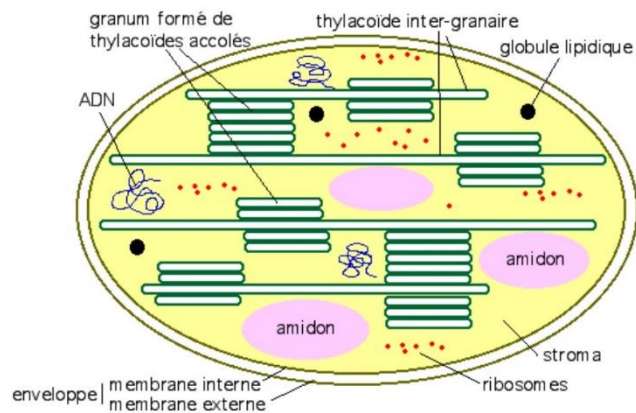
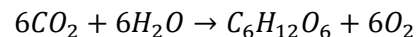


**Métabolisme primaire** (par opposition à métabolisme secondaire) nécessaire à la survie d'une cellule.

### Strucutre d'un chloroplaste



### La photosynthèse



1. La production d'ATP et NADH par l'utilisation de la Lumière et d'eau.
2. Le cycle de Calvin qui est le processus de fixation du carbone. Il a lieu dans le stroma.

Photolyse de l'eau dissociation d'une molécule d'eau par la lumière.

Calcin cycle du carbone a lieu dans le stroma

### Phase photochimique

La phase photochimique correspond à récupérer et rendre exploitable l'énergie transportée par les photons pour pouvoir produire :

- NADP<sup>+</sup> en NADPH. Son pouvoir réducteur en fait une molécule utilisé pour les réactions anaboliques.
- Contribue à l'acidification de la lumière des thylakoïdes. Le gradient de protons est ensuite dissipé pour transformer l'ADP en ATP.

Rmq : NADP ressemble au NAD avec un groupement phosphate.

Il existe deux types de photosynthèse en présence ou en absence d'oxygène :

photosynthèse oxygénique	photosynthèse anoxygénique
$2H_2O + CO_2 \rightarrow O_2 + H_2O + CH_2O$	

**Radiation photosynthétique active** ensemble des longueurs d'ondes utilisée par la plante.

Photosystème qui agissent

1. Photosystème II : qui un premier réducteur :
  - a. électrolyse de l'eau production oxygène-gradient H<sup>+</sup>.
  - b. Le gradient de H<sup>+</sup> est dissipé pour produire ATP.

Le réducteur s'oxyde pour réduire une

2. I : Transfert électron pour réduction NADP

Rmq : L'énergie des photons est captée par des molécules spécialisées, les pigments, au niveau de deux photosystèmes.

### Les pigments

Les pigments sont regroupés au sein de structure appelée antenne collectrice. Il existe deux grandes familles de pigments :

Chlorophylle	Caroténoïde
--------------	-------------

Les algues utilisent des pigments supplémentaires pour réaliser la photosynthèse car le milieu aquatique modifie les propriétés de la lumière. Ils sont formés de Complexe protéines et pigments Associés à des phycobiliprotéines phycobiline.

### Les caroténoïde

Les caroténoïdes sont des molécules lipophiles présente dans les membranes des thylakoïdes. Elles sont fabriquées dans les plastes à partir de terpène. Leur pic d'absorption se situe à 450 nm.

### Les chlorophylles

Les pigments chlorophylliens sont composés :

- Un noyau porphyrine hydrophile qui en sert un ion magnésium ( $Mg^{2+}$ ) dans le stroma
- Une queue phytol hydrophobe qui est ancrée dans la membrane des thylakoïdes.

Il existe quatre types de chlorophylle :

Type de chlorophylle	Présence
A	Universelle
B	Plantes et algues vertes
C1 et c2	Algues brunes
D	Algues rouges

Les différences de comportement des types de chlorophylle face à la lumière est fortement dépend d'un se situe au niveau des groupements en périphérie du noyau. Par exemple, entre la chlorophylle a et b.

Par exemple, pour les deux types de chlorophylles les plus présentes càd a et b, une différence dans un groupement du noyau :  $-CH_3$  et  $CHO$  modifie les pics d'absorption :

Type de chlorophylle	Bleu	Rouge
A	430 nm	662 nm
B	454 nm	

### Excitation de la chlorophylle

Un changement de l'état énergétique se produit dans la molécule de chlorophylle lorsqu'un photon bleu ou rouge entre en contact avec la mo

Lorsqu'un chlorophylle reçoit un photon de couleur bleu qui contient plus d'énergie qu'un rouge alors il libère une partie de l'énergie sous forme de chaleur pour se ramener à l'énergie d'un photon rouge.

Rouge

Sa à sb vous forme de chaleur

Il existe trois possibilités pour revenir à l'état initial càd pour dissiper l'énergie et revenir à une configuration stable :

- Fluorescence càd par l'émission d'un photon de plus faible énergie que celui reçu.
- Par résonnance. L'énergie est transférée à la molécule suivante.
- Photochimie cède un électron.

Rendement de transfert vers la chlorophylle A

Complexe photosynthétique centre dimère de chlorophylle A

Efficacité de la photosynthèse dépend de :

La lumière	La concentration de $CO_2$
------------	----------------------------

Rmq : Le facteur limitant dans l'activité de photosynthèse est le  $CO_2$  qui ne constitue que 3% de l'air.

**Photosynthèse net** production d'oxygène moins sa consommation par la respiration cellulaire.

Rmq : La photosynthèse net se mesure en suivant l'évolution de la concentration de  $CO_2$  ou celle d' $O_2$ .

**Point de compensation** seuil à partir duquel la photosynthèse net devient positive.

Les plantes ne sont pas toutes efficaces pour réaliser la photosynthèse. Cela dépend notamment de leur mode de vie. On distingue les plantes

D'ombre	De lumière
---------	------------

Rmq.: Les plantes d'ombre ont un point de compensation inférieur à celle de lumière mais la valeur maximale est inférieure.

Certaines plantes ont développé des adaptations pour pallier le manque de CO<sub>2</sub>.

## La photosynthèse oxygénique

Le CO<sub>2</sub> joue le rôle d'accepteur d'électrons. Il est possible de réaliser la photosynthèse sans CO<sub>2</sub> en utilisant un autre réducteur comme Fe<sup>3+</sup>.

Deux systèmes photosynthétiques :

1. Secondaire (P780) électrolyse deux molécules l'eau et son oxydation. Consiste faire gagner de l'énergie potentiel aux électrons.  

$$2H_2O + \text{énergie lumineuse} \rightarrow O_2 + 4H^+ + 4e^-$$
2. Primaire (P700) transfère d'électrons pour réduire NAD<sup>+</sup> en NADH.  

$$4H^+ + 4e^- + CO_2 \rightarrow CH_2O + H_2O$$

Rmq.: les herbicides sont des inhibiteurs de la chaîne de transport des électrons.

## Photosystème II

La longueur d'onde pour réaliser une oxydation de l'eau est comprise entre 660 et 680 nm.

Le photosystème II est composé de trois parties :

- Une antenne collectrice de photons
  - 1 périphérique (ou distale) libre qui navigue dans la membrane des thylakoïdes et peut aller sur le complexe I.
  - Seconde interne.
  - Antenne pigment + protéine
- Centre réactionnel 2 sous unité dimère D1 et D2.

- Complexe d'oxydation de l'eau situé lumière des thylakoïdes associé à un atome de manganèse (Mn).

Le Fonction du site réactionnel

1. Chlorophylle reçoit la lumière cède électron.
2. PSII 2H<sub>2</sub>O → oxydé cède un électron à O<sub>2</sub>+H+4e<sup>-</sup>
3. Retiré les électrons complexe d'oxydation vient compenser la perte
4. 4 électrons de l'oxydation de l'eau viennent t1 à 1 produit 3 émissions de photons pour l'étape est lieu.

N'est pas immédiate

1 centre successive 4 électrons avait de pouvoir permettre l'oxydation de l'O<sub>2</sub>

Fonction du PSII

Seuil déclenchement

16 monomère de chlorophylle associé en 8 antenne (dimère)

## Photosystème I

Le photosystème I est constitué de :

- Une antenne collectrice
- Un centre réactionnel constitué d'un dimère de chlorophylle

Ferrédoxine réduction NADP en NADPH.

Plastocyanine régénération des électrons du centre.

L'interaction a lieu des protéines d'amarrage.

## Coordination de l'activité entre les photosystèmes I et II

Le 2 photosystème fonctionne à vitesse similaire

Transfère

L'activité des photosystèmes est coordonnée par l'intermédiaire de la concentration de PQH<sub>2</sub>. Sa quantité

Deux mécanismes de régulation augmentent l'activité PSI et diminuent l'activité PSII

Diminuer l'activité PSI et augmenter l'activité PSII

Plastoquinone accepteur final II

Complexe cytochrome b<sub>6</sub>-f transport d'électron

PQH<sub>2</sub> cède 2 électrons au cytochrome b<sub>6</sub>-f

Plastocyanine accepteur I

II plastoquinone (PQ+2e<sup>-</sup>+PQH<sub>2</sub>)

Photosystème I

Régulation de l'activité

Accepteur final et la ferrédoxine

Régénération grâce à la plastocyanine reliée à des protéines périphériques.  
système périphérique.

La photosynthèse est composée de deux phases :

- Photochimique. Elle doit permettre de produire de l'énergie sous forme de NADPH et de l'ATP pour les besoins de la plante et notamment la fixation du carbone.
- Le cycle de fixation du carbone ou de fabrication des glucides appelé aussi cycle de Calvin.

### Photochimique

La phase photochimique permet de produire du NADPH et de l'ATP.

La phase photochimique est réalisée par les photosystèmes I et II. Ils sont formés :

- D'un complexe du centre réactionnel. Il est notamment constitué de deux molécules de chlorophylle sans magnésium. Ce sont elles qui transfèrent et réduisent un accepteur primaire d'électrons c'est-à-dire un lui transmettent un électron de haute énergie.
- De plusieurs complexes collecteurs de lumière constitués d'environ 200 à 300 pigments. Ils permettent d'avoir un spectre et une surface d'absorption plus importante.

### Les pigments

Le spectre de lumière exploité lors de la photosynthèse est contraint par l'utilisation de longueurs d'ondes :

- supérieur à 380nm. En dessous de cette longueur d'onde, la lumière est filtrée par l'atmosphère et néfaste pour les cellules.
- inférieur à 750nm. Au dessus, les ondes sont absorbées par l'eau, un constituant présent en grande quantité dans les organismes.

### **Fonctionnement des pigments**

La photosynthèse débute lorsqu'un pigment absorbe un photon. Un de ses électrons passe sur une orbitale avec une énergie potentielle plus élevée. Pour être absorbé, les photons doivent apporter l'énergie équivalente à la différence d'énergie entre l'état fondamental et excité.

Rmq : l'énergie d'un photon est sa longueur d'onde. Les photons verts ne sont pas absorbés car leur énergie ne correspond pas à la différence.

Rmq : Chaque molécule n'est capable que d'absorber des longueurs d'onde précises.

L'état excité est un état instable. Les électrons reviennent à l'état fondamental en libérant le surplus d'énergie sous forme :

- de chaleur
- lumière. Par exemple, un concentré de chlorophylle émet de la lumière rouge avec une longueur d'onde plus grande que le photon reçu (fluorescence).

C'est parce que la chlorophylle est associée à d'autres protéines dans la cellule qu'elle n'émet pas de lumière.

### **Caroténoïde**

Les caroténoïdes sont des pigments additionnels.

Impliqué dans la photoprotection en dissipant le surplus d'énergie. Elle évite l'interaction entre les photons et l'oxygène molécules oxydantes dangereuse.

La caroténoïde est apparentée aux pigments présent dans notre œil.

## **Fonctionnement de la phase photochimique**

La photosynthèse se déroule :

### Photosystème II

1. Excitation des pigments par la lumière. L'énergie se propage vers le complexe du centre l'excitation. L'électron excité transmet son état à un électron de la molécule voisine et retrouve son état fondamental.
2. P680 transfère un électron à l'accepteur primaire. Il devient alors  $P680^+$ .
3. Une enzyme construite autour de ions Mn (Manganèse) transfère les électrons de l'eau un par un vers  $P680^+$  ( $H_2O \rightarrow O_2 + 2H^+ + 2e^-$ ) pour combler la charge manquante. Rmq :  $P680^+$  est l'oxydant biologique le plus fort.
4. L'accepteur primaire du photosystème cède son électron à la chaîne de transport constituée d'une succession de plastoquinones (Pq), complexe de cytochromes et d'une plastocyanine (Pc), une molécule mobile.
5. Durant leur trajet les électrons font fonctionner des pompes à protons au niveau des cytochromes. Elles concentrent les  $H^+$  du stroma dans la lumière du thylakoïde. Le gradient de  $H^+$  créé servira à la chimiosmose pour produire de l'ATP grâce aux ATP synthases.

### Photosystème I

6. L'énergie lumineuse active PSI de la même façon que PSII. L'accepteur primaire est la ferrédoxine (Fd) qui transmet l'électron à une chaîne de transport. Rmq pas de production de gradient  $H^+$ .
7. La chaîne conduit la ferrédoxine à la NADP<sup>+</sup> réductase qui catalyse le NADP<sup>+</sup> en NADPH. Cela contribue à une baisse de la concentration de  $H^+$  dans le stroma.

## Le transport cyclique du photosystème I

Le transport cyclique est PSI le transport cyclique (circuit fermé)

Ferrédoxine cède son électron au cytochrome puis vers PSI avant de revenir à la ferrédoxine. Génère de l'ATP.

L'apparition du transport cyclique semble précéder celui de

Le transport cyclique semble être apparu en premier au cours de l'évolution. Certaines Bactéries possèdent uniquement le PSI pour synthétiser l'ATP dont elles ont besoin.

Les plantes dépourvues de ce système poussent sous faible lumière mais il semble que le transport cyclique est un rôle de photoprotecteur servant à dissiper le surplus d'énergie de la photosynthèse.

Il existe des ressemblances entre les mitochondries et les chloroplastes même si le principe de création du gradient est différent :

- $\text{NADPH} + \text{H}^+$  et l'ATP sont produits dans le stroma où a lieu le cycle de la synthèse des glucides (Calvin).
- Les réactions se déroulent dans la membrane.

Produit des molécules à 3 atomes de carbones 3 phosphoglyceraldéhyde (PGAL) 3 moles de  $\text{CO}_2$

1. Le  $\text{CO}_2$  est ajouté à la ribulose diphosphate (5C)
2. Enzyme rubulose diphosphate carboxylase/oxygénase. Elle catalyse la réaction mais ne distingue pas le  $\text{CO}_2$  du  $\text{O}_2$ . Dans.
3. C'est l'enzyme la plus abondante sur Terre.

## Synthèse d'ATP

L'acidification du lumen est utilisée pour synthétiser de l'ATP. Les protons sont ATP synthase machine moléculaire

Qui possède deux domaines :

MGG

Intramembranaire	Extra membranaire (dans le stroma)
------------------	------------------------------------

3 sites de catalyse de l'ATP

La structure diffère légèrement entre l'espèce mais le principe reste le même. Le rotor poussé par les protons modifie successivement des trois sites de catalyse en changeant leur conformations. Il passe d'ouvert, à relâché, puis à fermer.

Un tour nécessite 10 protons et produit une molécule d'ATP. Une ATP synthase tourne 130 fois par seconde.

Rotor et stator (de sous unité B et A)

---

## Métabolisme secondaire

Métabolite molécule produite par le métabolisme.

Les végétaux disposent d'un métabolisme non essentiel à leur survie appelé métabolisme secondaire par opposition au métabolisme primaire qui est vital. D'importantes disparités existent entre les espèces.

Plus de 200 000 métabolites liés au métabolisme secondaire ont été recensés.

Ils servent principalement à :

- Repousser les prédateurs ou les organismes nuisibles et se défendre contre les agressions.
- Compétition entre avec les autres plantes.
- Favoriser la symbiose avec d'autres organismes (bactéries, champignons, pollinisateurs,...)

Il existe trois types de métabolites secondaires :

- composés phénoliques ou les polyphénols issue de la voie de l'acide shikimique et acétate/malonate).

- les alcaloïdes ou les composés azotés qui dérivent des acides aminés.
- les terpènes dérivés de l'isopentényl pyrophosphate (IPP), une molécule à 5C.
- les glycosides qui contiennent une molécule de sucres

Composée phénoliques Synthétiser en réponse au stress

terpènes nature volatile et une forte odeur photoprotection.

Alcaloïdes toxiques