

Organisation fonctionnelle des plantes et production de matière organique

Les parties aériennes des plantes terrestres sont des lieux de production de matière organique.

Montrer comment l'organisation et le fonctionnement des feuilles de la plante permettent la production de glucose et autres sucres solubles.

Vous rédigerez un texte argumenté. On attend des expériences, des observations, des exemples pour appuyer votre exposé et argumenter votre propos.

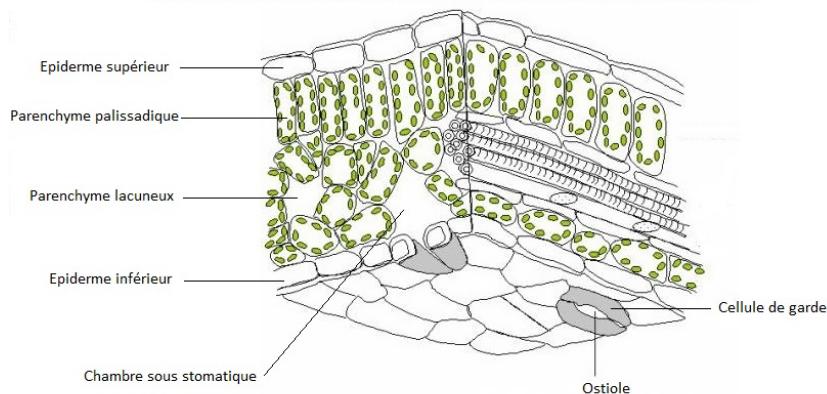
Les plantes sont des organismes autotrophes car elles produisent leurs molécules organiques (glucose et autres sucres solubles) à partir de matières minérales (CO_2 de l'air, eau et ions minéraux du sol). Cette production nécessite de la lumière : c'est la photosynthèse. C'est essentiellement au niveau des feuilles que se réalise ce métabolisme.

Comment l'organisation et le fonctionnement des feuilles permettent la photosynthèse ?

Nous verrons dans une première partie la structure de la feuille et dans une seconde partie les processus biochimiques de la photosynthèse.

I- Les feuilles, grandes surfaces aériennes adaptées aux échanges

Vue en coupe schématique d'une feuille : coupe transversale et longitudinale



Les feuilles réalisent la photosynthèse. Cette réaction métabolique consomme des éléments minéraux, en particulier du CO_2 (d'origine atmosphérique) et de l'eau (prélevée dans le sol) et nécessite de la lumière, qui constitue la source d'énergie de la photosynthèse.

Différentes caractéristiques des feuilles favorisent l'efficacité de l'absorption de l'énergie lumineuse et des gaz indispensables à la photosynthèse.

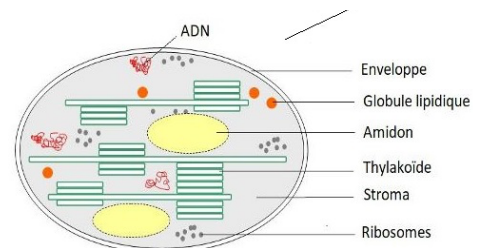
- La feuille possède des structures particulières.

Entre deux épidermes, on trouve des cellules chlorophylliennes photosynthétiques organisées en parenchyme :

- le **parenchyme palissadique** organisé en couches serrées et développé dans la partie supérieure
- le **parenchyme lacuneux** séparées par des espaces remplis d'air

Le parenchyme des feuilles possède les cellules chlorophylliennes pourvues d'organites spécialisés, les chloroplastes, organites qui doivent leur couleur verte à la chlorophylle qu'ils renferment.

Le chloroplaste renferme un important réseau de membranes internes formant des thylakoïdes. C'est dans la membrane des thylakoïdes que sont situés les pigments chlorophylliens qui sont des pigments photorécepteurs (xanthophylles, carotènes, chlorophylle *a* et *b*).



Echelle de l'organite : le chloroplaste

- Au niveau de l'épiderme inférieur, la feuille possède de nombreux stomates. Ils sont constitués par deux cellules de garde délimitant une ouverture nommée ostiole. C'est par cet orifice que sortent ou entrent les gaz (CO_2 , O_2 , H_2O). Les stomates s'ouvrent ou se ferment selon les conditions externes. La présence d'un grand nombre de chloroplastes dans les couches supérieures est donc directement liée à la fonction de la feuille : capter l'énergie lumineuse.

Comment se déroule la production de matière organique au niveau de la feuille ?

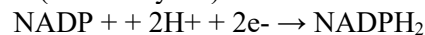
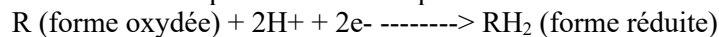
II- Les processus biochimiques de la photosynthèse

La photosynthèse, qui conduit à la production de matière organique, se déroule dans les cellules chlorophylliennes en deux phases distinctes mais couplées :

a- une phase photochimique

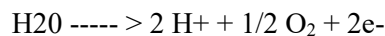
C'est une phase rapide, impliquant directement la lumière et se réalisant dans l'épaisseur des membranes des thylakoïdes où se trouvent les molécules de chlorophylle. Elles se déroulent en différentes étapes :

1- Excitation des pigments photosynthétiques par la lumière et libération d'électrons
 2- Transit des électrons à travers les photosystèmes de la membrane des thylakoïdes des chloroplastes. Le premier accepteur d'électrons les transfère le long d'une chaîne de réactions d'oxydo-réduction jusqu'à un dernier accepteur d'électrons qui est alors réduit :



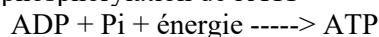
Robert Hill montra en 1937 que le dégagement d' O_2 peut être obtenu avec des chloroplastes isolés exposés à la lumière, à condition que le milieu contienne une substance chimique capable de fixer des électrons, molécule qualifiée donc d'oxydant. Ainsi, les réactions chimiques qui se produisent lors de la photosynthèse correspondent à des réactions d'oxydoréduction.

3 - Régénération du donneur d'électrons et photolyse de l'eau

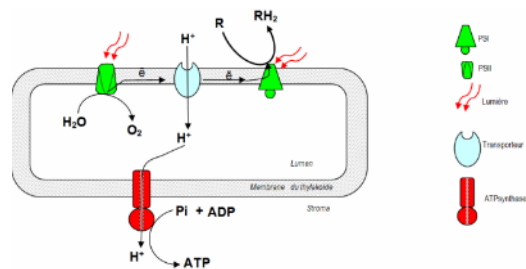


4 - Établissement d'un flux de protons qui active une ATP synthétase

5- Photophosphorylation de l'ATP



Cette phase permet la génération de RH_2 et d'ATP nécessaire à la réduction du CO_2 lors de la phase non photochimique



b- une phase non photochimique

C'est une phase plus lente, pendant laquelle le CO_2 est incorporé à la matière organique, se réalisant dans le stroma (grâce à l'enzyme **Rubisco**) : **C'est le Cycle de Calvin**

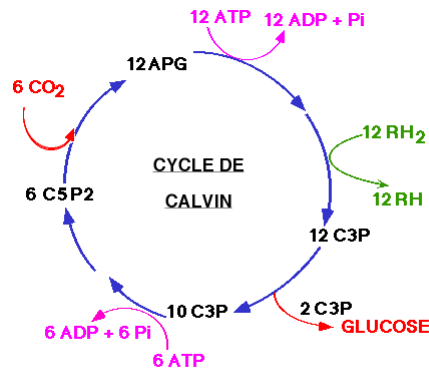
- Il se déroule dans le stroma des chloroplastes
- Il ne nécessite pas la présence directe de lumière mais il est couplé à la phase photochimique
- Le CO_2 oxydé, doit être réduit pour être incorporé aux molécules organiques de la plante.
- L'accepteur du CO_2 est le RU-BP et le produit de la fixation est un composé intermédiaire à 6C qui se scinde instantanément en 2 molécules à 3 atomes de carbone : le 3-phosphoglycérate (APG).
- Chaque molécule d'APG reçoit un groupement phosphate supplémentaire pris à l'ATP, le RH_2 lui cède ses électrons et ses protons et est réoxydé en R : cette réaction d'oxydo-réduction permet la formation du triose phosphate (C3P) = le 3-phosphoglyceraldéhyde (G3P) qui servira soit à la régénération de RU-BP soit à la formation de glucose ou autres sucres solubles

En résumé :

Cette phase nécessite :

- de l'ATP (qui cèdent leur énergie) produites par la phase photochimique
- de RH_2 (qui cèdent leur électron et leur hydrogène) produits par la phase photochimique
- du CO_2 issu de l'atmosphère

Elle permet la régénération des R et des ADP et la formation de glucose et de saccharose qui sera exporté hors de la cellule pour rejoindre la **sève élaborée** circulant dans le **phloème**.



Le nombre de molécules intervenant dans le cycle a été considéré dans le but de comprendre comment une molécule de glucose est synthétisée.

Conclusion : L'équation-bilan de la photosynthèse est la suivante : $6 \text{CO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{O}_2$. Elle a lieu dans les cellules chlorophylliennes des parties aériennes de la plante, majoritairement les feuilles. Elle se déroule dans un organite intracellulaire spécialisé : le chloroplaste. La première phase de la photosynthèse, la phase photochimique se déroule dans la membrane des thylakoïdes. Elle permet la production, dans le stroma, d'ATP et de molécules réduites RH_2 .

La seconde phase de la photosynthèse est la phase chimique qui a lieu dans le stroma. L'ATP et les RH_2 produits sont utilisés pour fixer du CO_2 selon un ensemble de réactions, appelé cycle de Calvin, qui permet la synthèse de molécules organiques comme le glucose et autres oses solubles.

Correction de l'exercice sur la Complexification des génomes : transferts horizontaux et endosymbioses.

La photosynthèse est une réaction métabolique responsable de l'oxygénation de l'atmosphère. Les cellules eucaryotes possédant des chloroplastes ainsi que les cyanobactéries la réalisent respectivement depuis 3,8 milliards d'années et 1,5 milliards d'années.

Une cellule eucaryote qui effectue la photosynthèse possède donc des chloroplastes. On se demande donc quelle est l'origine de cet organite chez les eucaryotes ?

Nous répondrons à cette problématique en étudiant les documents qui nous sont proposés.

I – L'étude de la membrane et de la localisation de l'ADN chez les cyanobactéries et chez les eucaryotes chlorophylliens

Le document 1 nous montre que la membrane interne des chloroplastes présents dans les cellules eucaryotes chlorophylliennes a la même composition que celle des cyanobactéries.

Nous remarquons également que la membrane externe de ces mêmes chloroplastes a la même composition que la membrane cytoplasmique de la cellule eucaryote qui les contient.

Enfin, une observation intéressante est effectuée au niveau de la forme de l'ADN. En effet, les chloroplastes contiennent de l'ADN présent sous forme cellulaire, tout comme les cyanobactéries.

L'interprétation de ces observations, peut s'effectuer grâce à l'étude du document 2. Ce document nous apprend que les cellules eucaryotes peuvent phagocytter des bactéries et dans certains cas ne pas les digérer.

La photo représentée dans ce document nous montre alors que la bactérie reste dans le cytoplasme de la cellule qui l'a phagocytée dans une vésicule composée d'une membrane externe correspondant à celle de la cellule eucaryote, d'une membrane interne bactérienne et d'un ADN bactérien circulaire. (Schéma explicatif possible).

Cette vésicule possède donc toutes les caractéristiques du chloroplaste.

A l'issue de l'étude de ces deux documents, nous pouvons donc proposer une hypothèse explicative pour l'apparition des chloroplastes chez les cellules eucaryotes.

Les chloroplastes des cellules eucaryotes seraient donc le résultat d'une endosymbiose, qui se serait effectuée entre 2 et 1 milliards d'années, entre une bactérie photosynthétique et une cellule eucaryote primitive.

Voyons maintenant si des études génétiques confirment cette hypothèse.

II – Etude génétique : le gène de la petite sous-unité ribosomale

Le document 3 détaille cette étude effectuée sur le gène codant la petite sous-unité ribosomale des ribosomes cytoplasmiques et des ribosomes du chloroplaste chez le maïs, *Zae mays*.

La comparaison de ces gènes avec ceux d'autres espèces a permis d'obtenir l'arbre de parenté présenté dans le document 3.

Nous remarquons que la prise en compte de l'ADN nucléaire (codant pour la petite sous-unité des ribosomes cytoplasmiques) montre une parenté proche entre le maïs et la levure (*Saccharomyces cerevisiae*) qui est un eucaryote.

Cependant l'étude de l'ADN du chloroplaste (codant pour la petite sous-unité des ribosomes du chloroplaste) apparente le maïs aux eubactéries.

Ce résultat conforte l'idée que le chloroplaste est un organite d'origine bactérienne. Ce qui va dans le sens de la théorie endosymbiotique.

Nous allons maintenant nous intéresser à la localisation du gène codant pour une partie d'une protéine indispensable à la photosynthèse, la RubisCO. Est-ce que cette étude va encore valider l'hypothèse de l'endosymbiose à l'origine des chloroplastes des cellules eucaryotes ?

III – Etude de la RubisCO des eucaryotes et des cyanobactéries

Nous remarquons après étude du document 4 que les gènes codant les sous-unités de la RubisCO chez les eucaryotes sont présents uniquement dans l'ADN des chloroplastes. On retrouve ces gènes dans l'ADN des cyanobactéries.

Nous pouvons alors penser que les gènes codant la RubisCO chez les eucaryotes et chez les cyanobactéries sont apparentés, ce qui validerait définitivement notre hypothèse de la théorie endosymbiotique.

Le document 5, compare justement les séquences peptiques de la petite sous-unité chez différentes espèces : Xanthobacter, cyanobactérie, Chlamydomonas et le tabac.

Nous remarquons que les similitudes sont plus importantes entre les cyanobactéries et les eucaryotes qu'entre les cyanobactéries et les autres bactéries.

Ce dernier document nous indique donc que des gènes et des protéines de cyanobactéries possèdent de nombreuses similitudes avec des gènes et des protéines d'eucaryotes. Ils possèdent donc un lien de parenté étroit.

Ces observations vont encore dans le sens d'une origine bactérienne des chloroplastes car les protéines indispensables à la photosynthèse telle la RubisCO possèdent de fortes similitudes dans leurs séquences.

Conclusion

Au cours de cette étude nous avons comparé les chloroplastes des eucaryotes avec ceux des bactéries. Grâce à l'étude des membranes des chloroplastes des eucaryotes nous avons pu émettre l'hypothèse d'une origine endosymbiotique de ces organites : ils seraient issus de la phagocytose de bactéries photosynthétiques telles les cyanobactéries par les cellules eucaryotes primitives, il y a 1 à 2 milliards d'années.

Ensuite, l'étude de l'ADN des sous-unités ribosomiques des chloroplastes nous a montré que cette ADN avait une origine bactérienne.

Enfin, des protéines indispensables à la photosynthèse, telle que la RubisCO ont un degré de similitude élevé entre les cyanobactéries et les eucaryotes, montrant ainsi une parenté étroite.

Nous pouvons donc conclure que l'origine des chloroplastes chez les eucaryotes provient d'une endosymbiose avec des cyanobactéries. L'acquisition de ces organites a donc permis le développement du métabolisme photosynthétique chez les eucaryotes qui les possèdent.