

**Thème 1 « La Terre dans l'univers, la vie et l'évolution de la vie-
Energie et cellule vivante »**

Référentiel 03

Chap.III La photosynthèse

La croissance et le renouvellement biologique des organismes chlorophylliens s'effectuent en utilisant la lumière comme source d'énergie. Les synthèses de matière organique réalisées nécessitent seulement de l'eau, des sels minéraux et du dioxyde de carbone. Les molécules organiques produites représentent une énergie chimique disponible pour les producteurs primaires eux-mêmes mais aussi pour l'ensemble des consommateurs de l'écosystème.

Par quels mécanismes sont assurées :

- la conversion de l'énergie lumineuse en énergie chimique ?
- l'absorption de dioxyde de carbone ?
- la fixation du carbone dans les molécules organiques ?

I La lumière, source d'énergie indispensable à la photosynthèse

A Le spectre d'action des pigments chlorophylliens

- * La lumière blanche est un mélange de radiations lumineuses dont les longueurs d'onde sont comprises entre 400 et 700 nm (radiations visibles).
- * L'énergie lumineuse est captée par les pigments chlorophylliens.
- * Ces pigments absorbent certaines radiations plus que d'autres : on parle de spectre d'absorption des pigments.
- * Les radiations lumineuses absorbées par les pigments chlorophylliens sont les radiations les plus efficaces pour lesquelles on constate une forte consommation de dioxyde de carbone et une forte production de dioxygène : on parle du spectre d'action* des pigments chlorophylliens. Ce sont les radiations avec lesquelles l'activité photosynthétique est importante.

B La conversion d'énergie

- * L'absorption d'énergie lumineuse va déclencher une succession de réactions d'oxydo-réductions qui se déroule dans le chloroplaste.
- * Ces réactions libèrent à leur tour de l'énergie qui servira à la synthèse d'une molécule, l'ATP*. L'hydrolyse de cette molécule libère une certaine quantité d'énergie qui peut alors être utilisée pour la réalisation de synthèse de matière organique (voir III).
- * Il y a donc conversion de l'énergie lumineuse en énergie chimique.

La photosynthèse comprend deux phases complémentaires :

- la phase photochimique* qui se déroule obligatoirement en présence de lumière et au cours de laquelle l'eau est oxydée et le dioxygène produit.
- La phase non photochimique* qui permet l'incorporation puis la réduction du dioxyde de carbone permettant la synthèse de glucides.

II Les mécanismes biochimiques de la photosynthèse : la phase photochimique

- * Elle se déroule dans les thylakoïdes*.
 - * L'énergie lumineuse est absorbée par les pigments chlorophylliens localisés dans la membrane des thylakoïdes.
 - * Cette absorption déclenche l'oxydation de la chlorophylle qui perd un électron : on obtient Chl^+ .
 - * Les électrons perdus sont ensuite transférés au niveau d'une chaîne de transporteurs localisés dans la membrane des thylakoïdes. Une succession d'oxydo-réduction est alors réalisée.
 - * Les électrons sont transférés jusqu'à un accepteur final noté R qui est réduit en RH_2 .
- Bilan : * Les réactions d'oxydo-réduction exoénergétiques* sont couplées avec la synthèse d'ATP
- ⇒ la phase photochimique permet la synthèse d'ATP
 - * L'accepteur final d'électron est réduit
 - ⇒ la phase photochimique permet la formation de RH_2
- * L'eau est oxydée par la perte d'électrons qui sont acceptés par la chlorophylle Chl^+ : la chlorophylle est réduite et ainsi régénérée et le dioxygène produit selon la réaction $2 \text{H}_2\text{O} = \text{O}_2 + 4 \text{H}^+ + 4\text{e}^-$ Photo-oxydation de l'eau

III Les mécanismes biochimiques de la photosynthèse : la phase non photochimique

- * Elle se déroule dans le stroma* des chloroplastes.
- * Le dioxyde de carbone se fixe sur une molécule organique en C_5 , le ribulose diphosphate ou RuDP^* ; on obtient une molécule en C_6 .
- * La molécule en C_6 se scinde immédiatement en deux molécules en C_3 , l'acide phosphoglycérique ou APG^* (PGA).

- * L'APG est réduit en triose phosphate C₃P ; cette réduction est couplée à l'oxydation de RH₂ ce qui permet de régénérer l'accepteur final R d'électrons de la phase photochimique.
 - * Une partie des C₃P* sert à la synthèse de glucides comme le glucose.
 - * Une autre partie sert à reformer le RuDP, ce qui permet l'incorporation de nouvelles molécules de CO₂ (Cycle de Calvin*).
- Enfin, l'ATP formé grâce à la phase photochimique fournit l'énergie nécessaire aux réactions qui se déroulent lors de la phase non photochimique.

On a donc les étapes suivantes :



- ⇒ les deux phases de la photosynthèse sont donc couplées :
 - La phase photochimique fournit l'ATP et le RH₂ nécessaires à la phase non photochimique.
 - La phase non photochimique permet la régénération de l'accepteur final d'électrons R nécessaire à la phase photochimique.
- ⇒ Les molécules organiques produites lors de la photosynthèse vont permettre aux parties non chlorophylliennes de la plante d'effectuer une oxydation de ces molécules au cours de la respiration cellulaire. Les cellules végétales non chlorophylliennes se comportent donc comme des cellules hétérotrophes.

IV La production de matière organique au niveau des feuilles (cas des plantes)

A l'échelle de l'organe

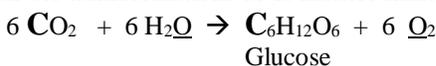
- * La production de matière organique se réalise au niveau des parties chlorophylliennes. La présence de pigments chlorophylliens* est donc indispensable.
- * Cette production n'est possible qu'en présence de lumière.
- * La matière produite mise en évidence au niveau des feuilles est de l'amidon*. Il s'agit d'une macromolécule formée par l'enchaînement de très nombreuses molécules de glucose*. Le glucose est donc la première molécule organique synthétisée. Puis à partir de glucose, il y a synthèse d'amidon.
- * La production de matière organique nécessite un approvisionnement en CO₂. Chez les végétaux chlorophylliens supérieurs, cet approvisionnement en CO₂ se réalise au niveau des feuilles.
- * La production de matière organique et l'incorporation de CO₂ s'accompagnent d'un rejet de dioxygène.
- * La production de matière organique nécessite un approvisionnement en eau apportée par la sève brute*.
- * Le végétal produit ensuite divers composés organiques en utilisant les premières molécules organiques produites et des substances minérales apportées par la sève brute.

B A l'échelle microscopique

- * Des observations effectuées au microscope optique montrent la présence de structures particulières, les stomates. Les stomates sont les orifices d'entrée du dioxyde de carbone :
 - le stomate est constitué par deux cellules stomatiques entre lesquelles il existe un orifice appelé ostiole.
 - sous chaque stomate se trouve une très vaste lacune dans laquelle une circulation de gaz est possible ; le CO₂ pénètre dans la plante par les stomates.
 - le dioxyde de carbone peut ainsi atteindre les cellules chlorophylliennes puis le cytoplasme de ces cellules pour atteindre finalement les chloroplastes.
- * Le dioxygène produit suit le trajet inverse du dioxyde de carbone.
- * Le chloroplaste, contenant les pigments chlorophylliens, est le lieu de synthèse du glucose. Ce glucose peut ensuite être stocké dans les chloroplastes sous forme d'amidon.

C A l'échelle moléculaire

- * Un marquage radioactif du C du CO₂, montre que ce carbone se retrouve dans les molécules de glucose : il y a donc incorporation du CO₂.
- * Un marquage radioactif de l'oxygène de l'eau utilisé par un végétal chlorophyllien montre que cet oxygène se retrouve dans le dioxygène rejeté.
- * Le bilan des transformations de la matière minérale en matière organique peut alors s'écrire :



Le carbone C du dioxyde de carbone se trouve incorporé dans une molécule organique, le glucose.

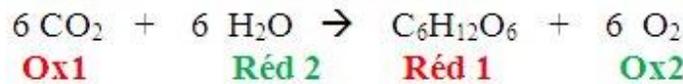
La lumière est la source d'énergie indispensable à la réalisation de cette réaction de synthèse: on parle de photosynthèse. Le dioxygène produit par la photosynthèse provient de l'oxygène O de l'eau.

Remarque : 1) Vous devez comprendre que l'intérêt des végétaux chlorophylliens vient du fait qu'ils permettent l'entrée d'énergie dans un écosystème. **Cette énergie est de l'énergie lumineuse qui est ensuite convertie en énergie chimique** (ATP : voir réf.01). Grâce à cette énergie, les végétaux chlorophylliens sont capables d'utiliser de la matière minérale (eau et dioxyde de carbone) et la transformer en matière organique (glucides).

2) Vous devez aussi comprendre que le carbone du dioxyde de carbone est sous forme oxydée et lorsqu'il est incorporé dans la matière organique, ce carbone passe à l'état réduit. CO₂ est donc l'oxydant 1 (Ox1) et C₆H₁₂O₆ le réducteur 1. Il y a donc au cours de l'incorporation du carbone minéral, une réduction.

Or, vous savez qu'une réduction s'accompagne d'une oxydation : l'oxygène de H₂O est sous forme réduite. Lors de la photosynthèse, H₂O passe sous forme oxydée et il y a alors production de O₂.

On peut résumer de la façon suivante :



Ainsi, tout se passe entre deux couples rédox : couple 1 C₆H₁₂O₆/CO₂
couple 2 H₂O/O₂

Il est évident, que ces réactions d'oxydo-réduction s'accompagnent d'un transfert d'électrons. Vous avez appris qu'un réducteur peut céder des électrons et un oxydant, en accepter. Retenir que : Ox + n e⁻ → Red et inversement.

L'équation bilan de la photosynthèse montre que H₂O va céder des électrons et donc passe à l'état oxydé O₂ et que CO₂ va accepter ces électrons et passer ainsi à l'état réduit C₆H₁₂O₆.

⇒ Autrement dit, la photosynthèse est une succession de réactions d'oxydo-réduction. Ces réactions sont mises en route à partir du moment où le végétal chlorophyllien capte de l'énergie lumineuse. L'énergie lumineuse est en quelque sorte un « déclencheur » de ces réactions.

⇒ Par conséquent, étudier un phénomène biologique, c'est aussi avoir des connaissances en chimie !!!!

IV Utilisation de la matière organique produite par le végétal chlorophyllien

La matière organique produite par le végétal chlorophyllien est transportée vers les différents organes du végétal par la sève élaborée*.

Les glucides synthétisés (essentiellement du saccharose) à la suite de la photosynthèse au niveau des feuilles peuvent :

- être stockés dans les chloroplastes sous forme d'amidon
- être véhiculés par la sève élaborée sous forme de petites molécules comme le glucose, le saccharose* et ainsi être transportés vers les autres organes de la plante pour y être stockés ou transformés ou dégradés notamment au niveau des parties non chlorophylliennes de la plante qui sont donc hétérotrophes (organes de stockage comme les fruits, les graines...)
- être utilisés pour permettre la synthèse de tous les autres constituants chimiques (acides aminés, lipides, ...) grâce à un apport d'ions minéraux transportés par la sève brute.

Lexique Référentiel 03 Spé SVT

Amidon : glucide, polymère du glucose constitué de n molécules de glucose, de formule brute (C₆H₁₀O₅)_n

APG : Acide phosphoglycérique, molécule en C3 donc à 3 atomes de carbone. Intervient dans le cycle de Calvin.

ATP : Adénosine TriPhosphate, molécule organique, source d'énergie utilisable par les cellules. (voir réf.01)

Autotrophie : Capacité pour un organisme de produire de la matière organique à partir de matière minérale. Les végétaux chlorophylliens sont autotrophes par rapport au carbone car ils sont capables d'utiliser du carbone minéral et de le transformer en carbone organique.

Chlorophylle : molécule organique, pigments des végétaux chlorophylliens localisés dans la membrane des thylakoïdes des chloroplastes et capable d'absorber certaines radiations lumineuses. La chlorophylle permet ainsi de capter de l'énergie lumineuse.

Chloroplaste : organite des cellules chlorophylliennes au niveau duquel s'effectuent les différentes étapes de la photosynthèse.

C3P : Triose phosphate, molécule en C3 donc à trois atomes de carbone. Intervient dans le cycle de Calvin.

Cycle de Calvin : Ensemble des réactions biochimiques effectuées par certains végétaux chlorophylliens permettant l'incorporation de CO₂ et la synthèse de matière organique ainsi que la régénération du ribulose di-phosphate.

Endoénergétique : se dit d'une réaction nécessitant un apport d'énergie.

Exoénergétique : se dit d'une réaction qui libère de l'énergie.

Glucose : glucide simple (ose) de formule brute $C_6H_{12}O_6$.

Phase photochimique : étape de la photosynthèse au cours de laquelle l'apport d'énergie lumineuse permet le déclenchement de réactions d'oxydo-réduction et la conversion de cette énergie lumineuse en énergie chimique (synthèse d'ATP).

Phase non photochimique : étape de la photosynthèse au cours de laquelle le CO_2 est incorporé dans la matière organique permettant ainsi la synthèse de matière organique.

Photosynthèse : Ensemble des étapes permettant la synthèse de matière organique grâce à l'énergie lumineuse captée par les cellules chlorophylliennes.

RuDiP : Ribulose diPhosphate, molécule en C5 donc à cinq atomes de carbone. Intervient dans le cycle de Calvin.

Saccharose : glucide (diose ou dioside), dimère glucidique constitué de deux oses, un glucose et un fructose, et de formule brute $C_{12}H_{22}O_{11}$

Sève brute : Chez les végétaux supérieurs, solution circulant dans des vaisseaux conducteurs et permettant l'apport d'eau et de sels minéraux absorbés au niveau des racines puis véhiculés vers les feuilles.

Sève élaborée : Chez les végétaux supérieurs, solution circulant dans des vaisseaux conducteurs et contenant des molécules organiques synthétisées au niveau des feuilles ; la sève élaborée permet de distribuer à l'ensemble du végétal les molécules organiques synthétisées.

Spectre d'absorption : Capacité d'absorption des différentes radiations lumineuses par des pigments.

Spectre d'action : Efficacité photosynthétique de chaque longueur d'onde.

Stomate : Structure cellulaire permettant des échanges gazeux entre le milieu extérieur et l'atmosphère interne des feuilles des végétaux supérieurs.

Stroma : Compartiment du chloroplaste où se déroule notamment la phase non photochimique de la photosynthèse.

Thylakoïde : Ensemble de cavités délimitées par une membrane, dans le chloroplaste, et au niveau duquel se déroule la phase photochimique de la photosynthèse.