

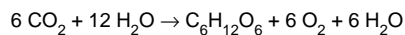
## La plante, productrice de matière organique.

Les végétaux chlorophylliens sont autotrophes au carbone: ils produisent leur propre matière organique en utilisant uniquement des matières minérales (eau, sels minéraux) et de l'énergie lumineuse lors de la photosynthèse. La matière organique produite est utilisée pour produire l'énergie nécessaire au métabolisme cellulaire, et pour produire divers constituants cellulaires.

**Comment la matière organique est-elle fabriquée par les végétaux chlorophylliens puis utilisée par les cellules ?**

### I: La photosynthèse: de l'énergie lumineuse à l'énergie chimique.

Grâce à l'énergie lumineuse, les végétaux réalisent la photosynthèse dans leurs parties chlorophylliennes. Ils synthétisent ainsi de la matière organique (glucose:  $C_6H_{12}O_6$ ) à partir d'eau, de sels minéraux et de dioxyde de carbone selon la réaction suivante:



**Comment l'énergie lumineuse est-elle convertie en glucose (énergie chimique) par les cellules chlorophylliennes ?**

**A: Les chloroplastes, des organites spécialisés dans la photosynthèse.**

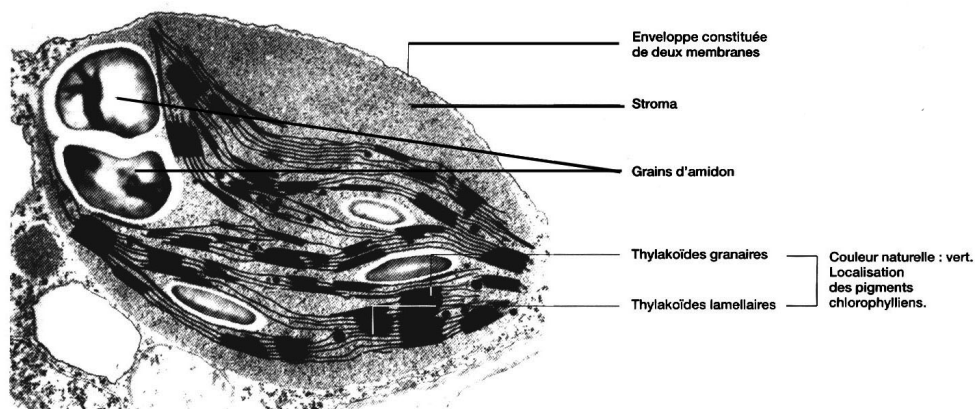
Les [observations](#) réalisées après traitement des feuilles au lugol (eau iodée - caractérise la présence d'amidon par coloration brune bleue foncée violette) montrent que:

Seules les régions de feuilles exposées à la lumière produisent de l'amidon (polymère de glucose). La photosynthèse a donc lieu dans les feuilles et nécessite de la lumière.

Seuls les chloroplastes des feuilles exposées à la lumière produisent de l'amidon (polymère de glucose). La photosynthèse a donc lieu au sein des chloroplastes.

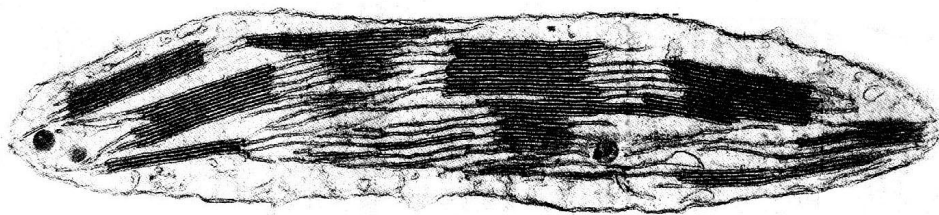
Les [chloroplastes](#) sont des organites spécifiques du règne végétal, caractéristiques des cellules chlorophylliennes où se déroule la photosynthèse. Le chloroplaste est constitué d'une double membrane, délimitant un espace interne appelé le stroma.

Dans le compartiment interne du chloroplaste se trouvent de nombreux disques ou thylakoïdes (dont les empilements forment le granum). Les membranes de ces thylakoïdes sont très riches en protéines (transporteurs de protons, d'électrons, ATPsynthétase) et pigments photosynthétiques.



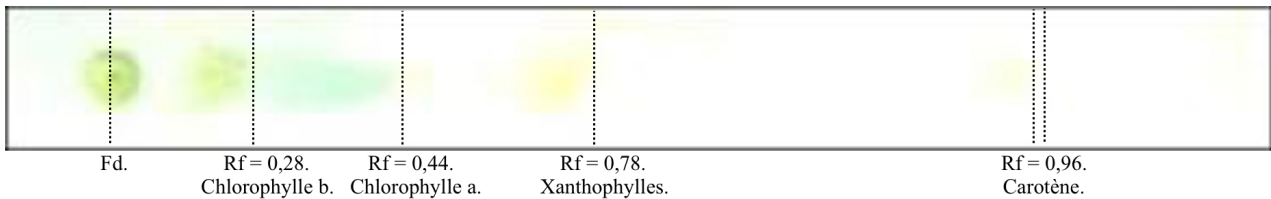
Eléctronographies d'un chloroplaste

0,5  $\mu m$



## B: L'absorption de la lumière par les pigments chlorophylliens

Il est possible de séparer, par [chromatographie](#), les différents pigments présents dans les chloroplastes d'une feuille. Connaissant les rapport frontaux des différents pigments on peut ainsi identifier des chlorophylles a et b, des xanthophylles et des carotènes.



Les pigments photosynthétiques sont regroupés dans la membrane des thylakoïdes en complexes pigments - protéines appelés photosystèmes.

Un pigment est une substance colorée qui absorbe certaines longueurs d'ondes de la lumière et renvoie ou transmet toutes les autres (ce qui détermine la couleur du végétal). En utilisant un spectromètre, on détermine le [spectre de transmission](#) de l'alcool (spectre A) et de la solution alcoolique de chlorophylle brute (spectre B).

Toutes les longueurs d'onde du domaine visible du spectre ont été transmises par l'alcool. L'alcool n'absorbe aucune des longueurs d'onde du domaine visible du spectre.

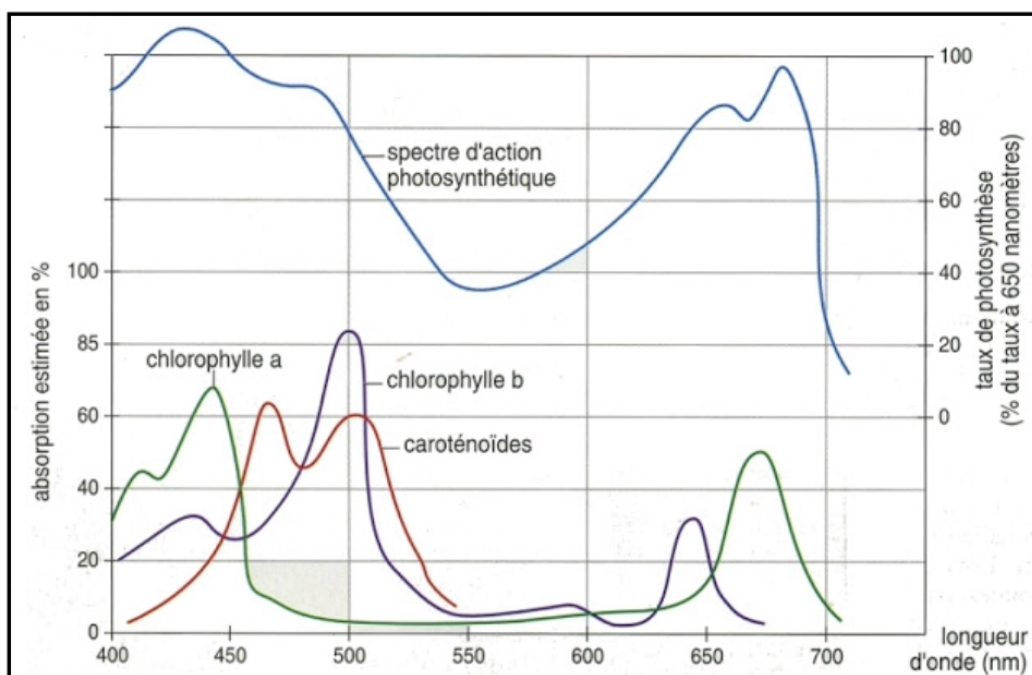
Seules les longueurs d'onde verte jaune et orange ont été transmises par la solution alcoolique de chlorophylle brute. La solution alcoolique de chlorophylle brute absorbe les longueurs d'onde bleues (450-500 nm) et rouges (650-700 nm).

On en déduit que la chlorophylle brute (ensemble des pigments photosynthétiques) absorbe la lumière pour des longueurs d'ondes de 450-500 nm (bleu) et 650-700 nm (rouge).

Le spectre d'absorption de la chlorophylle brute correspond à la combinaison des spectres d'absorption des différents pigments constituant la chlorophylle brute; la diversité des pigments permet d'élargir le spectre d'absorption de la chlorophylle brute ce qui permet à la plante d'absorber de nombreuses longueurs d'ondes différentes.

Dans son expérience, [Engelmann](#) montre que les bactéries se regroupent au niveau des cellules chlorophylliennes exposées aux longueurs d'ondes bleues (concentration bactérienne maximale vers 680 nm) et rouges (concentration bactérienne maximale vers 480 nm). On en déduit que ces longueurs d'ondes sont actives sur la production de dioxygène et donc sur la photosynthèse.

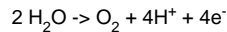
Comme le spectre d'absorption des pigments correspond au spectre d'action de la photosynthèse (ensemble des longueurs d'ondes actives sur la photosynthèse) mis en évidence par l'expérience d'Engelmann, on peut dire que c'est l'absorption de certaines longueurs d'ondes par les pigments qui permet la photosynthèse; on parle de pigments photosynthétiques.



**La membrane des thylakoïdes des chloroplastes renferme différents pigments. La combinaison des spectres d'absorption de ces différents pigments confère aux cellules chlorophylliennes la propriété d'absorber les longueurs d'ondes bleues et rouges du domaine visible du spectre. Ces longueurs d'ondes sont actives sur la photosynthèse.**

Les expériences de [Bonnet](#) montrent que l'absorption de la lumière par les chloroplastes s'accompagne d'une libération de O<sub>2</sub>. Les [expériences de Ruben](#) montrent que le dioxygène libéré provient de l'oxydation de l'eau.

Les [expériences de Gaffron](#) montrent que à l'obscurité, la production de O<sub>2</sub> cesse instantanément. La lumière est indispensable pour l'oxydation de l'eau; on parle de photolyse de l'eau ou phase photochimique:



Les [expériences de Hill](#) montrent que les électrons arrachés à l'eau lors de la photolyse (oxydation) de l'eau ne sont pas acceptés directement par le CO<sub>2</sub> mais qu'ils sont acceptés par un accepteur d'électron (NADP) qui se retrouve réduit (NADPH+H<sup>+</sup> = coenzyme réduit) dont le pouvoir réducteur permettra la réduction finale du CO<sub>2</sub>.

**La phase photochimique se déroule dans les thylakoïdes. Les photons absorbés par la chlorophylle, excitent la chlorophylle qui transmet alors ses électrons pris en charge par une chaîne de transporteurs d'électrons impliquant des réactions d'oxydoréductions au niveau de la membrane des thylakoïdes qui aboutissent à la synthèse d'ATP et à la réduction d'un accepteur final NADP en NADPH+H<sup>+</sup>.**

**L'énergie des photons est ainsi convertie en énergie chimique sous forme d'ATP (dont l'hydrolyse peut libérer une grande quantité d'énergie) et de NADPH+H<sup>+</sup> (possédant un fort pouvoir réducteur)**

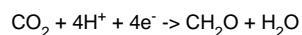
**Le fonctionnement de ces chaînes d'oxydoréductions nécessite une régénération de chlorophylle à l'état réduit : ceci est permis par l'oxydation de l'eau, à l'origine d'un dégagement de dioxygène.**

**C: L'incorporation et la réduction du carbone dans le stroma des chloroplastes.**

La [coloration à l'eau iodée](#) de chloroplastes préalablement éclairés révèle la présence d'amidon formant des grains d'amidon au sein du stroma (absents chez le témoin non éclairé). On en déduit que la synthèse de molécules organique a lieu dans le stroma des chloroplastes.

Après [autoradiographie](#) on observe une importante radioactivité au niveau des molécules organiques élaborées dans les chloroplastes des feuilles exposées à une atmosphère enrichie en <sup>14</sup>CO<sub>2</sub>. On en déduit que le carbone organique constituant les molécules organiques élaborées provient du carbone minéral du CO<sub>2</sub> gazeux (ou dissous pour les plantes aquatiques)

Il y a donc, dans le stroma des chloroplaste, réduction du carbone:



Les [expériences de Gaffron](#) montrent que à l'obscurité la fixation de CO<sub>2</sub> diminue progressivement. L'incorporation et la réduction du CO<sub>2</sub> ne dépend donc pas de la lumière mais nécessiterait la présence de molécules produites à la lumière dont les réserves s'épuiseraient rapidement (quelques secondes) après le passage à l'obscurité.

Les [expériences d'Arnon](#) montrent que les produits de la phase photochimiques (ATP et NADPH+H<sup>+</sup>) sont nécessaires à l'incorporation et la réduction du CO<sub>2</sub>.

**La réduction du carbone ne dépend donc pas directement de la lumière mais requiert la participation d'intermédiaires produits au cours de la phase photochimique (ATP et NADPH+H<sup>+</sup>). On parle d'une phase chimique ou non photochimique (ou thermochimique car elle libère un peu d'énergie thermique). Les 2 phases de la photosynthèse (photochimique et non photochimique) sont donc liées.**

Les expériences de [Calvin](#) et de [Calvin & Wilson](#) montrent que la phase non photochimique, qui se déroule dans le stroma des chloroplastes, consiste en l'incorporation cyclique du CO<sub>2</sub> dans de nombreuses molécules carbonées. (Dans l'ordre: APG, trioseP, RuBP, Glucose...)

**Le cycle de Calvin Benson:**

Une enzyme: la Rubisco, présente dans le stroma, permet l'incorporation du CO<sub>2</sub> sur une molécule glucidique à 5 atomes de carbone: le RuBP (C5P2). Il se forme alors une molécule à 6 atomes de carbone immédiatement scindée en 2 molécules à 3 atomes de carbone: l'APG (l'APG n'est pas un glucide, le CO<sub>2</sub> incorporé dans l'APG n'est pas encore réduit)

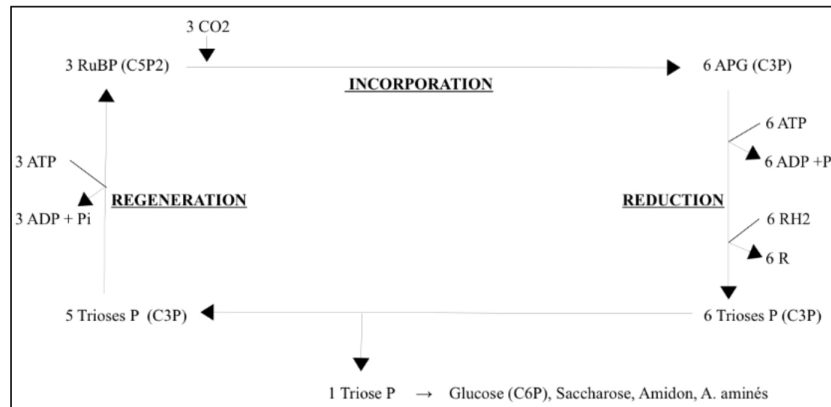
Le NADPH+H<sup>+</sup> et l'ATP produits lors de la phase photochimique permettent la réduction du CO<sub>2</sub> et la formation de molécules glucidiques à 3 atomes de carbone: les trioses P:

- L'oxydation du NADPH+H<sup>+</sup> fournit les électrons nécessaires à la réduction du CO<sub>2</sub>

- L'hydrolyse de l'ATP fournit l'énergie nécessaire à la réduction du CO<sub>2</sub>

Lors de chaque cycle un des 6 trioses P produits sort du cycle, ce qui permet (après plusieurs cycles) la production de glucose (6 atomes de carbone), puis de saccharose, d'amidon, d'acides aminés...

Lors de chaque cycle, 5 des 6 trioses P produits sont utilisés pour régénérer du RuBP permettant ainsi la continuité du cycle. La régénération du RuBP se fait selon un mécanisme complexe (hors programme) nécessitant de l'ATP



### Conclusion:

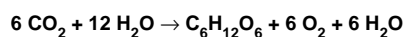
La réduction du dioxyde de carbone au cours de la photosynthèse est assurée dans les chloroplastes en deux phases étroitement couplées.

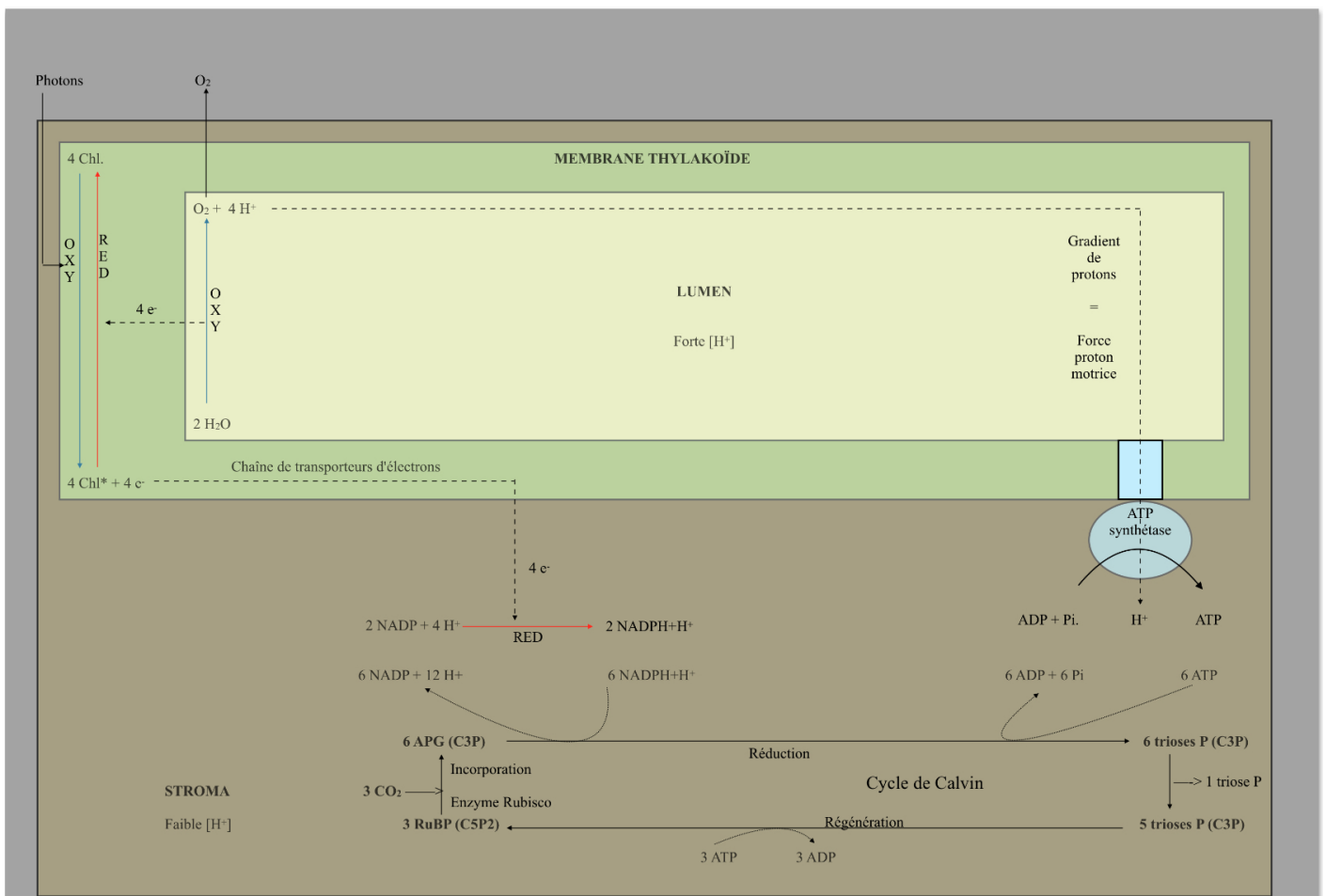
La phase photochimique correspond à la conversion de l'énergie des photons en énergie chimique sous forme d'ATP et de NADPH+H<sup>+</sup> : la chlorophylle a, excitée par les photons, devient un puissant réducteur qui alimente une chaîne d'oxydoréductions localisée dans la membrane des thylakoïdes.

Les électrons et protons nécessaires à la régénération de la chlorophylle a oxydée sont fournis par l'eau, l'oxydation de cette dernière étant à l'origine du dioxygène libéré.

La phase non photochimique utilise l'ATP et le NADPH+H<sup>+</sup> produits lors de la phase photochimique pour permettre la réduction du dioxyde de carbone dans le stroma ; celui-ci est incorporé dans des molécules organiques grâce à l'activité de la RuBP-carboxylase (Rubisco).

C'est ainsi que le carbone minéral est intégré dans la matière organique des végétaux photo-autotrophes, eux-mêmes à la base de la majeure partie des chaînes alimentaires, les organismes hétérotrophes consommant, directement ou indirectement, cette matière organique qui leur fournit les constituants et l'énergie nécessaires à leur métabolisme.





Compléments: [Mémo métabolisme](#)