

## Résumé de Physiologie végétale

### La nutrition hydrique

#### 1- Rôles d'eau chez les végétaux

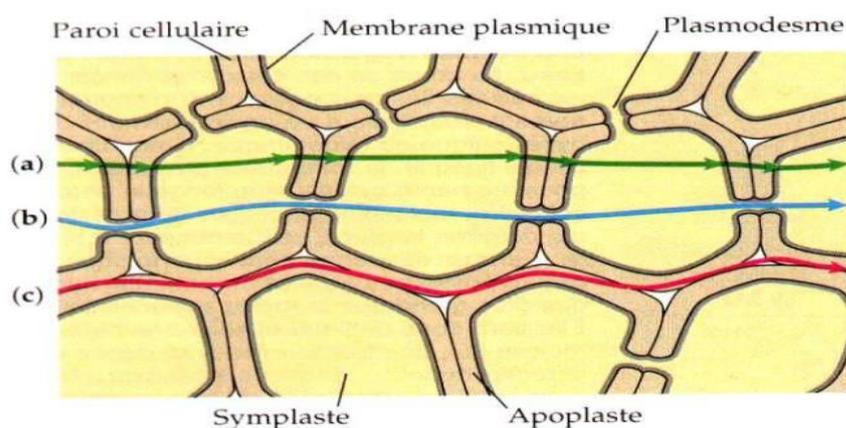
- ✓ le liquide au sein duquel s'effectuent toutes les réactions du métabolisme
- ✓ La photosynthèse : le premier donneur d'électrons.
- ✓ Turgescence : le liquide responsable de la turgescence de toutes les cellules et donc du port dressé des végétaux non ligneux.
- ✓ La croissance: toutes les modifications qualitatives et quantitatives chez une plante.
- ✓ Le refroidissement par évapotranspiration.
- ✓ L'absorption et transport des solutés.

#### 2- Absorption de l'eau:

L'absorption se fait par des poils absorbants ; une fois l'eau absorbée au niveau des poils, elle doit être véhiculée dans tout l'organisme. L'eau se déplace du milieu hypotonique (le plus concentré en eau) vers le milieu hypertonique.

##### 2-1-Transit de l'eau dans la plante:

- Le transport horizontal: La circulation de l'eau est un mécanisme essentiel pour la plante et permet son bon fonctionnement.
- L'eau traverse la racine en empruntant 3 voies :
  - En passant à travers la membrane des cellules : voie transcellulaire.
  - En passant de cellule en cellule par les plasmodesmes : voie symplaste.
  - En passant entre les cellules ou dans les cellules mortes : voie apoplaste.



*Les 3 voies de transport*

## 2-2- Le transport vertical

- **Le xylème** est un tissu composé de vaisseaux eux-mêmes constitués de faisceaux de cellules mortes alignées. Ils ont la capacité de transporter l'eau et les minéraux depuis le sol jusqu'aux feuilles.
- Le xylème est donc responsable du transport de la sève brute (eau + minéraux).

## 3- Les forces ou les moteurs :

- **Des forces osmotiques:** l'eau se déplace du milieu hypotonique (le plus concentré en eau) vers le milieu hypertonique.
- **L'appel foliaire** (la source de cette force est *transpiration*)
- **La poussée radiculaire** (au niveau de l'endoderme transport)
- **La capillarité** qui sont générées par la tension superficielle existant entre l'eau et les tissus.

## 3-La transpiration

- La transpiration est la perte d'eau, sous forme vapeur, qui subit un végétal par ses feuilles principalement.
- Joue un rôle indirect mais principal dans l'absorption d'eau par la plante, et ceci grâce au fait qu'elle est le moteur de la montée de sève (**L'appel foliaire**). La transpiration se fait à deux niveaux :
  - Dans de moindre mesure au niveau de la cuticule des feuilles (transpiration cuticulaire).
  - La majorité au niveau des stomates on parle de transpiration stomatique.

### 3-1-Les facteurs de transpiration

- ❖ **Facteur Structuraux** : Epaisseur des feuilles. Nombre de stomates. Nombre de feuilles.
- ❖ **F. Externes** : La nature ; l'humidité du sol. L'humidité et l'agitation de l'air. La température. La luminosité.

## CHAPITRE : NUTRITION MINERALE.

La plante se nourrit de sels minéraux qui existent dans le sol sous forme d'ions et qui pénètrent dans les racines. Les végétaux chlorophylliens puisent des matières minérales indispensables à leur bon fonctionnement dans leurs milieux environnant (sol, eau et air). L'absence ou carence de ces matières perturbe leur développement.

### -1-Les éléments minéraux

Un élément essentiel est un élément chimique dont une plante a besoin durant son cycle de développement, qui consiste à passer de l'état de graine à la production d'une autre génération de graines. Pour qu'un élément soit considéré essentiel, trois critères doivent être réunis:

- 1• Une plante donnée doit être incapable d'accomplir son cycle en l'absence de l'élément minéral en question.
- 2• Dans sa fonction, cet élément ne doit pas être remplaçable par un autre élément minéral.
- 3• L'élément doit être directement impliqué dans le métabolisme de la plante – par exemple, comme un constituant essentiel de la plante tel qu'une enzyme - ou il doit être nécessaire dans une étape métabolique distincte.

On divise généralement les éléments essentiels à une plante en :

**-macroéléments principaux** : azote(N), phosphore(P), potassium(K) ; et *secondaires*: calcium(Ca), magnésium(Mg), soufre(S), sodium(Na).

**-Les oligo-éléments** : Manganèse (Mn), Zinc (Zn), (Cl), Bore (B), Molybdène (Mo), Cobalt (Co).

**2- Modalités et mécanismes de l'absorption.** Connaître les mécanismes de nutrition des végétaux permet de raisonner la fertilisation pour obtenir des plantes de qualité et résistantes aux maladies

**2-1- Modalités.** L'absorption des substances minérales s'effectue par les poils absorbants de la racine. Les éléments minéraux sont généralement absorbés sous forme d'ions.

Certains éléments comme le fer sont difficilement absorbables à pH élevé ; l'existence de certains complexes organométalliques, les chélates, permet de surmonter cette difficulté.

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

Pour les cations :  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$

Pour les anions:  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$

**3-Etapes de l'absorption des éléments minéraux**

**1. L'adsorption**, étape de fixation superficielle, passive et réversible pendant laquelle, l'élément adsorbé peut être désorbé.

**2. L'absorption** (au sens strict) qui suit la première étape et peut être active ou passive, selon les ions.

**4- Mécanismes de l'absorption.** On trouve trois possibilités de pénétration : la diffusion, le transport passif (diffusion facilitée), le transport actif.

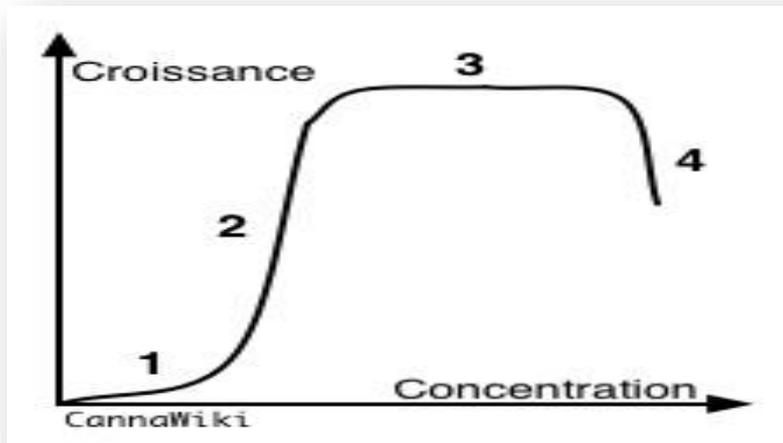
**5- Rôles des ions dans la plante.**

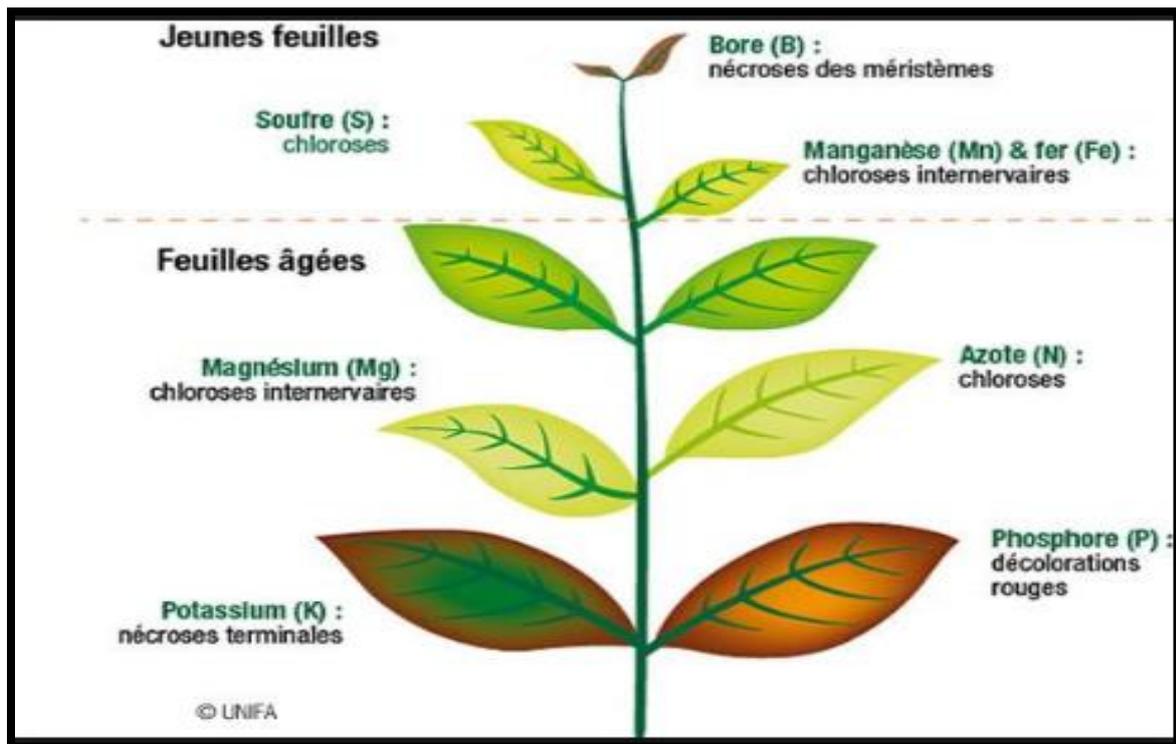
**5-1- Rôles physiques.** Les phosphates favorisent l'entrée du magnésium, alors que le calcium freine son entrée. Les ions permettent le maintien de la turgescence, du pH (système tampon), la création de potentiels membranaire qui agissent sur la perméabilité de la membrane.

**5-2- Rôles physiologiques.** Les rôles constitutifs sont tenus par les éléments phosphorylés, comme les phospholipides, les nucléotides, et les acides nucléiques. On trouve le soufre dans les acides aminés et dans les protéines. On trouve le calcium dans les parois. On trouve le fer (Fe) au niveau des hèmes et des cytochromes.

***La notion de dose utile***

- 1 : carence ,
- 2 : déficience : croissance=f(concentration), le développement est limité
- 3 : optimum : même quand la concentration augmente, la croissance n'augmente pas.
- 4 : toxicité





*Effets de la carence des minéraux sur les feuilles*

### Remarques

- ❑ On trouve **des plantes halofuges** (Glycophytes) (qui ne supportent pas le sel NaCl) **des plantes halophiles** (les halophytes) qui supportent le sel.
- ❑ Face à la présence du calcium, on trouve deux types de plantes **Les calcicoles**, qui tolèrent (ou supportent) le calcium. **Les calcifuges**, qui ne supporte pas le calcium.
- **Interactions entre éléments minéraux et nutrition minérale**

Il existe entre les éléments minéraux des interactions qui font que l'action de l'un est modifiée par la présence d'un autre.

- **synergie** entre deux éléments quand l'effet de l'un est amplifié par la présence de l'autre.
- **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  $\text{Mg}^{2+}$ .

### NUTRITION CARBONNEE(Photosynthèse)

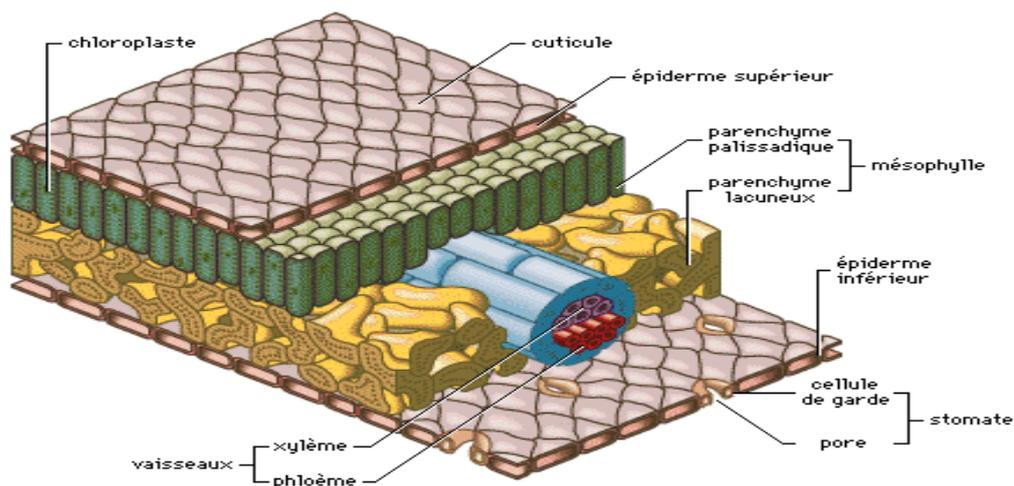
La photosynthèse est le processus responsable de la transformation de l'énergie lumineuse en énergie chimique au niveau de la plante, autrement dit : processus permettant de synthétiser de

la matière organique (sucres) à partir de la lumière du soleil. Elle se réalise au niveau des chloroplastes qui sont des organites cellulaires spécialisées, et permet une consommation de dioxyde de carbone et d'eau afin de produire du dioxygène et des molécules organiques telles que le glucose. Pour se faire la photosynthèse se réalise en deux grandes phases, la phase claire et la phase sombre.

A- La **phase claire** est un ensemble de réactions photochimiques, qui dépendent de la lumière, et au cours desquels les électrons sont transportés à travers les deux photosystèmes (PSI et PSII) afin de produire de l'ATP (molécule riche en énergie) et du NADPH + H<sub>+</sub> (potentiel réducteur). La phase claire permet donc directement la transformation de l'énergie lumineuse en énergie chimique.

B- La **phase sombre** correspond au cycle de Calvin, entièrement enzymatique et indépendante de la lumière, au cours duquel l'ATP et le NADPH + H<sub>+</sub> sont utilisés pour la conversion du dioxyde de carbone et de l'eau en glucides. Cette seconde partie permet l'assimilation du gaz carbonique.

**2-Localisation** : La photosynthèse se réalise principalement au niveau des feuilles, au niveau des tissus palissadiques qui se trouvent sous l'épiderme supérieur et qui récupèrent les photons lumineux. Les caractéristiques des cellules responsables de la photosynthèse leurs sont données par les chloroplastes, qu'elles possèdent et qui renferment des pigments photorécepteurs : **la chlorophylle** et les pigments associés.



### 3 -La chlorophylle, pigment de la photosynthèse

La chlorophylle étant un pigment, elle a la caractéristique d'absorbé la lumière dans le visible, mais les pics d'absorption varie suivant la chlorophylle :

**chlorophylle a** : à 430 (bleu) et 660 nm (rouge).

**chlorophylle b** : à 450 et 643 nm.

## - Les photosystèmes(PSI, PSII) :

**A-** Les **photosystèmes** sont les centres photorécepteurs de la membrane des thylakoïdes contenus dans les chloroplastes. Ils sont constitués d'une **antenne collectrice** et d'un **centre réactionnel** situé au centre de l'antenne. L'antenne collectrice permet de capter l'énergie lumineuse grâce à des pigments de plusieurs types : chlorophylle a, b et caroténoïde. L'énergie captée est transmise au centre réactionnel qui est un emplacement spécialisé constitué d'amas de pigments contenant seulement une paire de chlorophylle « a » capable de céder ses électrons à l'**accepteur primaire**, premier accepteur de la chaîne d'accepteurs d'électrons.

*La grande différence qui distingue le photosystème I du photosystème II est la longueur d'onde d'absorption,*

le photosystème II (PSII) présente un complexe moléculaire appelé **P680** et le photosystème I (PSI) présente un complexe moléculaire appelé **P700**.

## 2-Photosynthèse Réactions métaboliques:

### 1-Transport des électrons dans la phase claire

*a-* La *photolyse de l'eau et le transport non cyclique des électrons* Au niveau du PSII va s'opérer une étape majeure de la photosynthèse : la **photolyse de l'eau**. A chaque fois que PSII est photo-oxydé, l'eau lui fournit un électron pour compenser la perte qu'il vient de subir et permettre sa régénération. L'eau est donc le donneur d'électrons primaire de la photosynthèse (Fig).

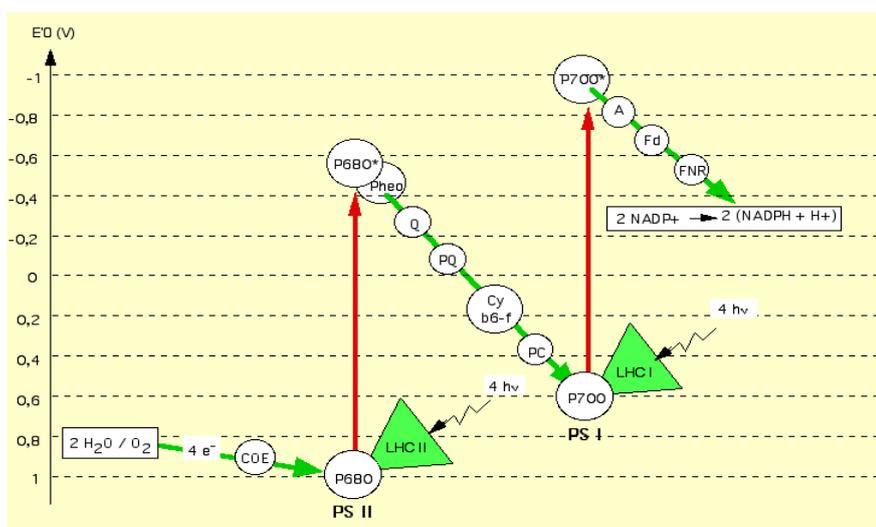


Figure : Schéma "en Z", transfert acyclique des électrons.

*b-* La molécule d'eau doit ainsi subir une réaction d'oxydation sous l'action de la lumière. Cette réaction sera à l'origine de **la libération d'électrons de protons et d'oxygène**.

Les électrons seront capturés par le PSII, les **protons produits iront s'accumuler dans l'espace intra-thylakoïdien** pour participer au gradient de proton, et **l'oxygène sera libéré dans l'atmosphère**. L'oxygène est donc un déchet de la photosynthèse. L'électron au cours de ces différents transferts perd un peu d'énergie. Cette énergie est utilisée par certains transporteurs pour amener des protons H<sup>+</sup> du stroma (espace extra-thylakoïdien) vers l'espace intra-thylakoïdien.

## 2- Le transport cyclique des électrons

Les électrons peuvent suivre un trajet cyclique qui n'implique que le photosystème I. La ferrédoxine, au lieu de fournir les électrons à la NADP réductase, va les transmettre à la plastoquinone (PQ) par l'intermédiaire d'un cytochrome. Les électrons suivent alors la première chaîne de transporteurs qui les fait revenir au photosystème I, où ils vont combler les vides qu'ils avaient laissés. Ce trajet cyclique (Fig.18) permet d'accumuler des protons supplémentaires dans l'espace intra-thylakoïdien sans réduire de NADP<sup>+</sup> mais en favorisant la production d'ATP (relargué au niveau du stroma).

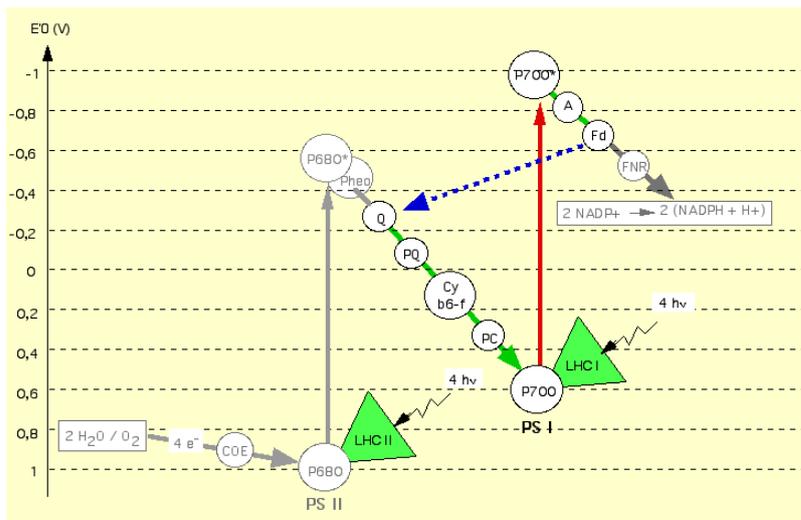


Figure n°18 : Transfert cyclique de électrons autour du PSI.

**3- Les mécanismes de la phase sombre :** La phase sombre correspond à la phase d'assimilation du CO<sub>2</sub> qui utilise les molécules énergétiques produites lors de la phase claire et qui est réalisée de manière cyclique. Ce cycle est appelé **cycle de Calvin** et il se déroule dans le stroma du chloroplaste.

L'assimilation du CO<sub>2</sub> se fait en quatre étapes principales dont les trois premières se déroulent au sein du cycle de Calvin :

- **Fixation du CO<sub>2</sub> (carboxylation).**

- Réduction du carbone fixé.
- Régénération de l'accepteur de CO<sub>2</sub>.
- Synthèse des sucres.

### 3-1-Le cycle de Calvin.

#### a- Fixation du CO<sub>2</sub>

La première molécule du cycle de Calvin est le **ribulose-biphosphate (RuBP)** possédant 5 carbones. La fixation du CO<sub>2</sub> sur cette molécule nécessitera l'utilisation d'une enzyme appelée la **Rubisco** (pour *Ribulose Biphosphate Carboxylase Oxygénase*). Cette enzyme permettra la formation d'une molécule instable à 6 carbones qui donnera rapidement deux molécules de **3-phosphoglycérate** à 3 carbones.

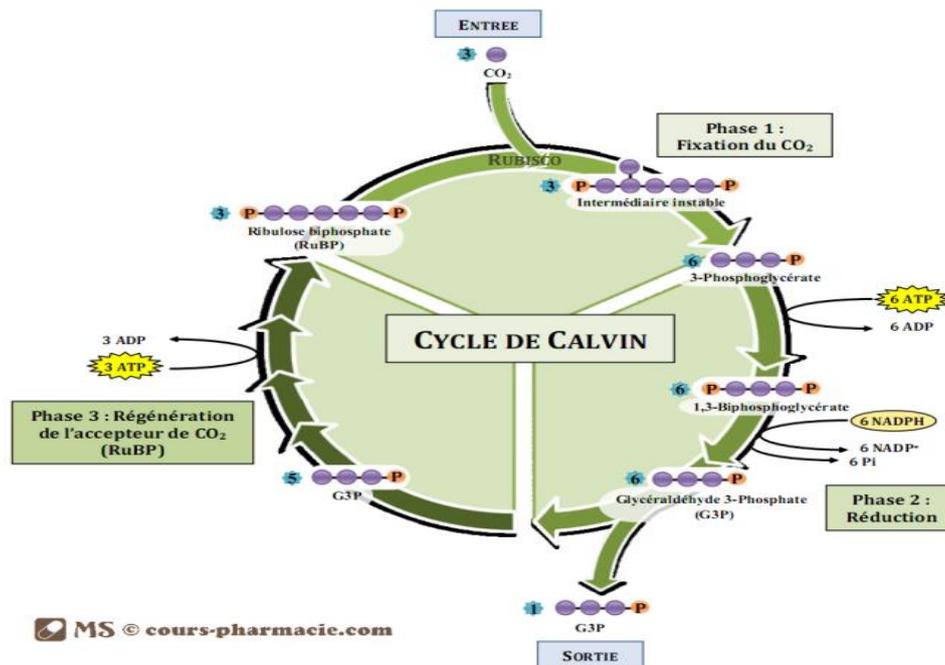


Figure : Cycle de Calvin

**Mode d'action de la rubisco** : Comme son nom l'indique, la Rubisco possède deux activités catalytiques :

- La première correspond à son activité **carboxylase** qui permet, à partir du RuBP, la formation de deux molécules d'**acide phosphoglycérique**.

- La deuxième correspond à son activité **oxygénase** qui permet, à partir du RuBP, la formation d'une molécule d'acide phospho-glycolique et d'une molécule d'**acide phosphoglycérique** (PGA). Cette seconde activité freine donc la photosynthèse.

**b-Réduction du carbone fixé** La deuxième phase du cycle de Calvin correspondra à la réduction du 3-phosphoglycérate. Celui-ci sera tout d'abord phosphorylé par de l'**ATP** pour donner l'**acide biphospho-glycérique**, qui sera lui-même réduit par le **NADPH** pour former le **3-phosphoglyceraldéhyde** (G3P) qui est un sucre.

**c- Régénération de l'accepteur de CO<sub>2</sub>** Le **G3P** formé peut avoir différentes destinées ; un sixième de celui-ci sera utilisé par la cellule comme composant glucidique et les cinq sixièmes restants seront utilisés pour poursuivre le cycle de Calvin. La reformation du RuBP, qui sera réutilisée pour fixer le CO<sub>2</sub>, se fera en plusieurs étapes et nécessitera l'utilisation d'**ATP**.

**d-Synthèse des sucres** Comme vu précédemment, un sixième du 3-phosphoglyceraldéhyde (G3P) produit dans le cycle de Calvin va entrer dans les réactions métaboliques de la plante, dans lesquelles ils seront principalement transformés en glucides :

- Soit sous forme de saccharose ( $\alpha$ -Glu-Fruct) qui est la forme de transporté dans la sève élaborée.
- Soit sous forme d'amidon qui est la forme de mise en réserve ( $\alpha$ -1,4-Glu). Bilan
- il faut 6 tours de cycle pour fabriquer 1 hexose

#### **4- Photosynthèse et plantes en C3**

##### **4-1- Les facteurs limitant de la photosynthèse**

Comme vu précédemment, la photosynthèse (phase claire et sombre) nécessite un certain nombre d'éléments :

- L'**eau** qui fournit les électrons nécessaires à la phase claire (photolyse de l'eau). Elle sera rarement un facteur limitant, sauf en climat aride.
- Le **dioxyde de carbone** (CO<sub>2</sub>) qui est le substrat majeur du cycle de Calvin. En effet le CO<sub>2</sub> est en faible quantité dans l'atmosphère et est souvent le facteur limitant.
- La **lumière** qui est indispensable à la phase claire. Il est important de préciser que la lumière doit éclairer à la longueur d'onde d'absorption de la chlorophylle.

##### **5- Les plantes en C3**

La majorité des plantes sont dites en C3, utilisant des molécules à trois carbones pour la formation de leurs sucres (*cf. cycle de Calvin*). Elles vivent principalement dans des milieux tempérés.

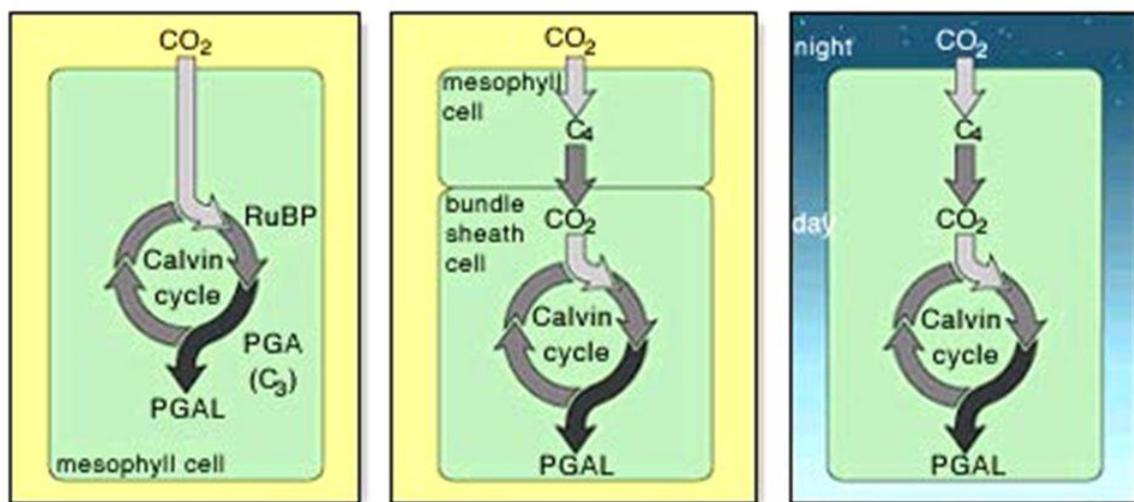
#### **6- Solutions des plantes en C4 et CAM**

Certaines plantes, vivant dans des environnements plus contraignants que les plantes en C<sub>3</sub>, ont ainsi développées des alternatives face à ces limitations, afin de préserver une certaine activité photosynthétique, c'est le cas des plantes en C<sub>4</sub> et des plantes CAM.

Les plantes en C<sub>4</sub> vivent également en milieu tempéré mais dans des conditions particulières : sols salés, ... Les plantes CAM vivent en milieu aride et correspondent à des plantes grasses.

### 6-2-1- Caractéristiques des plantes en C<sub>4</sub> et CAM

## Comparison of ALL three types of photosynthesizing plants



CO<sub>2</sub> fixation in a C<sub>3</sub> plant

CO<sub>2</sub> fixation in a C<sub>4</sub> plant

CO<sub>2</sub> fixation in a CAM plant

#### a) Les plantes en C<sub>4</sub>

Les plantes en C<sub>4</sub> ont la caractéristique de pouvoir augmenter leur assimilation de CO<sub>2</sub> par une réaction supplémentaire réalisée dans le cytoplasme. Elles utilisent ainsi toujours des molécules à trois carbones mais utilisent en plus des molécules à quatre carbones qui joueront le rôle de stock provisoire de CO<sub>2</sub>.

Au cours de cette réaction supplémentaire le CO<sub>2</sub> se fixera sur le **Phosphoénolpyruvate (PEP**, molécule à trois carbones) pour donner une molécule à quatre carbones, l'**oxaloacétate**, qui est réduit en **malate** sous l'action de NADPH. Le malate donnera du pyruvate et du CO<sub>2</sub> qui sera réutilisé dans le cycle de Calvin.

Les plantes en C<sub>4</sub> peuvent ainsi enrichir l'environnement de la Rubisco en CO<sub>2</sub>,

#### b) Les plantes CAM

Les plantes CAM (pour *Crassulacean Acid Metabolism*) sont des plantes vivant en milieu aride, nécessitant une économie en eau et donc une régulation fine de la transpiration. Elles utilisent exactement la même réaction supplémentaire que les plantes en C4 et se distinguent donc de celles-ci par une assimilation nocturne du CO<sub>2</sub>. Cette dernière est permise par la caractéristique des plantes CAM de pouvoir ouvrir leurs stomates la nuit. Le CO<sub>2</sub> est ainsi stocké sous la forme de malate, qui sera utilisé le jour quand la phase claire aura lieu.

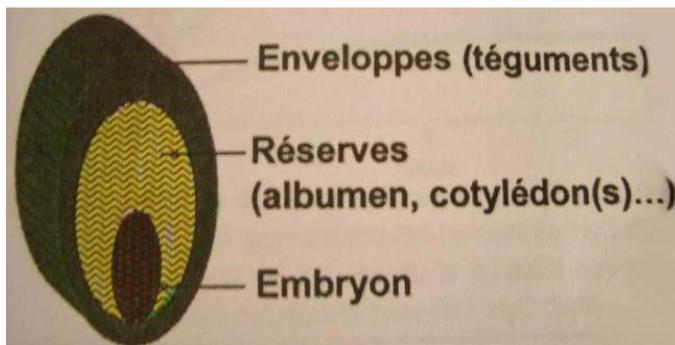
## **DEUXIEME PARTIE: CROISSANCE ET DEVELOPPEMENT.**

### **CHAPITRE : PHENOMENE DE GERMINATION**

#### **1-Germination des semences :**

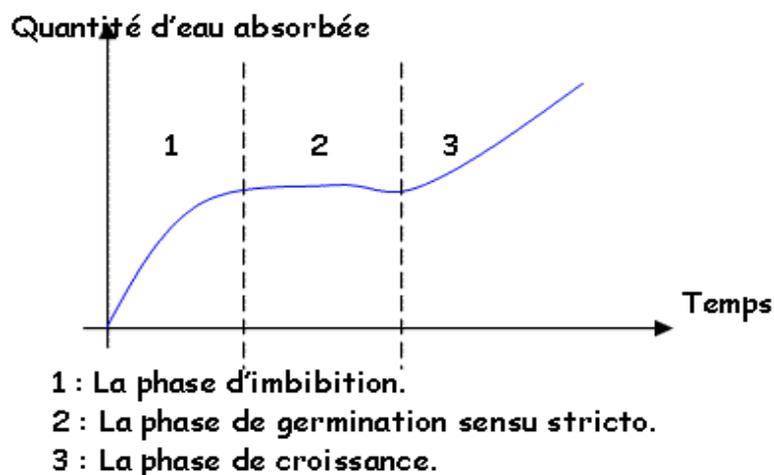
##### 1-1-Définition :

C'est l'ensemble des processus qui vont du début de la réhydratation de la semence à la sortie de la radicule.



##### 1-2-Déroulement du processus de germination :

Divers travaux démontrent que le processus de germination comprend en fait plusieurs phases physiologiques successives



Courbe théorique d'imbibition des semences.

**1-La phase I ou phase d'imbibition :** Elle correspond à une forte hydratation des tissus par absorption d'eau aboutissant au gonflement de la graine :

**2-Phase II ou phase de germination sensu-stricto** : c'est une phase de latence. La teneur en eau reste stable, il y a sortie de la radicule, remise en route du métabolisme et réparation de certains tissus.

**3-Phase III** : reprise de l'absorption de l'eau. Il y a croissance de l'embryon, début de la dégradation des réserves et levée des semis.

### **1-3-Conditions de réalisation de la germination :**

Il y a deux types de conditions à remplir pour qu'une semence germe

#### **-1-Conditions internes :**

La maturité : La graine est complètement différenciée morphologiquement, les réserves sont bien constituées.

La viabilité / Longévité des semences : La graine est vivante et on a conservation du pouvoir germinatif qui varie en fonction des espèces.

#### **2- Conditions externes :**

Les conditions externes qui dépendent de paramètres environnementaux tels que l'eau, la température, l'oxygène et la lumière.

## **CHAPITRE : CROISSANCE**

### **INTRODUCTION :**

**Le développement (en physiologie végétale) étudie toutes les modifications qualitatives et quantitatives chez une plante (de la fécondation à la mort).**

Les modifications quantitatives **représentent la croissance** (les modifications irréversibles se produisant au cours du temps). On a, par exemple, l'augmentation de taille, de volume, de masse. Les étapes de croissance sont :

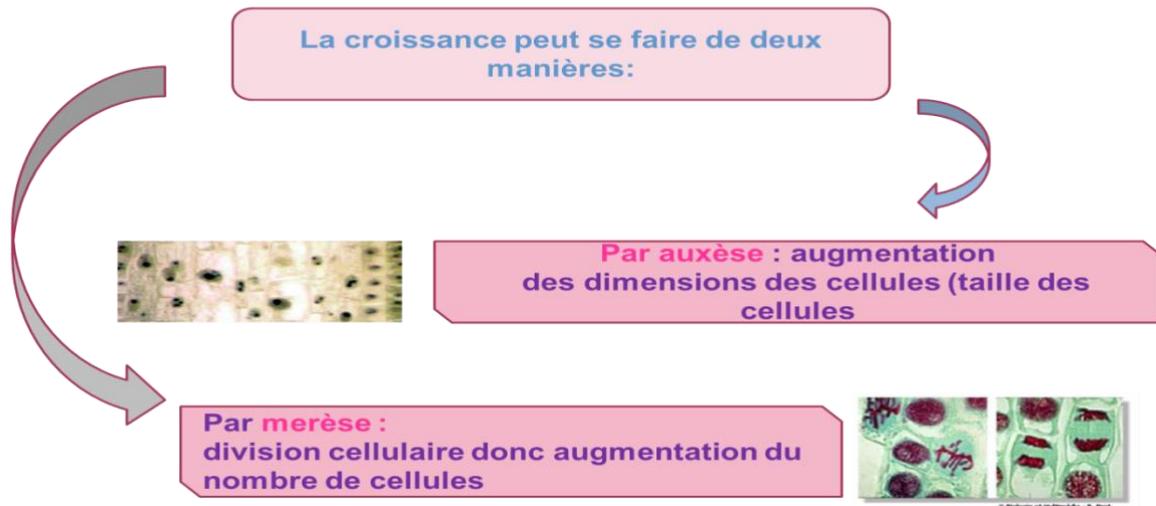
#### **2-1-La mérése :**

C'est une prolifération cellulaire qui consiste en une succession de divisions cellulaires ou mitoses,

#### **2-2-L'auxèse :**

C'est une augmentation des dimensions des cellules.

## Étapes de la croissance:



### 2-3-La différenciation :

C'est le processus qui permet aux cellules d'acquérir des caractères morphologiques particuliers, différents suivant les tissus. Ce phénomène est moins marqué chez les végétaux que chez les animaux où il s'agit d'une spécialisation plus poussée.

### 2-4-Définition de la croissance:

La croissance est donc une augmentation de dimensions. Elle se distingue du développement qui traduit l'acquisition de propriétés nouvelles. Cependant, cette distinction inappropriée, diffère quand il s'agit d'un être vivant animal ; le végétal ne peut croître qu'en formant de nouveaux tissus voire de nouveaux organes (Branches, rameaux, feuilles .....).

Donc la croissance implique des activités morphogénétiques dans les parties constitutives d'un organisme ; mais ceci pourrait être moins évident dans le processus de la mise à fleur.

### 2-5- Facteurs contrôlant la croissance :

1- Température : La vie active des végétaux se situe généralement entre  $-5^{\circ}\text{C}$  ou  $-10^{\circ}\text{C}$  et  $+45^{\circ}\text{C}$ .

-Les basses températures : néfastes (gel)

2- Eclaircissement : les végétaux qui poussent en plein soleil sont dites plantes de soleil ex : tomate, les plantes qui ne tolèrent pas le plein soleil sont dites plantes d'ombre

3-Facteurs internes : liés à la plante