

La photosynthèse du blé

Une source d'énergie vita

La lumière, le dioxyde de carbone et l'eau sont les trois ingrédients de la photosynthèse. Ce processus fondamental chez les végétaux leur permet de fabriquer leur propre matière organique. Gros plan sur les mécanismes en jeu et les originalités de certaines plantes.

La photosynthèse est le processus bioénergétique qui permet aux végétaux de fabriquer leur matière organique à partir de matière inorganique. Ils exploitent pour cela la lumière, le CO_2 présent dans l'atmosphère et l'eau.

Le processus global peut se résumer par l'équation suivante : $6 \text{ CO}_2 + 12 \text{ H}_2\text{O} + \text{lumière} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{ O}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O}$.

Mais ce mécanisme se déroule en deux phases bien distinctes et complémentaires :

L'efficacité d'utilisation en eau, un point d'avenir

Pour produire 1 gramme de matière sèche, un blé transpire environ 500 g d'eau, contre 300 g pour un maïs. Les plantes C4 ont ainsi une meilleure efficacité d'utilisation d'eau. Cette différence est toutefois à modérer avec la biomasse végétative nécessaire pour atteindre un rendement en grains satisfaisant. Par exemple, dans le cas du blé, produire 10-12 tonnes de MS à la floraison s'avère suffisant.

Philippe Gate
p.gate@arvalisinstitutduvegetal.fr

ARVALIS – Institut du végétal

Nicolas Bousquet
n.bousquet@perspectives-agricoles.com

la plante transforme d'abord l'énergie lumineuse en énergie chimique. Cette énergie, essentiellement sous forme de la molécule NADPH, est ensuite utilisée pour réduire le CO_2 en glucides, ce qui permet la synthèse d'amidon, mais aussi de protéines ou encore de la chlorophylle.

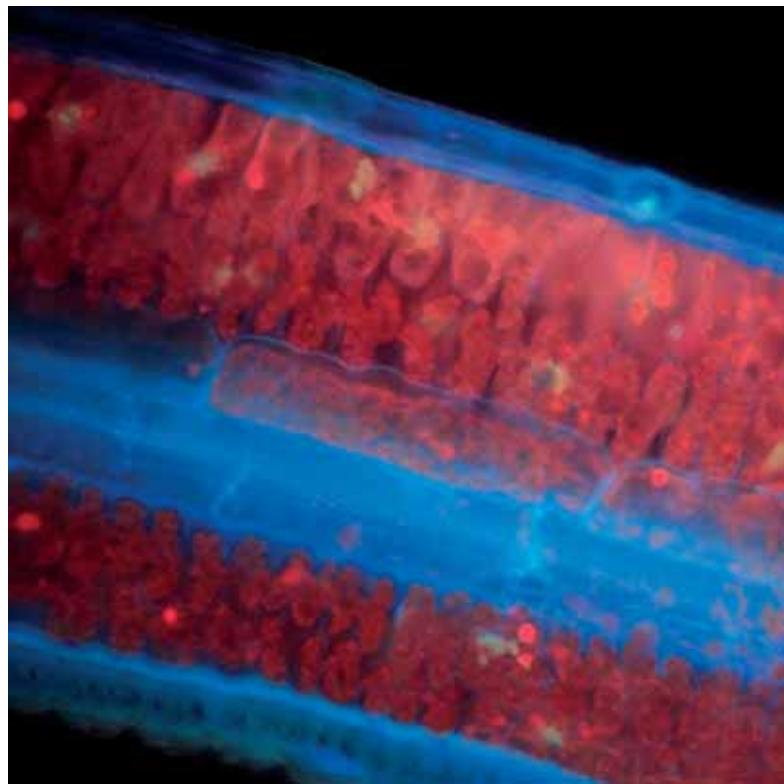
Pour être plus précis, le déroulement de la photosynthèse peut donc s'écrire en deux équations :

1. Réaction photochimique (« phase claire ») : $12 \text{ H}_2\text{O} + \text{lumière} \rightarrow 6 \text{ O}_2 + \text{énergie chimique}$ (24 hydrogènes).
2. Réaction de fixation du carbone ou carboxylation (phase « sombre », pouvant se dérouler à l'obscurité) : $6 \text{ CO}_2 + \text{énergie chimique}$ (24 hydrogènes) $\rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{ H}_2\text{O}$

L'« énergie chimique » correspond à douze molécules de NADPH₂ et de l'ATP.

Les chloroplastes, des usines à énergie verte

Les chloroplastes contiennent, dans leurs membranes, des pigments (chlorophylles, caroténoïdes, xanthophylles...) capables d'absorber certaines longueurs d'onde émises par le soleil. L'énergie lumineuse est transmise sous forme d'électrons excités via des transporteurs jusqu'à la



chlorophylle. Les électrons de la chlorophylle sont remplacés par des électrons arrachés à une molécule d'eau. En perdant ces électrons, la molécule d'eau se scinde en deux ions H^+ et $\frac{1}{2} \text{ O}_2$, libérant de l'oxygène dans l'air. Les ions H^+ , quant à eux, se lient à des molécules pouvant stocker de l'énergie chimique (NADP). Une partie de cette énergie provenant des électrons est utilisée pour activer secondairement des pompes à protons nécessaires à la formation d'autres molécules énergétiques, les ATP.

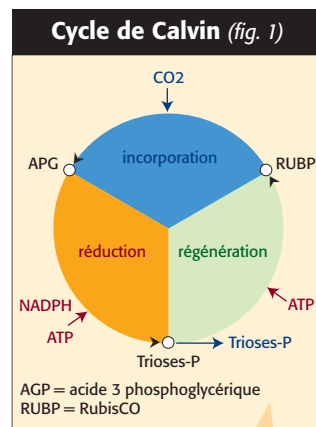
Du CO_2 au glucide

Cette énergie est ensuite utilisée pour incorporer le dioxyde de carbone.

Pénétrant par les stomates, le CO_2 transite jusque dans le

stroma des chloroplastes.

Il est alors fixé sur un accepteur, le ribulose 1,5 bisphosphate, grâce à l'enzyme clé de



Le CO_2 est d'abord fixé par la RubisCO, puis une série de réactions biochimiques le réduisent en glucide.

le

Localisée dans les chloroplastes, la chlorophylle (représentée ici en rouge par fluorescence) capte l'énergie lumineuse. Il y a autant de chloroplastes sur les deux faces des feuilles.

la photosynthèse, la RubisCO. Cette réaction conduit à la formation de deux molécules d'un composé à trois atomes de carbone, l'acide 3-phosphoglycérique. Il caractérise les plantes dites en C3, comme les céréales à paille et la majorité des espèces adaptées au milieu tempéré. C'est la première étape d'une série de réactions biochimiques, connue sous le nom de cycle de Calvin, qui aboutit à la formation de glucides.

D'autres plantes ont adapté ce mécanisme fondamental pour optimiser leur rendement photosynthétique à leur environnement (disponibilité en eau moindre, régime thermique plus extrême).

La RubisCO, une enzyme double

La RubisCO (ou ribulose 1,5 bis-phosphate carboxylase oxygénase) a la particularité de réagir aussi bien avec le CO₂ (photosynthèse) que l'O₂ (photorespiration). Cette deuxième possibilité utilise l'énergie fournie par la lumière pour réorganiser la matière organique.

Cette double affinité diminue l'activité photosynthétique de l'enzyme.

Pour pallier à cette ambiguïté, certains végétaux fournissent le dioxyde de carbone en excès à la RubisCO, en séparant les étapes d'absorption dans la feuille et d'assimilation dans la matière organique du CO₂.

Les plantes dites en C4 (maïs,

La température peut changer la donne

Après la lumière, la température constitue le deuxième facteur limitant pour la photosynthèse. Celle-ci se déroule à un optimum thermique différent selon le type de photosynthèse (C3, C4...). Par exemple, cet optimum est centré sur 15 °C pour le blé et 22 °C pour le maïs (en moyenne journalière). On peut toutefois trouver des espèces en C3 acceptant des températures élevées, comme le riz.

Le blé (plante en C3) est plus sensible aux fortes températures que le maïs (plante en C4) car, lorsque la température augmente, la RubisCO a une affinité de plus en plus grande avec l'oxygène.

La photorespiration (inexistante chez le maïs) s'active et peut réduire de 50 % le rendement de la photosynthèse du blé. Au cours du remplissage des grains, un tel processus peut se manifester chez le blé dès lors que la température maximale dépasse 25 °C : on parle alors d'échaudage thermique.

Par ailleurs, les excès de température réduisent le degré d'ouverture des stomates, limitant les entrées de dioxyde de carbone. Ils ralentissent également l'activité enzymatique, en particulier des enzymes responsables de la production d'amidon (les amylases synthases).

▶ L'enzyme clé de la photosynthèse, la RubisCO, fixe le CO₂ atmosphérique sur un accepteur, mais peut également fixer de l'O₂ pour la photorespiration.

▲ La RubisCO, enzyme clé de la photosynthèse, représente plus de 50 % de l'azote sous forme protéique contenue dans une feuille.

canne à sucre, sorgho, miscanthus...) séparent par exemple ces étapes dans l'espace. Le CO₂ est d'abord fixé dans les assises cellulaires situées entre les nervures (les mésophylles) par une enzyme qui n'accepte pas l'oxygène comme substrat (la PEPCarboxylase). Les composés à quatre carbones ainsi formés migrent ensuite vers les cellules de la gaine périvasculaire dans lesquelles le CO₂ est libéré, puis incorporé dans le cycle de Calvin par la RubisCO. Cette délocalisation permet de saturer la teneur en CO₂ au voisinage de l'enzyme. En conséquence, le phénomène de photorespiration n'existe quasiment pas.

▶ Certains végétaux fournissent en excès du CO₂ à la RubisCO pour améliorer leur rendement photosynthétique (plantes d'origine tropicale).

Une plante produit plus d'oxygène par photosynthèse qu'elle n'en utilise pour respirer, ce qui permet à cet élément d'être maintenu à une concentration constante dans l'air que nous respirons !



© ARVALIS-Institut du végétal

© ARVALIS-Institut du végétal

De nombreux programmes de recherche sont en cours pour valoriser les caractéristiques photosynthétiques de certaines espèces. Autant de pistes pour optimiser le rendement photosynthétique dans une large gamme d'environnements : amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'eau et tolérance aux fortes températures. ■