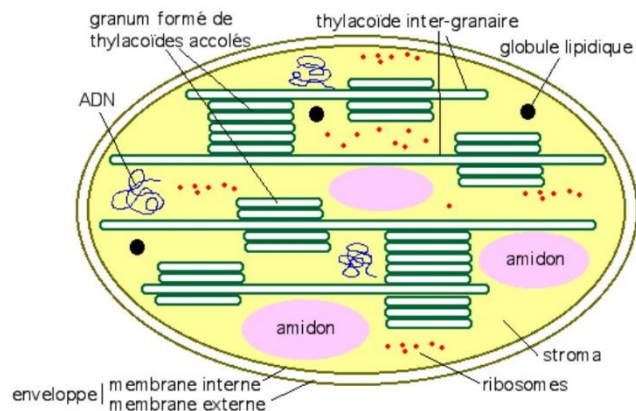
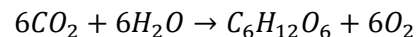


Métabolisme primaire (par opposition à métabolisme secondaire) nécessaire à la survie d'une cellule.

Structure 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.

Calvin 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⁺ 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 est un premier réducteur :
 - a. Électrolyse de l'eau production oxygène-gradient H⁺.
 - b. Le gradient de H⁺ 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 caroténoïdes

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 molécule.

MGG

Lorsqu'une 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 CO₂.

La photosynthèse oxygénique

Le CO₂ joue le rôle d'accepteur d'électrons. Il est possible de réaliser la photosynthèse sans CO₂ en utilisant un autre réducteur comme Fe³⁺.

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⁺ 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 2H₂O → oxydé cède un électron à O₂+H+4e⁻
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'O₂

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 PQH₂. 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 b6-f transport d'électron

PQH₂ cède 2 électrons au cytochrome b6-f

Plastocyanine accepteur I

II plastoquinone (PQ+2e⁻+PQH₂)

Photosystème I

Régulation de l'activité

Accepteur final et la ferrédoxine

Régénération grâce à la plastocyanine reliée à des protéines périphériques.

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 utilisés notamment dans le cycle de Calvin pour produire des sucres, un des quatre principaux constituants du vivant.

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

- D'un complexe du centre réactionnel. Il est constitué de deux molécules de chlorophylles de type a sans magnésium. Elles transfèrent et réduisent un accepteur primaire d'électrons c'est-à-dire un accepteur qui transmette 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 exploitée 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 est 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.

Le caroténoïde est apparenté 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 $P680^+$ ($H_2O \rightarrow \frac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^-$) 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 constitués 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⁺ réductase qui catalyse le NADP⁺ 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 :

- NADPH+ 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 CO_2

1. Le CO_2 est ajouté à la ribulose di phosphate (5C)
2. Enzyme rubulose di phosphate carboxylase/oxygénase. Elle catalyse la réaction mais ne distingue pas le CO_2 du 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 :

Intra membranaire	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 conformation. 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 issus 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 photo protection.

Alcaloïdes toxiques

----- Le métabolisme carboné

La phase biochimique d'assimilation du CO₂ (ou cycle de Calvin)

La phase biochimique d'assimilation du CO₂ a lieu dans le stroma. Elle permet de récupérer le carbone d'une molécule de CO₂ pour la fabriquer une molécule organique. forme un cycle càd qu'une partie du produit est réutilisé pour renouveler la réaction.

La phase est composée de trois parties :

1. Carboxylation. Le carbone est ajouté à un
2. Réduction. 1/6 du produit quitte du cycle sous forme de sucre et 5/6 est utilisée pour régénérer le substrat.
3. Régénération.

La carboxylation

La carboxylation est réalisée par la lumière par l'intermédiaire de la Rubisco.

Le pH

Le flux de Mg⁺ lumière créé un flux de Mg⁺

La concentration de CO₂ augmente active

Protéine activatrice qui active la Rubisco en transformant le groupement NH₃⁺ d'une lysine en N-COO⁻ lorsque le milieu est basique.

La rubisco activase doit être RuBP du site actif rubisco ne fonctionne pas.

La réduction

La réduction se :

1. **APG → ABPG** Le transfert d'un groupement phosphate d'ATP vers APG.

APG → 2 aldose PG La réduction de NADPH

La régulation du cycle de Calvin se fait par

Inhibiteur : DCMU et DTT utilisé en laboratoire qui bloque la chaîne de transfert d'électrons.

Le cycle du C₂ du glycolate (photorespiration)

O₂ augmente du point de compensation

Point de compensation le rapport entre la concentration de O₂ produite et celle du CO₂

Photorespiration processus qui produit du CO₂ et qui dépend de la lumière.

Lié à la rubilose 1,5 appelé rubisco bi phosphate carboxylase/oxygénase (appelé rubisco). Elle est bifonctionnelle. Elle fixe sur un ribose bi phosphate soit :

CO ₂	O ₂
-----------------	----------------

La rubisco représente 50% de la proportion des molécules foliaires ce qui en fait la protéine la plus présente.

L'enzyme a beaucoup plus d'affinité pour le CO₂ que pour le O₂.

La probabilité de liaison avec le substrat dépend de la concentration en CO₂. Ainsi on considère qu'en condition standard en 1/3 de fixation au O₂.

Dans l'atmosphère actuelle, il y a environ 21% d'oxygène et 0,3% de CO₂.

La concentration dépend de la solubilité des gaz qui dépend de :

La température. Elle diminue plus vite pour le CO₂

Différence entre la photorespiration et la

CO ₂	2APG	
	1APG+1 (2-polycolate)	

La polycolate est exploité dans la respiration cellulaire.

Chloroplaste enlver le phosphate

Péroxysome transformer un glycine par un orxydation -2é et -2H+

Mitochondrie de deux glycine en une sérine accompagné d'une décarboxylation (production de CO₂)

Revient en sérine dans les péroxysomes en glycérate.

Rôle cout énergétique + perte d'un carbone

Vestige de l'évolution et protection photoxydation

Ce type de métabolisme diminue jusqu'à 50% l'activité photosynthétique en région tempéré.

L'absence de O₂ à l'apparition de la photosynhtèse et de la rubsico la distinction en O₂ et CO₂ n'était pas importante. Le pb serait apprau plus tard lorsque le taux de dioxygène à augmeenter. Il serait un héritage de l'évolution

Apparition d'un mécanisme de récupération du carbone.

Photoprotection excès d'énergie provoque exemple en milieu chaud les stomates sont fermées pour limité l'évaporation. La lumière continue de faire fonctionner les systèmes photosynhtétiques qui doivent dissiper l'énergie O₂- très réactives pouvant réagir et altérer les molécules voisines

Respiration permet de maintenir du CO₂ dans la plante pour continuer le cycle de calvinet éviter la formation de O₂-

Plantes au métabolisme C₄

1500 espèces principalement tropicales ou subtropical (maïs, canne à sucre...)

Majoritairement monocotylédone.

Différence anatomique

Cellules de gaine périvasculaire et cellule du mésophylle

Différence morphologique des chloroplastes

Péri chloroplaste avec des thylakoides lisse spécialisé dans le cycle de Calvin

Mésophylle chloroplaste avec beaucoup de granum pour photosystème II ATP et NADPH

1^{er} produit formé CO₂ fixé sur phosphénol pyruvate (PEP)

Pour former sur oxaloacétate une molécule à 4 carbones (C4)

Empêche le Co2 d'en le fixant de ressortir.

Chloroplaste réalise la décarboxylation du CO2 pour le cycle de Calvin le substrat est régénéré

C entre 5 à 10 supérieur

Plusieurs variations de C4 évolution analogue de molécule de transport.

Cout énergétique 2ATP là où le cycle de Calvin en coûte 3ATP.