

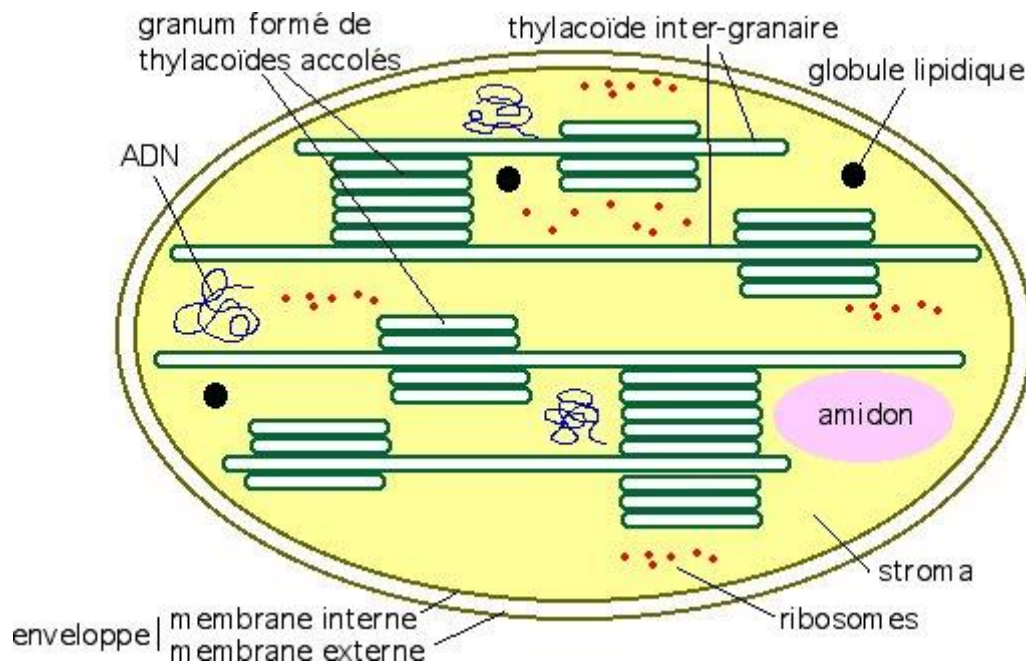
Chapitre 1 : Les bases de l'autotrophie.

Introduction

Les végétaux sont de véritables usines chimiques fournissant aux animaux leur nourriture. Cette phytochimie alliant la chimie lourde (fabrication de l'amidon et de la cellulose par exemple) et la chimie fine (production d'huiles essentielles, d'alcaloïdes, d'acides aminés essentiels...) a pour particularité fondamentale de pouvoir synthétiser les constituants les plus complexes rencontrés dans les tissus vivants à partir des molécules minérales simples : **les végétaux sont des autotrophes**.

L'autotrophie végétale, c'est à dire la faculté qu'ont les végétaux de synthétiser leur biomasse à partir de molécules minérales simples (eau, sels minéraux du sol, dioxyde de carbone et oxygène de l'air) repose sur un pigment, la chlorophylle a.

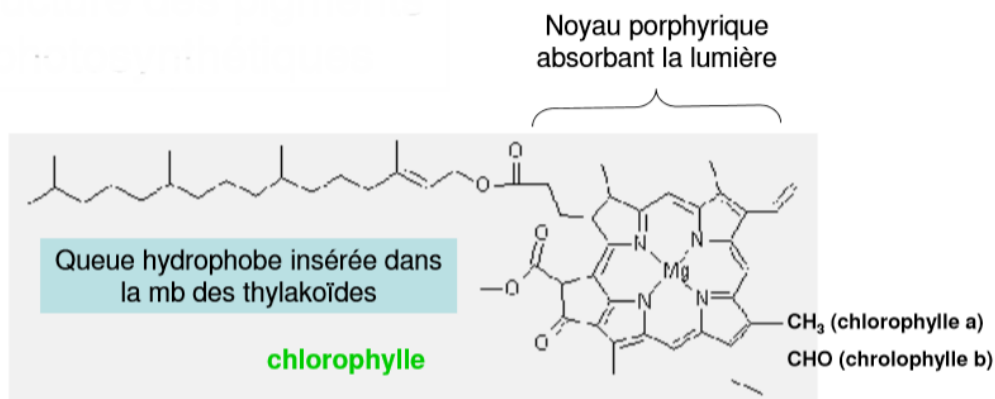
La chlorophylle a, localisée dans un organe le chloroplaste, se sert de la lumière comme source d'énergie, cette dernière provient du soleil ce qui assure une source externe illimitée. Au niveau du chloroplaste se trouvent des enzymes caractéristiques des végétaux, dont la *rubisco*, enzyme clé de l'autotrophie des plantes vis-à-vis du carbone. Cette enzyme, qui représente 50% des protéines du stroma (soit 15% de celles du chloroplaste), est ainsi la protéine la plus répandue de la biosphère.



1. La chlorophylle, pigment de la photosynthèse

La chlorophylle est du groupe des Hémines et possède un noyau tétrapyrrolique (structure de cage) qui contient un atome de magnésium (Mg^{2+}). Elle possède une courte chaîne latérale qui caractérise la

chlorophylle « a » (radical méthyle) ou chlorophylle « b » (radical aldéhyde), et une longue chaîne phytol hydrophobe (hydrocarbure dérivé de l'isoprène C₂₀).



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

- Chlorophylle a : à 430 (bleu) et 660 nm (rouge).
- Chlorophylle b : à 450 et 643 nm.

Lorsqu'un pigment capte un photon correspondant à sa capacité d'absorption, un de ses électrons passe dans un état dit excité. Cette énergie peut se transmettre de 3 façons : soit en la répandant sous forme de photon, soit en la répandant sous forme de chaleur (ces deux façons font perdre de l'énergie), soit en transmettant l'énergie par résonance avec presque aucune perte d'énergie.

Il est important de préciser que seule la chlorophylle « a » est « active » pour la photosynthèse, et qu'elle est toujours associée à d'autres pigments, dit pigments accessoires, qui réceptionnent les photons à des longueurs d'onde inférieures (de plus fortes énergies) à la longueur d'onde d'absorption de la chlorophylle, et qui retransmettent à une longueur d'onde supérieure (de moindre énergie) pour atteindre la chlorophylle. On est alors dans un mode de fonctionnement « donneur-accepteur ». Parmi les pigments accessoires on compte les phycobilles chez les cyanobactéries et algues rouges, et les caroténoïdes chez les plantes supérieures et les algues brunes. Les caroténoïdes absorbent dans les jaunes orangés et le bleu et les phycobilles dans le vert et le bleu.

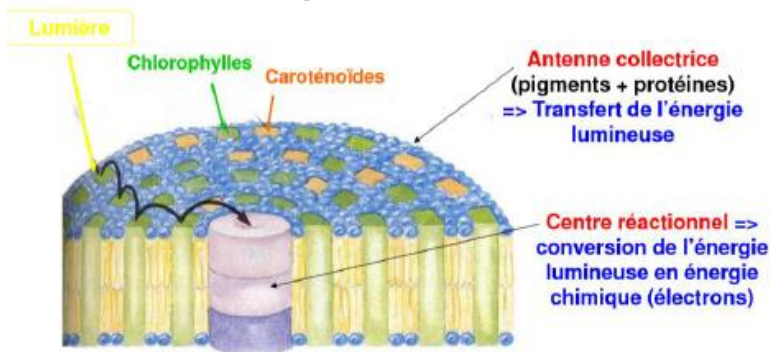
On peut faire ici la remarque que la couleur orangée des caroténoïdes est masquée par la chlorophylle, or la chlorophylle est la première molécule détruite à l'automne, donnant la couleur jaune orangée des plantes à cette saison.

Différentes structures sont importantes dans la réception de la lumière. Tout d'abord l'antenne collectrice qui est composée de chlorophylle « a » et « b », ainsi que des caroténoïdes, mais encore le centre réactionnel qui comprend uniquement une paire de chlorophylle « a ».

La chlorophylle « a » existe en deux variantes qui ont des pics d'absorption différents, selon les protéines qui lui sont associées :

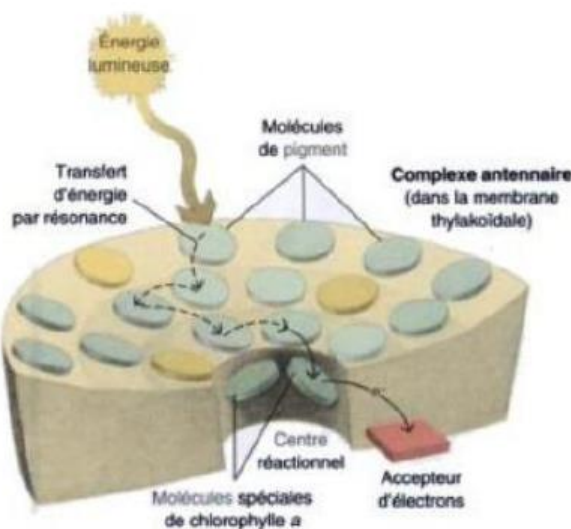
- La P680 qui absorbe à 680 nm. Elle est présente au niveau du photosystème II (PSII).
- La P700 qui absorbe à 700 nm. Elle est présente au niveau du photosystème I (PSI).

Organisation des photosystèmes



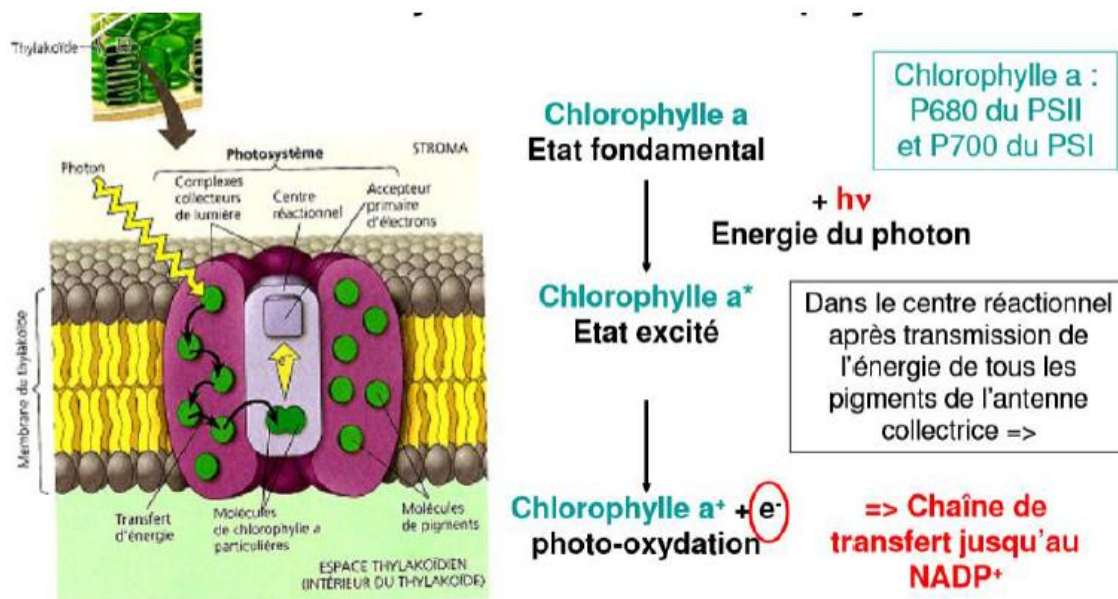
- PSI et PSII sont situés dans la membrane du thylakoïde

Transfert d'énergie



- Énergie lumineuse absorbée par molécule de pigment passe d'une molécule à l'autre jusqu'au molécules spéciales de chlo a
- Transfert ensuite d'un e⁻ à un accepteur

Photo-oxydation de la chlorophylle a



2. Les phases de la photosynthèse

La photosynthèse se réalise en deux grandes phases, la phase claire et la phase sombre.

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⁺ (potentiel réducteur). La phase claire permet donc directement la transformation de l'énergie lumineuse en énergie chimique.

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

2.1. Les mécanismes de la phase claire

Comme dit précédemment, le principe de la phase claire est de capter l'énergie lumineuse des photons et de la transmettre, via des électrons chargées de cette énergie, à une chaîne d'accepteur d'électrons (molécules ayant des potentiels d'oxydoréduction variables) ; on parle de phase photochimique. La phase claire nécessite donc de la lumière et aboutie à la formation de deux molécules : ATP et NADPH.

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. L'accepteur primaire du photosystème I (PSI) est la chlorophylle A0 (chlorophylle « a » modifiée) et du photosystème II (PSII) est la phéophytine. La chaîne d'accepteurs d'électrons permet le transport des électrons de molécule en molécule dans le sens de l'augmentation du potentiel.

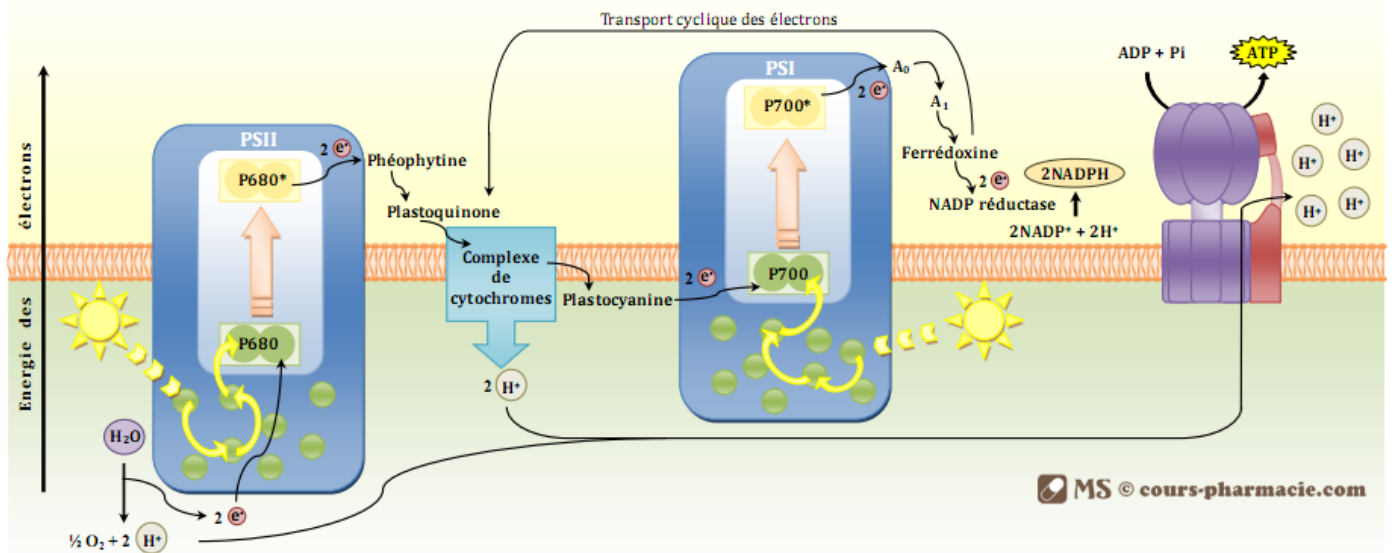


Schéma simplifié représentant les mécanismes de la phase claire de la photosynthèse.

La phase claire de la photosynthèse nécessite de la lumière pour fonctionner, et se fait grâce à des complexes moléculaires situés au niveau de la membrane thylakoïdienne des chloroplastes : les photosystèmes (PSI et PSII), les chaînes de transport d'électrons et l'ATP synthétase.

Cette phase a pour but de synthétiser de l'ATP et du NADPH qui seront utilisés par le cycle de Calvin. Pour se faire des électrons seront transportés via les différentes structures membranaires ; ces électrons seront apportés par la photolyse de l'eau qui permettra également l'apport de proton utilisés pour la synthèse d'ATP et la synthèse d'oxygène qui sera un déchet de la photosynthèse.

Les photosystèmes en eux même sont constitués d'une antenne collectrice qui réceptionne la lumière grâce à la grande concentration en pigments, et d'un centre réactionnel qui permet la formation d'électrons chargés en énergie, qui seront eux même transmis à l'accepteur primaire de la chaîne de transport d'électrons respective. Les centres réactionnels présentent tous les deux une paire de chlorophylle « a » et se distinguent par leur longueur d'onde d'absorption qui leur donne leur nom.



2.2. Les mécanismes de la phase sombre

La phase sombre correspond à la phase d'assimilation du CO₂ 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 CO₂ se fait en quatre étapes principales dont les trois premières se déroulent au sein du cycle de Calvin :

- Fixation du CO₂ (carboxylation).
- Réduction du carbone fixé.
- Régénération de l'accepteur de CO₂.
- Synthèse des sucres.

1) Le cycle de Calvin

a) Fixation du CO₂

La première molécule du cycle de Calvin est le ribulose-biphosphate (RuBP) possédant 5 carbones. La fixation du CO₂ 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.

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 CO₂

Le G3P formé peut avoir différentes destinées ; un sixième de celui-ci sera utilisé par la cellule comme composant glucidique (cf. suite du cours) et les cinq sixièmes restant seront utilisés pour poursuivre le cycle de Calvin.

La reformation du RuBP, qui sera réutilisée pour fixer le CO₂, se fera en plusieurs étapes et nécessitera l'utilisation d'ATP.

