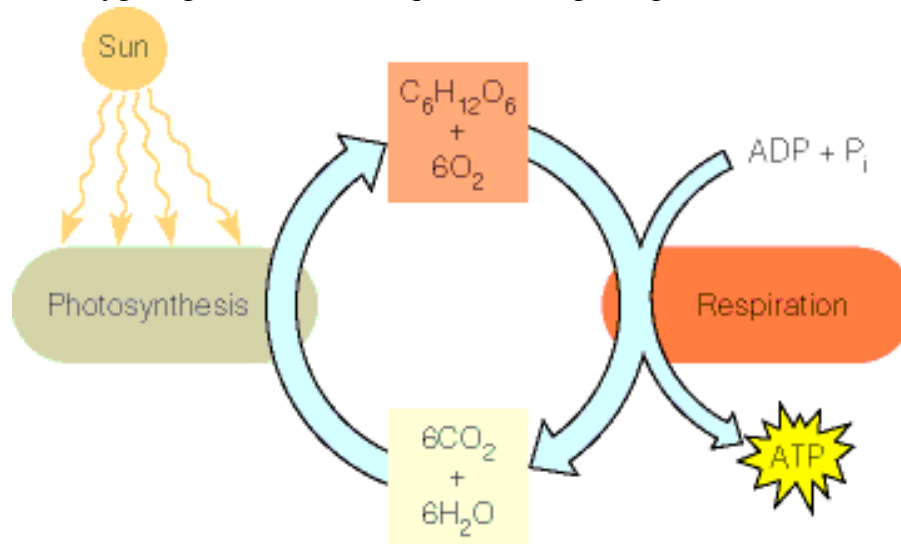


LA PHOTOSYNTHESE un mécanisme de photophosphorylation

Les végétaux photosynthétiques captent et transforment l'énergie solaire sous forme d'**ATP** et de **NADPH**. Ces molécules sont alors utilisées pour la synthèse de molécules organiques diverses (glucose) à partir de $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$.

Le cycle de la vie passe par la lumière !

Les organismes hétérotrophes (source de carbone organique) utilisent des composés organiques et de l'oxygène pour leur activité qui se traduit par la production de $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$.



Rq: la photosynthèse est un processus qui existe chez les végétaux verts mais également au niveau des planctons (eucaryotes) et des cellules procaryotes (cyanobactéries, bactéries vertes sulfureuses, bactéries pourpres sulfureuses). On ne traitera ici que du cas de la photosynthèse des végétaux verts.

La photosynthèse est un processus biphasique

1^{er} temps; la phase lumineuse: Conversion de l'énergie lumineuse en énergie chimique et production d'oxygène.

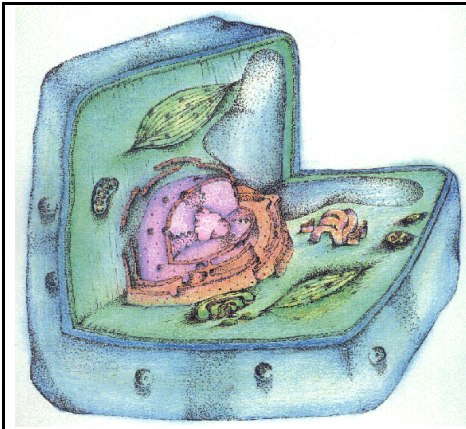
- Photoréduction= production de NADPH (avec production d'O₂)
- Photophosphorylation= production d'ATP

2^e temps; la phase obscure: Synthèse de composés organiques

- $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightarrow [\text{CHO}]$ composés organiques (glucose)

Localisation de la photosynthèse chez les végétaux supérieurs

La photosynthèse est réalisée au niveau des chloroplastes.



La cellule végétale



Chloroplaste (MET)

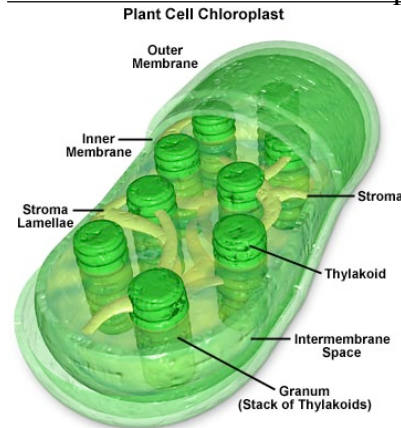


Figure 1 Représentation schématique d'un chloroplaste végétal

- la phase lumineuse est réalisée au niveau de la membrane des **thylacoïdes** qui sont disposées en amas (**grana**).
- la phase obscure est réalisée au niveau du **stroma**.

1- Des pigments photosensibles : les chlorophylles.

1-1- A propos de l'énergie lumineuse.

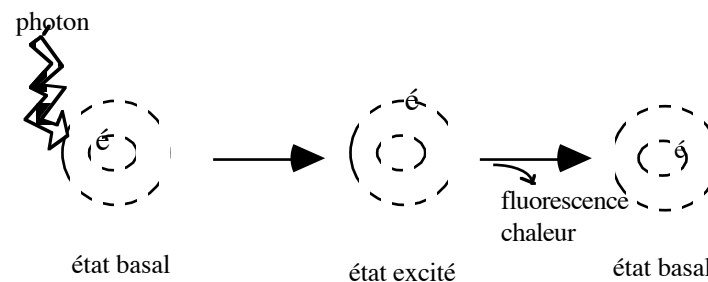
La lumière a une double potentialité:

- Nature électromagnétique dans le visible (400 à 700nm)
- Énergie potentielle: un photon a une énergie $E = h \cdot \nu$ $h =$ constante de Planck

$$\nu = \text{Fréquence de la radiation} = c/\lambda \quad (c = \text{vitesse de la lumière}; \lambda = \text{longueur d'onde})$$

Sachant qu'une mole de photon = 1 einstein; chaque mole de photon a une énergie $E = N \cdot h \cdot \nu$

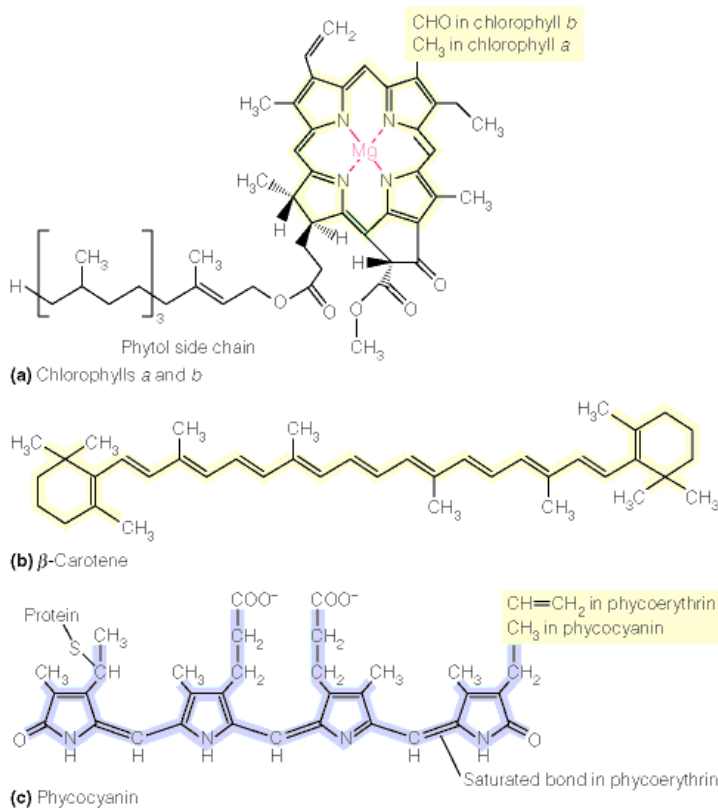
L'absorption de la lumière par une molécule de chlorophylle peut être simplifié:



Les molécules de chlorophylles réagissent ainsi *in vitro*, mais *in vivo* l'énergie produite par le retour à l'état basal est délivré sur le 1^{er} constituant de la chaîne de transporteur d'électron.

1-2-Les chlorophylles: principales molécules photoréceptrices.

Les chlorophylles sont des porphyrines à magnésium (Rq: l'hème est une porphyrine à fer)



Cette structure permet aux chlorophylles de s'ancrer dans la membrane externe des thylacoïdes. Les deux chlorophylles a et b sont vertes mais possèdent des spectres d'absorption légèrement différents. La chlorophylle (a) possède un pic à 700 nm alors que la chlorophylle (b) un pic à 680 nm.

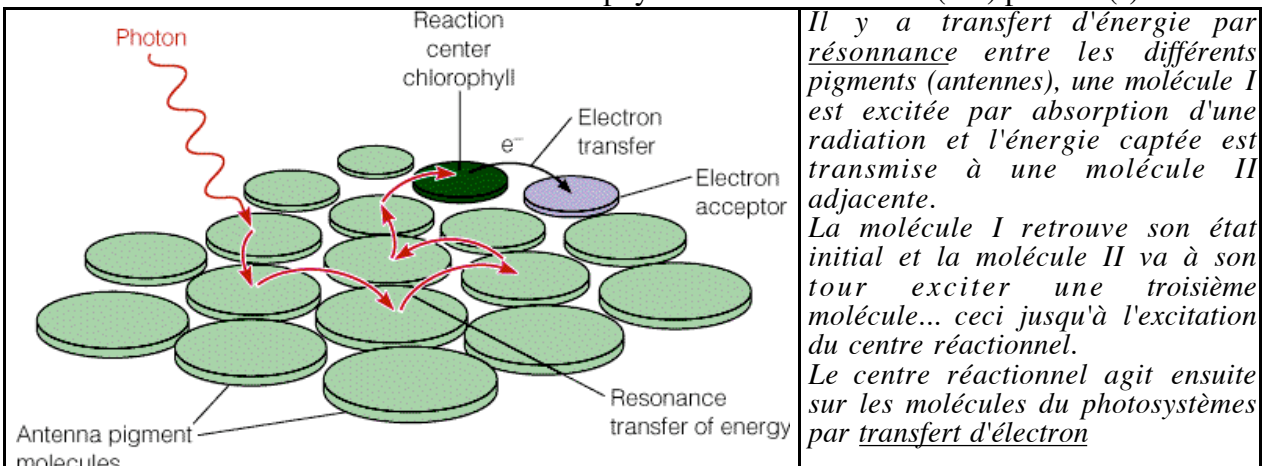
Rq: il existe d'autres pigments dans les thylacoïdes (carotènes, phycocyanine, phytoerythrine).

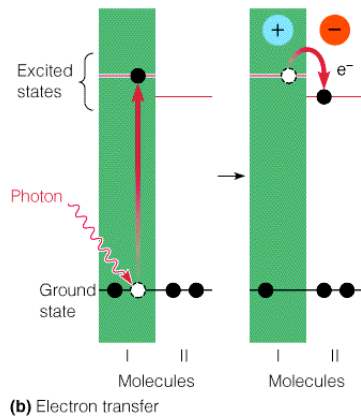
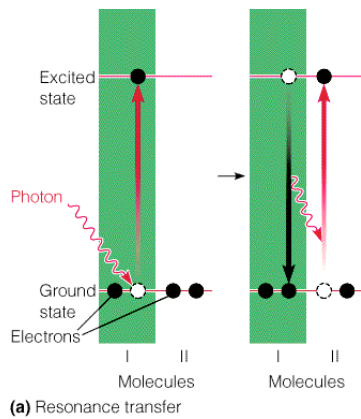
1-3- La membrane des thylacoïdes contient deux types de systèmes photochimiques.

• Qu'est ce qu'un photosystème ?

C'est un ensemble de pigments qui absorbent dans le visible mais seule une molécule de pigment est capable de transformer l'énergie lumineuse en énergie chimique: c'est le centre réactionnel.

Ce centre réactionnel est constitué d'une chlorophylle combinée avec une (des) protéine(s).





Il existe deux photosystèmes !

• Le photosystème I (PS I):

Riche en chlorophylle a (absorbe à 700 nm) . Ce PS I permet la réduction du NADP^+ .
Ce photosystème comprend: ≈ 200 chlorophylles, ≈ 50 caroténoïdes, des protéines liées au centre réactionnel, des cytochromes, des ferredoxines.

• Le photosystème II (PS II):

Riche en chlorophylles b (absorbe à 680 nm).

Ce PS II permet: - la production d' O_2
- la production d'un réducteur (comble le "trou électronique" du PS I)

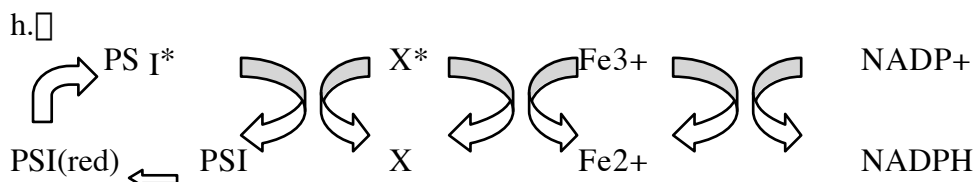
Ce photosystème comprend: des chlorophylles, des caroténoïdes, des protéines liées au centre réactionnel, des plastoquinones, des cytochromes.

2- La phase lumineuse dans la photosynthèse.

2-1- fonctionnement du PS I

Quand un photon excite un pigment, l'énergie migre de pigment en pigment vers le centre réactionnel photochimique. L'électron expulsé du PS I est récupéré par une chaîne de transport d'électrons jusqu'au NADP^+ . (voir document chap1-3)

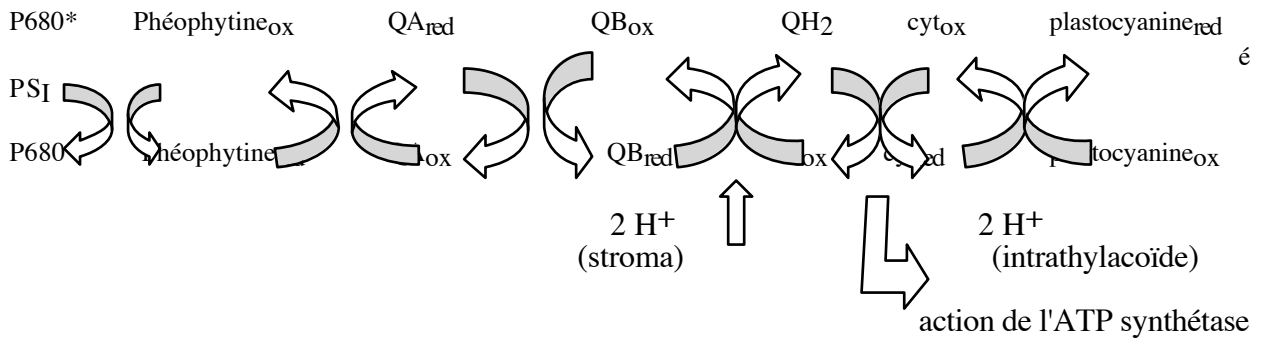
Le complexe du PS I (P700) est excité par la lumière (à 700 nm), il passe a un niveau d'énergie plus élevé et délivre ensuite les électrons à un accepteur (chlorophylle ? ferredoxines liée à P450 ?), celui-ci délivre les électrons à un autre accepteur jusqu'au dernier accepteur: le NADP^+ . (voir partie droite document chap 2-3).



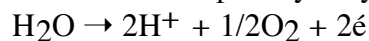
2-2- fonctionnement du PS II.

Il permet de combler le "trou électronique" du PS I. Ce manque électronique est comblé par un électron expulsé du PS II et qui arrive par l'intermédiaire d'une chaîne de transport d'électrons. L'excitation du photon agit sur un pigment chlorophyllien P680 qui devient alors très réducteur. Celui-ci peut alors céder des électrons à un accepteur (la *phéophytine*) puis il y a transfert électronique sur différentes molécules (*plastoquinones*). Une ultime plastoquinone capte 2 électrons + 2 protons, lors du passage d'électrons au cytochrome b il y a libération des 2 H⁺. Ces protons vont activer la pompe à H⁺ et libèrent de l'ATP (système ATP synthétase).

P680



Le trou électronique du PS II est à son tour comblé par l'hydrolyse de l'eau:



2-3- Schéma relationnel des deux photosystèmes.

Vue schématique des photosystème au niveau de la membrane

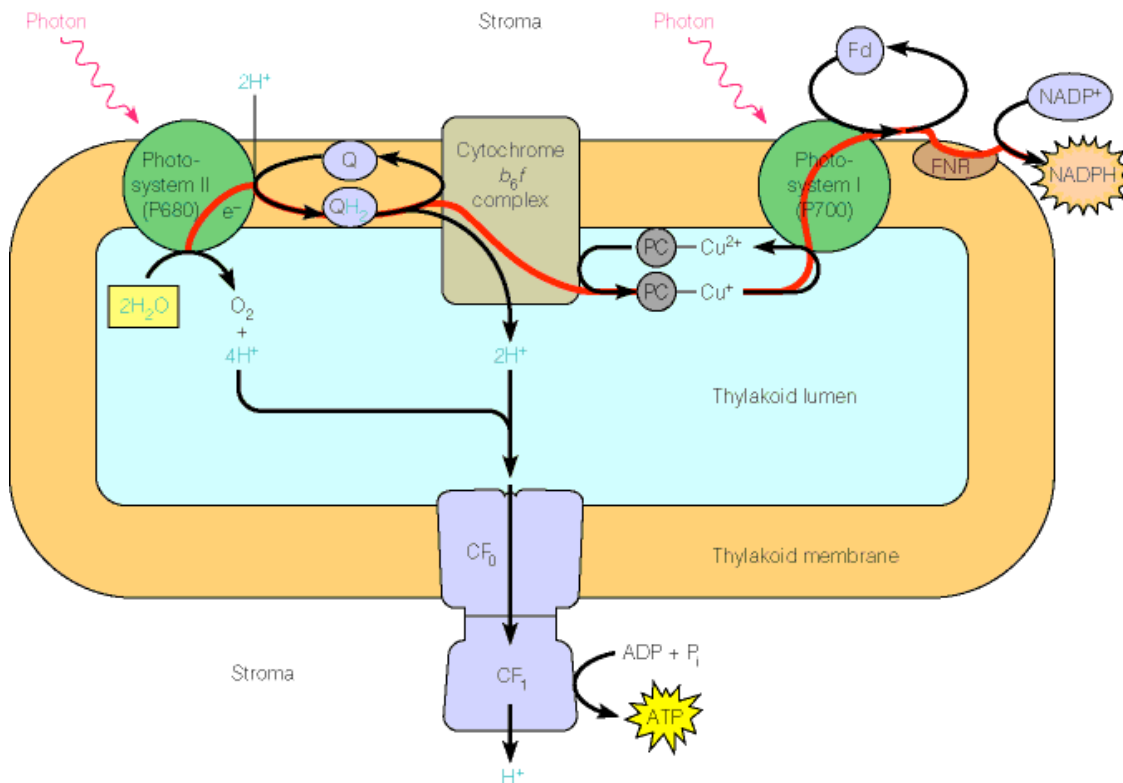
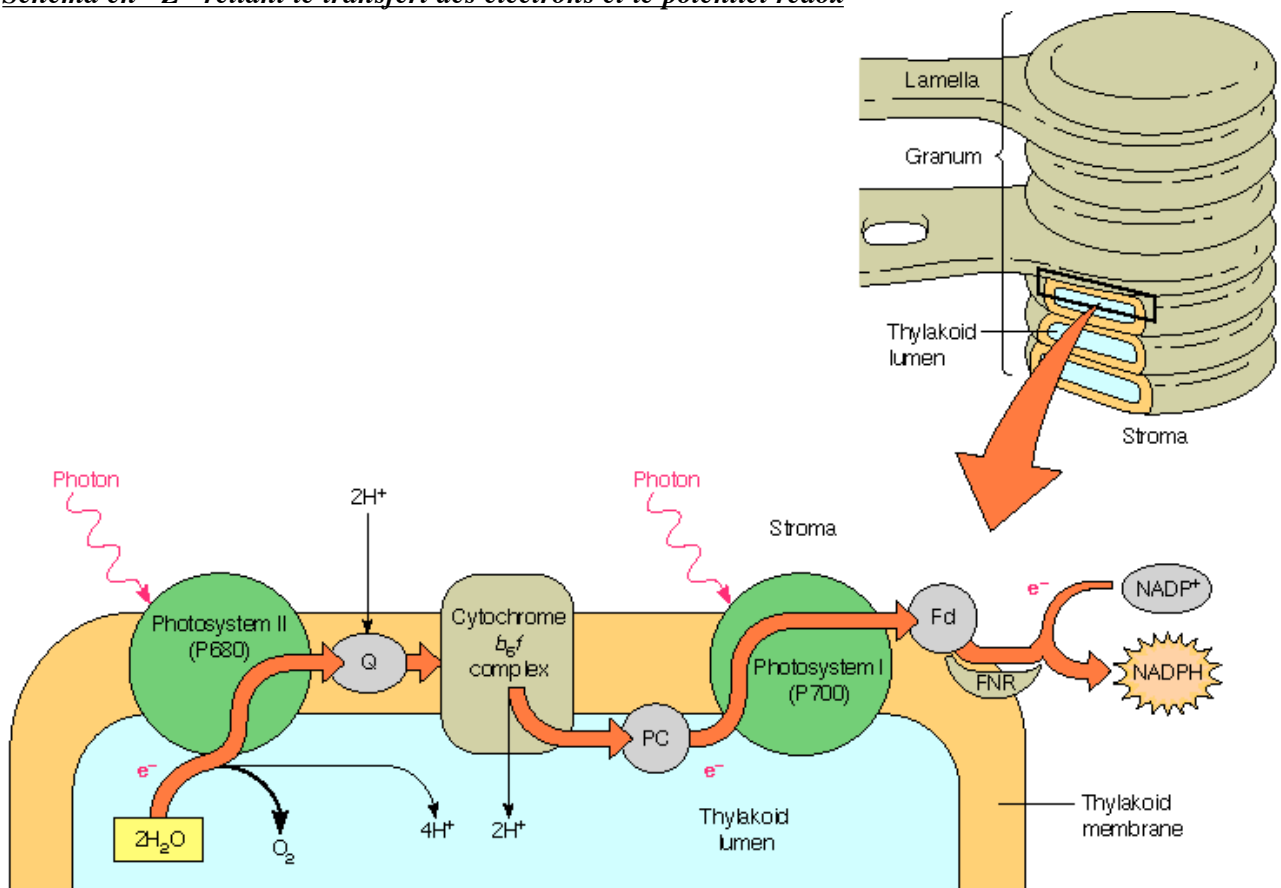
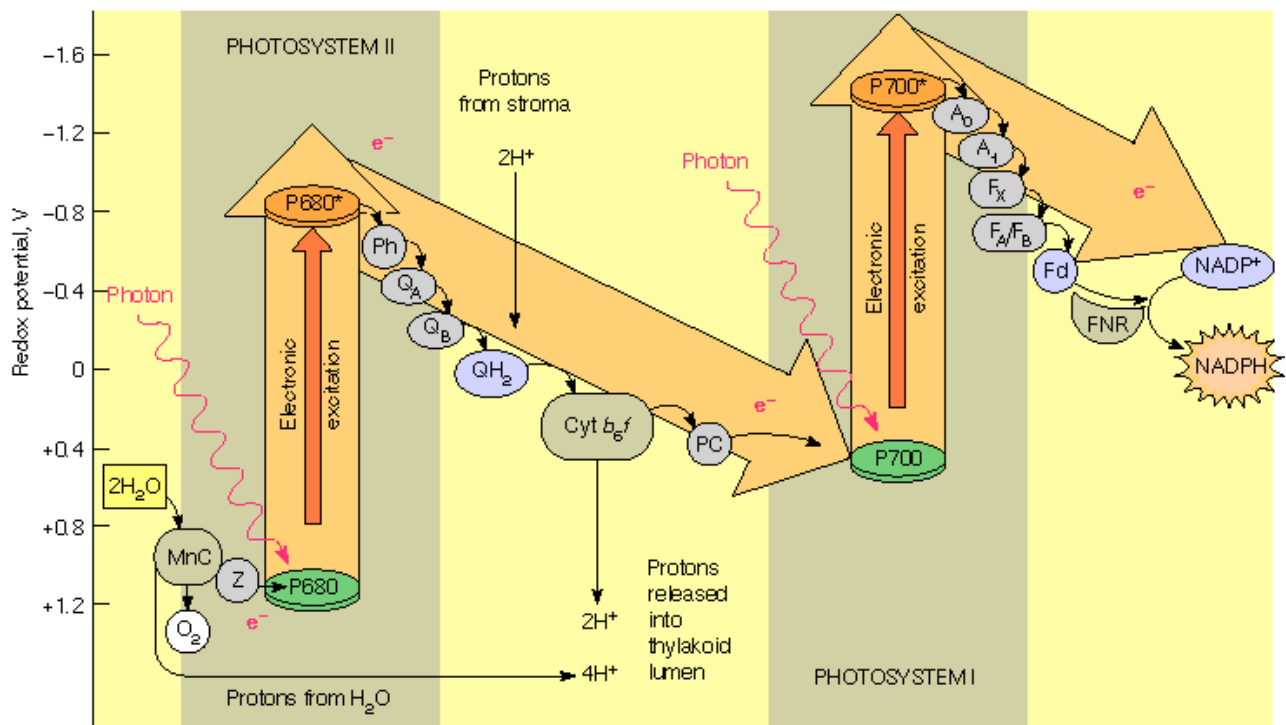


Schéma en "Z" reliant le transfert des électrons et le potentiel redox



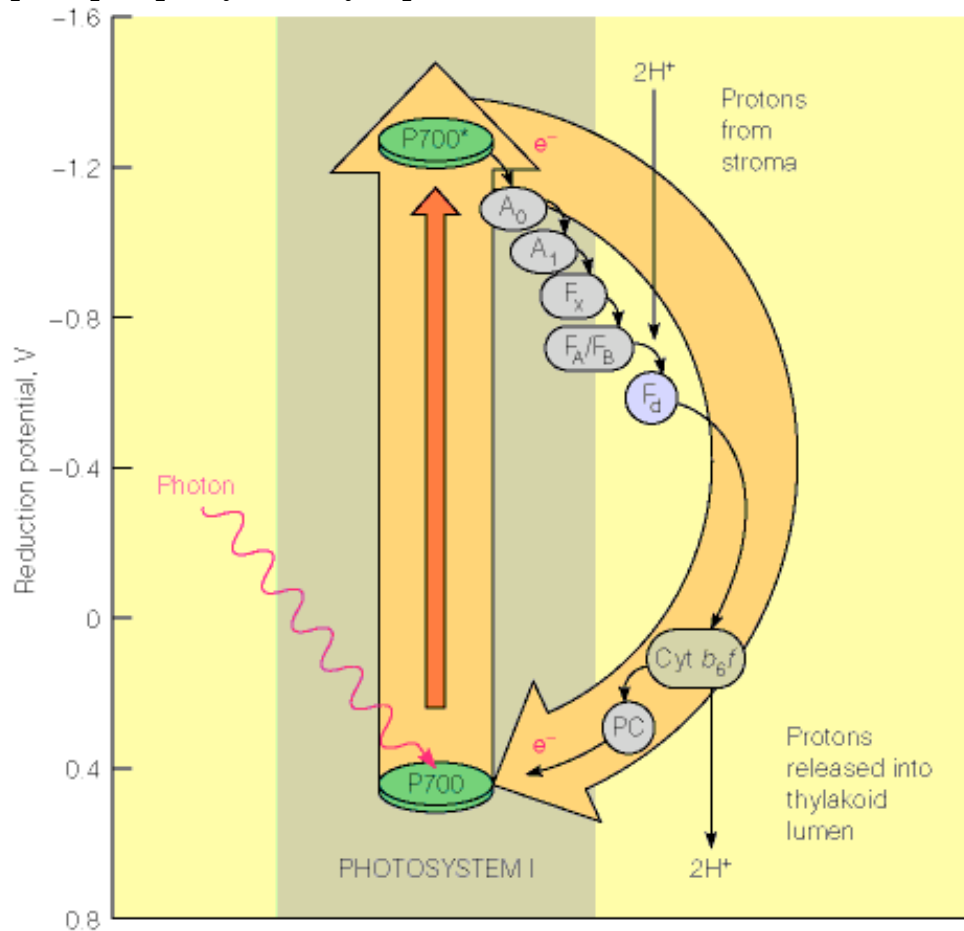
(a)



(b)

• La **photophosphorylation** a lieu au niveau de la cascade redox permettant la réoxydation du PS I par le PSII: c'est la **voie non cyclique**.

- Il existe une autre possibilité pour obtenir de l'ATP quand la cellule en nécessite mais lorsqu'elle n'a pas besoin de coenzyme réduit (NADPH); cette voie ne fait pas intervenir le PS II, on parle de **photophosphorylation cyclique**.



2-4- la phosphorylation fait intervenir une FOF₁ ATP synthétase

Le passage des protons entre le stroma et la cavité intra-thylacoïde active l'ATP synthétase. En effet, c'est le retour dans le stroma des H⁺ qui permet la phosphorylation. Comme dans la mitochondrie, la membrane des thylacoïdes est imperméable aux ions H⁺, il existe donc une différence de pH et de potentiel inter membranaire. De plus il existe une enzyme type ATP synthétase. La photophosphorylation peut donc être expliqué par la théorie de Mitchell.

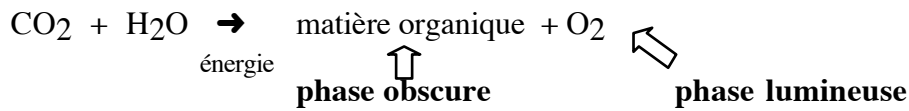
Mitochondrie	Chloroplaste

la photophosphorylation = couplage de la synthèse d'ATP et de réactions d'oxydation au niveau de la phase lumineuse de la photosynthèse.

3-La phase obscure de la photosynthèse.

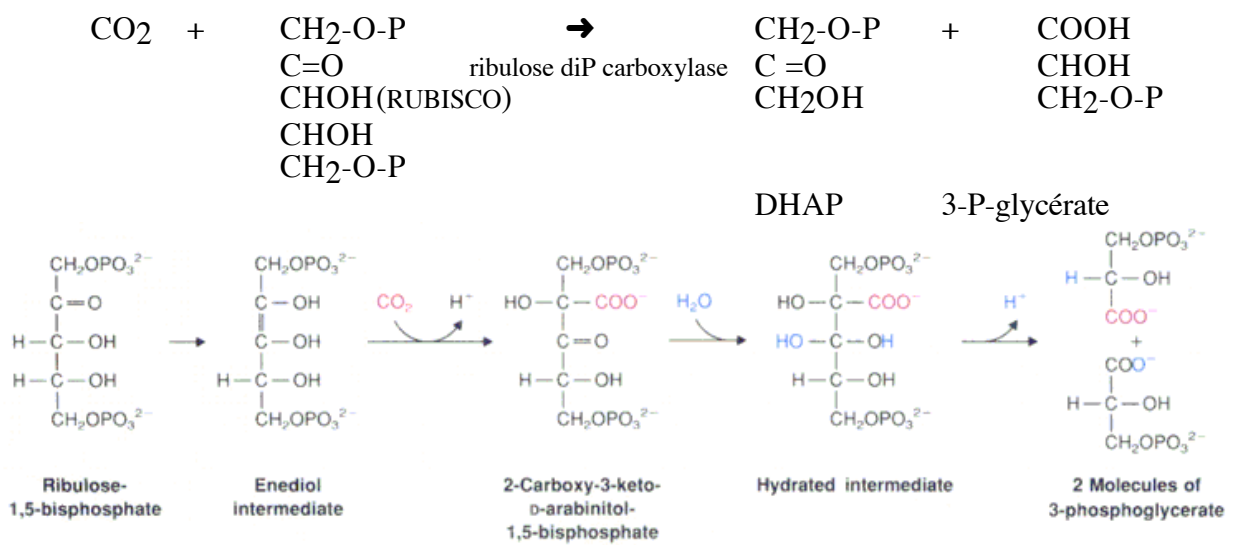
La phase lumineuse a permis la synthèse: -d'ATP
-de NADPH

Ces molécules sont nécessaire à la formation de substances organiques chez les cellules photosynthétiques végétales:

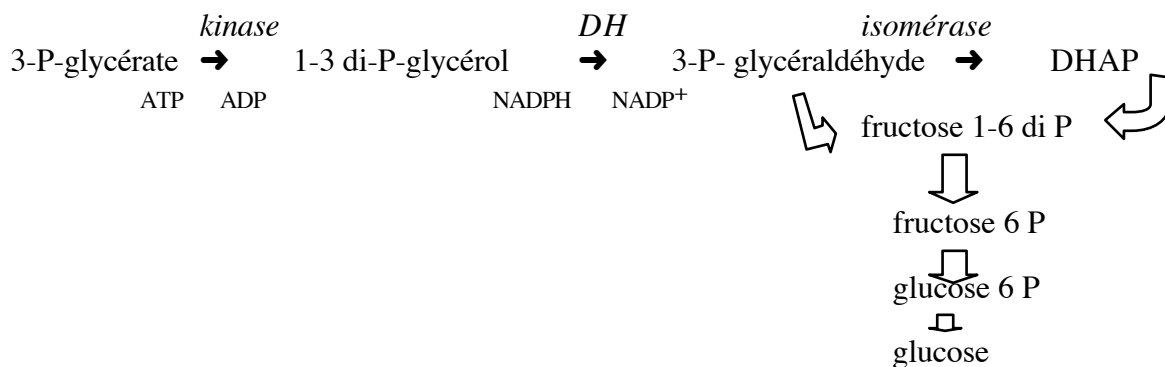


La substance organique principalement synthétisée est le glucose, on parle du cycle de Calvin qui est le processus classique de synthèse biochimique du glucose à partir du CO₂ atmosphérique.

1°étape: condensation du CO₂ et du ribulose 1-5 diphosphate.



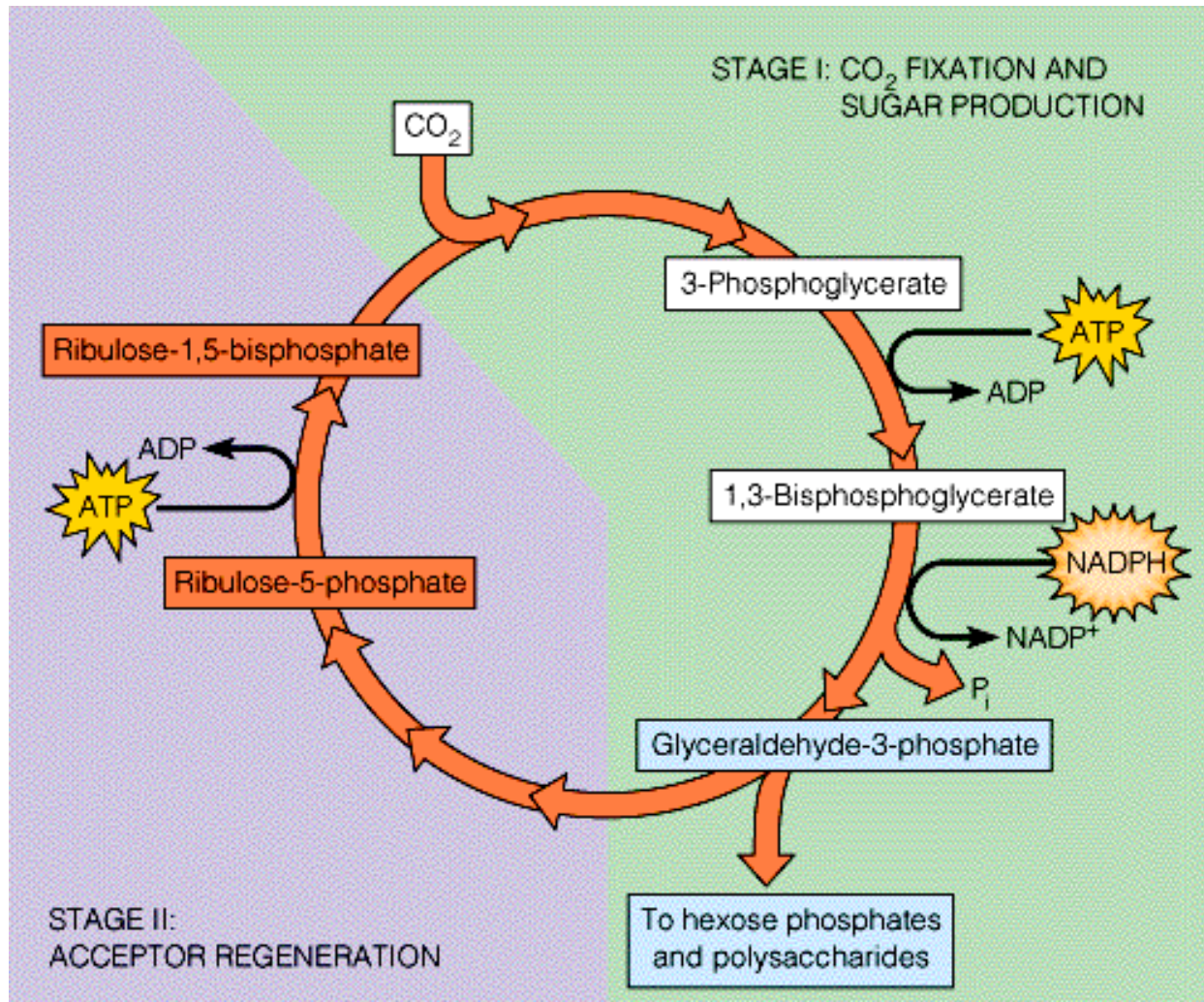
2°étape: voie de la néoglucogénèse mais en utilisant le NADPH (au lieu du NADH).



3°étape: régénération du ribulose 1-5 di phosphate

Différentes étapes interviennent qui ne seront pas détaillées.

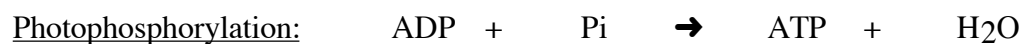
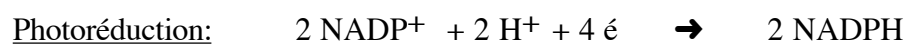
Cycle de Calvin □ vue schématique



le bilan de la photosynthèse

phase lumineuse

(MEMBRANE THYLACOIDE)



phase obscure

(STROMA)

