

# Mémo photosynthèse

## La phase photochimique.

L'énergie lumineuse des photons excite la chlorophylle qui transfère ses électrons via une chaîne d'accepteurs localisés dans la membrane des thylakoïdes vers un accepteur final NADP oxydant qui se trouve alors réduit en NADPH+H<sup>+</sup>. Il s'agit d'un couplage entre l'oxydation de la chlorophylle et la réduction de l'accepteur final:

- Oxydation de la chlorophylle:  $4 \text{ Chl réduites} \rightarrow 4 \text{ Chl}^* \text{ oxydées} + 4 e^-$
- Réduction de l'accepteur final:  $2 \text{ NADP} + 4 \text{ H}^+ + 4 e^- \rightarrow 2 \text{ NADPH} + \text{H}^+$

Les chlorophylles ayant perdu un électron se retrouvent oxydées (photo-excitation). Il y a eu conversion de l'énergie lumineuse en énergie chimique (NADPH+H<sup>+</sup>) grâce aux propriétés des pigments chlorophylliens. Pour pouvoir absorber à nouveau des photons, les chlorophylles oxydées doivent revenir à leur état initial (état fondamental) en étant réduites; pour cela elles acceptent (elles arrachent) des électrons de l'eau provoquant ainsi l'oxydation de l'eau dans le lumen et la libération de dioxygène. Il s'agit d'un couplage entre la réduction de la chlorophylle et l'oxydation de l'eau:

- Réduction de la chlorophylle:  $4 \text{ Chl}^* \text{ oxydées} + 4 e^- \rightarrow 4 \text{ Chl réduites}$
- Oxydation de l'eau:  $2 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4e^-$

L'oxydation de l'eau dans le lumen crée un gradient de proton (lumen fortement concentré en proton / stroma faiblement concentré). Cette force proto-motrice active une enzyme: l'ATP synthétase située sur la membrane du thylakoïde qui catalyse la phosphorylation de l'ADP adénosine diphosphate en ATP adénosine triphosphate, molécule qui stocke de l'énergie chimique.



**La phase photochimique se déroule dans les thylakoïdes. Les photons induisent, à partir de l'excitation de la chlorophylle, des réactions d'oxydoréductions au niveau de la membrane des thylakoïdes qui aboutissent à la synthèse d'ATP et à la réduction d'un accepteur final NADP en NADPH+H<sup>+</sup>. L'énergie des photons est ainsi convertie en énergie chimique sous forme d'ATP (dont l'hydrolyse peut libérer une grande quantité d'énergie) et de NADPH+H<sup>+</sup> (possédant un fort pouvoir réducteur). Le fonctionnement de ces chaînes d'oxydoréductions nécessite une régénération de chlorophylle à l'état réduit : ceci est permis par l'oxydation de l'eau, à l'origine d'un dégagement de dioxygène. Cette phase est résumée par les deux équations simplifiées qui suivent :**

- $2 \text{ NADP} + 2 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{ NADPH} + \text{H}^+ + \text{O}_2$
- $\text{ADP} + \text{Pi} \rightarrow \text{ATP}$

## La phase non photochimique: Le cycle de Calvin.

Une enzyme: la Rubisco, présente dans le stroma, permet l'incorporation du CO<sub>2</sub> sur une molécule glucidique à 5 atomes de carbone: le RuBP (C5P2). Il se forme alors une molécule à 6 atomes de carbone immédiatement scindée en 2 molécules à 3 atomes de carbone: l'APG (l'APG n'est pas un glucide, le CO<sub>2</sub> incorporé dans l'APG n'est pas encore réduit)

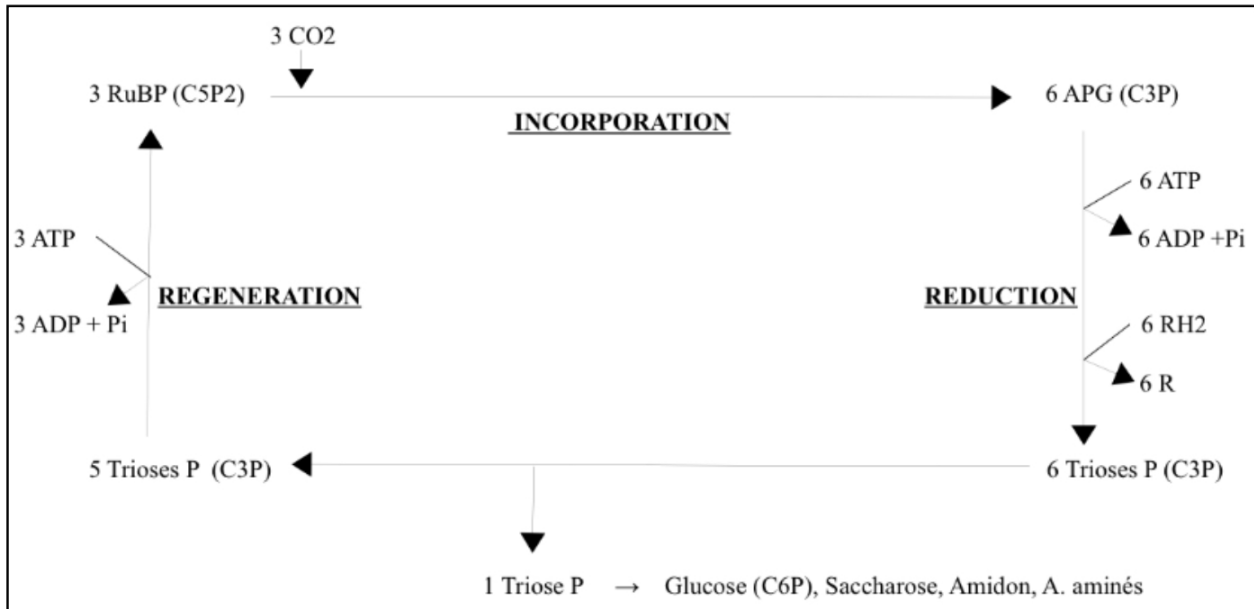
Le NADPH+H<sup>+</sup> et l'ATP produits lors de la phase photochimique permettent la réduction du CO<sub>2</sub> et la formation de molécules glucidiques à 3 atomes de carbone: les trioses P:

L'oxydation du NADPH+H<sup>+</sup> fournit les électrons nécessaires à la réduction du CO<sub>2</sub>

L'hydrolyse de l'ATP fournit l'énergie nécessaire à la réduction du CO<sub>2</sub>

Lors de chaque cycle un des 6 trioses P produits sort du cycle, ce qui permet (après plusieurs cycles) la production de glucose (6 atomes de carbone), puis de saccharose, d'amidon, d'acides aminés...

Lors de chaque cycle, 5 des 6 trioses P produits sont utilisés pour régénérer du RuBP permettant ainsi la continuité du cycle. La régénération du RuBP se fait selon un mécanisme complexe (hors programme) nécessitant de l'ATP



Attention: sur ce schéma:  $R = \text{NADP}$  et  $\text{RH}_2 = \text{NADPH} + \text{H}^+$

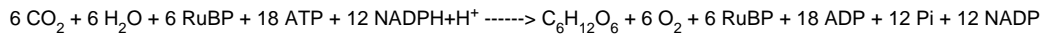
La réduction du carbone proprement dite est couplée avec l'oxydation du  $\text{NADPH} + \text{H}^+$  et nécessite un apport d'énergie (ATP):

Oxydation du  $\text{NADPH} + \text{H}^+$ :  $12 \text{ NADPH} + \text{H}^+ \rightarrow 12 \text{ NADP} + 24 \text{ H}^+ + 24 \text{ e}^-$

Réduction du  $\text{CO}_2$ :  $6 \text{ CO}_2 + 24 \text{ H}^+ + 24 \text{ e}^- \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{ H}_2\text{O}$

Hydrolyse de l'ATP:  $12 \text{ ATP} + 12 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow 12 \text{ ADP} + 12 \text{ Pi} + \text{Énergie}$

Les nombreuses et complexes réactions du cycle de Calvin se résument par l'équation bilan suivante :



Les deux phases de la photosynthèse sont couplées:

Les produits formés lors de la phase photochimique: ATP et  $\text{NADPH} + \text{H}^+$ , permettent la réduction du dioxyde de carbone dans des molécules glucidiques lors de la phase non photochimique

L'utilisation de l'énergie chimique (hydrolyse de l'ATP et oxydation du  $\text{NADPH} + \text{H}^+$ ) lors de la phase non photochimique permet la régénération d'ADP + Pi et de NADP utilisés lors de la phase photochimique

### Bilan

La réduction du dioxyde de carbone au cours de la photosynthèse est assurée dans les chloroplastes en deux phases étroitement couplées.

La phase photochimique correspond à la conversion de l'énergie des photons en énergie chimique sous forme d'ATP et de NADPH+H<sup>+</sup> : la chlorophylle a, excitée par les photons, devient un puissant réducteur qui alimente une chaîne d'oxydoréductions localisée dans la membrane des thylakoïdes.

Les électrons et protons nécessaires à la régénération de la chlorophylle a oxydée sont fournis par l'eau, l'oxydation de cette dernière étant à l'origine du dioxygène libéré.

La phase non photochimique utilise l'ATP et le NADPH+H<sup>+</sup> produits lors de la phase photochimique pour permettre la réduction du dioxyde de carbone dans le stroma ; celui-ci est incorporé dans des molécules organiques grâce à l'activité de la RuBP-carboxylase (Rubisco).

C'est ainsi que le carbone minéral est intégré dans la matière organique des végétaux photo-autotrophes, eux-mêmes à la base de la majeure partie des chaînes alimentaires, les organismes hétérotrophes consommant, directement ou indirectement, cette matière organique qui leur fournit les constituants et l'énergie nécessaires à leur métabolisme.

