate).

Les signes visibles de carence : la plante reste petite et raide. La pointe des feuilles se colore en vert foncé ou en pourpre, la floraison est retardée voire nulle, et les fruits sont rares, de petit calibre et acides.

Des amendements humiques (compost, fumier, engrais verts) permettent de corriger le pH, de pourvoir le sol en phosphore assimilable et d'alléger et drainer le sol.

2.4. Le calcium

Le calcium joue un rôle primordial au niveau des parois cellulaires. En cimentant les parois cellulaires, les unes aux autres, le calcium assure leur cohésion. Il intervient dans la perméabilité de la membrane en facilitant le transport de certaines substances et en bloquant celui d'autres substances. Le calcium intervient également dans l'élongation des racines.

Une carence en calcium se manifeste tout d'abord sur les grandes feuilles les plus âgées. La carence en calcium se reconnaît à l'apparition de taches brunes/ jaunâtres souvent entourées d'un bord brun prononcé, et c'est la croissance qui est inhibée.

Des fertilisants calciques peuvent être appliqués durant la semence, ou sur l'appareil foliaire pour corriger ce manque.

2.5. Le magnésium

Le magnésium joue un rôle important dans la photosynthèse car il est l'atome central de la chlorophylle, il est l'activateur de nombreuses enzymes dont deux enzymes critiques à savoir la ribulobiphosphate carboxylase (RuBisCO) et la phosphoenolpyruvate carboxylase (PEPC).

Une carence en magnésium se traduit généralement par une chlorose des nervures principales des feuilles âgées.

2.6. Le soufre

Le soufre est un élément constitutif des acides aminés que sont la cystine, la cystéine et la méthionine. Chez les légumineuses, le soufre intervient dans la formation des nodules nécessaire à la fixation de l'azote atmosphérique. Le soufre permet aux plantes de résister aux pathologies. Il intervient dans la croissance des végétaux et dans la formation des fruits. En cas de carence en soufre, les feuilles des plantes prennent une couleur vert-pâle.

3. Les micronutriments ou oligoéléments

Quoique présents en faible quantités, les micronutriments ou oligoéléments n'en demeurent pas moins indispensables. A leur nombre, on retrouve : le chlore, le cuivre, le bore, le molybdène, le fer, le manganèse, le zinc et le nickel.

3.1. Le fer

Le fer est indispensable pour la production de la chlorophylle. Il est l'élément indispensable à la production des cytochromes (pigments) et de la nitrogénase (enzyme). Le sol devient déficient en fer si le pH n'est pas compris entre 5 et 6,5.

Une carence en fer se traduit par une chlorose ou un brunissement du pétiole des feuilles, alors que les nervures demeurent vertes.

Les excès de calcium, de phosphore et de cuivre sont également des facteurs bloquants, de même que l'humidité et le froid.

3.2. Le zinc

Le zinc est l'activateur de nombreuses enzymes. Cet oligoélément intervient dans la synthèse de la chlorophylle. Une carence en zinc se manifeste généralement par une chlorose et un retard de croissance.

3.3. Le bore

Cet oligoélément intervient dans le transport des hydrates de carbone produits lors de la photosynthèse. Il joue également un rôle dans la régulation des processus métaboliques, comme l'utilisation de calcium, la synthèse des acides nucléiques et assure l'intégrité de la membrane plasmique.

3.4. Le cuivre

Le cuivre est l'activateur et le constituant des enzymes liées aux réactions d'oxydoréductions dans les cellules végétales. Le brunissement des pointes des feuilles et la chlorose sont généralement les symptômes d'une carence en cuivre.

3.5. Le nickel

Ce minéral est le constituant essentiel d'enzymes impliquées dans l'absorption de l'azote. Les plantes souffrant d'une carence en azote présentent des nécroses sur les pointes de leurs feuilles.

3.6. Le molybdène

Cet élément intervient dans la métabolisation de l'azote et la réduction des nitrates. Les plants n'ont besoin que de quantités infimes de molybdènes (moins de 50 grammes par hectare). Les carences en molybdènes ne s'observent généralement que sur des sols très acides. La chute des vieilles feuilles associée à un retard de croissance est un symptôme de carence en molybdène.

3.7. Le chlore

Le chlore est nécessaire à l'osmose et à l'équilibre ionique au niveau des cellules végétales. Il joue également un rôle dans les processus photosynthétiques. Des taches nécrotiques blanches sur les bordures des feuilles peuvent témoigner d'une carence en chlore.

4. Interactions entre éléments minéraux

Il existe entre les éléments minéraux des interactions qui font que l'action de l'un est modifiée par la présence d'un autre. On parle de synergie entre deux éléments quand l'effet de l'un est amplifié par la présence de l'autre. On parle d'antagonisme quand l'effet de l'un est atténué par la présence de l'autre. Le nitrate NO_3^- facilite par exemple l'absorption du potassium K^+ . En revanche, une absorption importante de potassium K^+ entrave l'absorption de magnésium Mg^{2+} . Les antagonismes $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ sont également bien connus.

Chapitre 5 : Nutrition minérale

Antagonismes et synergies

Antagonismes	Synergies
K / Mg, Ca, Na, B	K / NO ₃
P / Cu, Zn	
N / Cu	N / P
Mg / Fe, Zn, Mn	
Ca / Mg, oligos (effet pH)	
Fe / Mn	

Cause	Effet	
	Perturbe l'assimilation de: (antagonisme):	Favorise l'assimilation de: (synergie):
Concentration élevée de:		
NH ₄ (Ammonium)	Ca, Mg, K	P, SO ₄ (Sulfate)
NO ₃ (Nitrate)	P	Ca, Mg, Mn, K
Ca (Calcium)	Mg, Fe, B, Mn	
K (Potasse)	Ca, Mg, NH ₄ (Ammonium), B	NO ₃ (Nitrate)
Mg (Magnésium)	Ca	P
Mn (Manganèse)	Mg, Fe, Zn, NH ₄ (Ammonium)	
Cl (Chlore)	P, NO ₃ (Nitrate)	Ca
Na (Sodium)	Ca	P
P (Phosphore)	Fe (Ca, B, Cu)	Zn
Cu (Cuivre)	Fe, B	
SO ₄ (Sulfate)	Mo	Ca
Zn (Zinc)	P	
Alimentation optimale en:		
B (Bore)		K, Ca, P
Ca (Calcium)		K (Effet Viets)
Carence en:		
B (Bore)	K, Mg, P (= „Accumulation des hydrates de carbone“)	
Ca (Calcium)	K	

Chapitre 5 : Nutrition minérale



Carence en azote



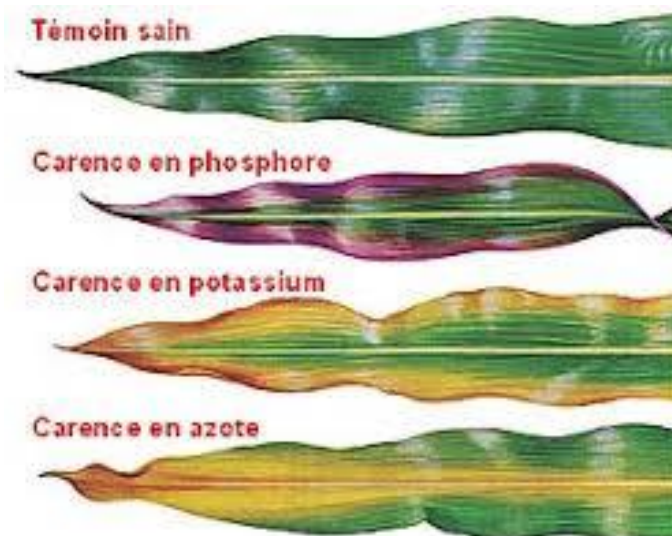
Carence en potassium



Carence en calcium



Carence en fer



CHAPITRE 6 : NUTRITION CARBONNEE**Introduction**

La nutrition carbonée des végétaux fait intervenir un ensemble de réactions métaboliques originales, que l'on ne retrouve que chez quelques bactéries : la photosynthèse.

La photosynthèse est certainement le phénomène métabolique le plus important dans le monde vivant. En effet, les végétaux verts (chlorophylliens) et certaines bactéries synthétisent leur propre matière organique à partir des substances minérales disponibles dans l'air (le dioxyde de carbone) et dans le sol (l'eau et les sels minéraux). Cette synthèse se réalise grâce à l'énergie lumineuse provenant du soleil (inépuisable) au niveau de structures spécialisées (les chloroplastes)

La photosynthèse par les végétaux alimente continuellement la biosphère en carbone sous forme de glucides.

1. La nutrition carbonée

Le métabolisme carboné des êtres vivants comprend deux grands groupes de réactions :

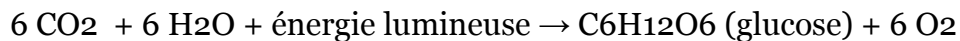
- Des réactions dites de catabolisme; réactions de dégradation de molécules organiques préexistantes. Ces réactions fournissent de l'énergie qui sera utilisée pour toutes les réactions de la cellule, en particulier pour les réactions de synthèse.
- Des réactions dites d'anabolisme, réactions de synthèse utilisant de l'énergie. Cette énergie est fournie essentiellement par le catabolisme de molécules, puisées dans le milieu extérieur chez les êtres hétérotrophes. Les végétaux verts autotrophes, sont capables de convertir l'énergie lumineuse en énergie chimique et de réaliser les premières synthèses uniquement à partir de matériaux minéraux (photosynthèse).

1. Photosynthèse ou assimilation chlorophyllienne.

L'énergie solaire est utilisée pour oxyder l'eau et réduire le gaz carbonique afin de synthétiser des substances organiques (glucides). Ce phénomène a lieu dans les chloroplastes, un organite spécifique des plantes, au niveau des membranes des thylacoïdes où se situent les photosystèmes I et II et les cytochromes.

Bilan énergétique de la photosynthèse

Il faut six molécules de dioxyde de carbone et six molécules d'eau pour synthétiser une molécule de glucose, relâchant six molécules de dioxygène, grâce à l'énergie lumineuse.



Mais ce bilan est en fait décomposé en deux étapes successives :

- Les réactions photochimiques (phase claire) : $12 \text{ H}_2\text{O} + \text{lumière} \rightarrow 6 \text{ O}_2 + \text{énergie chimique (24 H)}$;
- Le cycle de Calvin (phase sombre) : $6 \text{ CO}_2 + \text{énergie chimique (24 H)} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{ H}_2\text{O}$.

2. Le chloroplaste

2.1. Localisation et types

Selon les espèces, on a de 10 à 100 chloroplastes par cellule (plus ils sont nombreux, plus ils sont petits). L'ensemble des chloroplastes s'appelle le plastidome.

Les chloroplastes sont généralement situés au niveau des feuilles, dans le mésophylle (ensemble de parenchymes palissadiques et lacuneux).

On ne trouve jamais de chloroplastes dans l'épiderme sauf dans les stomates. Ils sont au niveau des pétioles, des tiges herbacées et de certains organes floraux.

Au cours du développement de la plante, des proplastes se différencient en chloroplastes par des voies différentes selon les conditions externes :

- Les chloroplastes matures,
- Les chromoplastes colorés (comme dans les fruits et les fleurs),
- Les leucoplastes où sont stockés des réserves d'amidon, de lipides ou de protéines, ils sont alors respectivement appelés amyloplast, oléoplast, ou protéinoplastes.

2.2. Structure

Le chloroplaste est un organite à double membrane, il est composé de grana et stroma, le grana est un ensemble de granum comprenant chacun plusieurs saccules ou thylacoïdes. Le granum peut être constitué de 2 à 100 disques, sont reliés les uns aux autres par des lamelles stromatiques dont l'ensemble forme un réseau continu. Le stroma contient aussi des ribosomes ainsi que de l'ADN circulaire.

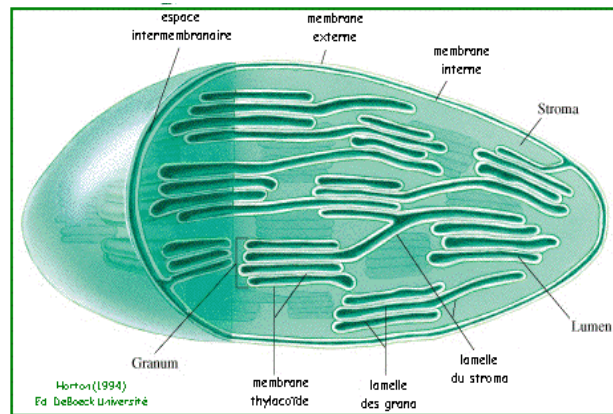
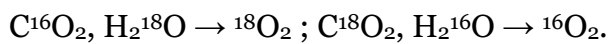


Figure 43: La structure du chloroplaste

3. Les étapes de la photosynthèse

Il y a deux phases. Une pendant laquelle l'eau est photodissociée (photochimique) et une autre pendant laquelle le CO₂ est incorporé (assimilatrice).



Ce processus est divisé en deux phases, la phase photochimique (ou réactions claires) et la phase biochimique (ou cycle de Calvin).

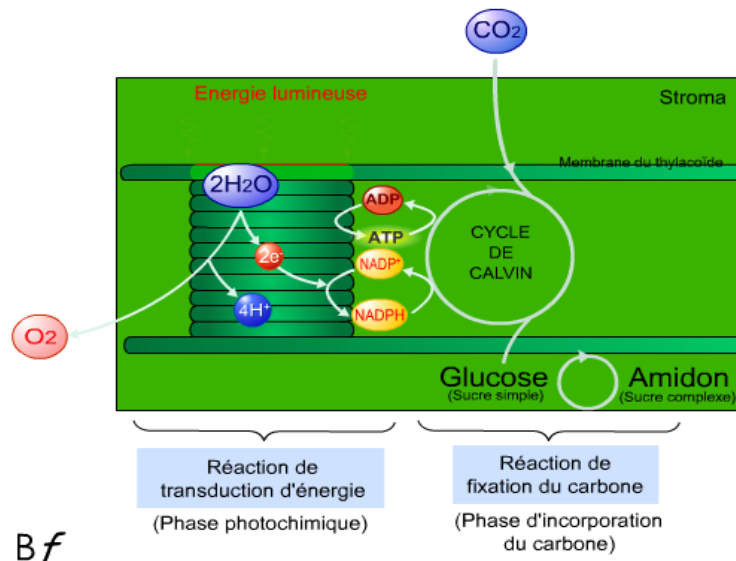


Figure 44 : Les deux étapes de la photosynthèse

3.1. Phase photochimique (claire)

D'abord, les pigments chlorophylliens associés à des protéines forment des photosystèmes qui absorbent et capturent les photons de la lumière. Ensuite, cette énergie lumineuse est convertie en énergie chimique avec la photo-oxydation de l'eau qui s'accompagne d'un transfert d'électrons et de protons jusqu'à un accepteur final et du dioxygène est produit. Enfin, ces réactions d'oxydoréduction sont couplées avec la production d'ATP (adénosine triphosphate) à partir de phosphate inorganique (Pi) et d'une molécule d'ADP (Adénosine di phosphate).

Au niveau du PSII va s'opérer une étape majeure de la photosynthèse : la **photolyse de l'eau**, donc, les électrons sont tout d'abord fournis par l'eau au photosystème II (PSII), puis par la suite ils sont transmis au photosystème I (PSI) pour que la **NADP réductase** réduise le NADP^+ en $\text{NADPH} + \text{H}^+$.

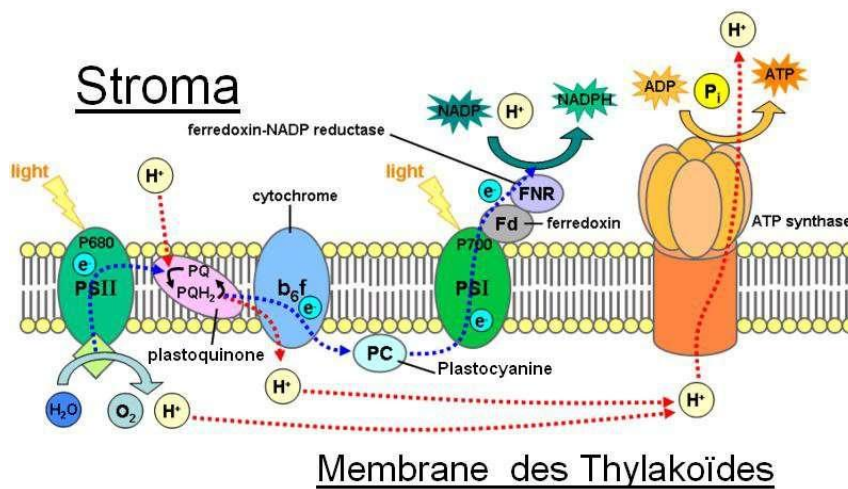


Figure 45 : Phase photochimique

3.2. Phase biochimique (sombre)

Cette phase a lieu en même temps que la phase photochimique, mais ne nécessite pas d'énergie lumineuse. La phase biochimique permet de fixer le carbone contenu dans le CO_2 atmosphérique et le lier aux atomes d'hydrogène des molécules d'eau. L'enzyme Rubisco est la principale enzyme permettant la fixation du carbone dans la matière organique. Le carbone fixé est ensuite transformé en saccharose (sucre) dans le cytoplasme. Le sucre fabriqué descend dans les racines de la plante et est stocké dans les vacuoles des cellules.

CHAPITRE 6 : nutrition carbonée

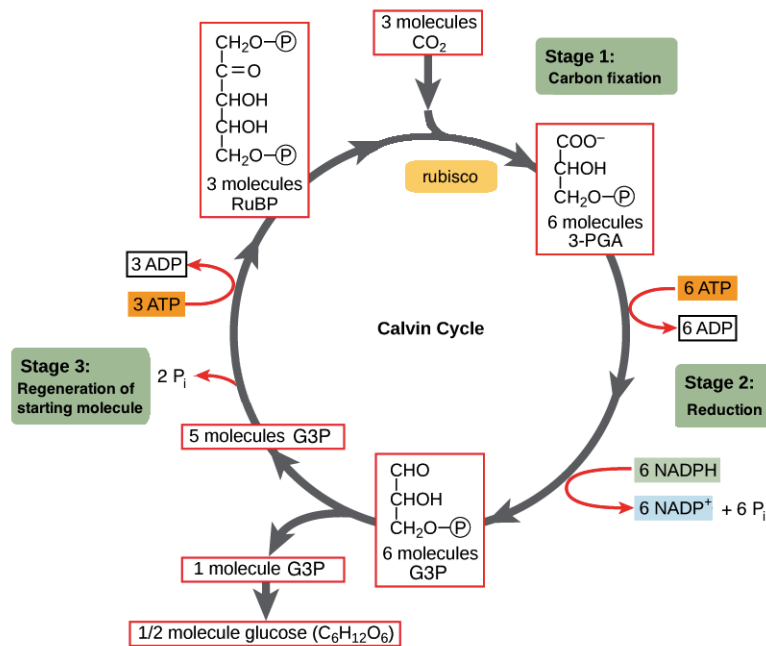


Figure 46 : Phase biochimique

4. Les différents types de fixation du carbone

La majorité des végétaux fonctionnent avec ce mécanisme appelé C_3 . Pour certaines plantes tropicales ou de zones arides qui doivent limiter leurs pertes d'eau, le mécanisme se nomme C_4 , car il y a un atome de carbone supplémentaire.

Il y a trois mécanismes connus de fixation du dioxyde de carbone au cours de la photosynthèse : C_3 , C_4 et CAM. Ces trois mécanismes diffèrent par l'efficacité de cette étape. Le mécanisme en C_3 correspond au mécanisme « de base », c'est celui de 98% des plantes vertes.

Les types en C_4 et CAM sont plus rares, mais on les trouve dans des espèces connues : le maïs est une plante C_4 , l'ananas une plante CAM. Ces sont des adaptations au stress hydrique ou à une réduction de disponibilité de CO_2 pendant la journée.

4.1. Le mécanisme des plantes en C_3

La première des étapes du cycle de Calvin consiste en une carboxylation (fixation d'une molécule de CO_2) sur le ribulose 1,5 bisphosphate, catalysée par la RubisCO, pour donner deux molécules d'un composé à 3 atomes de carbone (Acide 3-phosphoglycérique, APG).

4.2. Le mécanisme des plantes en C₄

Le métabolisme C₄ dissocie *dans l'espace*, les phases photochimique et non photochimique. Les plantes qui l'utilisent captent le CO₂ atmosphérique, non directement par RubisCO, mais par l'action de la phospho-énol-pyruvate-carboxylase (PEP-carboxylase) qui produit un composé à **quatre** atomes de carbone (un acide dicarboxylique : oxaloacétate, puis malate ou aspartate). Ces réactions ont lieu dans le mésophylle .

4.3. Le mécanisme des plantes CAM (*Crassulacean Acid Metabolism*)

Elles diffèrent des C₄ du fait que la fixation du carbone n'est pas séparée dans l'espace mais dans le temps (nuit/jour). Durant la nuit, lorsque les stomates sont ouverts, un stock de malate est produit, puis stocké dans la vacuole des cellules photosynthétiques. Au cours de la journée, ces malates sont retransformés en dioxyde de carbone et le cycle de Calvin peut s'effectuer, le CO₂ restant disponible pour la photosynthèse malgré la fermeture des stomates. Ainsi les pertes d'eau par transpiration sont limitées. Ce mécanisme est observé notamment chez les Crassulaceae (« plantes grasses », comme le cactus).

Ce mécanisme existe aussi dans des milieux aquatiques, lorsque la disponibilité en CO₂ est réduite pendant la journée (par exemple du fait de la consommation par les plantes).

5. Les facteurs de l'environnement et la photosynthèse

5.1. La lumière

La quantité d'éclairement intervient et les plantes comme les sciaphilles (plantes d'ombres) vont accepter un faible éclairement. Les plantes héliophiles vont demander un éclairement plus important. Les plantes d'ombre ont des feuilles peu épaisses avec peu de parenchymes. Toutefois, les chloroplastes sont pourvus de nombreux thylacoïdes qui leur permettent de compenser ce manque de lumière.

Les plantes en C₃ arrivent à saturation au tiers du plein soleil. Les C₄ ne sont pas gênés par une intensité lumineuse maximale. La qualité de la lumière joue un rôle dans l'assimilation. Dans certaines serres, on ajoute certaines radiations pour améliorer les cultures.

5.2. La teneur en CO₂.

La concentration de l'atmosphère en CO₂ est de 0,03%.

Artificiellement, on peut augmenter la teneur en CO₂ jusqu'à 1% (au-dessus, la concentration devient toxique). C'est le principal facteur limitant de la croissance des plantes. A température élevée, les stomates se ferment, empêchant donc l'entrée du CO₂. Les stomates des plantes sont ouverts le jour et fermés la nuit (inversement pour les CAM)

5.3. La température.

La température agit sur les réactions enzymatiques (sur la phase assimilatrice). La réaction photochimique est sensible la lumière alors que les réactions enzymatiques sont sensibles à la température.

CHAPITRE 7 : HETEROTROPHIE ET RELATION ENTRE PLANTE**Introduction**

Les êtres vivants sont des « systèmes ouverts » qui échangent de la matière et de l'énergie avec leur environnement. À partir d'eau et de sels minéraux, de carbone, d'azote et d'une source d'énergie, certains organismes sont capables de réaliser la synthèse des substances organiques (glucides, lipides, protéines, acides nucléiques, etc.) qui les constituent; ce sont les organismes autotrophes, dits phototrophes ou photosynthétiques quand l'énergie est la lumière.

Ces organismes sont essentiellement les procaryotes chlorophylliens : bactéries vertes, pourpres et cyanobactéries, et les eucaryotes chlorophylliens : mousses, fougères, euglènes, algues, gymnospermes et angiospermes.

En revanche, les organismes qui sont incapables d'effectuer eux-mêmes les synthèses de leurs constituants à partir d'éléments minéraux sont appelés hétérotrophes.

1. Une plante hétérotrophe

L'hétérotrophie par rapport au carbone est rare dans le règne végétal, alors qu'elle est courante dans le règne animal.

Les **végétaux hétérotrophes** sont des végétaux qui utilisent (uniquement ou en partie) une source de carbone organique pour se développer (sous forme d'association, hôte ou capture). Contrairement aux végétaux autotrophes, les plus communs, qui utilisent le carbone inorganique et l'eau pour se développer, souvent par le processus de photosynthèse (photoautotrophes).

Les végétaux hétérotrophes prélèvent leurs nutriments soit par symbiose, soit par parasitisme, soit par prédation.

On peut distinguer plusieurs types d'hétérotrophie :

- le saprophytisme qui est le recyclage d'autres organismes
- le parasitisme destructeur à l'égard de la plante hôte
- la symbiose, une sorte de parasitisme équilibré

2. Les plantes saprophytes

Les plantes saprophytes sont les plantes capables de pousser sur des matières mortes telles que les feuilles mortes ou décomposées ce qui constitue pour elles une source de nutrition. Ils participent au recyclage des éléments minéraux. On les appelle aussi plantes non vertes. Ce sont essentiellement des mycètes.

3. Les plantes symbiotiques

La symbiose est l'association de deux organismes qui bénéficient mutuellement de leur vie commune¹. Les végétaux symbiotiques sont impliqués dans une relation symbiotique avec un autre organisme

Les échanges peuvent concerner l'apport d'eau, la nutrition minérale, carbonée ou azotée, des substances hormonales ou la protection à l'égard des conditions climatiques extérieures agressives.

On trouve différents types de symbioses :

3.1. La symbiose de lichen : c'est une association de Mycobiontes (mycètes) et de photobiontes (algues) ou cyanobactéries. En général, ces espèces peuvent vivre seules, mais ils s'associent pour former les lichens.

Les algues amèneraient les produits de la photosynthèse. Les lichens sont des formes très résistantes aux conditions extérieures (eau et température). Ils sont sensibles aux pollutions.



Figure 47 : Lichen

3.2. Les symbioses mycorhiziennes : ce sont des associations de champignons et de racines de des plantes. Les champignons assurent la fonction de poils absorbants (pour l'eau et les sels minéraux).

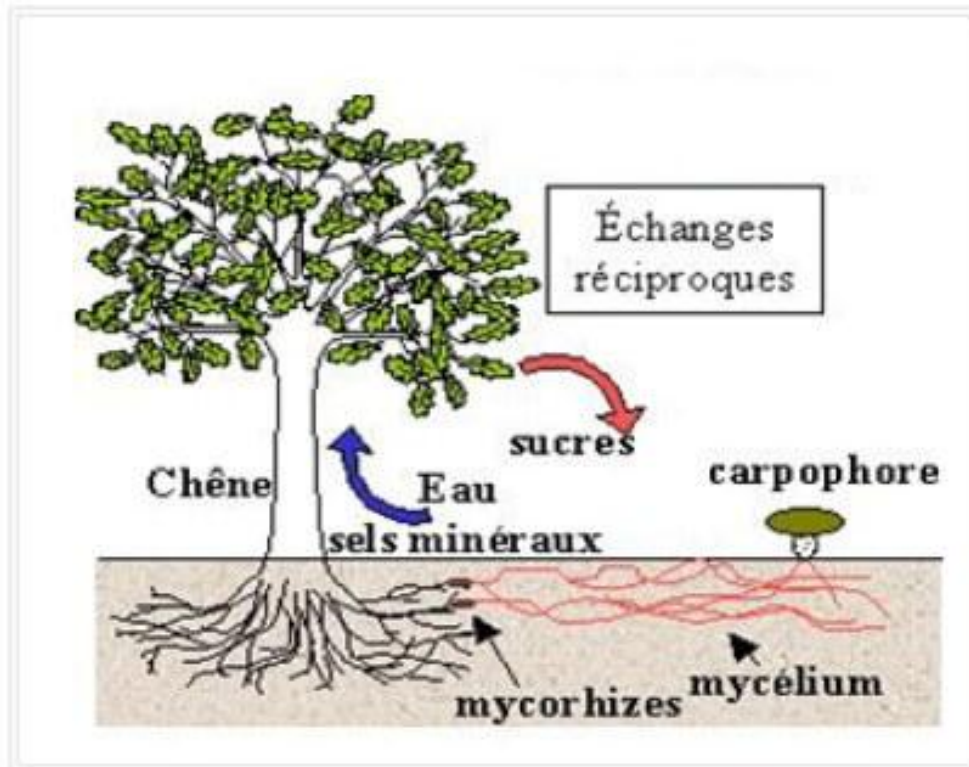


Figure 48 : Symbioses mycorhiziennes

3.3. Les symbioses bactériennes : certaines bactéries (parmi, les cyanobactéries, les actinomycètes, les rhizobiacées) vont s'associer à des plantes et fixer l'azote atmosphérique (on parle d'engrais « verts »). Les actinomycètes forment des nodules (excroissances souvent au niveau aérien) où la bactérie transforme l'azote. *Rhizobium* affecte uniquement les légumineuses.

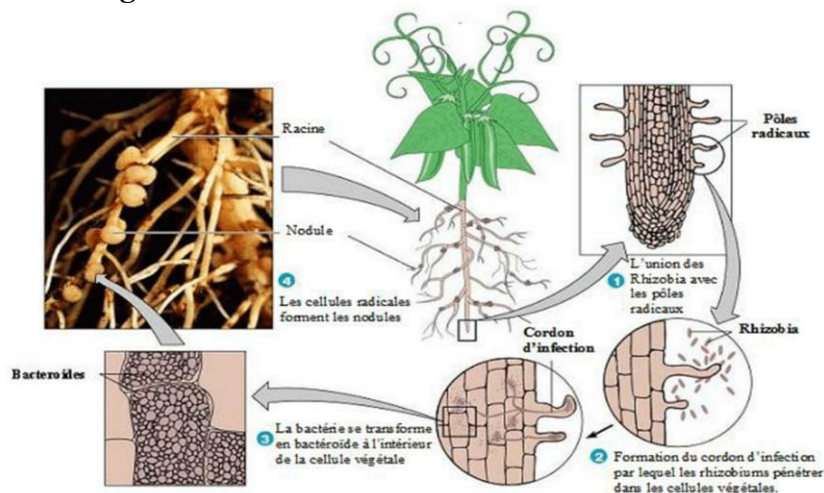


Figure 50 : Les nodosités des racines de légumineuses

4. Le parasitisme

C'est un phénomène souvent pathogène, chez les plantes comme chez les animaux. Les plantes parasitées restent chétives, fructifient peu ou pas et souvent meurent précocement. Les bactéries et les champignons sont les parasites les plus connus. Cependant un bon nombre de plantes angiospermes sont des parasites comme le gui, la cuscute et certains Cytisus.

Le parasitisme chez les végétaux est une relation biologique chez laquelle un des protagonistes (la plante parasite) tire profit en se nourrissant aux dépens de l'hôte (la plante parasitée). Les végétaux parasites absorbent des glucides et des minéraux d'autres plantes afin d'assurer leur survie.

4.1. Les parasites obligatoires. Ce sont les champignons qui ne peuvent se développer que sur un hôte vivant et qui est spécifique d'une espèce ou d'une variété. On trouve par exemple *Puccinia graminis* qui est la rouille du blé (et de l'orge)(voir le cours de BV), *Ustilgo maydes* qui donne le charbon du maïs.



Figure 51 : La rouille de blé

CHAPITRE 7 : Hétérotrophie et relation entre plante

4.2. Les haloparasites (plantes parasites de plantes) : ce sont des plantes qui ne synthétisent pas de chlorophylle. On trouve la cuscute qui se développe sur les parties aériennes en formant des réseaux de filaments blancs. On a aussi l'orobanche qui se fixe sur les racines en formant des fleurs brun/rouge.



Figure 52 : La cuscute

4.3. Les hémiparasites : ils sont autotrophes pour le carbone, mais utilisent l'hôte pour lui prendre l'eau et les sels minéraux. On trouve *Viseum album* (le gui) qui produit des graines collantes, qui, sur l'arbre, s'insèrent dans la branche et détournent la sève brute.

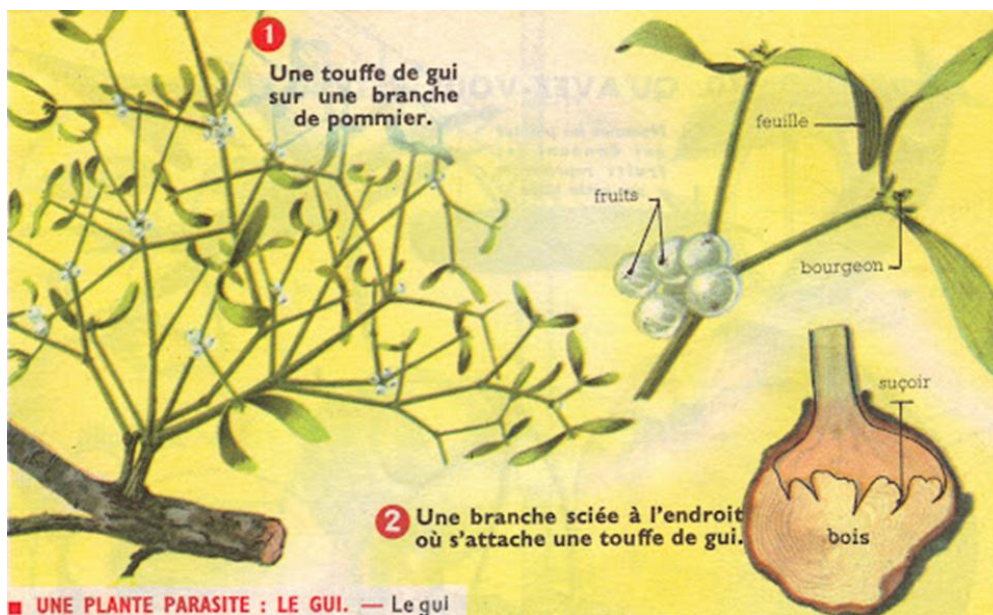


Figure 53 : Le gui

5. La prédation

Les plantes carnivores sont adaptées aux milieux ayant des sols acides et pauvres en azote et autres minéraux, comme les tourbières. Puisque l'acidité inhibe le développement de bactéries et la décomposition de la matière organique, ces plantes carnivores ont su développer des adaptations pour remédier à la rareté d'azote et d'autres minéraux, et pour pouvoir aller chercher les éléments dont elles ont besoin ailleurs que dans le sol, soit chez des animaux ou insectes. Les plantes carnivores utilisent diverses stratégies pour capturer leurs proies grâce à différents types de pièges résultant de modifications des feuilles.

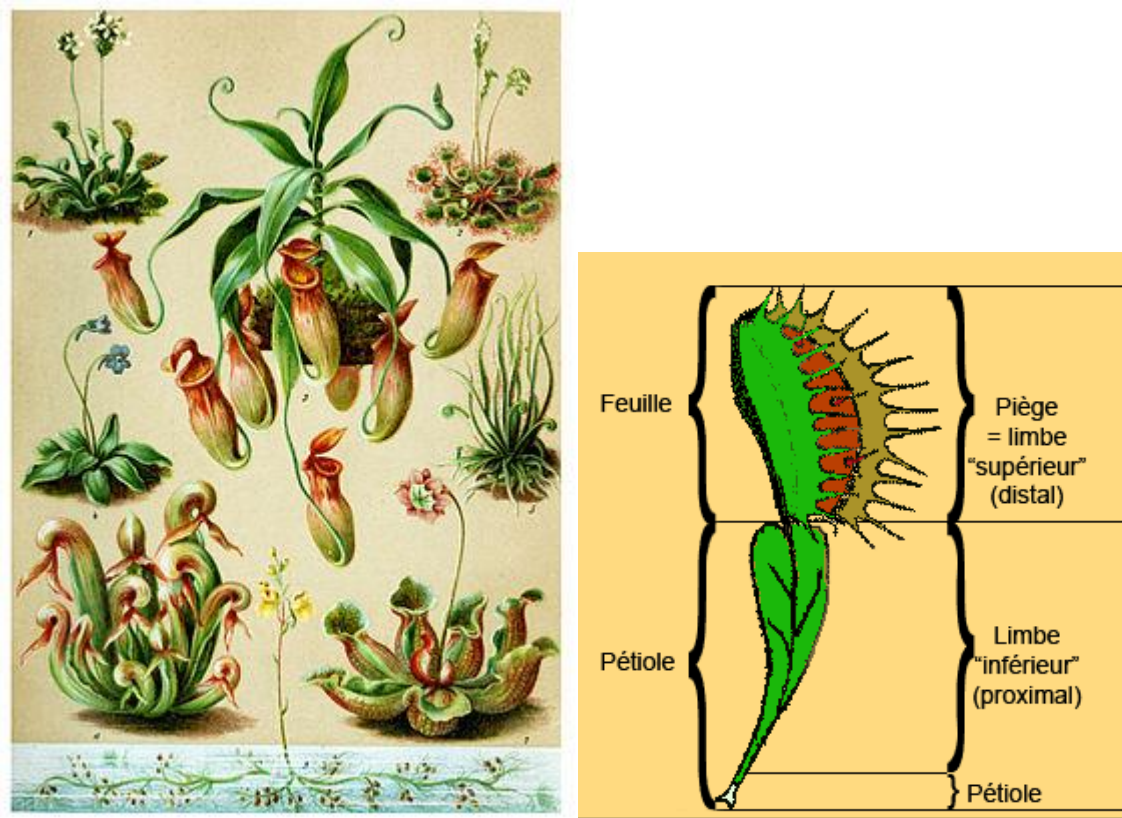


Figure 54 : Les plantes carnivores

**CHAPITRE 8 : REPOSE DES VEGETAUX
AUX DEFIS DE L'ENVIRONNEMENT****Introduction**

Contrairement aux animaux qui peuvent se déplacer lorsque les conditions de vie ne leur sont plus favorables, les plantes sont pour la plupart fixées. Elles ont de ce fait développé des stratégies d'adaptation pour répondre aux changements environnementaux en modulant et en ajustant en permanence leurs systèmes métaboliques.

Les plantes doivent affronter différents types d'agressions ou de stress abiotiques et s'y adapter : le manque ou l'excès d'eau, les fortes ou faibles luminosités, la pollution de l'air, la salinité des sols, les températures extrêmes et le vent. Elles subissent également d'autres types d'agressions par des organismes vivants, on parle alors de stress biotiques

A. Les stress abiotiques

Causés par des facteurs climatique ou édaphique ; on retrouve le stress hydrique causé généralement par un manque d'eau, le stress thermique causé par des températures extrêmes, le stress salin causé par l'excès des sels minéraux solubles , en particulier le NaCl ainsi que le stress nutritionnel qui peut être causé par une carence ou une toxicité d'un élément nutritif.

Ils existent d'autres stress causés par les radiations, le vent, etc...

1. Le stress hydrique

La notion de stress hydrique renvoie en réalité le plus souvent au stress causé par un manque d'eau qui peut être expliqué par :

- Un défaut d'alimentation au niveau racinaire, causée par une sécheresse ou par la composante osmotique d'une contrainte saline
- Une forte perte d'eau au niveau foliaire, causée par la chaleur, le vent une faible humidité relative, un défaut de régulation de la fermeture des stomates causé par une infection par un pathogène...

On peut distinguer des mécanismes d'acclimatation survenant sur :

- Quelques minutes : Fermeture des stomates
- Quelques heures : Accumulation de solutés compatibles
- Quelques jours : un faible rendement, la fructification tardive ou nulle...

Les plantes vivant dans les régions sèches et désertiques ont dû développer des mécanismes et stratégies permettant de gérer cette ressource naturelle parfois très rare qu'est l'eau. Différentes modalités existent :

1. Adaptation du cycle de végétation à la saison des pluies
2. Stockage d'eau et de nourriture
3. Ralentissement de l'évapotranspiration par différents mécanismes comme la réduction du nombre de stomates, la couverture des feuilles par de long poils ou la réduction de la taille des feuilles

2. Le stress thermique

Le stress thermique chez les végétaux est l'ensemble des modifications de la physiologie des végétaux lorsque la température s'élève ou s'abaisse au-delà des conditions habituelles. Il diffère selon les espèces et la forme et ampleur du changement de température.

CHAPITRE 8 : Réponse des plantes à l'environnement

Parmi les mécanismes biochimiques de tolérance à la chaleur, la réduction de la **transpiration par la fermeture de stomate**, switcher vers le **métabolisme C₄**, l'induction de **protéines de choc thermique** (Heat Shock Proteins), pour protéger le métabolisme

Le froid crée des cristaux de glace dans les cellules ce qui entraîne leur mort, généralement entre -5 °C et -15 °C . De plus, lorsque le sol est gelé, l'eau n'est plus disponible et cela amène un stress hydrique. L'acclimatation au froid se fait par l'endurcissement des feuilles, et par l'augmentation de la concentration en molécules protectrices, appelées cryoprotecteurs.

3. Le stress salin

La salinité constitue l'un des facteurs abiotiques les plus répandus dans les zones arides et semi arides ce qui limite fortement les rendements agricoles. Le terme de stress salin s'applique essentiellement à un excès d'ions, mais pas exclusivement, aux ions Na^+ et Cl^- dans la rhizosphère et dans l'eau.

Le stress salin déclenche à la fois un stress osmotique et un stress ionique. Il peut directement ou indirectement affecter le statut physiologique des plantes en changeant le métabolisme, la croissance et le développement des plantes.

Des adaptations **anatomiques et physiologiques** sont présentes pour gérer l'excès de sels et économiser de l'eau :

1. **réduction de la transpiration**
2. **constitution de réserves d'eau** : organes aériens souvent succulents ou charnus comme chez les végétaux vivant dans des milieux arides ;
3. **contrôle de l'entrée des sels** : sélectivité de la perméabilité membranaire, présence de glandes dans l'épiderme chargées de l'excrétion des sels, surtout le chlorure de sodium, ou stockage de ceux-ci dans des vacuoles ou perte d'organes chargés en sel.

4. Les toxicités métalliques

Le pH des sols est un facteur fort de structuration des populations végétales. Les principaux effets concernent la nutrition et la toxicité minérale.

4.1. La toxicité à l'aluminium

A pH acide, une des contraintes principales est représentée par la biodisponibilité importante de l'aluminium. Les plantes calcicoles sont souvent des plantes particulièrement sensibles à la toxicité de l'aluminium. Les plantes acidophiles sont souvent tolérantes à l'aluminium.

4.2. La carences en fer

A pH basique, la contrainte principale réside dans la faible biodisponibilité du Fe. Beaucoup de plantes acidophiles ont des capacités limitées de remobilisation du Fe insoluble.

B. Les stress biotiques

Les stress biotiques sont déclenchés par des champignons, des insectes, des bactéries, les principaux sont :

- Le parasitisme (champignons, virus, nématodes, bactéries...)
- La compétition avec d'autres végétaux.
- La prédation.

Les plantes « reconnaissent » les micro-organismes grâce à des molécules « signal » incluses dans les parois de ces derniers.

Certains micro-organismes sont bénéfiques et symbiotiques (mycorhizes, rhizobium,...). D'autres sont pathogènes et responsables de maladies (oïdium, mildiou, botrytis, fusarium, pythium, rhizoctonia ...).

Comment répondent les plantes ?

- par le « suicide cellulaire » : sur le site de l'infection afin de bloquer le pathogène, la plante sacrifie des cellules.
- par renforcement de la barrière mécanique par épaissement de la paroi de la cellule.
- par la production de métabolites à activité anti-microbienne, en particulier les phytoalexines.
- par la production d'enzymes qui dégradent la paroi des pathogènes comme la glucanase et la chitinase