

Chapitre 1 : La photosynthèse



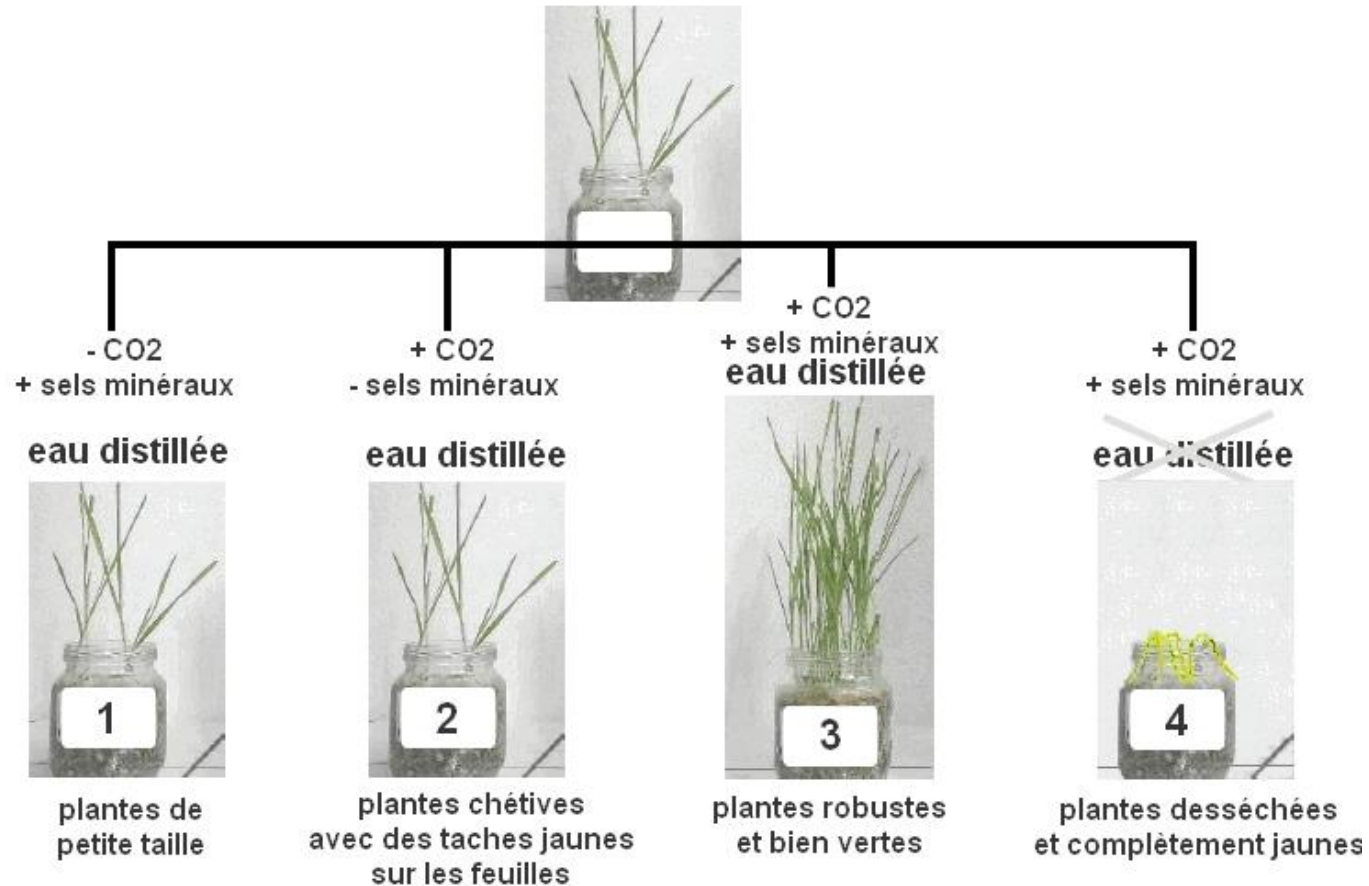
Introduction:

- ▶ Les végétaux sont des êtres vivants car ils sont composés d'une ou plusieurs cellules.
- ▶ Une cellule végétale est composée d'une membrane, d'un cytoplasme, d'un noyau, d'une paroi, d'une vacuole, des mitochondries et des chloroplastes.
- ▶ Les végétaux font partie des Eucaryotes car ils possèdent des organites dans leurs cellules. Un organite est une structure entourée d'une membrane dans une cellule.

- ▶ Les végétaux verts (chlorophylliens) sont des organismes autotrophes. Ils sont capables de synthétiser de la matière organique grâce à la photosynthèse.
- ▶ *Problème : Comment se déroule la photosynthèse ?*



I. Mise en évidence de la photosynthèse



- Les végétaux ont besoin pour pousser d'eau, de sels minéraux, de gaz et de la lumière. Si un de ces éléments est manquant alors la croissance sera réduite.

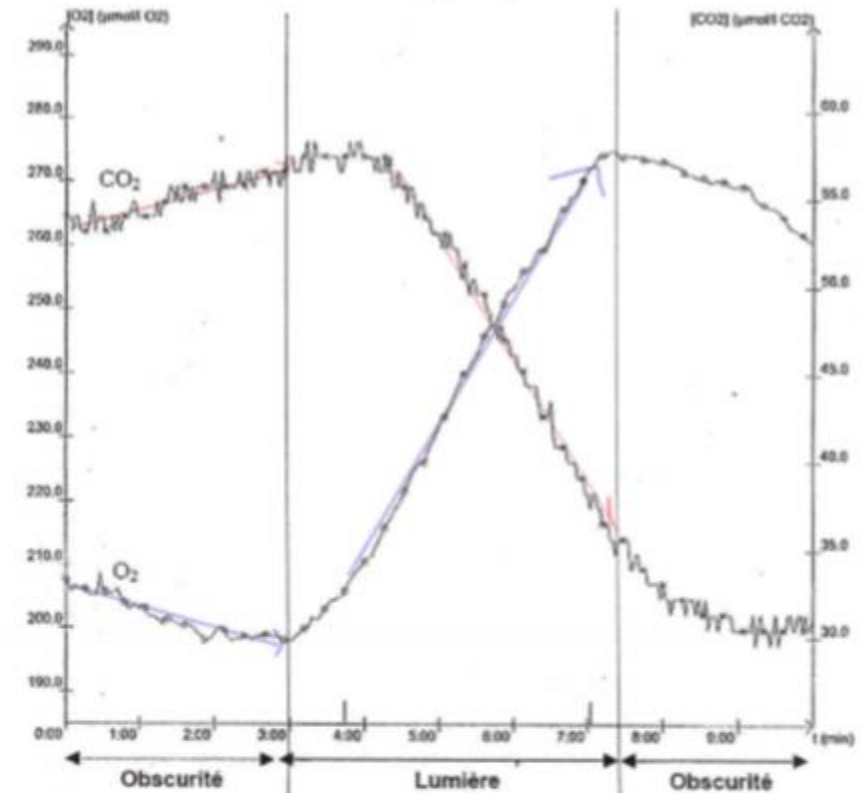
Etape 4 : METTRE DES CHIFFRES !!

A l'obscurité, j'observe que la quantité de O_2 diminue, passant de $\mu\text{mol/l } O_2$ en 3 minutes, alors que le taux de CO_2 augmente, passant de $\mu\text{mol/l } CO_2$. Je peux donc en déduire qu'à l'obscurité, les feuilles d'élodées prélèvent de l' O_2 dans leur milieu et y rejettent du CO_2 : elles respirent.

A la lumière, j'observe que la quantité de O_2 augmente, passant de $\mu\text{mol/l } O_2$ en 4 minutes, alors que le taux de CO_2 diminue, passant de $\mu\text{mol/l } CO_2$. Je peux donc en déduire qu'à la lumière, les feuilles d'élodées rejettent de l' O_2 dans leur milieu et y prélèvent du CO_2 : elles réalisent la photosynthèse

Conclusion : La photosynthèse se caractérise par un prélèvement de CO_2 et une production de O_2 par le végétal. Elle nécessite de l'énergie qui est apportée par la lumière.

Titre : graphique de l'évolution du taux de O_2 et CO_2 en fonction du temps chez des algues dans un bioreacteur avec air sans lumière



Le taux de CO_2 augmente
↳ donc les algues rejettent du CO_2

Le taux de CO_2 ↓
↳ donc les algues absorbent du CO_2

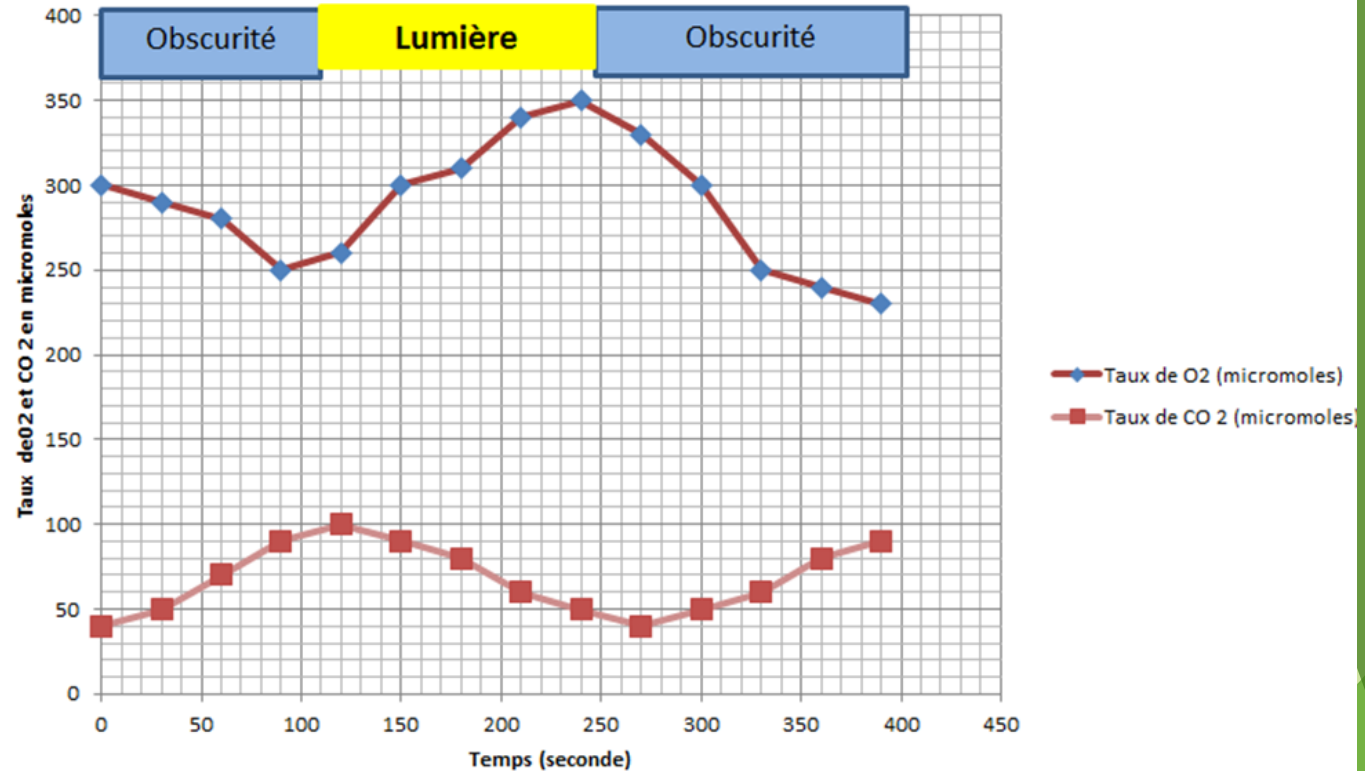
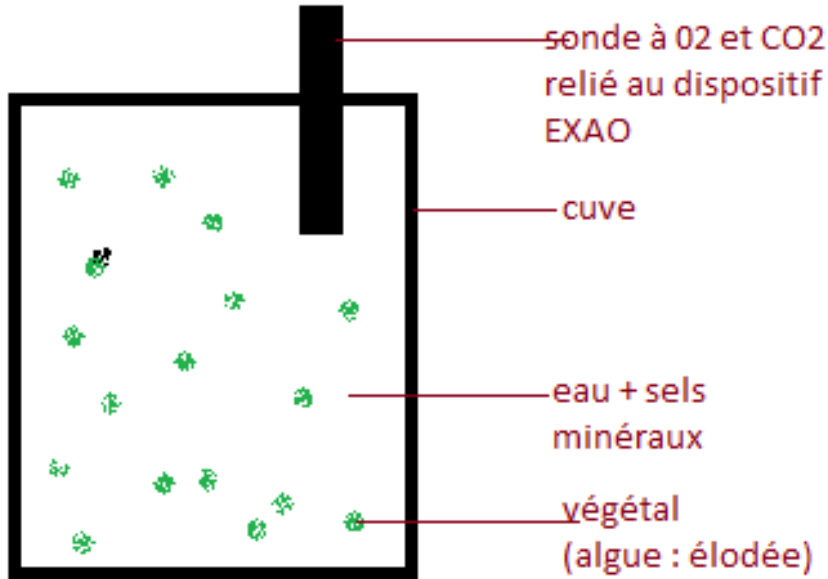
Le taux de O_2 diminue
↳ donc les algues absorbent du O_2

Le taux de O_2 ↑
↳ donc les algues produisent O_2

⇒ Absorption de O_2
Rejet CO_2
→ les algues respirent à l'obscurité

⇒ Production de O_2 à la lumière et consommation CO_2
→ les algues font de la photosynthèse à la lumière

I. Mise en évidence de la photosynthèse



- Si on regarde les échanges gazeux, on s'aperçoit que les végétaux à la lumière consomment du CO₂ et rejettent du O₂.
- En effet, la quantité de O₂ augmente dans la cuve du bioréacteur et la quantité de CO₂ diminue.

I. Mise en évidence de la photosynthèse

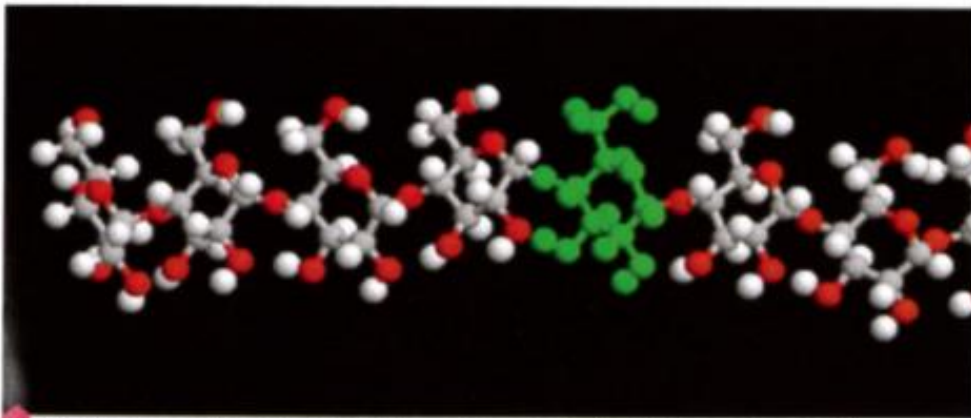
- ▶ On peut donc conclure que grâce à l'énergie lumineuse, les cellules chlorophylliennes produisent des molécules organiques (glucose) à partir de dioxyde de carbone et d'eau.
- ▶ L'équation bilan de la photosynthèse :



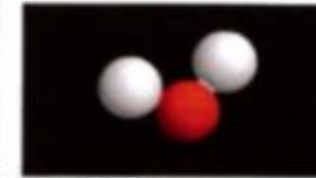
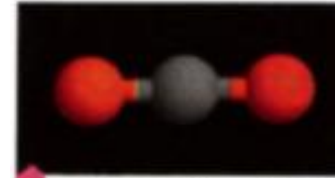
Les origines du glucose et du dioxygène

3 Origine des atomes de la matière organique

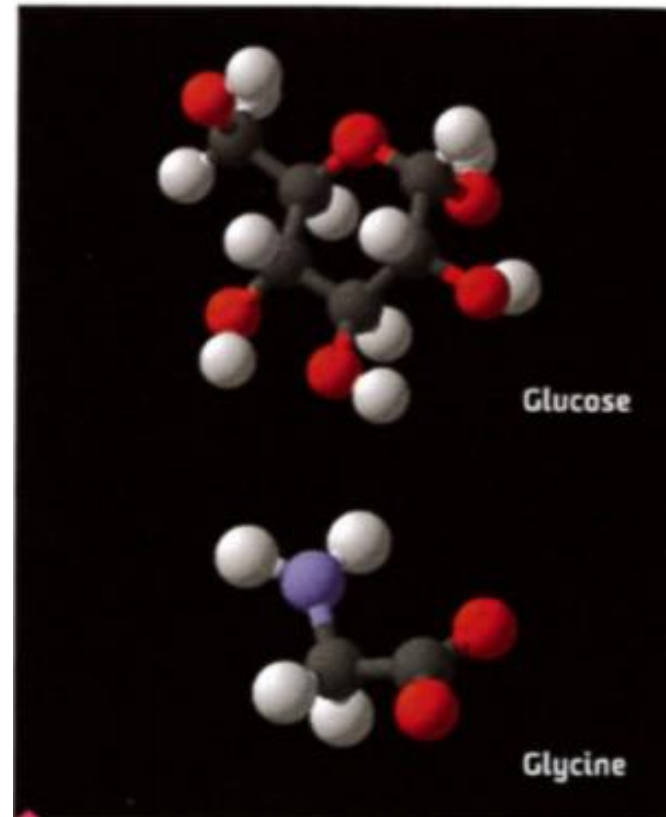
- ▶ L'utilisation de molécules d'eau, dont l'oxygène est marqué, a permis de montrer que le dioxygène dégagé lors de la photosynthèse provient exclusivement des molécules d'eau.
- ▶ Afin de comprendre comment une cellule chlorophyllienne utilise le CO_2 absorbé par la plante, on utilise du CO_2 radioactif comportant des atomes de carbone 14 que l'on peut ensuite détecter dans différentes molécules. On constate que ce carbone est détecté dans les glucides (glucose, amidon) mais également dans les acides aminés.
- ▶ La rupture des liaisons C-H ou C-C, lors de l'**oxydation** du glucose, permet de libérer l'énergie. À l'inverse, la formation de ces liaisons nécessite un apport d'énergie.



b Portion de molécule d'amidon : (un glucose, $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, est en vert).

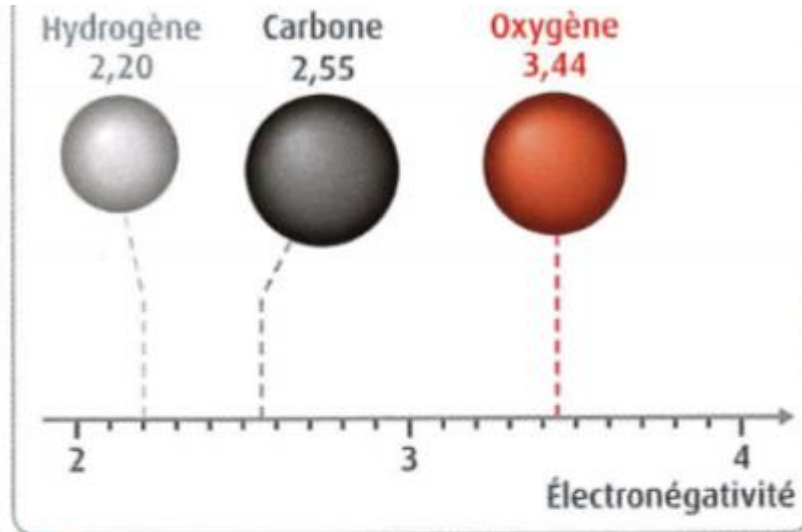


a Les molécules utilisées : le CO_2 et l'eau.
(O : rouge; H : blanc; C : gris).

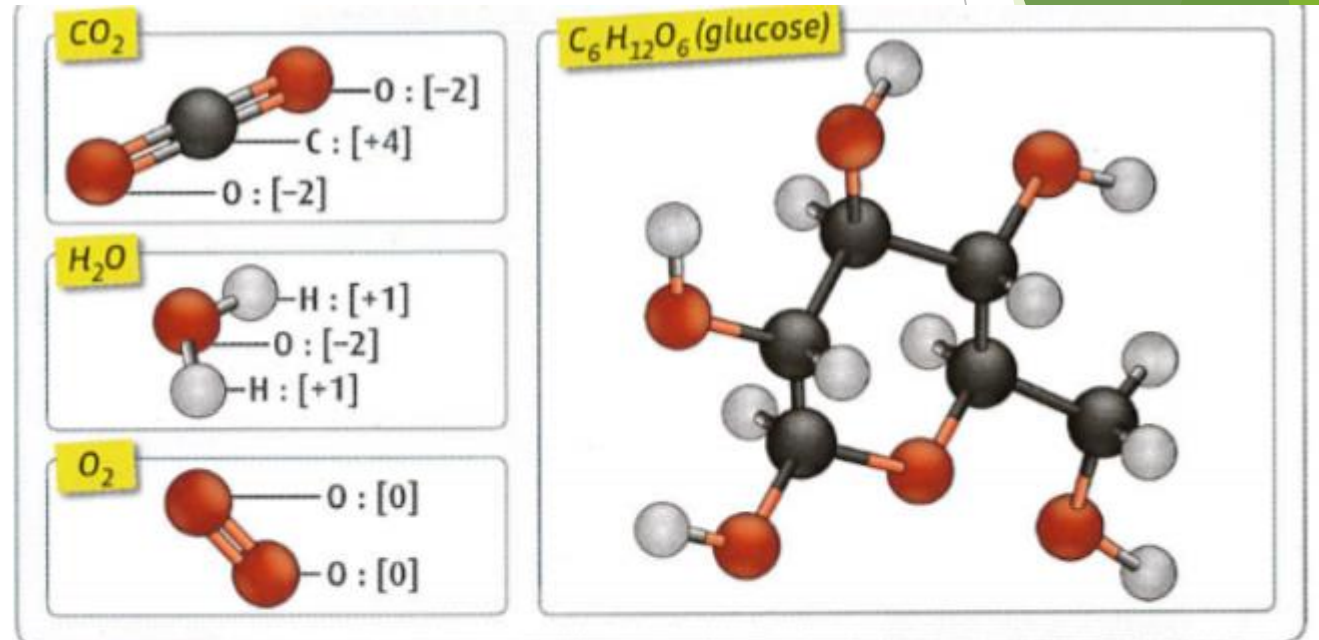


c Des molécules synthétisées : glucose (glucide) et glycine (acide aminé) (azote : bleu).

Montrez que la photosynthèse correspond à une réduction du carbone du CO_2 , et une oxydation de l'oxygène de l'eau.



6 Électronégativité des éléments apparaissant dans le bilan de la photosynthèse. L'électronégativité mesure la tendance d'un élément à attirer les électrons. Dans les liaisons covalentes entre 2 atomes, il y a mise en commun de 2 électrons. Lorsque les 2 atomes concernés n'ont pas la même électronégativité, la liaison est polarisée : l'atome de l'élément le plus électronégatif attire à lui les électrons de la liaison covalente.



7 Molécules du bilan de la photosynthèse et nombre d'oxydation des atomes. Le nombre d'oxydation d'un atome est le nombre d'électrons gagnés ou perdus par rapport à son état neutre et sans charge : un électron perdu apporte $+1$, tandis qu'un électron gagné apporte -1 . Pour les liaisons covalentes polarisées, on considère que les 2 électrons qui constituent la liaison sont à 100 % associés à l'atome le plus électronégatif. Quand le nombre d'oxydation est positif, l'élément est à l'état oxydé, quand il est négatif il est à l'état réduit.

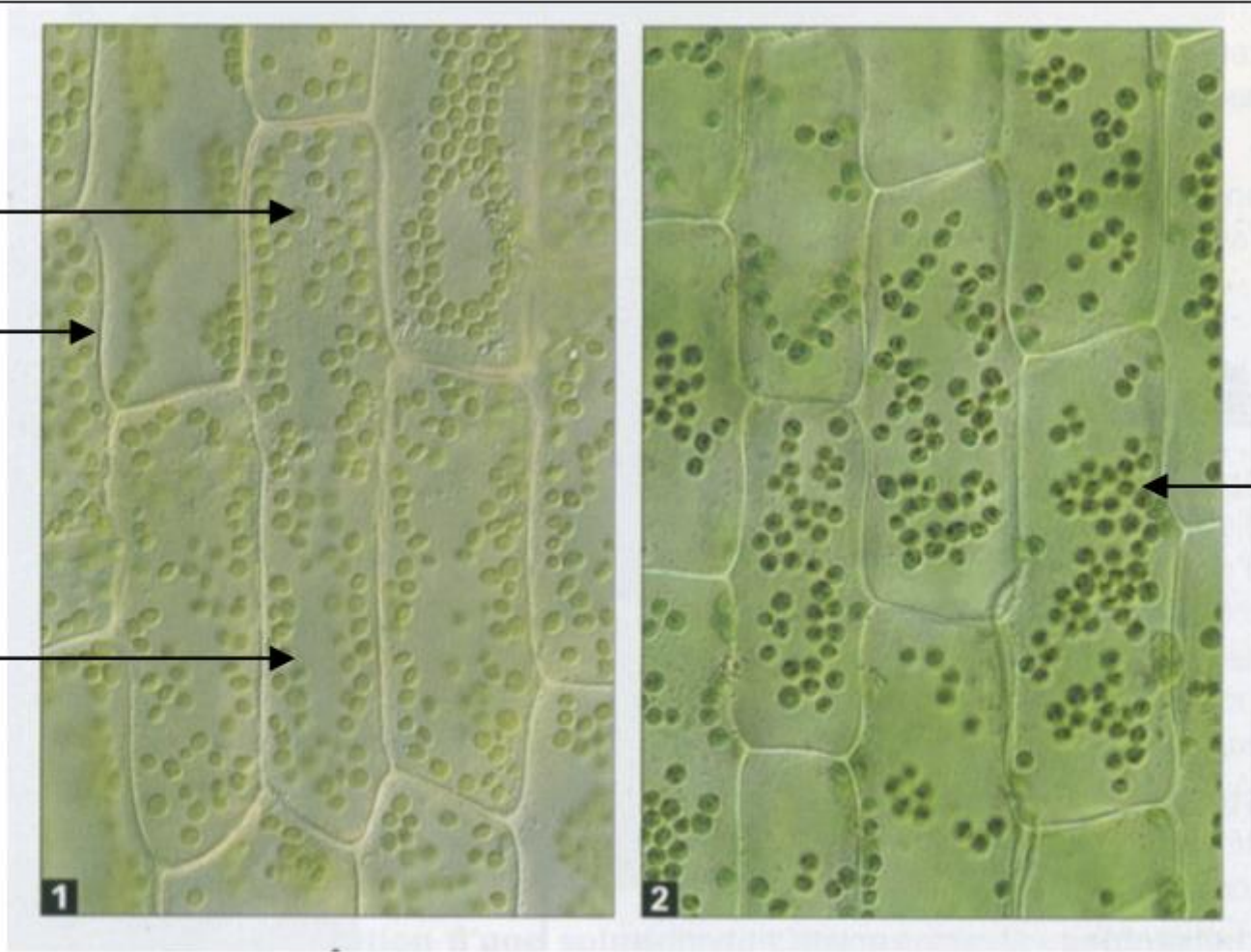
I. Mise en évidence de la photosynthèse

Chloroplaste

Paroi

Cytoplasme

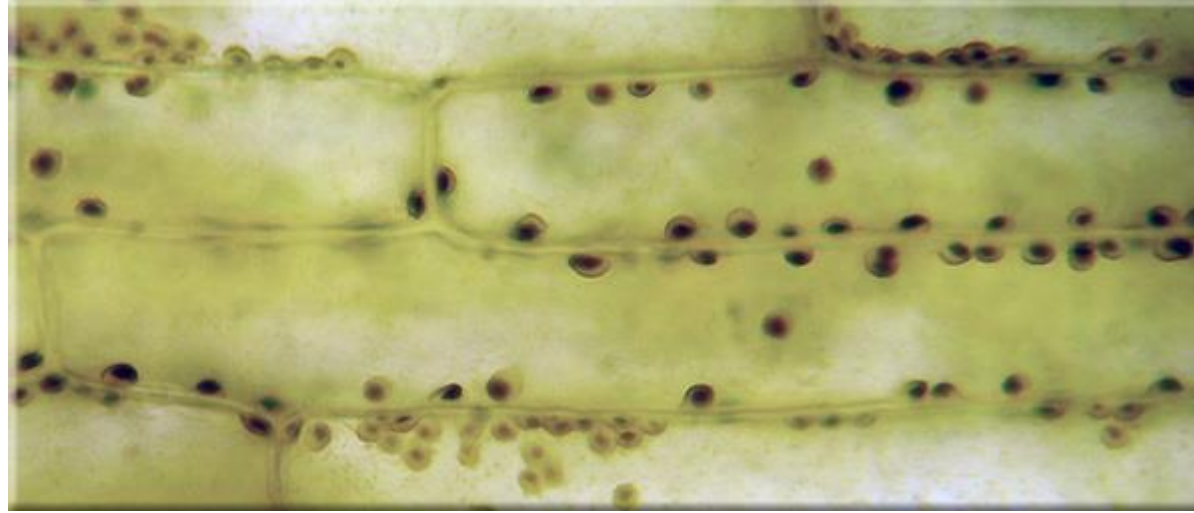
Chloroplaste
marron =
amidon



Elodée + ...obscurité... + eau iodée

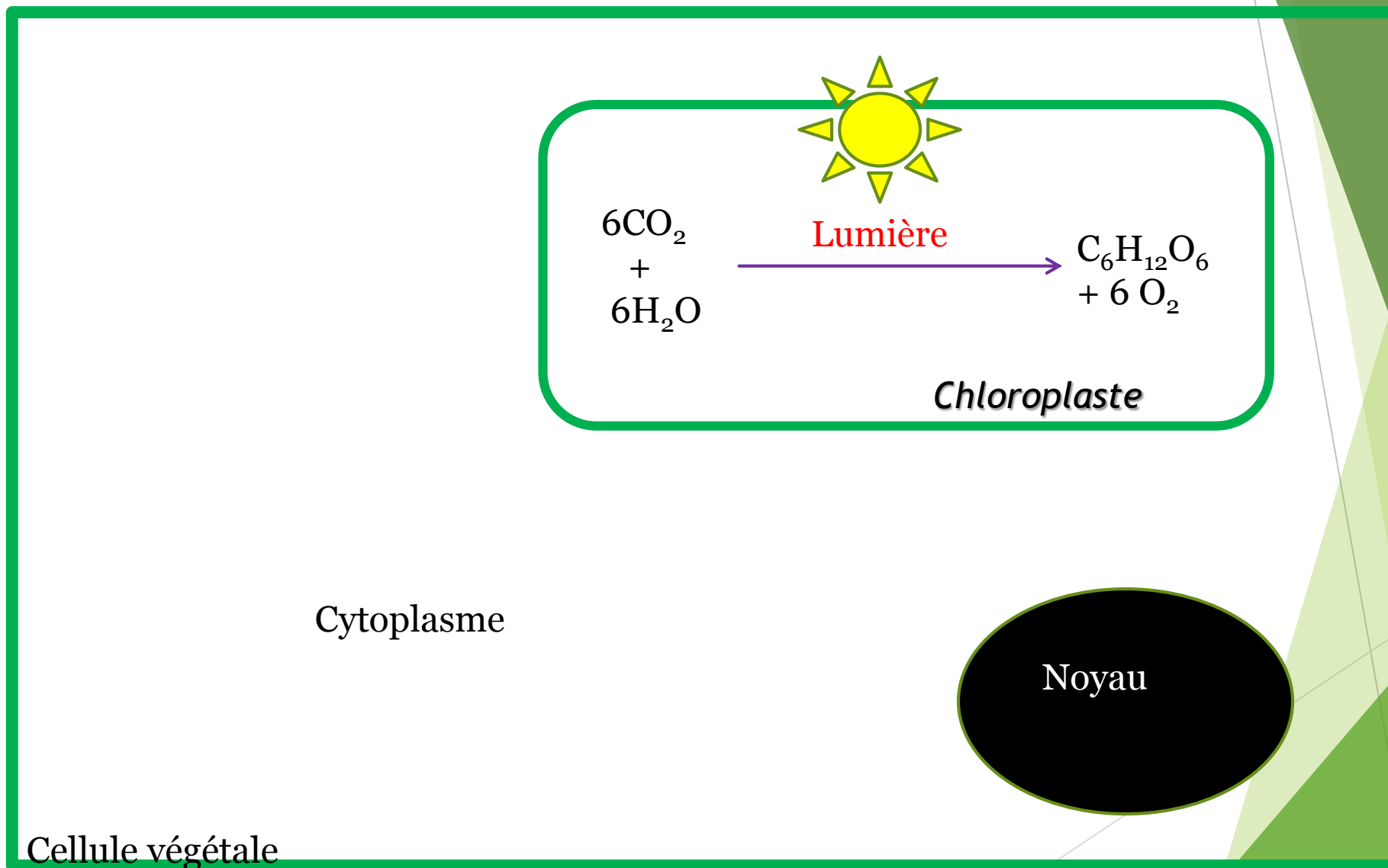
Elodée + .lumière... + eau iodée

I. Mise en évidence de la photosynthèse



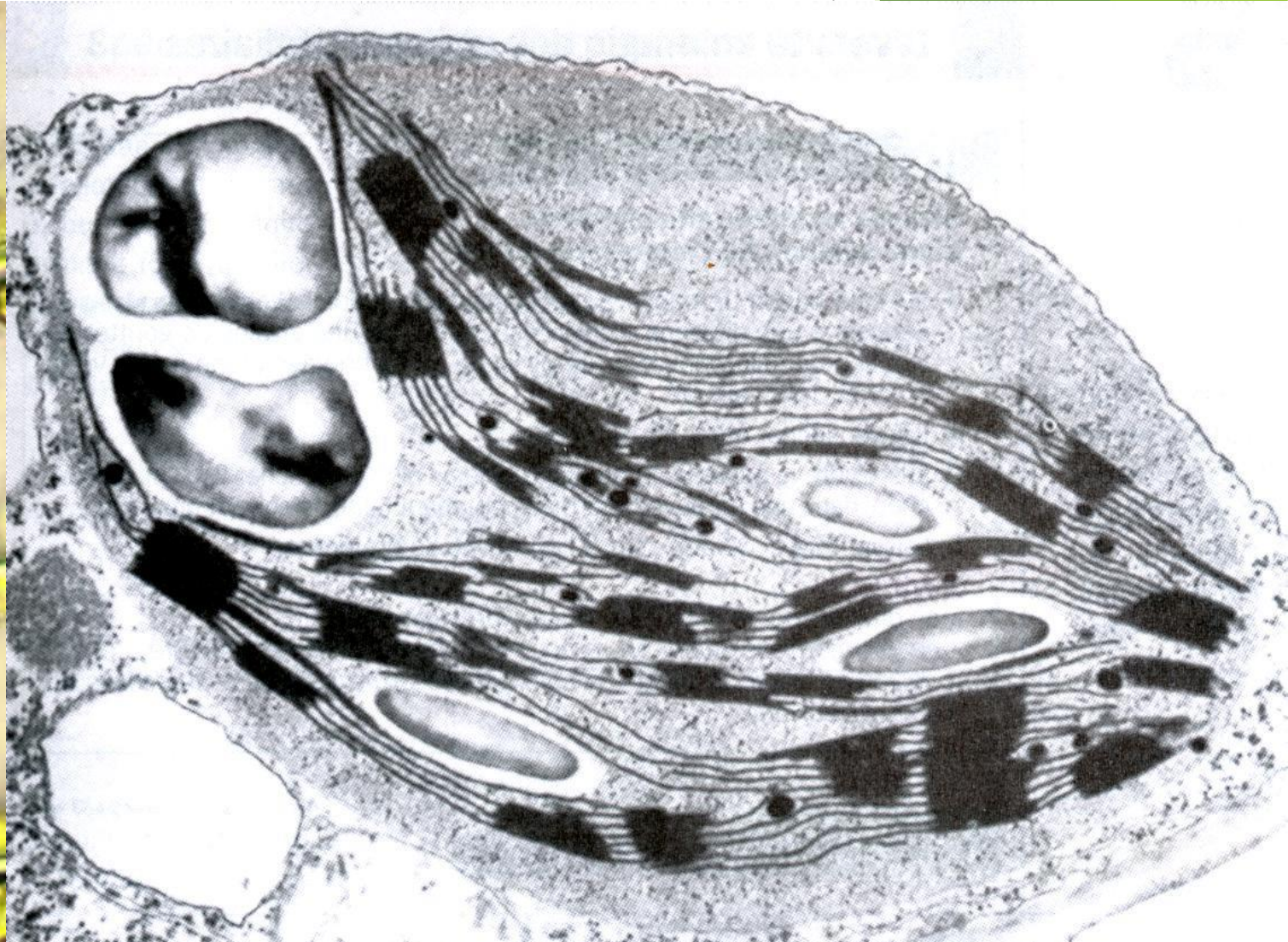
- ▶ Si on met des végétaux à la lumière pendant un certain temps et qu'on met de l'eau iodée (ou lugol) on observe une coloration marron apparaitre dans les chloroplastes. Ce n'est pas le cas pour les végétaux cultivés à l'obscurité.
- ▶ La coloration marron indique la présence d'amidon. L'amidon est un polymère de glucose.
- ▶ Cela montre que les végétaux produisent du sucre (des molécules organiques) en présence de lumière dans les chloroplastes.

Bilan de la photosynthèse :



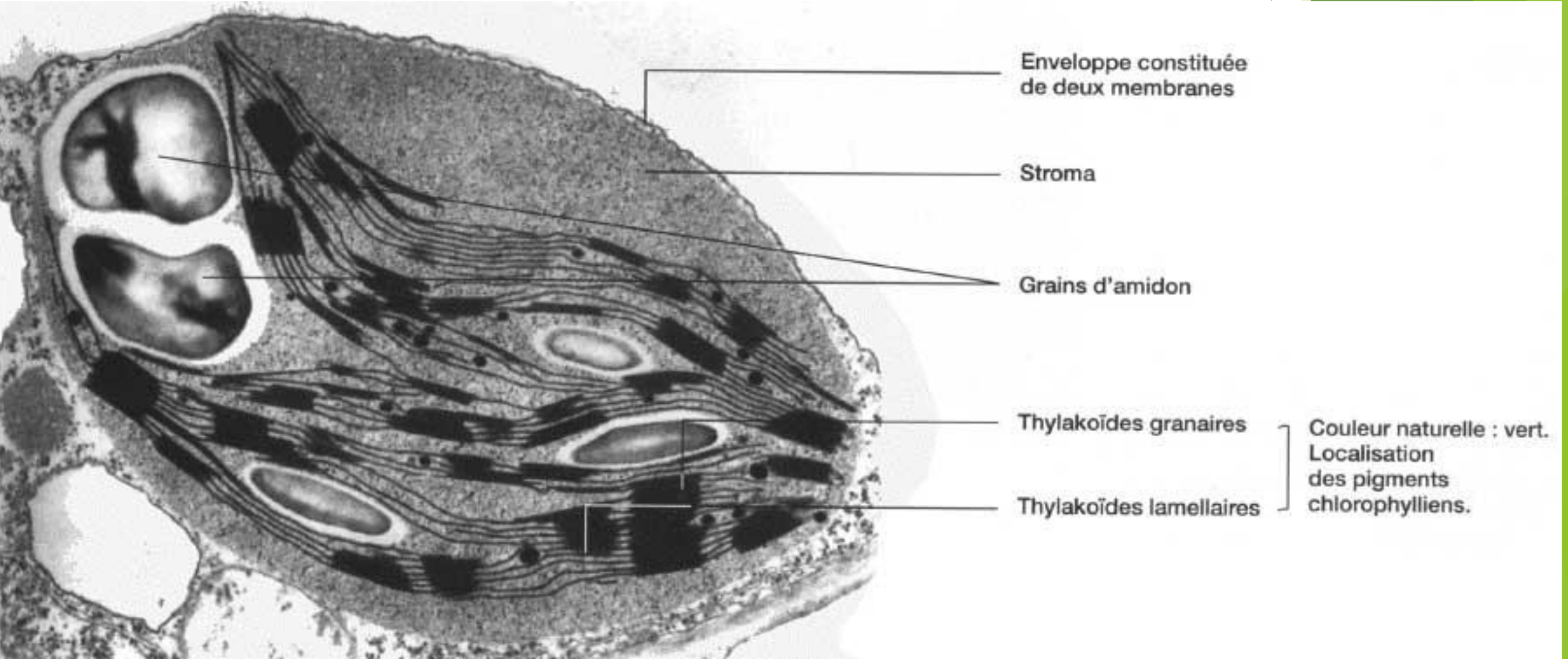
II. Le chloroplaste, l'organe clé de la photosynthèse

A. La structure du chloroplaste



II. Le chloroplaste, l'organe clé de la photosynthèse

A. La structure du chloroplaste



II. Le chloroplaste, l'organe clé de la photosynthèse

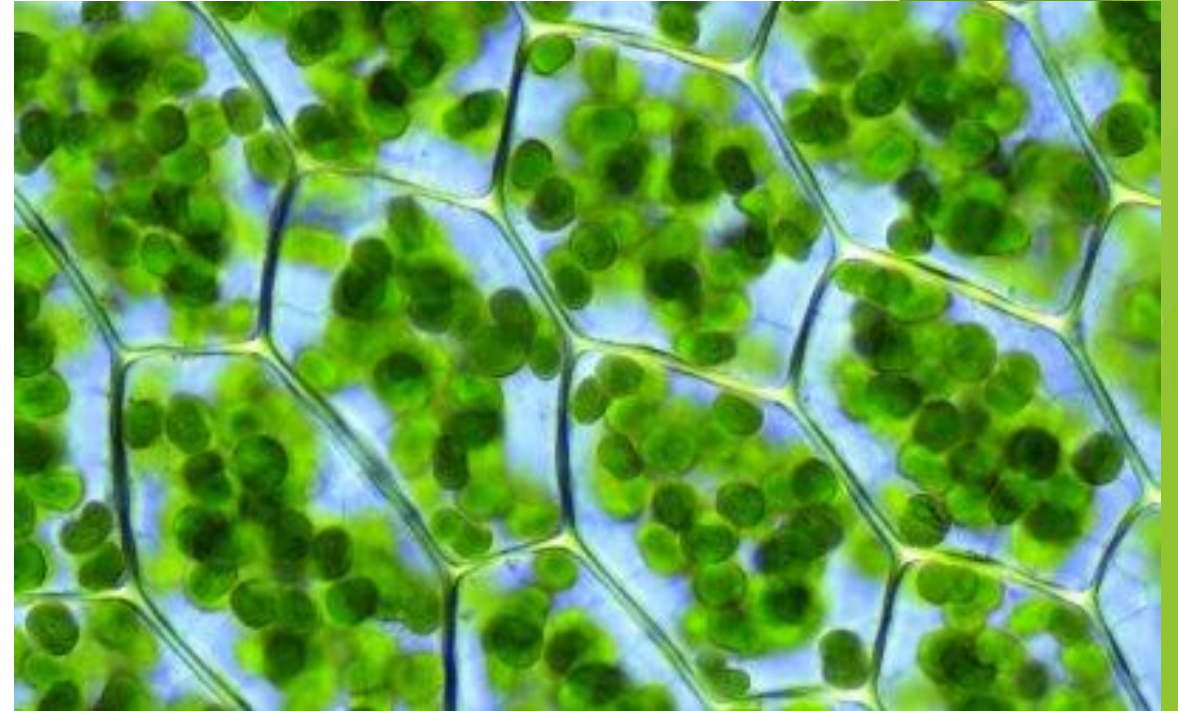
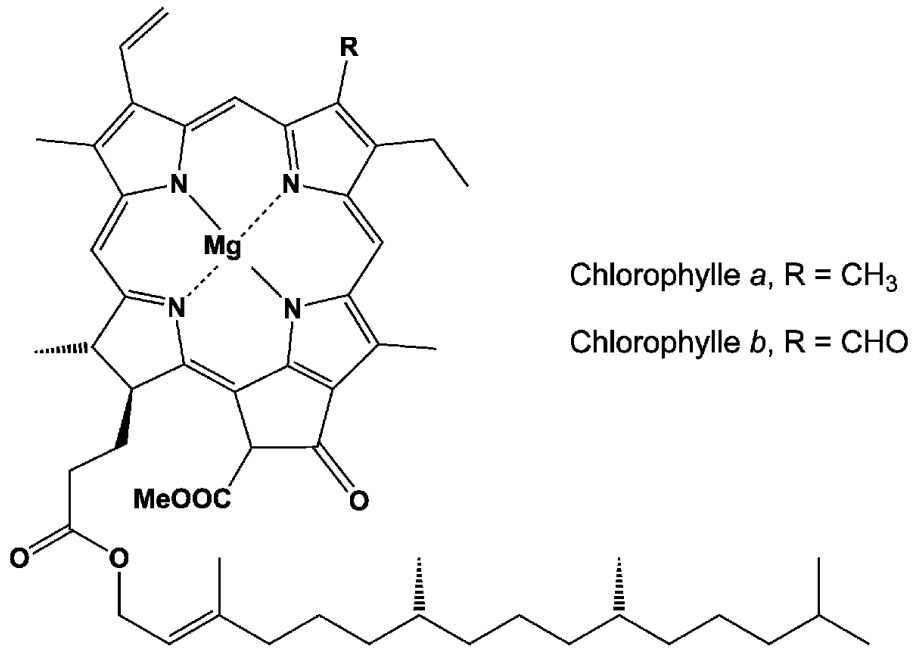
A. La structure du chloroplaste

- ▶ Le chloroplaste est un organe vert qui se situe dans les cellules chlorophylliennes. Il y en a plusieurs par cellule, chaque chloroplaste mesure environ 10 micromètres.
- ▶ Un chloroplaste est délimité par une double membrane : une membrane externe et une membrane interne. L'intérieur de l'organe est rempli de stroma.
- ▶ Dans le stroma on peut observer des grains d'amidons et des sacs : les thylakoïdes qui peuvent être empilés et forment alors un granum.

II. Le chloroplaste, l'organe clé de la photosynthèse

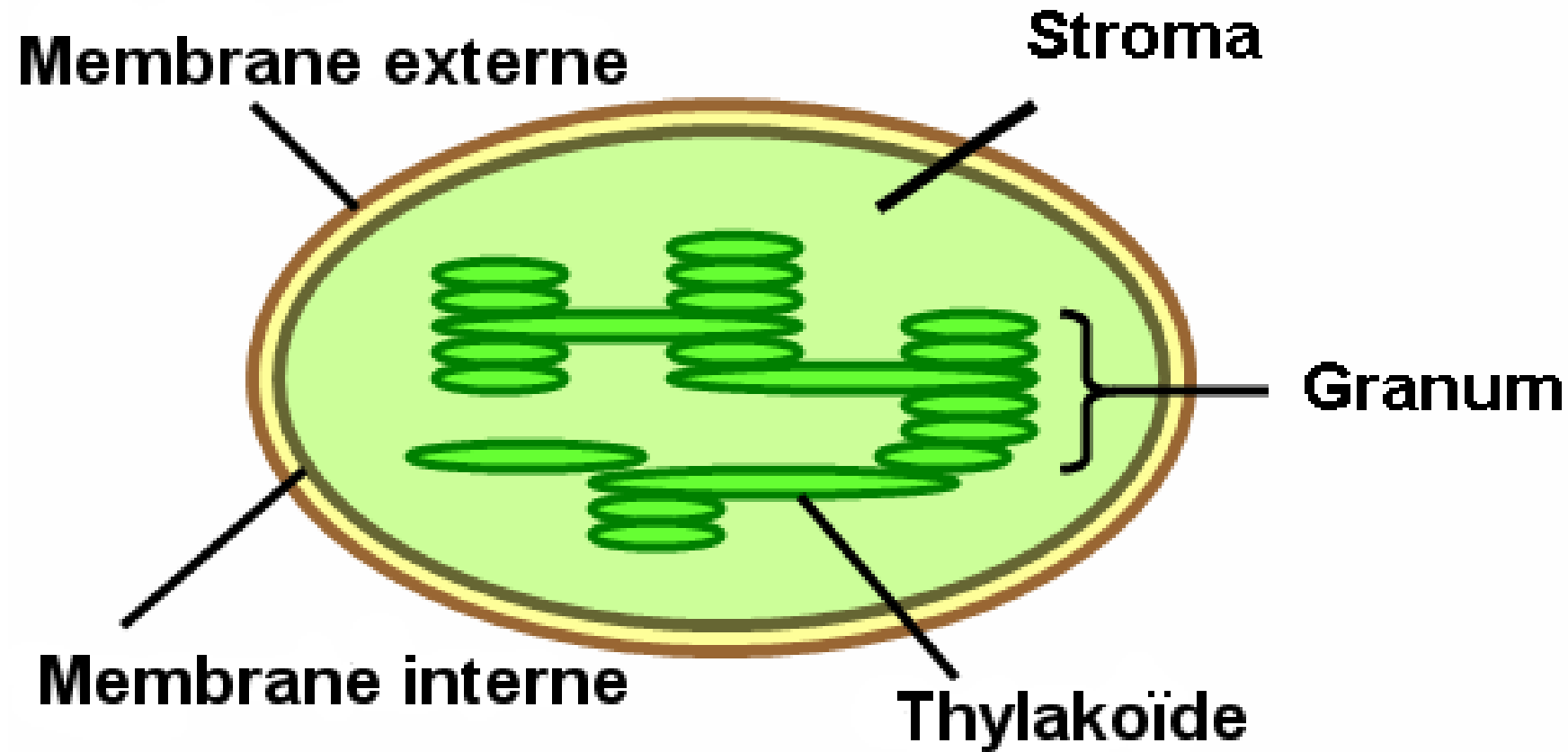
A. La structure du chloroplaste

- C'est dans les thylakoïdes que l'on retrouve la chlorophylle. C'est le pigment qui donne la couleur verte aux végétaux.



II. Le chloroplaste, l'organe clé de la photosynthèse

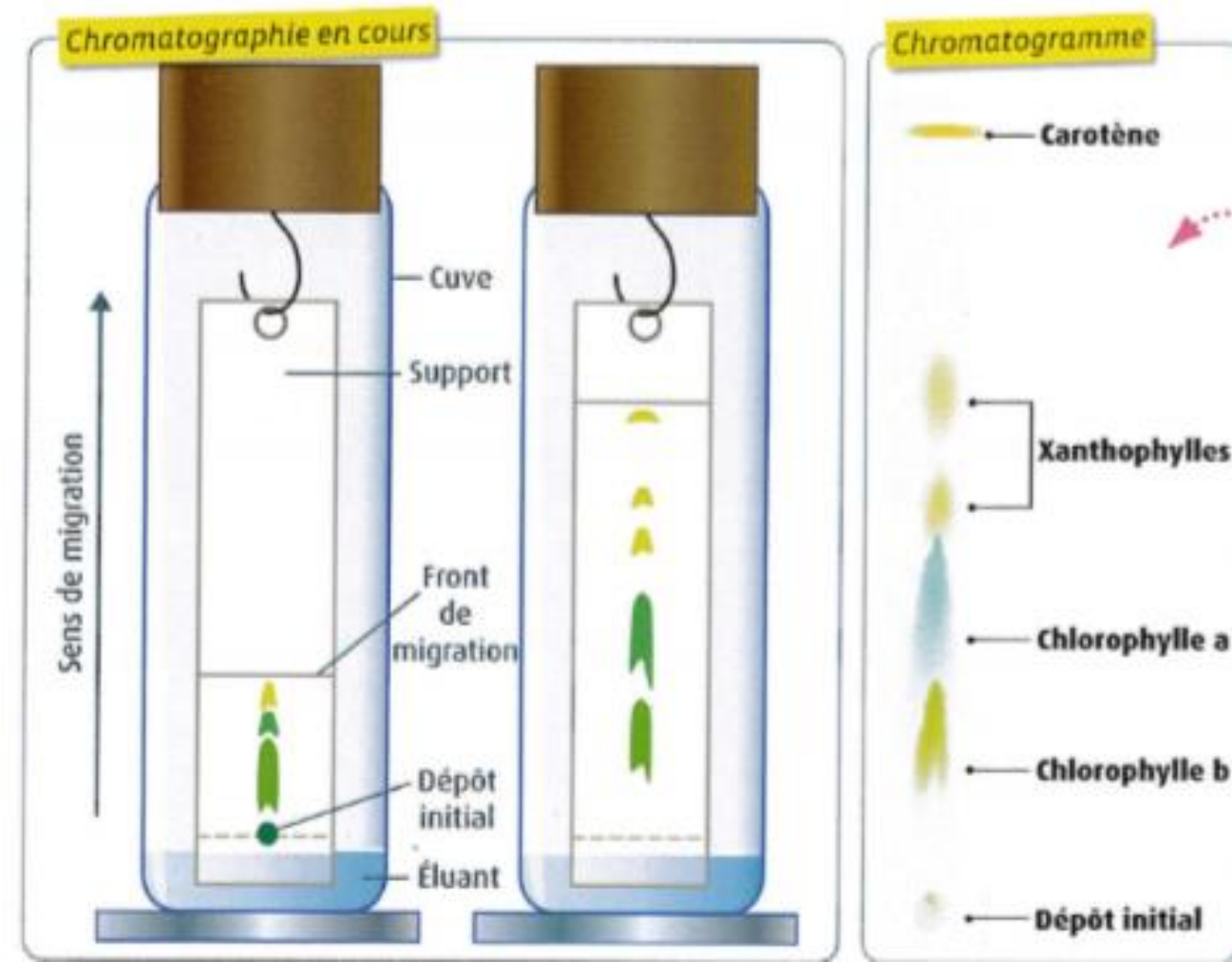
A. La structure du chloroplaste



II. Le chloroplaste, l'organe clé de la photosynthèse

B. Le rôle de la chlorophylle

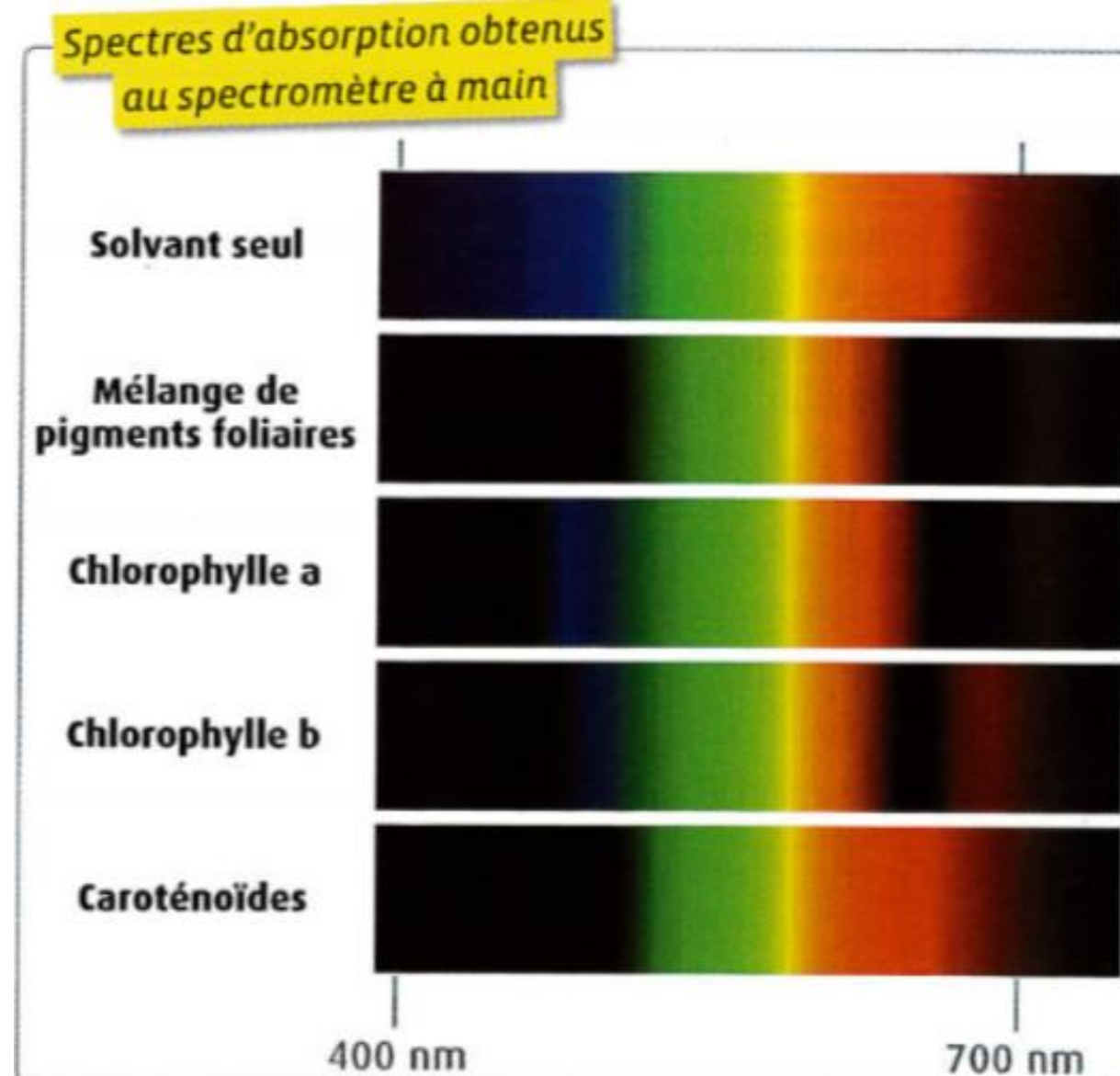
- ▶ La chlorophylle brute extraite des feuilles est en fait un mélange de pigments :
- ▶ Des pigments verts : la chlorophylle a et b
- ▶ Des pigments jaunes et orangés : les caroténoïdes



II. Le chloroplaste, l'organe clé de la photosynthèse

B. Le rôle de la chlorophylle

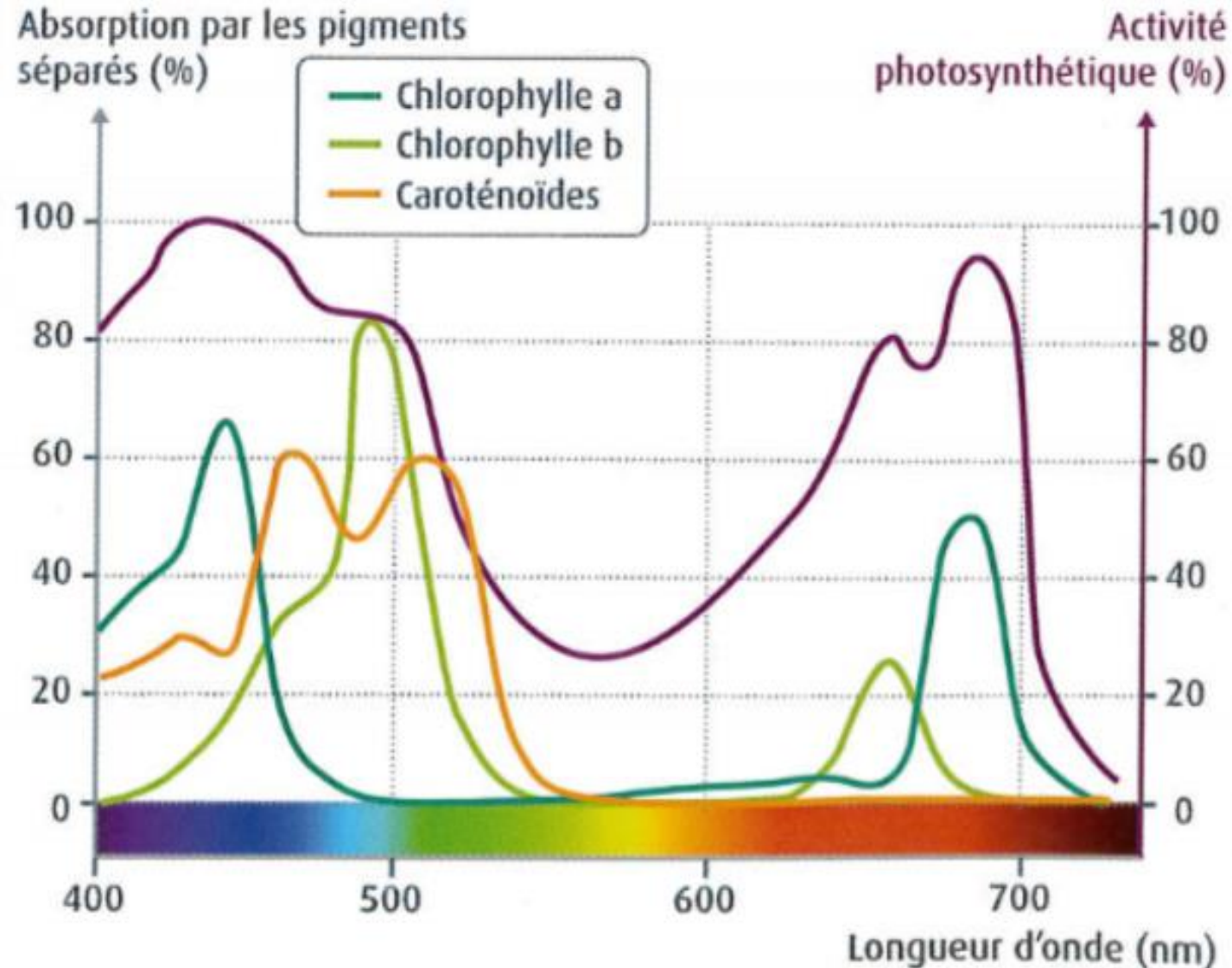
Suite à l'étude du spectre d'absorption des pigments chlorophylliens on remarque que les pigments absorbent beaucoup le bleu (450nm) et le rouge (650nm). Les pigments n'absorbent pas la longueur d'onde de 550nm, cela correspond au vert. C'est pourquoi les végétaux sont verts.



II. Le chloroplaste, l'organe clé de la photosynthèse

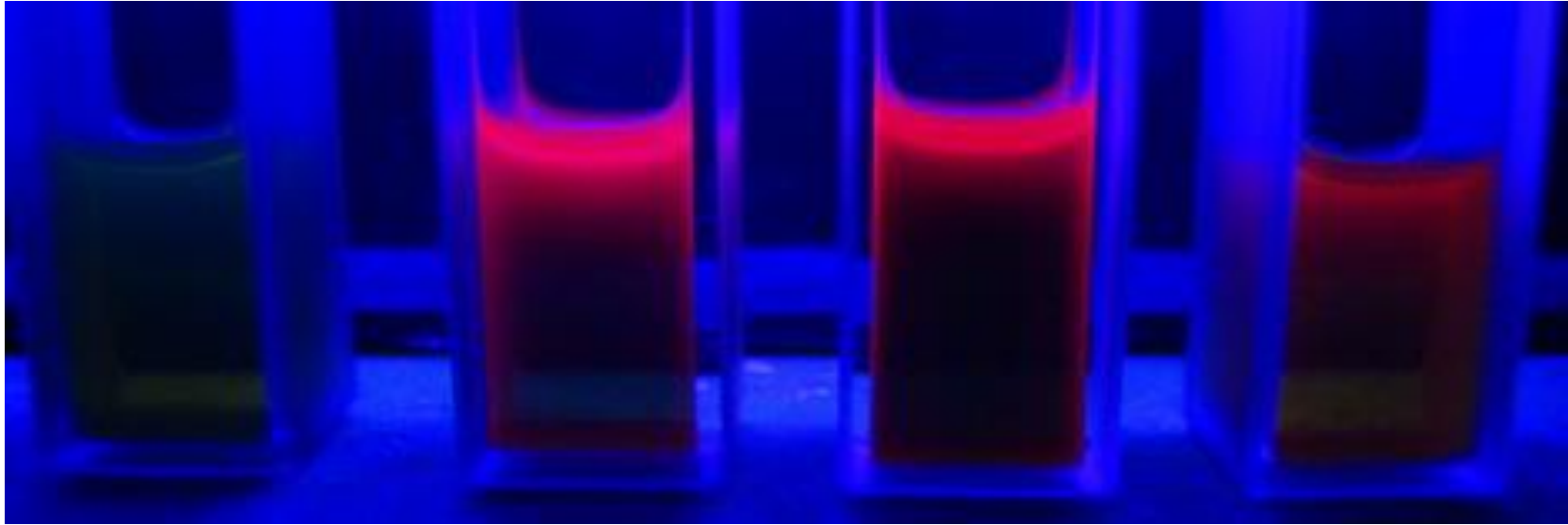
B. Le rôle de la chlorophylle

- Les végétaux ont donc une forte activité photosynthétique avec une lumière rouge ou bleue et elle est nulle avec une lumière verte.



II. Le chloroplaste, l'organe clé de la photosynthèse

B. Le rôle de la chlorophylle



- ▶ La chlorophylle a absorbe l'énergie de la lumière (un photon) puis elle restitue l'énergie absorbée en réémettant de la lumière : une fluorescence rouge.
- ▶ Elle peut aussi transférer son énergie à des électrons.

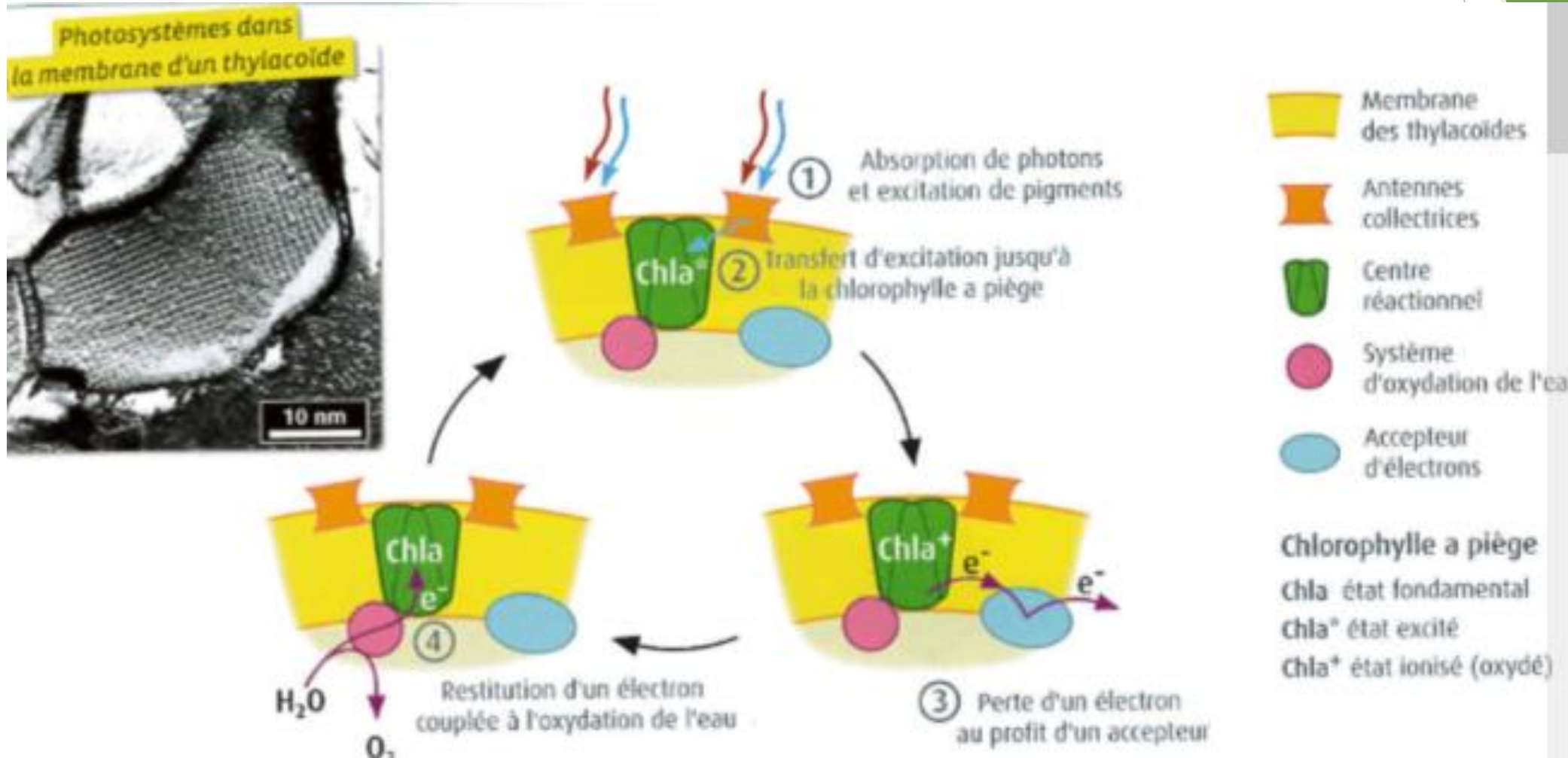
II. Le chloroplaste, l'organe clé de la photosynthèse

B. Le rôle de la chlorophylle

- Pour conclure, la photosynthèse a lieu dans les thylakoïdes des chloroplastes grâce à la présence de la chlorophylle a.
- Le rôle des autres pigments est accessoire : ils servent uniquement à élargir le spectre de la lumière absorbée.
- L'activité photosynthétique est optimale avec des lumières bleue et rouge.

III. Le déroulement de la photosynthèse

A. La phase photochimique



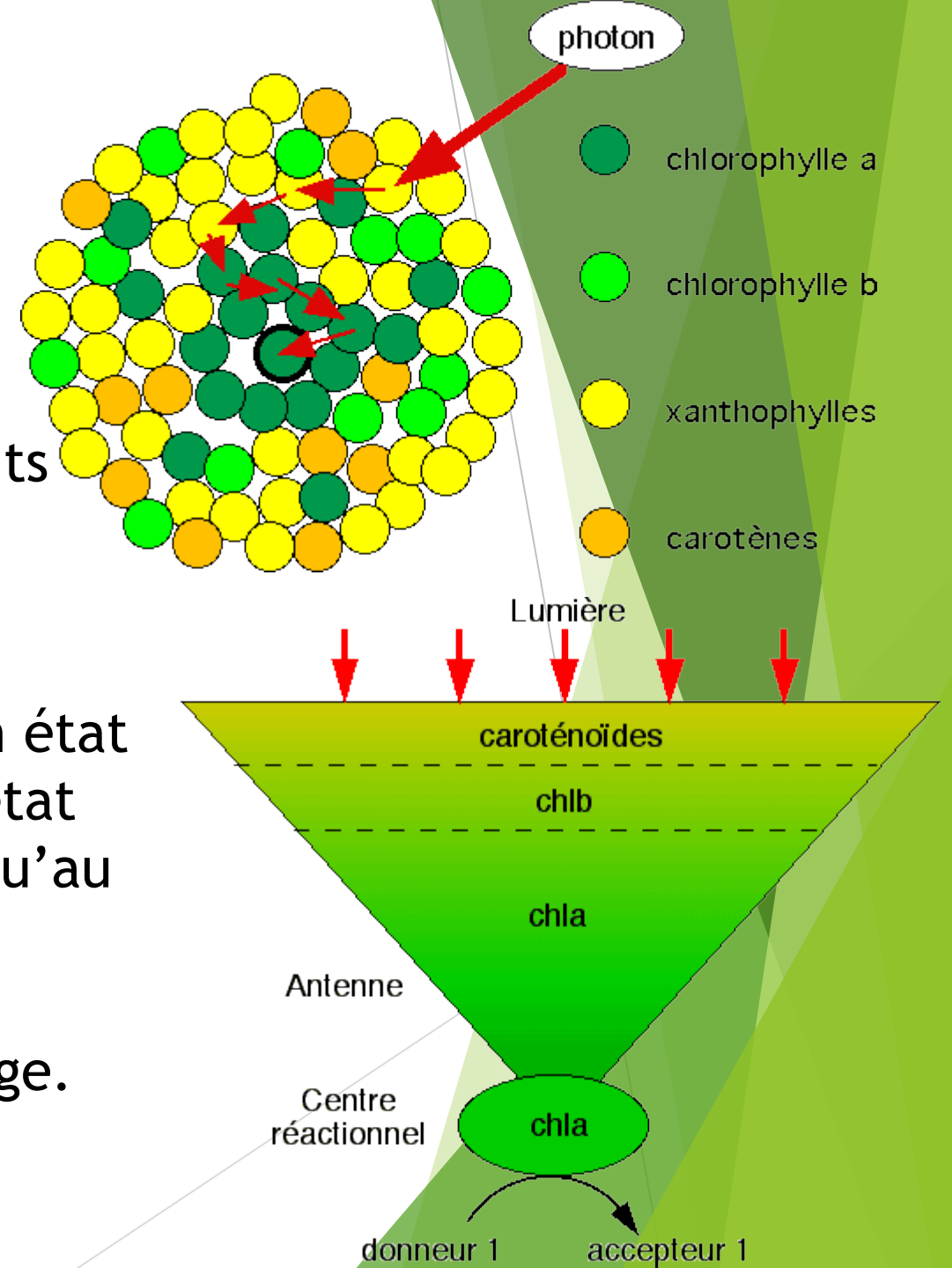
III. Le déroulement de la photosynthèse

A. La phase photochimique

La membrane des thylakoïdes contient des photosystèmes (pigments + protéines). Les pigments sont groupés en antennes collectrices d'énergie lumineuse.

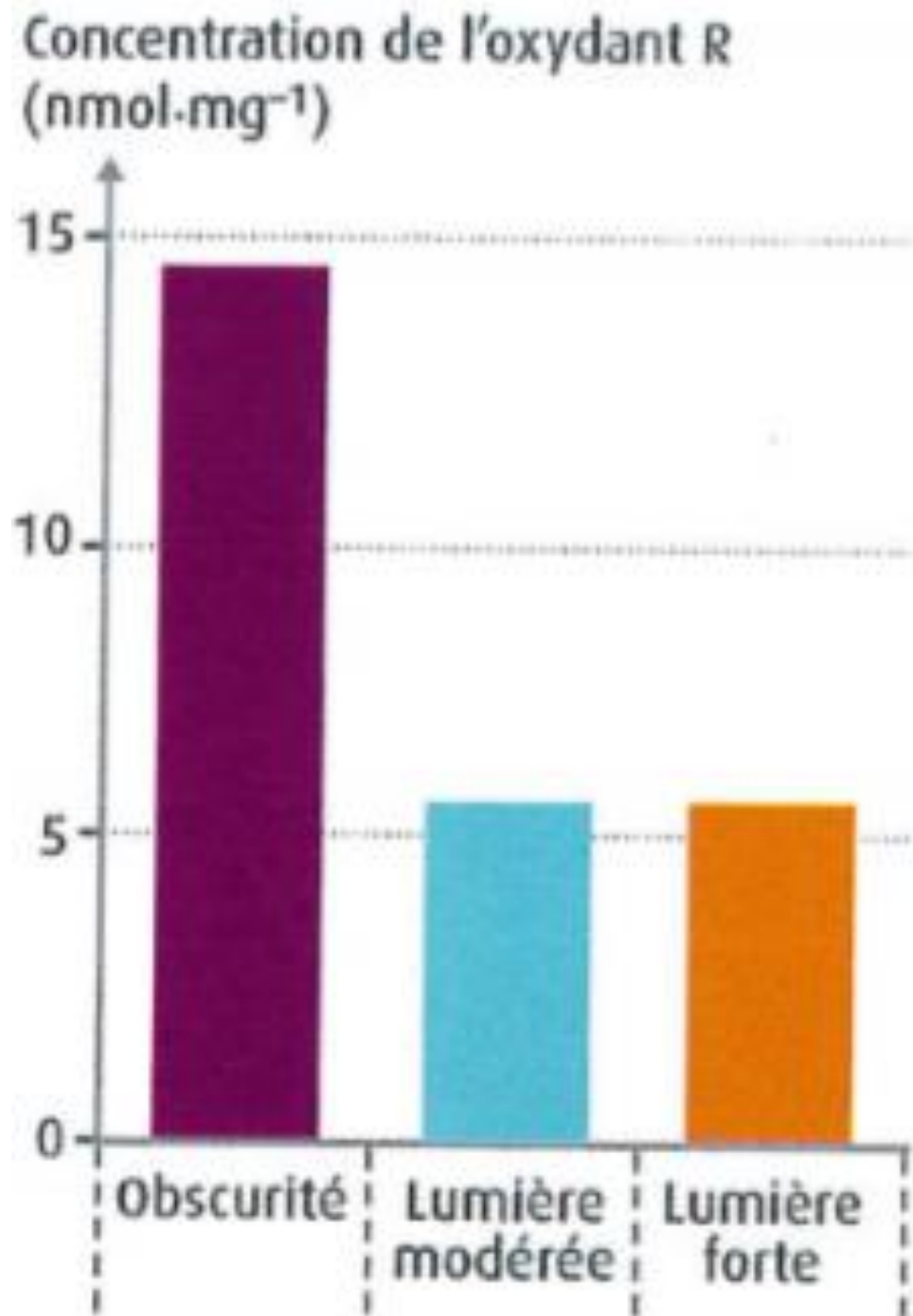
Quand un pigment absorbe un photon il passe d'un état fondamental à un état excité. Pour retourner à l'état normal il transfère son excitation à son voisin jusqu'au centre réactionnel qui contient la chlorophylle a.

La chlorophylle *a* est qualifiée de chlorophylle piège.



1 Conditions d'éclairement et évolution de la concentration cellulaire d'ATP et de R.

Des feuilles d'avoine sont incubées à 20°C dans différentes conditions d'éclairement (obscurité, lumière). Après 3 minutes, elles sont congelées et on dose les composés R, ADP et ATP. Ces composés sont présents dans différents compartiments cellulaires, mais on admettra que les modifications observées traduisent des événements dans les chloroplastes.

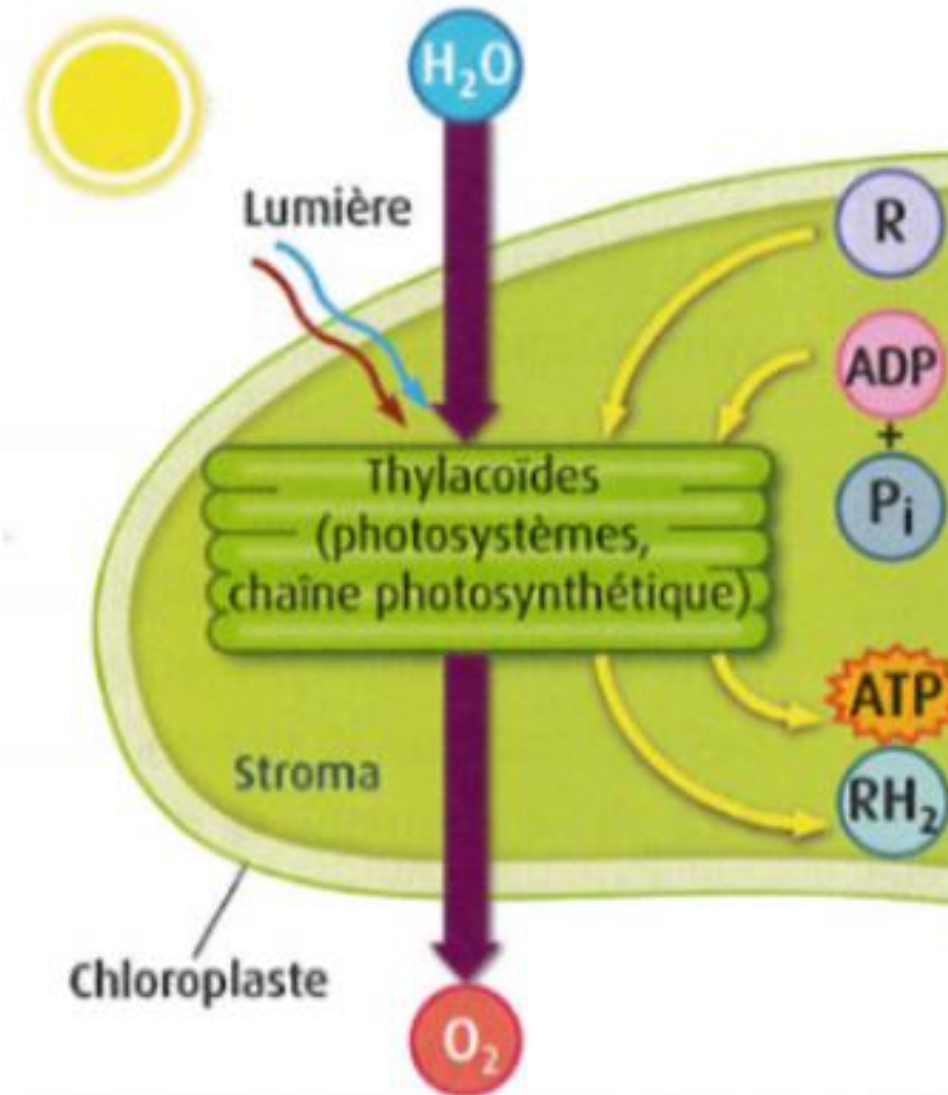


III. Le déroulement de la photosynthèse

A. La phase photochimique

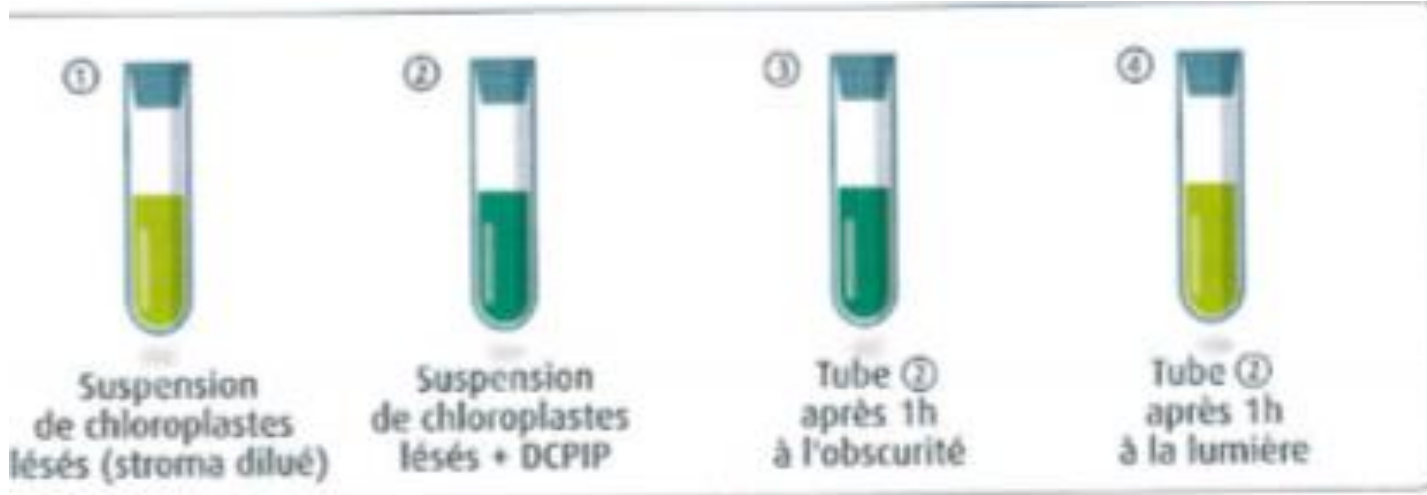
Quand elle est excitée par un rayonnement lumineux la chlorophylle a perd un électron au profit d'une chaîne d'oxydo-réduction localisée sur la membrane des thylakoïdes : la chaîne photosynthétique.

L'accepteur final d'électrons est un oxydant soluble, noté R, qui est réduit en RH_2 . Un électron est donné à la chlorophylle pour qu'elle retrouve son état normal. L'électron est donné grâce à l'oxydation de l'eau. Il y a alors production de O_2 .



III. Le déroulement de la photosynthèse

A. La phase photochimique



Mise en évidence d'une conséquence de l'éclairement.

Des chloroplastes sont isolés et traités de façon à diluer le stroma sans abimer les thylacoïdes. On teste la capacité de ce système à réduire le DCPIP (dichlorophéno-indo-phénol), qui est bleu à l'état oxydé et incolore à l'état réduit.

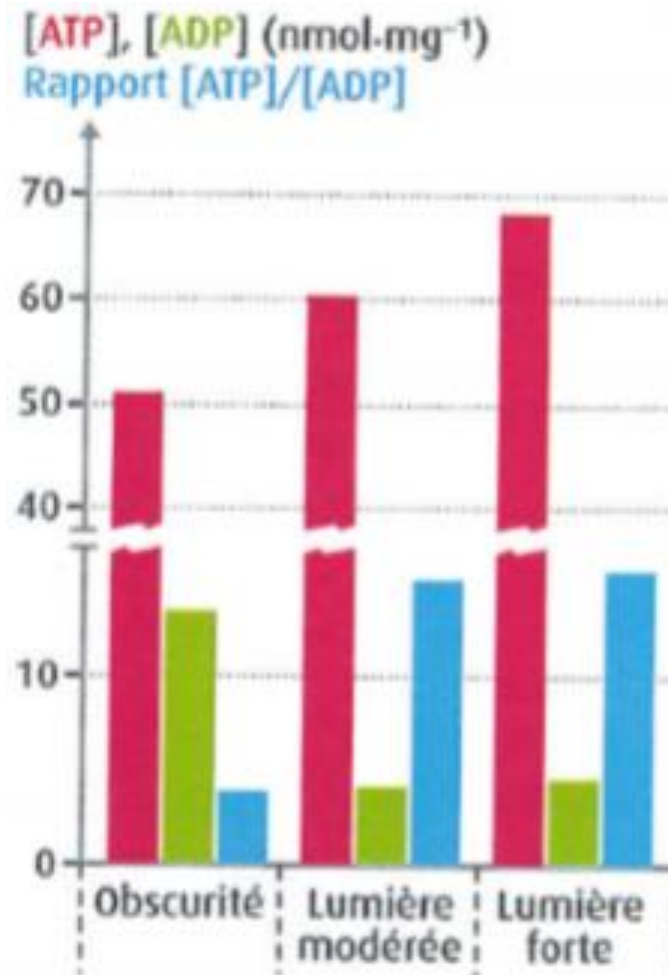
Le flux d'électrons dans la chaîne photosynthétique permet le passage de protons (H^+) du stroma vers le lumen. On voit donc une diminution du pH du lumen lors de l'éclairement des chloroplastes.

III. Le déroulement de la photosynthèse

A. La phase photochimique

1 Conditions d'éclairement et évolution de la concentration cellulaire d'ATP et de R.

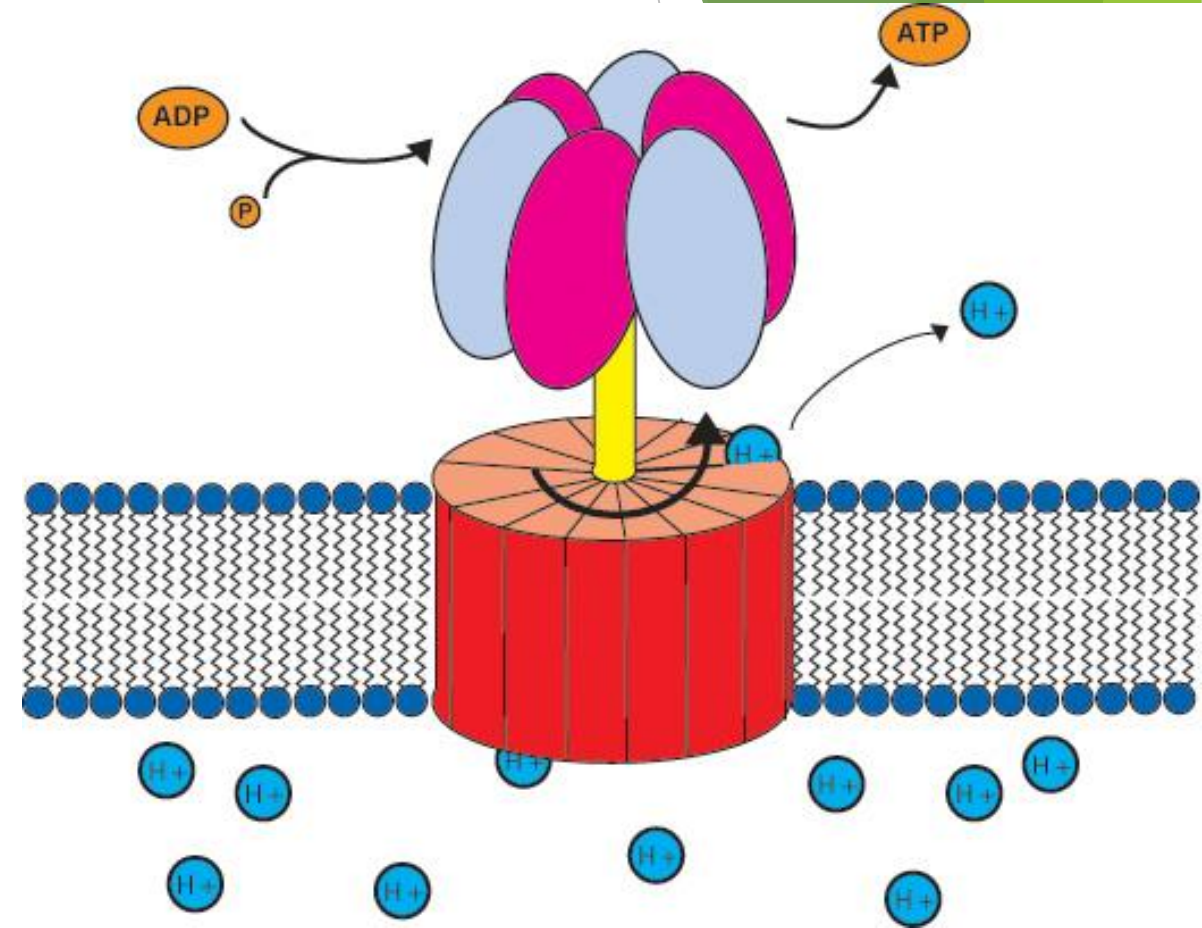
Des feuilles d'avoine sont incubées à 20°C dans différentes conditions d'éclairement (obscurité, lumière). Après 3 minutes, elles sont congelées et on dose les composés R, ADP et ATP. Ces composés sont présents dans différents compartiments cellulaires, mais on admettra que les modifications observées traduisent des événements dans les chloroplastes.



III. Le déroulement de la photosynthèse

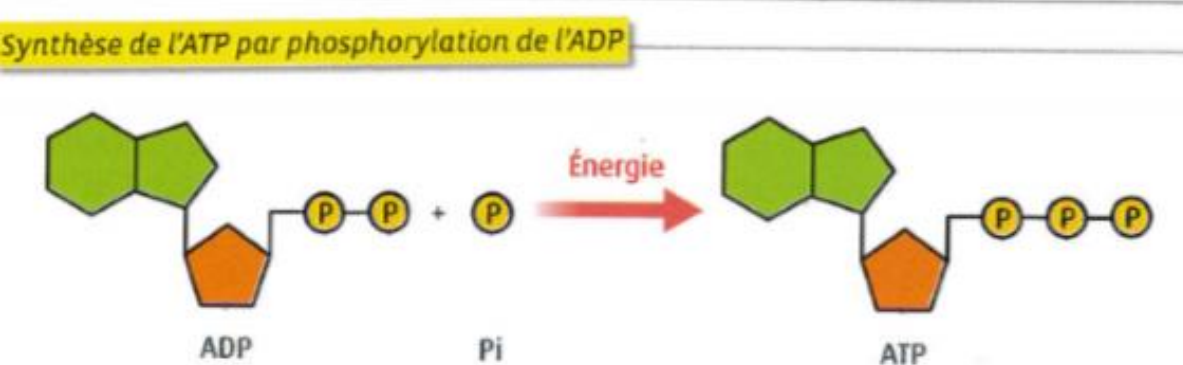
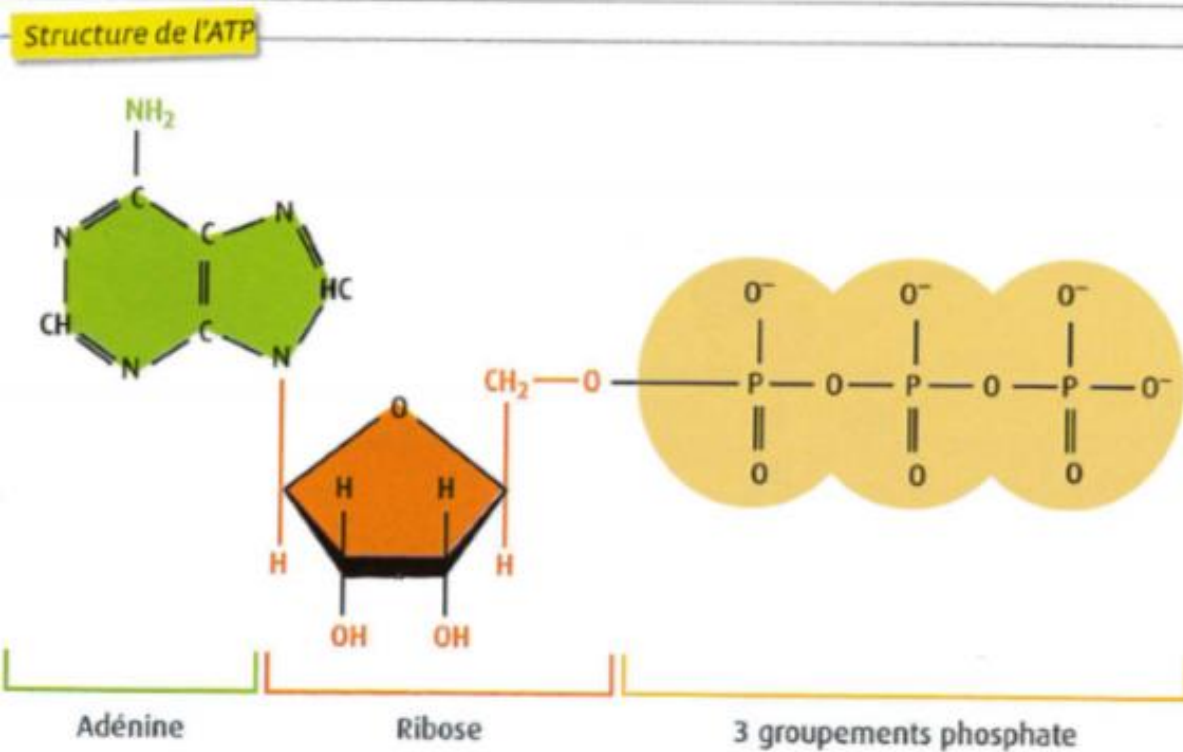
A. La phase photochimique

La gradient de pH entre lumen et stroma est une forme de stockage d'énergie. Les ATP-synthases (enzyme de la membrane des thylakoïdes) permettent le retour des protons vers le stroma et en même temps la synthèse d'ATP.



III. Le déroulement de la photosynthèse

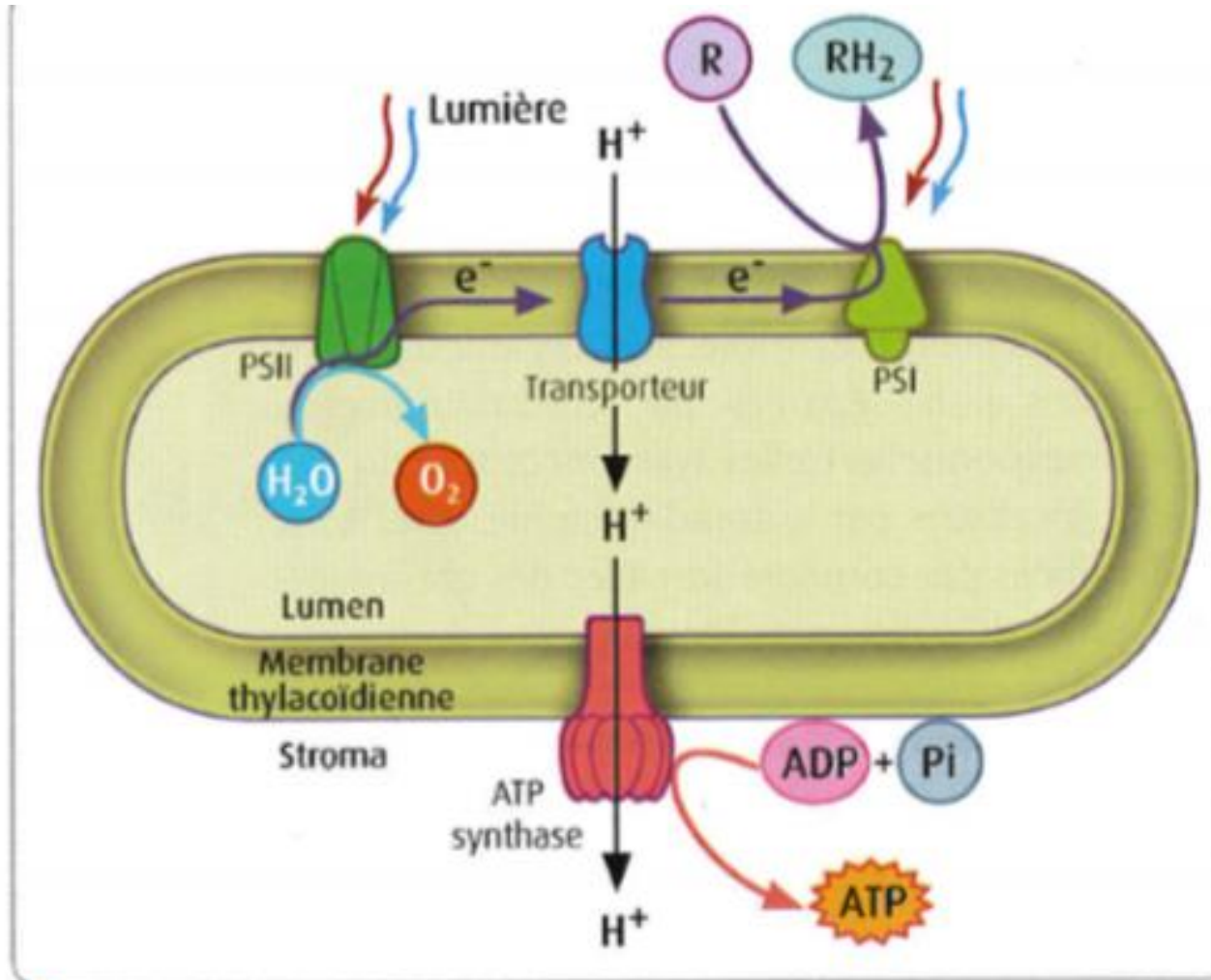
A. La phase photochimique



2 La molécule d'ATP. L'ATP, ou **adénosine triphosphate**, est synthétisé à partir d'ADP (adénosine diphosphate) et de phosphate inorganique P_i . Cette synthèse nécessite un apport d'énergie pour l'établissement d'une liaison entre deux groupements phosphate: c'est une **phosphorylation**. Si la source d'énergie est la lumière, on parle de **photophosphorylation**. La liaison formée peut ultérieurement être hydrolysée, ce qui libère de l'énergie. L'ATP est une molécule essentielle pour les transferts d'énergie dans la cellule.

III. Le déroulement de la photosynthèse

A. La phase photochimique



III. Le déroulement de la photosynthèse

A. La phase photochimique

L'énergie lumineuse est donc convertie en énergie chimique sous deux formes :

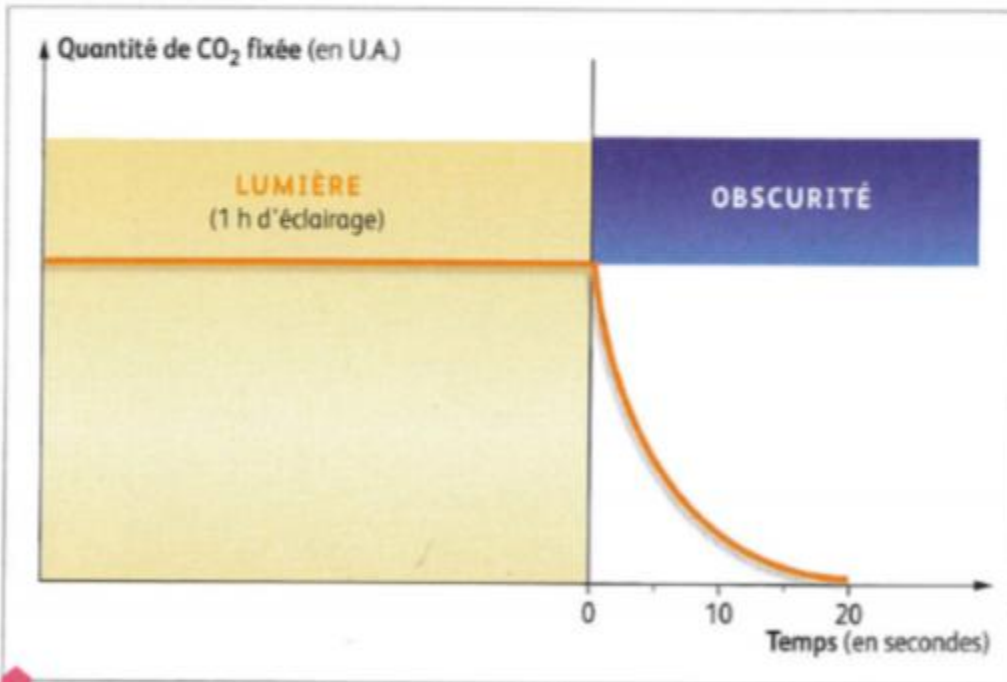
- des composés RH_2
- des molécules d'ATP

III. Le déroulement de la photosynthèse

B. La phase chimique

1 L'utilisation du CO_2

- ▶ Du dioxyde de carbone radioactif ($^{14}\text{CO}_2$) est fourni à une suspension d'algues unicellulaires fortement éclairée pendant au moins 20 min puis mise à l'obscurité.
- ▶ On mesure la quantité de molécules organiques élaborées à partir du $^{14}\text{CO}_2$ par les algues au cours de l'expérience.



Résultats expérimentaux (Gaffron, 1951).

- ▶ Afin de mieux comprendre les conditions de l'assimilation du CO_2 , Arnon (1958) réalise différentes expériences à partir de fragments de chloroplastes séparés en deux fractions :
 - une fraction constituée uniquement de thylakoïdes exposés à la lumière ;
 - une fraction liquide provenant de stroma et laissée à l'obscurité.

Conditions expérimentales	Radioactivité (en coups/min)
Stroma laissé à l'obscurité en présence de CO_2 radioactif	4 000
Thylacoïdes laissés à la lumière, puis mis à l'obscurité en présence de stroma toujours laissé à l'obscurité, avec du CO_2 radioactif	96 000
Stroma laissé à l'obscurité en présence de CO_2 radioactif, d' ATP et de RH_2	97 000

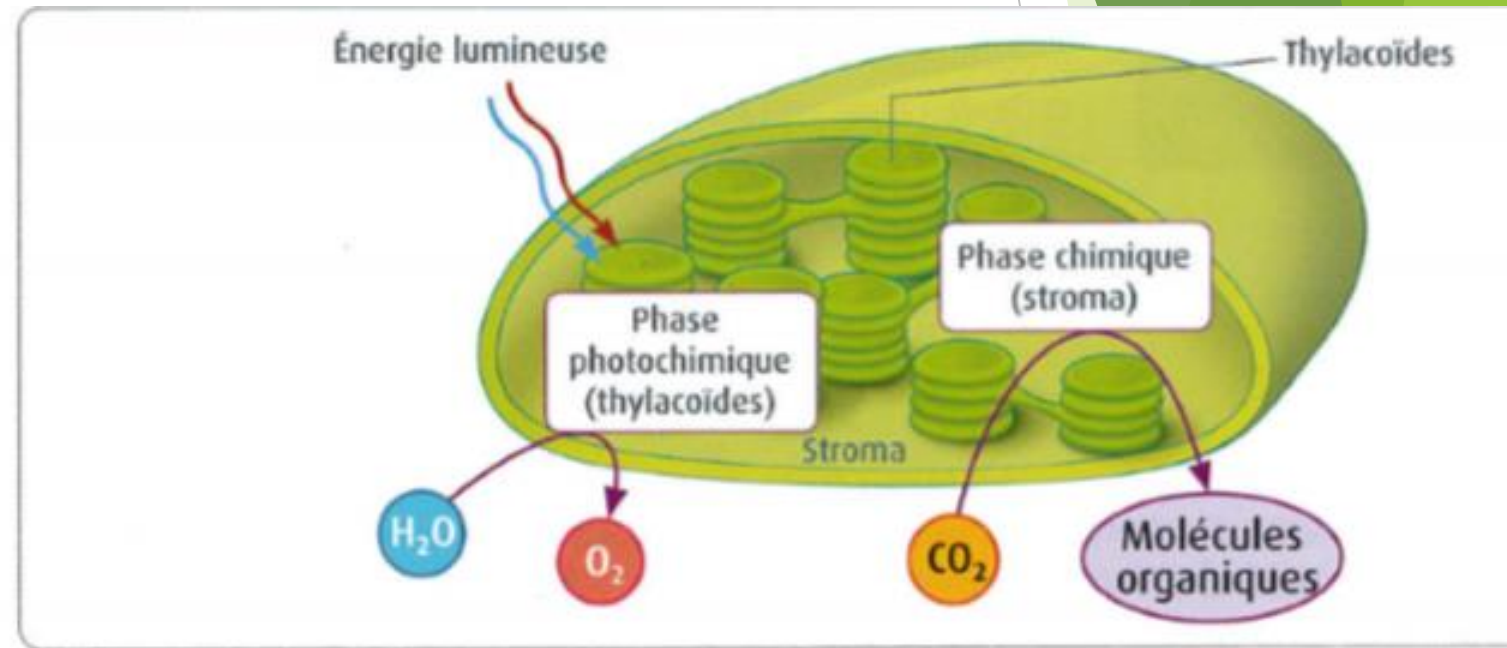
b

III. Le déroulement de la photosynthèse

B. La phase chimique

Elle se déroule dans le stroma, le CO_2 est fixé et du glucose est produit.

La phase chimique correspond à des réactions organisées en un cycle : le cycle de Calvin.



Les deux phases de la photosynthèse dans un chloroplaste.

III. Le déroulement de la photosynthèse

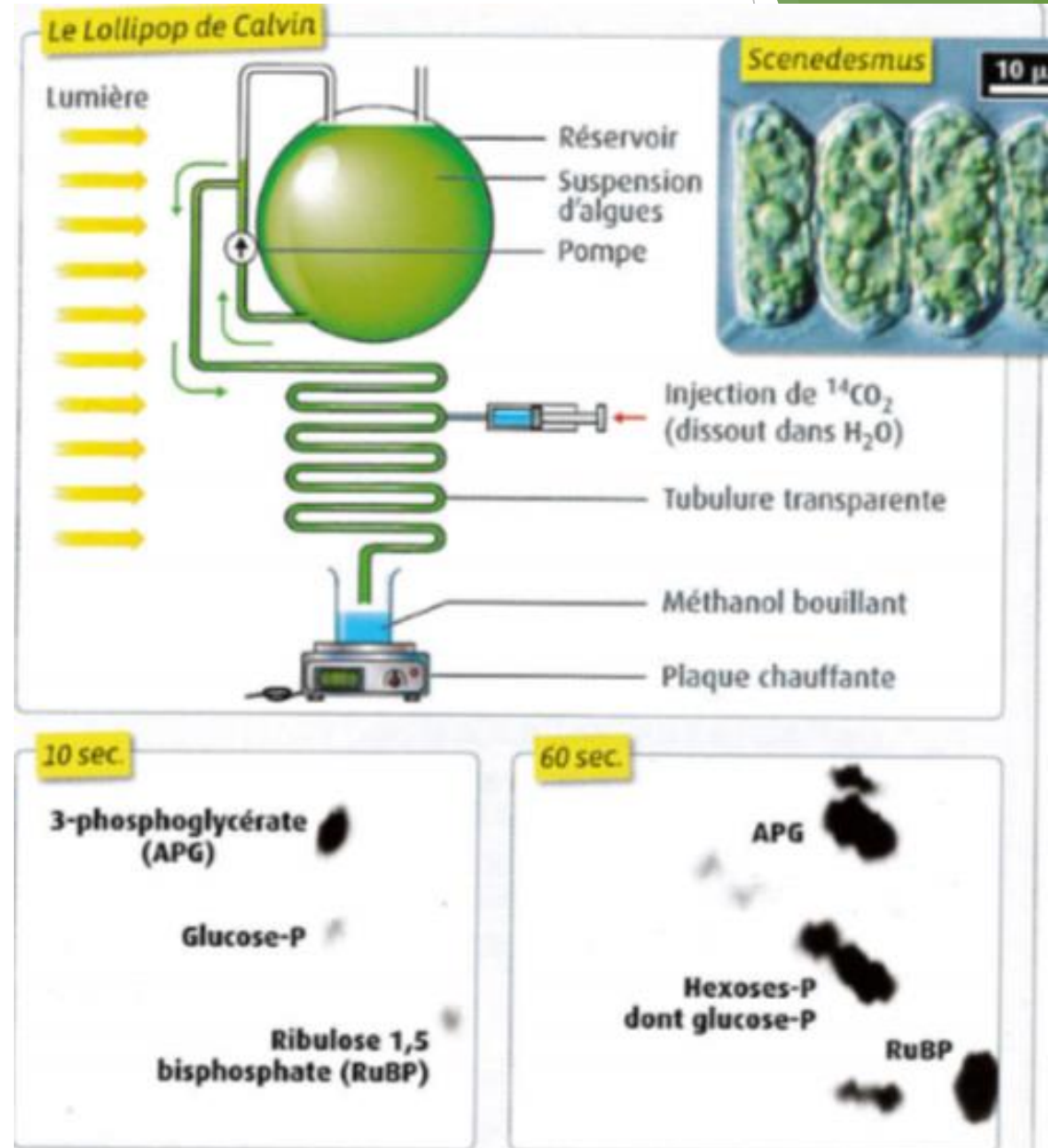
B. La phase chimique



M. Calvin

Melvin Calvin commence à travailler sur la photosynthèse en 1945. Au sein d'une équipe pluridisciplinaire, il étudie les premières étapes de la fixation du CO_2 lors de la phase chimique. Des algues vertes microscopiques (*Scenedesmus*) sont cultivées dans une cuve reliée à un serpentin (le Lollipop).

Pendant l'expérience, la suspension d'algues s'écoule à travers le serpentin et le débit, contrôlé très précisément, détermine le temps de parcours. Du $^{14}\text{CO}_2$ est injecté à un certain niveau du serpentin. À la sortie, les algues sont immédiatement tuées et fixées par du méthanol bouillant. On connaît donc précisément la durée pendant laquelle elles ont été en contact avec le $^{14}\text{CO}_2$ (10 secondes ou 60 secondes dans les résultats présentés). Les molécules organiques sont extraites puis séparées par chromatographie bidimensionnelle. Celles ayant incorporé du ^{14}C sont localisées par autoradiographie. Elles sont identifiées par comparaison avec des chromatographies de substances témoin.

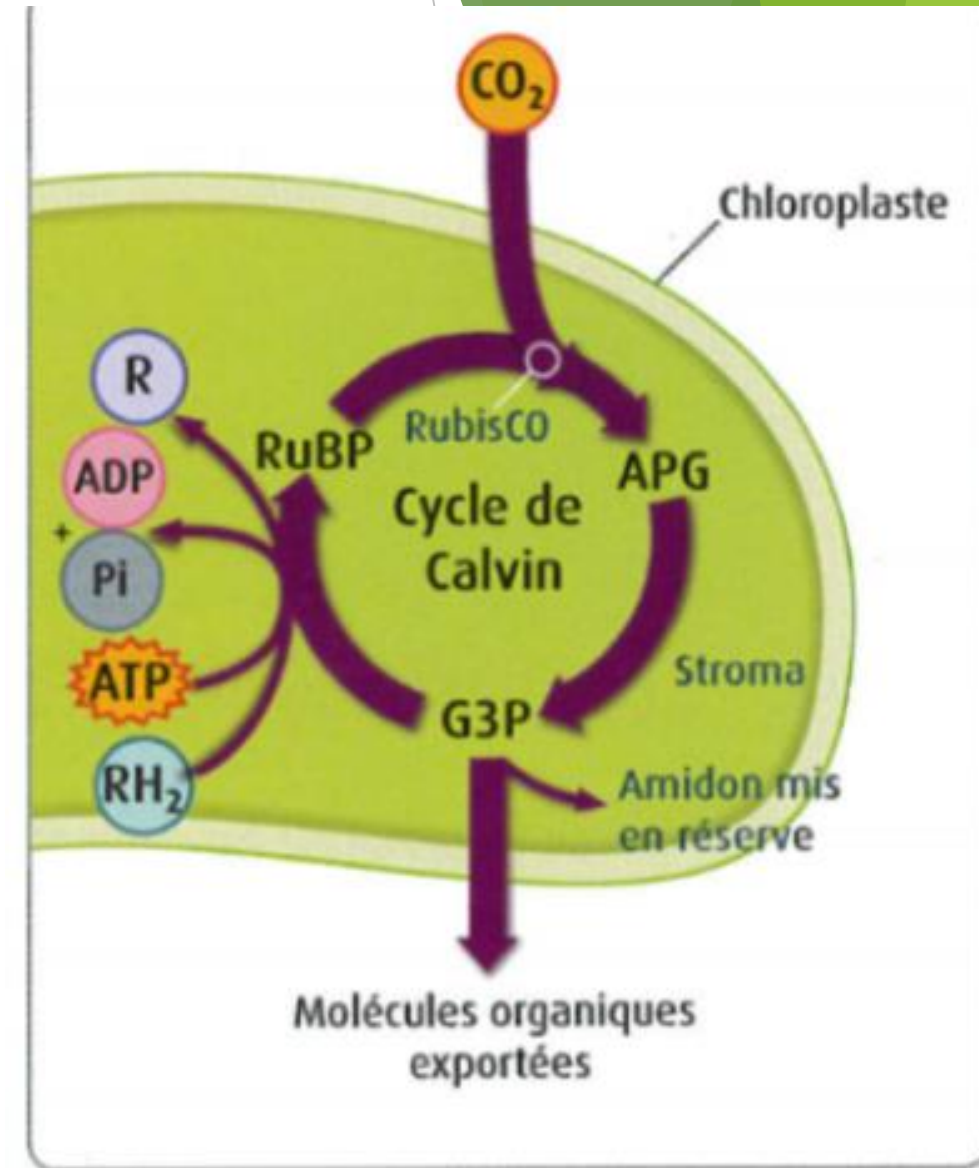


III. Le déroulement de la photosynthèse

B. La phase chimique

L'enzyme, la RubisCO permet la fixation du CO_2 sur un glucide à 5C : le ribulose 1,5 bis phosphate (RuBP). La molécule produite se scinde en deux et forment deux molécules APG à 3 atomes de C.

L'APG s'engage dans une succession de réactions qui permettent la production de molécule G3P (glycéraldéhyde 3 phosphate) et la régénération du RuBP.



Les événements de la phase chimique.

III. Le déroulement de la photosynthèse

B. La phase chimique

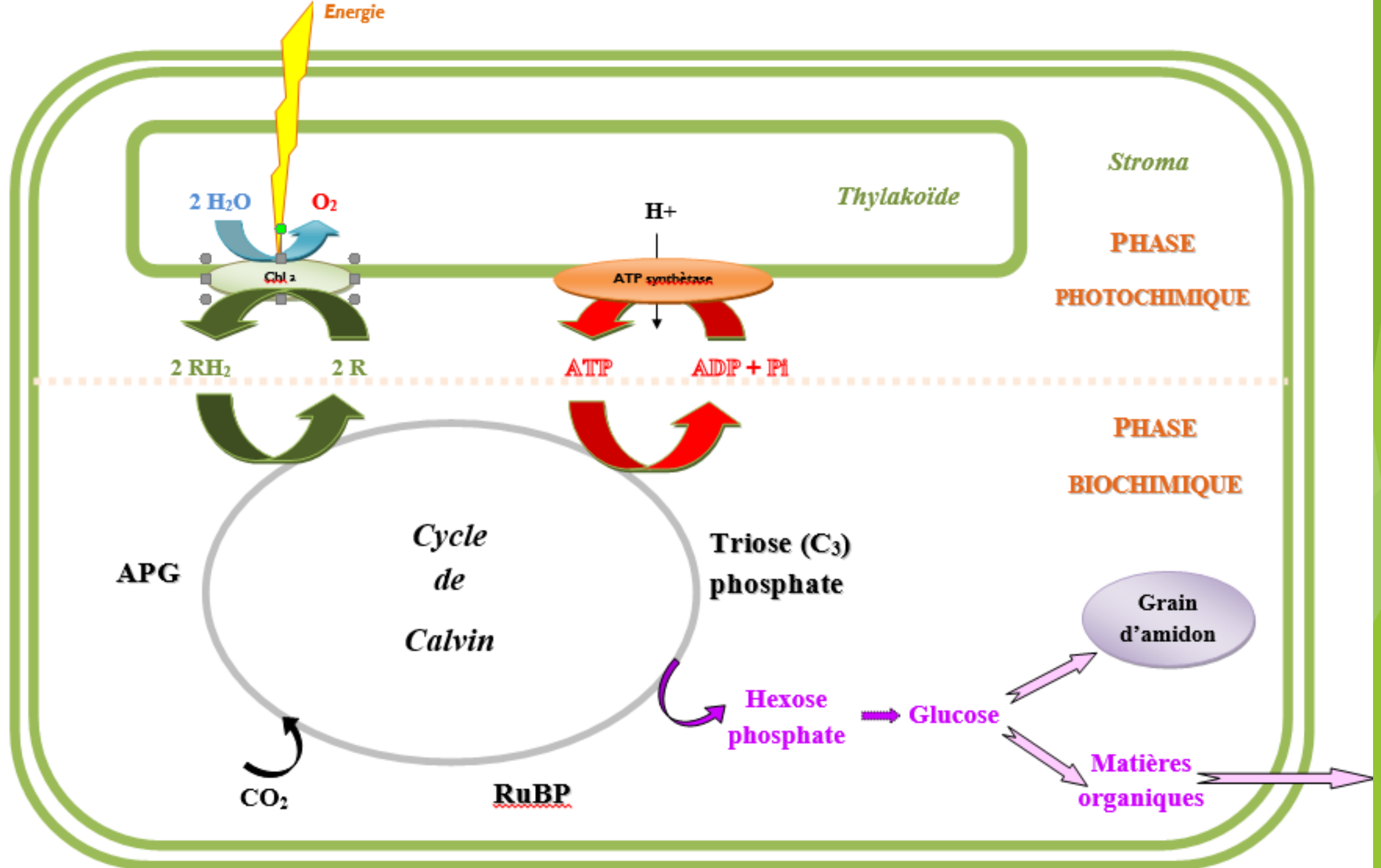
Pour produire un glucose il faut 6 tours du cycle de Calvin et donc 18 ATP, 12 RH_2 et 6 CO_2 . Le RH_2 et l'ATP ont été produits lors de la phase photochimique.

Le sucre produit est stocké temporairement sous forme d'amidon dans les chloroplastes. Il y a donc un couplage obligatoire entre les phases photochimique et chimique par l'intermédiaire de l'ATP et le RH_2 .

III. Le déroulement de la photosynthèse

C. La réaction globale

La phase photochimique conditionne la phase chimique ; il y a couplage entre ces deux phases.



Conclusion :

- ▶ Tout système vivant échange de la matière et de l'énergie avec ce qui l'entoure. Il est le siège de couplages énergétiques.
- ▶ La cellule chlorophyllienne des végétaux verts effectue la photosynthèse grâce à l'énergie lumineuse. Le chloroplaste est l'organe clé de cette fonction.
- ▶ La phase photochimique produit des composés réduits RH_2 et de l'ATP.
- ▶ La phase chimique produit du glucose à partir de CO_2 en utilisant les produits de la phase photochimique.