

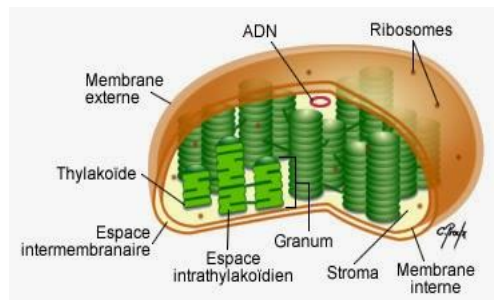
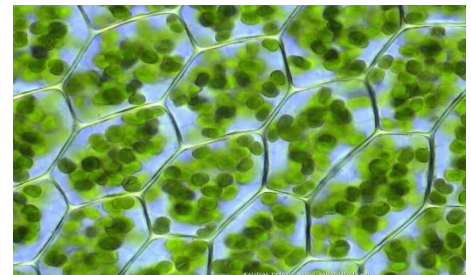
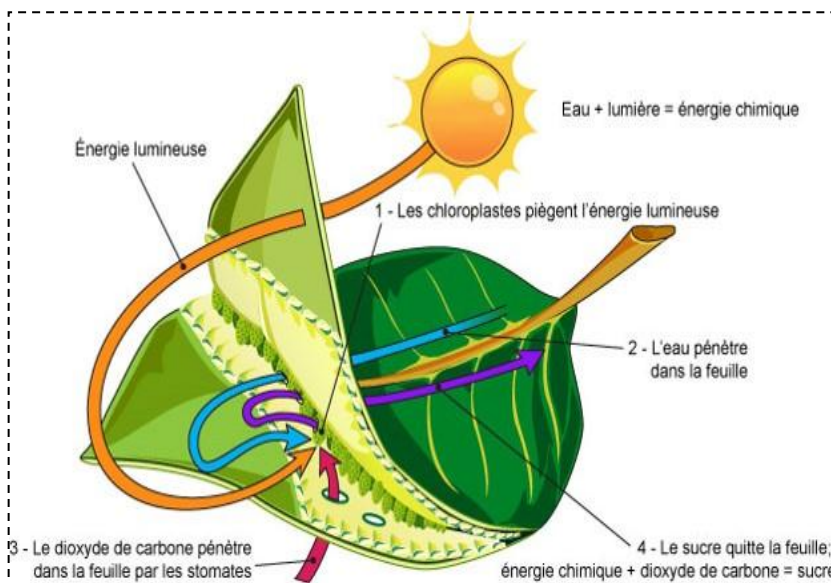
Nom et prénom : .....

Classe : .....

# Cahier d'élève

## 1<sup>er</sup> BAC sciences expérimentales

# la production de la matière organique



Chapitre 1 : mécanismes d'absorption de l'eau et des sels minéraux chez les plantes

Chapitre 2 : les échanges gazeux chlorophylliens

Chapitre 3 : production de la matière organique par les plantes

Chapitre 4 : rôle des pigments chlorophylliens dans la captation de l'énergie lumineuse

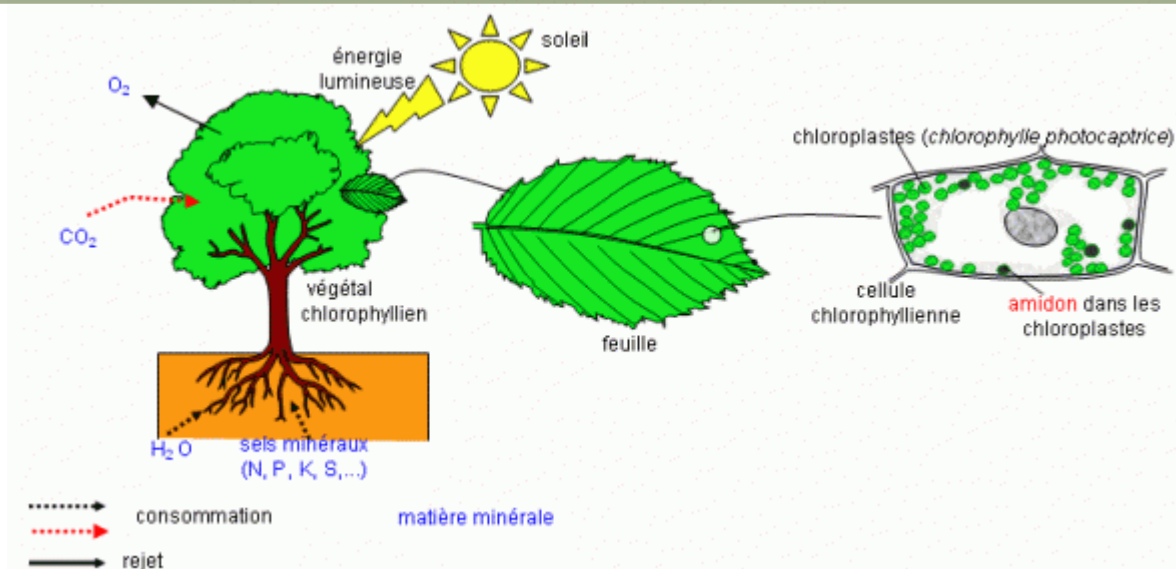
Chapitre 5 : les principales réactions de la photosynthèse

## Rôle des pigments chlorophylliens dans la captation de l'énergie lumineuse et les principales réactions de la photosynthèse

Soumis aux **rayonnements solaires**, les végétaux réalisent la **photosynthèse** : le phénomène par lequel ils produisent de la matière organique à partir d'eau, de sels minéraux et de dioxyde de carbone.

Cette synthèse ne peut se dérouler qu'en présence de la chlorophylle : le pigment vert des végétaux qui capte l'énergie lumineuse et qui leur donnent la couleur verte.

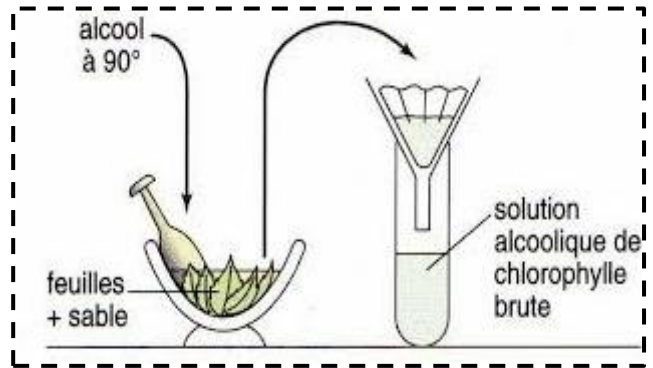
..... ?  
..... ?  
..... ?



- **Activité 1** : Extraction de chlorophylle : différents pigments chlorophylliens
- **Activité 2** : Propriétés des pigments chlorophylliens : absorption des rayons lumineux et fluorescence
- **Activité 3** : structures et ultrastructure du chloroplaste
- **Activité 4** : Rôle des pigments chlorophylliens dans la conversion de l'énergie lumineuse en énergie chimique
- **Activité 5** : Les réactions photochimiques = réactions de la phase claire
- **Activité 6** : les réactions thermochimiques = réactions de la phase obscure
- **Activité 7** : Diversités des sources de la matière et l'énergie utilisées par les êtres vivants

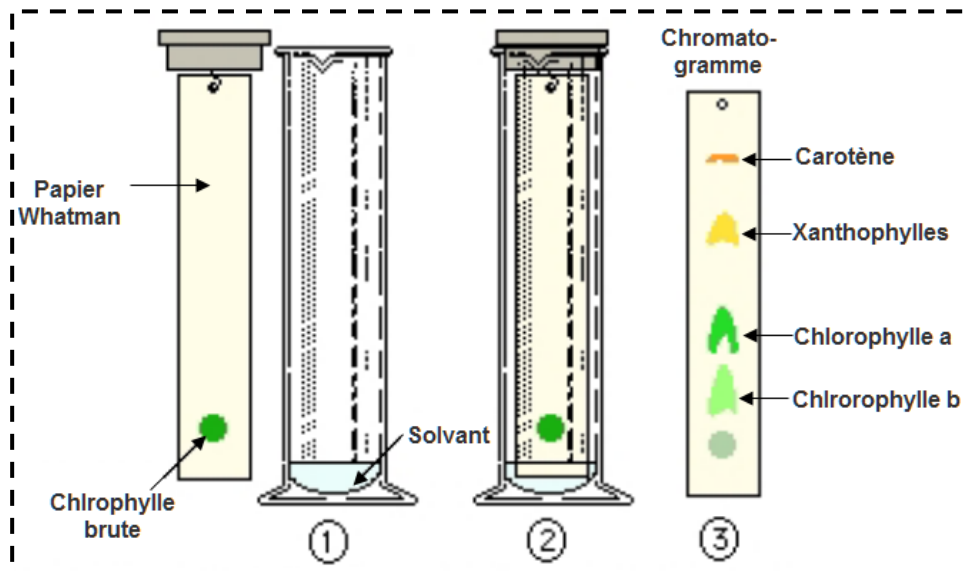
1. Extraction de la chlorophylle

- Broyer des feuilles dans un mortier, avec un peu de sable pour écraser les cellules.
- Ajouter progressivement 10 ml d'alcool 90° pour dissoudre les pigments chlorophylliens.
- Filtrer le contenu du mortier avec du papier filtre afin d'obtenir une solution de pigments appelée chlorophylle brute.
- Réalisez la manipulation



2. Séparation des pigments chlorophylliens par chromatographie

- Mettez une goutte de chlorophylle brute à 2 cm du bord d'un rectangle de papier chromatographique.
- Laisser la première goutte sécher, et en rajouter d'autres.
- Suspendez le papier chromatographique dans une éprouvette contenant 5 mL d'un solvant organique (Ether de pétrole 85 % ; Acétone 10 % ; Cyclohexane 5 %). La tâche de chlorophylle brute doit être plus haute par rapport au niveau du solvant.
- Laisser l'éprouvette dans l'obscurité durant 50 min, les résultats sont représentés dans le schéma ci-dessous.



- Réaliser la manipulation suivante et interpréter ces résultats.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

1. Le spectre d'absorption

- Observer dans un premier temps le spectre la lumière blanche (1) en vous plaçant face à la lumière et en regardant dans l'oculaire. Le spectre doit apparaître en entier, sinon bouger le spectroscopie en direction de la lumière.
- Mettre la chlorophylle brute extrait dans le petit tube à l'aide d'une pipette.
- Placer le tube devant la fente du spectroscopie, de telles sortes que la lumière traverse la chlorophylle brute et observer le spectre d'absorption de la chlorophylle brute(2).
- Les deux spectres obtenus sont représentés ci-dessous.

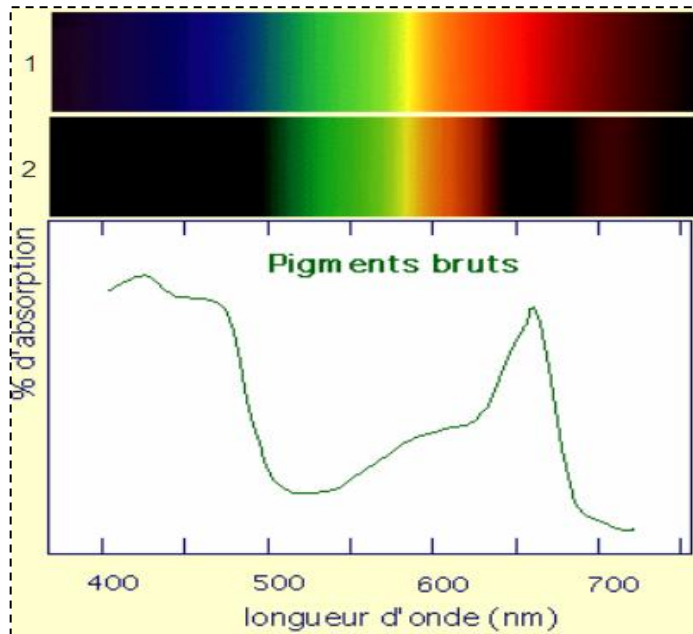


Fig 1 : le spectre d'absorption de la chlorophylle brute

Les pigments d'une feuille ont été extraits puis séparés par chromatographie. Les spectres des différents pigments (chlorophylle a, chlorophylle b et carotène) sont analysés séparément et peuvent être comparés avec le spectre global de pigments bruts.

Les résultats sont représentés dans la figure 2 ci-dessus.

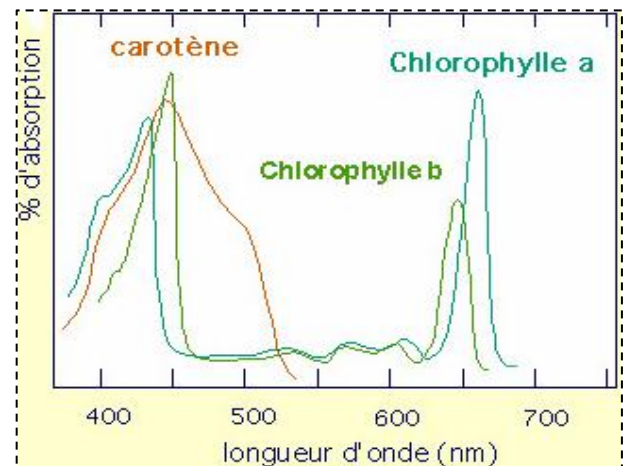


Fig 2 : le spectre des pigments chlorophylliens

Pourquoi les plantes chlorophylliennes apparaissent-elles vertes ?



1- Comparer les deux spectres obtenus, que pouvez-vous en déduire ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2- D'après la figure 2, de quoi dépend-elle l'absorption des rayonnements lumineux ?

.....

.....

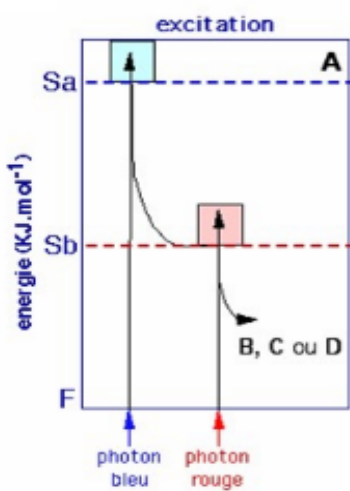
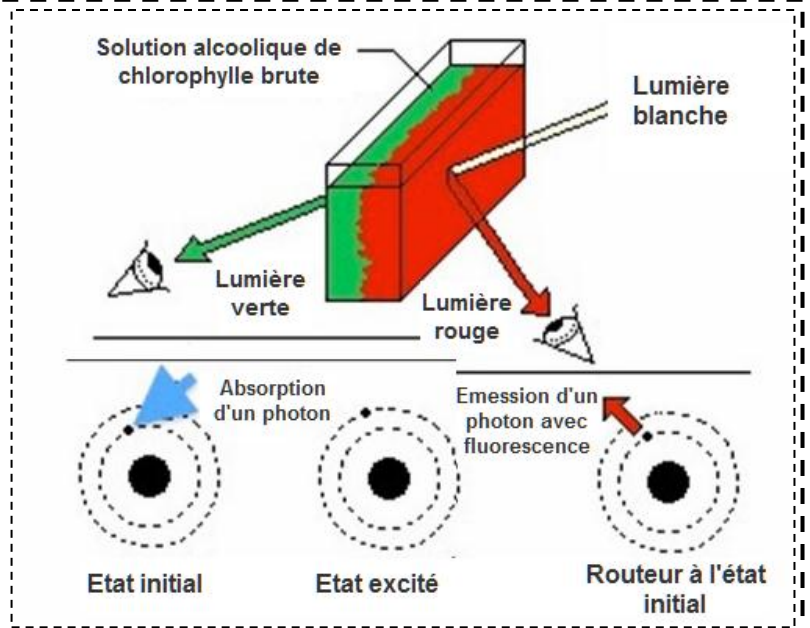
## 2. La fluorescence de la chlorophylle brute

La chlorophylle paraît verte car elle absorbe toutes les longueurs d'ondes exceptées de celles des radiations vertes.

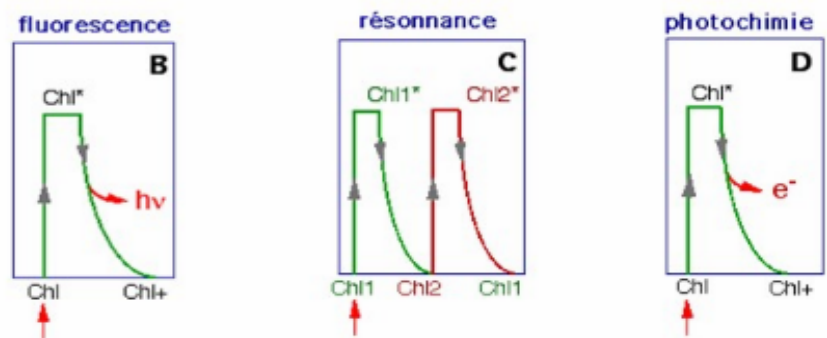
Lorsqu'un photon correspondant à une longueur d'onde bleue (donc très énergétique) est absorbé par les molécules de la chlorophylle, les atomes de ces dernières deviennent excités et changent de niveau d'énergie, ils sont donc instables.

Ils reviennent à leur niveau d'énergie initiale en redonnant un photon.

Comme un peu d'énergie a été perdue, le photon émis est moins énergétique et donc d'une longueur d'onde supérieure à celle absorbée.



La **fluorescence** est un phénomène qui caractérise seulement la chlorophylle brute. Comment donc les molécules des pigments chlorophylliens au niveau des plantes reviennent à leur état fondamental après excitation par les photons absorbés ?



Il existe plusieurs façons pour que les molécules des pigments chlorophylliens reviennent à leur état fondamental. En émettant de la chaleur de « Sa » à « Sb », et de « Sb » à l'état fondamental « F » :

- .....
- .....
- .....
- .....
- .....

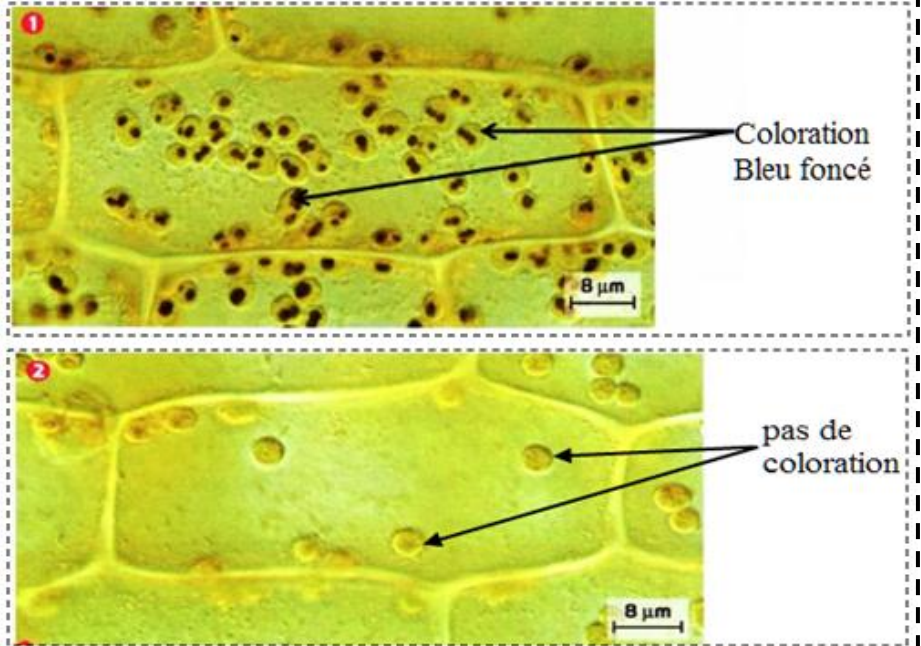
### 1. Rôle du chloroplaste

Pour mettre en évidence le rôle du chloroplaste, on réalise l'expérience suivante :

Des plantes d'Elodée sont mises dans un milieu riche en CO<sub>2</sub>, ces plantes sont partagées en deux groupes :

- L'un est exposé à la lumière
- L'autre est mis à l'obscurité

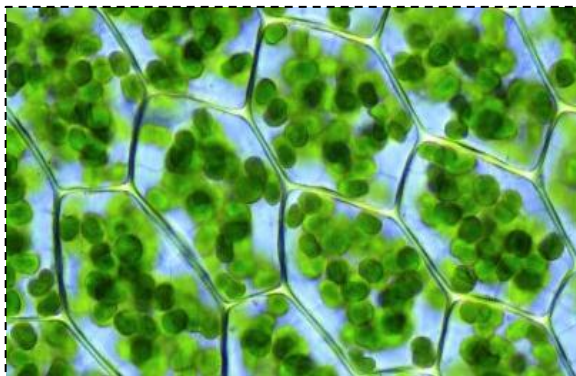
Une feuille de chaque groupe a été traitée par l'eau iodé et observé au microscope optique, les résultats sont représentés dans les images ci-contre.



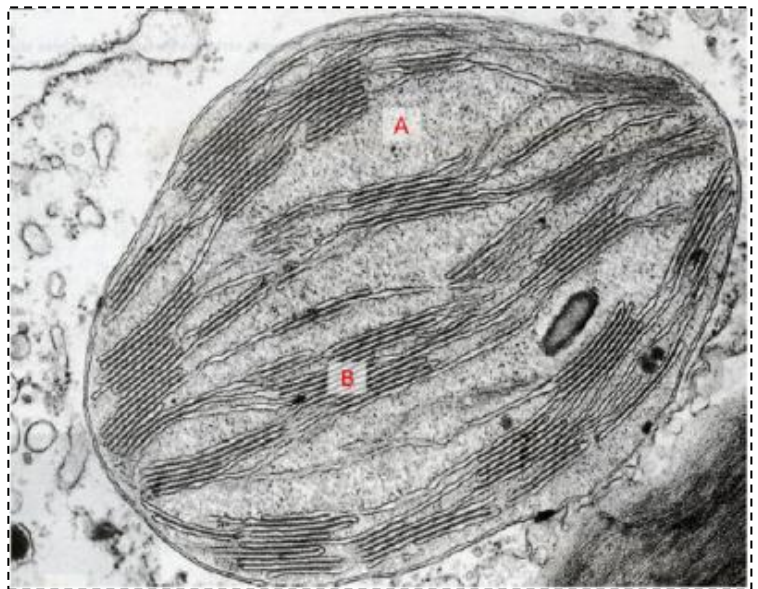
Qu'indique la coloration Bleu foncé au niveau des chloroplastes, déduire leur rôle ?

### 2. Structure et ultrastructure du chloroplaste

Les chloroplastes sont des organites (de 2 à 10 μm de diamètre) présents dans les cellules végétales et les algues vertes ; ils contiennent des pigments chlorophylliens qui entrent en jeu dans la **photosynthèse**.



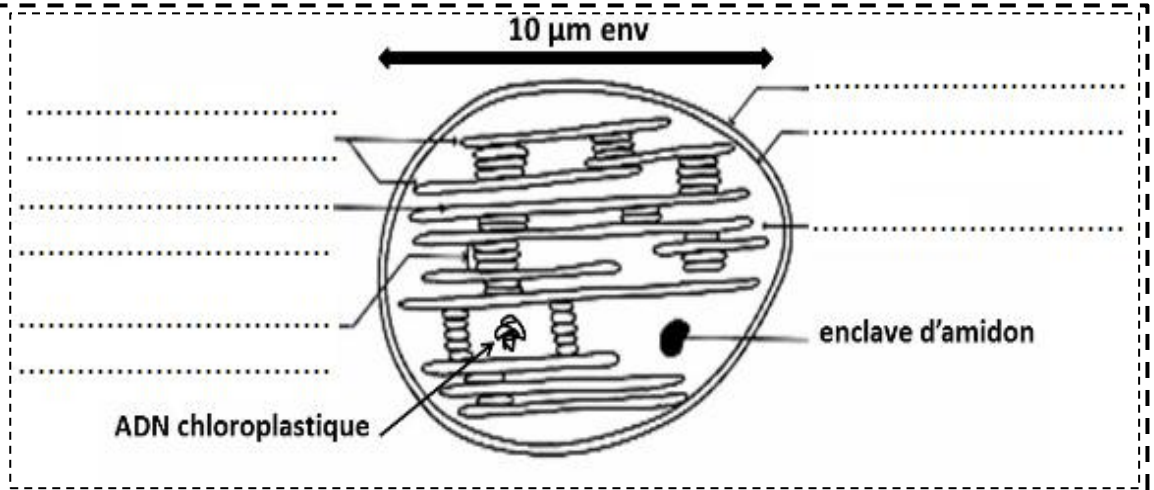
Doc1 : Observation microscopique des chloroplastes



Doc 2 : chloroplaste observé au microscope électronique à transmission (MET)

En microscopie électronique, le chloroplaste apparaît entouré par une enveloppe constituée de **deux membranes** (une externe et l'autre interne) et un système de lamelles membranaires (**thylakoïdes**) dont certains en forme de disques sont empilés (**granum**). L'espace délimité par l'enveloppe membranaire est appelé **stroma**.

Selon ces observations un schéma a été réalisé, légendez ce schéma en lui donnant un titre.

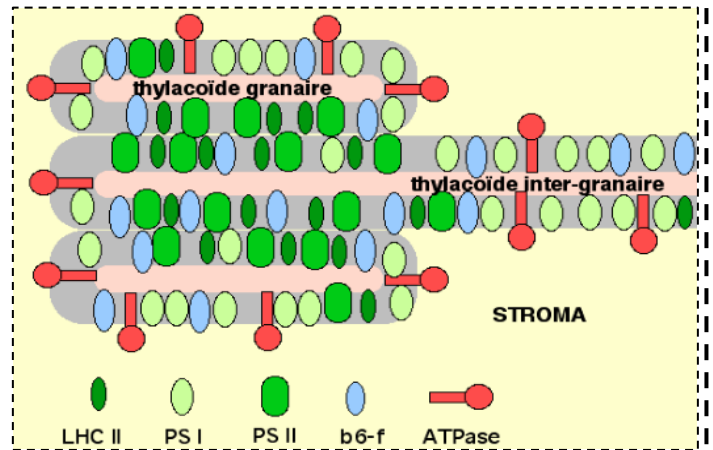


Doc 3 : .....

➤ **La localisation de la chlorophylle au niveau des chloroplastes**

Au MET la membrane des thylakoïdes apparaît granulaire. Ces particules représentent des **complexes protéiques**. Sur les bords des thylakoïdes granaires, certaines particules pédonculées dépassent largement de la membrane. Elles ont été identifiées comme des **ATP-synthases**.

Le schéma ci-contre représente les différents complexes protéiques constituant cette membrane y compris ceux constituant la chlorophylle.



Doc 4 : localisation des complexes protéiques au niveau de la membrane des thylakoides

Différentes méthodes de fractionnement ont permis d'isoler les membranes des thylakoïdes puis de séparer et de caractériser 5 complexes protéiques importants :

- Les régions accolées .....
- les régions non accolées .....
- le complexe cytochromes b6-f se trouve partout.
- les ATP-synthases sont localisées uniquement dans les régions non accolées.

Définitions :

**La chlorophylle** : est le pigment vert des végétaux, elle se situe au niveau de la membrane des thylakoides.

**Le spectre d'absorption** : est le spectre obtenu par le passage de la lumière blanche à travers la solution de la chlorophylle brute, il permet de savoir les longueurs d'onde absorbées par cette solution.

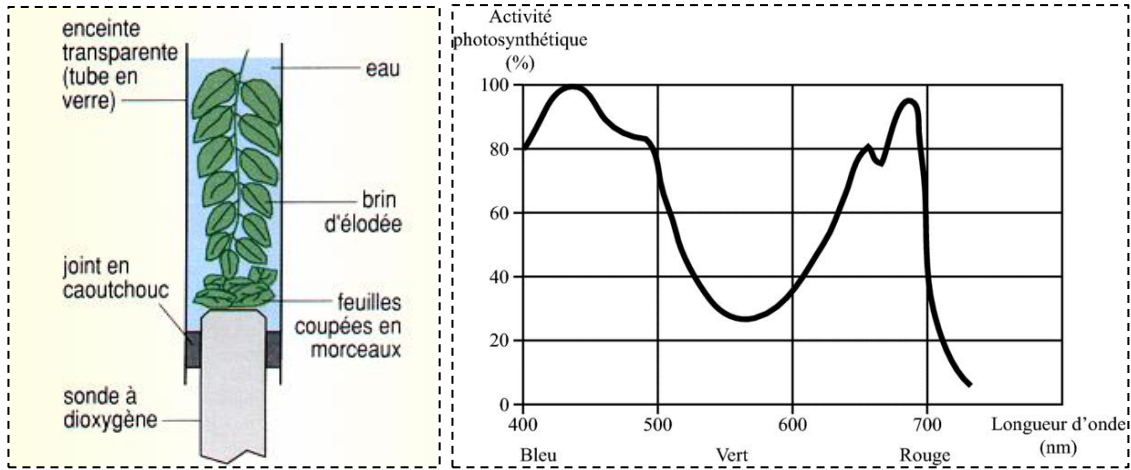
**Le spectre d'action** : correspond aux longueurs d'onde efficace à la photosynthèse.

**La photosynthèse** : Processus par lequel les plantes vertes synthétisent des matières organiques grâce à l'énergie lumineuse, en absorbant le gaz carbonique de l'air et en rejetant l'oxygène.

**Le photosystème** : Complexe moléculaire responsable de la conversion de l'énergie lumineuse en énergie chimique au cours de la photosynthèse.

1. variation de l'intensité photosynthétique en fonction des longueurs d'onde

Quelques brins de végétaux chlorophylliens aquatiques sont placés dans une enceinte en présence d'une sonde à oxygène. La sonde mesure en temps réel la concentration d'oxygène dans le milieu et donc, de façon indirecte, l'intensité de la photosynthèse. La plante est exposée à des radiations lumineuses de même intensité mais de longueurs d'onde différentes. Les mesures sont transmises à un ordinateur à travers une interface et un logiciel affiche à l'écran sous forme de graphique l'évolution de la photosynthèse, les résultats sont représentés sur le graphique ci-dessous.



1- Analyser et interpréter les résultats obtenus.

.....

.....

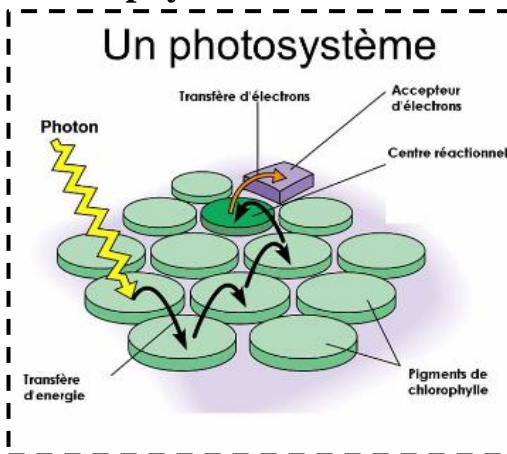
.....

2- En comparant le spectre d'action avec le spectre d'absorption de la chlorophylle ci-avant, que pouvez-vous en déduire ?

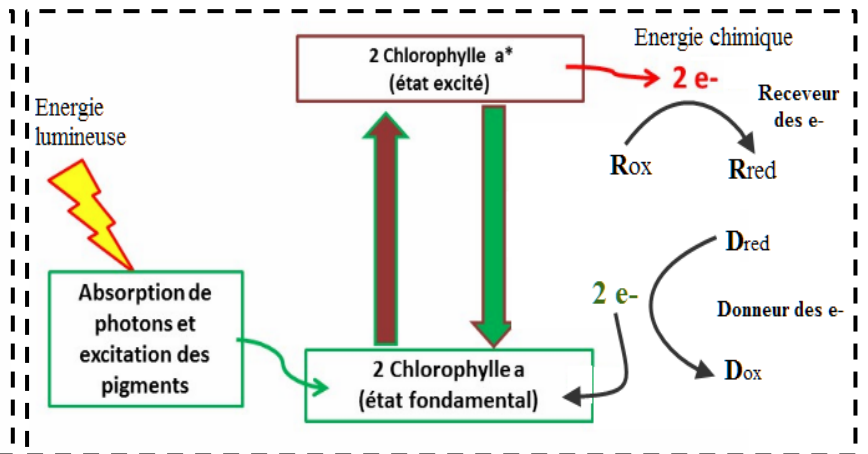
.....

.....

2. La conversion de l'énergie lumineuse en énergie chimique par les pigments chlorophylliens



Doc 1 : schéma d'un photosystème



Doc 2 : conversion de l'énergie lumineuse en énergie chimique



Une **réaction d'oxydoréduction (réaction redox)** est une réaction chimique au cours de laquelle se produit un échange d'électrons. L'espèce chimique qui capte les électrons est appelée « oxydant » ; celle qui les cède, « réducteur ».

Exemple :



Chaque couple « redox » se caractérise par son potentiel d'oxydoréduction ( $E_0$ ) qui exprime sa capacité de réduction. Dans l'exemple ci-dessus, les électrons se déplacent de A vers B, sans avoir besoin d'une source externe d'énergie. Ce qui signifie que  $E_0(A/A^+) < E_0(B/B^+)$

### Doc 3 : notion d'oxydoréduction et du potentiel d'oxydoréduction

**1- Le photosystème est l'unité fonctionnel de la photosynthèse, il est constitué par :**

- ..... : constituée par l'ensemble des pigments chlorophylliens dont le rôle est de capter l'énergie lumineuse et la transmettre jusqu'au centre réactionnel par résonance
- **Et** ..... : constitué par deux molécules de la chlorophylle a, chacune d'eux répond à l'énergie lumineuse qu'elle reçoit par la perte d'un électron. (photochimie)

**2- D'après le document 2, montrer comment l'énergie lumineuse est convertit en énergie chimique.**

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

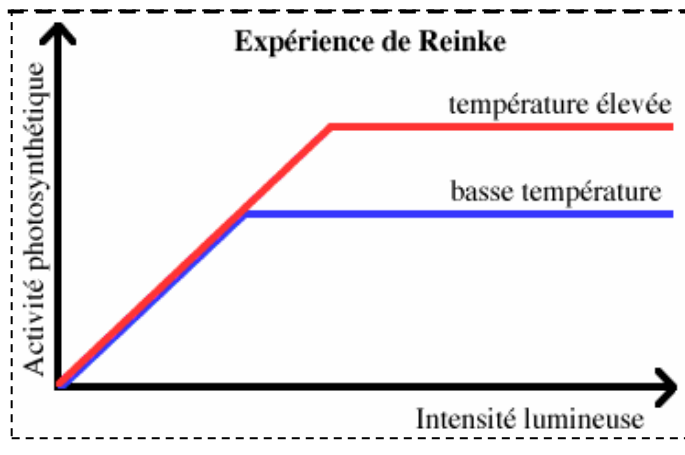
**3- D'après le document 3, Expliquer comment les électrons se déplacent entre les couples redox**

Chaque couple redox à un potentiel d'oxydoréduction (potentiel redox  $E_0$ ) qui exprime sa capacité de réduction, ainsi les électrons se déplacent :

- .....
- .....

### 3. Les phases de la photosynthèse

En 1883, REINKE étudia l'effet de l'intensité de la lumière sur la photosynthèse. Il constata que l'activité photosynthétique augmentait proportionnellement à l'éclairement pour les intensités lumineuses faibles et moyennes, mais qu'elle n'augmentait plus au-delà d'une certaine intensité lumineuse. Ce seuil, correspondant à une activité photosynthétique maximale, variait avec la température, étant plus élevé aux hautes températures qu'aux basses.



**BLACKMAN en déduisit en 1905 que la photosynthèse comportait des réactions :**

- Dépendantes de la lumière : .....
- Indépendantes de la lumière : .....

**1. La mise en évidence de l'origine du dioxygène libéré lors de la photosynthèse**

**Expérience de Kamen et Ruben**

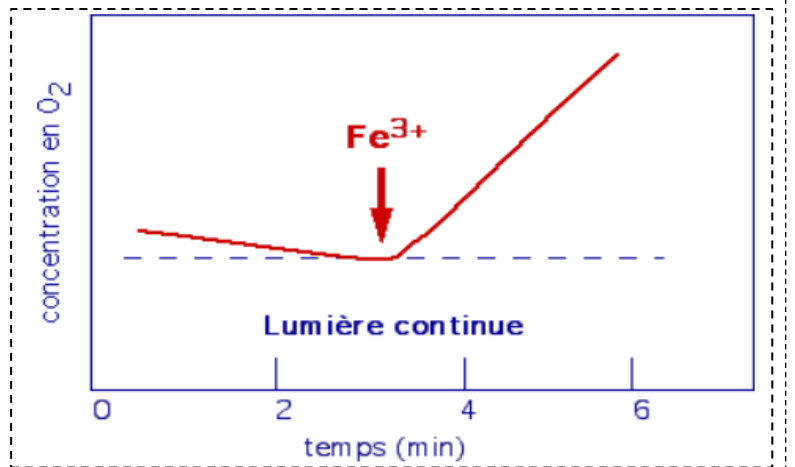
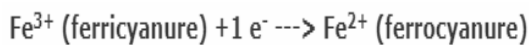
	<b>Expérience</b>	<b>résultats</b>	<b>interprétations</b>
<b>Milieu 1</b>	Des algues de chlorelles ont été mises dans un milieu où l'eau est marquée par $^{18}\text{O}_2$ , le $\text{CO}_2$ est normal	Le dioxygène produit par la photosynthèse est marqué	..... ..... .....
<b>Milieu 2</b>	Des algues de chlorelles ont été mise dans un milieu les molécules d'eau sont normales, tandis que le $\text{CO}_2$ est marqué par $^{18}\text{O}$	Le dioxygène produit par la photosynthèse n'est pas marqué	..... ..... .....

- 1- Déduire l'origine du dioxygène produit lors de la photosynthèse.
- 2- Donner la réaction de l'oxydation de l'eau

Cette réaction a lieu au niveau de l'espace intra-thylacoïdal et donne en plus de dioxygène des protons et des électrons. Le dioxygène est dégagé par les stomates, **quel est donc le devenir des électrons et des protons libérés ?**

**2. Le devenir des électrons libérés par la molécule d'eau**

Hill utilise une suspension de chloroplastes isolés dans un tampon sans  $\text{CO}_2$ . Il mesure les variations de dioxygène à l'aide d'une électrode à oxygène. Il ajoute à la préparation un accepteur artificiel d'électrons, le ferricyanure de potassium,  $\text{Fe}^{3+}(\text{CN})_6\text{K}_3$  (réactif de HILL) et travaille en lumière continue.



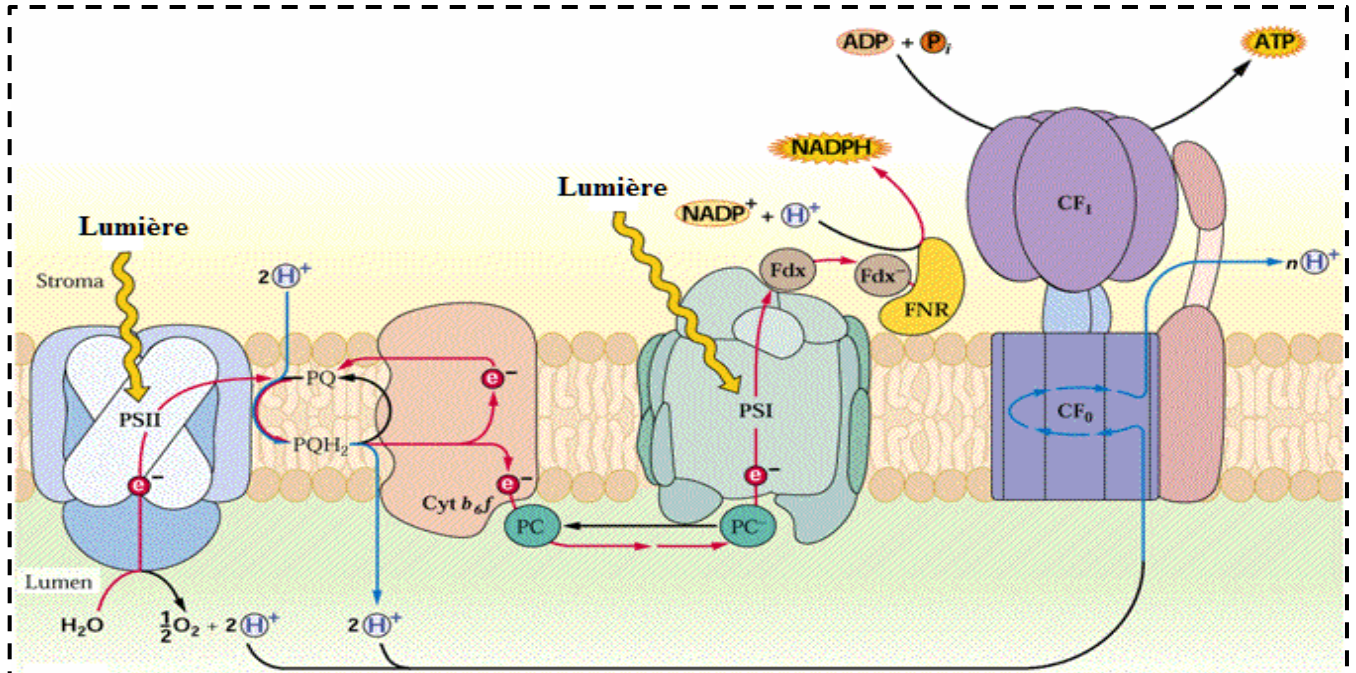
**1- Analyser ces résultats, que pouvez-vous en déduire ?**

.....  
.....  
.....  
.....

Dans les conditions naturelles de la photosynthèse, l'oxydation de l'eau s'accompagne de la réduction d'un intermédiaire (ici remplacé par un accepteur artificiel) qui servira de donneur d'électrons pour la réduction du  $\text{CO}_2$ . "In vivo", cet intermédiaire est le couple  $\text{NADP}^+/\text{NADPH}$ .

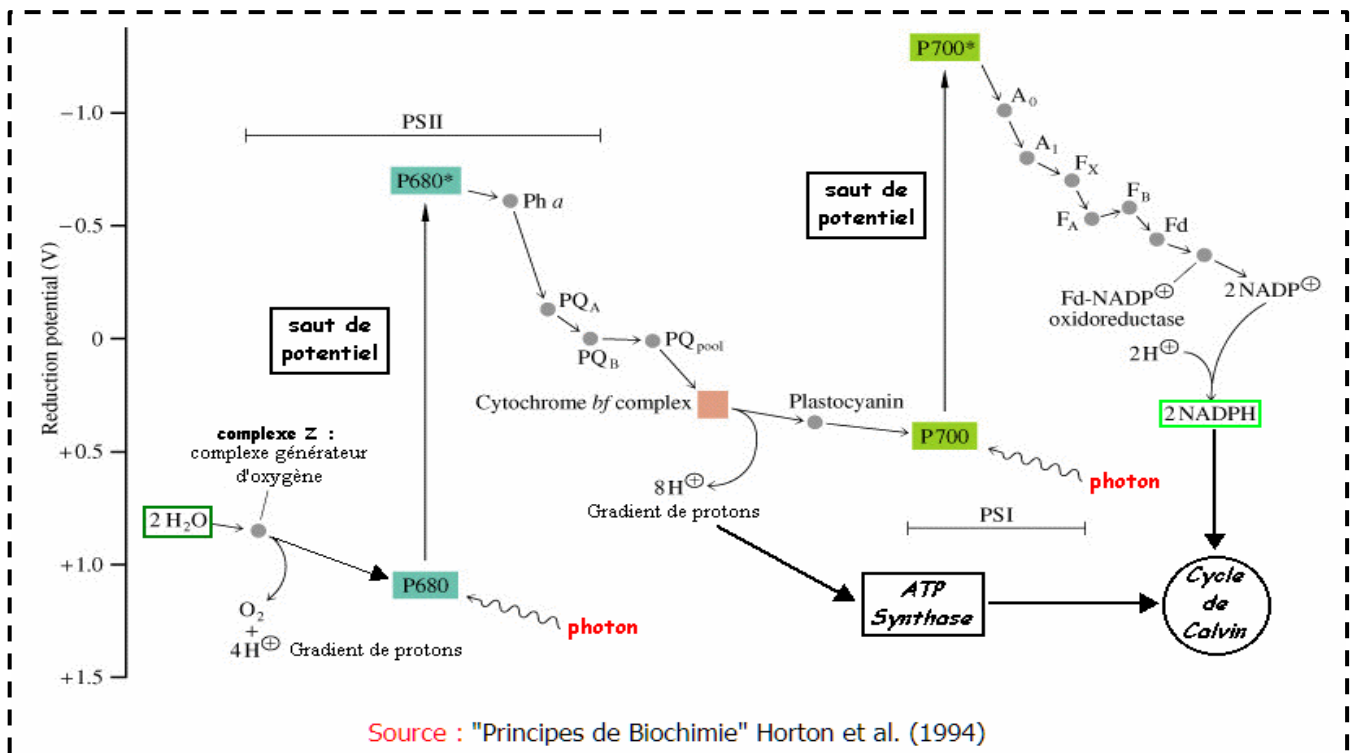


### 3. Rôle de la membrane thylacoïdal dans le transport des électrons



Source : "Photosynthèse" - Université Lausanne

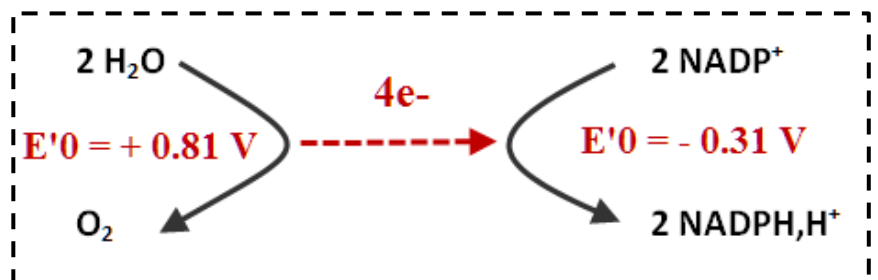
Doc 1 : le transfert des électrons libérés par la molécule d'eau jusqu'au l'accepteur final NADP



Source : "Principes de Biochimie" Horton et al. (1994)

Doc 2 : les transporteurs en fonction de leur potentiel de réduction « schéma en Z »

- D'après ces documents, Montrer comment les électrons sont transportés du couple redox  $\text{H}_2\text{O}/\text{O}_2$  vers le couple redox  $\text{NADP}^+/\text{NADPH}, \text{H}^+$ .

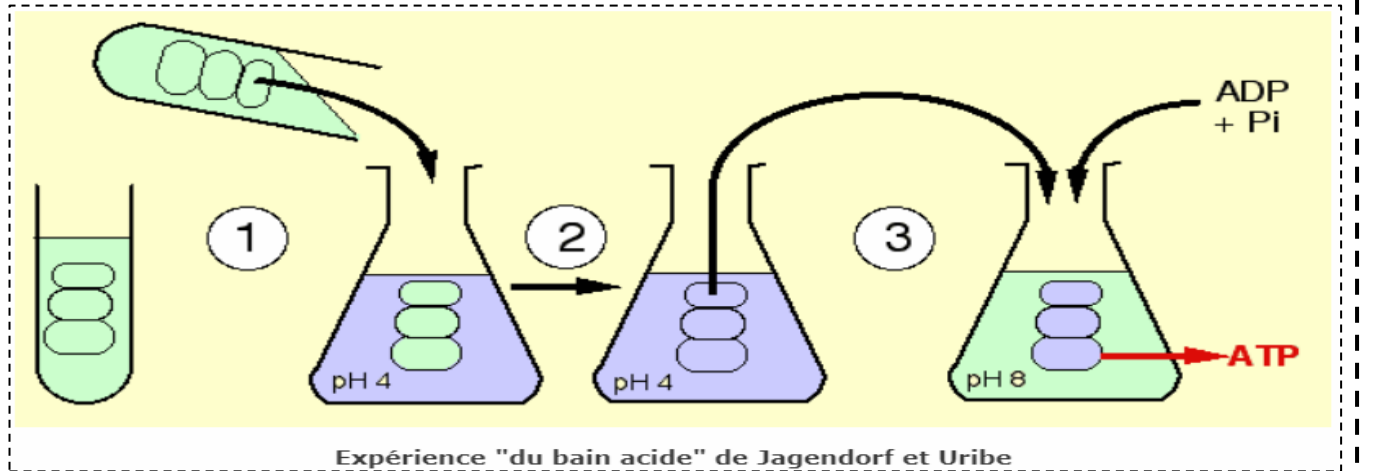


## 4. Le devenir des protons libérés par l'oxydation de l'eau

### 4.1 L'importance du gradient $H^+$ dans la production d'ATP

A partir d'une suspension de chloroplastes, les chloroplastes sont cassés (par choc osmotique par exemple) et les thylakoïdes sont isolés par centrifugation (le stroma a été éliminé). L'ensemble de l'expérience est effectuée à l'obscurité.

- 1 - cette suspension est placée dans un milieu acide tamponné à pH 4,
- 2 - après quelques minutes, le pH des thylakoïdes s'est équilibré avec celui du milieu,
- 3 - on transfère alors les thylakoïdes dans un milieu basique tamponné à pH 8 en présence d'ADP et de phosphate inorganique ( $P_i$ ) (+  $Mg^{2+}$ ).



**Résultat** : un dosage d'ATP dans le milieu de suspension montre qu'il y a eu synthèse d'ATP.

#### 1- Expliquer les résultats de cette expérience.

Cette expérience est effectuée à l'obscurité. Il n'y a donc pas de transfert d'électrons, d'oxydation de l'eau ni aucune participation des photosystèmes.

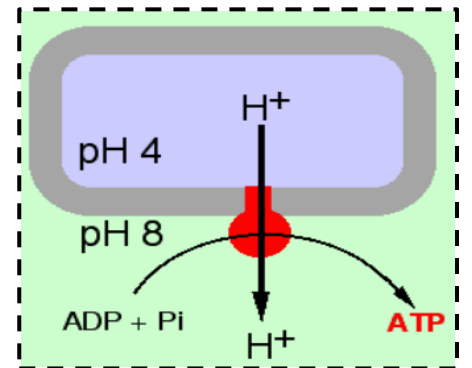
.....

.....

.....

.....

.....



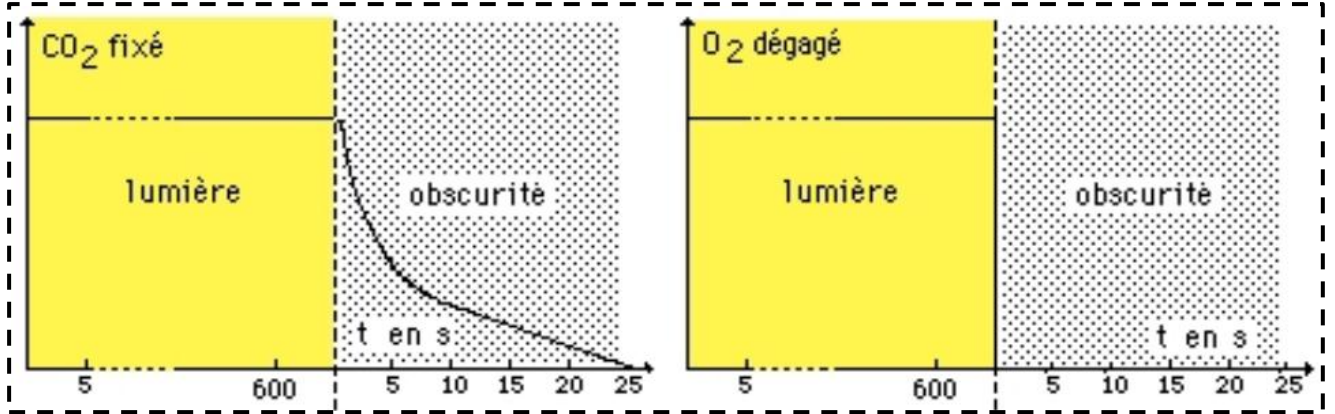
#### 4-2 le devenir des protons $H^+$ libérés par l'oxydation de l'eau

..... produit en plus de l'oxygène et des électrons, des ..... au niveau de l'espace intra-thylacoïdal, a qui s'ajoutent les ..... pompés lors du transport des ..... par les transporteurs, et donc les protons  $H^+$  sont accumulés au niveau de l'espace intra-thylacoïdal, ce qui provoque un déséquilibre au niveau de la concentration des protons  $H^+$ , ces protons vont passer vers le stroma à travers les ....., ce passage libère de l'énergie qui est ensuite utilisée pour produire de ..... d'après l'ADP et le  $P_i$  selon la réaction suivante :



**1. Expérience de Gaffron (1951)**

Du dioxyde de carbone radioactif ( $^{14}\text{CO}_2$ ) est fourni à une suspension d'algues unicellulaires (chlorelles) fortement éclairée. Dans un premier temps, on dose le  $^{14}\text{CO}_2$  fixé (graphe de gauche), dans un second temps, on dose le dioxygène dégagé (graphe de droite)



**1- Analyser et interpréter ces résultats**

- A l'obscurité, la production de O<sub>2</sub> .....
- .....
- .....
- A l'obscurité la fixation de CO<sub>2</sub> .....
- .....
- .....



**Les deux phases semblent donc liées, couplées.**

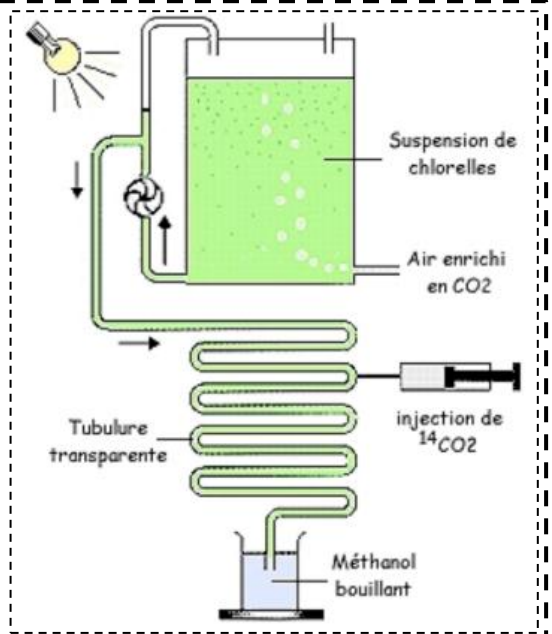
**2. Expérience de Calvin et Bensen (1962)**

Des chlorelles sont maintenues en suspension à la lumière, dans un récipient où l'on fait barboter du dioxyde de carbone. Celles-ci sont refoulées dans une tubulure souple et transparente qu'elles parcourent en un temps donné grâce à une pompe dont le débit est connu.

En un point variable de la tubulure, on injecte du  $^{14}\text{CO}_2$ : le temps pendant lequel les algues peuvent l'incorporer est variable selon l'endroit de l'injection.

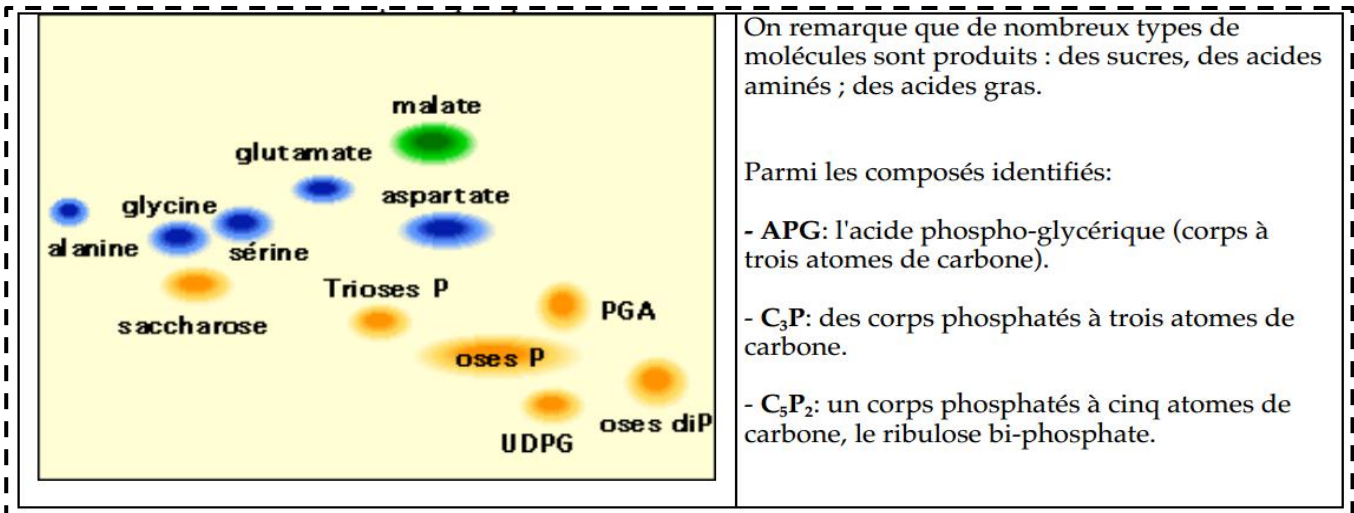
Les cellules tombent enfin dans du méthanol bouillant qui bloque instantanément toutes les réactions chimiques.

Il s'agit d'un marquage radioactif des molécules carbonées produites, Plus on rapprochera l'injection de C marqué de l'extrémité de la tubulure, moins les chlorelles seront restées longtemps au contact du  $^{14}\text{C}$



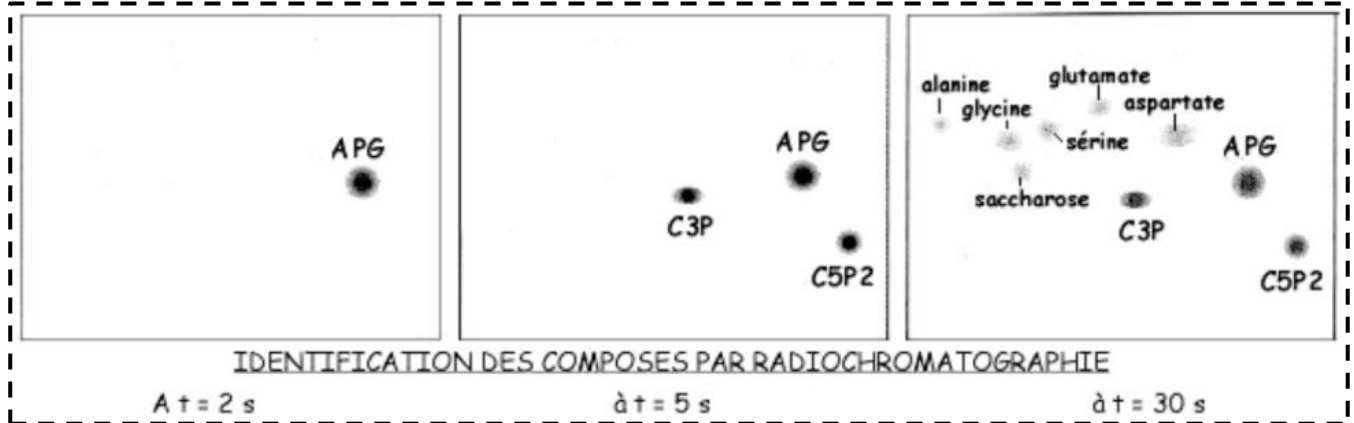
**Doc 1 : montage de Calvin et Bensen**

Par radio-chromatographie, Calvin et Benson déterminent ainsi les molécules formées en fonction du temps, les résultats sont représentés sur le document 2 ci-dessous.



Doc 2 : les différentes molécules formées par l'incorporation du CO<sub>2</sub> radioactive

On va pouvoir ainsi établir une CHRONOLOGIE de la formation des molécules.



Doc 3 : la chronologie des molécules formées par l'incorporation de CO<sub>2</sub>

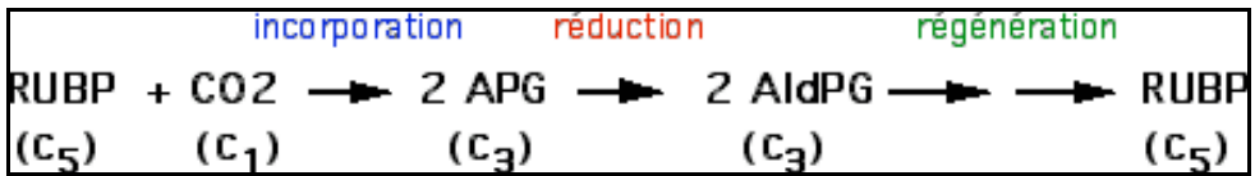
1- D'après le document 2, quel est le devenir du CO<sub>2</sub> absorbé par les plantes pendant la photosynthèse ?

On observe que les différents types de molécules produits par l'incorporation du CO<sub>2</sub> radioactive sont soit des sucres, soit des protides ou bien des lipides. Ce sont les différentes classes de matière organique. On déduit donc .....

2- D'après le document 3, Donner la chronologie des molécules formées.

- Au bout de 2s ; .....  
**L'acide phosphoglycérique (APG) est le premier composé formé et donc est à l'origine de toutes les synthèses.**
- Au bout de 5s ; .....
- Au bout 30s : .....

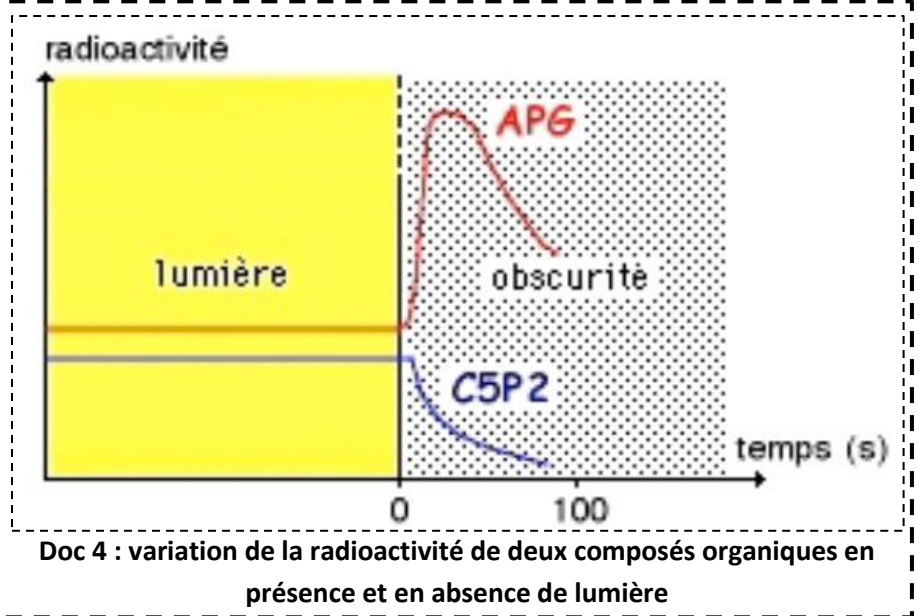
Pour que l'ensemble fonctionne, **il faut que le RUBP soit régénéré** et ceci ne peut se faire qu'à partir des composés dérivés des trioses phosphate.



On essaye de comprendre les relations existant entre les autres composés mis en évidence et leurs liens avec la phase photochimique de la photosynthèse.

### 3. Un couplage avec la phase Photochimique

Des chlorelles sont cultivées dans un milieu où barbote de l'air enrichi en <sup>14</sup>CO<sub>2</sub>. La culture, éclairée dans un premier temps, est subitement mise à l'obscurité. On mesure la radioactivité de deux composés organiques: le ribulose bi-phosphate ou C<sub>5</sub>P<sub>2</sub>, l'APG



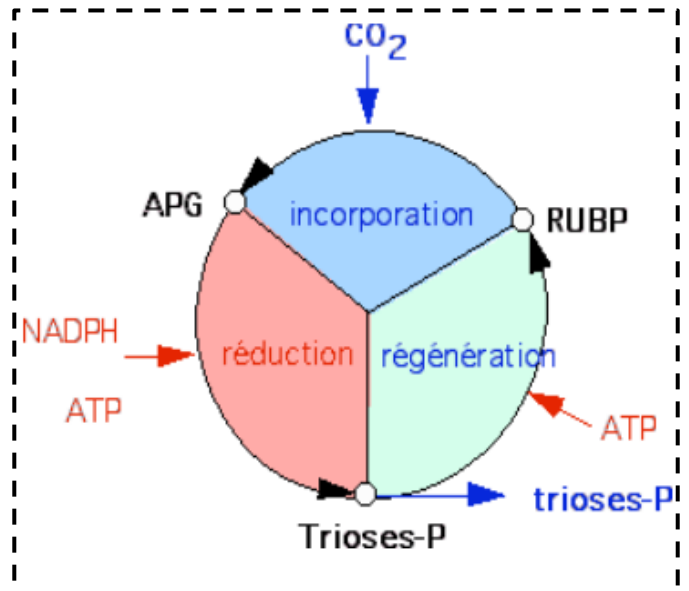
- Analyser et interpréter ces résultats

- A la lumière : .....
- .....
- A l'obscurité : .....
- .....
- .....
- Il s'agit donc d'un CYCLE : le cycle de Calvin. Et que tous les intermédiaires produits pendant la phase photochimique (ATP et NADPH,H<sup>+</sup>) soient épuisés
- Les réactions des deux phases sont bien COUPLEES,
  - La phase photochimique produit .....
  - La phase biochimique utilise ces intermédiaires pour .....

#### 4. Le cycle de Calvin

Le cycle de Calvin peut être partagé en 3 étapes essentielles :

1. ....
2. ....
3. ....



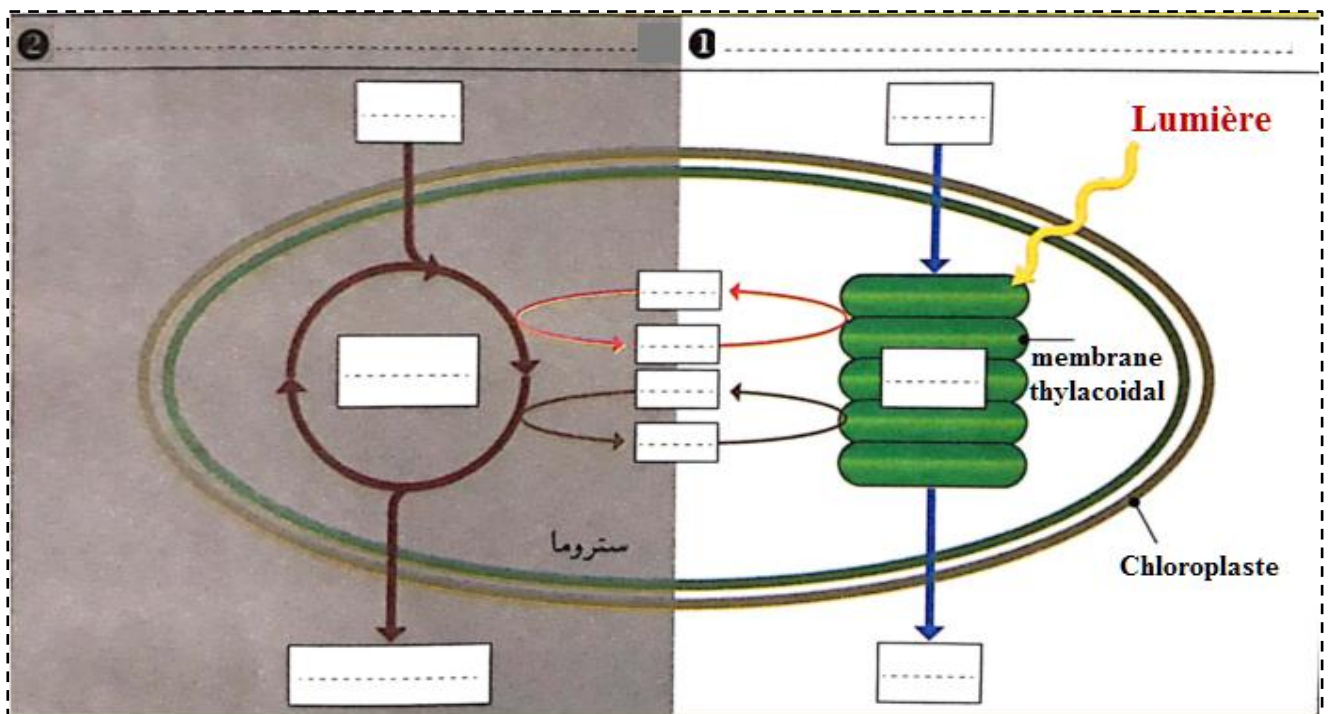
#### 5. Bilan

Au cours du **cycle de Calvin** les molécules organiques sont synthétisée à partir du  $\text{CO}_2$  et de protons et d'électrons fournis par les transporteurs au cours d'un cycle complexe de réactions couplées aux réactions de la phase "claire"; elle a lieu dans le **stroma** du chloroplaste et ne nécessite pas la présence de la lumière.

#### Schéma Bilan

**Compléter le schéma ci-dessous par les termes suivants :**

Cycle de Calvin ; matière organique ; réactions de la phase claire ; la chlorophylle ; réactions de la phase obscure ;  $\text{H}_2\text{O}$  ;  $\text{CO}_2$  ;  $\text{ATP}$  ;  $\text{ADP} + \text{Pi}$  ;  $\text{NADP}^+$  ;  $\text{NADPH}, \text{H}^+$  ;  $\text{O}_2$





Modes de nutrition chez les êtres vivants			Sources de l'énergie	
			Utilisent l'énergie solaire	Utilisent l'énergie chimique venant des aliments minéraux ou organiques
			.....	.....
Sources de la matière	Matière minérale	.....	<p><b>plantes chlorophylliennes</b>  <b>certaines bactéries (Cyanophytes)</b>  <b>nombreux unicellulaires</b></p>	<p><b>nombreuses bactéries</b></p>
	Matière organique	.....	<p><b>certaines bactéries</b></p>	<p><b>homme</b>  <b>animaux</b>  <b>champignons</b>  <b>nombreux unicellulaires</b></p>