

Chapitre 1 : La photosynthèse : de l'énergie lumineuse à l'énergie chimique

Introduction :

Soumis au rayonnement solaire, les végétaux réalisent la photosynthèse dans leurs parties chlorophylliennes. Ils synthétisent ainsi de la matière organique à partir d'eau, d'ions minéraux et de dioxyde de carbone.

Les végétaux chlorophylliens convertissent donc l'énergie lumineuse en énergie chimique permettant de nombreuses réactions.

Objectif du chapitre : On cherche à comprendre comment se déroule la photosynthèse à l'échelle cellulaire.

I. La cellule chlorophyllienne et la photosynthèse

A. Une réaction chimique cellulaire

Les cellules chlorophylliennes contiennent des organites de couleur verte, les chloroplastes, qui synthétisent de l'amidon en présence de lumière. Cette synthèse s'accompagne d'une consommation de dioxyde de carbone et d'un rejet de dioxygène.

L'utilisation de traceurs (isotope radioactif ^{14}C , isotope lourd ^{18}O) a permis d'identifier le parcours des atomes de carbone et d'oxygène lors de la photosynthèse.

Le carbone contenu dans la matière minérale (CO_2 atmosphérique) est utilisé pour synthétiser des molécules organiques comme le glucose. Les glucoses peuvent être temporairement assemblés sous forme d'amidon. La matière organique est ensuite exportée vers les autres organes de la plante par la sève élaborée qui circule dans les vaisseaux situés au niveau des nervures.

La molécule d'eau est scindée et donne le dioxygène libéré sous forme gazeuse, les atomes d'hydrogène participent à l'élaboration de la matière organique.

On peut résumer l'ensemble des processus de la photosynthèse par l'équation bilan suivante :

Réduction des atomes de carbone du CO_2



Oxydation des atomes d'oxygène de l'eau

L'ensemble des réactions photosynthétiques peut se résumer à une oxydoréduction dans laquelle l'oxydation de l'eau est couplée à la réduction du CO_2 . L'énergie nécessaire à la réalisation de cette oxydoréduction est fournie par la lumière.

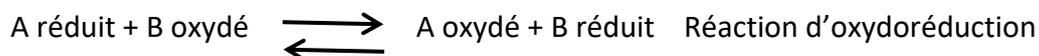
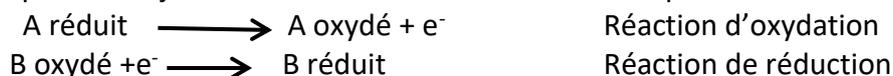
Rappel :

Une réduction est un gain d'électron, une oxydation est une perte d'électron.

Un réducteur ou substance réduite peut céder des électrons.

Un oxydant ou substance oxydé peut gagner des électrons.

L'oxydation d'un couple est toujours liée à la réduction d'un autre couple.



Les chloroplastes sont capables d'utiliser l'énergie lumineuse pour incorporer le carbone du CO_2 dans les molécules organiques de la famille des glucides, comme le glucose et l'amidon. Ils réalisent donc une conversion d'énergie lumineuse en énergie chimique.

B. Le chloroplaste, organe clé de la photosynthèse

Le chloroplaste est un organe cellulaire compartimenté qui contient une membrane externe et une membrane interne.

L'intérieur de l'organe est rempli d'un gel, le stroma qui contient de nombreuses molécules dissoutes. C'est dans le stroma que sont stockés les grains d'amidon.

Le chloroplaste est parcouru par un réseau de membranes formant des sacs aplatis, les thylakoïdes. Certains thylakoïdes sont regroupés en empilement ou granums.

La couleur verte des chloroplastes est due aux pigments chlorophylliens que ces organites renferment. En fait, seules les membranes des thylakoïdes sont de couleur verte et contiennent des pigments chlorophylliens.

La chlorophylle brute extraite de feuilles vertes est en fait un mélange de pigments : des pigments verts (chlorophylle a et b), ainsi que des pigments jaunes et orangés (carotène et xanthophylle).

Les pigments sont capables de capter l'énergie lumineuse, chaque catégorie de pigment capte des longueurs d'onde particulières.

La chlorophylle brute présente 2 pics d'absorption maximale situés dans le bleu (430 à 480 nm) et dans le rouge (645 à 700 nm), alors que les radiations vertes ne sont pas absorbées, ce qui explique la coloration verte des feuilles.

Le spectre d'action de la photosynthèse révèle une forte activité photosynthétique pour les longueurs d'ondes entre 400 et 500 nm (bleu), ainsi qu'entre 600 et 700 nm (rouge).

Il existe une bonne correspondance entre le spectre d'absorption des pigments foliaires et le spectre d'action photosynthétique : on peut donc supposer que les longueurs d'onde absorbées sont utilisées pour la photosynthèse.

Les membranes des thylakoïdes des chloroplastes permettent la conversion de l'énergie lumineuse en énergie cellulaire ce qui est la base de la photosynthèse.

II. Le déroulement de la photosynthèse

Des expériences ont montré que la photosynthèse comprend deux phases impliquant différents compartiments des chloroplastes :

- Une phase photochimique, qui se déroule au niveau des thylakoïdes, qui nécessite directement de l'énergie lumineuse et un oxydant.
- Une phase chimique, située dans le stroma, durant laquelle le CO₂ est fixé et la matière organique produite.

La phase photochimique conditionne la phase chimique : il y a couplage entre ces deux phases.

A. La phase photochimique

La phase photochimique, dite claire, de la photosynthèse est une suite de réactions complexes nécessitant de la lumière et se déroulant dans la membrane des thylakoïdes.

Les pigments photosynthétiques sont localisés dans la membrane des thylakoïdes. Ils sont associés à des protéines, pour former des unités fonctionnelles : les photosystèmes.

Chaque photosystème comporte des antennes collectrices et un centre réactionnel.

Les antennes collectrices absorbent le rayonnement lumineux, l'énergie de ce rayonnement est transmise jusqu'à une molécule de chlorophylle a du centre réactionnel, qui est qualifiée de chlorophylle piège.

La chlorophylle piège, excitée par l'énergie du rayonnement lumineux, perd un électron au profit d'une chaîne d'oxydoréduction localisée dans la membrane des thylakoïdes : la chaîne photosynthétique.

L'accepteur final d'électron est un oxydant soluble, noté R, qui est réduit en RH₂.

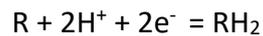
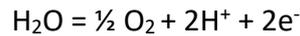
La chlorophylle retrouve son état initial grâce à l'oxydation de l'eau (photolyse) qui produit du dioxygène (le dioxygène rejeté au cours de la photosynthèse provient donc de la molécule d'eau, c'est un produit secondaire de cette réaction, non utilisé dans la suite du processus).

Les protons formés H^+ s'accumulent dans la cavité des thylakoïdes et il se crée une différence de concentration ou gradient de proton entre la cavité des thylakoïdes (lumen) et le stroma des chloroplastes. Le flux d'électrons dans la chaîne photosynthétique permet, en plus de la synthèse de composés réduits RH_2 , la translocation de protons du stroma vers le lumen. L'éclairement s'accompagne donc d'une diminution du pH du lumen.

Le gradient de pH entre le lumen et le stroma est une forme de stockage énergétique.

Des ATP synthases, enzymes de la membrane des thylakoïdes, canalisent le retour de protons vers le stroma, ce flux de protons est couplé à une synthèse d'ATP.

La première étape de la photosynthèse permet la conversion de l'énergie lumineuse en énergie chimique grâce à une oxydoréduction entre l'eau et les composés notés R.



L'eau est oxydée, tandis que les composés R sont réduits. Le bilan de l'oxydoréduction s'écrit donc :



Lors du transfert d'électrons et de protons, la synthèse d'ATP à partir d'ADP et P_i est activée.

Ainsi dans le stroma des transporteurs réduits, RH_2 (possédant un fort pouvoir réducteur) et de l'ATP (dont l'hydrolyse peut libérer une grande quantité d'énergie) sont disponibles.

Figure n° 1 : Schéma d'un chloroplaste

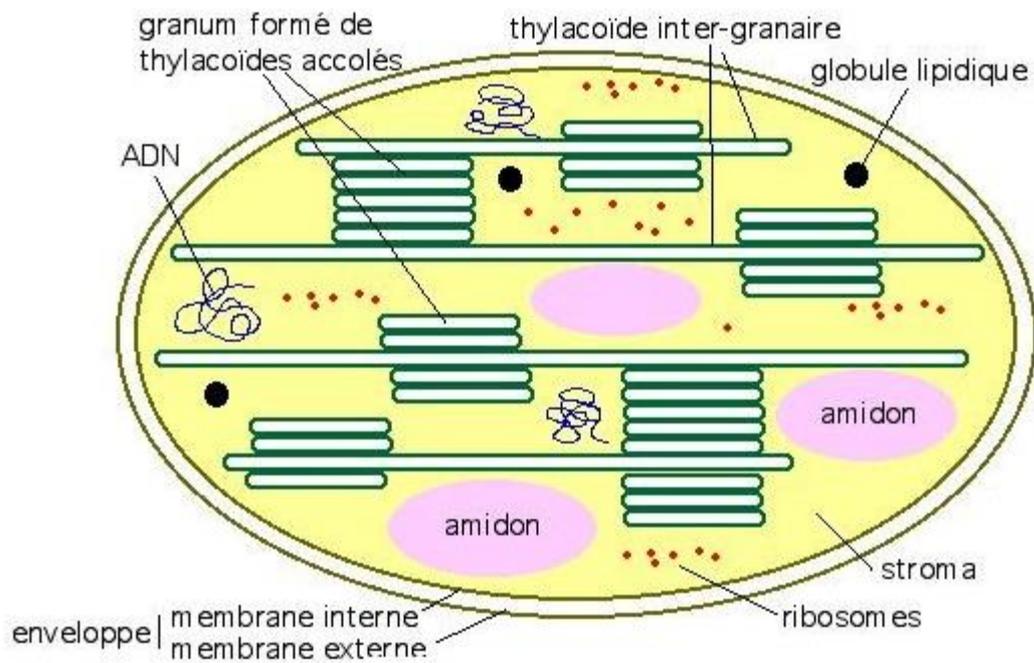


Figure n° 1 : Schéma d'un chloroplaste

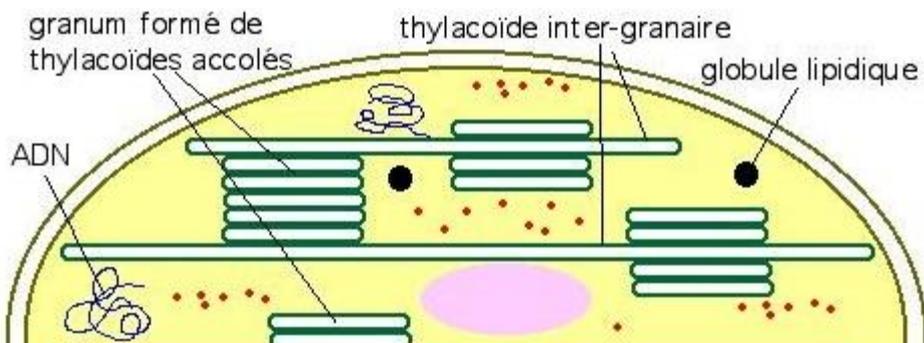
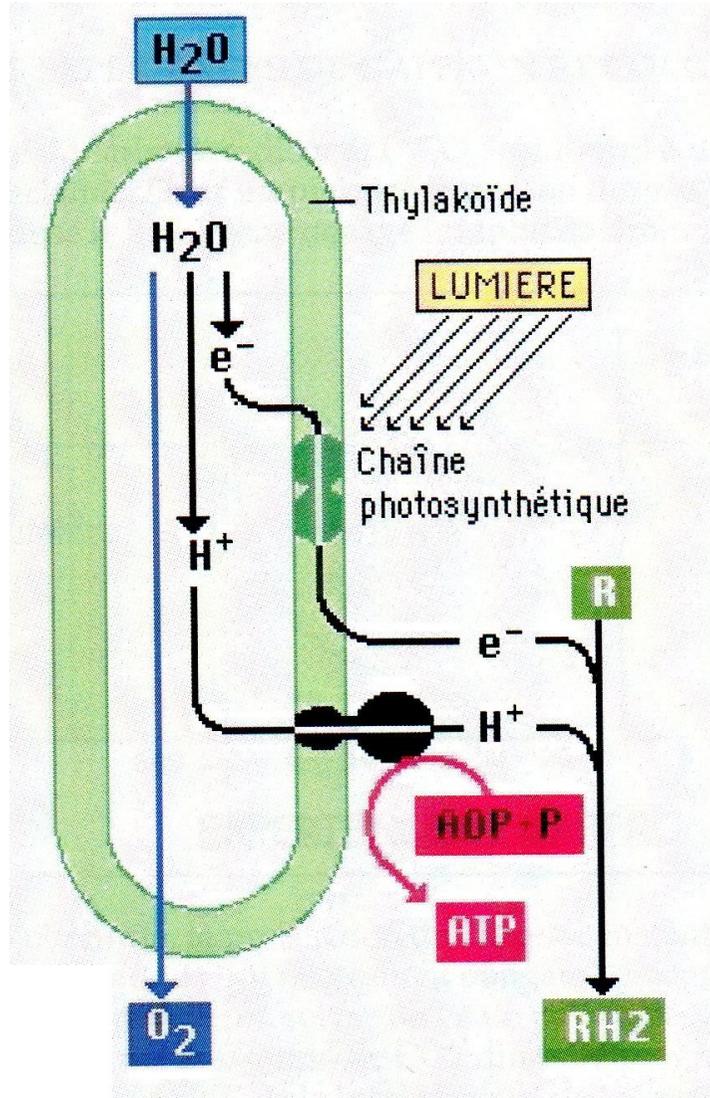


Figure n° 2 : Schéma bilan de la phase photochimique de la photosynthèse



1. Excitation de la chlorophylle, qui libère un électron.
2. Transfert des électrons le long de la chaîne photosynthétique jusqu'à un accepteur final R.
3. Photolyse de l'eau, source de protons et d'électrons (qui sont cédés à la chlorophylle pour qu'elle retrouve son état stable) mais aussi source du dioxygène libéré au cours de la photosynthèse.
4. Etablissement d'un flux de protons qui active une ATP synthétase permettant la formation de molécule énergétique (ATP)

Figure n° 3 : Schéma du cycle de Calvin

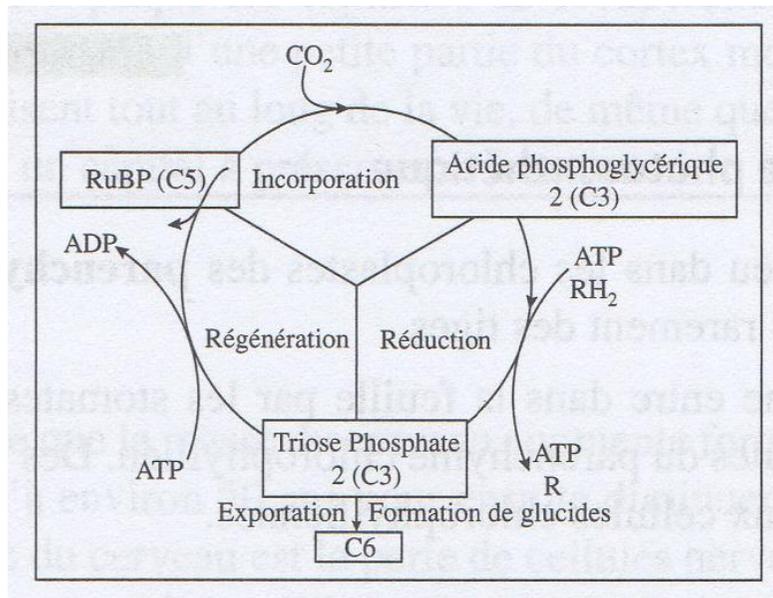


Figure n° 3 : Schéma du cycle de Calvin

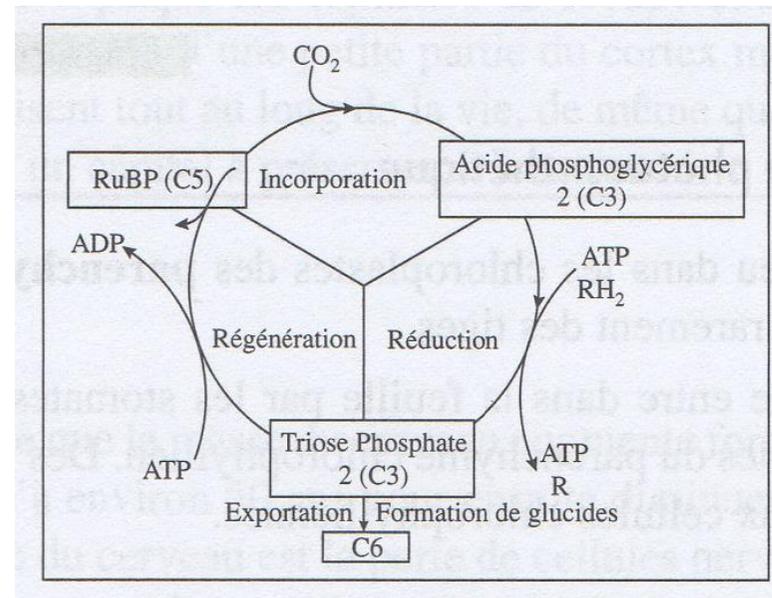


Figure n° 4 : Schéma bilan de la photosynthèse

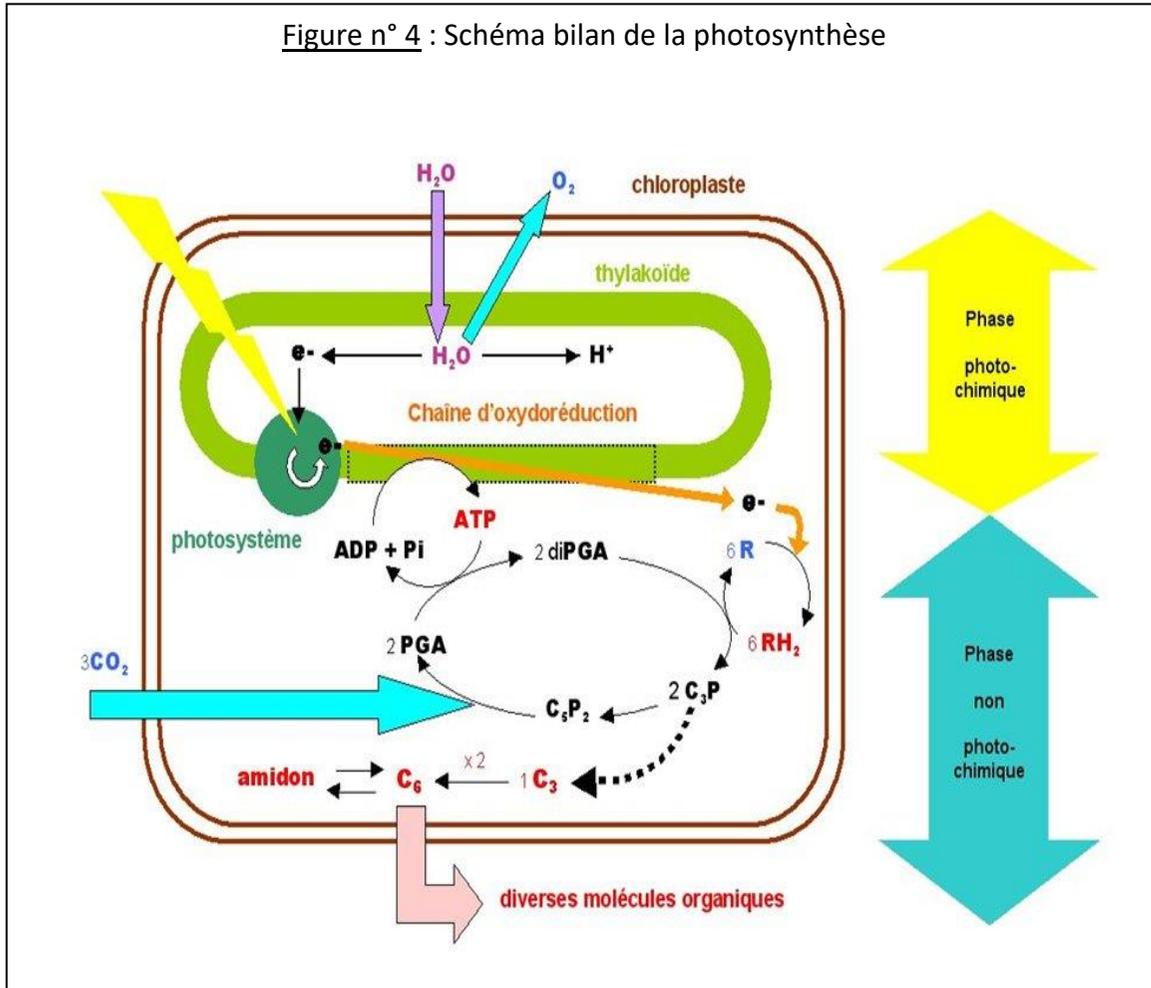


Figure n° 5 : Couplage énergétique dans les cellules chlorophylliennes

