

Chapitre 1 : Germination

1. Définition

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.

C'est l'ensemble des processus qui vont du début de la réhydratation de la graine à la sortie de la radicule, l'évolution des étapes suivantes constitue un phénomène de croissance.

2. Les types des graines

La graine se compose d'un **tégument** (simple ou double) et d'une **amande** formée de l'**embryon** et de tissus de réserves constituant l'**albumen**. La partie essentielle de l'amande est l'**embryon**. Celui-ci comprend une radicule, que prolonge une tigelle portant les cotylédons. Selon la présence ou non d'albumen dans les graines, celles-ci se classent en 3 catégories :

- **Les graine à périsperme** : Albumen très peu développé avec autour le périsperme (reste du nucelle qui n'a pas été digéré et qui sert de réserve). Le lieu de réserve est le périsperme
- **Les graines albuminées** : Disparition du nucelle, cotylédons minces dans un albumen développé servant de réserve comme par exemple, les caryopses des céréales.
- **Les graines exalbuminées** : le nucelle a été digéré par l'albumen, qui sera digéré pour former l'embryon et les cotylédons qui renferment les matières de réserves, comme chez le pois ou le haricot.

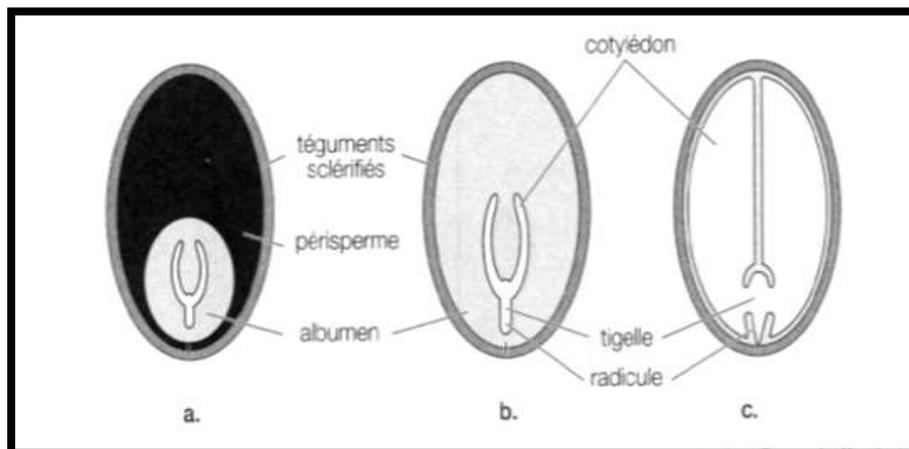


Figure 01 : a. graine à périsperme, b. graine albuminée, c. graine exalbuminée

3. Les étapes de la germination

Il est ainsi démontré que la germination comprend trois phases successives (figure 02) : la phase d'imbibition, la phase de germination *stricto sensu* et la phase de croissance.

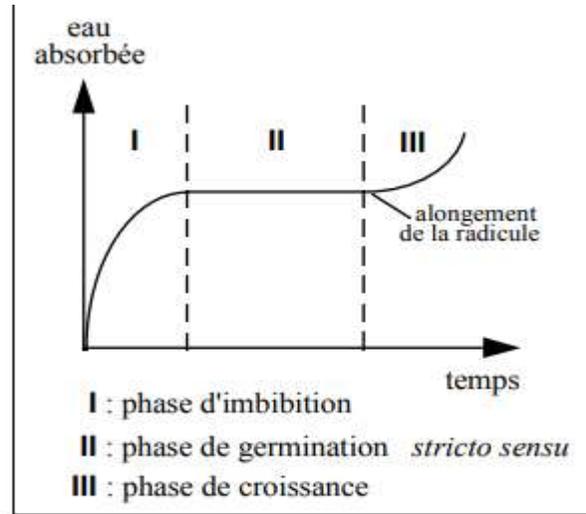


Figure 02. Courbe théorique d'imbibition d'une semence (d'après Côme, 1982).

3.1. La phase d'imbibition : Elle correspond à une forte hydratation des tissus par absorption d'eau aboutissant au gonflement de la graine : -Blé : 47 g d'eau pour 100 g de graines, -Haricot : 200 à 400 g d'eau pour 100 g de graines.

3.2 Phase de germination *sensu-stricto* : Durant cette phase qui est relativement brève elle aussi (12 à 48h), la graine peut être réversiblement déshydratée et réhydratée sans dommage apparent pour sa viabilité. Elle s'achève avec l'émergence de la racicule hors des téguments.

3.3. Phase III : caractérisée par une reprise de l'absorption de l'eau et une élévation de la consommation d'oxygène, elle correspond en fait à un processus de croissance affectant la racicule puis la tigelle. A ce niveau, on doit distinguer entre l'activité métabolique de la jeune plantule qui se développe à partir de l'embryon, qui a tendance à s'exalter, et celle du tissu de réserve (albumen, cotylédons), qui a tendance à décroître par suite de l'épuisement des réserves.

4. La longévité des graines

C'est la durée maximale qu'une graine peut conserver sa capacité de germer, quand l'ensemble des conditions sont réunies.

Ewart (1908) classe les semences en trois catégories : les semences macrobiotiques, qui vivent plus de 15 ans, les semences mésobiotiques, les plus nombreuses, qui ont une durée de vie comprise entre 3 et 15 ans, et les semences microbiotiques, qui ne survivent pas plus de 3 ans ; certaines meurent même après quelques jours ou quelques semaines.

5. Les types de germination

5.1. La germination épigée lorsque les tissus de réserve qui composent l'essentiel de la graine sortent du sol. La germination est alors assurée essentiellement par l'élongation importante de l'hypocotyle.

5.2. La germination hypogée lorsque les tissus de réserve qui composent l'essentiel de la graine demeurent dans le sol. La germination est alors assurée essentiellement par l'élongation importante de l'épicotyle.

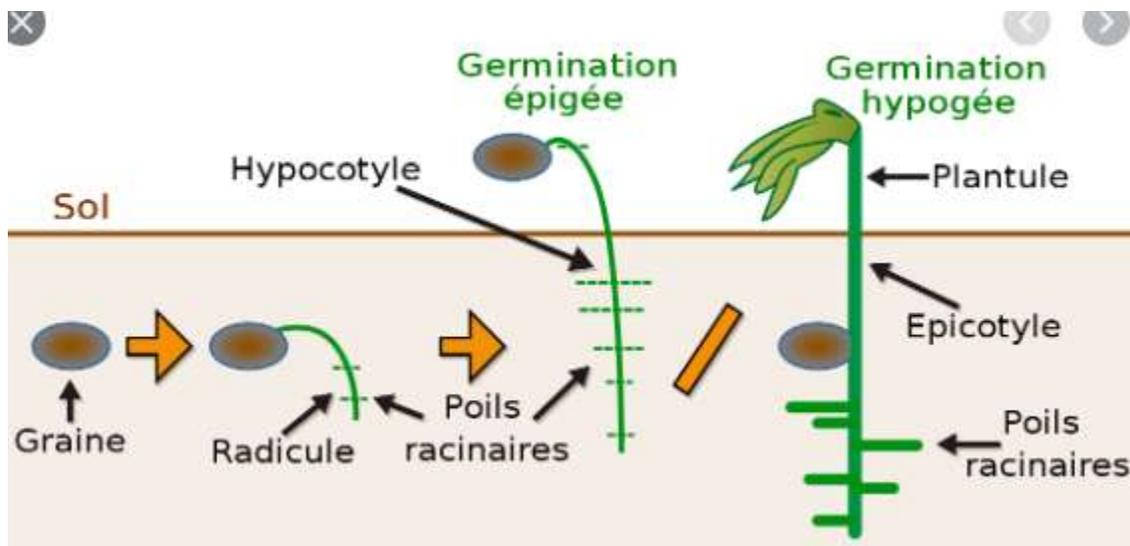


Figure 03 : la différence entre la germination épigée et hypogée

6. Les conditions de germination

Des facteurs physiques, chimiques du milieu ou internes à la graine peuvent influencer l'aptitude de la graine à germer, selon l'espèce à laquelle elle appartient : température, teneur en oxygène, pH, lumière, hormones végétales, etc...

a. L'eau : Indispensable, elle doit être disponible dans le milieu extérieur en quantités suffisantes

b. L'oxygène : Indispensable à la germination, d'où l'importance de l'aération des sols pour la levée des semis.

c. La température : La température intervient directement, en agissant sur la vitesse des réactions biochimiques. Il faut élever la température pour stimuler la germination et éviter les températures trop basses.

d. La lumière : L'action de la lumière peut être soit nécessaire, soit défavorable à la germination selon la photosensibilité* des espèces. On trouve plusieurs types de photosensibilité :

Photosensibilité positive : elle est présente chez 70% des semences, c'est un besoin de lumière.

Photosensibilité négative : c'est un cas rare que l'on trouve chez les liliacées.

Photosensibilité facultative : on retrouve ce cas chez la majorité des plantes cultivées.

e. La maturité : toutes les parties constitutives de la semence soient complètement différenciées morphologiquement (mature).

g. La longévité : varie considérablement selon les espèces. Une longévité a un grand intérêt biologique en particulier dans les régions ou zones arides où les conditions favorables à la germination (Humidité surtout) ne se rencontrent pas chaque année.

Chapitre 2 : Croissance et Floraison

I. La croissance

La croissance est l'augmentation continue de toutes les dimensions de la plante : longueur, largeur, diamètre, surface, volume et masse. La croissance d'une plante entière fait intervenir en fait deux phénomènes :

- la croissance au sens strict, en dimension de chacun des organes après leur initiation
- la multiplication du nombre de ces organes : c'est le développement.

1. La méristèse

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

2. L'auxèse

C'est une augmentation des dimensions des cellules, elle peut être une augmentation du diamètre, une augmentation longitudinale (élongation) ou une augmentation (croissance) en épaisseur.

3. La différenciation

Ce terme désigne l'ensemble des événements 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.

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 *Caulogenèse* (Tiges).

III. Croissance des 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)

2. La croissance secondaire : 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.

2.1. 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**

2.2. La zone génératrice subéro-phéllodermique, 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**.

VI. La floraison

1. Définition

La floraison désigne le **développement du bourgeon floral** puis l'épanouissement de la fleur ou d'une inflorescence et donner un fruit

L'induction florale, désigne la transformation d'un bourgeon foliaire (méristème caulinaire) devienne un bourgeon floral (méristème floral), et elle dépend de nombreux facteurs, parmi lesquels la zone géographique, le climat, la luminosité, la température ou encore la richesse du sol.

Il existe des plantes :

- **bisannuelles** : qui fleurissent une année sur deux (primevère, cyclamen, etc.) ;
- **annuelles** : qui donnent une floraison puis meurent (œillet d'inde, cosmos, etc.) ;
- **vivaces ou pluriannuelles** : qui fleurissent chaque année.

2. Les types de fleurs

Le nombre de pièces florales par verticille varie. On distingue les fleurs :

- trimères ou fleurs constituées de verticilles successifs de 3 pièces chacun, cas des monocotylédones
- tétramères, - pentamères – polymères, cas des dicotylédones

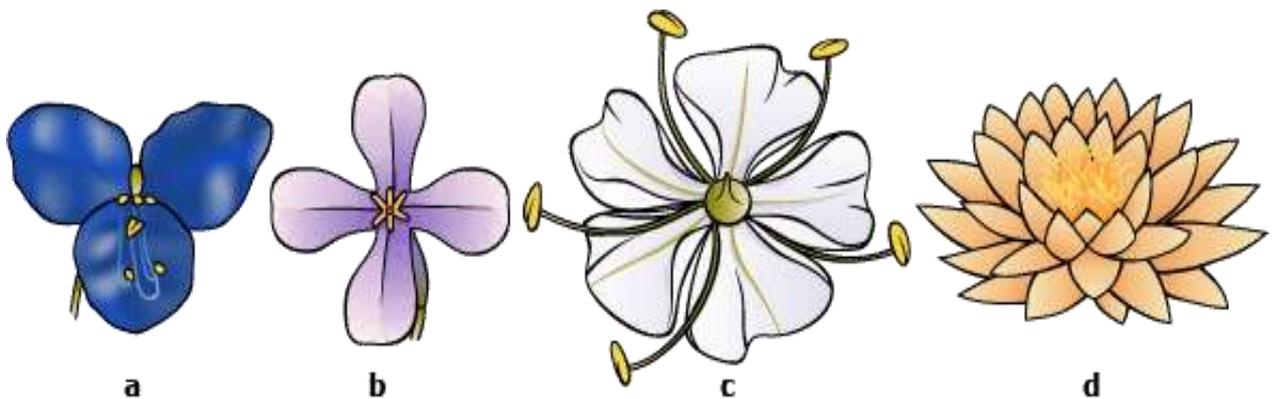


Figure 04 : Nombre de pièces florales par verticille :
a. trimère - b. tétramère - c. pentamère – d. polymère

3. La formule florale

La formule florale indique le nombre de pièces florales constitutives de chaque verticille. Les lettres donnent la nature des pièces florales : **S** pour sépales, **P** pour pétales, **E** pour étamines, **C** pour carpelle, et **T** pour tépales.

Les chiffres présentent le nombre de pièces florales. Au-delà de 12, on note « n ».

- Un X placé devant la formule florale indique qu'il s'agit d'une fleur zygomorphe, un O qu'il s'agit d'une fleur actinomorphe.
- Lorsque le C est souligné, il s'agit d'un ovaire supère, lorsque le trait est placé au-dessus du C, c'est un ovaire infère.

Exemple des **Renonculacées** :

O : 5 S , 5 P , n E , n C

O : fleur actinomorphe

5 S : 5 sépales libres

5 P : 5 pétales libres

n E : n étamines libres.

n C : n carpelles libres, ovaire supère.



- Lorsque les pièces sont soudées, on les note entre parenthèses :

Exemple : La tulipe, actinomorphe, présente 6 tépales, 6 étamines et 3 carpelles soudés avec un ovaire supère. Sa formule florale est donc O : 6T, 6 E, (3C)

- S'il y a 2 ou plusieurs verticilles (ou groupes) d'une pièce florale, on peut l'indiquer avec un « + ».

Exemple des **Brassicacées** :

O : 4 S, 4 P , 4E+2 E , (2C)

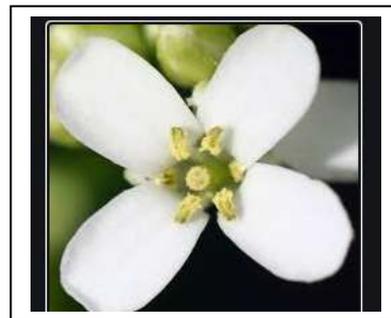
O : fleur actinomorphe

4S : 4 sépales libres

4P : 4 pétales libres

4 E + 2 E : 6 étamines libres, inégales puisqu'il y en a 4 grandes et 2 petites

(2C) : 2 carpelles soudés. Ovaire supère.



Remarque : chez les monocotylédones, le nombre de pièces florales est souvent un multiple de 3. Chez les dicotylédones, c'est un multiple de 2, 4 ou 5.

Chapitre 3 : La Nutrition Minérale

Introduction

Les racines des plantes puisent dans le sol des minéraux indispensables à leur croissance et à leur développement. Du point de vue quantitatif, on distingue les macronutriments qui comprennent les minéraux consommés en grande quantité, tandis que les micronutriments comprennent des minéraux consommés en quantité de l'ordre du microgramme.

Macro-éléments	Azote	N	100 - 300 kg/ha
	Potassium	K	100 - 400 kg/ha
	Calcium	Ca	40 - 200 kg/ha
	Phosphore	P	20 - 50 kg/ha
	Soufre	S	10 - 40 kg/ha
	Magnésium	Mg	10 - 30 kg/ha
Micro-éléments	Fer	Fe	1000 - 2000 g/ha
	Manganèse	Mn	150 - 700 g/ha
	Zinc	Zn	100 - 300 g/ha
	Bore	B	80 - 200 g/ha
	Cuivre	Cu	25 - 100 g/ha
	Molybdène	Mo	5 - 20 g/ha

Figure 05 : Besoins en macro et microéléments pour diverses cultures annuelles

I. Les macronutriments ou macroéléments

Ce groupe est constitué des minéraux les plus abondants dans les cellules végétales. Au nombre de ces minéraux, on retrouve : l'azote, le potassium, le phosphore, le calcium, le magnésium et le soufre.

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.

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. De ce fait, il contribue à l'équilibre ionique au niveau des cellules. Il sert également d'activateur à un certain nombre d'enzymes.

3. Le phosphore

Le phosphore est présent dans de nombreuses molécules indispensables à la vie. 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). Le phosphore a donc un rôle énergétique, plastique et génétique au niveau des cellules végétales.

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 fonctionnement de certaines enzymes telles que la calmoduline nécessite la présence de calcium. Le calcium intervient également dans l'élongation des racines.

5. Le magnésium

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

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.

II. Les micronutriments ou oligoéléments

Quoique présents en faibles quantités, les micronutriments ou oligo-nutriments 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.

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). Il est rare que les sols soient déficients en fer. Mais cet élément peut être indisponible pour les plantes si le pH n'est pas compris entre 5 et 6,5.

2. Le zinc

De nombreuses enzymes végétales incluent dans leur composition des atomes de zinc. Le zinc est également l'activateur de nombreuses enzymes. Cet oligoélément intervient dans la synthèse de la chlorophylle.

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. L'utilisation de calcium, de même que la synthèse des acides nucléiques, requiert la présence de bore. Le bore assure l'intégrité de la membrane plasmique.

4. Le cuivre

Le cuivre est l'activateur et le constituant des enzymes liées aux réactions d'oxydoréductions dans les cellules végétales.

5. Le nickel

Ce minéral est le constituant essentiel d'enzymes jouant un rôle clé dans l'organisme. Au nombre de ces enzymes, on retrouve les enzymes impliquées dans l'absorption de l'azote.

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).

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.

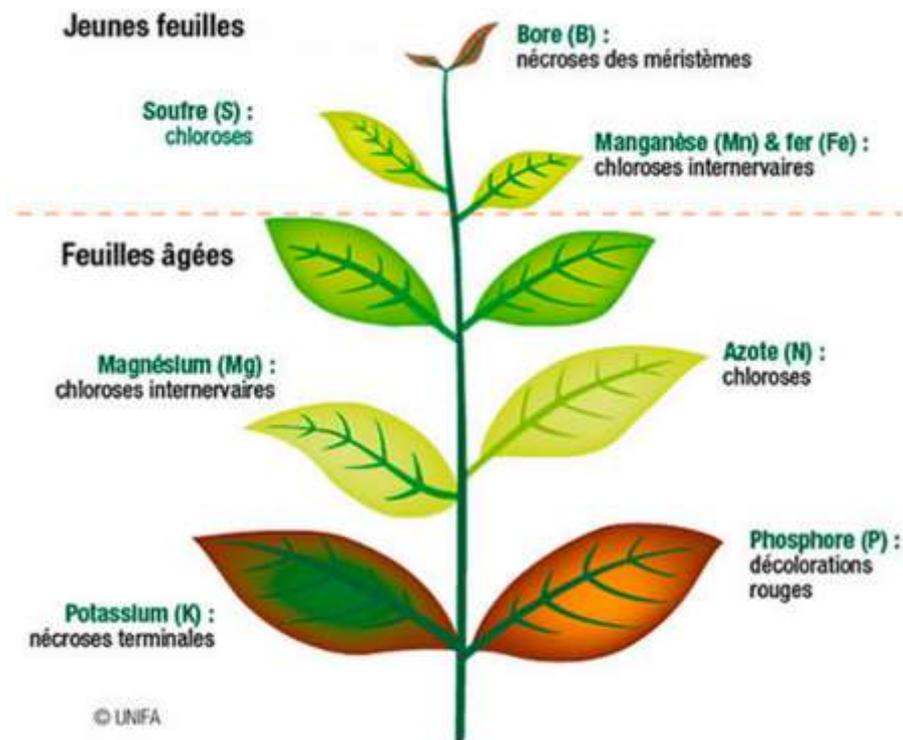


Figure 06 : Les différentes carences des minéraux chez les plantes

Tableau des besoins des plantes en minéraux

<i>Éléments</i>	<i>Symboles chimiques</i>	<i>Fonctions</i>	<i>Signes de carence</i>	<i>Signes d'un excès</i>
Macro-éléments				
Azote	N	Constituant de la chlorophylle, vitamines, ADN, etc.	Les plantes deviennent vert pâle, les feuilles âgées jaunissent	Croissance exagérée
Potassium	K	Maintient de l'organisation cellulaire	Taches brunes sur les feuilles, croissance diminuée	Les feuilles deviennent plus pâles et se couvrent de taches sombres
Calcium	Ca	Croissance et solidité de la membrane cellulaire	Chute prématurée des feuilles et des fleurs	Diminue la solubilité de certains éléments, donc carence
Phosphore	P	Constituant ADN, protéines, enzymes, etc.	Les feuilles deviennent vert sombre ou vert pourpré	Jaunissement et brunissement des extrémités des feuilles, puis chute
Magnésium	Mg	Constituant de la chlorophylle, production d'énergie	Les feuilles s'enroulent et jaunissent	Croissance exagérée des tiges et des racines, diminution de la floraison
Soufre	S	Constituant de plusieurs enzymes	Les jeunes feuilles deviennent jaunes en premier	Les feuilles sont vert bleuâtre et se courbent vers l'intérieur
Oligo-éléments				
Fer	Fe	Formation de la chlorophylle	Jaunissement des Feuilles	Rarement toxique
Chlore	Cl	Intervient dans la photosynthèse	Jaunissement des feuilles de la tomate	Le tabac donne des cendres noirâtres
Manganèse	Mn	Formation de la chlorophylle	Jaunissement des jeunes feuilles, puis chute	Induit une carence en fer, donc jaunissement des feuilles
Bore	B	Important dans la croissance	Maladies physiologiques (ex. : craquelure des branches de céleri, taches brunes sur le chou-fleur)	Jaunissement des côtés de la feuille, puis chute
Zinc	Zn	Active un grand nombre d'enzymes	Croissance irrégulière, feuilles rabougries	Jaunissement des feuilles, mort des bourgeons, les

Chapitre 4 : La Nutrition Carbonée

Introduction

Dans la nature, on trouve le carbone sous deux formes assimilables ; le carbone minéral (CO_2 ou H_2CO_3) et le carbone organique qui se trouve dans les molécules organiques. On trouve deux types de végétaux :

- Ceux qui convertissent le carbone minéral en carbone organique. Ce sont les autotrophes. Ils utilisent l'énergie solaire pendant la photosynthèse grâce à la chlorophylle.
- Ceux qui n'assimilent que le carbone organique. Ce sont les hétérotrophes (c'est le cas des champignons et de quelques plantes parasites).

La photosynthèse et la respiration s'équilibrent globalement.

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

La respiration restitue ce carbone sous forme de CO_2 après dégradation des glucides.

1. Photosynthèse ou assimilation chlorophyllienne.

La photosynthèse est un processus physiologique par lequel les végétaux qui contiennent certains pigments (en particulier de la chlorophylle) sont capables de capter l'énergie lumineuse et de la transformer en énergie chimique (ATP et pouvoir réducteur NADPH, H^+) afin de réaliser la nutrition carbonée à partir du CO_2 atmosphérique ... Ce processus est accompagné d'un dégagement de dioxygène.

Les végétaux synthétisent leur matière organique à partir de molécules simples ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$) et de l'énergie lumineuse (soleil), le CO_2 et l'eau se combinent (réaction de réduction) pour former des glucides.

La formule générale de la photosynthèse est : $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + h\nu$ (énergie lumineuse) ----->
 $(\text{CH}_2\text{O}) + \text{O}_2$

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 mitochondries et le peroxysoxe participent à la phase d'assimilation. 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 proplastides 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 amyloplastides, oléoplastides, ou protéinoplastides.

2.2. Structure

C'est un organite à double membrane, de forme ovoïde, de quelques dizaines de micromètres de long. La membrane externe est relativement perméable et continue, tandis que l'interne est imperméable (une barrière sélective) repliée sur elle-même pour former des sacs (les thylacoïdes) où se trouvent les pigments.

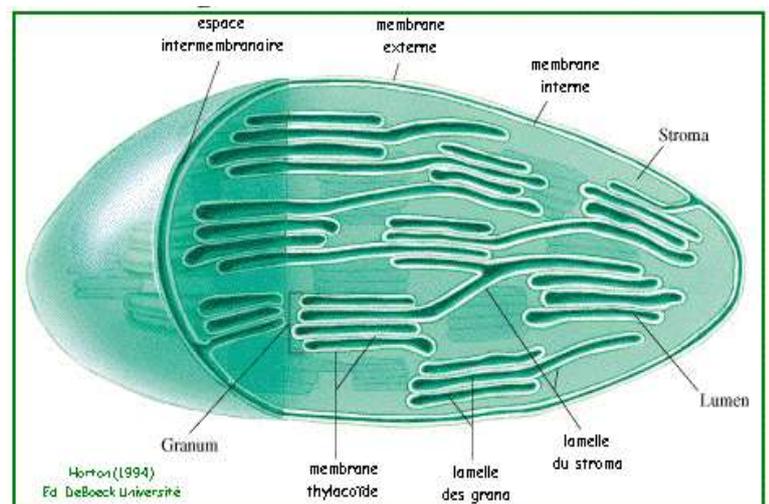
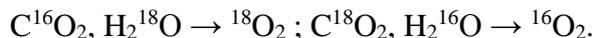


Figure 08 : La structure du chloroplaste

Le chloroplaste 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.

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).

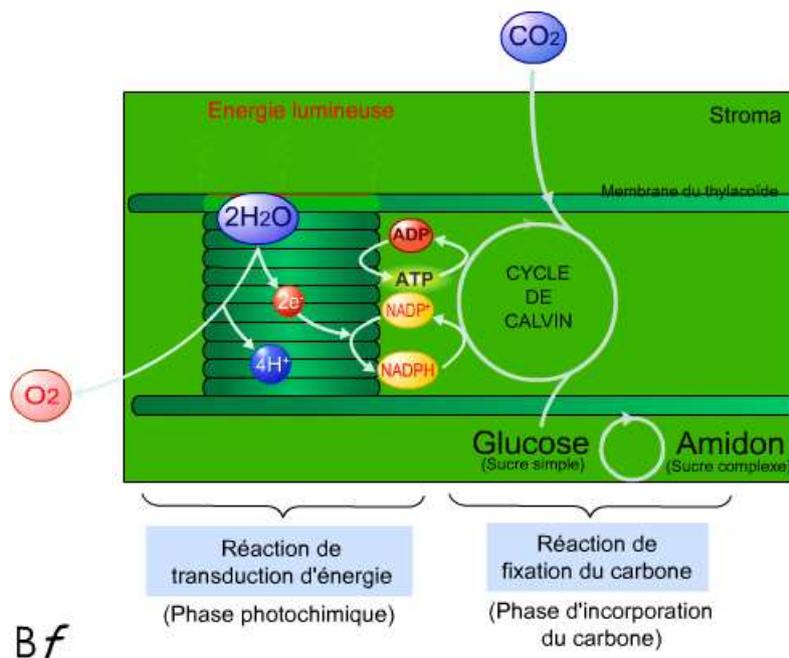


Figure 09 : Les deux étapes de la photosynthèse

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).

Un photosystème est un ensemble de protéines et de pigments (dont la chlorophylle), il se trouve dans les membranes thylakoïdales d'une plante et sert à absorber les photons de la lumière. Ils en existent deux, qui sont complémentaires et permettent la production de NADPH et d'ATP.

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 NADPH⁺ H

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 lie 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. La majorité des végétaux fonctionnent avec ce mécanisme appelé C3. Pour certaines plantes tropicales ou de zones arides qui doivent limiter leurs pertes d'eau, le mécanisme se nomme C4, car il y a un atome de carbone supplémentaire.

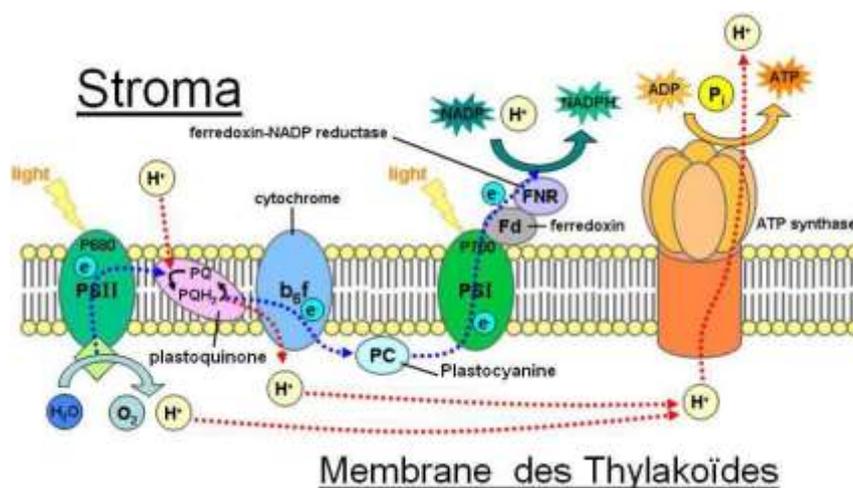


Figure 10 : Phase photochimique

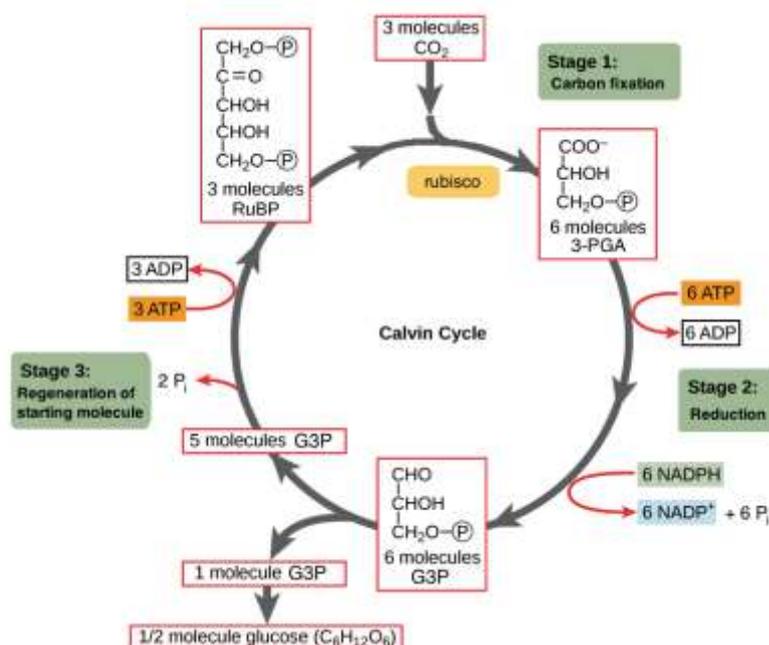


Figure 11 : Phase biochimique

4. Les différents types de fixation du carbone

Il y a trois mécanismes connus de fixation du dioxyde de carbone au cours de la photosynthèse : C3, C4 et CAM. Ces trois mécanismes diffèrent par l'efficacité de cette étape. Le mécanisme en C3 correspond au mécanisme « de base », c'est celui de 98% des plantes vertes.

Les types en C4 et CAM sont plus rares, mais on les trouve dans des espèces connues : le maïs est une plante C4, l'ananas une plante CAM. Ces sont des adaptations au stress hydrique ou à une réduction de disponibilité de CO₂ pendant la journée.

4.1. Le mécanisme des plantes en C3

La première des étapes du cycle de Calvin consiste en une carboxylation (fixation d'une molécule de CO₂) 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).

6. La Respiration cellulaire

La respiration cellulaire est une réaction chimique d'oxydo-réduction qui fournit l'énergie nécessaire à une cellule pour fonctionner et qui se passe dans les mitochondries

Une espèce chimique (atome, molécule, ion) qui capte un ou plusieurs électrons est un oxydant.

Une espèce chimique qui donne un ou plusieurs électrons est un réducteur.

Quand un réducteur perd des électrons, il s'oxyde. Quand un oxydant capte des électrons, il se réduit.

Ces réactions sont appelées des réactions d'oxydoréduction.

Puisqu'un donneur d'électrons nécessite un receveur d'électrons, l'oxydation et la réduction vont toujours ensembles.

La respiration cellulaire nécessite :

- un carburant : il s'agit du glucose, d'acides gras ou d'autres molécules organiques (acides aminés, corps cétoniques) ;
- un comburant, le dioxygène.

Cette réaction produit : □ du dioxyde de carbone ; □ de l'eau ; □ parfois de l'urée, si le carburant contient de l'azote (ex: acides aminés).

Le glucose, s'il n'est pas stocké sous forme de glycogène, sera dégradé afin de fournir de l'énergie directement utilisable par la cellule. Il existe deux voies métaboliques principales pour cela :

- la respiration cellulaire en milieu aérobie (milieu où il y a présence d'oxygène) ;
- la fermentation : fermentation alcoolique, butyrique... en milieu anaérobie (milieu dépourvu d'oxygène).

Lors de la respiration cellulaire, la dégradation du glucose se fait grâce à des transferts d'électrons (ce qui libère l'énergie).

La réaction globale est :

