



## Conversion de l'énergie lumineuse en énergie chimique chez les végétaux chlorophylliens.

### I- LES PIGMENTS CHLOROPHYLLIENS ET LEURS CARACTERISTIQUES.

La photosynthèse est inhérente à la présence de la chlorophylle, pigment responsable de la couleur verte des feuilles.

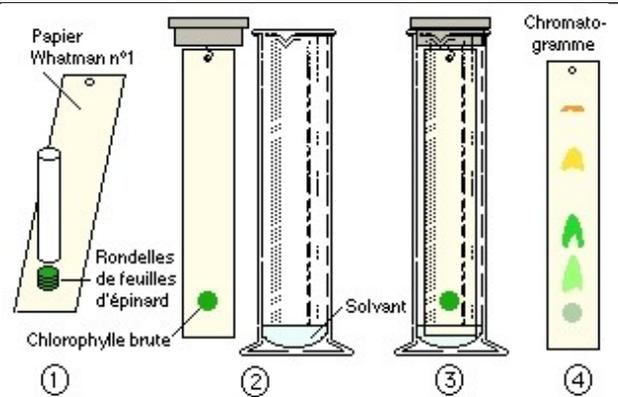
- La chlorophylle est-elle le seul pigment présent dans les cellules chlorophylliennes ?
- Les différentes radiations de la lumière blanche, sont-elles absorbées avec la même intensité ?

A- EXTRACTION DES PIGMENTS CHLOROPHYLLIENS et Chromatographie à partir d'une feuille verte (exemple : pélargonium).

Sur une ligne située à 1 cm du bas d'une bande de papier à chromatographie, on écrase un morceau de feuille avec un agitateur.

La bande de papier est placée dans une cuve contenant un mélange de solvants organiques (cyclohexane, 5%, éther de pétrole, 85%, acétone, 10%).

Le solvant monte par capillarité dans la bande de papier et entraîne les différents pigments solubles dans les solvants organiques. Ils se séparent progressivement en fonction de leur vitesse de migration qui dépend de leur solubilité différentielle dans le solvant (phase mobile) et de leur affinité pour le support de chromatographie (phase stationnaire).



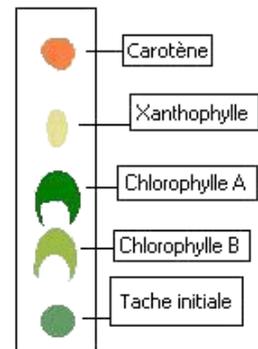
Document 1 : Séparation des pigments chlorophylliens

A partir du document 1 et 2, Préciser les différents pigments chlorophylliens.

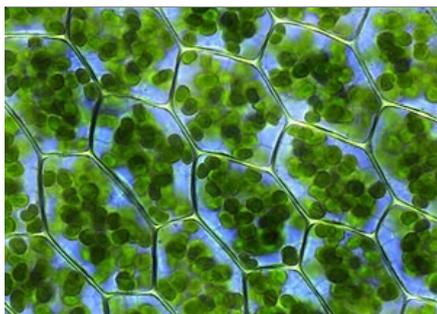
Les pigments chlorophylliens sont donc de 4 types : les carotènes , les xanthophylles , la chlorophylle b et la chlorophylle a.

#### B- Localisation de la chlorophylle au niveau des feuilles :

Les chlorophylles les plus communes sont les chlorophylles a et b, présentes dans les chloroplastes des cellules de tous les végétaux de couleur verte : plantes à fleurs, fougères, mousses, algues vertes. Les algues brunes (*Fucus*, Diatomées) possèdent les chlorophylles a et c, d'autres algues brunes, les Xanthophycées, a et e. Les algues rouges renferment a et d.



Document 2 : tube 4



Observation photonique : Chloroplaste dans les cellules.

Chloroplaste vu au microscope électronique.

Schéma en 3D d'un chloroplaste.

Document 3



Ces différentes chlorophylles ne diffèrent entre elles que par de petits détails de structure. Seule la chlorophylle *a* est constante pour tous les végétaux.

Tous ces pigments ont une structure chimique semblable ; tous comprennent un métal, le magnésium.

**C- Ultrastructure du chloroplaste :**

Les chloroplastes ont deux membranes (interne et externe) bordant une zone aqueuse appelée stroma.

Le stroma contient la **membrane thylacoïde**.

La membrane thylacoïde est plissée en un réseau de nombreuses vésicules aplaties qui prend la forme :

- soit d'empilements compacts appelés **grana** (granum)
- soit de vésicules isolées et libres dans le stroma et réunissant plusieurs grana

Les parties de membrane thylacoïde :

- situées au sein des grana et sans contact avec le stroma sont les **lamelles des grana**
- accessibles au stroma sont les **lamelles du stroma**

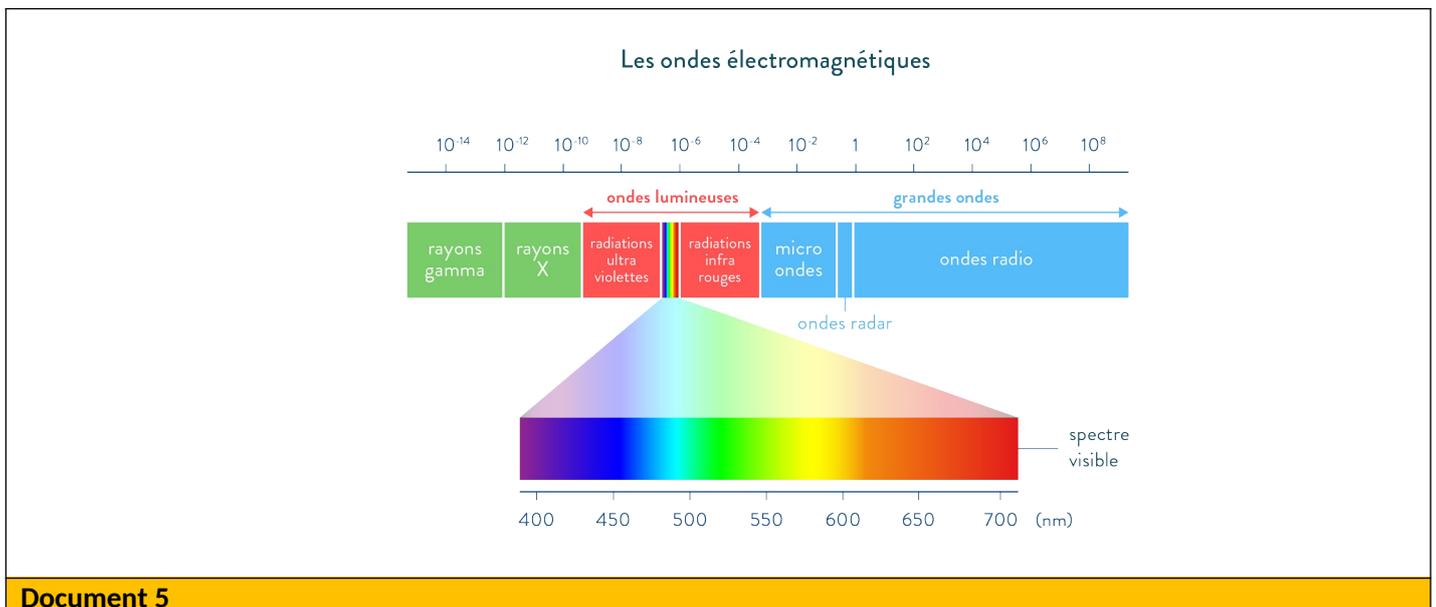
L'espace interne enclos par la membrane thylacoïde est le **lumen**.

**Document 4**

**D- Relation entre les pigments chlorophylliens et la lumière :**

**a- La lumière blanche :**

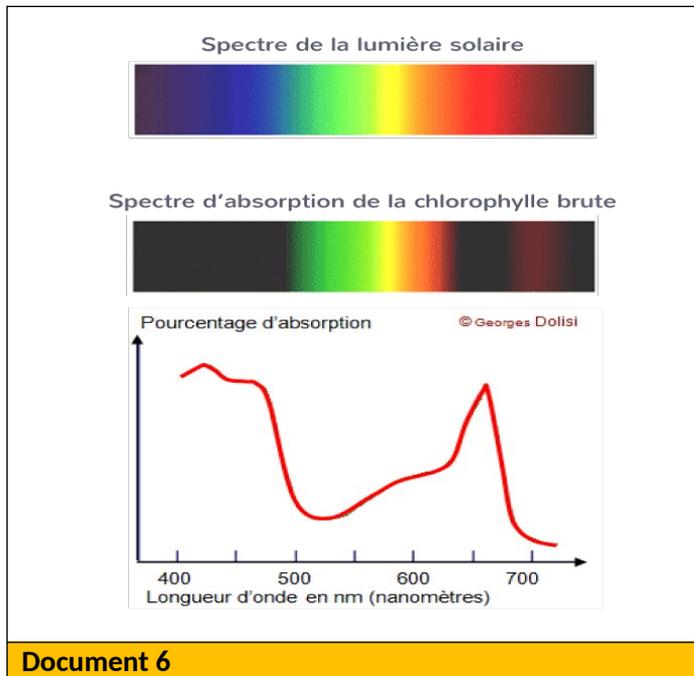
Dans son acception la plus courante, la **lumière** est un **phénomène physique** qui peut produire une **sensation visuelle**. En envoyant un **rayon de lumière blanche** sur la surface d'un **prisme**, il se **décompose** donnant un **spectre visuel**, ou ensemble d'ondes lumineuses visibles par l'œil humain.





**b- Spectre d'absorption de la chlorophylle brute :**

À partir d'une solution de pigments, on peut donc mesurer les caractéristiques d'absorption de la lumière en réalisant un spectre d'absorption à l'aide d'un spectrophotomètre UV-visible classique, qui permet de mesurer l'absorption (A) en fonction de la longueur d'onde (l).



**sComparer** le spectre d'absorption de la chlorophylle à celui de la lumière blanche.

La lumière blanche se décompose en traversant un prisme en un ensemble de radiation lumineuse: **c'est le spectre de la lumière blanche.**

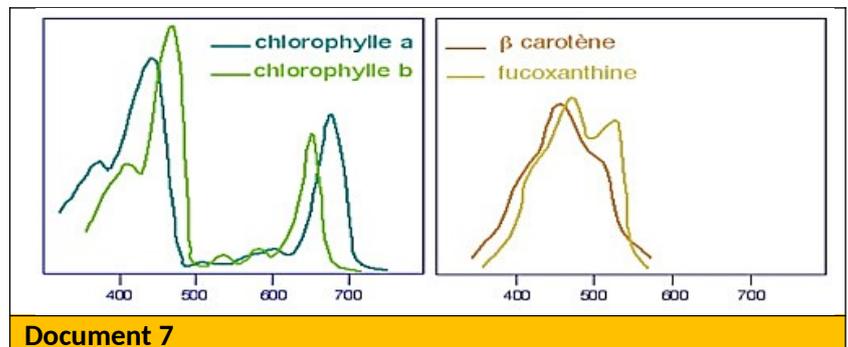
Si on interpose un échantillon de chlorophylle brute entre la lumière blanche et le prisme, on constate que les pigments absorbent essentiellement les radiations situés aux extrémités du Spectre : le rouge et le bleu mais pas le vert.

Document 6

Un tel spectre global ne permet pas de reconnaître la part qui revient à chaque pigment.

Pour cela, il faut travailler sur des solutions de pigments séparés et purifiés.

**Déduire** la part de chaque pigment.



Document 7

La courbe montre que la chlorophylle (a) possède deux pics d'absorption, l'un dans la zone du bleu, l'autre dans la zone du rouge. Le spectre de la chlorophylle (a) est légèrement différent de celui de la chlorophylle (b). Le carotène quant à lui, possède un seul pic d'absorption dans la zone du bleu.

Les pigments chlorophylliens absorbent les différentes radiations qui constituent le spectre visible avec des degrés différents. Bien que chaque pigment possède son propre spectre d'absorption, on constate généralement que l'absorption est élevée dans le domaine du bleu et du rouge ; très faible dans le domaine du vert d'où la coloration verte des chloroplastes.

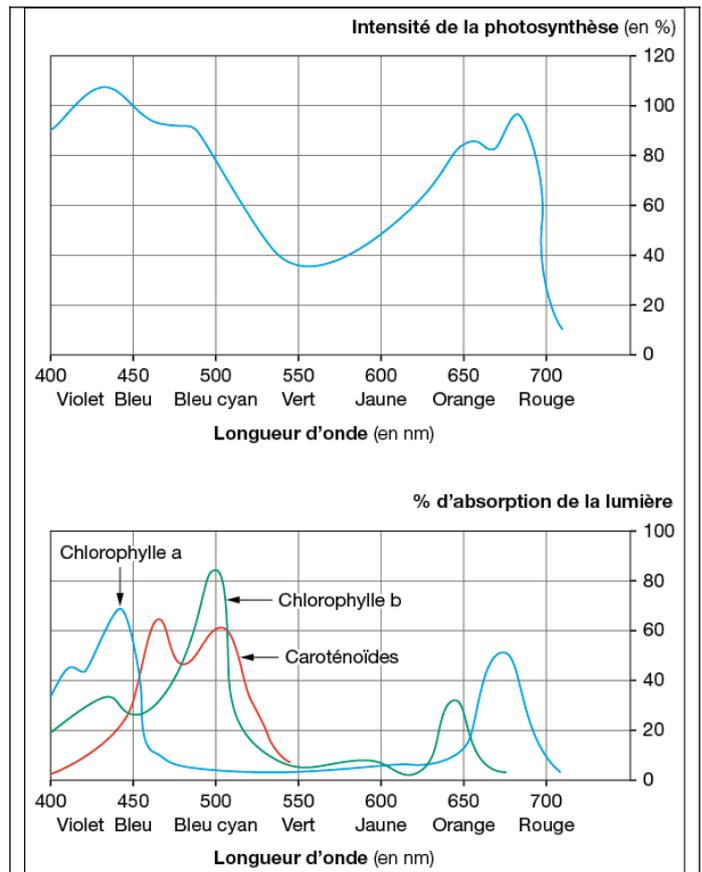


**c- Relation entre les radiations lumineuses absorbées et l'intensité photosynthétique**

D'autre part on peut déterminer l'intensité de la photosynthèse : dégagement d'O<sub>2</sub> de pour chaque longueur d'onde. Ceci permet d'établir le spectre d'action photosynthétique dans le végétal : c'est-à-dire les longueurs d'onde qui lui permettent de réaliser les actions photosynthétiques.

**Etablir** une comparaison entre le spectre d'action et le spectre d'absorption.

Le spectre d'absorption se superpose au spectre d'action, donc ce dernier détermine l'intensité photosynthétique qui est très importante en radiations absorbées : bleu, violet et rouge.



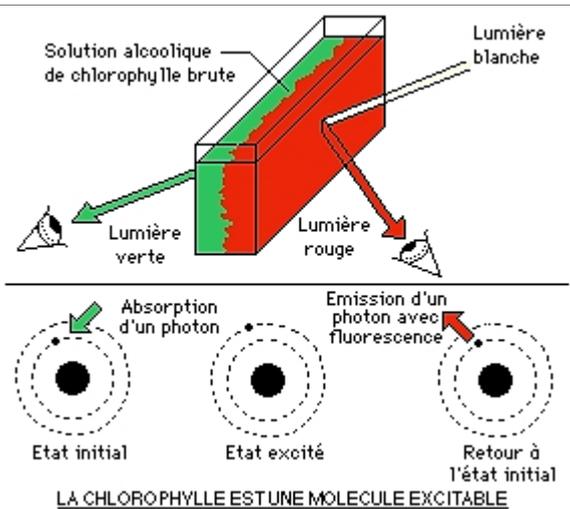
Document 8

**d- La fluorescence de la chlorophylle :**

Après avoir extrait tous les pigments d'une feuille verte dans de l'alcool, on place la solution dans une cuve en verre.

On éclaire l'extrait de chlorophylle brute par réflexion à l'aide d'un projecteur puissant.

**Observation :** la solution de chlorophylle brute apparaît rouge du côté de la projection de la lumière, et verte du côté opposé. On dit que la chlorophylle émet des radiations rouges : c'est le phénomène de la fluorescence.



Document 9

A l'aide du document 8, **expliquer** le phénomène de fluorescence.

Lorsqu'une molécule absorbe la lumière, ses électrons sont temporairement portés à un niveau d'énergie supérieur, appelé l'état excité. Quand les électrons regagnent leur niveau énergétique inférieur (désactivation), plusieurs possibilités s'offrent à l'énergie libérée. L'une est une conversion de l'énergie en une combinaison de chaleur et de lumière : c'est la **fluorescence**.



II- Rôle des pigments chlorophylliens dans la conversion de l'énergie lumineuse en énergie chimique.

Chez les plantes vertes, l'énergie lumineuse agrée la synthèse de la matière organique (énergie chimique) à partir d'eau de sels minéraux de dioxyde de carbone : on parle de la phototrophie ou photosynthèse.

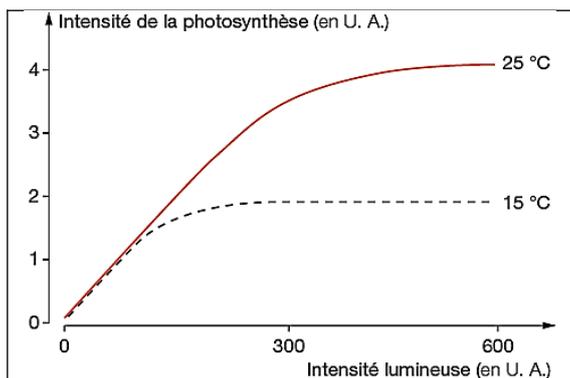
Quel est le rôle de la chlorophylle dans la conversion de l'énergie lumineuse en énergie chimique ?

Quelles sont les réactions qui se déroulent au cours de la photosynthèse ?

1- Mis en évidence des étapes de la photosynthèse :

a- L'expérience de Reinke 1883 :

En 1883, REINKE étudia l'effet de l'intensité de la lumière et de la température sur la photosynthèse.



Docu ment 10

**Analyser** le graphique et **déterminer** les caractéristiques des phases de la photosynthèse.

Au niveau de l'intervalle X : l'intensité de la photosynthèse augmente en fonction de l'accroissement de l'intensité lumineuse et elle est insensible à la variation de température (15°C et 25°C).

Au niveau de l'intervalle Y : l'intensité photosynthétique croît en fonction de l'augmentation de la température et atteint le maximum en 25°C et 15°C indépendamment de l'augmentation de l'intensité lumineuse.

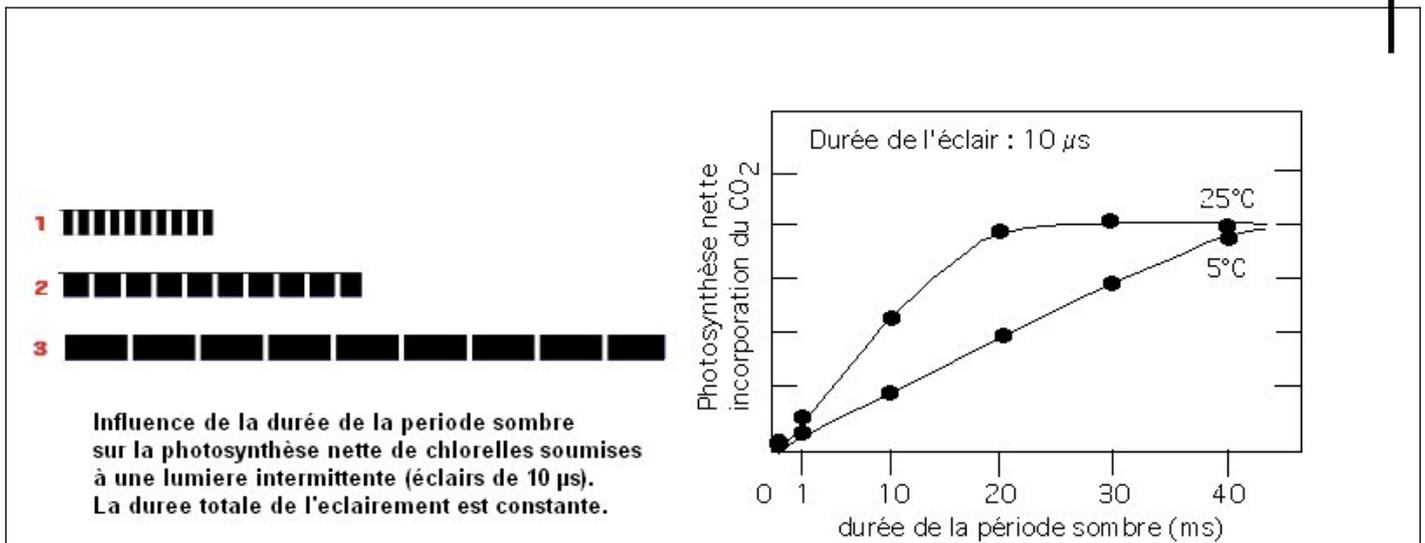
**Le processus de la photosynthèse comprend deux types réactions :**

- Des réactions nécessitant la lumière et ne sont pas influencées par la température : les réactions photochimiques (phase claire) ;

- Des réactions nécessitant la température et ne sont pas influencées par la lumière : les réactions thermochimiques (phase sombre).

b- Expériences d'Emerson et Arnold (1932) :

Ces expériences ont été réalisées sur des algues vertes unicellulaires (Chlorelles) en suspension. L'incorporation du CO<sub>2</sub> est mesurée en lumière intermittente à l'aide d'un tube-néon intense qui produit des éclairs brefs (10 μs) séparés par des intervalles variables d'obscurité (entre 1 et 40 ms). Expérimentalement, chaque mesure est réalisée pour un total de 10 000 éclairs de 10μs (soit un total de 1s de lumière) et des durées de périodes sombres comprises entre 100 s et 4000 s (soit un total d'obscurité compris entre 1,6 à 64 minutes).



**Document 11**

**Expliquer** pourquoi les résultats de l'expérience **d'Emerson et Arnold** prouve l'existence de deux phases dans les réactions de la photosynthèse.

Influence de la durée de la période sombre sur la photosynthèse nette de chlorelles soumises à une lumière intermittente (éclairs de 10  $\mu$ s). La durée totale de l'éclairement est constante.

- A 25 °C : une période sombre totale d'environ 20 ms (2000 fois plus importante) pour obtenir une photosynthèse nette maximum.
- A 5°C, la durée de la période sombre augmente, mais la photosynthèse nette maximale est la même.

Conclusion : dans les conditions de cette expérience (éclairage total bref et saturant), il faut une période sombre importante pour obtenir une photosynthèse maximale. Ceci suggère que des intermédiaires sont formés à la lumière rapidement (de manière quasi insensible à la température) = réactions photochimiques, et qu'ils sont utilisés beaucoup plus lentement par des réactions chimiques (sensibles à la température) = réactions biochimiques d'assimilation du CO<sub>2</sub>.

**Remarque :**

On parle de façon abusive de réactions dites "claires" et "sombres, mais, dans les conditions normales (lumière continue), ces deux groupes de se déroulent conjointement à la lumière. Donc, il faut préférer les termes de "réactions photochimiques" et de "réactions biochimiques" d'assimilation du CO<sub>2</sub>" respectivement



## 2- Rôle des pigments chlorophylliens dans la conversion de l'énergie

Les chlorophylles sont organisées à l'intérieur de la membrane des thylakoides sous forme de photosystème : **Un photosystème est un ensemble de complexes protéiques associés à des pigments et capable de convertir l'énergie lumineuse en énergie chimique.**

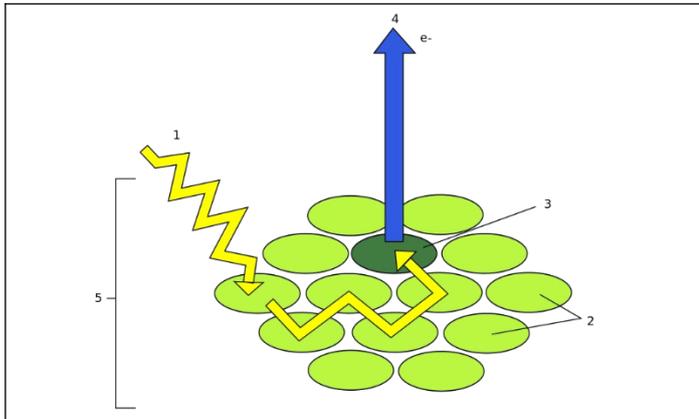


Schéma d'un photosystème

- 1 : Photon de lumière
- 2 : Molécules de pigments constituant l'antenne collectrice
- 3 : Centre réactionnel contenant de la chlorophylle a
- 4 : Production d'électrons vers l'accepteur primaire
- 5 : Photosystème

### Document 12

La lumière nous parvient sous forme de photons. Ces photons possèdent un **potentiel énergétique** différent selon leur **longueur d'onde**.

Les pigments absorbent mieux certaines longueurs d'onde. Par exemple, la **chlorophylle** absorbe bien la lumière rouge et la lumière bleue, mais elle n'absorbe pas bien la lumière verte ce qui leur donne cette couleur. Les **caroténoïdes** absorbent mieux la lumière verte mais pas bien la lumière jaune ou la lumière orange ce qui leur donne cette couleur.

Lorsqu'un pigment capte un photon correspondant à sa capacité d'absorption **un de ses électrons passe à l'état excité**. Cette énergie peut se transmettre par **résonance**.

Un **photosystème** est constitué d'un **centre réactionnel** et d'une **antenne collectrice** permettant d'optimiser l'absorption des photons déclenchant les réactions photochimiques.

- Un centre réactionnel est un emplacement spécialisé constitué de deux molécules de chlorophylle *a* capable de céder ses électrons à l'accepteur primaire.
- Les autres molécules de chlorophylle *a* et *b* et les molécules de caroténoïdes forment une antenne collectrice qui absorbe les photons et transmettent l'énergie vers les centres réactionnels.

## III- Les réactions photochimiques de la phase claire.

L'énergie des photons lumineux est transmise jusqu'à la molécule de chlorophylle *a* au sein du photosystème. Celle-ci excitée va perdre un électron et le céder à un accepteur puis passer à l'état oxydé. Pour revenir à son état d'équilibre la chlorophylle *a*, doit remplacer son électron perdu ; ce qui nécessite la présence d'un donneur d'électrons.

**Quelle est la nature du donneur d'électrons qui permet la stabilité de la chlorophylle *a* ?**

**Quelle est la nature de l'accepteur finale des électrons perdu par la chlorophylle *a* ?**

### 1- La mise en évidence de la photolyse de l'eau

#### a- Expérience de RUBEN et KAMEN

En 1940, **RUBEN et KAMEN** réalisent l'expérience suivante:

Ruben et Kamen ont utilisé un isotope lourd de l'oxygène ( $^{18}\text{O}$ ) à la place de l'oxygène habituel ( $^{16}\text{O}$ ) et ils ont marqué ainsi diverses molécules ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ). Lorsque de l'eau est marquée par le  $^{18}\text{O}$  : ( $\text{H}_2^{18}\text{O}$ ), le dioxygène produit

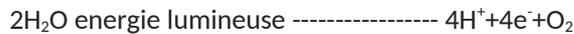


par la photosynthèse est marqué.

**Commenter** les résultats de l'expérience et **déduire** l'origine de l'oxygène dégagé durant la photosynthèse.

**Ecrire** à réaction chimique de cette oxydation de l'eau.

Le dioxygène libéré au cours de la photosynthèse provient de l'eau



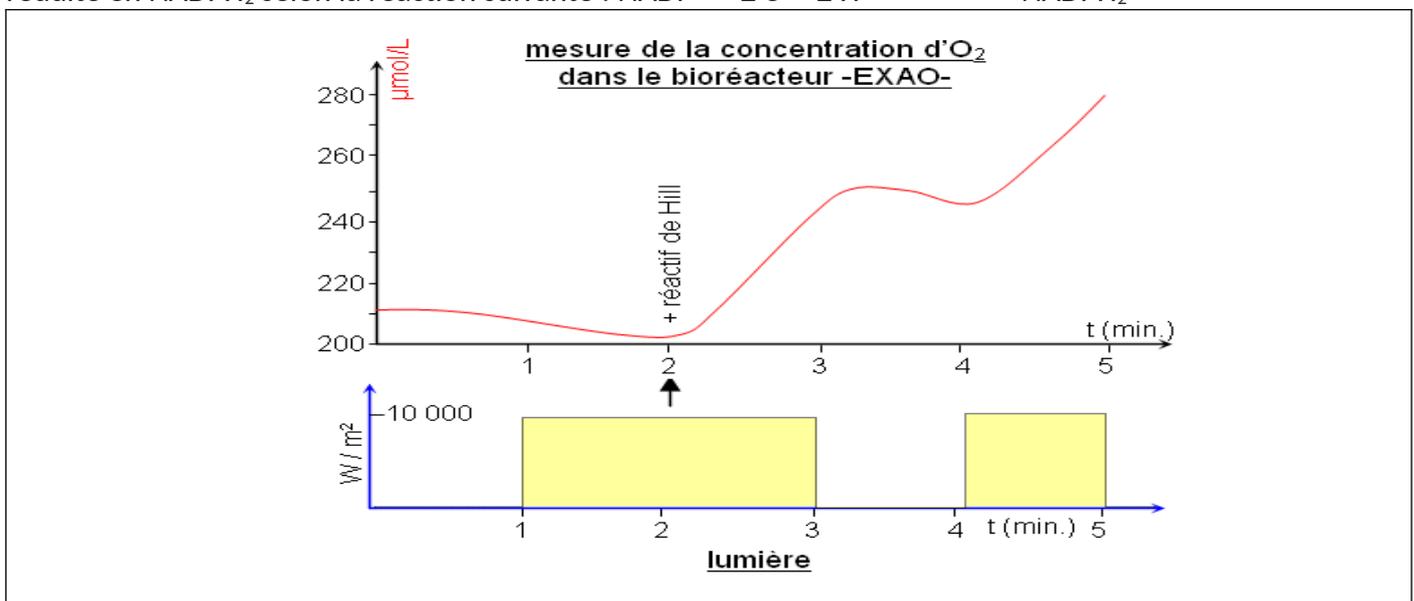
La réaction s'appelle : photolyse de l'eau ou oxydation de l'eau.

### b- Expérience de Hill

On réalise un broyat de feuilles d'épinards en présence d'un tampon phosphate de pH 6,5. Après filtration, on obtient un filtrat qui correspond à une suspension d'organites cellulaires. Parmi ces organites, on trouve des mitochondries et des chloroplastes. Le protocole utilisé ne permet pas de conserver les chloroplastes intacts : seuls les thylakoïdes restent intacts, les constituants du stroma se trouvent dilués dans le milieu qui a servi à l'extraction.

Grâce à une chaîne EXAO, on mesure l'évolution de la concentration en dioxygène de cette suspension d'organites en fonction du temps ; en présence ou non de lumière et après ajout, dans le milieu, d'un oxydant (réactif de Hill) au temps : 6 minutes.

Dans les conditions naturelles de la photosynthèse, ce rôle d'accepteur d'électrons est rempli par un couple redox  $\text{R}^+ / \text{RH}_2$  : c'est une molécule  $\text{NADP}^+$  capable de recevoir les électrons et les ions hydrogène pour être réduite en  $\text{NADPH}_2$  selon la réaction suivante :  $\text{NADP}^+ + 2\text{e}^- + 2\text{H}^+ \xrightarrow{\hspace{2cm}} \text{NADPH}_2$



**Document 13** : évolution de la concentration de dioxygène dans une suspension d'organites exposés ou non à la lumière et en présence ou non d'un oxydant

**Analyser** les résultats de l'expérience et **déduire** les conditions nécessaires pour le dégagement d'O<sub>2</sub> par les chloroplastes.

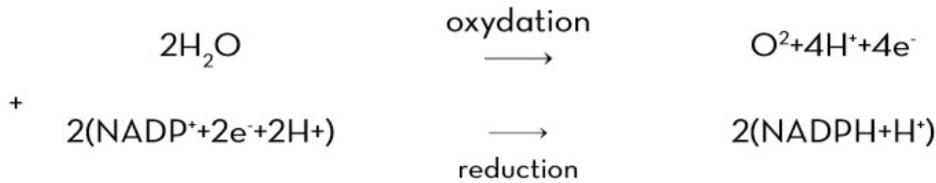
En obscurité, on remarque une diminution de la quantité d'O<sub>2</sub> libérée par les chloroplastes c'est-à-dire l'intensité photosynthétique diminue.

En présence de la lumière, on remarque avant l'ajout du réactif de Hill ( $\text{Fe}^{3+}$ ), l'intensité photosynthétique (IPS) continue à diminuer et après l'injection de ce réactif de Hill, l'IPS augmente.

**Déduction** : Sous éclaircment, les molécules d'eau sont oxydées et les électrons libérés sont acceptés par un récepteur qui devient réduit. Dans l'expérience de Hill c'est  $\text{Fe}^{3+}$  qui joue le rôle d'accepteur des électrons de l'eau. Donc l'activité photosynthétique nécessite la présence de la lumière et d'un accepteur d'électrons et de protons libérés par la photolyse de l'eau.



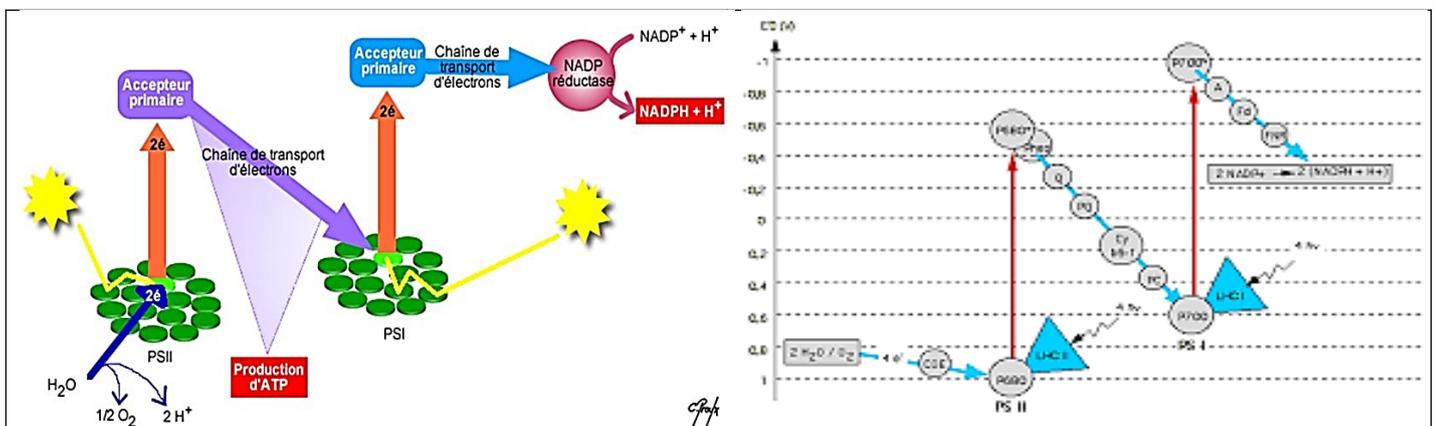
**Remarque :** Dans une cellule vivante, le réactif de Hill naturel est NADP<sup>+</sup> (Nicotinamide Adénine Dinucléotide Phosphate), présent dans le stroma.



<https://www.youtube.com/watch?v=QcFP8paSvPQ>

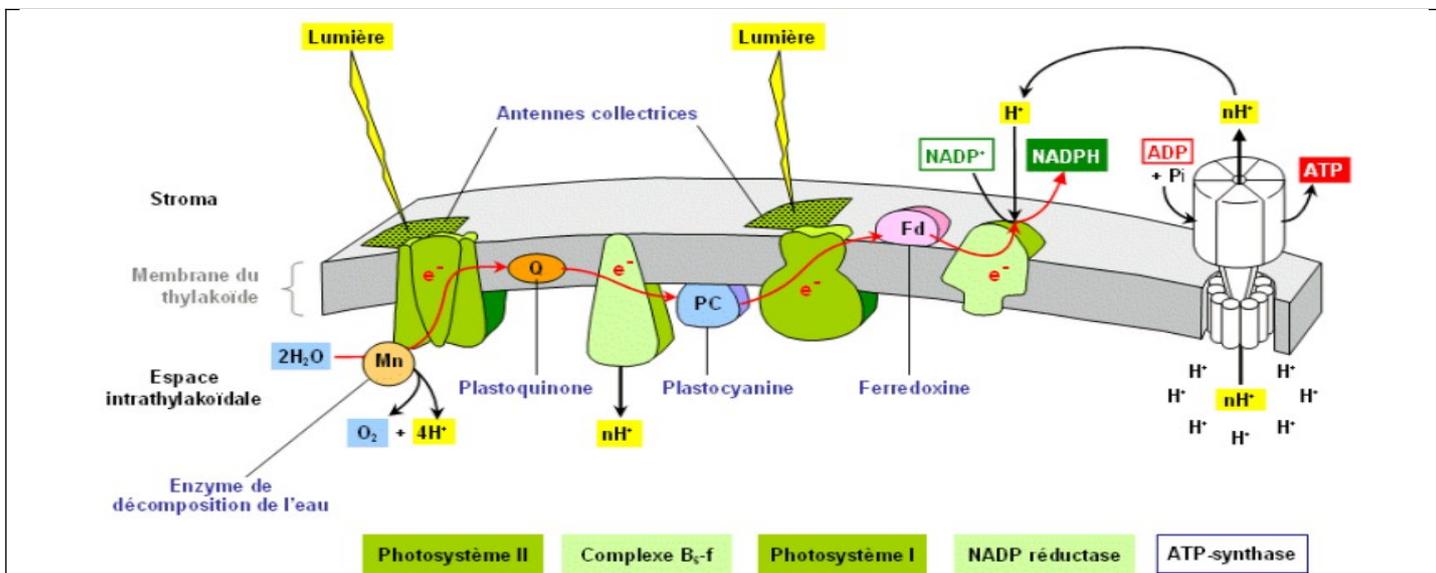
### 2- Rôle de la chaîne photosynthétique :

Les réactions de transfert des électrons entre l'eau (donneur d'électrons) et le NADP<sup>+</sup> accepteur d'électrons font intervenir des réactions photochimiques qui s'effectuent à la lumière au niveau des centres réactionnels. Il existe dans la membrane de la thylakoïde, deux centres réactionnels avec des antennes collectrices appelées photosystèmes I et PS II qui piègent des molécules de chlorophylle (b700 et P680) ainsi qu'une série de transporteurs d'électrons qui permettent un fonctionnement en série des photosystèmes. Le schéma en Z est une représentation de ces transferts d'électrons montrant la succession des différents couples redox concernés.



Document 14

Le transfert des électrons depuis le donneur vers l'accepteur final au cours des réactions d'oxydoréduction successives au niveau de la chaîne photosynthétique assure le pompage des protons H<sup>+</sup> à travers la membrane thylakoïde grâce au transporteur d'électrons qui jouent à la fois le rôle de pompes à protons. Ceci a pour effet de générer une différence de concentration de protons de part et d'autre de cette membrane d'où un gradient électrochimique favorisant l'acidification du lumen.



Document 15



<https://www.youtube.com/watch?v=XmFg91BmS-o>

**Commenter** la figure a et **expliquer** le passage des électrons du donneur H<sub>2</sub>O vers l'accepteur final NADP<sup>+</sup>

En utilisant la figure b, **expliquer** l'acidification de l'espace intra thylacoïdal (lumen).

a. La photosynthèse fait intervenir deux photosystèmes II et I qui fonctionnent en série au niveau de la membrane thylacoïdale.

- L'excitation de photosystème II par la lumière entraîne la perte d'électrons. La récupération des électrons se fait grâce à l'oxydation de l'eau (photolyse de l'eau) selon la réaction suivante :  $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$ . Les électrons cédés par PSII sont transportés par des transporteurs d'électrons qui constituent la chaîne photosynthétique jusqu'à un accepteur final NADP<sup>+</sup> qui se réduit en NADPH, H<sup>+</sup>

b. L'énergie fournie par le retour d'électrons permet le pompage des protons H<sup>+</sup> du stroma (moins concentré) au Lumen (plus concentré) par le transport actif, créant un gradient de protons.

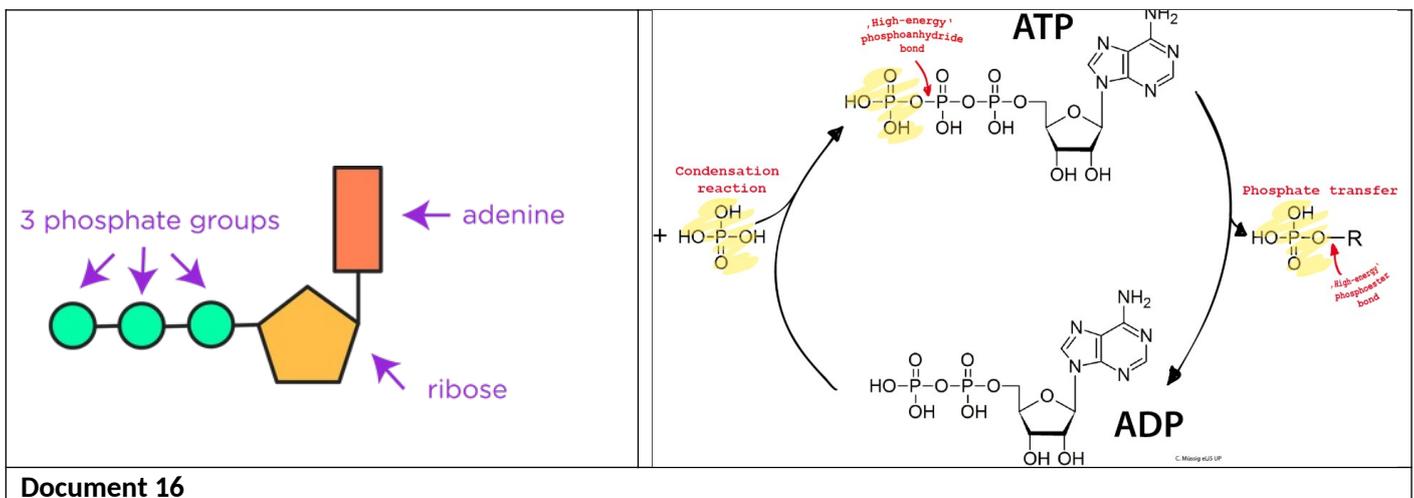
<https://www.youtube.com/watch?v=JMcsShhuzK5I>

#### IV- Production de l'énergie chimique : ATP

La phase photochimique permet grâce aux pigments chlorophylliens l'absorption de l'énergie lumineuse des photons et sa conversion en énergie chimique ATP avec un dégagement de dioxygène.

Comment se fait la production de l'ATP et quelles sont les conditions nécessaires ?

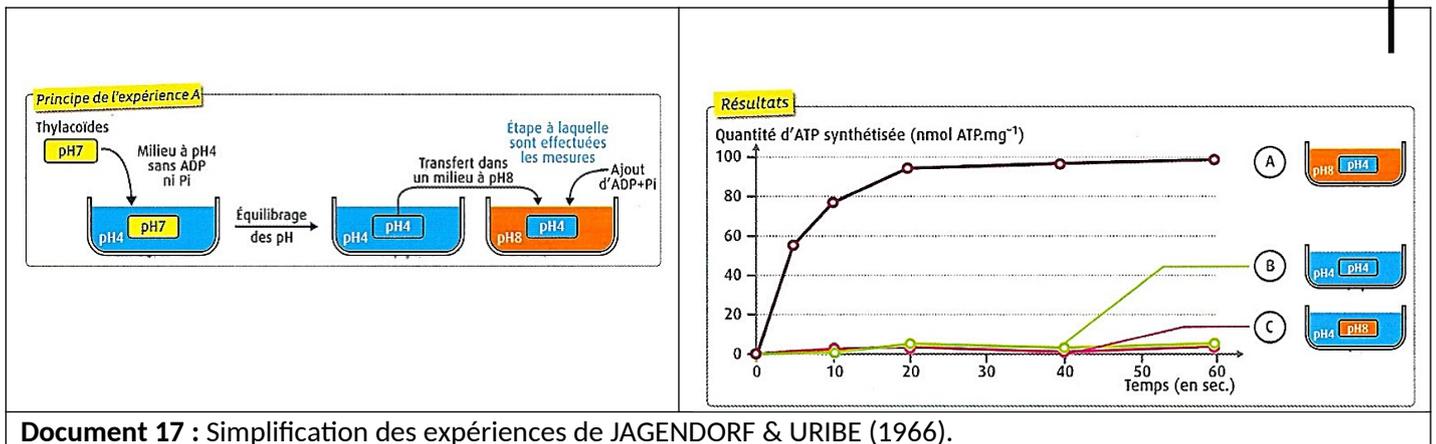
##### 1- Structure de l'ATP et phosphorylation



L'ATP ou, adénosine triphosphate, est un nucléotide servant à emmagasiner et à transporter de l'énergie. Il est constitué de l'adénine (une base azotée), du ribose (un sucre avec cinq atomes de carbone) et de trois groupes phosphates unis les uns aux autres par deux liaisons pyrophosphates à haut potentiel énergétique.

##### 2- Mise en évidence de l'importance de la force proton-motrice dans le fonctionnement de l'ATP synthase (JAGENDORF & URIBE, 1966)

Vers 1965, Jagendorf et ses collaborateurs isolent des thylakoïdes par centrifugation de chloroplastes dont l'enveloppe a été lésée. Ils réalisent différentes expériences à l'obscurité. Dans une expérience A, les thylakoïdes sont placés dans un milieu à pH 4 jusqu'à ce que le pH du lumen (= intérieur des thylakoïdes) s'équilibre avec le pH du milieu. Ils sont ensuite transférés dans un milieu tamponné à pH 8 contenant de l'ADP et du phosphate inorganique (Pi). On mesure alors la synthèse d'ATP en fonction du temps. Dans d'autres expériences (B et C), on adapte le protocole afin d'imposer d'autres valeurs de pH pour le lumen et le milieu.



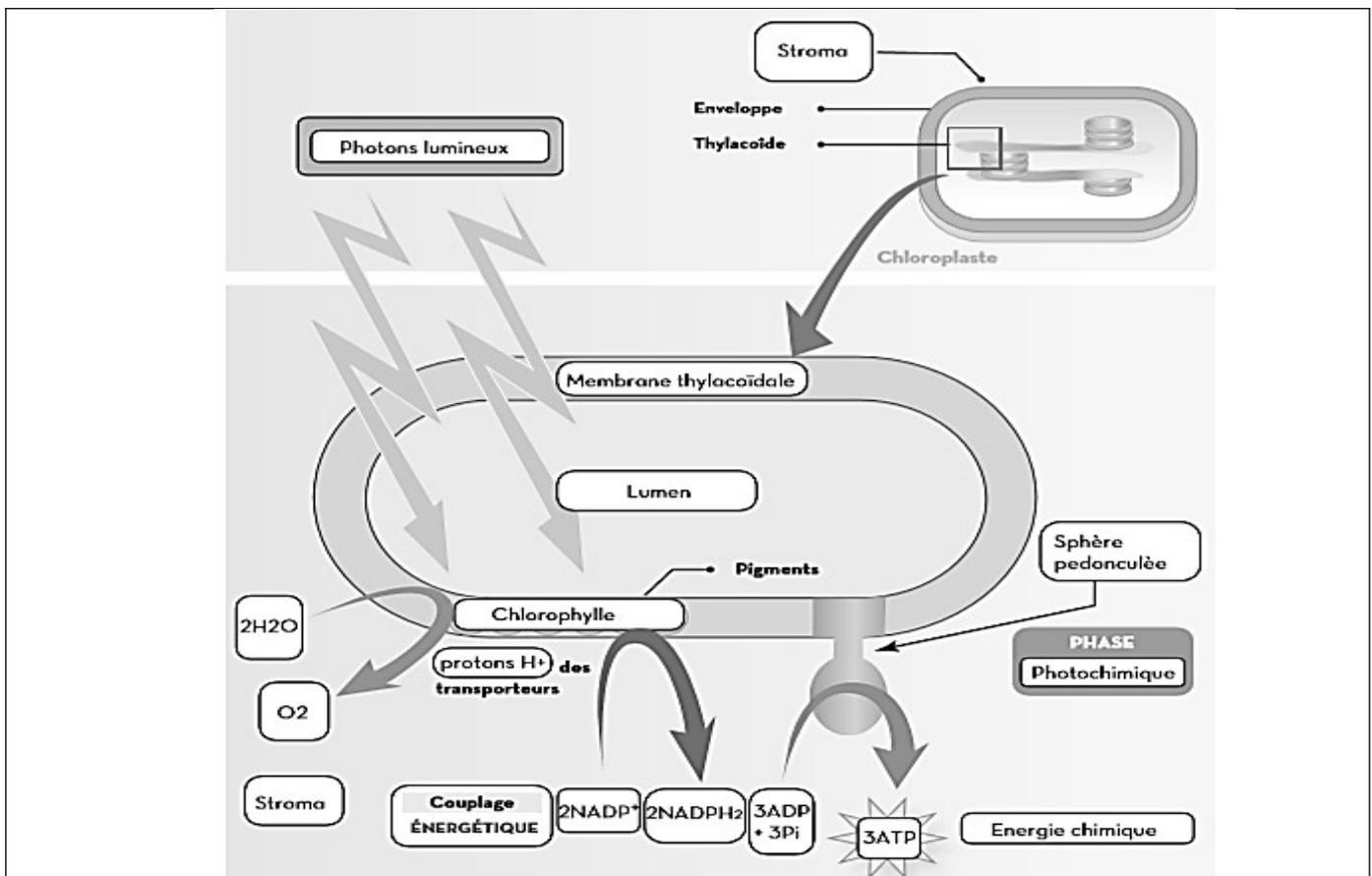
**Déterminer** les conditions de pH du milieu et du lumen les plus efficaces pour la production d'ATP.

**Analyse** : C'est uniquement la différence de pH (différence de concentration de H<sup>+</sup>) entre l'espace intrathylacoïdal (pH acide égale à 4), et le milieu extérieur (pH basique égale à 8) qui a permis la synthèse d'ATP.

**Explication** : C'est donc l'efflux de protons (depuis Lumen vers le milieu) à travers l'ATP synthase qui provoque la Synthèse d'ATP.

**Déduction** : La synthèse de l'ATP par les thylakoïdes nécessite une différence de pH entre le milieu extrathylacoïdal qui correspond au stroma et l'espace intrathylacoïdal. En effet, le pH du stroma doit être basique alors que celui de l'espace intrathylacoïdal doit être acide.

**SCHEMA BILAN DE LA PHASE CLAIRE**



**Document 18**

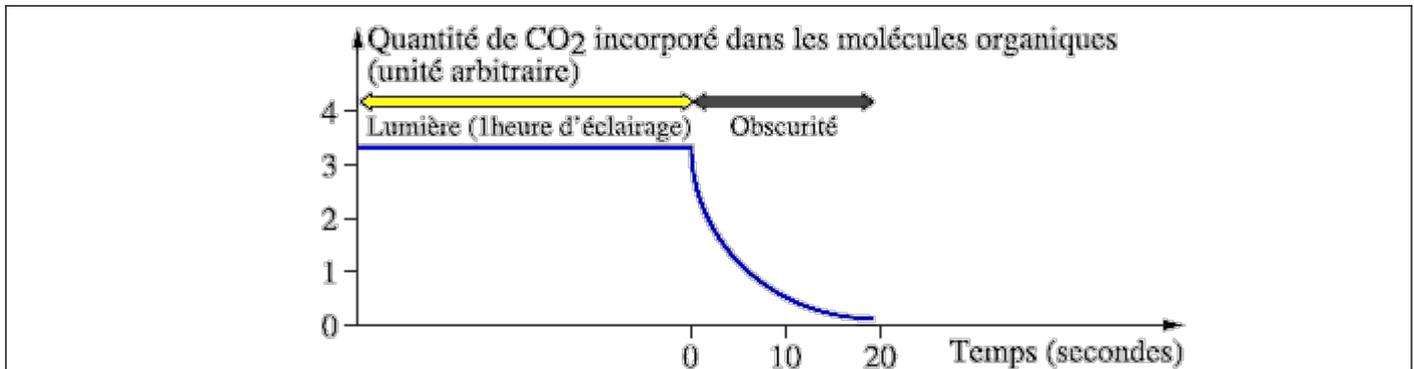
**V- La phase non photochimique de la photosynthèse**



1- L'utilisation du CO2

expérience de Gaffron.

En 1951, Gaffron et ses collaborateurs travaillent sur une suspension d'algues vertes unicellulaires (Scenedesmus). Ces algues sont cultivées dans un milieu dans lequel barbote du dioxyde de carbone radioactif ( $^{14}\text{CO}_2$ ). La solution est éclairée pendant une heure par un faisceau lumineux de forte intensité, puis placée à l'obscurité. Les chercheurs mesurent pendant toute la durée de l'expérience la quantité de  $^{14}\text{CO}_2$  incorporé dans la matière organique par les algues vertes. Les résultats obtenus sont présentés dans le graphe ci-après.



Document 19

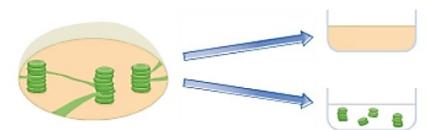
Analyser les résultats de l'expérience de Gaffron que déduire ?

L'expérience de Gaffron (1951) montre une incorporation élevée et constante de  $\text{CO}_2$  lorsque les algues sont exposées à la lumière. En effet, ces cellules chlorophylliennes réalisent alors la photosynthèse. À l'obscurité, cette incorporation cesse rapidement : la photosynthèse est un processus qui exige de la lumière. Cependant, on constate que l'incorporation du  $\text{CO}_2$  ne cesse pas immédiatement lors du passage à l'obscurité mais diminue progressivement pendant 20 secondes environ.

Cela montre que l'incorporation du  $\text{CO}_2$  peut chimiquement se produire à l'obscurité mais est tributaire de phénomènes qui exigent directement de la lumière.

2- Couplage entre la phase claire et la phase sombre

Arnon réalise une expérience en préparant, à partir de chloroplastes, une fraction contenant uniquement les thylakoïdes et une fraction correspondant au stroma. Les résultats sont exposés ci-dessous.



Expériences	Radioactivité des molécules organiques, déterminée en fin d'expérience (en coups. mn <sup>-1</sup> ).
Chloroplastes + obscurité + fragmentation. Puis isolement du stroma + obscurité + approvisionnement en $^{14}\text{CO}_2$ pendant 30 min.	4 000
Chloroplastes + fort éclairage dans un milieu sans $\text{CO}_2$ + fragmentation. Puis isolement du stroma + obscurité + approvisionnement en $^{14}\text{CO}_2$ pendant 30 min.	96 000
Stroma isolé + obscurité + approvisionnement en ATP et en transporteurs réduits $\text{RH}_2$ et en $^{14}\text{CO}_2$ pendant 30 min.	97 000

L'expérience d'Arnon (1958) de séparation du stroma et des thylakoïdes. © Spécialité SVT Bordas 2012 (schéma)

Document 20

L'expérience d'Arnon permet de proposer une interprétation :

- À la lumière, les thylakoïdes fournissent en permanence ATP et  $\text{RH}_2$ . Il y a donc incorporation constante de  $\text{CO}_2$ .

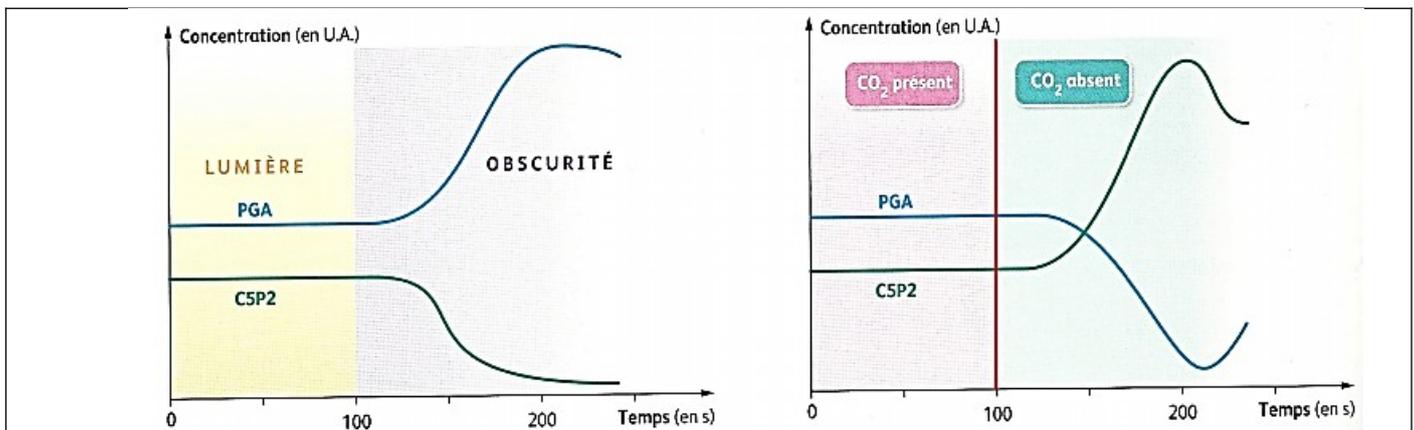


- Lors du passage à l'obscurité, la production d'ATP et de  $RH_2$  par les thylakoïdes cesse. Cependant, l'incorporation du  $CO_2$  se poursuit un court instant en utilisant les stocks manifestement très limités d'ATP et  $RH_2$  précédemment produits par les thylakoïdes à la lumière.

### 3- Réduction du $CO_2$

#### Expérience de Bassham et Calvin

Melvin Calvin et James Bassham fournissent en continu du  $CO_2$  marqué ( $^{14}CO_3H$ ) à une culture d'algues vertes : des chlorelles. Ils mesurent au cours du temps la concentration (mesurée par leur radioactivité) de l'acide phosphoglycérique (APG = PGA) et du ribulose 1-5 bis phosphate ( $C_5P_2$ ) formés dans différentes conditions en particulier : - quand la culture cesse d'être éclairée, tout en étant toujours en présence de  $CO_2$  ; - quand la culture cesse d'être approvisionnée en  $CO_2$ , tout en étant toujours à la lumière



Document 21

**Analyser** le document, puis **déduire** la réduction de  $CO_2$  en montrant les transformations possibles.

#### Analyse :

- pour un taux de  $CO_2$  constant et pendant une phase lumineuse, on remarque une stabilité de l'APG (Acide Phosphoglycérique) et du RudiP (Rubilose diphosphate). Pendant la phase obscure, on remarque une augmentation de la quantité d'APG et une diminution de la quantité de RudiP avec stabilité des hexoses.

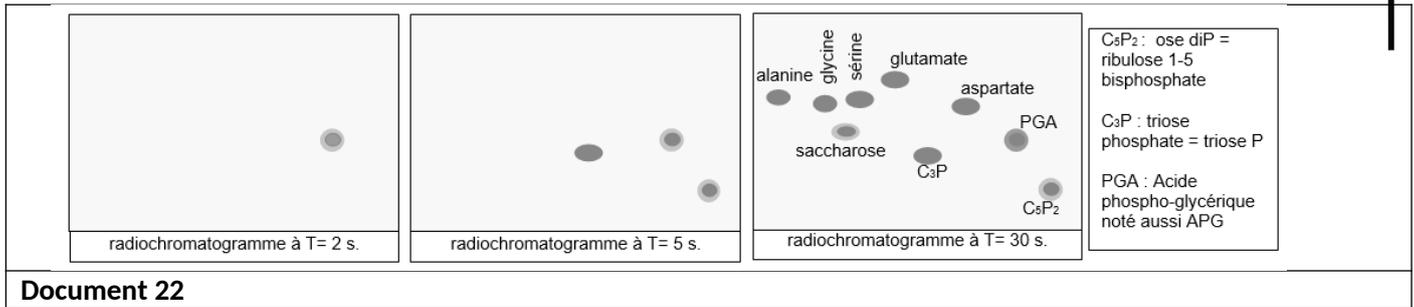
#### Déduction :

La synthèse d'APG se fait à partir du RudiP en phase obscure.  $RudiP + CO_2 \rightarrow APG$  Pour un éclaircissement constant et en présence du  $CO_2$ , les concentrations de l'APG et du RudiP sont stables (quantité d'APG est supérieure), mais en absence du  $CO_2$  la concentration du RudiP augmente et de l'APG diminue car ce RudiP ne se transforme plus en APG ce qui explique l'accumulation de RudiP dans le milieu et la diminution de l'APG. On conclut donc que l'accepteur du  $CO_2$  est le RudiP, ces deux derniers fusionnent, formant ainsi de l'APG selon la réaction suivante :  $RudiP + CO_2 \rightarrow APG$

### 4- Devenir du $CO_2$ et production de la matière organique

#### Expérience de Calvin et Benson

Vers 1950, Melvin Calvin et Andrew Benson mettent au point une technique leur permettant de suivre le devenir du  $CO_2$  fixé par les végétaux chlorophylliens. Une suspension d'algues vertes unicellulaires est placée pendant une heure à la lumière dans un milieu alimenté en  $CO_2$  non radioactif. On fournit alors à la culture du  $CO_2$  marqué au  $^{14}C$ . Les algues sont ensuite tuées dans l'alcool bouillant soit 2 secondes, soit 3 secondes soit 5 secondes après la fourniture du  $CO_2$  marqué, ce qui bloque toutes les réactions chimiques. Des extraits d'algues sont traités par chromatographie bidimensionnelle puis révélés par autoradiographie.

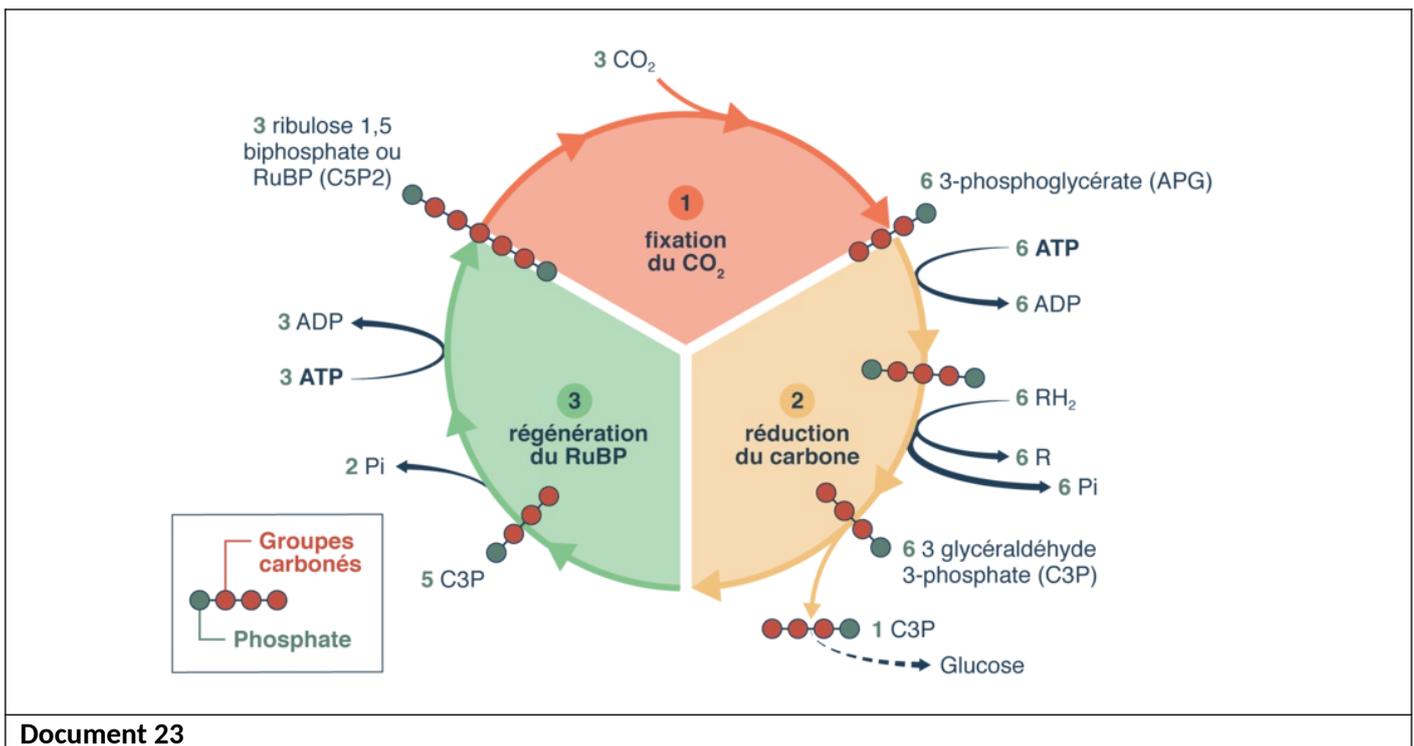


**Déterminer** l'ordre chronologique d'apparition des molécules organiques qui résultent de l'incorporation du CO<sub>2</sub>.

Les substances synthétisées par l'algue sont séparées par chromatographie puis illustrées par autoradiographie :

- Après 2s de mise en présence d'algue avec <sup>14</sup>CO<sub>2</sub>, il y a apparition d'un premier composé organique APG ;
- Après 5s de mise en présence d'algue avec <sup>14</sup>CO<sub>2</sub>, il y a apparition de C<sub>3</sub>P et RuDiP ;
- Après 30 min, il y a apparition des hexoses, saccharose, acide pyruvique, acide malique, acide aspartique et divers acides aminés.

**5- Le cycle de calvin**



**Préciser** la succession des réactions cycliques qui participent dans la production de la matière organique.

La phase chimique se déroule dans le stroma des chloroplastes et se déroule en 3 étapes au cours du **cycle de Calvin** :

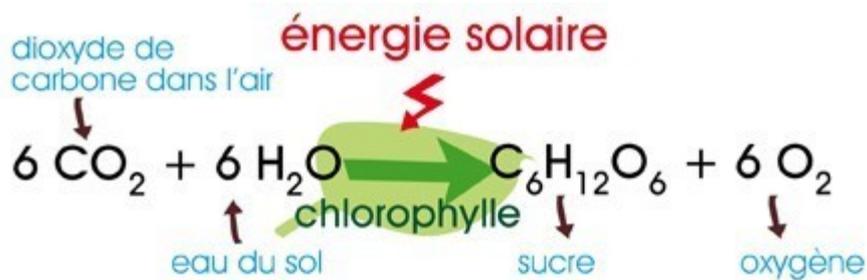
**1ère étape** : fixation du CO<sub>2</sub> sur un composé organique en 5 carbone, le ribulose biphosphate (RuBP), grâce à une enzyme clé : la Rubisco. le composé en C<sub>6</sub> est scindé en deux molécules en C<sub>3</sub> : l'APG (Acide phosphoglycolique).



**2ème étape :** réduction de l'APG en 3-phosphoglycéraldéhyde (G3P) grâce à l'ATP et au NADPH produit à la phase photochimique. 2 G3P (molécule en C3) sur 12 servent à la synthèse du glucose (molécule en C6).

**3ème étape :** régénération du RuBP à partir du G3P restant grâce à l'ATP produit à la phase photochimique.

Ecrire l'équation globale de la formation du glucose.



# SCHEMA BILAN

