

Cet article est tiré de

# L'ÉRABLE



revue trimestrielle de la  
Société royale  
Cercles des Naturalistes  
de Belgique asbl



Conditions d'abonnement sur  
[www.cercles-naturalistes.be](http://www.cercles-naturalistes.be)

# Adaptations photosynthétiques des plantes à la chaleur et à la sécheresse



Texte et schémas : Julien-Emmanuel Goffinet

Photos : Bernard Clesse

Chargé de mission au Centre Marie-Victorin

## La photosynthèse à tout prix !

### Petit rappel

Toute espèce, afin de subvenir à ses besoins, se doit de réaliser la respiration. Bien sûr, il s'agit de la respiration cellulaire, celle qui, à base de sucres<sup>1</sup> ( $C_6H_{12}O_6$ ) et d' $O_2$ , permet de générer de l'énergie sous forme d'ATP (Adénosine TriPhosphate) ainsi que du  $CO_2$  et de l' $H_2O$ . L'énergie élaborée (ATP) permettra d'activer diverses molécules comme les enzymes (des protéines) enclenchant des mécanismes variés et nécessaires selon les besoins de l'espèce. Les végétaux se distinguent des animaux par de nombreux critères dont celui d'être pourvu de chloroplastes à l'intérieur desquels s'agencent des structures en forme de pièces de monnaie appelées les thylakoïdes ; les chloroplastes sont des organites présents dans les cellules permettant de réaliser la photosynthèse. Tous n'en ont pas mais se débrouillent pour survivre néanmoins (voir l'article sur « les interactions biologiques entre organismes »<sup>2</sup>).

Qu'est-ce que la photosynthèse ? On peut la voir comme l'opération inverse de la respiration puisqu'elle permet, à base de  $CO_2$ , d' $H_2O$  et d'énergie lumineuse, de former majoritairement des sucres ( $C_6H_{12}O_6$ ) et de l' $O_2$ . La plante « respire » en dégradant des sucres et du dioxygène et d'un autre côté, via le mécanisme précité, elle produit à nouveau ces composés. Ça rime à quoi ? Eh bien, heureusement, les sucres qu'elle produit sont bien plus nombreux que ceux qu'elle utilise. De plus, elle en stocke ! C'est ce que les consommateurs de premier ordre (herbivores) et ceux de deuxième ordre (nous, par exemple) utilisent comme nourriture (fruits, feuilles, tubercules...).

De manière un peu plus détaillée, la photosynthèse est un processus vital se déroulant en deux phases, une dite « sombre » et l'autre dite « claire », dans les cellules des feuilles. Pendant la phase sombre (trois grandes étapes), le  $CO_2$  est transformé, à l'aide d'une enzyme (la RUBISCO), en deux composés à trois carbones (3 C) qui seront à leur tour modifiés pour obtenir des glucides assimilables. Le tour est bouclé par la régénération des intermédiaires (ayant servi à former les glucides) afin de permettre à d'autres molécules de dioxyde de carbone d'être fixées. Ce cycle est appelé « cycle de Calvin », du nom d'un des principaux découvreurs du modèle. On l'appelle la phase sombre car elle peut se réaliser indifféremment de jour comme de nuit. De plus, c'est pendant cette phase qu'est utilisée l'énergie produite lors de la phase claire.

<sup>1</sup> Si les mots sucres et glucides sont récurrents et si je ne parle pas des autres composés formés grâce à la photosynthèse, ce n'est que par souci de facilité. En effet, sous le mot sucre se cachent l'amidon (réserve) mais aussi le saccharose ou encore la cellulose (consolidation des parois cellulaires) ... En ce qui concerne les autres composés élaborés, citons brièvement les acides aminés, les lipides ou encore des intermédiaires utiles au soutien interne des cellules.

<sup>2</sup> Voir : Goffinet Julien-Emmanuel. 2013. « Les interactions biologiques entre organismes ». L'Érable. N°2, p. 9-12.

En effet, durant cette dernière (scientifiquement appelée la phase photochimique), suite à une pléthore de réactions en cascade et à l'utilisation des électrons fournis par la cassure de l' $H_2O$ , l'énergie lumineuse est transformée en énergie chimique (ATP). En bref, le transfert d'énergie de part en part au sein de la membrane thylakoïdienne engendre un flux de protons vers l'intérieur du thylakoïde. Ces derniers, en plus de ceux accumulés par la dissociation des molécules d'eau, contribuent à acidifier le milieu. Il devient alors primordial d'évacuer cette acidité à l'aide d'une pompe. De cette manière, la sortie des protons ( $H^+$ ) à travers la membrane thylakoïdienne via cette pompe, permet de produire l'ATP (voyez ça comme un tourniquet où le passage de protons dans un sens pousse la formation d'énergie dans l'autre sens).

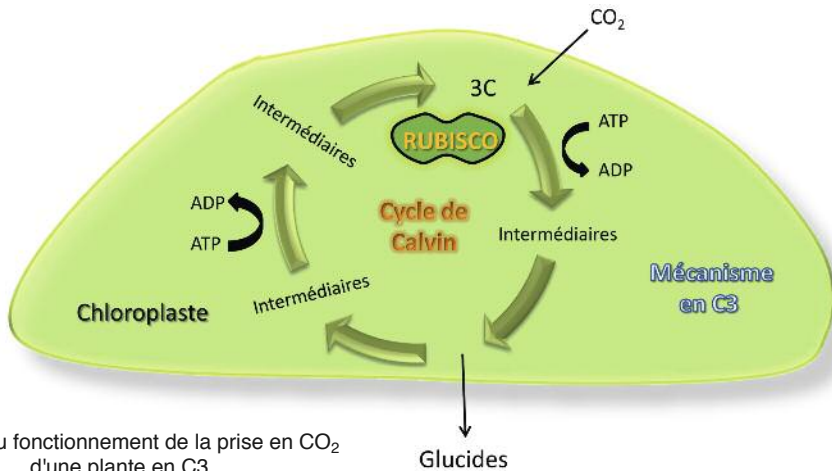


Schéma du fonctionnement de la prise en  $CO_2$  d'une plante en C3

Les deux phases se réalisent de manière continue, tout du moins tant qu'il y a de l'énergie lumineuse pour la phase claire. Chez les plantes où l'enzyme forme en premier lieu des composés à trois carbones, on dit que l'on a à faire à un métabolisme en C3. La photosynthèse se passe dans un seul type de cellule et tout au long de la journée. Ce mécanisme est rencontré chez la majorité des espèces végétales (blé, orge, pomme de terre, tabac...).



Photos de deux C3. À droite, le blé (*Triticum aestivum*) et à gauche, la pomme de terre (*Solanum tuberosum*)



Au niveau des assises cellulaires externes des feuilles se trouvent des cellules particulières, les cellules stomatiques, responsables des échanges gazeux et hydriques internes-externes. En effet, c'est via l'ouverture provoquée par les stomates que l'eau ainsi que l'O<sub>2</sub> sortent et que le CO<sub>2</sub> rentre.

Par temps normal, une plante gère ses apports gazeux sans rencontrer de difficultés. Néanmoins, lorsque les conditions changent et deviennent plus arides et chaudes, il devient nécessaire d'empêcher une ouverture trop fréquente des pores de manière à éviter une perte excessive d'eau ! Comment font, dès lors, les végétaux pour assurer leur photosynthèse en ayant réduit leur accès au dioxyde de carbone ?

### O<sub>2</sub>, gaz pillé

Avant d'aller plus loin, ce qu'il faut savoir, c'est que la RUBISCO présente une affinité pour le dioxygène. En effet, il n'est pas impossible que l'enzyme fixe autant ce gaz que le dioxyde de carbone quand leurs quantités sont équivalentes. En quoi est-ce problématique ?

Premièrement, si la RUBISCO fixe de l'O<sub>2</sub> et non du CO<sub>2</sub>, elle est moins disponible pour effectuer le cycle de Calvin et, donc, la phase sombre est moins efficace, entraînant une baisse de production des sucres.

Deuxièmement, le mécanisme mis en place par l'utilisation de l'O<sub>2</sub>, la photorespiration, ne génère aucun composé stockable par le végétal. Seul du CO<sub>2</sub> est produit.

Enfin, la suite d'événements conduisant à cette formation de dioxyde de carbone consomme de l'énergie qui ne sera pas exploitable pour d'autres activités plus profitables.

En résumé, la photorespiration peut être considérée par certains comme un mécanisme gâché, ralentissant les rendements de la photosynthèse et diminuant le relargage de dioxygène.

Il apparaît donc primordial d'éviter cette perte ainsi que de mettre en place un système permettant d'optimiser la production des glucides de réserve. C'est pourquoi, à la fois pour éviter un déficit en eau trop élevé via l'ouverture des stomates par temps chaud et sec et, à la fois pour éviter de mettre en relation l'enzyme avec de l'O<sub>2</sub>, les plantes dites en C4 et CAM (voir signification plus loin) ont développé respectivement une cellule 'soupape' et un décalage dans les temps d'exécution des phases.

### Échanges du quatrième type

Imaginez que le gaz carbonique nécessaire à la production des composés de stockage soit moins disponible et qu'il soit ainsi plus difficile de l'acquérir. Dès lors, des stratégies soit pour en assimiler davantage soit pour l'obtenir plus efficacement, sont à mettre en place.

Puisque les plantes évacuent l'eau par évapotranspiration au niveau des feuilles, et que, par la même occasion, elles puisent leur CO<sub>2</sub> dans le milieu ambiant, il est indispensable que cet échange (régi par l'ouverture des stomates) ne soit pas perturbé lors d'une élévation de température ou d'un amoindrissement des molécules de carbone nécessaires.

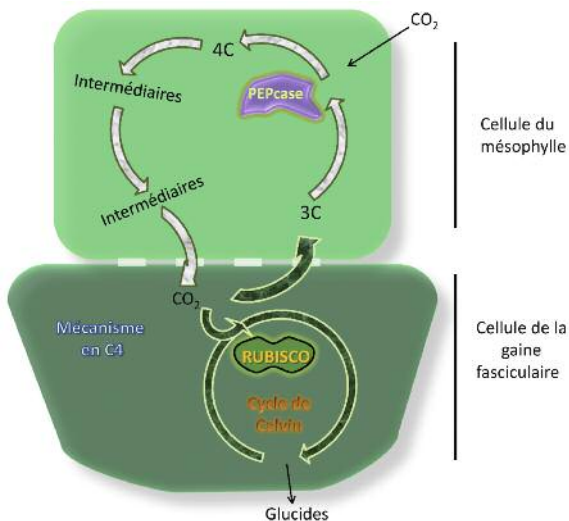


Schéma du fonctionnement de la prise en CO<sub>2</sub> d'une plante en C4.

Comment des végétaux vivant dans des zones plus ensoleillées et donc plus souvent sujets à de fortes chaleurs font-ils pour assurer leur photosynthèse en évitant une perte conséquente hydrique ?

Expliquons le cas des plantes en C4 avec un exemple simple. Si, dans un sous-marin, l'issue par laquelle les plongeurs sortent est directement reliée au reste du vaisseau, celui-ci serait immédiatement inondé et coulerait dans les fonds très rapidement. Par contre, l'existence d'une chambre (une soupape), entre la sortie du vaisseau et l'entrée dans l'habitacle, permet d'éviter la catastrophe.

Chez les plantes en C4, le système de « pièce intermédiaire » est semblable. En effet, il existe deux types de cellules. Les premières, les cellules du mésophylle, jouent le rôle de soupape en capturant le CO<sub>2</sub> et en relâchant l'H<sub>2</sub>O. Un premier mécanisme dans lequel intervient une autre enzyme (la PEP carboxylase - PEPcase) transforme le CO<sub>2</sub> en une molécule à 4 carbones (d'où le nom C4). Ensuite, celle-ci est transformée en produits intermédiaires, amenés, via un système de communication, vers un deuxième type de cellule (les cellules de la gaine fasciculaire) où le dioxyde de carbone est libéré en masse. Ce dernier s'inscrit alors au cycle de Calvin (le même que celui évoqué pour les plantes en C3) et servira ainsi à former les glucides utilisables. Le composé qui a relâché le CO<sub>2</sub> est alors redirigé vers les premières cellules afin de boucler le tour et permettre de transporter d'autres molécules de dioxyde de carbone.

De cette manière, un échange équilibré s'est produit entre l'intérieur du végétal et l'extérieur. De plus, la PEP carboxylase, celle qui fixe le CO<sub>2</sub> dans les cellules du mésophylle, revêt une très grande affinité avec ce gaz alors qu'elle n'en a aucune avec le dioxygène ! Le but est de concentrer massivement le dioxyde de carbone dans les cellules de la gaine fasciculaire afin d'éviter le processus de la photorespiration par la RUBISCO ([CO<sub>2</sub>] > [O<sub>2</sub>]).

L'utilisation de cette seconde enzyme s'avère efficace pour maximiser la photosynthèse, surtout grâce à la séparation spatiale du mécanisme. De plus, ces plantes ne sont pas saturées lorsque la luminosité augmente, elles utilisent toujours plus efficacement cette source d'énergie. Enfin, le taux de croissance des métabolismes C4 est, dans la majorité des cas, bien supérieur et plus constant que ceux n'ayant recours qu'à la RUBISCO. Cependant, petit bémol, employer deux enzymes s'avère pratiquement deux fois plus coûteux que d'en utiliser une seule.

Voici donc une façon envisagée par quelques espèces de plantes afin de survivre dans des conditions plus perturbatrices.

Le maïs (*Zea mays*), la canne à sucre (*Saccharum officinarum*) ou encore le sorgho (*Sorghum sp.*) font partie de cette catégorie de plantes ayant établi le métabolisme en C4.

La photosynthèse se déroule par conséquent à l'aide de deux cellules différentes et sur la même journée.



Des plants de maïs (*Zea mays*) - C4

## Le jour et la nuit

Une deuxième catégorie de plantes a réussi à se développer différemment. Dans un premier temps, il est indispensable de mettre en place une morphologie plus adaptée à la sécheresse (feuilles plus charnues ou très réduites, réserves d'eau mieux protégées et plus concentrées...), puis, dans un deuxième temps, il convient d'assurer une constance au rendement photosynthétique.

Prenons encore un exemple afin de mieux comprendre le fonctionnement des plantes de type CAM (Métabolisme Acide Crassulacéen, découvert en premier lieu chez des crassulacées mais étant présent chez d'autres familles). Imaginez que la chaleur règne dans une maison et qu'il y ait une cave à vin. Pour que celle-ci reste fraîche et que le vin ne devienne pas imbuvable, il faudrait que la porte y menant ne soit pas ouverte trop souvent en journée, voir pas du tout, mais bien plutôt en soirée, lorsque les températures sont plus clémentes. De cette manière, en y pénétrant uniquement le soir, les bouteilles se conservent à la fraîcheur durant le jour.

C'est ainsi que l'ananas (*Ananas comosus*), les orpins (*Sedum sp.*), la joubarbe des toits (*Sempervivum tectorum*) ou encore les cactus (cactaceae) ont séparé les deux étapes de la deuxième phase de la photosynthèse dans le temps. Pendant la journée, lorsqu'il fait très chaud, les stomates des plantes sont fermés, imperméables aux échanges entre l'intérieur et l'extérieur, bien que le processus d'évapotranspiration soit toujours opérationnel (à travers les parois cellulaires). Par contre, la lumière est bien présente et permet d'entamer la phase photochimique, celle qui génère de l'énergie pour la suite. Lorsque les températures redescendent et que la nuit approche, les plantes s'ouvrent petit à petit au milieu ambiant et commencent alors à puiser leur CO<sub>2</sub> nécessaire au cycle de Calvin. Dans un premier temps, des composés organiques sont formés et stockés pendant la nuit (dans les vacuoles) et puis, dans un deuxième temps, ils seront employés pendant la journée pour libérer le dioxyde de carbone et ainsi permettre la création de molécules diverses, dont principalement les glucides.



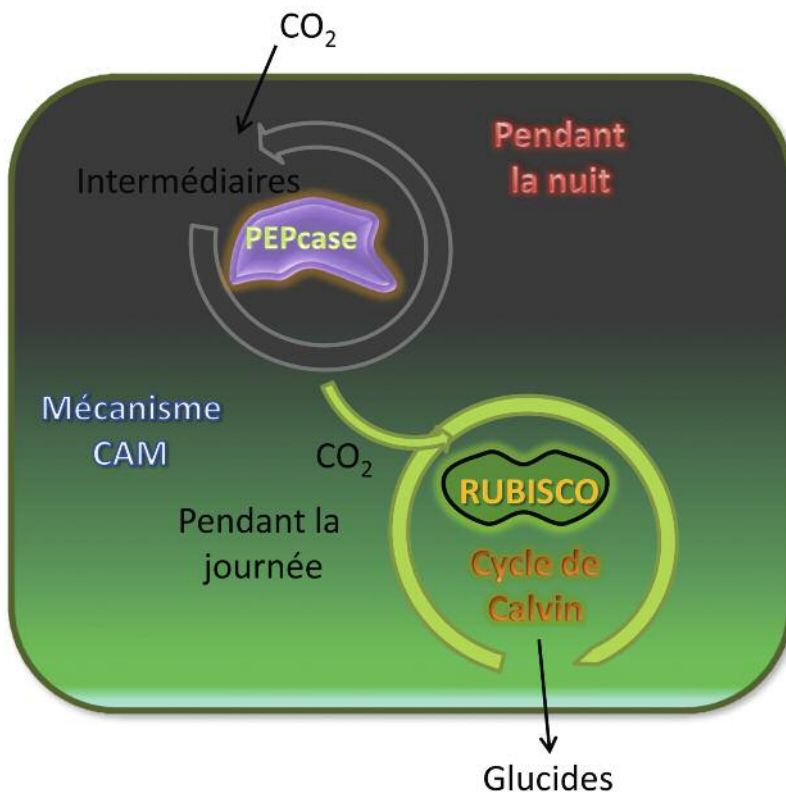
Petite station d'orpins blancs (*Sedum album*)

Comme les températures sont plus basses le soir, l'ouverture des stomates limite les pertes de molécules d'H<sub>2</sub>O par rapport à ce qui se passerait en journée.

Cette catégorie de plantes opère avec la même enzyme que les plantes en C4. La molécule assure d'abord la fixation du CO<sub>2</sub> et, après une série de transformations, l'amène au cycle pour la phase sombre. À la différence des plantes en C4, les plantes CAM réalisent ce système dans la même cellule mais sur le jour et la nuit alors que tout se passe dans la journée chez les premières.

Ces plantes sont très résistantes aux mauvaises conditions et continuent de croître même si celles-ci se manifestent. Ce qui explique que leur taux de croissance est très lent mais constant. D'autre part, elles font aussi appel à un service de deux enzymes, ce qui leur en coûte la même chose que les végétaux en C4.

Tout est question d'équilibre. Si, dans un environnement où les plantes en C3 dominent, les températures commençaient à grimper, ce serait principalement des végétaux à métabolismes en C4 et CAM qui seraient favorisés au détriment des autres.



La nature n'est-elle pas bien faite ?

**Source**

Campbell N., Reece J. 2007. Biologie. 7<sup>e</sup> édition. Pearson Education. 1334 p.

Zinsou C. Chapitre 13 : cours de métabolisme. 14 p.