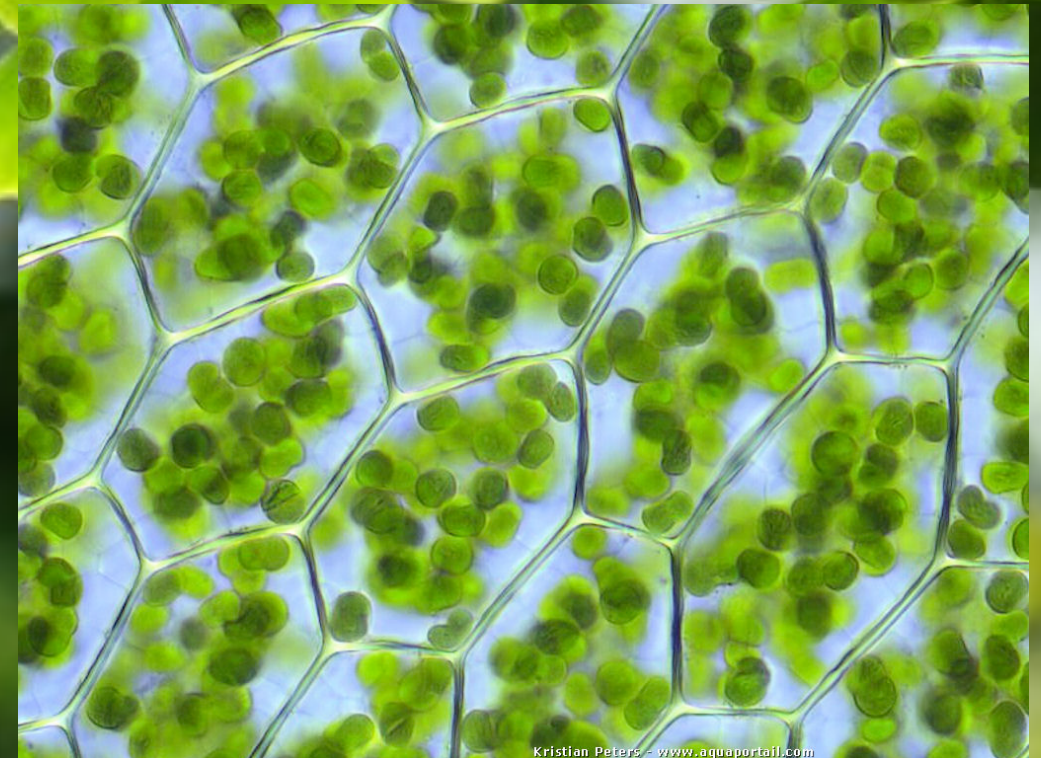


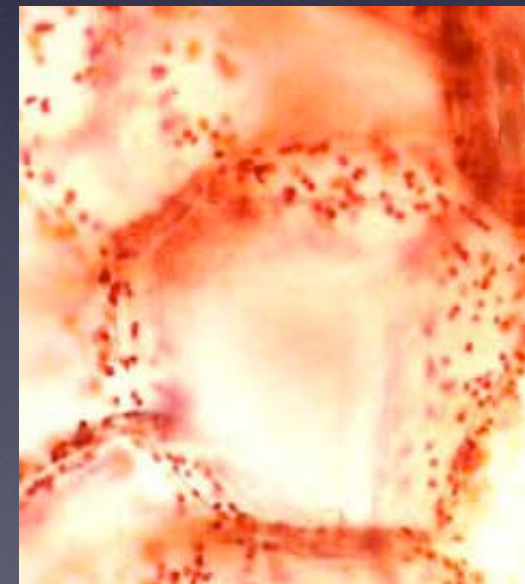
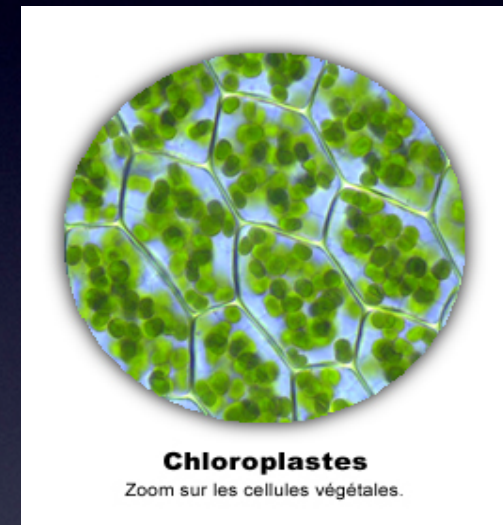
Le chloroplaste



Pr Boutaina BELQAT

Les plastes

- Les plastes sont des organites cytoplasmiques caractéristiques des cellules végétales. Certains sont colorés:
 - les chloroplastes qui renferment en abondance des pigments verts ou chlorophylle, reponsable de la photosynthèse.
 - les chromoplastes qui renferment des pigments de nature variables autres que la chlorophylle et notamment des carotéroides.



Leucoplastes

= Catégorie de plastes non pigmentés (incolores).

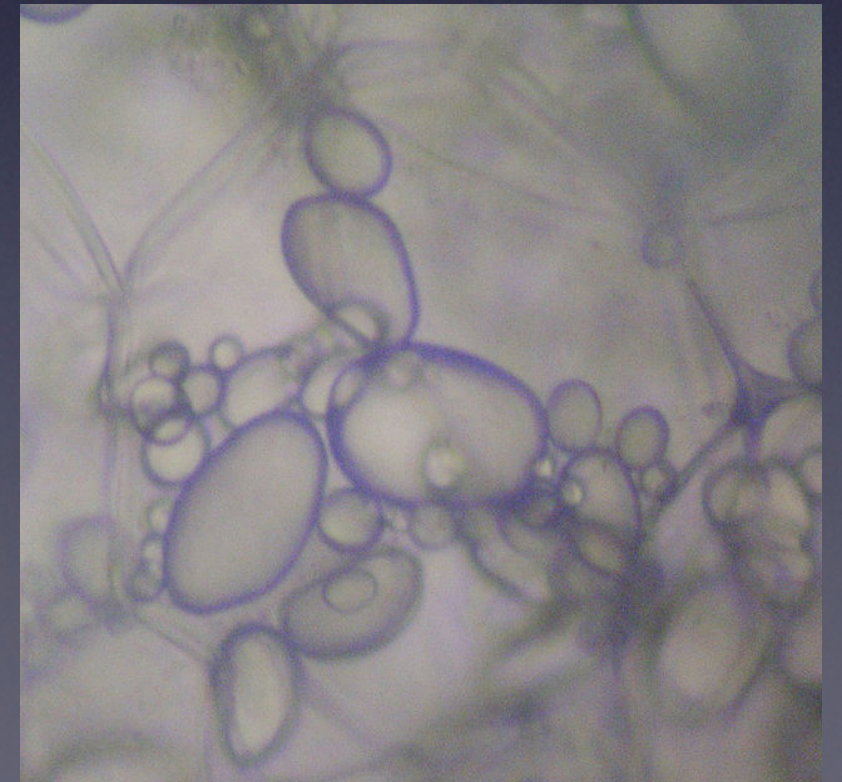
- Localisation dans les racines et dans les tissus **non photosynthétiques**.

- Pouvant se spécialiser pour stocker des réserves de :

- amidon = **amyloplast**

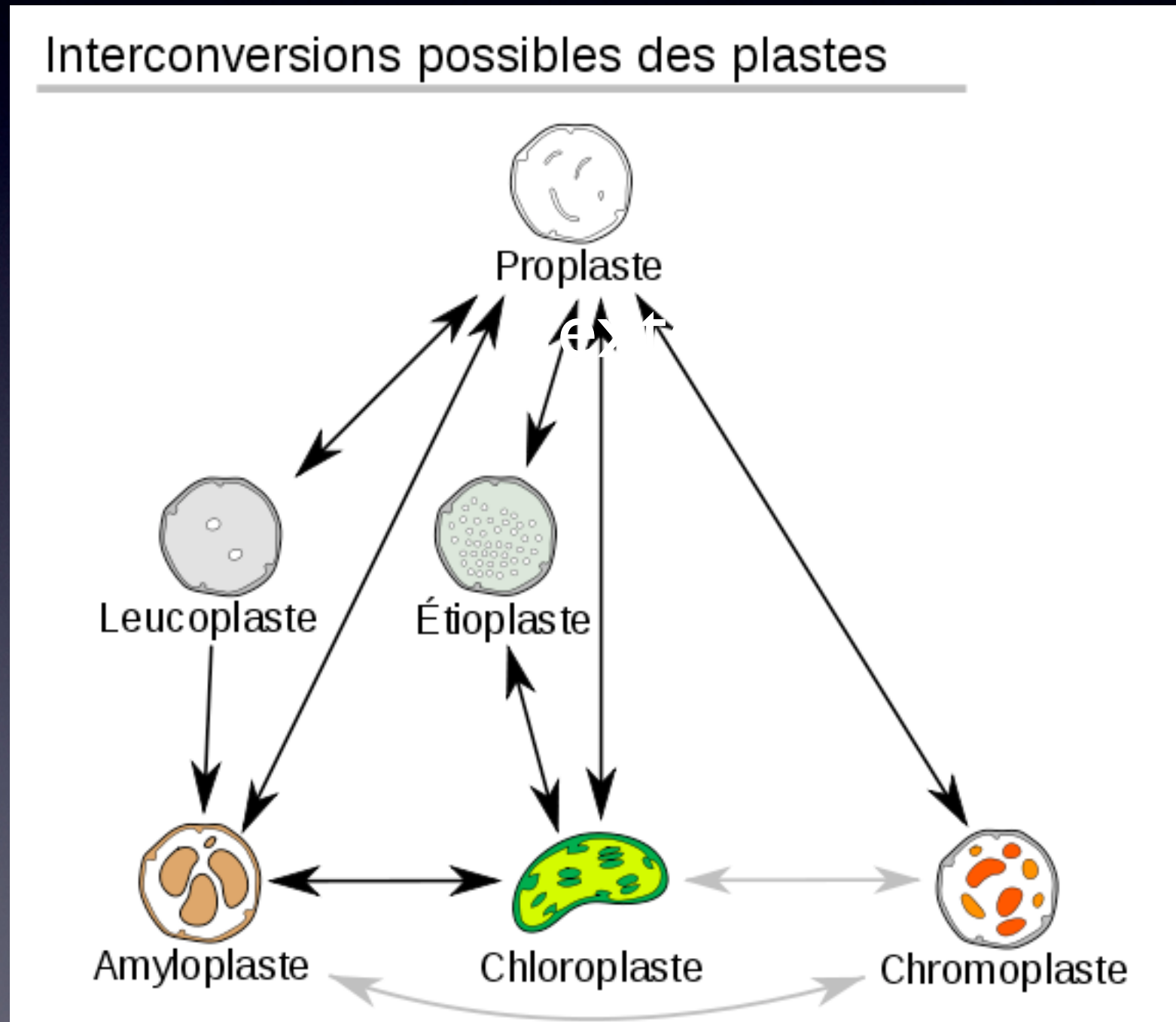
- lipides = **oléoplast**

- protéines = **protéinoplast**

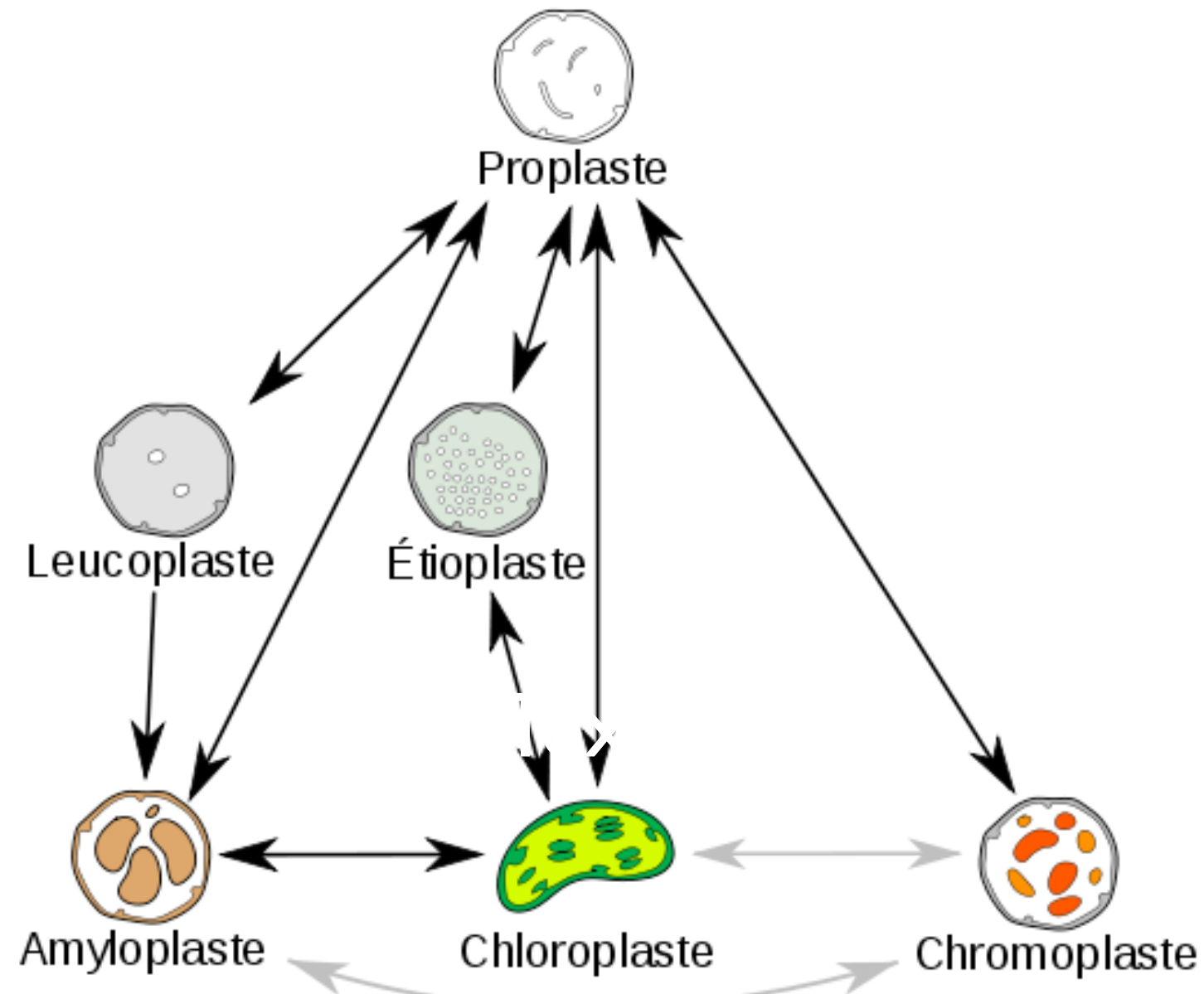


Les plastes ne sont pas totalement indépendants les uns des autres.

- Transformations morphologiques et fonctionnelles d'un type de plastes à un autre
- suivant l'état de différenciation de la cellule
- les conditions extérieures qui affectent l'organe de la plante.



Interconversions possibles des plastes



Agrandir

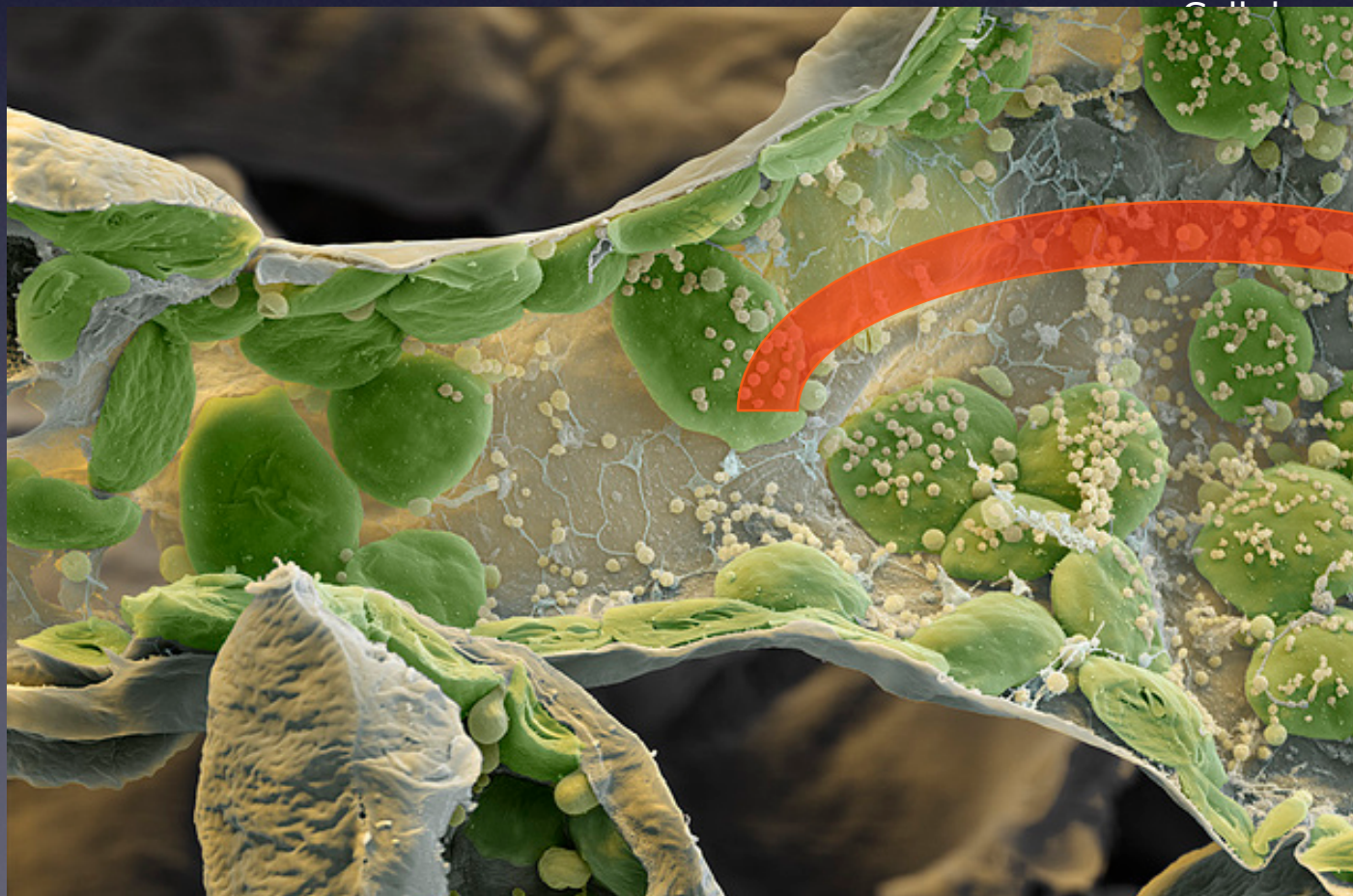


Le chloroplaste

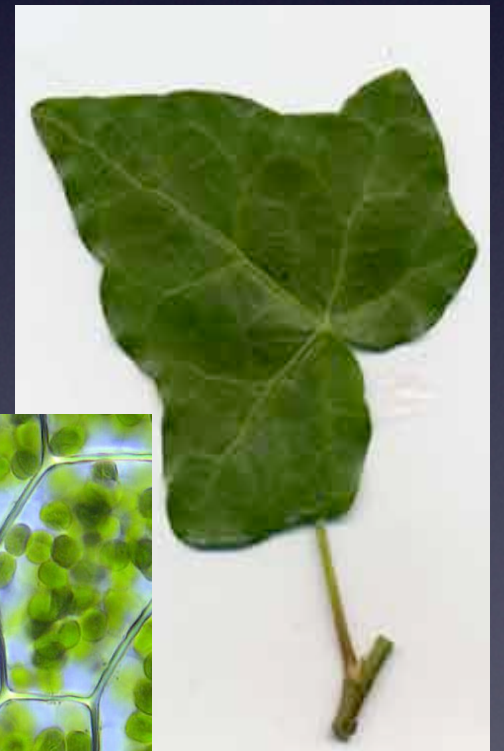
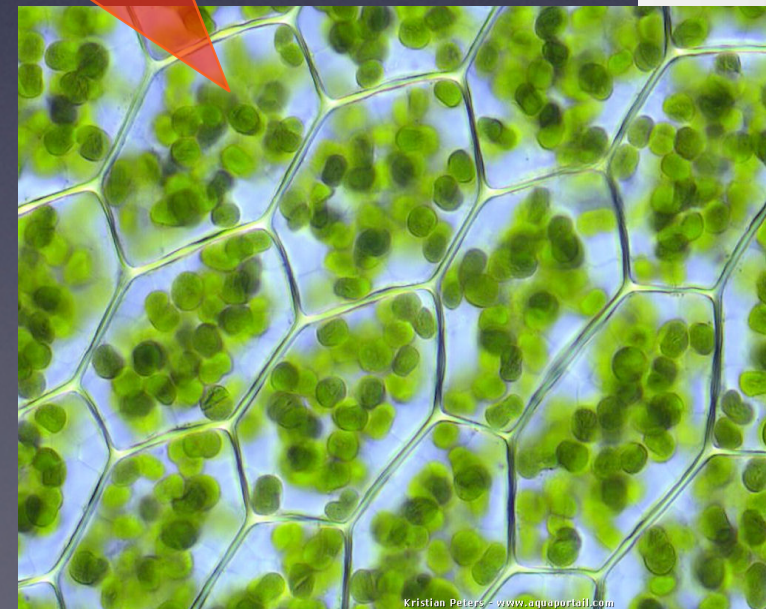
- Les chloroplastes sont des plastes qui doivent leur couleur verte à la chlorophylle.
- Ils sont le siège des phénomènes de photosynthèse = processus permettant aux végétaux verts d'effectuer la conversion de l'énergie lumineuse en énergie chimique.

I-1- Structure des chloroplastes

- Microscope photonique : forme souvent lenticulaire, de 3 à 10 μm de diamètre et de 1 à 2 μm d'épaisseur.
- Nombre par cellule, fixé génétiquement (30 - 50).
- Existents dans les tissus verts des fleurs, des fruits, des tiges jeunes et des feuilles.



Cellules chlorophylliennes



I-2- Ultrastructure

- Microscope électronique:
- Enveloppe composée de deux membranes:
 - Membrane plastidiale externe
 - Membrane plastidiale interne.
- Intérieur comprenant un ensemble de membranes photosynthétiques disposées en sacs aplatis = thylakoïdes ou lamelles.

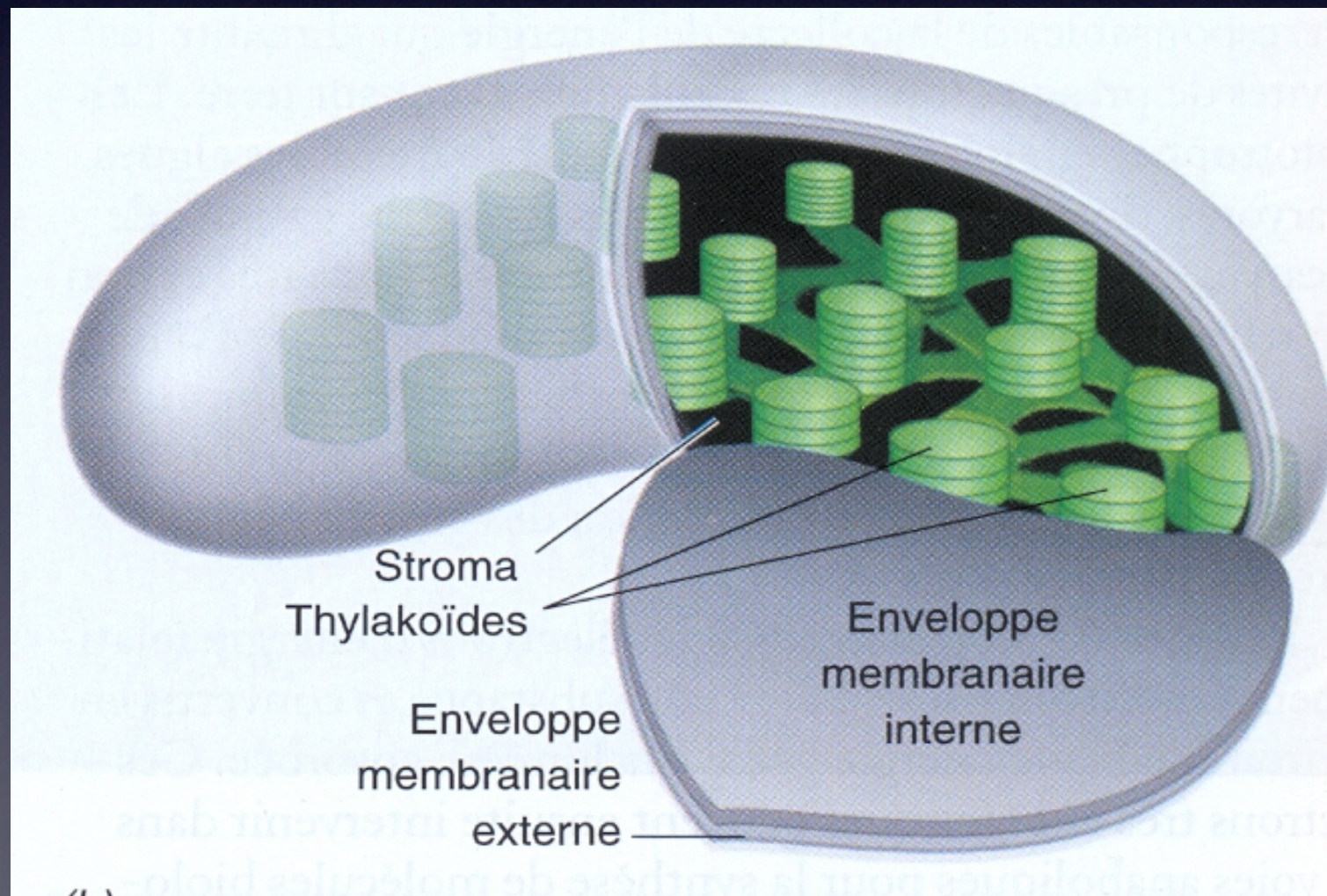


Figure 1. Dessin schématique d'un chloroplaste montrant la double membrane externe et les membranes thylakoïdales.

I-2- Ultrastructure

- Certains thylakoïdes s'empilent pour former des **grana**.
- **Stroma** = Solution riche en protéines qui baigne les thylakoïdes dans le chloroplaste.
- Lamelles d'un chloroplaste en continuité, entourant et délimitant une cavité unique.

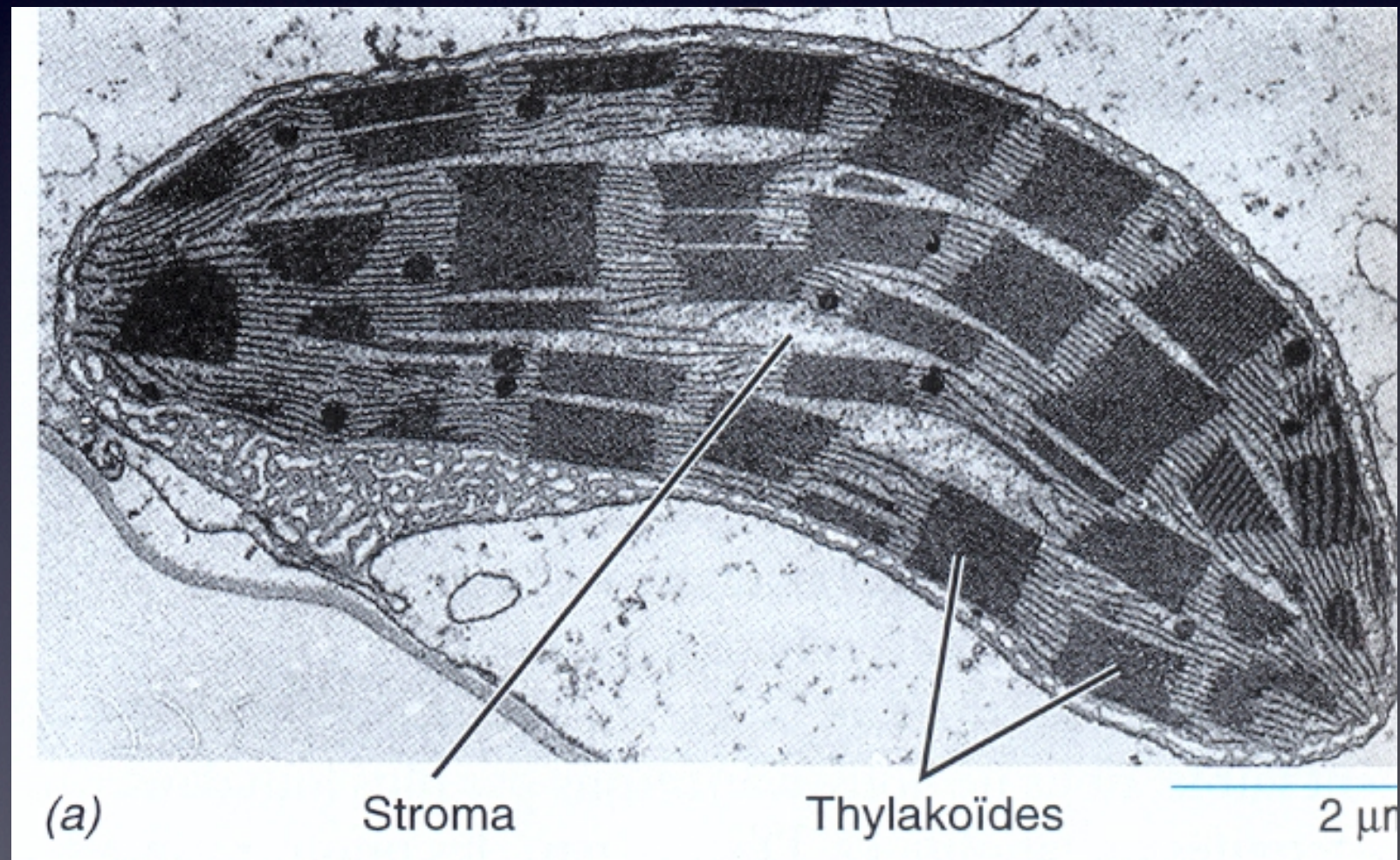
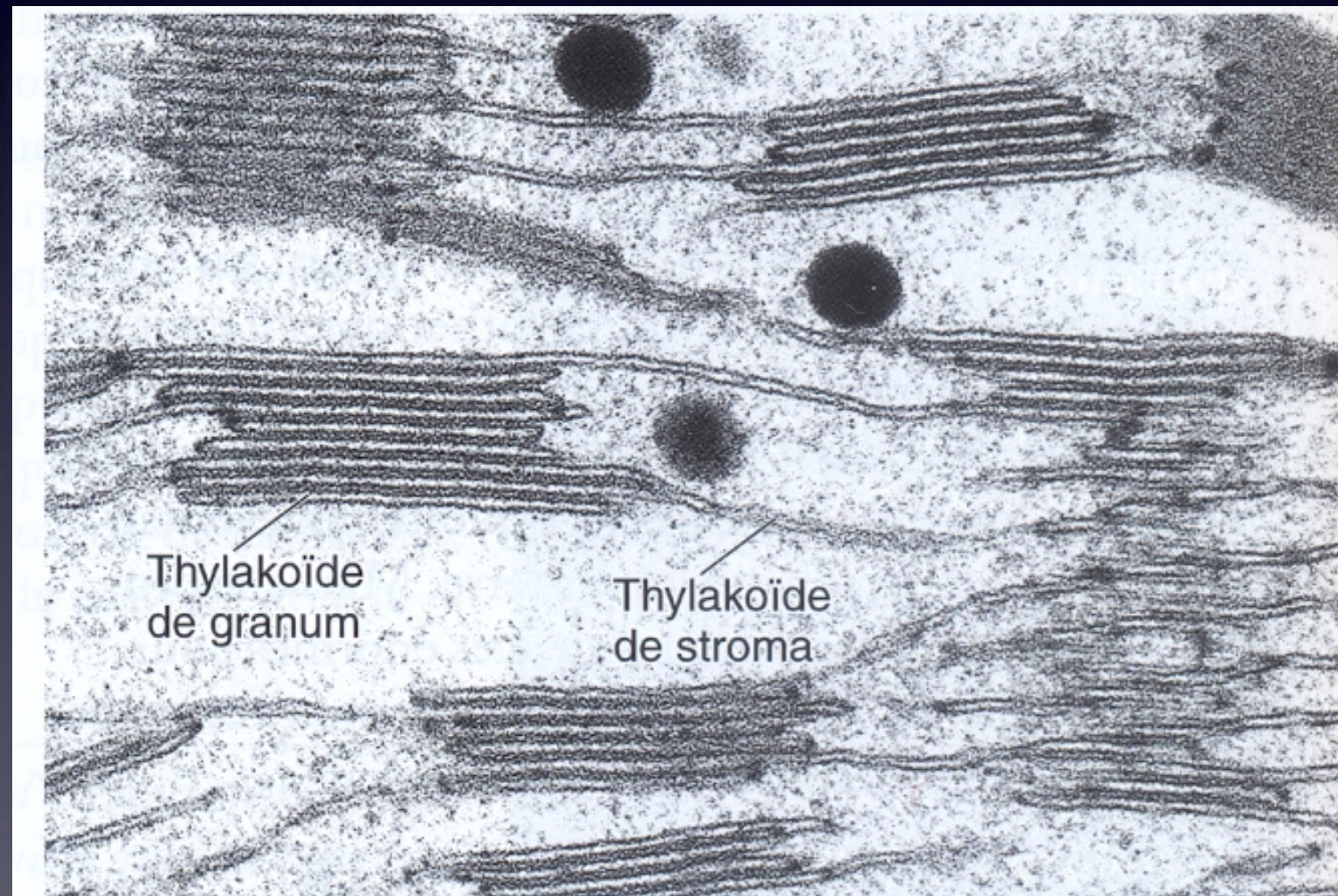


Figure 2. Structure interne d'un chloroplaste. Micrographie électronique d'un chloroplaste.

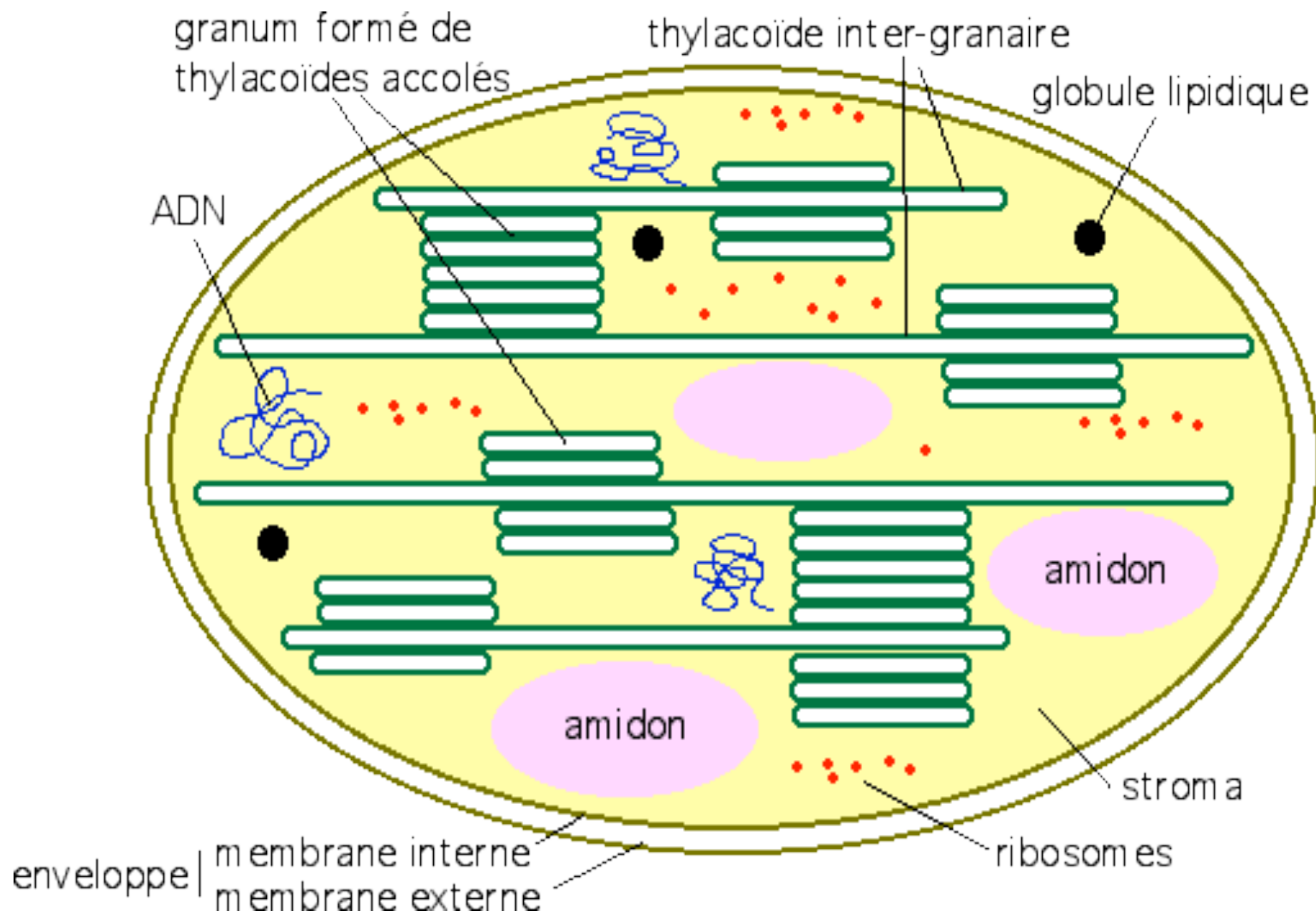
La membrane interne est disposée en piles de thylakoïdes physiquement séparés de la membrane externe (Lester K. Shumway)

I-2- Ultrastructure

- Certains thylakoïdes s'empilent pour former des grana.
- Stroma = Solution riche en protéines qui baigne les thylakoïdes dans le chloroplaste.
- Lamelles d'un chloroplaste en continuité, entourant et délimitant une cavité unique.

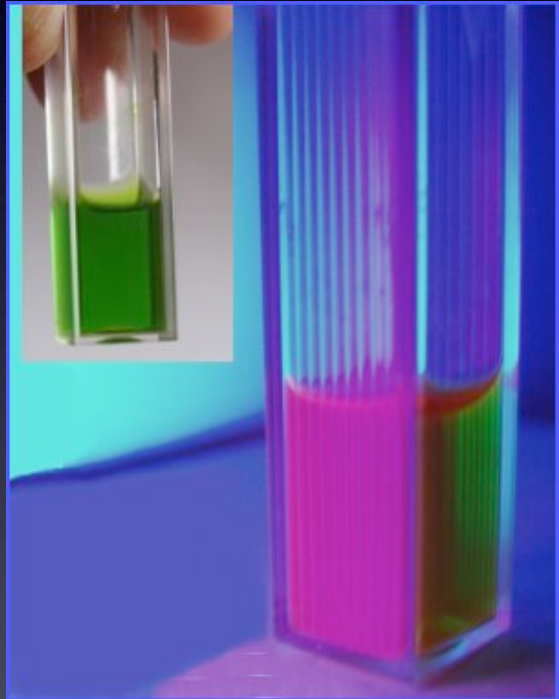


Protéines	40% à 35% du poids sec
Lipides	25% à 35% du poids sec
Chlorophylles	8% du poids sec
Caroténoïdes	4,5% du poids sec
ADN	0,5% du poids sec
ARN	2 à 3% du poids sec

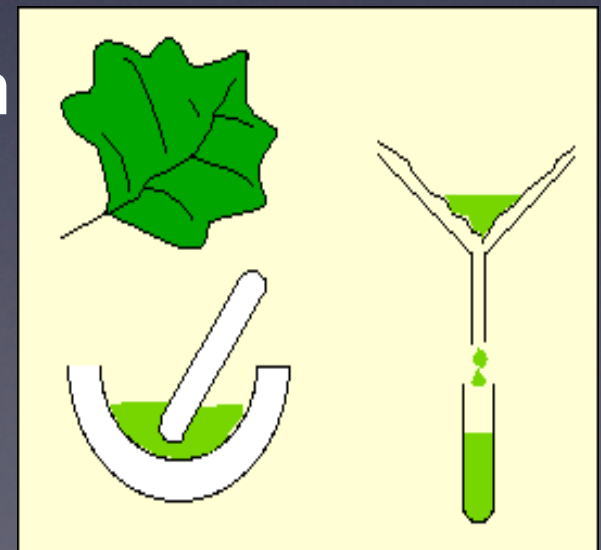


1-4-Les pigments photosynthétiques

- Pigments = molécules qui absorbent certaines longueurs d'onde particulières de la lumière; ils apparaissent donc colorés.
- Deux types toujours présents dans les chloroplastes: les chlorophylles et les caraténoïdes.
- Les chloroplastes sont verts parce qu'ils contiennent la chlorophylle = pigment qui réfléchit et transmet la lumière verte, mais qui absorbe les autres couleurs.



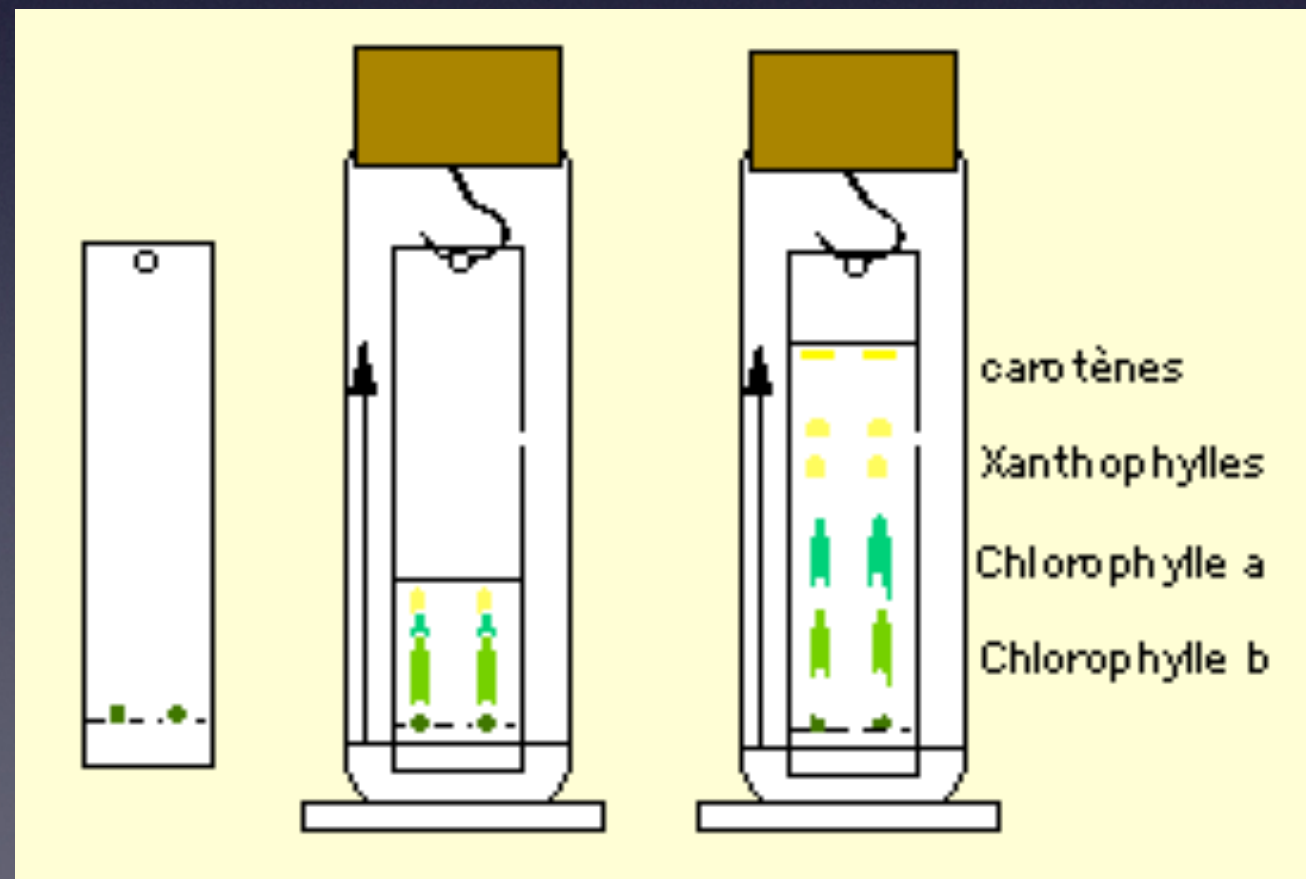
- 1 - Extraction et séparation des pigments
- - Les chlorophylles et les caroténoïdes sont **liposolubles** (solubles dans des solvants de nature lipidique) et peuvent donc être séparés.
- Extraction des pigments bruts
- - La feuille est broyée dans de l'alcool absolu ou de l'acétone.
- - Les pigments solubles dans les solvants organiques sont extraits.
- - Après filtration (élimination des débris cellulaire) obtention d'une solution brute de pigments.
 - Séparation des différents pigments de la solution brute.



- Chromatographie sur papier (méthode qualitative)
- - Dépôt d'une goutte de pigments bruts sur une feuille de papier.
- - Mise en place de la feuille de papier dans un réipient hermétique rempli d'un solvant approprié.
- - Le solvant monte dans la feuille par capillarité en entraînant les pigments de manière différentielle selon leur affinité avec le solvant.
- On peut distinguer ainsi deux catégories principales de pigments :

- les chlorophylles

- les caroténoïdes



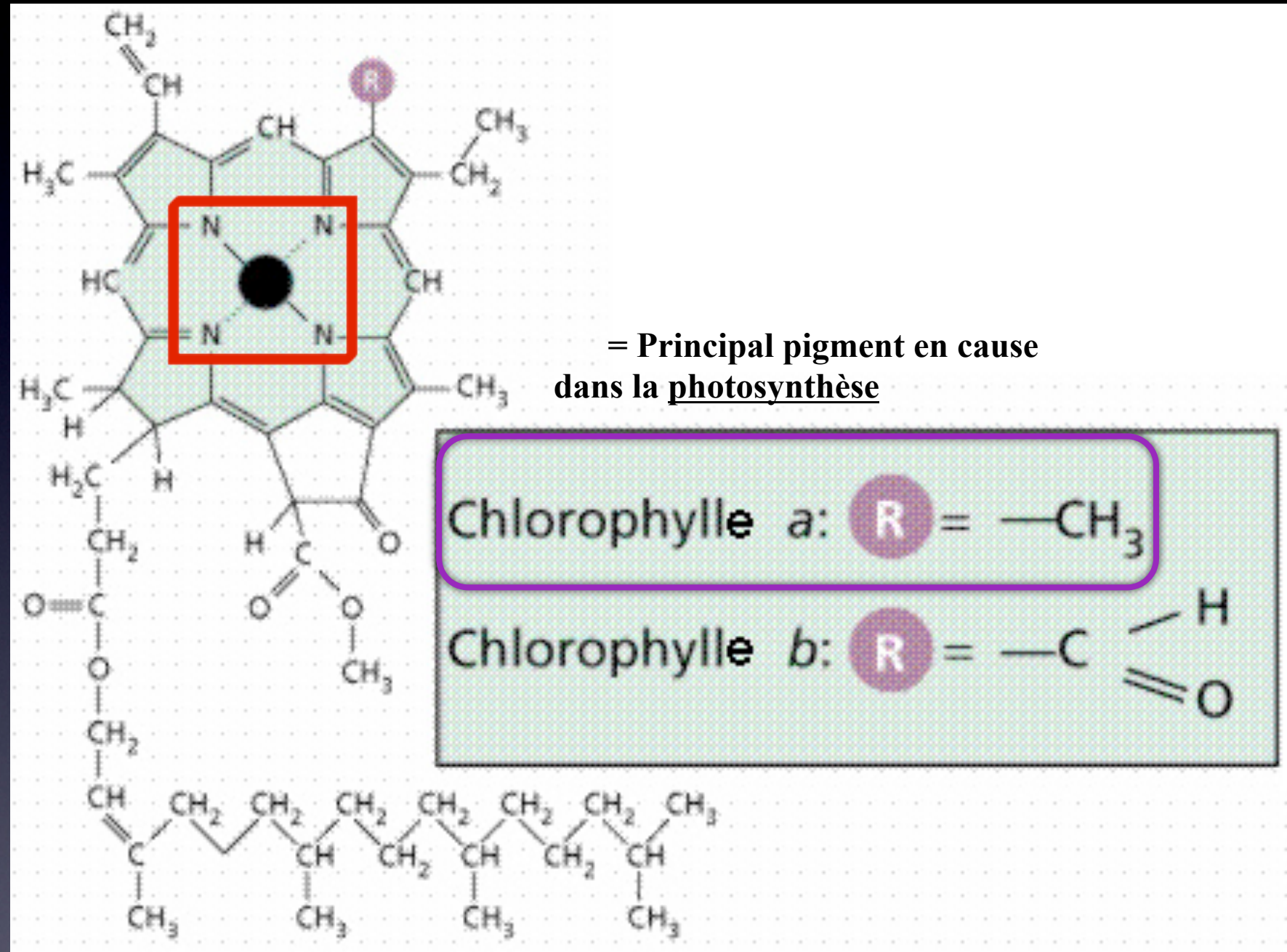
I-4-1- La chlorophylle

- Deux parties distinctes:
- Noyau complexe (tétrapyrrolique)

ayant un ion (Mg^{2+}) central
= site actif
(Energie lumineuse piégée) =
Hydrophile

- «Queue»
apolaire.

- Chlorophylle :
bipolaire.

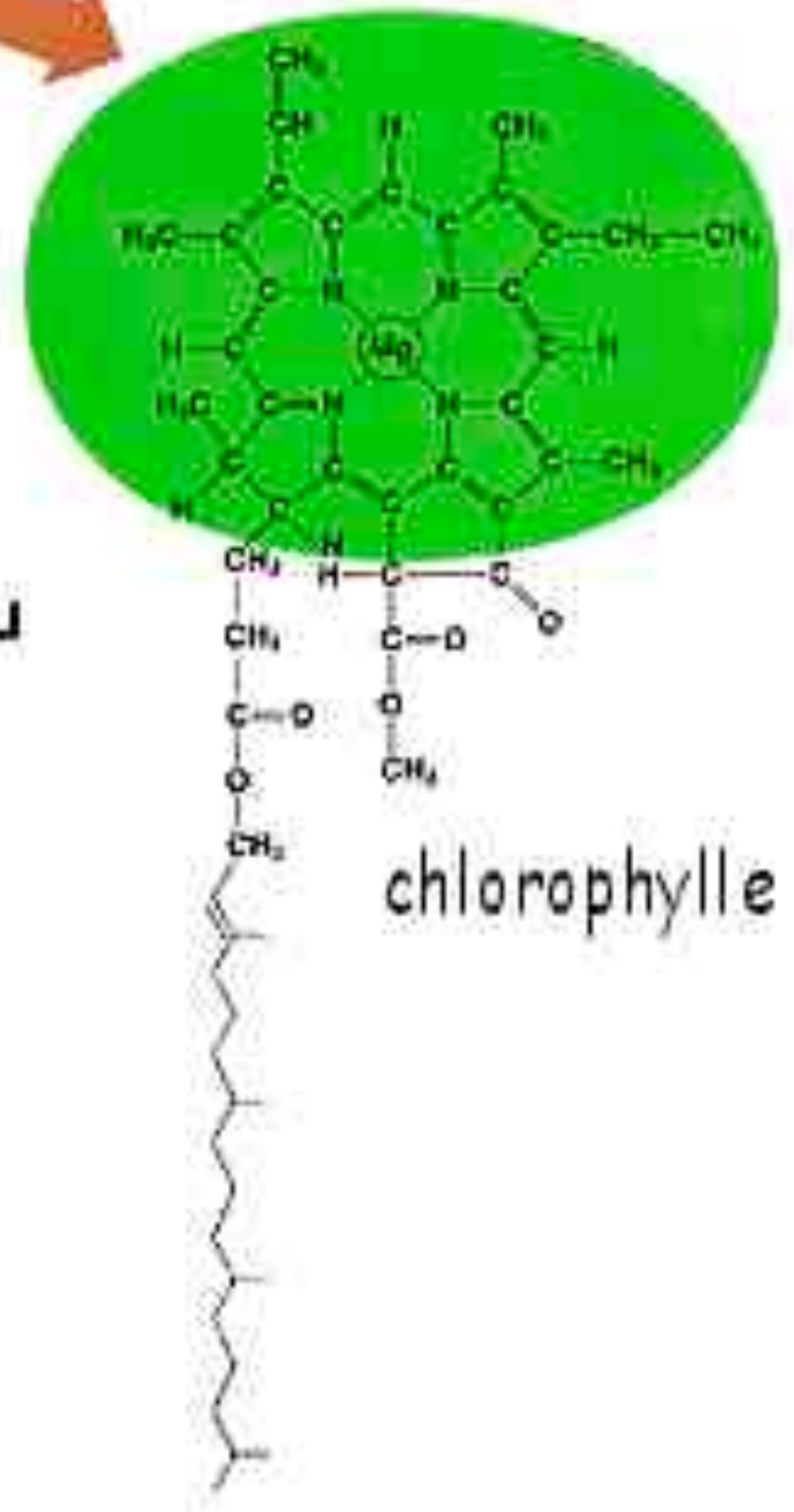


Molécules de chlorophylle incluses dans la membrane

Granum

Membrane du
thylacoïde

chlorophylle



- - Pigments présents chez toutes les plantes vertes = groupe important de pigments accessoires.

I-4-2- Les caroténoïdes

- = pigments jaunes et oranges qui absorbent la lumière verte.
- - Coloration masquée par celle de la chlorophylle.



I-5- Systèmes photochimiques

- **Seule la chlorophylle a peut convertir l'énergie lumineuse en énergie chimique. Les autres pigments absorbent aussi la lumière mais cèdent leur énergie à la chlorophylle a.**
- La chlorophylle forme deux complexes avec les membranes des thylakoïdes:
 - Le complexe chlorophylle aI, qui absorbe directement les radiations de longueur d'onde supérieure à 680 nm (rouge).
 - Le complexe chlorophylle aII, qui absorbe directement l'énergie mais reçoit aussi de l'énergie absorbée par les autres pigments (chlorophylle b et caroténoïdes) à une longueur d'onde inférieure à 680 nm.
- Quand la lumière frappe un photosystème, n'importe quel pigment excité transmet l'énergie à la molécule de chlorophylle a du **photosystème I ou II.**

I-6- Fonction physiologique : la photosynthèse

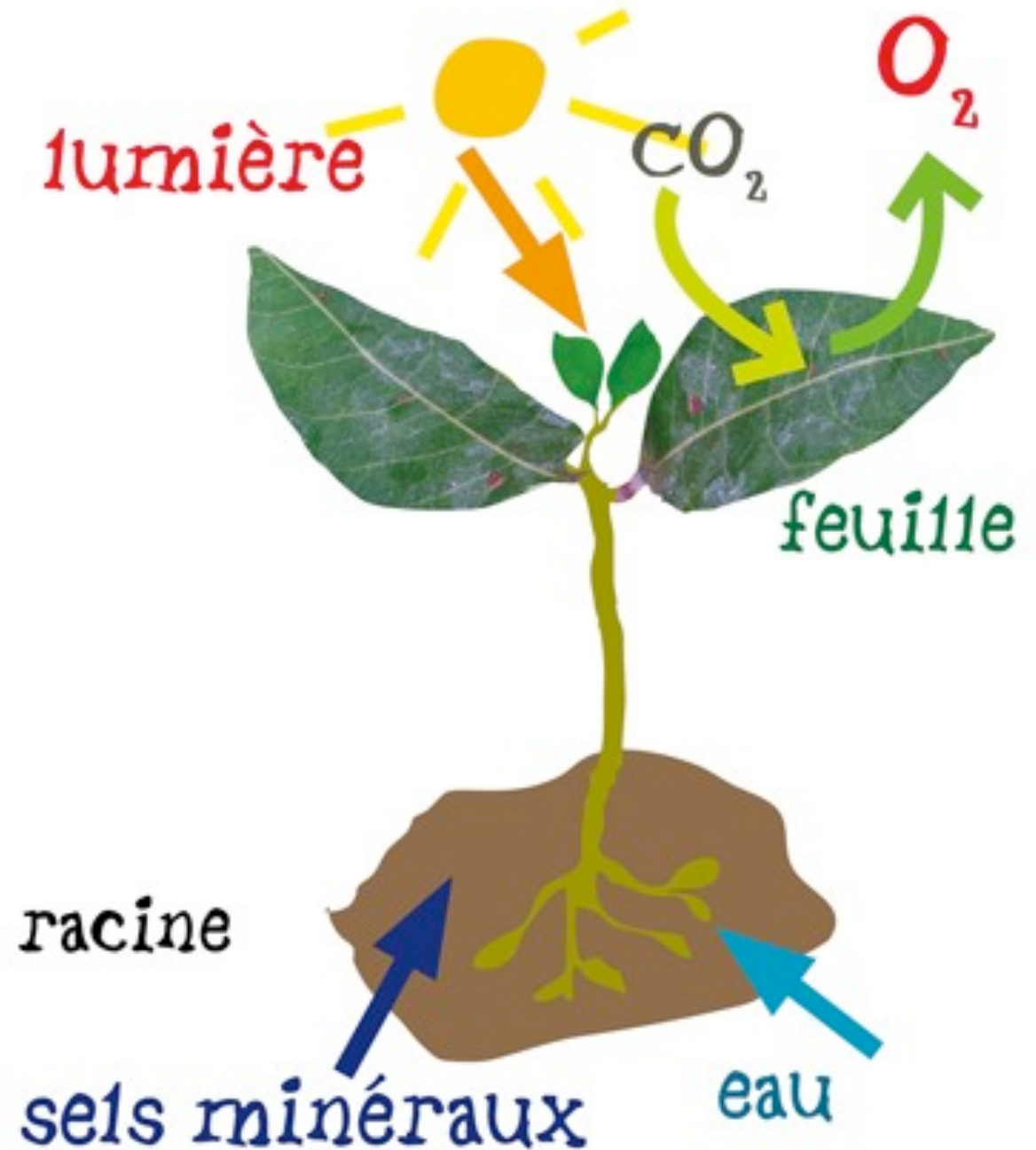
- Photosynthèse = l'ensemble des phénomènes qui participent à l'élaboration des glucides chez les végétaux verts.
- Grâce aux pigments et surtout à la chlorophylle a, le chloroplaste absorbe l'énergie lumineuse et la transforme en énergie chimique (ATP).
- L'ATP servira par la suite à la synthèse de nouveaux sucres qui pourront être stockés sous forme d'amidon.

Photosynthèse

- 5 facteurs nécessaires:
- Lumière
- Dioxyde de carbone
- Eau
- Chlorophylle
- Enzymes

Les végétaux sont autotrophes:

ils synthétisent leur propre matière organique à partir de substances minérales qu'ils puisent dans le sol ou dans le milieu aquatique (eau et sels minéraux).



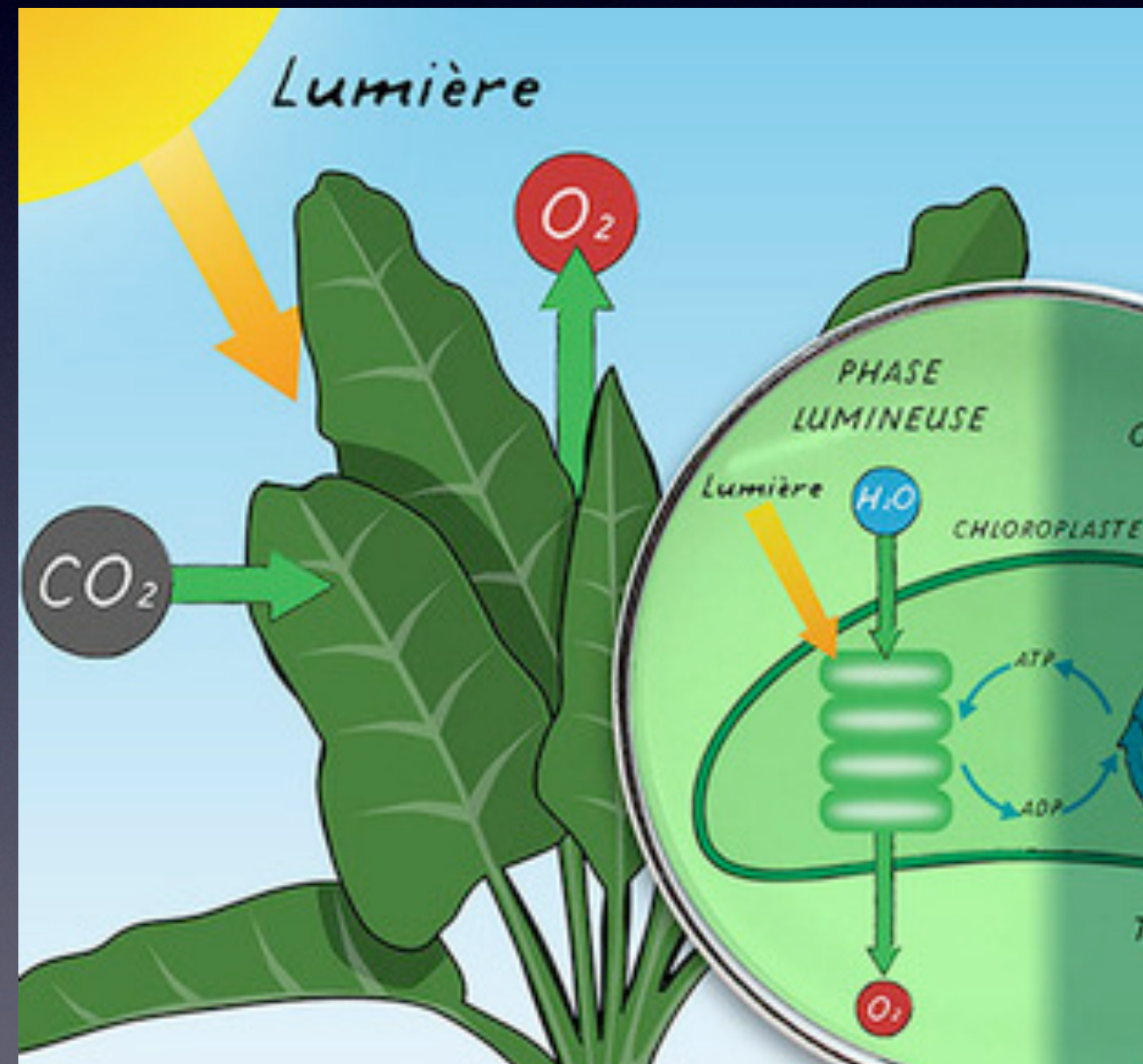
Formule générale de la photosynthèse



Deux périodes

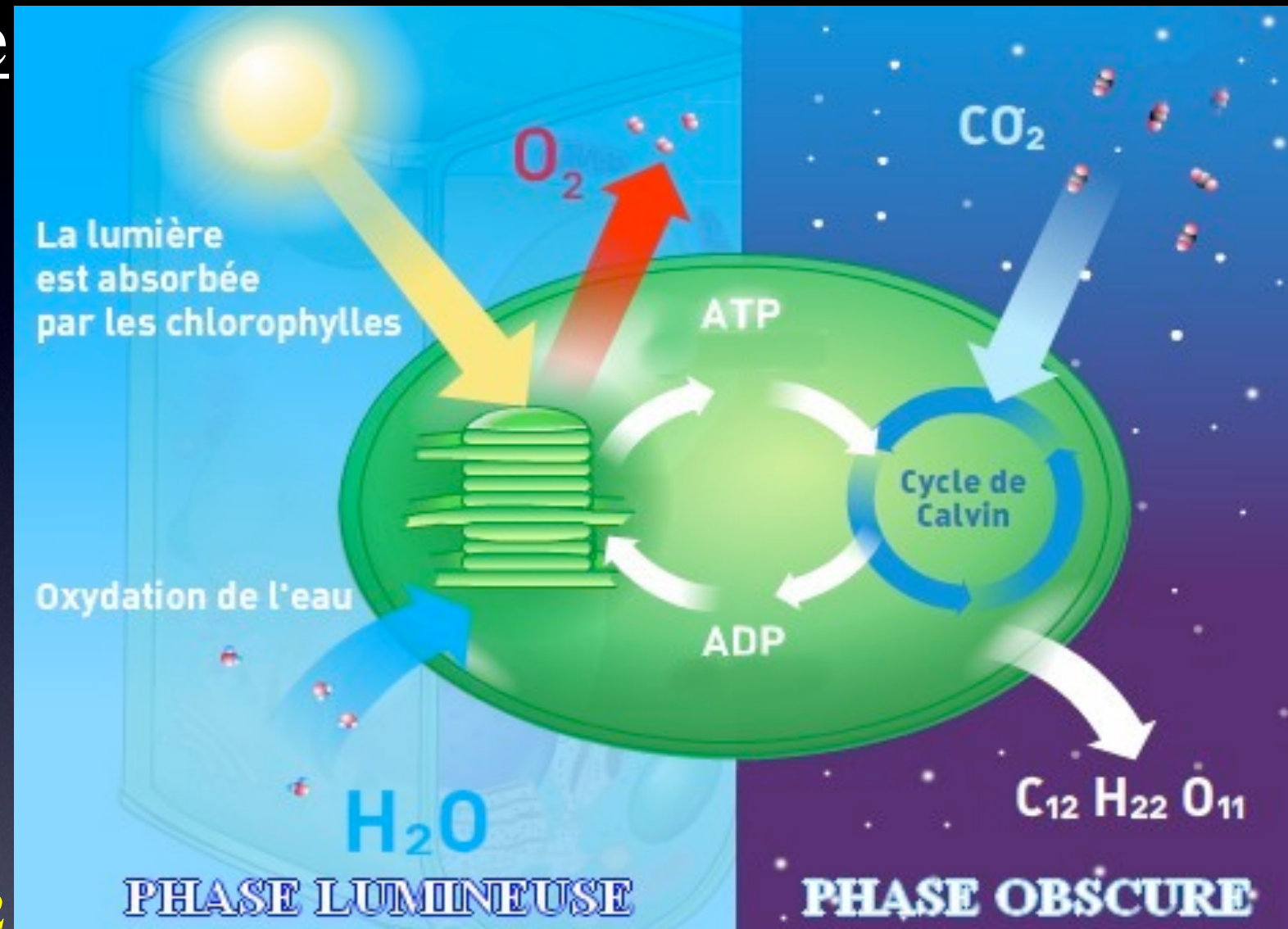
successives:

- Phase lumineuse
- Phase obscure.



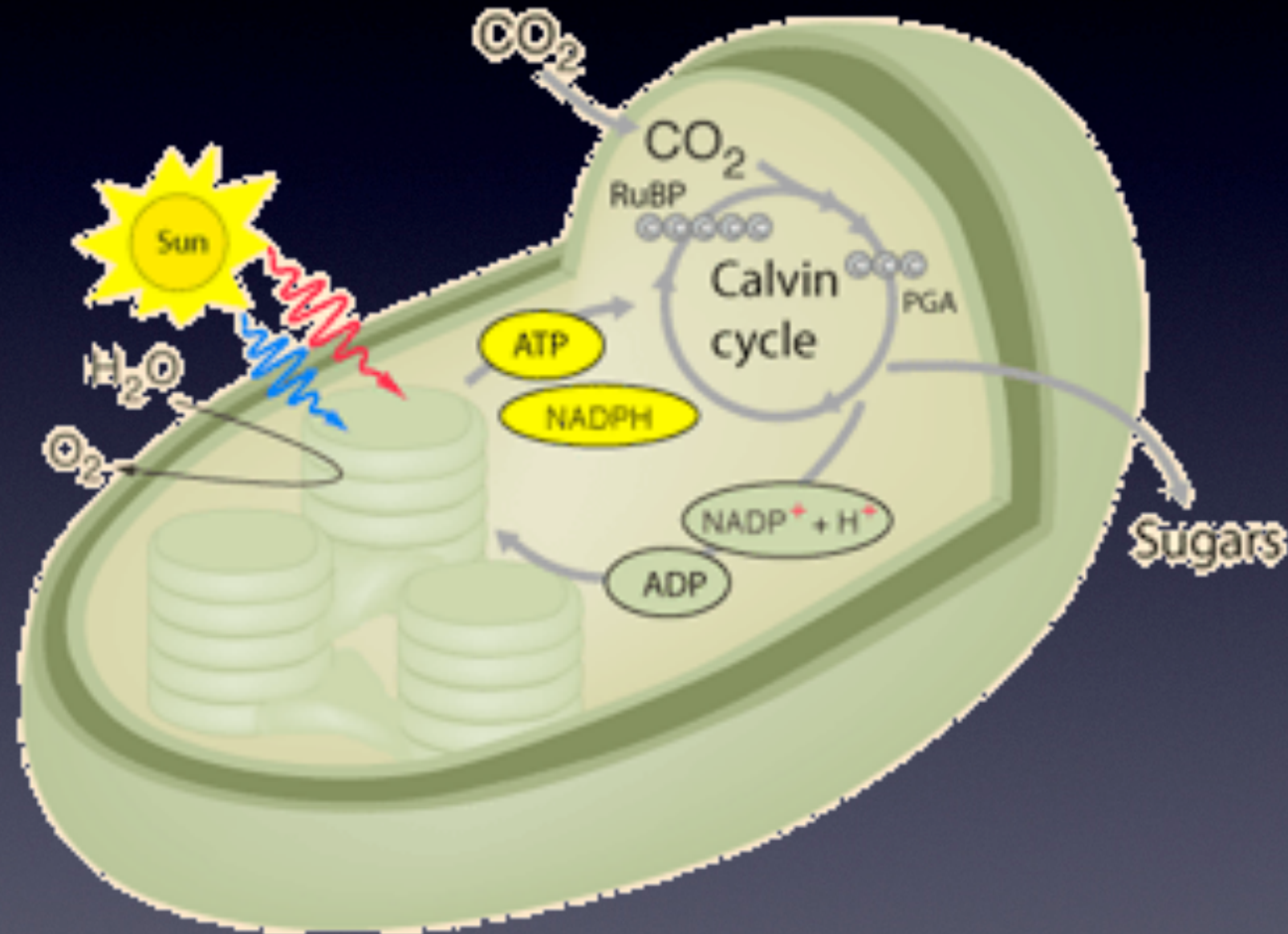
1- Phase lumineuse :

- Au niveau des grana.
- Conversion de l'énergie lumineuse en énergie chimique.
- Oxydation de l'eau apportée à la plante et production d'oxygène.
- Apparition, par phosphorylation, de l'ATP et de la NADPH₂ qui seront utilisés pour la réduction du gaz carbonique au cours de la phase obscure.



2- La phase obscure (cycle de Calvin)

- Stroma.
- Production de l' O_2 absorbé, grâce au NADPH₂ et à l'ATP formés au cours de la phase lumineuse.
- Réduction du CO_2
- Elaboration des glucides.



1. Phase lumineuse (réactions photochimiques)

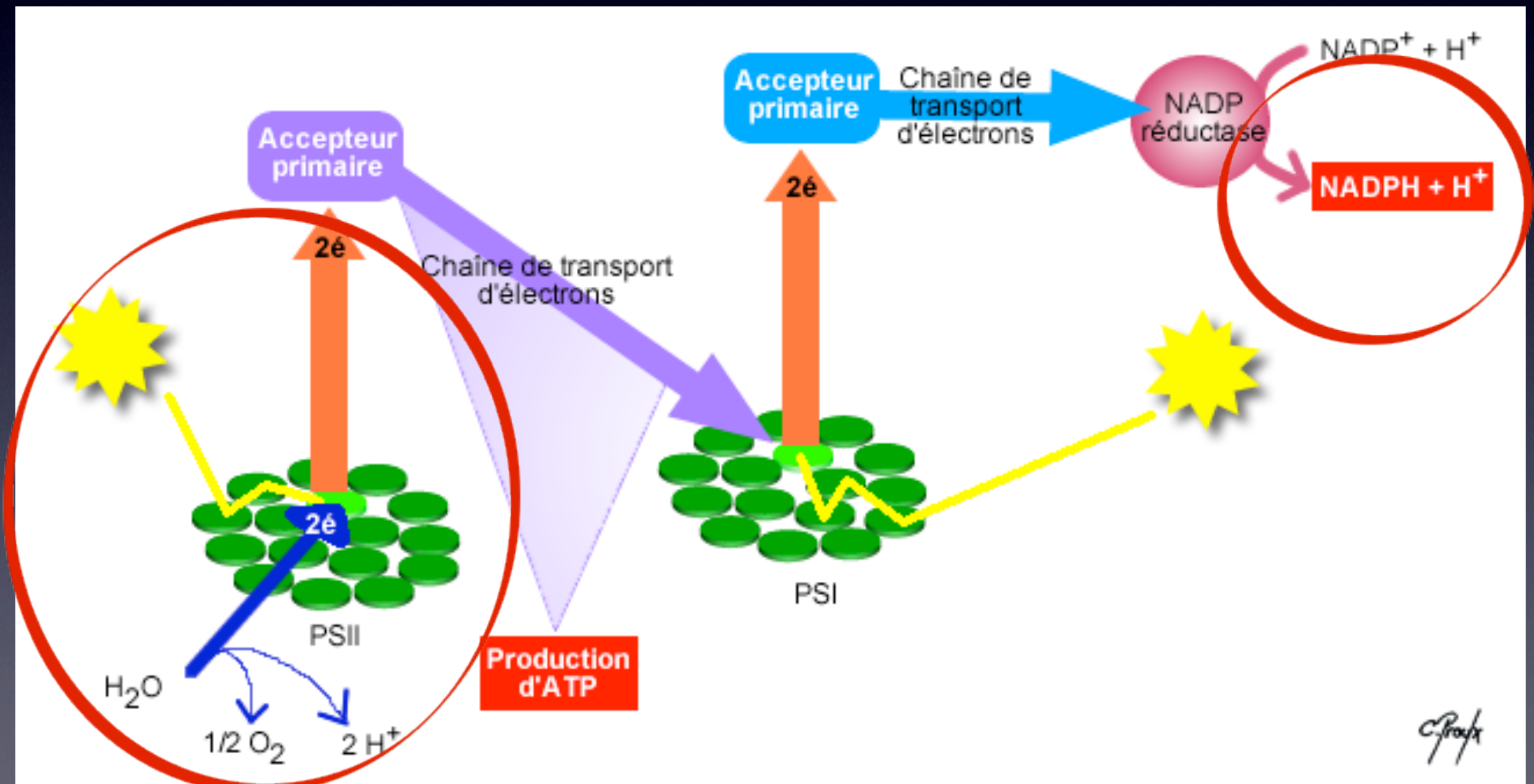
- La phase lumineuse regroupe les phénomènes qui dépendent directement de la lumière.
- Les réactions photochimiques incluent les étapes de la photosynthèse qui convertissent l'énergie solaire en énergie chimique.
- La lumière est émise sous forme de particules appelées photons.
- Chaque photon possède une quantité déterminée d'énergie.
- Ainsi, dans toute réaction photochimique, le processus primaire est l'absorption d'un photon par une molécule réagissante.

1.1. Photolyse de l'eau et réduction de NADP⁺

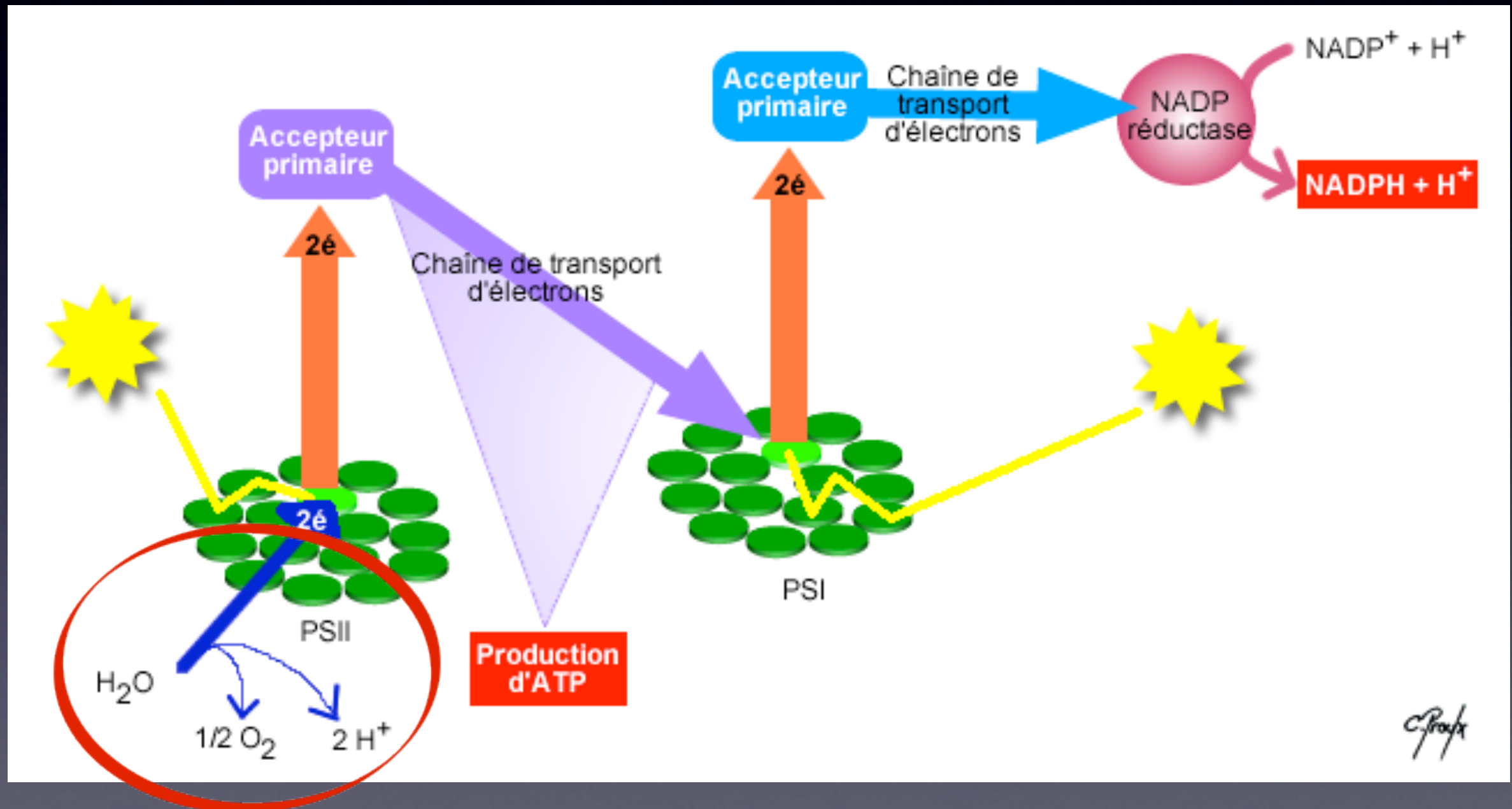
- La lumière absorbée par la chlorophylle déclenche un transfert d'électrons et de protons de l'eau vers un accepteur, le NADP, qui stocke temporairement les électrons riches en énergie.
- La molécule d'eau se trouve scindée suivant la réaction:
- $\text{H}_2\text{O} \text{ ----- } 2\text{H}^+ + 2\text{électrons} + 1/2\text{O}_2$
- La paire d'électrons et les deux protons ($2e + 2\text{H}^+$) sont éventuellement acceptés par le NADP⁺ qu'ils réduisent :

1.1. Photolyse de l'eau et réduction de NADP⁺

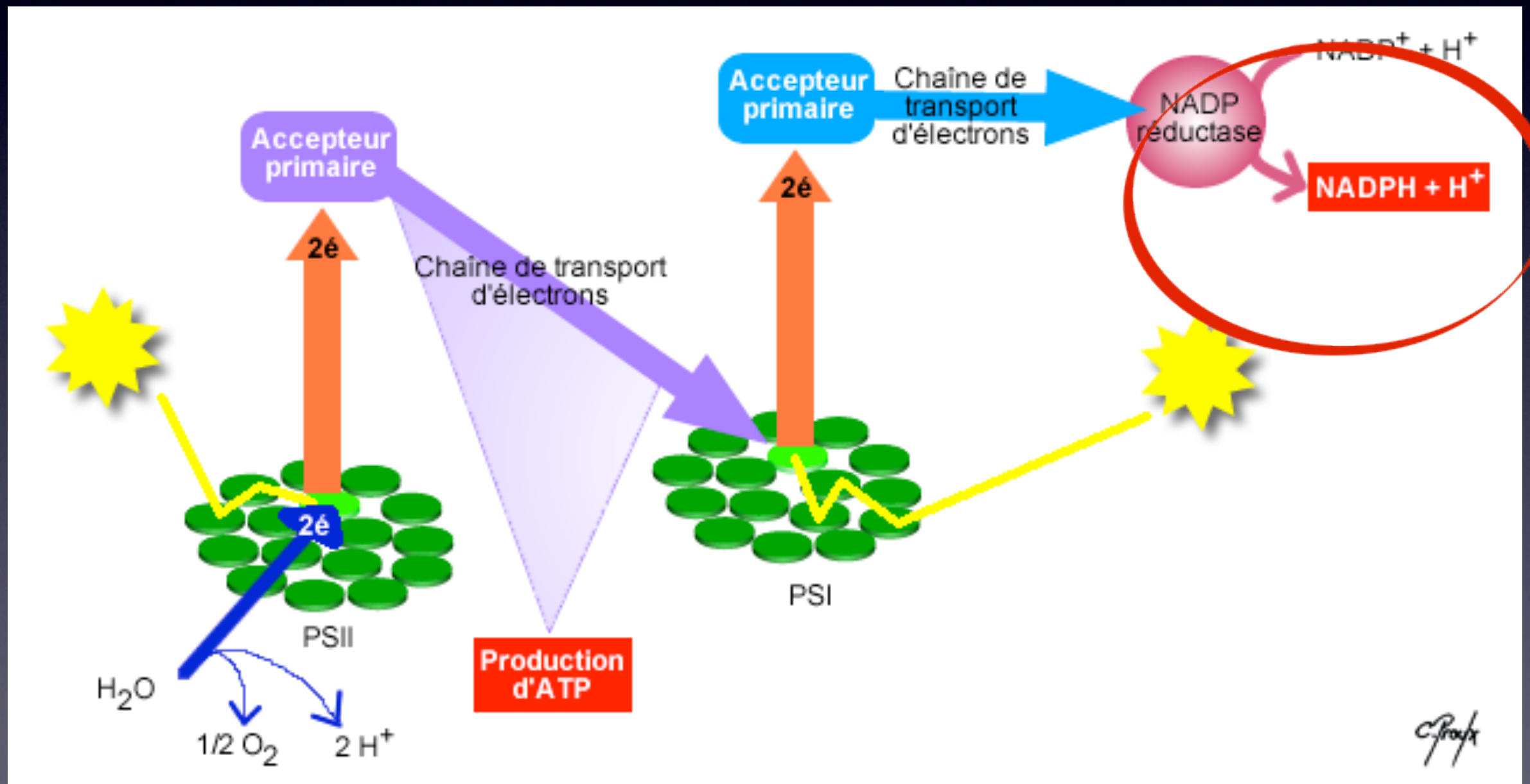
- La **lumière** absorbée par la **chlorophylle** déclenche un transfert d'électrons et de protons de l'eau vers un accepteur, le NADP, qui stocke temporairement les électrons riches en énergie.



- La molécule d'eau se trouve scindée suivant la réaction:
$$\text{H}_2\text{O} \text{ ----- } 2\text{H}^+ + 2\text{électrons} + 1/2\text{O}_2$$



- La paire d'électrons et les deux protons ($2e + 2H^+$) sont éventuellement acceptés par le $NADP^+$ qu'ils réduisent :

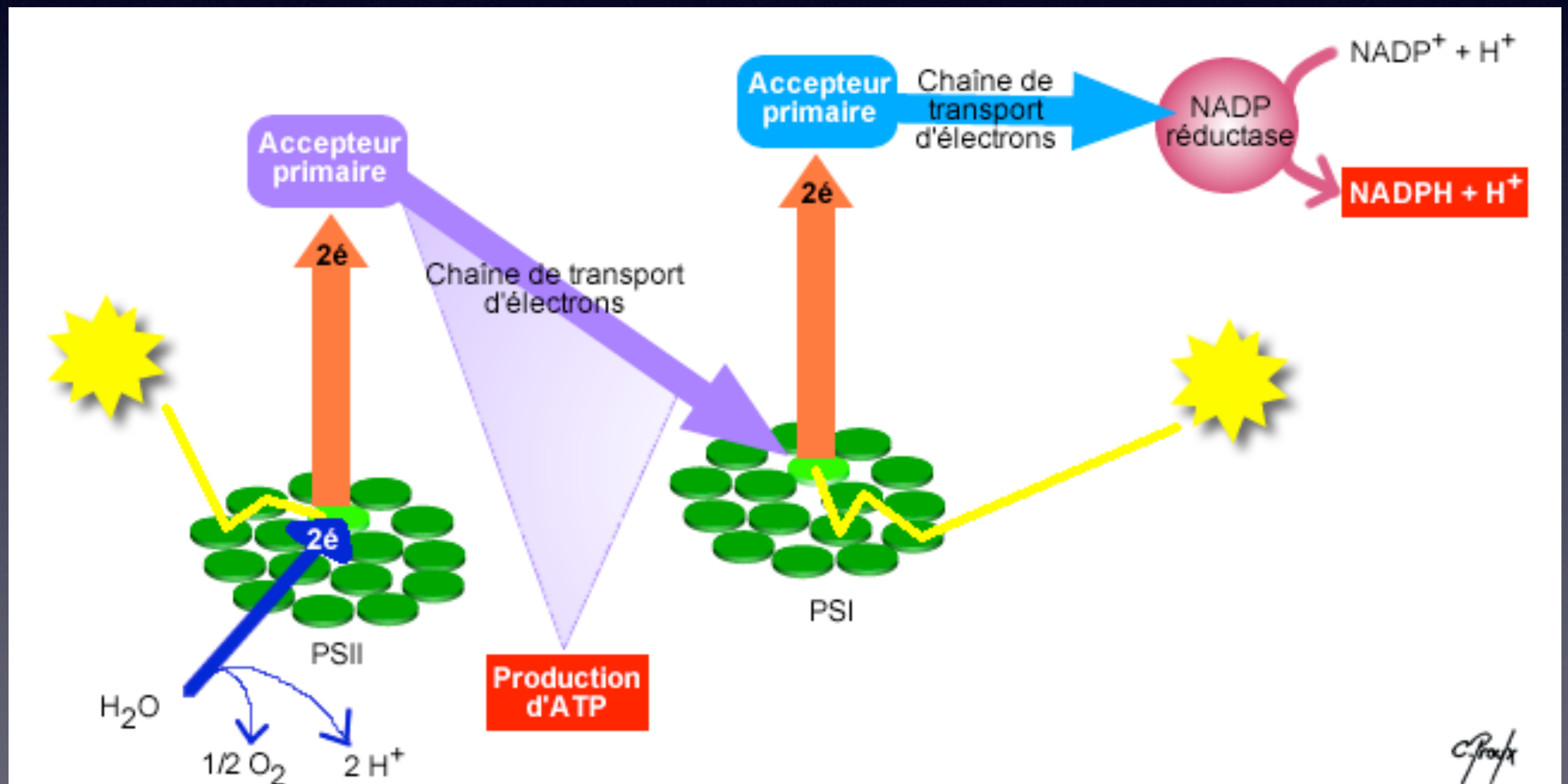


1.2. Captation de l'énergie lumineuse par les pigments et photophosphorylation

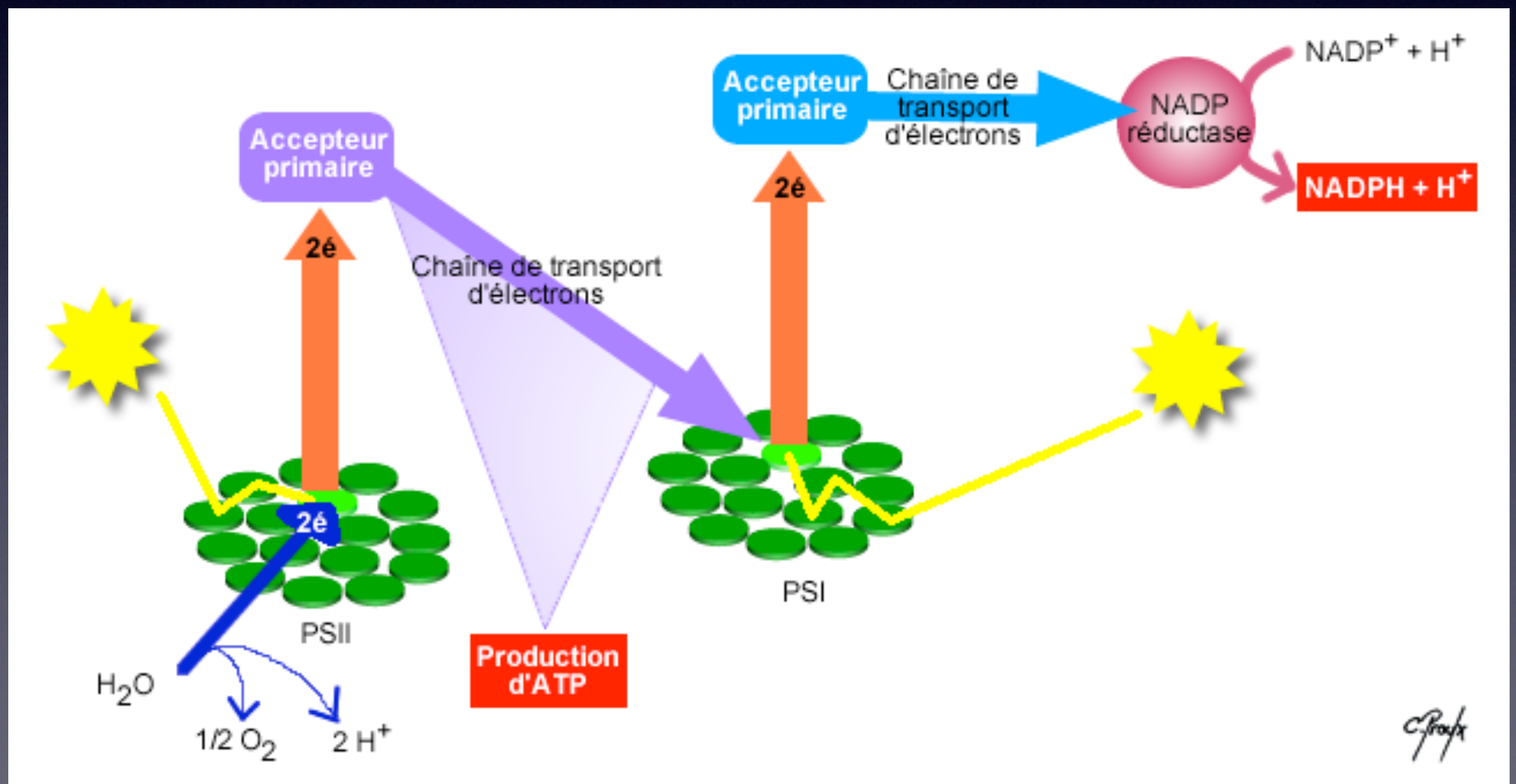
- Sous l'effet de l'énergie lumineuse, la chlorophylle a (sous ses deux formes PSI, PSII) émet un électron riche en énergie qui quitte la molécule et est recueilli par la chaîne de transporteurs d'électrons, nommée "chaîne photosynthétique" qui capte les électrons et les amène successivement jusqu'à la surface externe de la membrane des thylakoïdes.
- La chaîne photosynthétique accumule des protons dans les cavités des thylakoïdes pour former un réservoir de protons.
- Ensuite, l'énergie emmagasinée dans le réservoir de protons est utilisée par l'ATP-synthétase pour catalyser la formation d'ATP. Ce processus s'appelle la photophosphorylation. Le transport des électrons excités peut se faire selon deux trajets : cyclique ou non cyclique.

1.2. Captation de l'énergie lumineuse par les pigments et photophosphorylation

- Sous l'effet de l'énergie lumineuse, la chlorophylle a (sous ses deux formes PSI, PSII) émet un électron riche en énergie qui quitte la molécule et est recueilli par la chaîne de transporteurs d'électrons, nommée "**chaîne photosynthétique**" qui capte les électrons et les amène successivement jusqu'à la surface externe de la membrane des thylakoïdes.

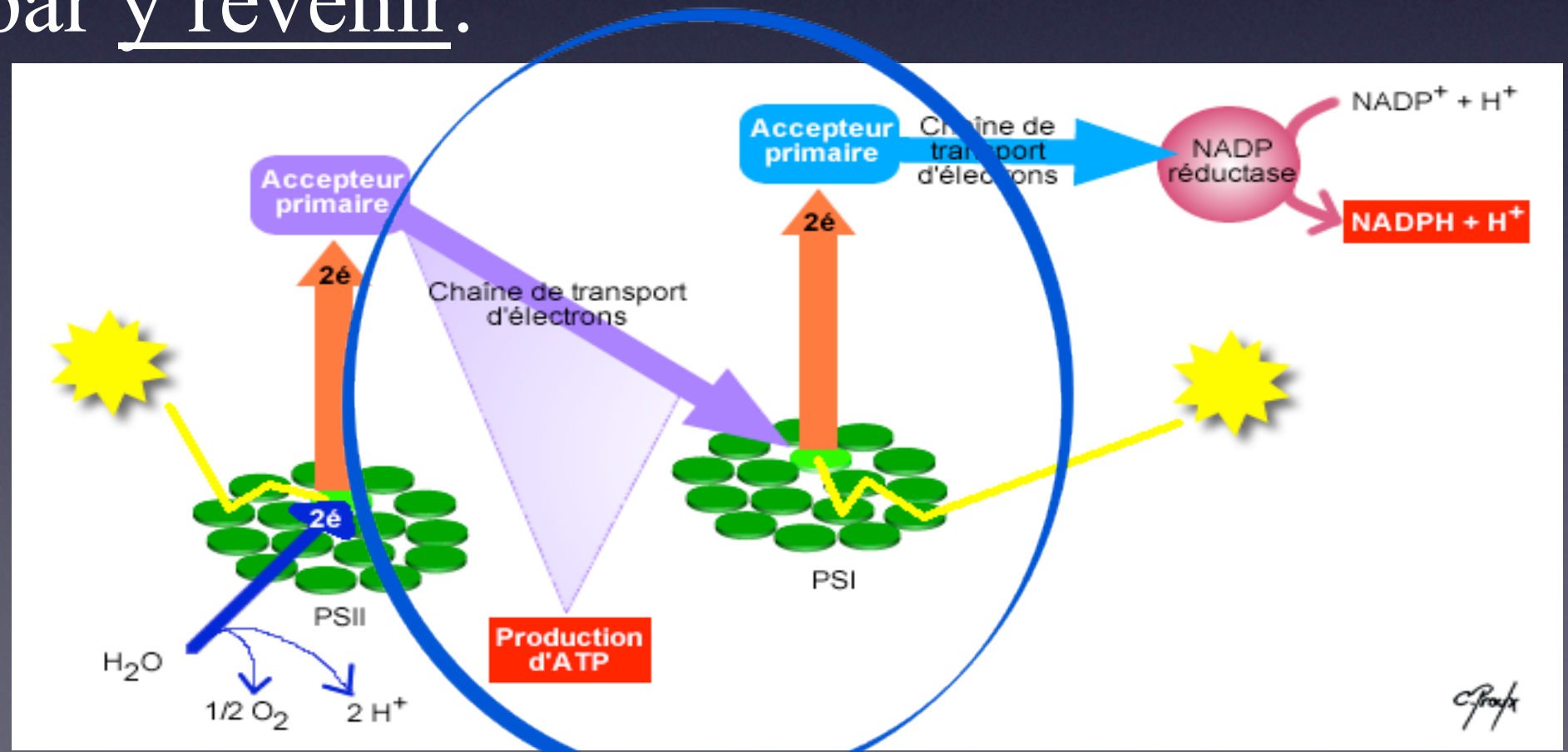


- La chaîne photosynthétique accumule des protons dans les cavités des thylakoïdes pour former un réservoir de protons.
- Ensuite, l'énergie emmagasinée dans le réservoir de protons est utilisée par l'ATP-synthétase pour catalyser la formation d'ATP. Ce processus s'appelle la photophosphorylation. Le transport des électrons excités peut se faire selon deux trajets : cyclique ou non cyclique.



1.2.1. Transport cyclique d'électrons

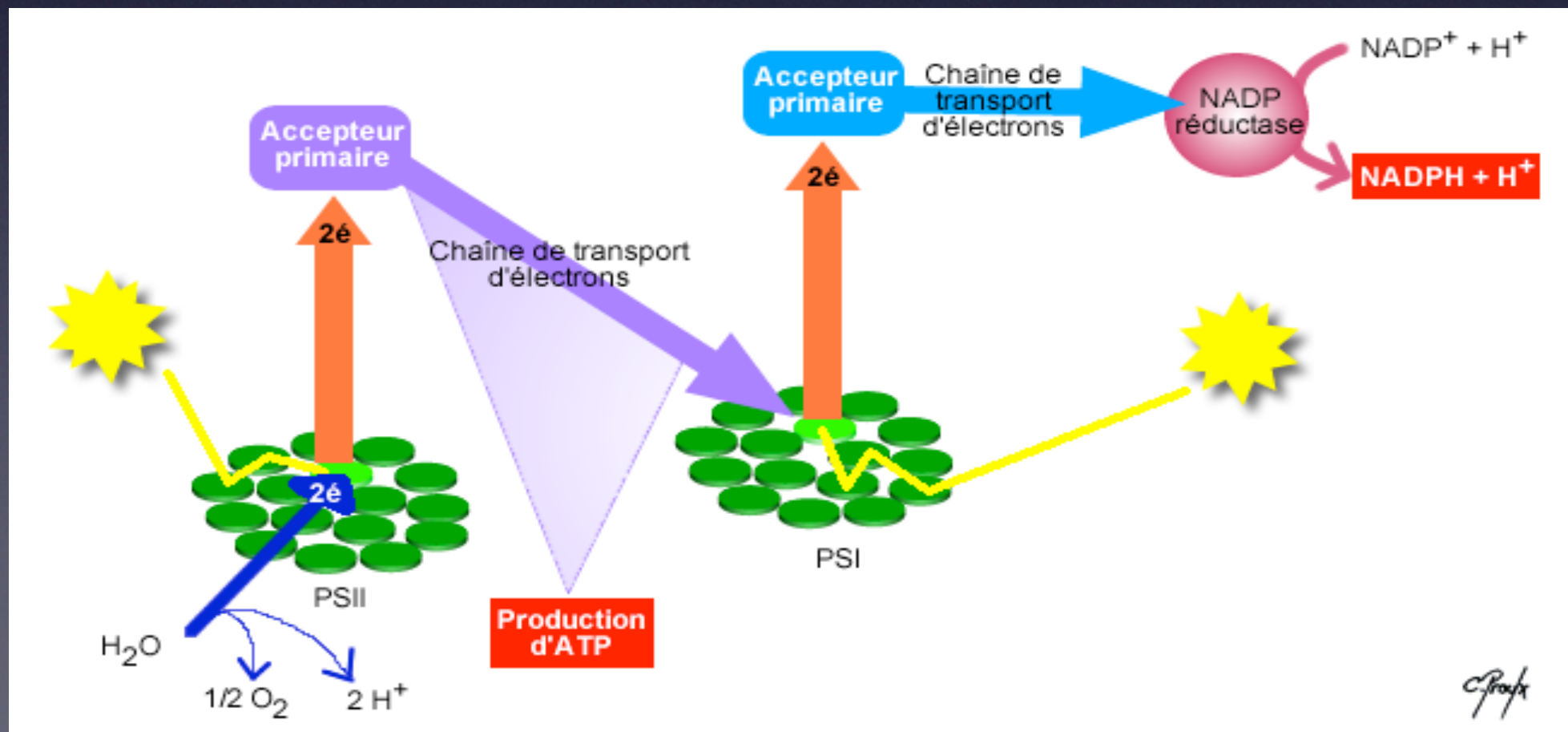
- Le transport cyclique d'électrons est le trajet le plus simple. Il ne fait intervenir que le photosystème I et n'engendre que de l'ATP; il ne produit ni NADPH + H^+ ni oxygène.
- Cette voie est dite cyclique parce que les électrons excités qui quittent la chlorophylle du photosystème I finissent par y revenir.



1.2.2. Transport non cyclique d'électrons

- Fait intervenir les 2 **photosystèmes I et II** et il s'établit un courant continu d'électrons entre l'eau et le NADP⁺.
- - Les électrons éjectés du **photosystème II** se font remplacer par des électrons retirés de l'eau.
- - Les **électrons excités** du **photosystème II** descendent une chaîne de transport d'électrons jusqu'au photosystème I, en fournissant l'énergie nécessaire à la synthèse d'ATP.
- - L'excitation du **photosystème I** propulse des électrons riches en énergie qui rejoignent le NADP⁺ et le réduisent en NADPH + H⁺.
- - La production d'ATP au cours du transport non cyclique d'électrons est appelée photophosphorylation non cyclique.
Les produits nets du transport non cyclique d'électrons sont l'ATP, le NADPH + H⁺ et l'oxygène qui diffuse à l'extérieur de la cellule puis de la plante.

- - L'énergie lumineuse provoque l'excitation et le départ d'un électron d'une molécule de chlorophylle du photosystème II.
- - Pour compenser cette perte, ce dernier récupère un électron à partir de la photolyse de la molécule d'eau:
- $\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{H}^+ + 1/2 \text{O}_2 + 2\text{e}^-$ (Photolyse de l'eau)
- - Il y a production d' O_2 , d'ATP et de NADPH et H^+ .
 - C'est donc l'eau qui est le donneur d'électron et le NADP^+ qui est l'accepteur final;
 - l' O_2 , libéré dans l'atmosphère, est utilisé dans la respiration cellulaire.



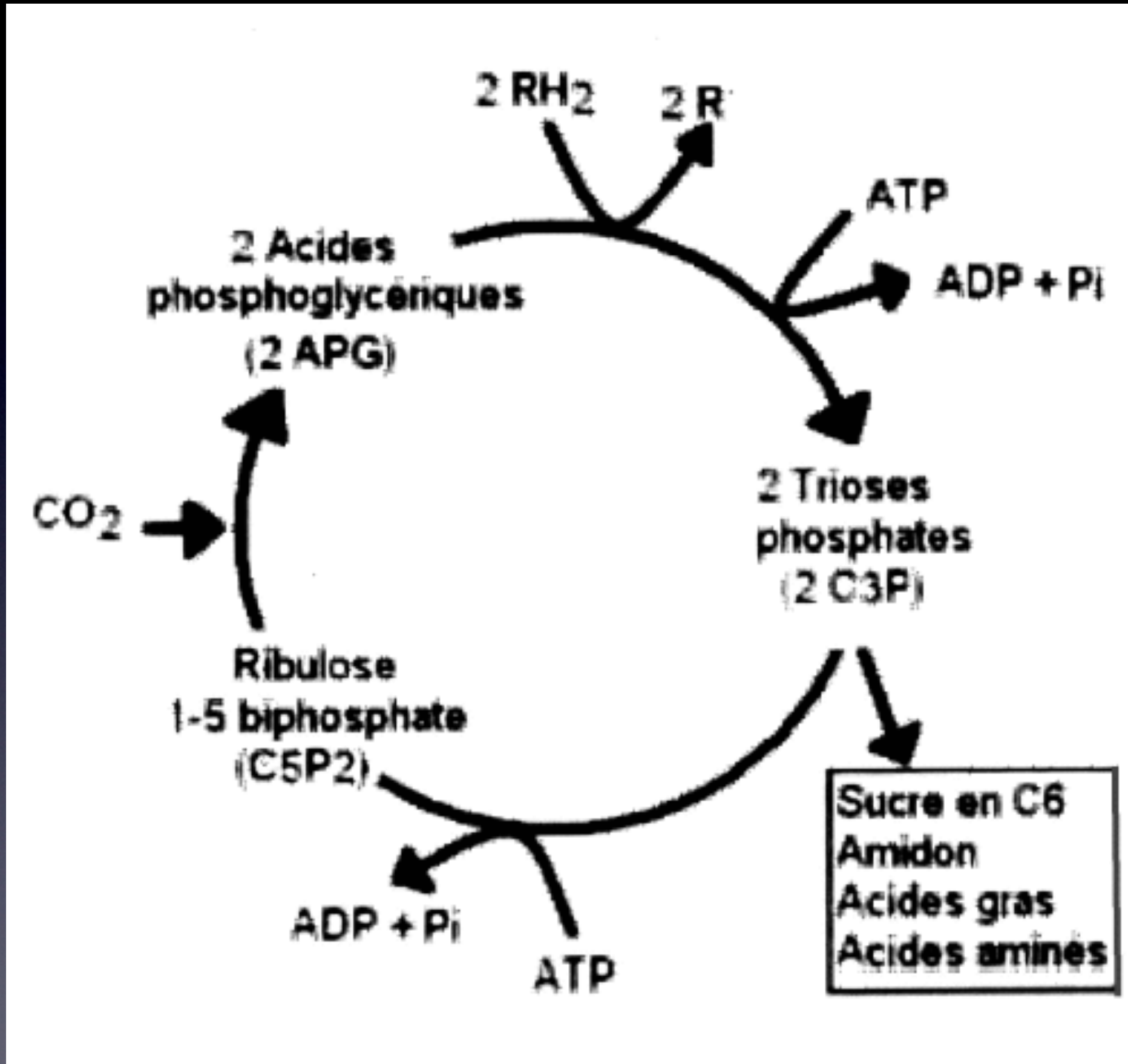
2- Phase obscure: **cycle de Calvin** = Phase de fixation du carbone

- **= Phase enzymatique permettant la synthèse de sucres, utilisant le CO₂ (air) comme source de C.**
- ***Stroma.***
- **Commence avec le CO₂ et une molécule à 5C, le *RuP*, qui réagissent pour former deux molécules à 3C *APG* (phosphoglycérate).**
- **Chaque molécule d'*APG* utilise 1 ATP et 1 NADPH +H⁺ pour se convertir en *PGAL* (phosphoglycéraldéhyde).**
- **Une 3ème ATP est nécessaire pour phosphoryler le ribulose phosphate pour régénérer la molécule de départ, le ribulose diphosphate.**

- **Equation globale :**



6 tours du cycle de Calvin = production de l'équivalent d'une molécule de glucose .



Phase obscure

