

La plante, productrice de la matière organique grâce à la photosynthèse

Introduction :

Les végétaux sont les principaux **producteurs primaires**. Cela signifie qu'ils sont à la base de la chaîne alimentaire car ils sont capables de se nourrir et de produire de la matière organique à partir de matière minérale et d'eau : on dit d'eux qu'ils sont autotrophes.

Nous allons voir, dans ce cours, comment la plante produit des molécules organiques utiles à sa structure et à son fonctionnement. Nous étudierons le mécanisme impliqué dans la production de matière organique : la **photosynthèse**. Nous verrons ensuite quelles molécules sont produites et comment elles sont utilisées par la plante.

1 | Qu'est-ce que la photosynthèse

a. Les chloroplastes, siège de la photosynthèse

Nous l'avons vu dans **le cours précédent**, les feuilles des plantes sont structurées en plusieurs couches. Les couches supérieures, les plus exposées au soleil, possèdent des cellules riches en **chloroplastes**.

→ La présence d'un grand nombre de chloroplastes dans les couches supérieures est donc directement liée à la fonction de la feuille et des chloroplastes : **capter l'énergie solaire**.

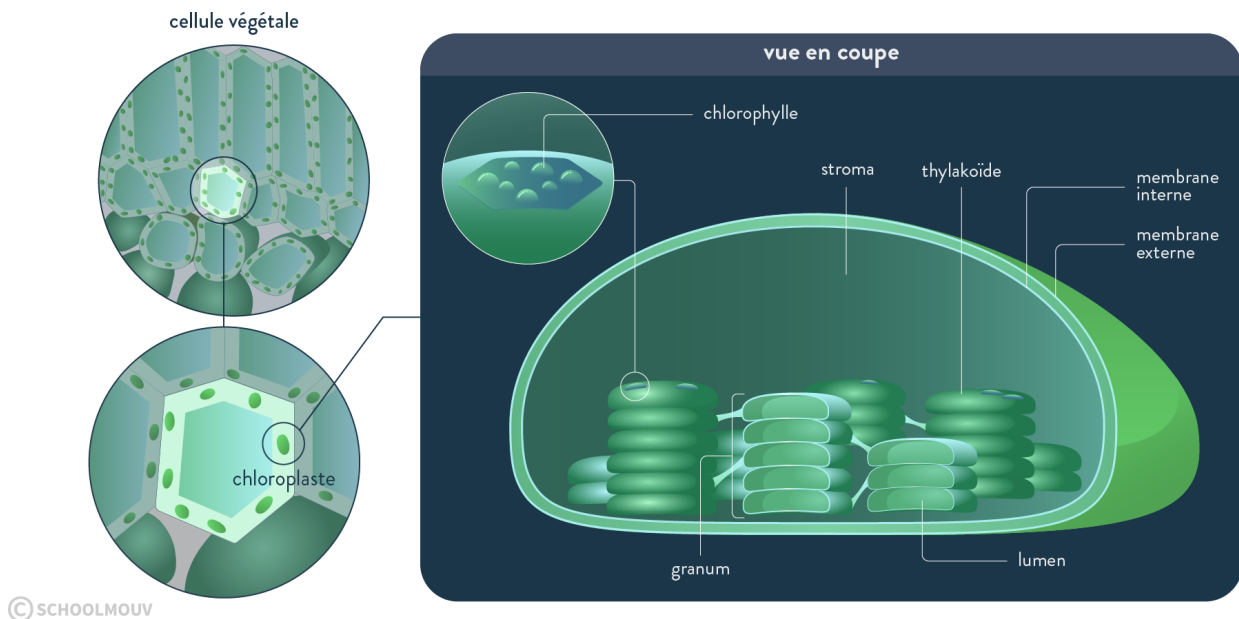


Définition

Chloroplaste :

Un chloroplaste est un organe présent dans certaines cellules végétales (les cellules chlorophylliennes). Il est le siège de la photosynthèse.

Composition d'un chloroplaste



Le **chloroplaste** est composé de deux membranes séparant le **stroma** (liquide intra-chloroplastique) et le cytoplasme de la cellule. À l'intérieur du chloroplaste se trouvent des compartiments qu'on appelle **thylakoïde**. Lorsque ceux-ci sont empilés les uns sur les autres, ils forment le **granum**. L'intérieur du thylakoïde est appelé le **lumen**.



À retenir

La membrane des thylakoïdes est composée de **chlorophylles** qui permettent de capter l'énergie solaire.



Définition

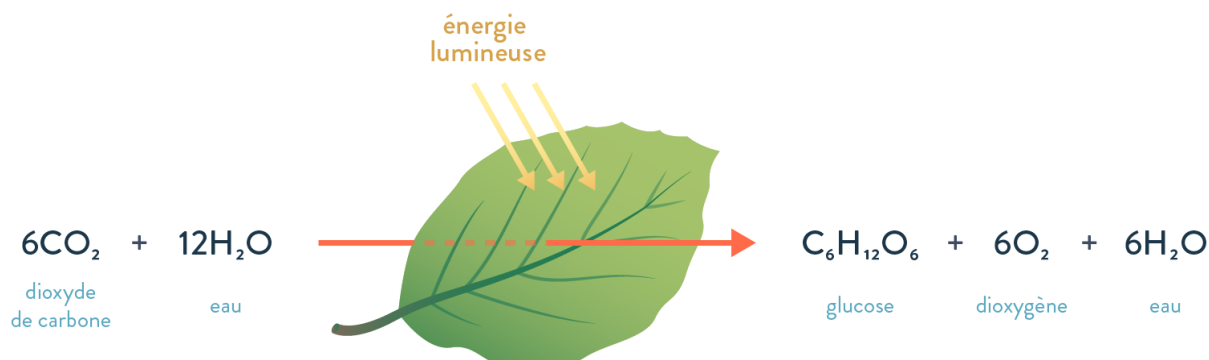
Chlorophylle :

La chlorophylle est composée de différents pigments photosynthétiques. En absorbant les couleurs bleue et rouge, elle donne leur couleur verte aux végétaux.

b.

La réaction photosynthétique

La **photosynthèse** est le mécanisme qui transforme l'énergie lumineuse en énergie chimique. La formulation de la réaction bilan de la photosynthèse est la suivante :



Elle se déroule en deux phases faisant intervenir une réaction d'oxydo-réduction :

- la **phase claire ou photochimique** en présence de lumière ;
- et la **phase sombre ou chimique**.



Définition

Réaction d'oxydo-réduction :

Une réaction d'oxydo-réduction est une réaction chimique durant laquelle des molécules échangent des électrons.

2 | Mécanismes de la photosynthèse

a. La phase claire



À retenir

Durant la **phase claire**, la plante consomme de l'eau (H_2O) et du dioxyde de carbone (CO_2) ainsi que des intermédiaires qui permettront de former des sucres lors de la phase sombre. Ce processus se déroule dans la membrane des thylakoïdes.

L'eau drainée par les racines est acheminée par la sève brute dans le **xylème** jusqu'aux chloroplastes. Elle est alors absorbée par les cellules. Mais comment cette eau est-elle utilisée ?



Exemple

En 1941, les scientifiques **Ruben** et Kamen cherchent à déterminer d'où provient l' O_2 émanant des végétaux. Du CO_2 ou de l' H_2O absorbés par la plante ?

Pour ce faire, ils mettent en culture des chlorelles dans une eau (H_2O) enrichie en dioxyde de carbone (CO_2). Certaines molécules de la solution sont marquées à l'isotope lourd ^{18}O . Voici les résultats observés :

Molécules contenant l'isotope ^{18}O	proportion des molécules d' H_2O	proportion des molécules de CO_2	proportion des molécules d' O_2 produites
Suspension A	85 %	20 %	84 %
Suspension B	20 %	0,68 %	20 %

→ L' O_2 provient donc de la molécule d' H_2O et non de la molécule de CO_2 .

La photolyse moléculaire de l'eau est rendue possible grâce aux pigments chlorophylliens photosynthétiques contenus dans les thylakoïdes : ils sont **excités par les photons lumineux**.

→ L'eau cède des électrons et des protons pour donner du dioxygène : c'est l'**oxydation**.

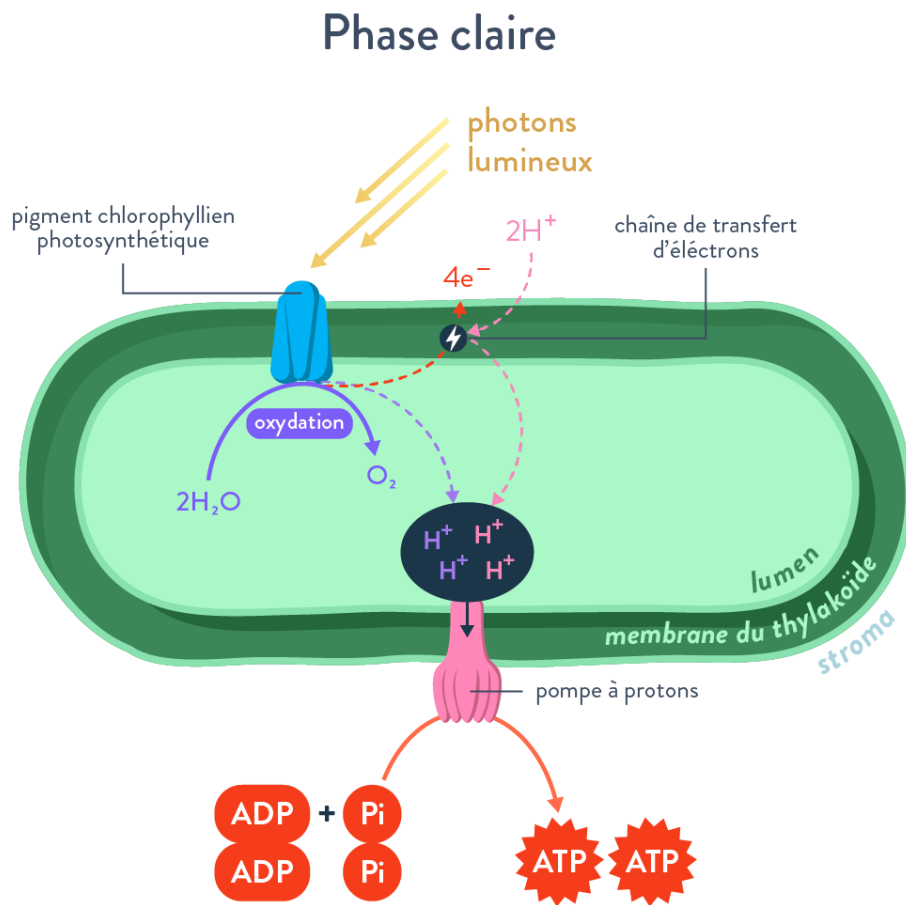


Les électrons sont transférés le long de la membrane du thylakoïde. Lors de ce transfert, il y a **un échange de protons H^+** du stroma vers l'intérieur du

thylakoïde.

La production des protons H^+ lors de la photolyse de l'eau permet d'alimenter une pompe à proton qui fabrique en contrepartie de l'énergie chimique sous forme d'ATP.

→ L'énergie lumineuse a ainsi été transformée en énergie chimique.



© SCHOOLMOUV

👁️ À retenir

Le bilan de la phase claire est donc le suivant :

Bilan de la phase claire



Les produits de la phase claire sont l' O_2 , l'ATP et le H^+ . Nous allons maintenant étudier comment ces produits sont utilisés pour former des sucres.

b. La phase sombre

La **phase sombre** a lieu dans le stroma du chloroplaste. Elle se déroule en absence de lumière et est, de ce fait, en décalage par rapport à la phase claire.



Lors de la phase sombre, les produits de la phase claire sont utilisés pour former des **sucres**.

Au cours de leurs expériences, Ruben et Kamen se sont également intéressés au devenir du CO_2 lors de la réaction photosynthétique. Où vont les molécules de dioxyde de carbone ?



Dans cette expérience, les chlorelles sont mises en culture à la lumière, toujours dans une eau enrichie en dioxyde de carbone. Les molécules de CO_2 de la suspension C ont été marquées à l'isotope ^{14}C , celles de la suspension D à l'isotope ^{18}O . Voici les résultats observés :

- L'amidon produit à partir de la suspension C est marqué au ^{14}C .
 - L'amidon produit à partir de la suspension D est marqué au ^{18}O .
- Les glucides produits lors de la photosynthèse proviennent des molécules de dioxyde de carbone.

Les atomes de carbone et d'oxygène du CO_2 vont donc se retrouver dans les molécules de glucide $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$.

→ On a donc une **réduction** du dioxyde de carbone en glucide.



La phase sombre a été plus amplement expliquée par Calvin et Benson. Elle se déroule en trois étapes qu'on nomme **le cycle de Calvin** :

1 La fixation du CO_2 et la formation d'APG (phosphoglycérate)

L'APG est un sucre à 3 carbones et 1 phosphate. Il est formé grâce à la fixation du carbone du CO_2 sur un sucre à 5 carbones et 2 phosphates : le RuBP (ribulose-1,5-bisphosphate). Cette réaction se fait grâce à une enzyme : la Rubisco.



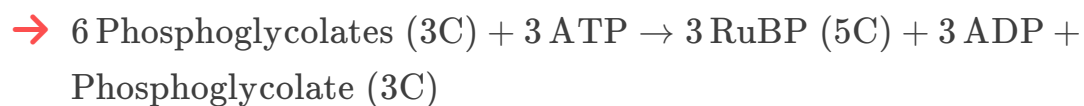
2 La production de phosphoglycolate

Cette étape fait le lien entre la phase claire et la phase sombre. C'est ici que les produits de la phase claire sont utilisés. Ils permettent de produire un intermédiaire essentiel : le phosphoglycolate.

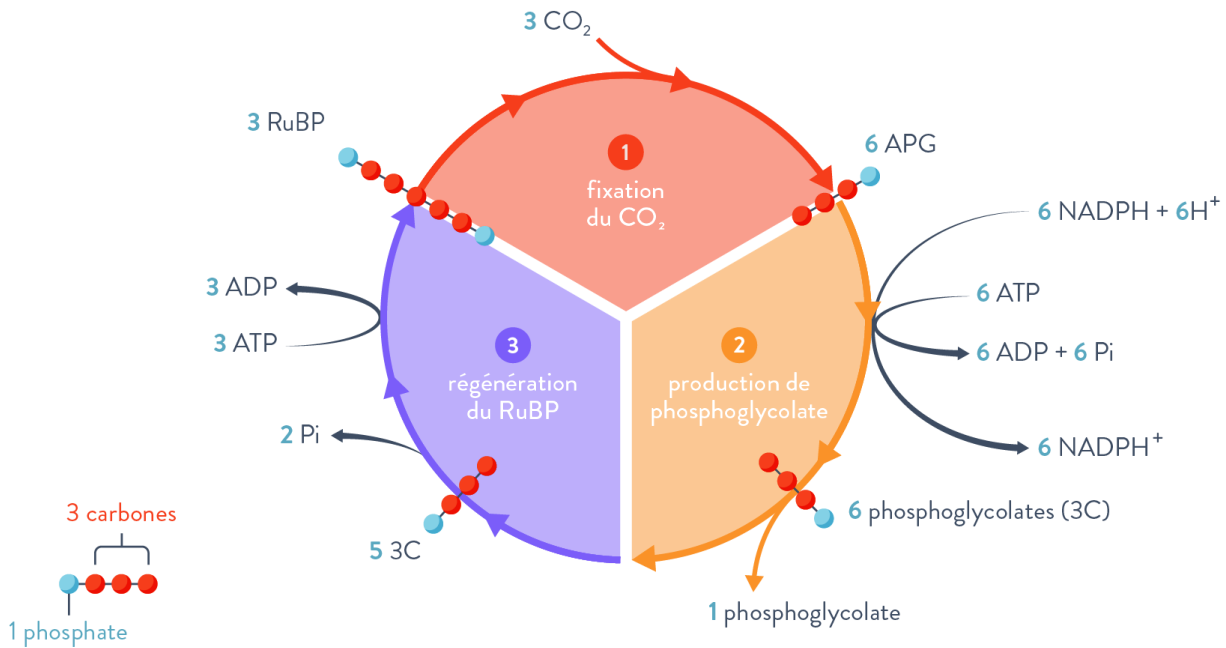


3 La régénération de RuBP

Cette étape est la dernière qui permet de boucler le cycle de Calvin et donc de revenir au point de départ, à savoir le RuBP. Une partie du phosphoglycolate produit est utilisé pour reformer le RuBP.



Phase sombre – Cycle de Calvin

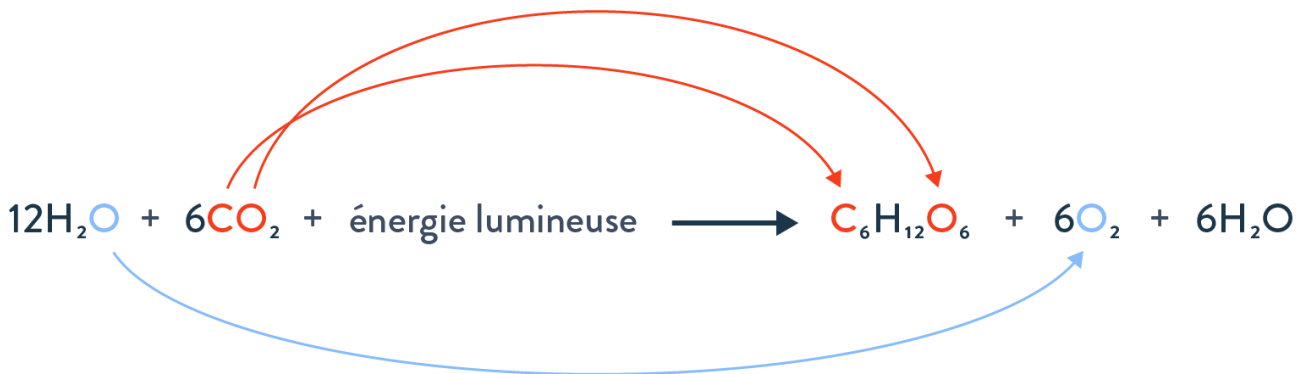


Le phosphoglycolate est ensuite métabolisé pour former du glucose ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$). Il faut donc deux cycles de Calvin pour produire une molécule de glucose.

 À retenir

Ainsi, pour réaliser la photosynthèse, il y a donc eu :

- oxydation de l' H_2O ;
- réduction du CO_2 ;
- transformation de l'énergie lumineuse en énergie chimique.



3 | Le devenir des produits photosynthétiques

Nous venons de l'observer : la photosynthèse produit du glucose. Mais comment ce glucose est-il utilisé ? Nous allons voir qu'il est dans un premier temps stocké, avant d'être remobilisé pour différentes fonctions essentielles à la survie de la plante.

a. Le stockage des sucres dans la plante



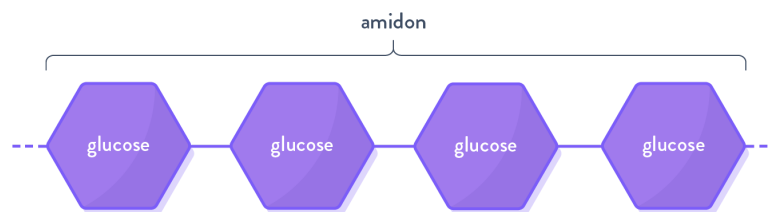
Chez l'être humain, le glucose est stocké sous forme de glycogène dans le foie.

Chez la plante, on retrouve une molécule similaire au glycogène qui permet de stocker le glucose. Cette molécule est l'**amidon** (nous l'avons croisée dans les expériences de Ruben et Kamen vues ci-dessus).



Amidon :

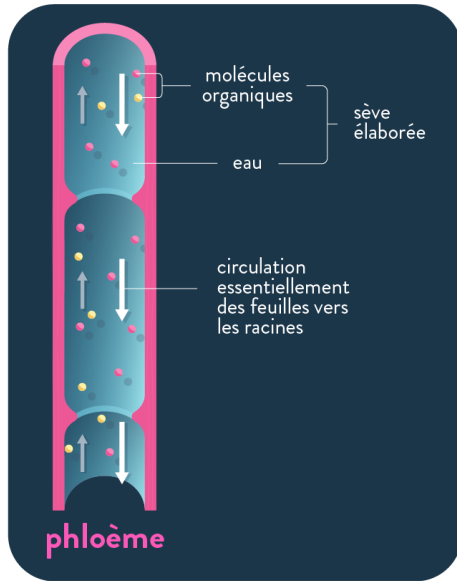
L'amidon est un polymère de glucose. C'est un sucre complexe détectable avec un test à l'eau iodée ou au Lugol.



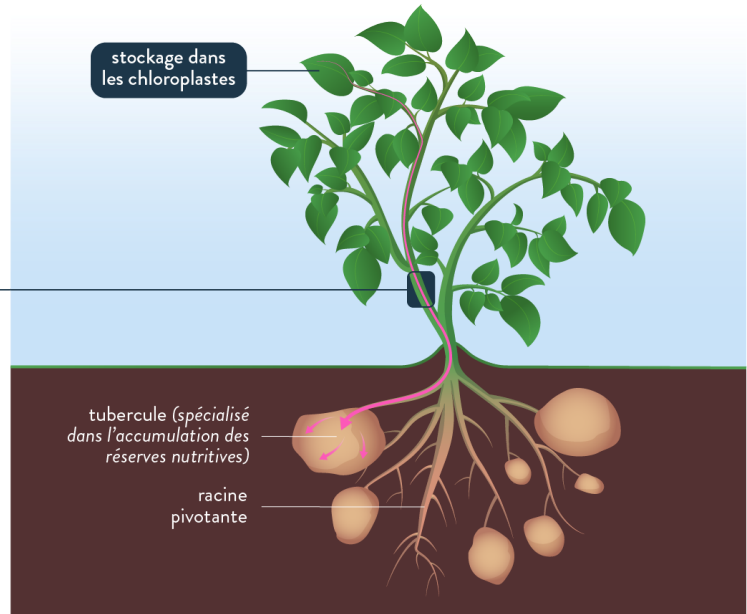
© SCHOOLMOUV

Cet amidon est stocké dans un premier temps au niveau de la feuille dans les chloroplastes. Il peut être exporté dans d'autres organes de la plante par la sève élaborée qui circule dans le **phloème**.

Stockage et circulation de l'amidon



© SCHOOLMOUV



Chez certaines espèces végétales, il existe des organes de stockage spécialisés. Ces organes se modifient lors de la phase de tubérisation (mise en réserve). Voici une liste non exhaustive des différentes structures et des molécules de stockage, ainsi que leur rôle associé chez la plante.

Aliment	Espèce végétale (famille)	Organe de stockage	Rôle de l'organe	Molécule de stockage
pomme de terre	<i>Solanum tuberosum</i> (Solanacée)	tige souterraine (tubercule)	réserve, survie pendant l'hiver	amidon
carotte	<i>Daucus carota</i> (Apiacée)	racine (tubercule)	réserve, survie pendant l'hiver	saccharose, lipides
melon	<i>Cucumis melo</i> (Cucurbitacée)	fruit	protéger les graines et	saccharose

			favoriser la dispersion	
maïs	<i>Zea mais</i> (Poacée)	graine	reproduction	lipides, protéines, amidon
patate douce	<i>Ipomea batatas</i> (Convolvulacée)	racine (tubercule)	réserve, survie pendant l'hiver	amidon



Définition

Tubercule :

Un tubercule (du latin *tuberculum* qui signifie « petite bosse ») est un organe de réserve souterrain. Au sens strict, le tubercule est une tige souterraine verticalisée ayant subi une tubérisation de l'entre-nœud. Le terme a été élargi à l'ensemble des organes de stockage souterrains qui subissent une tubérisation.



Définition

Bulbe :

Un bulbe est issu de la tubérisation des feuilles ou des bourgeons. Les bulbes sont des tubercules particuliers.

Nous pouvons voir qu'il existe un grand nombre d'organes de stockage (tige, racine, fruit, graine) et de nombreuses molécules de stockage (lipides, glucides complexes ou réducteurs, protéines).



Astuce

On notera par ailleurs, et c'est logique, que notre alimentation est principalement basée sur les organes de réserve des végétaux.

b. L'utilisation des sucres dans la plante

Nous allons maintenant étudier comment ces molécules stockées permettent la survie de la plante.

1 La production d'énergie chimique

La principale utilisation des sucres dans la plante ainsi que dans tous les êtres vivants concerne le métabolisme.

Le **métabolisme du glucose** permet de produire de l'énergie sous forme d'**ATP** au niveau de la mitochondrie. Cette énergie chimique permet à la plante de réaliser les réactions nécessaires : notamment la division cellulaire et donc sa **croissance**.

2 La formation de molécules structurantes

Le glucose produit par la plante lors de la photosynthèse est également transformé en **cellulose**, un autre des polymères de glucose que l'on retrouve dans la paroi des cellules.

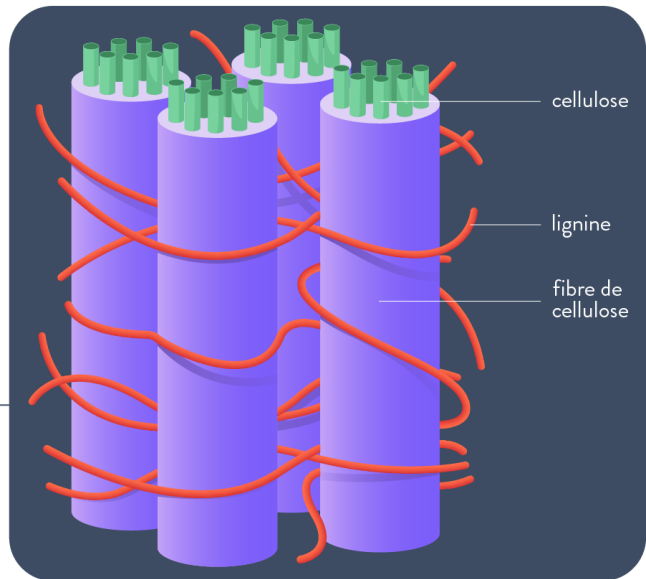
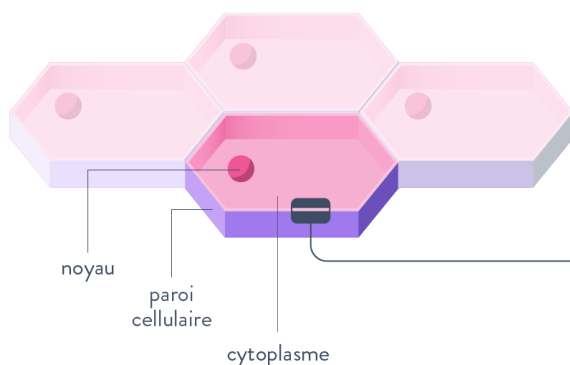


La paroi d'une cellule végétale est la partie externe de la cellule. Elle est rigide et permet le maintien de la cellule et de la plante.

La cellulose est donc essentielle dans la structuration de la plante au niveau cellulaire.

Il existe d'autres molécules, issues du métabolisme du glucose qui permettent la structuration de la plante au niveau de l'organisme entier, comme la **lignine**, par exemple. Il s'agit d'un des composants principaux du bois, que l'on retrouve également dans la paroi des cellules. C'est son association avec la cellulose qui confère au bois sa très forte rigidité. La lignine est également présente dans les tissus conducteurs de la plante et assure la rigidité de ses tissus.

Cellule du bois



© SCHOOLMOUV

3 La défense contre la prédation

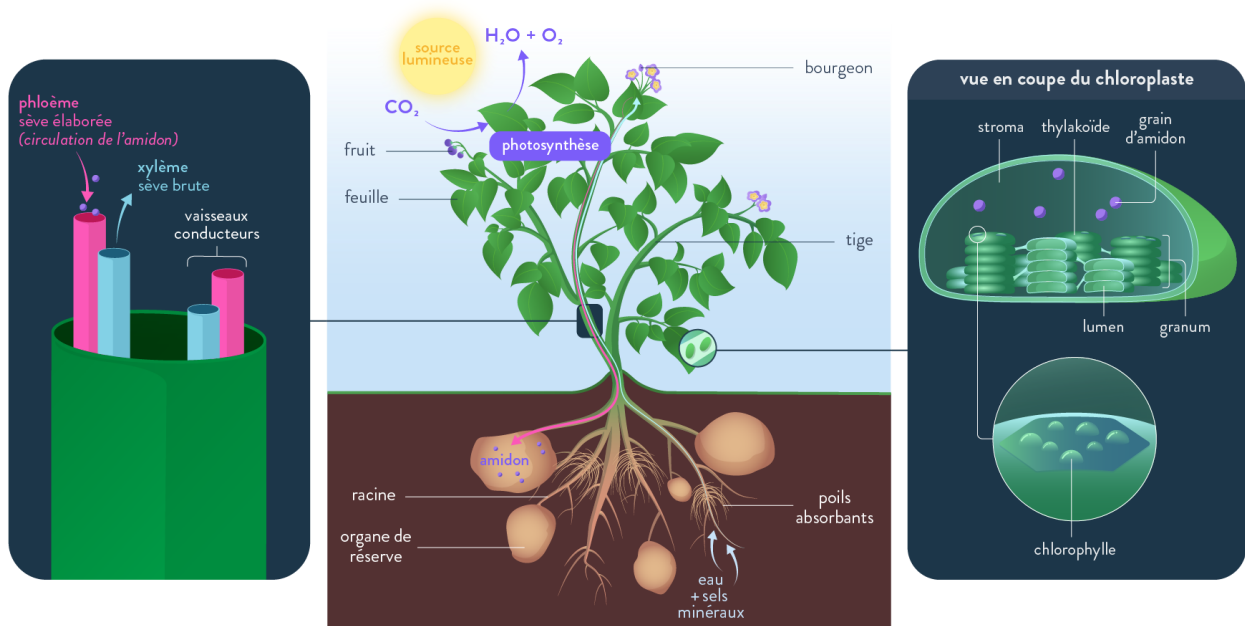
Enfin, les plantes étant fixées et donc sensibles à la pression de prédation des herbivores, elles ont développé des **mécanismes de défense**. Elles produisent des molécules toxiques qui peuvent rendre malade ou même tuer les prédateurs (cf. l'acacia et les mammifères qui le broutent). Ces molécules sont stockées dans la vacuole pour ne pas nuire au fonctionnement normal de la cellule végétale. Parmi ces molécules nous retrouvons les **tanins**. Ces polyphénols sont produits à partir des glucides métabolisés dans la feuille. Les tanins agissent directement sur les protéines et sucres des organismes qui les ingèrent. Ils précipitent ces molécules, entraînant des conséquences désastreuses pour le fonctionnement cellulaire du prédateur. On retrouve ces tanins dans de nombreuses baies non-comestibles, mais également dans le vin : ils sont recherchés dans le domaine viticole et sont même une caractéristique principale de certains vins rouges de la région bordelaise.

Conclusion :

Nous avons vu dans ce cours que la photosynthèse permet à la plante de produire des molécules organiques essentielles à son fonctionnement, sa structure, et donc sa survie. La photosynthèse se réalise dans la feuille et plus particulièrement grâce à des pigments chlorophylliens contenus dans les chloroplastes. Elle se déroule en deux phases : la phase claire en présence de lumière où la molécule d'eau est oxydée avec production d'

O₂ ; et la phase sombre où le CO₂ minéral est réduit pour produire des molécules organiques. Les plantes sont donc le point d'entrée de l'énergie dans les écosystèmes. Les produits dérivés de la photosynthèse sont essentiels à la plante mais également à toute la chaîne alimentaire qui en dépend. Les plantes, et particulièrement les organes de stockage représentent la principale source de nourriture mondiale (riz, blé, soja) mais ont aussi un impact sur le patrimoine et notamment sur la viniculture.

Fonctionnement de la nutrition d'une plante



© SCHOOLMOUV