

L3 Écologie et Environnement

# ÉCOPHYSIOLOGIE VÉGÉTALE



Préparé par

Dr HAMEL Asma

**Cours Ecophysiologie végétale**  
**3<sup>ème</sup> écologie et environnement**

**Sommaire**

**Chapitre 1 : Graine et germination**

**Chapitre 2 : Floraison**

**Chapitre 3 : Régulation du développement et croissance**

**Chapitre 4: Nutrition minérale**

**Chapitre 5 : Nutrition carbonée**

**Chapitre 6: Réponse des végétaux à l'environnement**

**2024**

**Dr HAMEL Asma**

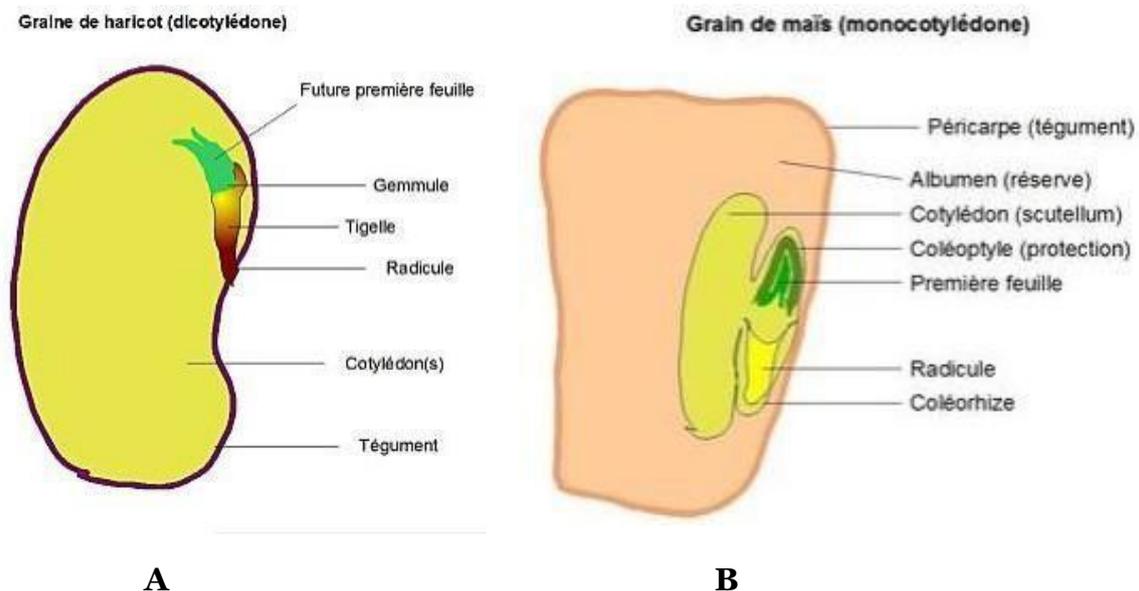
## CHAPITRE 1 : GRAINE ET GERMIANTION

## 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.

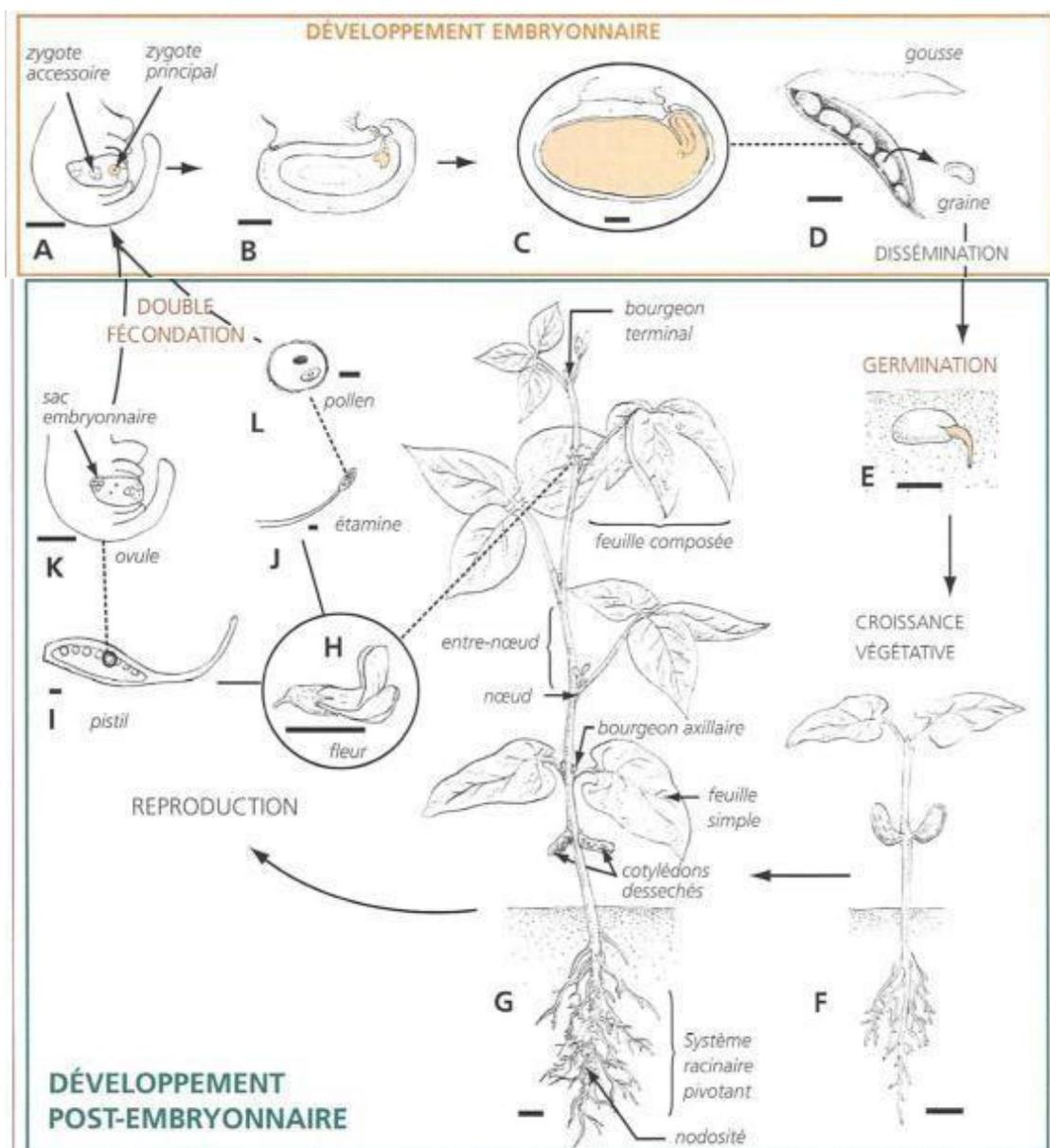
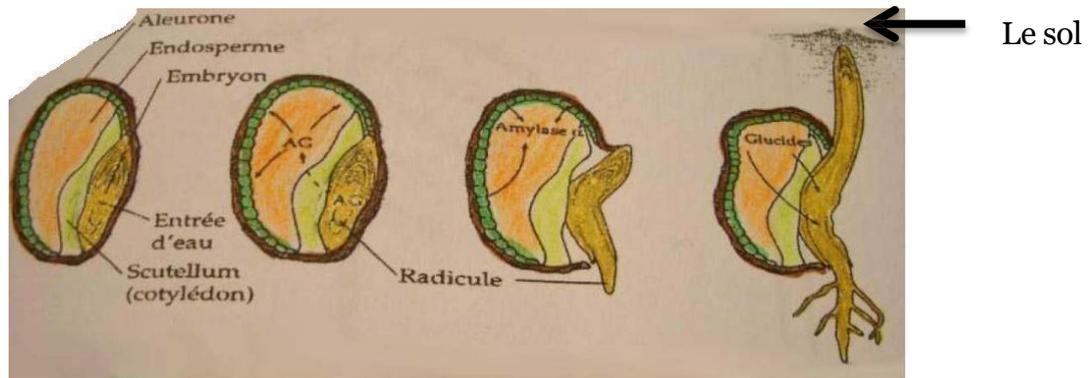


Figure 12 : la formation de la graine

### 3. La germination

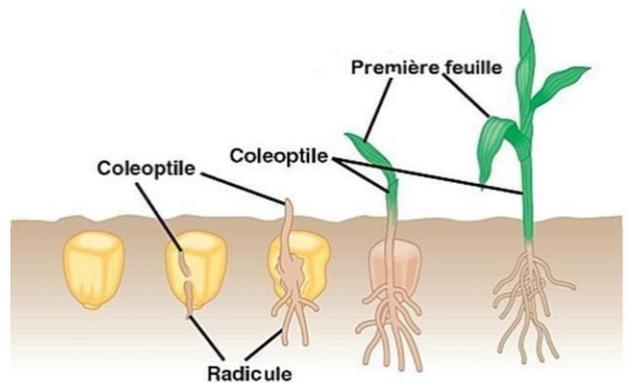


### 4. Les différents types de germination

#### 4.1. Germination d'une monocotylédone

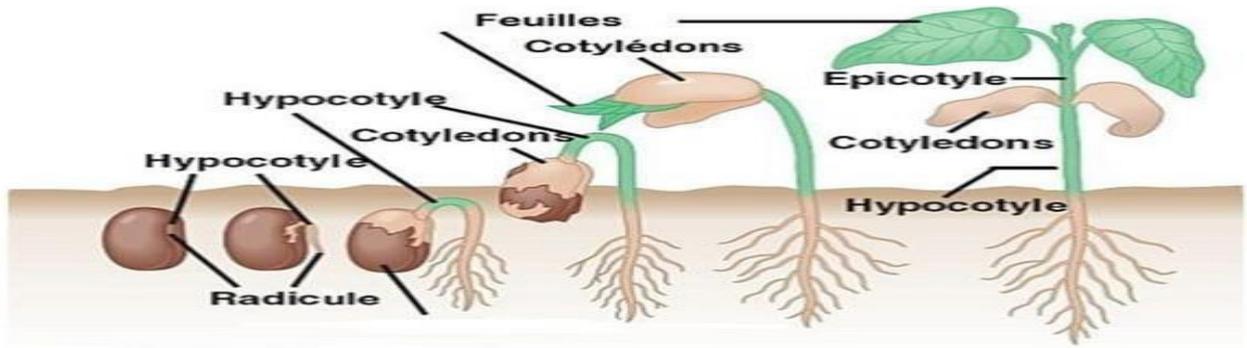
La radicule sort de la graine après avoir percé le coléorhize ; le coléoptile de son côté se dirige vers la surface avec en son sein la feuille qu'il protège des agressions du sol. Une fois à l'air libre, il arrête sa croissance, et la feuille qui en sort se développe.

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.



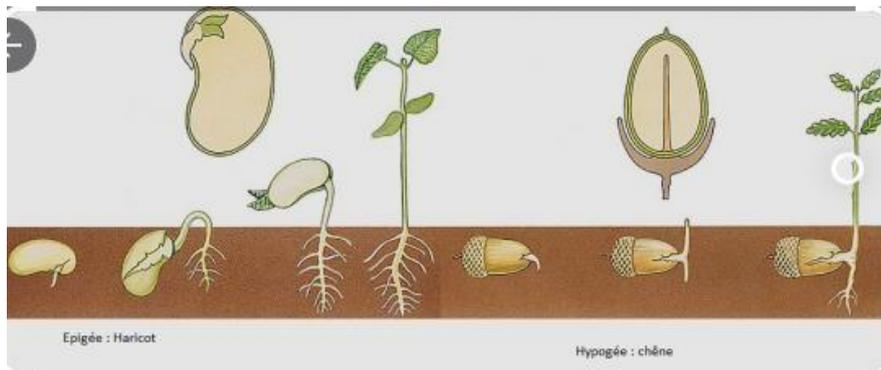
**Figure 14 : Germination de graine monocotylédone**

**4.2. Germination d'une dicotylédone**



**Figure 02 : Germination de graine dicotylédone**

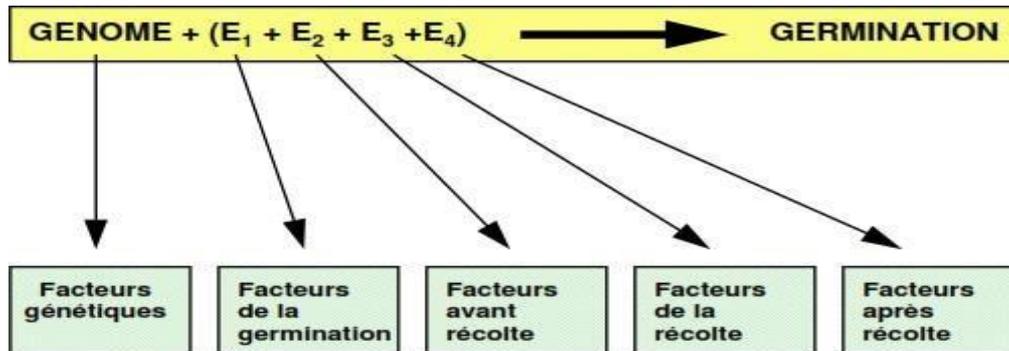
**4.3. Germination hypogée ou épigée**



**Figure 03 : 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**

**Graines macrobiontiques),**

**Graines mésobiontiques**

### 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
- Les facteurs de la germination
- 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

- **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.

- **L'imperméabilité 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
- \_ Les dormances scotolabiles
- \_ Les dormances xérolabiles
- \_ Les dormances psychrolabiles

- **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.

## 8. Levée de la dormance des graines

### 8.1. La vernalisation

### 8.2. La Stratification

### **8.3. La pré-germination**

### **8.4. La scarification**

## 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.

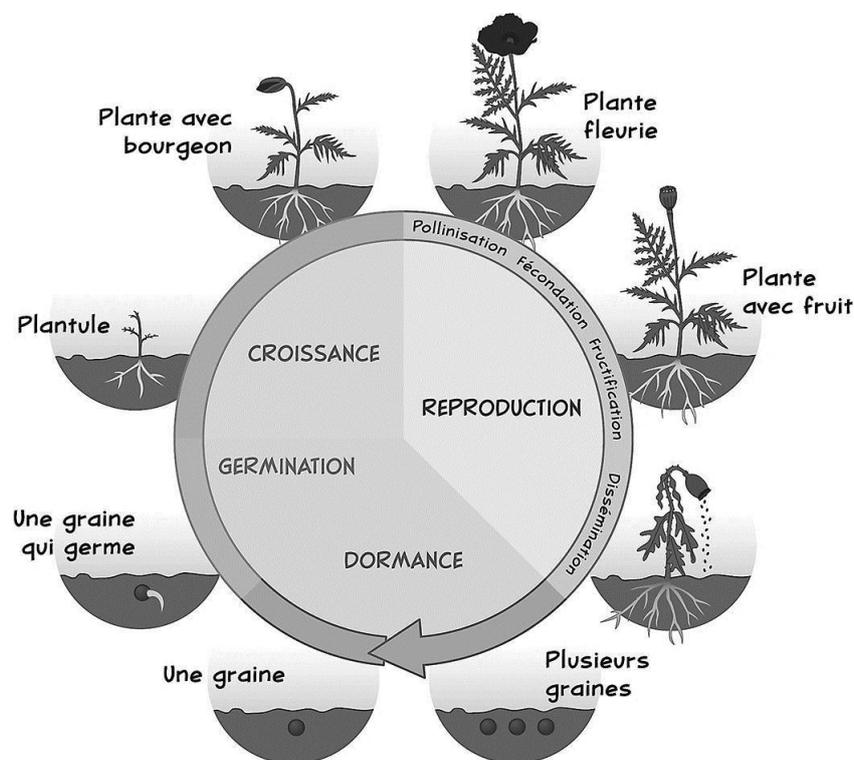


Figure 04 : Le cycle de vie des plantes

## 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)

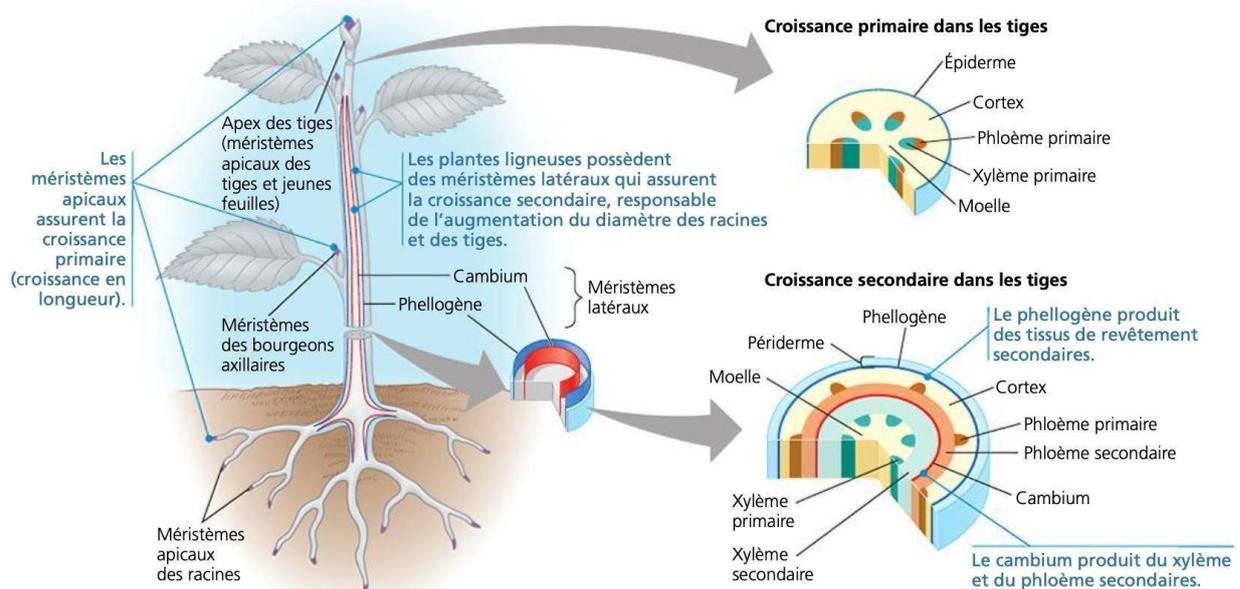


Figure 05 : La croissance primaire et secondaire

## 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**.
- La zone génératrice subéro-phéllodermique, ou **phellogène**,

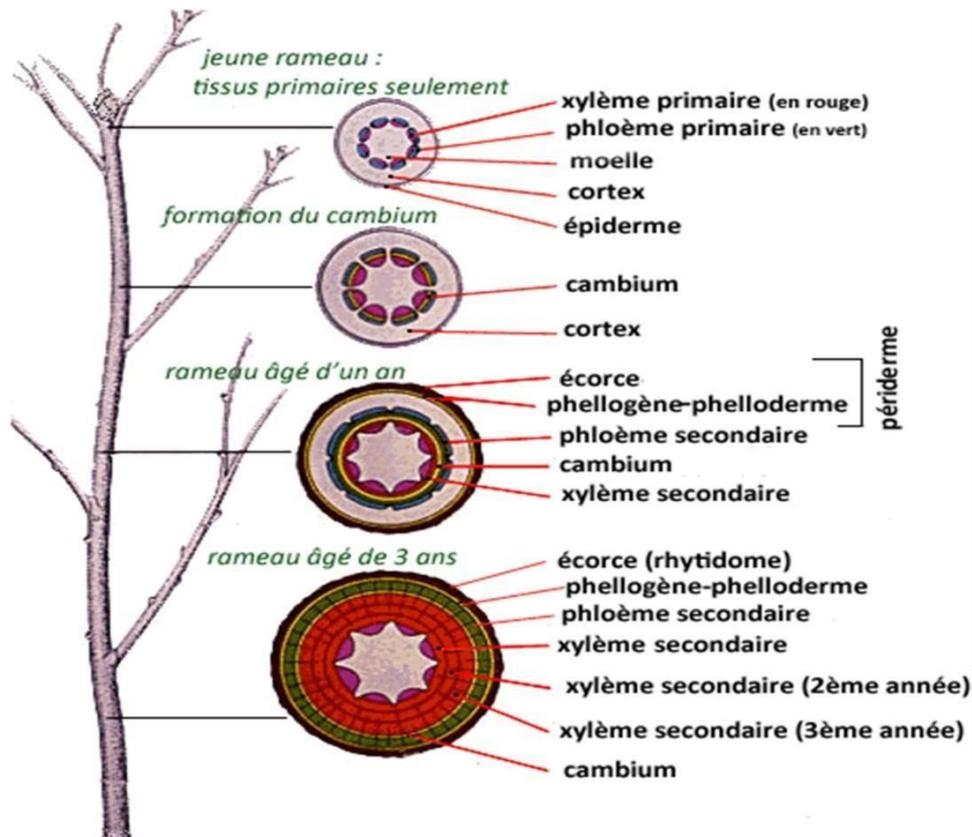


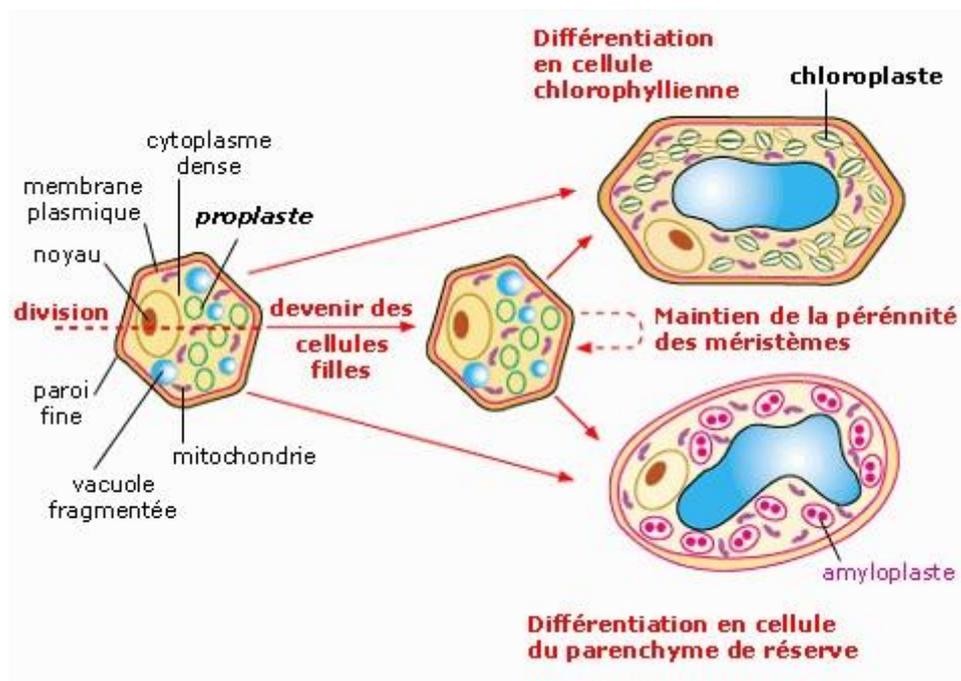
Figure 06 : La croissance secondaire dans une tige

### 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



**Figure 07 : 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

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.

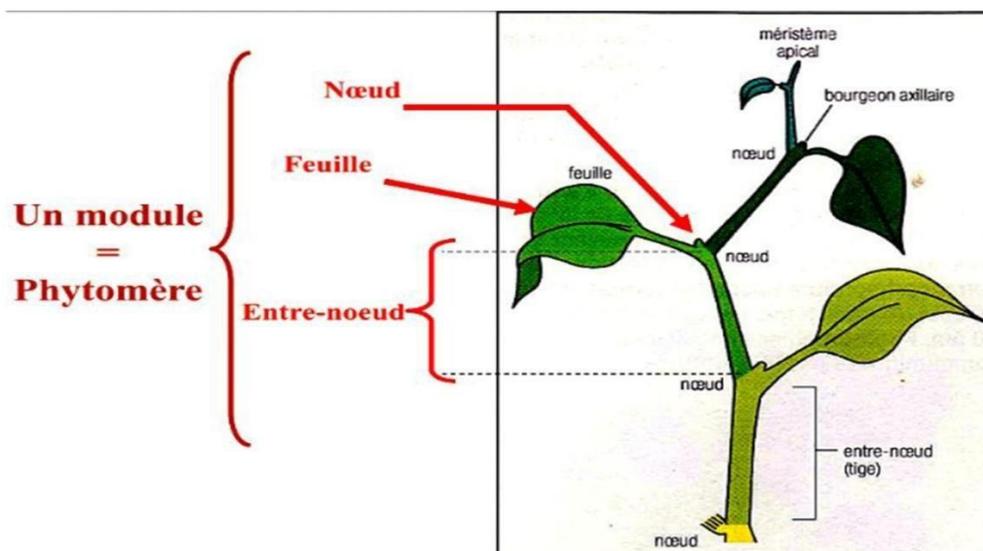


Figure 07 : L'édification de la partie aérienne

1.2. La feuille

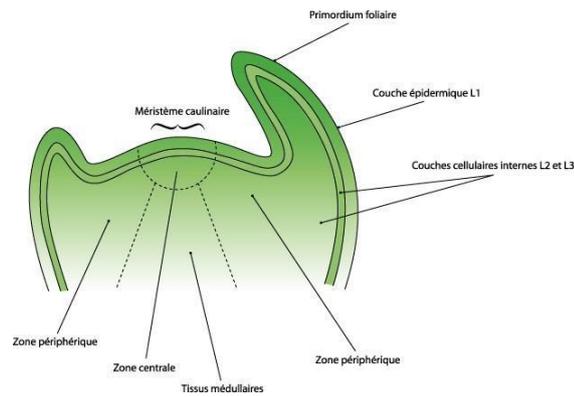


Figure 08 : la zone périphérique du méristème caulinaire

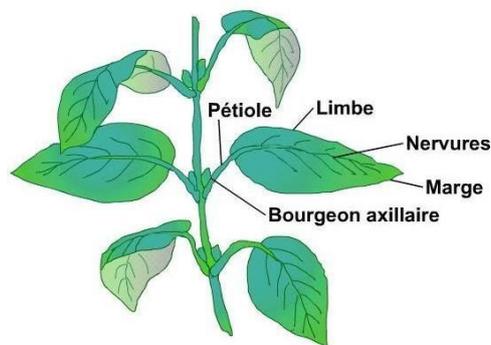


Figure 23 : La formation des feuilles

• Phyllotaxie

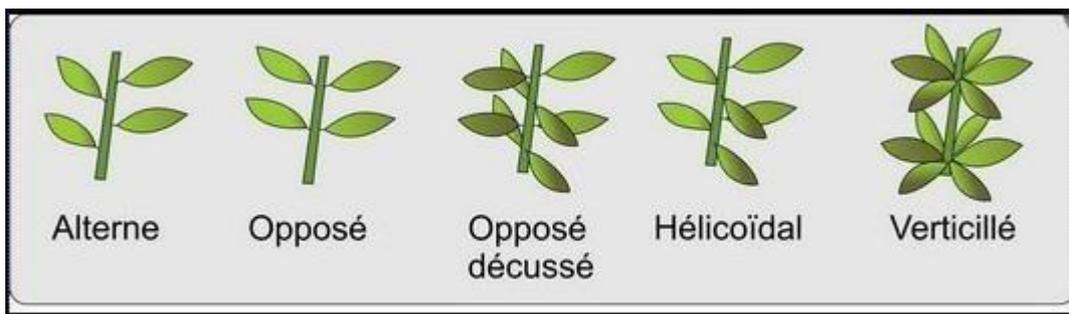
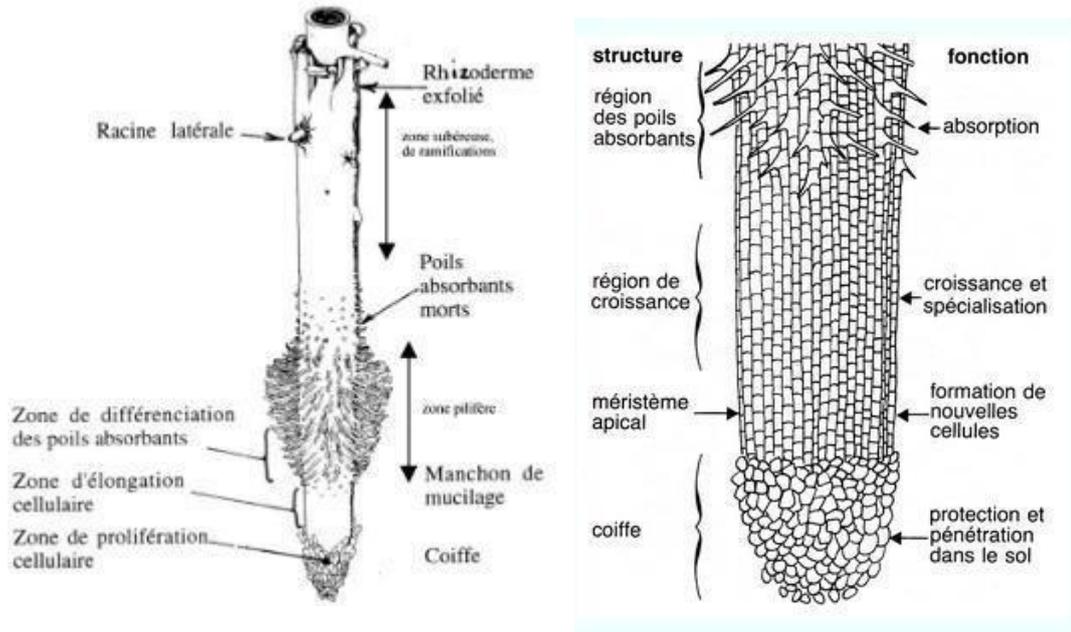


Figure 09 : Les différentes dispositions des feuilles

**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.



**Figure 10 : Les différentes parties de la racine**

### III. La dominance apicale

#### 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

#### L'âge de la plante

#### La mise à fleurs du méristème terminal :

**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.

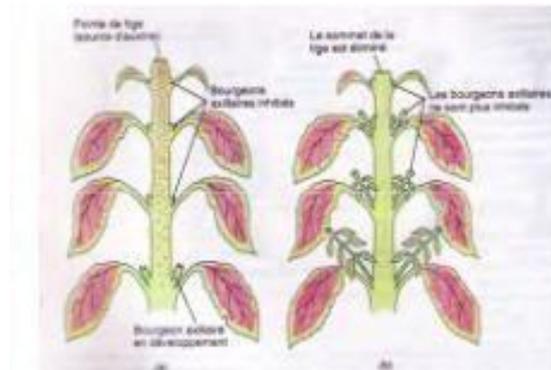


Figure 11 : La dominance apicale

**1. 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.

**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.

**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.

### **III. Influence des facteurs de l'environnement**

#### **1. Le phototropisme**

Les plantes vont pousser vers la lumière. Il va donc y avoir une réorientation pour optimiser la lumière qu'elles reçoivent.

#### **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

## CHAPITRE 5 : NUTRITION MINERALE

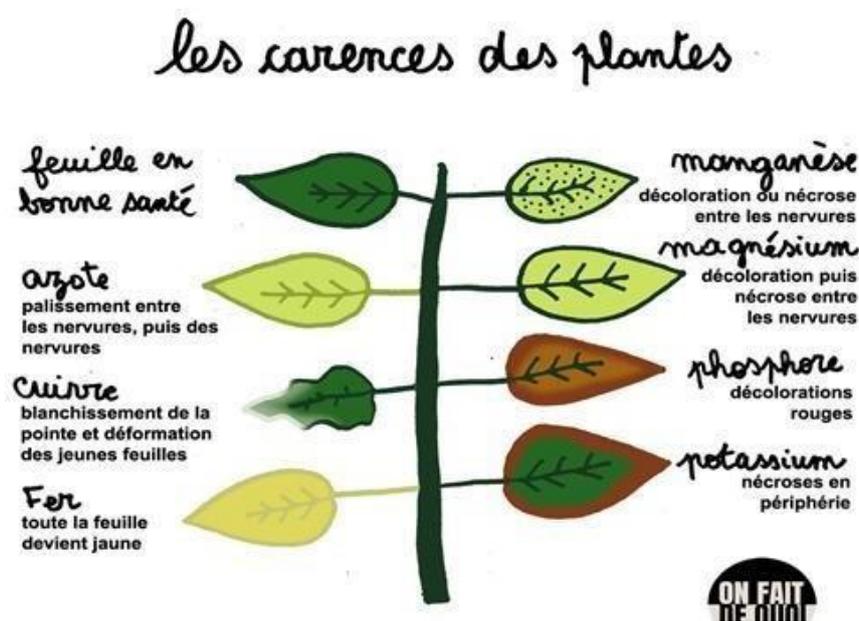
**Introduction**

La sève brute est composée d'eau, de sels minéraux dissociés en ions ( $\text{PO}_4$ ,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_3$ , 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.

### 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.

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

### 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.

**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.

**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.

**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).

## **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.

## **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.

### **3.2. Le zinc**

Le zinc est l'activateur de nombreuses enzymes. Cet oligoélément intervient dans la synthèse de la chlorophylle.

### **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).

### **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  $\text{NO}_3^-$  facilite par exemple l'absorption du potassium  $\text{K}^+$ . En revanche, une absorption importante de potassium  $\text{K}^+$  entrave l'absorption de magnésium  $\text{Mg}^{2+}$ . Les antagonismes  $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$  sont également bien connus.

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

Antagonismes et synergies

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



**CHAPITRE 6 : NUTRITION CARBONÉE****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)

**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).

### 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).

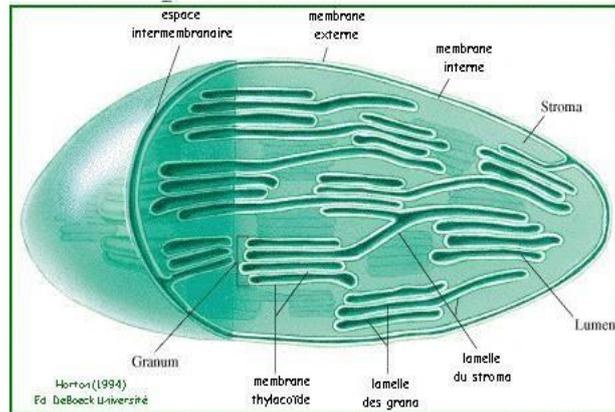
On ne trouve jamais de chloroplastes dans l'épiderme sauf dans les stomates. Ils sont au niveau des pétioles, des tiges herbacées et de certains organes floraux.

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 amyloplastes, oléoplastes, ou protéinoplastes.

**2.2. Structure**

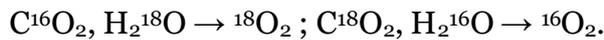
Le chloroplaste est un organite à double membrane, il est composé de grana et stroma, le grana est un ensemble de granum comprenant chacun plusieurs saccules ou thylacoïdes. Le granum peut être constitué de 2 à 100 disques, sont reliés les uns aux autres par des lamelles stromatiques dont l'ensemble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



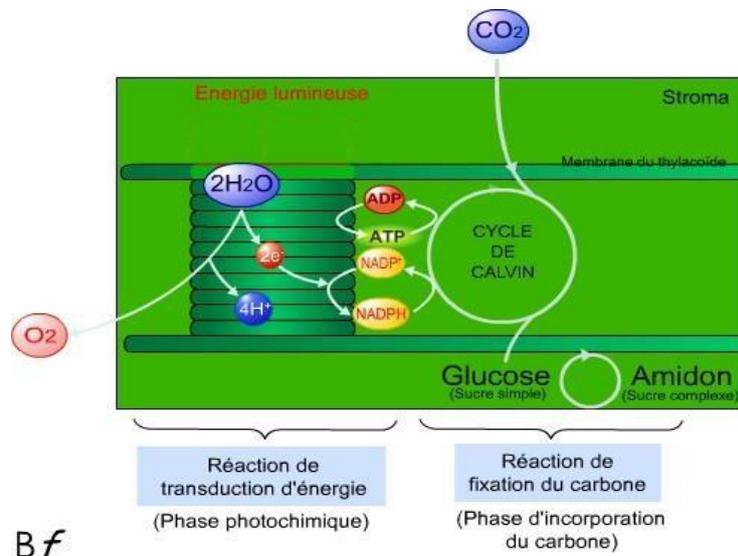
**Figure 43: La structure du chloroplaste**

**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 CO<sub>2</sub> 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**

CHAPITRE 6 : nutrition carbonée

3.1. Phase photochimique (claire)

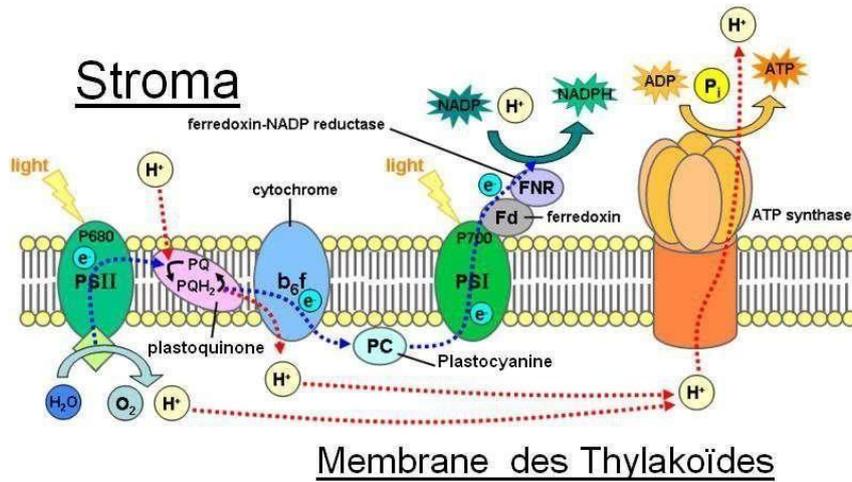


Figure 11 : Phase photochimique

3.2. Phase biochimique (sombre)

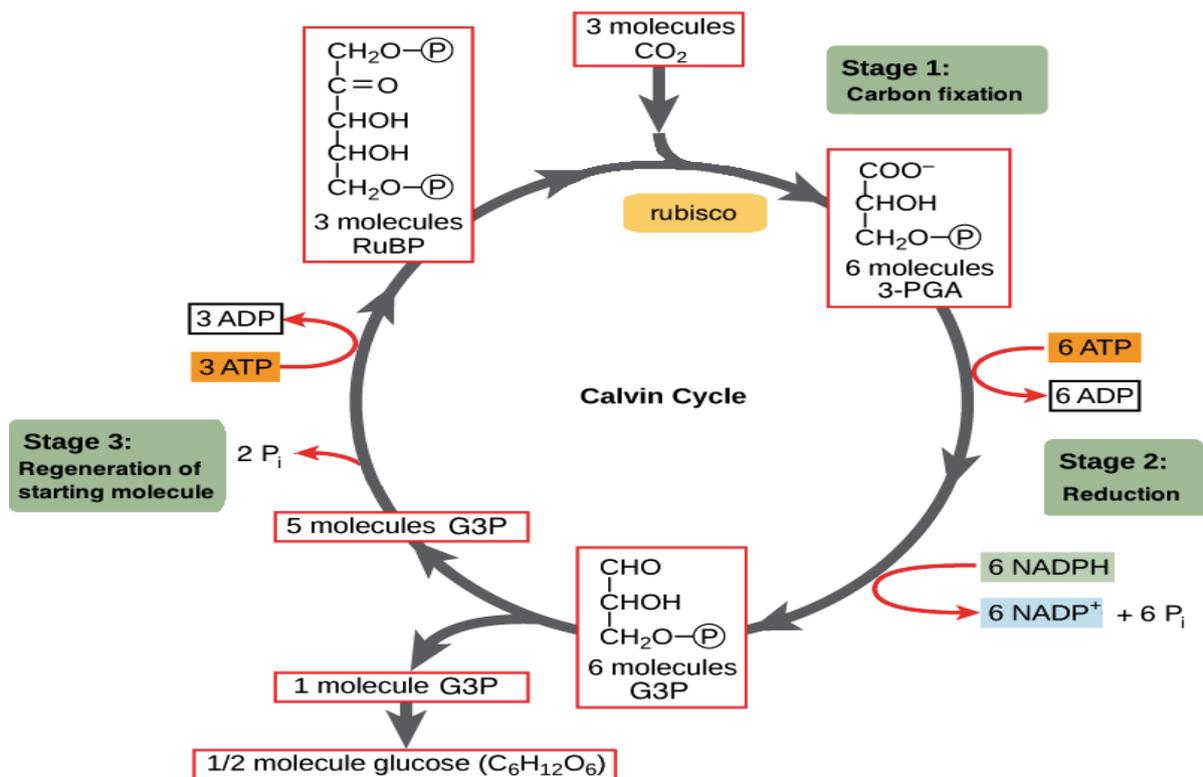


Figure 12 : Phase biochimique

#### **4. Les différents types de fixation du carbone**

La majorité des végétaux fonctionnent avec ce mécanisme appelé C<sub>3</sub>. Pour certaines plantes tropicales ou de zones arides qui doivent limiter leurs pertes d'eau, le mécanisme se nomme C<sub>4</sub>, car il y a un atome de carbone supplémentaire.

##### **4.1. Le mécanisme des plantes en C<sub>3</sub>**

La première des étapes du cycle de Calvin consiste en une carboxylation (fixation d'une molécule de CO<sub>2</sub>) sur le ribulose 1,5 biphosphate, 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 CO<sub>2</sub> 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.

### 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.

**5.2. La teneur en CO<sub>2</sub>.**

La concentration de l'atmosphère en CO<sub>2</sub> est de 0,03%.

Artificiellement, on peut augmenter la teneur en CO<sub>2</sub> jusqu'à 1% (au-dessus, la concentration devient toxique).

**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 8 : Réponse des plantes à l'environnement****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...

---

**CHAPITRE 8 : Réponse des plantes à l'environnement****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...

**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 C<sub>4</sub>**, 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  $-5\text{ °C}$  et  $-15\text{ °C}$ . 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  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  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**
- 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.

---

**CHAPITRE 8 : Réponse des plantes à l'environnement****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.

**ECOPHYSIOLOGIE VEGETALE**

– par la production d'enzymes qui dégradent la paroi des pathogènes comme la glucanase et la chitinase

