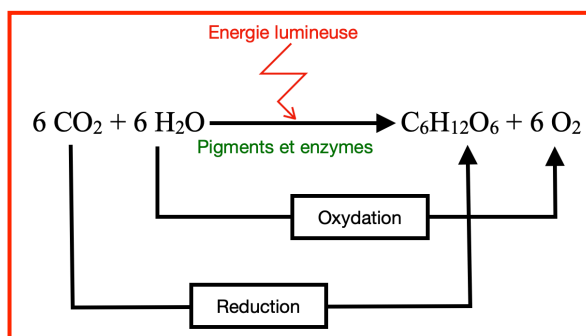


Chapitre 8 : La plante, productrice de matière organique

Les producteurs primaires fabriquent leur matière organique à partir de carbone minéral en présence d'une source de lumière : ils sont donc **autotrophes*** pour le carbone, et réalisent la photosynthèse dont le bilan global peut s'écrire :



Ces producteurs primaires (essentiellement les « végétaux verts », mais non exclusivement) sont donc à la base de toute la matière organique produite et consommée au sein des écosystèmes.

**autotrophe : du grec ancien αὐτός αἶτος « soi-même, de soi-même » et τροφός trofos « qui se nourrit d'une certaine manière » : se dit d'un organisme qui élabore sa matière organique à partir de composés inorganiques.*

On se limitera ici à l'autotrophie pour le carbone (il existe aussi une autotrophie pour l'azote).

*Comment se réalise la photosynthèse ? Quelles en sont les étapes ?
Que deviennent les produits de la photosynthèse ?*

I) La production de matière organique par photosynthèse

A) Un métabolisme fondamental

La photosynthèse est un processus de **conversion de l'énergie lumineuse en énergie chimique**, stockée dans les molécules organiques, grâce à cette conversion d'énergie les organismes photosynthétiques sont capables de synthétiser de la matière organique (composés sucrés) à partir de matières minérales (CO_2 et H_2O). Cette conversion est uniquement réalisée dans les cellules chlorophylliennes. Des échanges gazeux se réalisant au niveau des stomates caractérisent ce métabolisme : consommation de CO_2 et production de O_2 .

La photosynthèse peut être considérée comme une **réaction d'oxydoréduction** : le carbone minéral est **réduit** en carbone organique, alors que l'eau est **oxydée** en dioxygène.

L'**énergie** nécessaire à l'élaboration de molécules complexes est apportée par la **lumière** ; différents pigments photosynthétiques (chlorophylles a, b, carotènes, xanthophylles) absorbent certaines longueurs d'onde (violet, bleu et rouge foncé), et diffusent le reste, ce qui fait apparaître la feuille verte la majeure partie du temps.

En automne, la dégradation des chlorophylles (qui représentent plus de 80 % des pigments) laisse apparaître des pigments jaunes (xanthophylles), voire oranges ou rouges (caroténoïdes), d'où les superbes teintes des forêts, notamment d'Amérique du nord.

Ces pigments sont présents dans les membranes des thylakoïdes des chloroplastes. Les cellules ne possédant pas ces pigments se comportent comme des **hétérotrophes***, c'est le cas des cellules racinaires par exemple qui n'ont pas de chloroplastes et ne réalisent pas la photosynthèse.

Remarque : certains végétaux possèdent d'autres pigments, qui absorbent d'autres longueurs d'onde (algues rouges, algues brunes, cyanobactéries,...).

B) L'étape photochimique de la photosynthèse : l'oxydation de l'eau

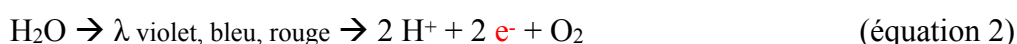
Une solution de chlorophylle brute présente un phénomène de fluorescence ; la chlorophylle peut donc passer à un état excité sous certaines longueurs d'ondes.

Dans le chloroplaste, l'excitation de la chlorophylle se traduit par un transfert d'électrons vers une molécule « accepteur » qui est donc réduite (couple $\text{NADP}^+/\text{NADPH}$, H^+).



**NADP : nicotinamide adénine dinucléotide phosphate est une coenzyme présente dans toutes les cellules vivantes.*

La chlorophylle excitée est aussi à l'origine d'une **photo-oxydation de l'eau** (= photolyse de l'eau), productrice d'un déchet, le dioxygène, et d'électrons et de protons.



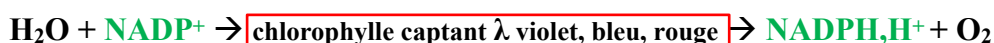
L'électron arraché à la chlorophylle et un électron issu de la photolyse de l'eau sont alors captés par le NADP^+ (initialement à l'état oxydé) :



L'électron surnuméraire, issu de la photolyse de l'eau, permet la réduction et le recyclage de la chlorophylle :



Toutes ces réactions sont synchrones et peuvent se résumer par l'équation suivante :



Ce système d'oxydoréduction situé au niveau de la membrane du thylakoïde, associant pigments et transporteurs d'électrons, active alors une enzyme située aussi sur cette

membrane, l'**ATP-synthase**, qui catalyse la synthèse d'ATP (adénosine tri phosphate) à partir d'ADP (adénosine di phosphate) et de Pi (phosphate inorganique) :



Cette première phase de la photosynthèse est donc dépendante de certaines longueurs d'onde et elle permet de convertir l'énergie lumineuse en énergie chimique sous forme de transporteurs réduits (NADPH, H⁺) et d'ATP.

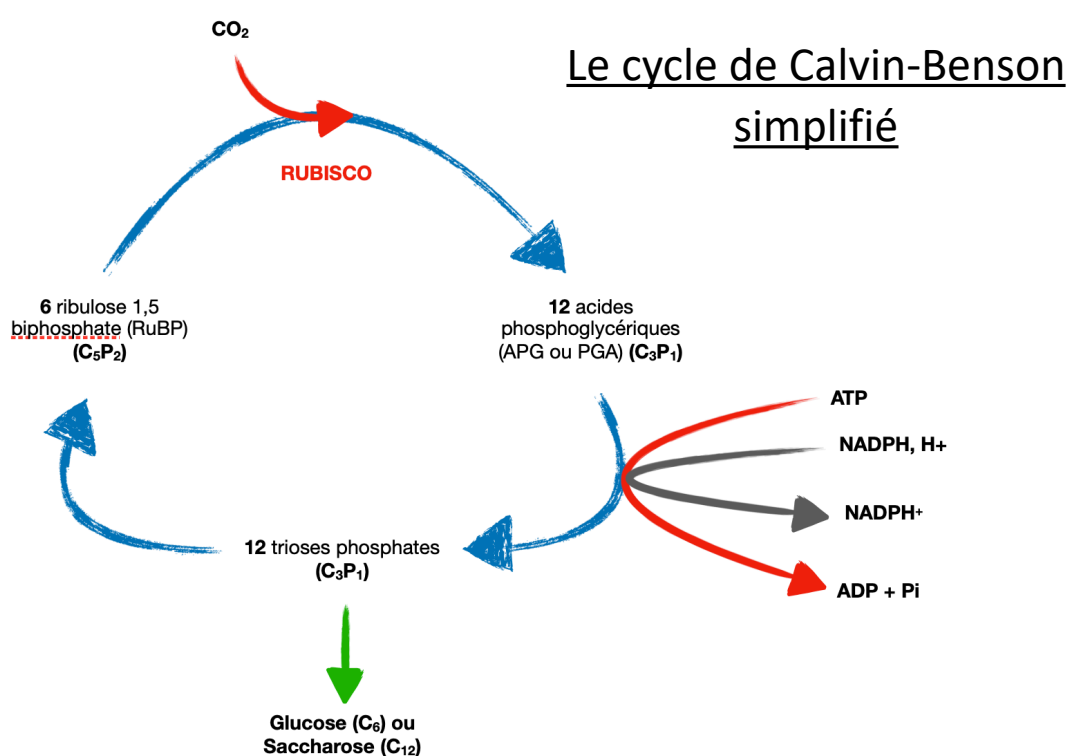
C) L'étape non photochimique de la photosynthèse : la réduction du CO₂

L'incorporation du CO₂ se fait dans cette deuxième phase, qui ne nécessite pas directement de lumière et qui se déroule dans le stroma, grâce à une enzyme, la **rubisco** (= ribulose 1,5 biphosphate carboxylase oxygénase ; c'est la protéine la plus abondante sur Terre !).

Le CO₂ est fixé sur une molécule à 5 carbones, le ribulose 1-5 bisphosphate (C₅P₂), ce qui forme deux molécules à 3 carbones, le phosphoglycérate ou acide phosphoglycérique (PGA ou APG) ; celui-ci est ensuite converti en triose phosphate (C₃P), autre glucide à 3 carbones, mais avec l'utilisation de l'ATP et de transporteurs réduits NADPH, H⁺ formés en phase photochimique.

Ce C₃P₁ est utilisé :

- pour moitié pour régénérer le C₅P₂ initial (avec consommation d'un peu d'ATP), ce qui permet de continuer à fixer du CO₂,
- et pour moitié pour former des sucres à 6 carbones, le glucose ou le fructose, utilisés ensuite pour former un sucre à 12 atomes de carbones : le **saccharose**.



Ce cycle dit de Calvin-Benson a été mis en évidence en 1952 par Melvin CALVIN (1911-1997) qui a reçu le Prix Nobel en 1961 et par Andy BENSON (1917-2015).

Faire la feuille de TD avec des résultats d'expériences historiques : Calvin et Benson, Ruben et Kamen, ...

II) L'utilisation et la transformation des produits de la photosynthèse

Les **glucides** issus de la photosynthèse sont utilisés dans la synthèse de **protéines** (avec les ions azotés issus du sol ou des nodosités et véhiculés par la sève brute), de **lipides**, de **phospholipides** (avec les ions phosphates issus du sol aussi), **d'acides nucléiques** ; ces nouvelles molécules sont distribuées sous forme de monomères (acides aminés, glucides simples,...) à l'ensemble de la plante via la sève élaborée, où ils sont utilisés dans différents contextes.

Une petite fraction de la matière organique synthétisée est utilisée dans les processus respiratoires (mitochondries), permettant la synthèse d'ATP nécessaire à la vie cellulaire (synthèse d'enzymes, d'ADN, d'hormones,...), mais l'essentiel est utilisé dans l'édification de nouvelles cellules, ainsi que dans le stockage de molécules ayant des fonctions très diverses.

A) La croissance de la plante

Une part importante de la matière organique synthétisée permet la construction de nouvelles cellules, avec une synthèse de phospholipides membranaires, mais surtout par la synthèse d'une nouvelle paroi contenant de la **cellulose** et de la **lignine**. Ces deux polymères nécessitent pour leur synthèse une grande quantité de glucides ou de phénols, des enzymes et de l'ATP.

La **cellulose** est un polymère de glucose, sous forme d'une chaîne linéaire de dizaines à milliers de glucose associés, et c'est la molécule dominante des végétaux, constituant entre 35 et 50 % de toute la biomasse !

La **lignine** (du latin lignum qui signifie bois) est aussi une famille de macromolécules abondantes (15-25 %) ; ce sont des polymères polyphénoliques (famille des tannins), qui sont un des principaux composants du bois avec la cellulose et l'hémicellulose. Ses principales fonctions sont d'apporter de la **rigidité**, une **imperméabilité à l'eau** et une grande **résistance à la décomposition**.

Cf schéma de l'action de l'auxine sur l'augmentation de taille de la cellule.

B) Le stockage de matière organique dans la reproduction

L'accumulation de molécules organiques permet de pallier une absence de photosynthèse dans deux cas :

- Certaines plantes annuelles comme la pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) stockent de l'amidon dans un tubercule*, ce qui permet de **conserver le génotype** pendant une période défavorable à la partie aérienne (luminosité trop faible ou température trop basse pour une activité photosynthétique rentable) : dans le sol, les variations climatiques sont atténuées, et dès le retour de conditions favorables, ces réserves permettent, grâce à la respiration, de produire de nouvelles cellules et d'édifier un nouvel appareil aérien photosynthétique ;

**tubercule : (du latin tuberculum, petite bosse) tige souterraine hypertrophiée (=tubérisée) par accumulation de molécules organiques.*

- Les graines, issues de la fécondation de deux gamètes, stockent de la matière organique issue de la plante mère ; ces réserves permettent, par respiration, de produire l'énergie nécessaire à la **croissance du nouveau génotype**, notamment la mise en place des premières racines avant l'édification des premières feuilles ; ces réserves sont généralement mixtes, mais certaines sont plus riches en glucides (amidon des grains de blé, de maïs, de riz,...), en lipides (graines de tournesol, de colza,...) ou en protéines (toute la famille des Fabacées : soja, lentille, haricots, pois,...).

C) Les interactions avec les autres êtres vivants

Les plantes sont constamment en interactions avec d'autres êtres vivants : bactéries et champignons du sol, herbivores,...soit en compétition pour des ressources, soit de façon mutualiste.

1) Une synthèse de molécules de défense

Une part non négligeable des molécules dérivées des glucides photosynthétiques est consacrée à la synthèse de molécules de défense, comme les **tannins** (ou **tanins**). Ceux-ci forment une famille de molécules constituée de polyphénols. Une de leur caractéristique est de se fixer de façon souvent irréversible avec les protéines. Ils sont d'ailleurs stockés dans les vacuoles, de façon séparée des enzymes cytosoliques, ce qui évite des dommages à la cellule végétale.

Toutefois, si un brouteur commence à s'attaquer à des feuilles, il mélange ces tanins avec sa salive, ce qui rend inactives ses protéines salivaires (cf. aspect astringent de la dégustation de la prune !) ; et s'il persiste, ce sont ses enzymes digestives qui sont inactivées ! Généralement, l'herbivore s'éloigne assez vite de ce type de plante, d'autant plus que celles-ci sont capables d'augmenter leur production de tannins suite à un début de broutage...

Exemple des Koudous (antilopes d'Afrique du sud) morts suite à l'ingestion répétée de tannins, suite à l'édification de zones protégées par des barbelés
<https://www.tela-botanica.org/2019/03/le-koudou-et-lacacia-histoire-et-analyse-critique-dune-anecdote/>

Ces tannins sont aussi libérés au niveau des racines, où ils se révèlent toxiques pour de nombreuses bactéries, avec le même effet de fixer les enzymes bactériennes extracellulaires, donc d'empêcher leur action.

Cette action au niveau du sol élimine aussi certains compétiteurs, en empêchant leur germination : la juglone sécrétée par les feuilles, écorces, racines des noyers (et de certaines Fabacées) inhibe les protéines des voisins potentiels ; cela se traduit visuellement par un « brûlé » autour de l'arbre.

2) Une synthèse de molécules attractives

Nous verrons dans le chapitre 11 que la reproduction sexuée des Angiospermes est inféodée à la fusion de deux gamètes ; une stratégie sélectionnée est un transport d'un gamète (le pollen) par des insectes, attirés par les couleurs des pétales d'une fleur. Ces couleurs

résultent aussi de la concentration vacuolaire **d'anthocyanes***, qui sont des dérivés de tannins, et qui absorbent certaines longueurs d'onde.

**anthocyane : (du grec anthos « fleur » et kuanos « bleu sombre ») pigments naturels des feuilles, des pétales et des fruits, situés dans les vacuoles des cellules, solubles dans l'eau, allant du rouge orangé au bleu pourpre dans le spectre visible.*

Enfin, la dissémination des graines fait quelques fois appel à des intervenants extérieurs, et ces graines sont alors entourées d'une **chair riche en glucides nutritifs** : cette mise en réserve dans des fruits charnus, *a priori* perdue pour la plante, a été sélectionnée, car les frugivores divers (oiseaux, chauves-souris, primates,...) qui se nourrissent de ces graines vont certes s'en nourrir, mais aussi **disséminer les graines** dans leurs fèces à des distances souvent importantes.

3) Une synthèse de molécules de protection

Les tannins sont souvent produits en grande quantité chez les plantes d'altitude, soumises à un fort rayonnement ultraviolet ; ces molécules, capables d'absorber les courtes longueurs d'onde, exercent alors un **rôle photoprotecteur** (en plus du rôle attracteur pour les pollinisateurs).

De même, les jeunes pousses (de rosier, de vigne, d'agrumes,...) sont souvent rouges, car riches en anthocyanes, qui ont un double rôle :

- rôle photoprotecteur des molécules synthétisées dans les cellules face au milieu oxydant ;
- rôle protecteur contre les herbivores face à de jeunes pousses très tendres...

Ce rôle photoprotecteur se retrouve aussi dans les racines d'arbres qui se retrouvent dans un cours d'eau : leurs extrémités, à la lumière, sont rouges en raison d'anthocyanes.

Enfin, les tannins, molécules souvent hydrosolubles, agissent comme des molécules antigél, en abaissant le point de congélation de l'eau des cellules : elles ont un **rôle cryoprotecteur** ; par exemple, les feuilles protectrices de nombreux bourgeons sont brunes, très riches en tannins (et très coriaces si vous les goûtez !).

Conclusion

La photosynthèse est le métabolisme capital à la surface de la Terre, permettant l'entrée de molécules minérales dans la matière organique. Cette **autotrophie pour le carbone** est à l'origine de presque tous les réseaux trophiques, et de la grande majorité de la biomasse terrestre.

A l'échelle d'une plante, cette synthèse de molécules organiques permet l'édification et la croissance de l'appareil végétatif, ainsi que la reproduction. Une partie des molécules produites est utilisée en défense des prédateurs, ou de compétiteurs vis-à-vis des ressources du milieu, ou pour l'attraction de partenaires ponctuels, pour la fécondation (pollinisation) ou la dissémination des graines.

Mots clés : chloroplaste, pigments chlorophylliens, photolyse de l'eau, réduction du CO_2 , sève brute et sève élaborée, diversité chimique dans la plante.