

LC12 : Photosynthèse

Lucie Marpaux

Biblio :

- Weil
- Voet
- Stryer
- <https://www.cours-pharmacie.com/biologie-vegetale/la-photosynthese.html>

Introduction

Les plantes et cyanobactéries captent l'énergie solaire grâce à la photosynthèse, un mécanisme dépendant de la lumière où le CO₂ est "fixé" pour former des glucides (CH₂O). C'est le mécanisme en sens inverse de l'oxydation des glucides.

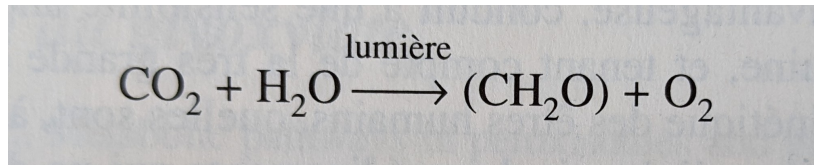


FIGURE 1 – Equation globale (Voet)

Ce mécanisme, ou en tout cas la production de O₂, a été élucidé par Joseph Priestley en faisant brûler jusqu'à extinction une bougie sous cloche puis il y place de la menthe et après un mois une autre bougie y brûle très bien (et une souris n'y meurt pas).

Annuellement la photosynthèse "met en réserve" 10¹⁸ kJ d'énergie.

La transformation de l'énergie lumineuse en énergie chimique se traduit par la production d'ATP et de NADPH. Il y a deux phases à la photosynthèse : La phase lumineuse et la phase obscure. (même si les deux le sont dans ma tête ahah)

1 Chloroplastes

La photosynthèse se déroule dans les chloroplastes. Il y en a entre 1 et 1000 par cellule; Membrane externe perméable et interne imperméable. A l'intérieur (le stroma) il y a des enzymes, de l'ADN, des ARN, et des ribosomes. La phase lumineuse a lieu dans la membrane plasmique (interne) et la phase obscure dans le stroma.

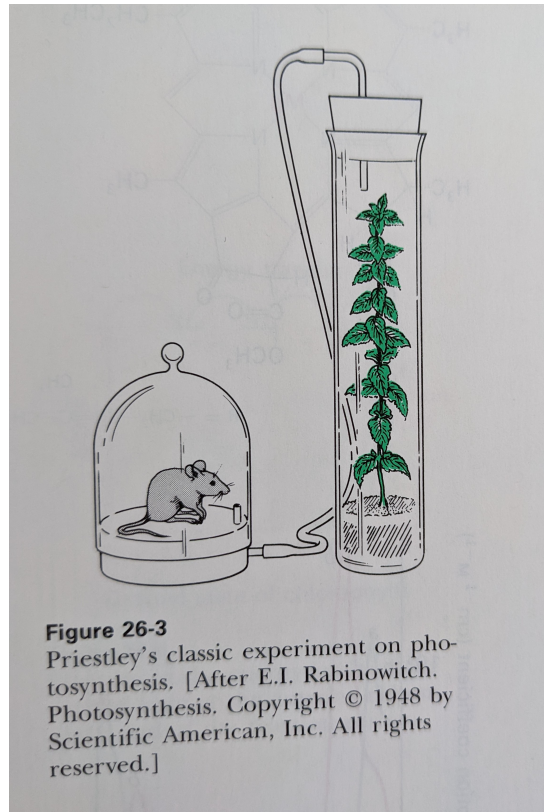


FIGURE 2 – Expérience menthe (Stryer)

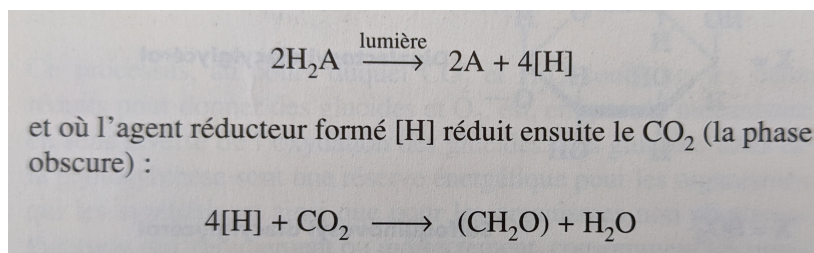


FIGURE 3 – Phases de la photosynthèse (Voet)

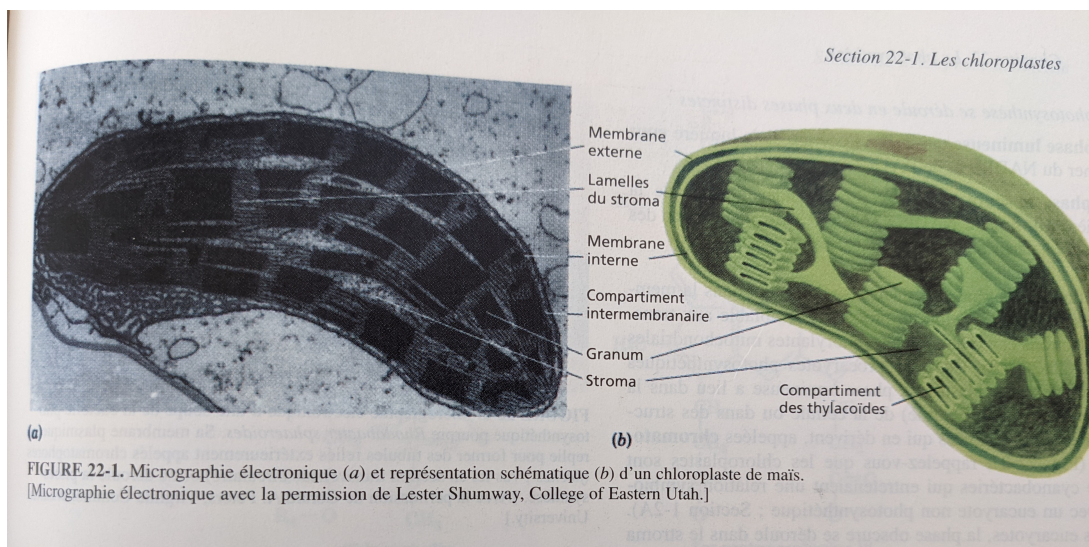


FIGURE 4 – Chloroplastes (Voet)

2 Phase lumineuse : utilise l'énergie de la lumière pour former NADPH et l'ATP. (Voet)

Autant pour les plantes que pour les bactéries photosynthétiques anaérobies qui utilisent H_2S la réaction est :

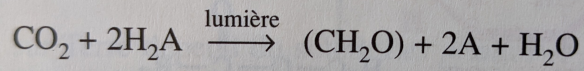


FIGURE 5 – Phase lumineuse (Voet)

Le photorécepteur de la photosynthèse est la chlorophylle (polyène). Cette molécule ressemble à l'hème mais on a du Mg^{2+} à la place du fer, les cycles sont légèrement différents. Ce sont des antennes qui collecte la lumière puis la transfert.

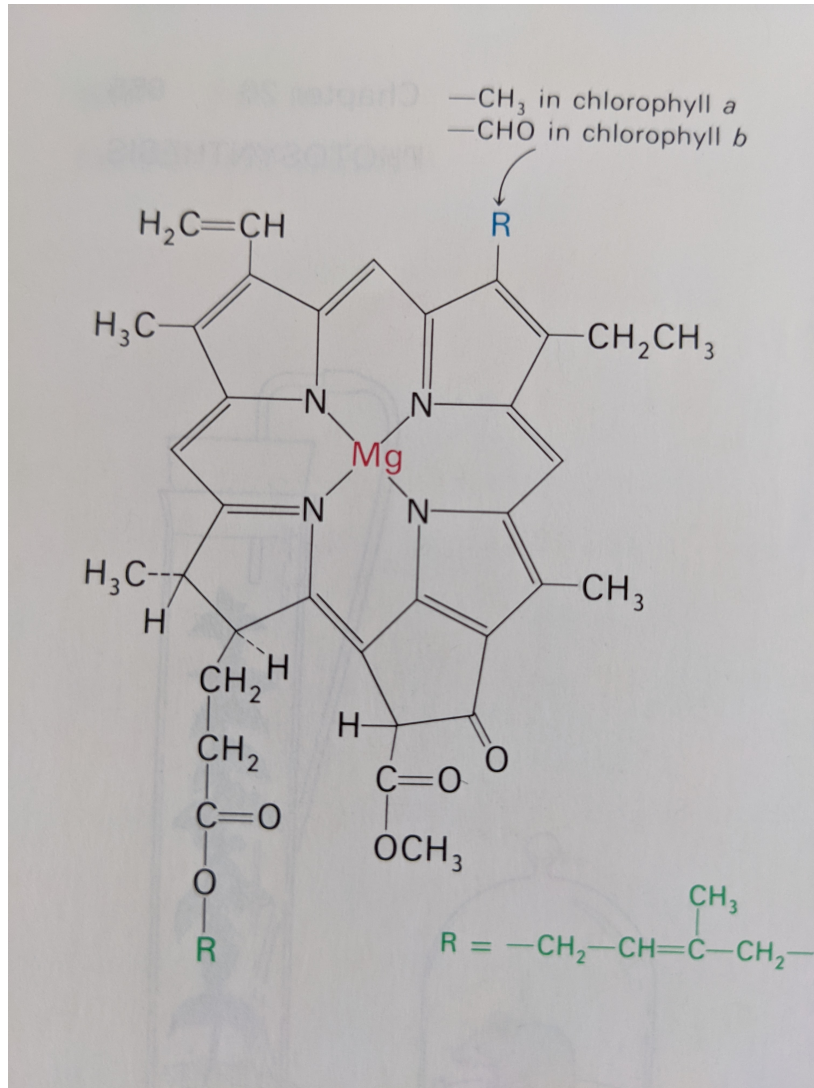


FIGURE 6 – Structure chlorophylle (Stryer)

Rappel : la radiation électromagnétique donne une énergie $E = h \nu = \frac{hc}{\lambda}$ Ainsi la lumière rouge : $\lambda = 700 \text{ nm}$ a une énergie de 171 kJ/(mole de photon = einstein)

La quantité de lumière absorbée par une substance à une longueur d'onde donnée obéit à la loi de Beer-Lambert. Comme les chlorophylles sont particulièrement conjuguées, leur gap HO-BV est plus faible et donc elles absorbent dans le visible ($\epsilon > 10^5 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ le plus élevé parmi les molécules orga connues). Les chlorophylles n'absorbent pas tous au même rayonnement et ainsi se complètent.

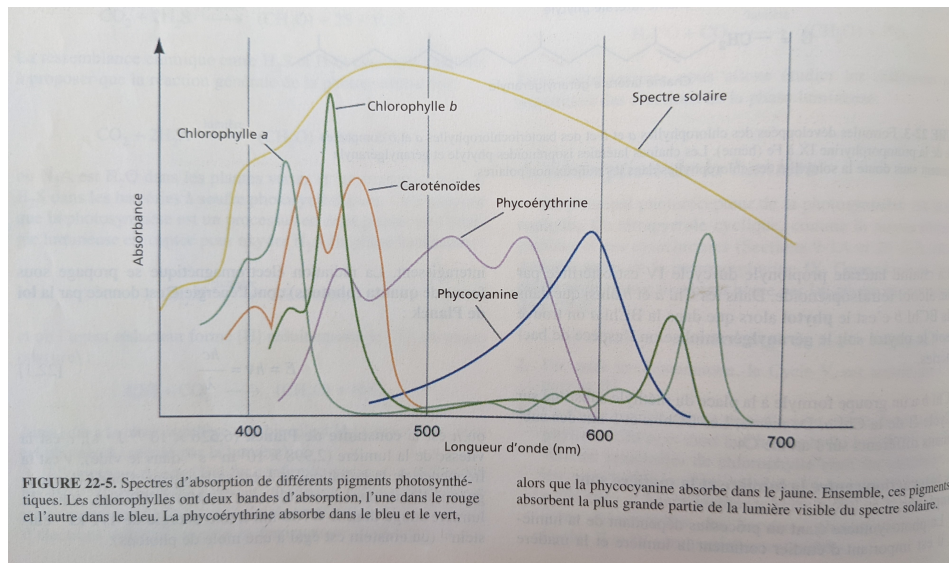


FIGURE 7 – Absorption (Voet)

Il y a alors transfert d'énergie par différents moyen : (Voir Voet P631)

- Conversion interne
- Fluorescence (peu efficace ici)
- Transfert d'exciton
- Photo-oxydation

Les deux dernières méthodes permettent de transféré chimiquement l'énergie au système réactionnel photosynthétique.

L'électron est ensuite acheminé jusqu'à un centre réactionnel photosynthétique (PSI et PSII connectés en série) qui est une protéine transmembranaire complexée à plusieurs chromophores (electron sur la ménaquinone ou deuxième ubiquinone, cytochromes...) (paire de chlorophylles a). Les étapes de transfert d'électron se font avec un rendement quantique globale de quasi 100 % (plus perfectionné que toutes technologie humaine).

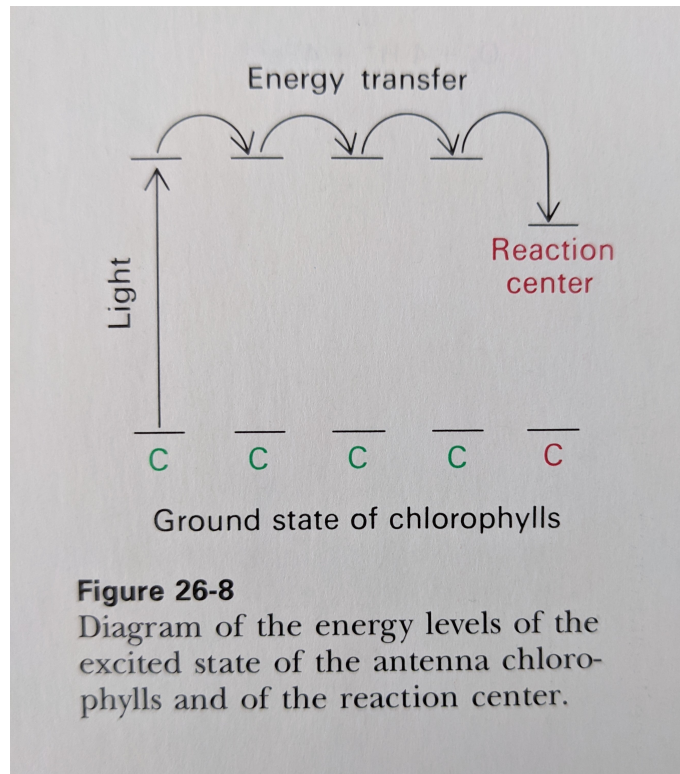


FIGURE 8 – Transfert d'électron jusqu'au centre réactionnel

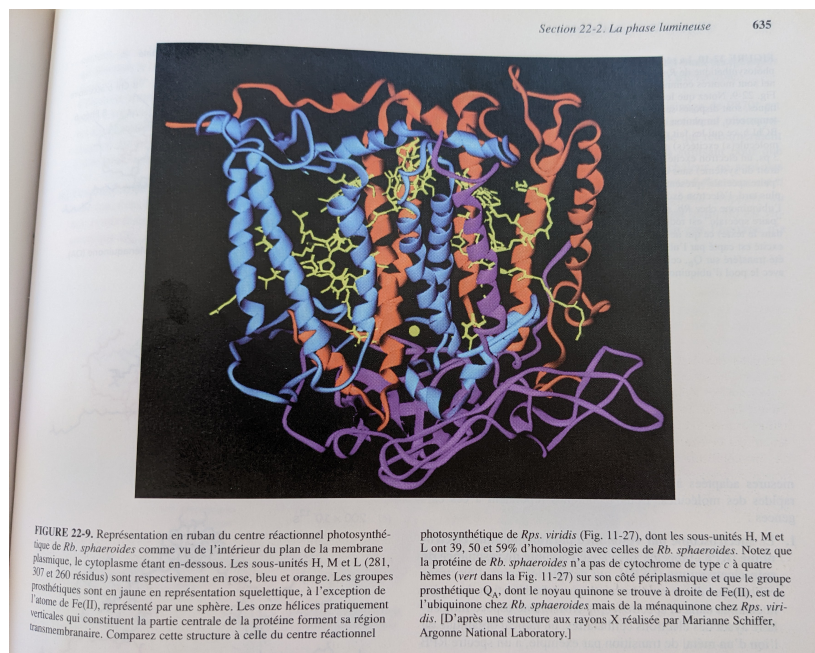


FIGURE 9

2.1 Phosphorylation

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.

Il y a deux photosystèmes qui ont des rôles complémentaires :

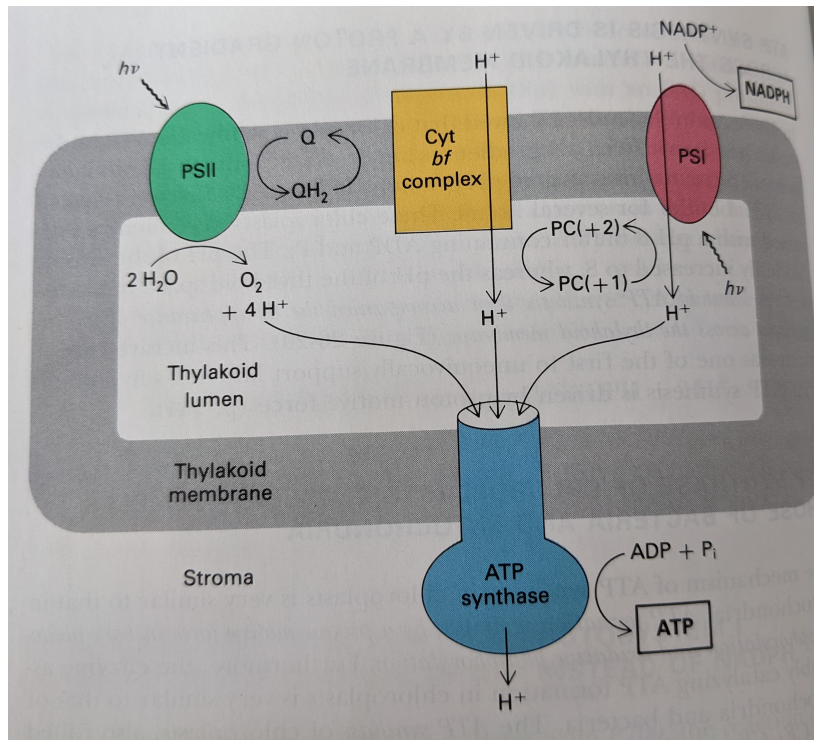


FIGURE 10 – 2 photosystèmes

Photosystème 2 Excité par des longueurs d'onde plus grandes que 680 nm. Produit un fort oxydant (et un réducteur faible) qui mène à la formation de O₂.

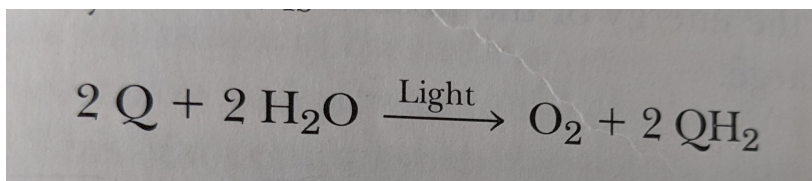


FIGURE 11 – Production de O₂

Le photosystème 2 catalyse le transfert d'électron de l'eau vers une plastoquinone (Q). (aidé par le manganèse : catalyseur) Le transfert d'électron photosynthétique entraîne la formation de gradient de proton (la cellule est plus basique que son environnement). Le cytochrome bf catalyse le transfert d'électron de la plastoquinol (QH₂) à la plastocyanine (PC) et pompe les protons à travers la membrane thylakoid.

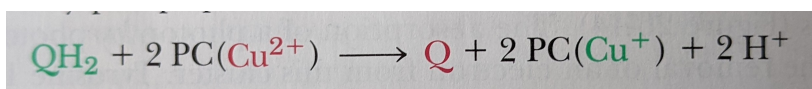


FIGURE 12 – Formation d'un gradient de proton

La synthèse de l'ATP qu'on appelle photophosphorylation est alors assurée pour effacer ce gradient de pH grâce à l'ATP synthase.

L'équation globale de cette phase est : par oxydoréduction :

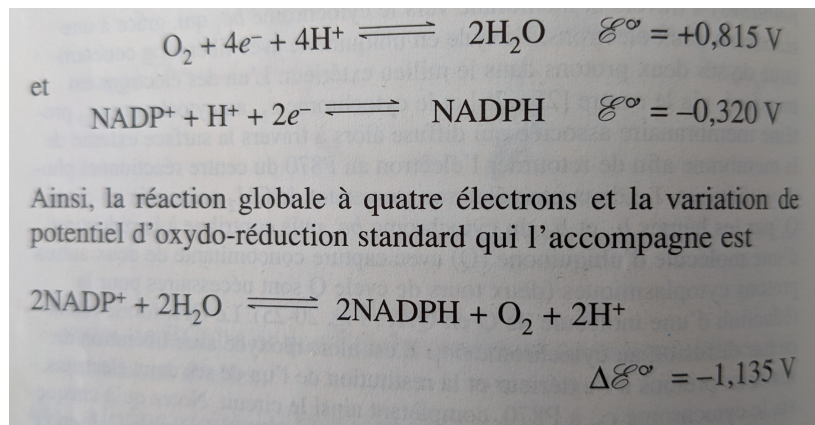


FIGURE 13 – Réactions d'oxydoréduction

avec une enthalpie libre standard de $\Delta_r G = 438 \text{ kJ/mol}$. Cette énergie correspond à celle de la lumière ($E = h \nu$).

Remarque à faire : La réalité est plus complexe et le schema de la photosynthèse est voir bas du document.

Photosystème 1 Il est excité par des longueur d'onde plus faible que 700 nm. Génère un réducteur fort (et un oxydant faible) qui provoque la formation de NADPH. Les électrons réduisent NADP⁺ ou provoque la formation d'un gradient de proton (aussi). Pour la réduction de NADP⁺ : elle se fait via la réduction de Fd (ferredoxine : un reducteur) puis la réduction de NADP⁺ via une enzyme.

Les électrons seront captés par l'accepteur primaire (phéophytine) et seront transportés par la chaîne d'accepteurs d'électrons jusqu'à la ferrédoxine. Elle-même les transportera jusqu'à la NADP réductase qui réduira le NADP⁺ en NADPH + H⁺. La chlorophylle « a » du P700 a donc perdu deux électrons qu'elle doit récupérer pour que le système fonctionne ; ces électrons lui sont fournis par le PSII.

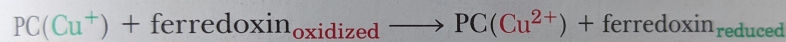


FIGURE 14 – Réaction avec la ferredoxin

The net reaction carried out by photosystem II, the cytochrome *b_f* complex, and photosystem I is

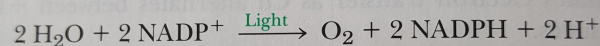


FIGURE 15 – Production de NADPH

Au niveau du PSII va s'opérer une étape majeure de la photosynthèse : la photolyse de l'eau. A chaque fois que PSII est photo-oxydé, l'eau lui fournit un électron pour compenser la perte qu'il vient de subir et permettre sa régénération. L'eau est donc le donneur d'électrons primaire de la photosynthèse

3 Phase obscure : réduction du CO2 en glucides (Weil et Voet)

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

Le CO2 est d'abord incorporé dans l'acide 3 phosphoglycérique (expérience de Calvin qui montra en utilisant des algues vertes soumise brièvement à de la lumière et du CO2 radioactif que c'était le premier composé stable obtenue). Il peut également être incorporé sur l'acide phospho-énol-pyruvique pour donner l'acide oxaloacétique (grâce à une enzyme).

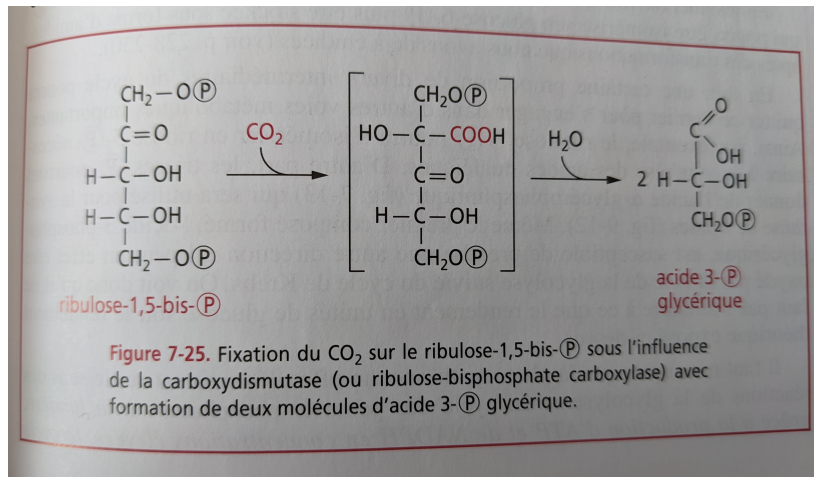


FIGURE 16 – Fixation du CO2

La fixation du CO2 est assurée par une enzyme (RuBP carboxylase $k_{cat} = 3s^{-1}$) selon un processus exergonique ($\Delta_r G = -35.1kJ/mol$). Ceci s'explique par la rupture de l'acide β -cétonique intermédiaire qui donne un groupe carboxylate supplémentaire stabilisée par résonance.

Puis on a le mécanisme inverse au catabolisme glucidique : L'acide 3 phosphoglycérique est transformé en acide 1,3 diphosphoglycérique par une enzyme en présence d'ATP. Puis converti en glycéraldéhyde-3-P (GAP) (P=phosphate) par une autre enzyme (nom à rallonge des enzymes) en présence de NADPH. Puis deux molécules de glycéraldéhyde 3 P sont susceptible de donner grâce à l'aldolase une molécule de fructose-1,6-bis-P (du sucre!). Ce dernier est transformé en fructose-6-P par une autre enzyme.

Avec 5 molécules de fructose on peut ensuite obtenir 6 molécules de ribulose-5-P. Celles ci peuvent alors être phosphorylées par une enzyme et fixer du CO2 pour faire un nouveau cycle.

FIGURE 17 – ATP en ADP

Le fructose peut ensuite être isomérisé en glucose-6-P puis être stockée sous forme d'amidon.

Attention! Ca reste de la bio! Les constituants du cycle peuvent être isomériser, oxydées etc et participer à d'autres cycles : en résumé le rendement en unité glucose n'est pas le rendement théorique.

Le cycle résumé est : Il est appelé cycle de Calvin.

Pour le controle du cycle de Calvin : L'activité des enzymes dépend du pH, elle est inhibé par d'autres molécules et stimulé par certains ions métalliques (Mg²⁺)

4 Conclusion

La lumière permet la séparation de charge (electron et proton) et ainsi permet de créer un potentiel de réduction.

5 Remarque

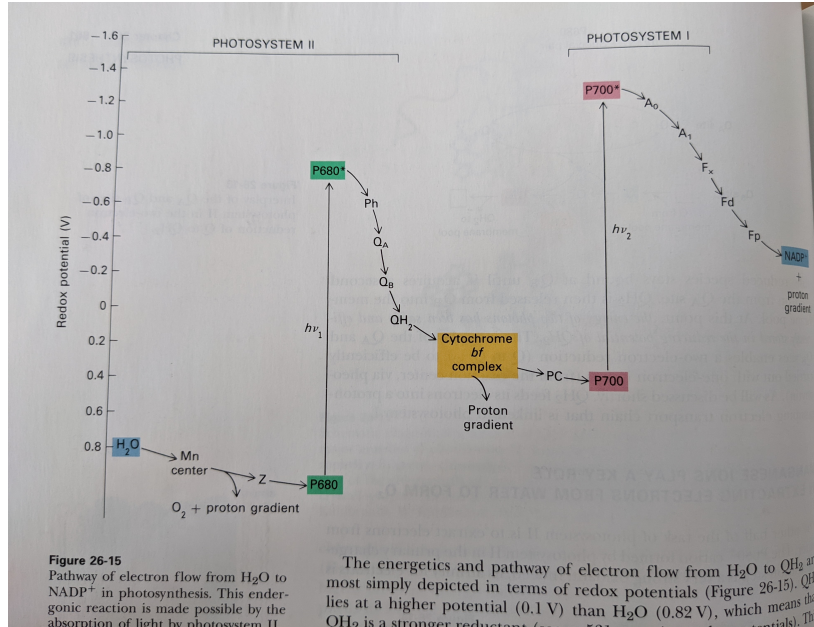


FIGURE 18

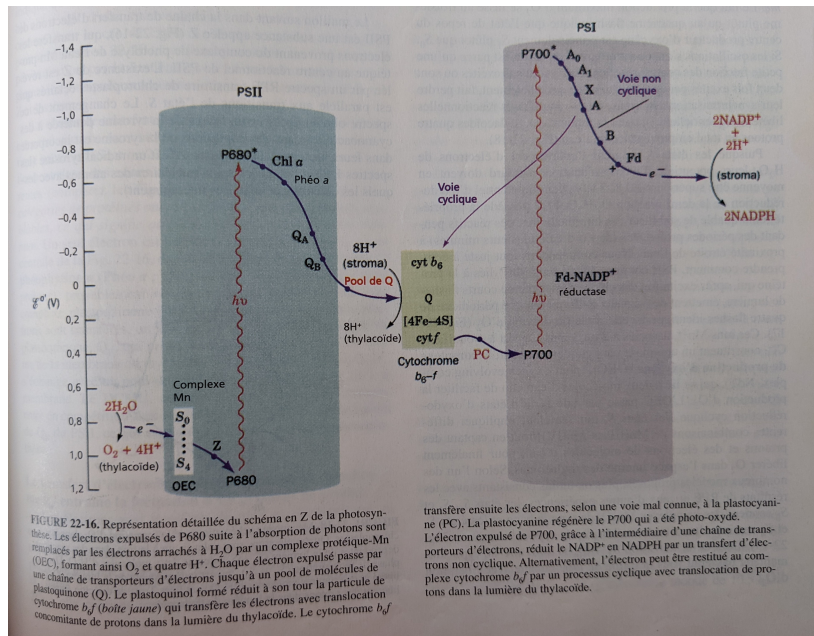


FIGURE 19

Seule la chlorophylle a est active pour la photosynthèse.