

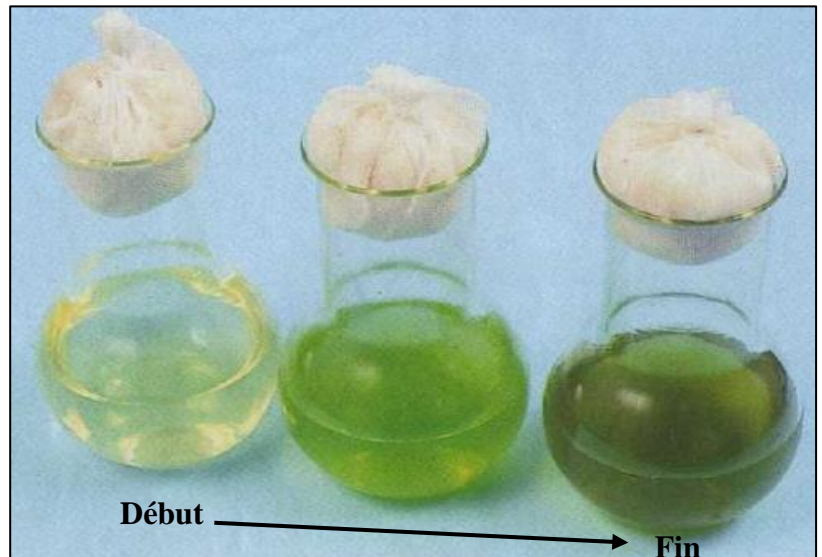
## Unité II : Production de la matière organique.

### Chapitre 2 :

#### Les échanges gazeux chlorophylliens et synthèse de la matière organique.

##### Introduction :

La croissance et la multiplication des cellules végétales sont tributaires de la synthèse de la matière organique à partir de  $\text{CO}_2$ , de l'eau et des sels minéraux (que leur procure la nutrition minérale) et en présence de la lumière (Doc-1). Ce phénomène est appelé "la photosynthèse" et s'accompagne des échanges gazeux, dits "chlorophylliens".



Doc-1 : Croissance d'une culture de l'algue verte *Dunaliella*.

##### Questionnements :

- Quels sont les échanges gazeux chlorophylliens ? Quels sont les facteurs environnementaux qui influencent ces échanges ? Et quels sont les organes et les structures cellulaires qui les assurent ?
- Quelle relation y'a-t-il entre les échanges gazeux chlorophylliens et la photosynthèse ?
- Quels sont les mécanismes de la photosynthèse ? Dans quel organite cellulaire, se déroulent-ils ?
- Quelles sont les étapes et les réactions principales de la photosynthèse ?

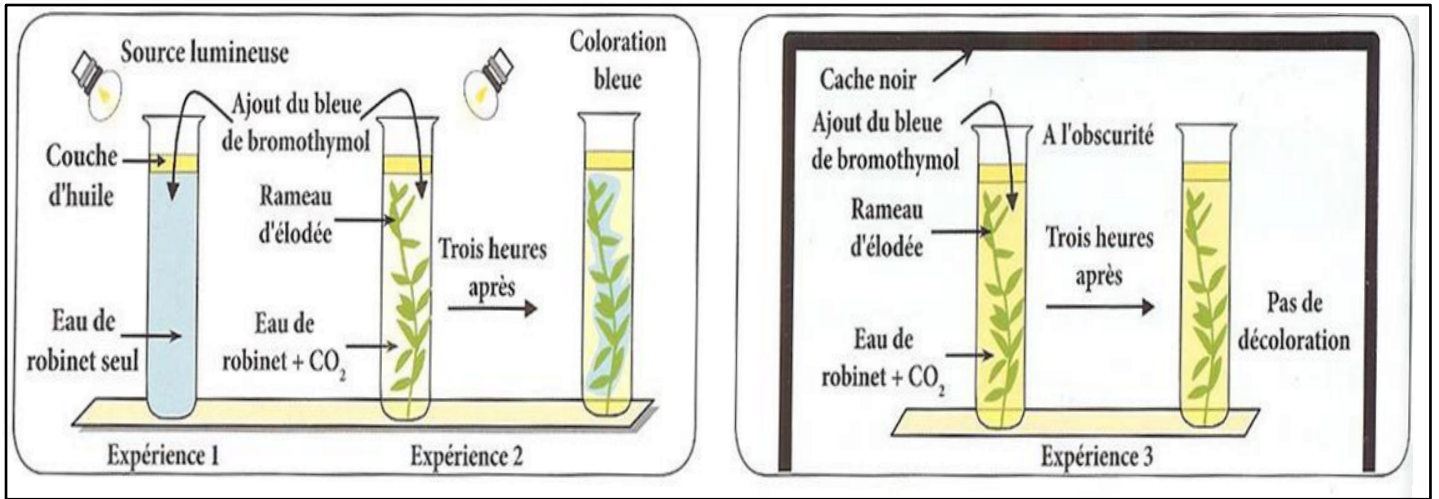
##### I- Etude des échanges gazeux chlorophylliens (Axe sous forme de classe inversée).

1- Mise en évidence des échanges gazeux chlorophylliens [*Cher(ère) élève veuillez voir le lien suivant sur YouTube pour préparer la Séance TP- EXAO : <https://www.youtube.com/watch?v=IKVtr3IRNWQ>*].

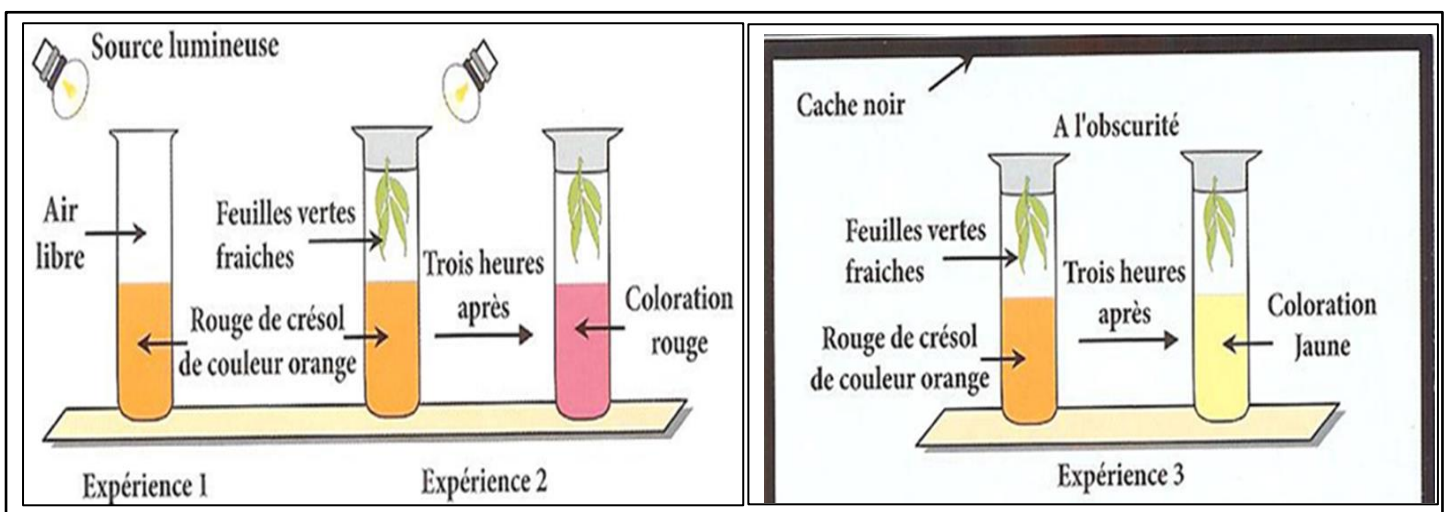
Analyser les résultats des expériences 1 et 2 (Doc-2 et 3). Que peut-on déduire ? [*Homework : Travail hors classe complémentaire de la séance TP et obligatoire à rendre au début de cette séance*].

##### - Expérience 1 :

On a réalisé les expériences du Doc-2 et 3 en utilisant l'élodée qu'est une plante verte aquatique, tout en sachant que le bleu de bromothymol (BBT) est un indicateur coloré, sa couleur change en fonction de la concentration de  $\text{CO}_2$  dissous dans la solution : il est bleu en absence de  $\text{CO}_2$  et jaune en présence de  $\text{CO}_2$ . Également le rouge de crésol est un indicateur coloré : il est rouge dans un milieu pauvre en  $\text{CO}_2$ , orange dans un milieu contenant un peu de  $\text{CO}_2$  et jaune dans un milieu riche en  $\text{CO}_2$ .

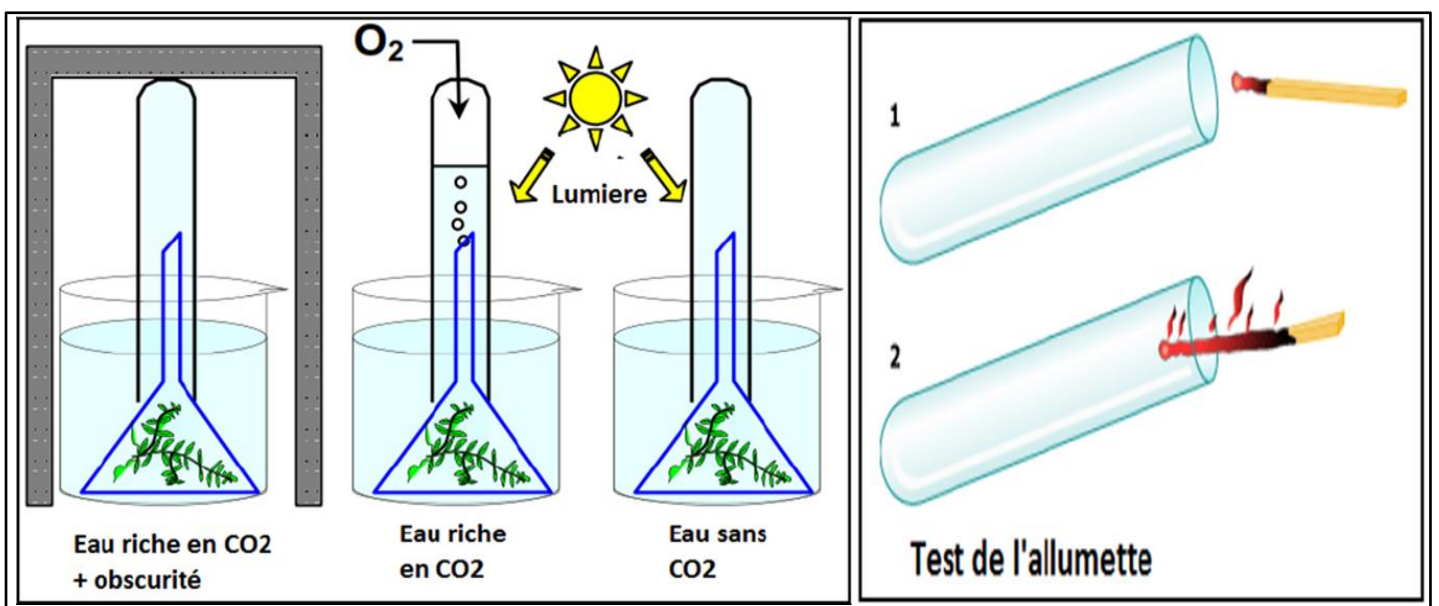


**Doc-2 :** Mise en évidence de l'absorption de CO<sub>2</sub> chez une plante verte aquatique.



**Doc-3 :** Mise en évidence de l'absorption de CO<sub>2</sub> chez une plante verte aérienne.

**- Expérience 2 :**



**Doc-4 :** Mise en évidence de la libération de l'O<sub>2</sub> chez une plante verte aquatique.







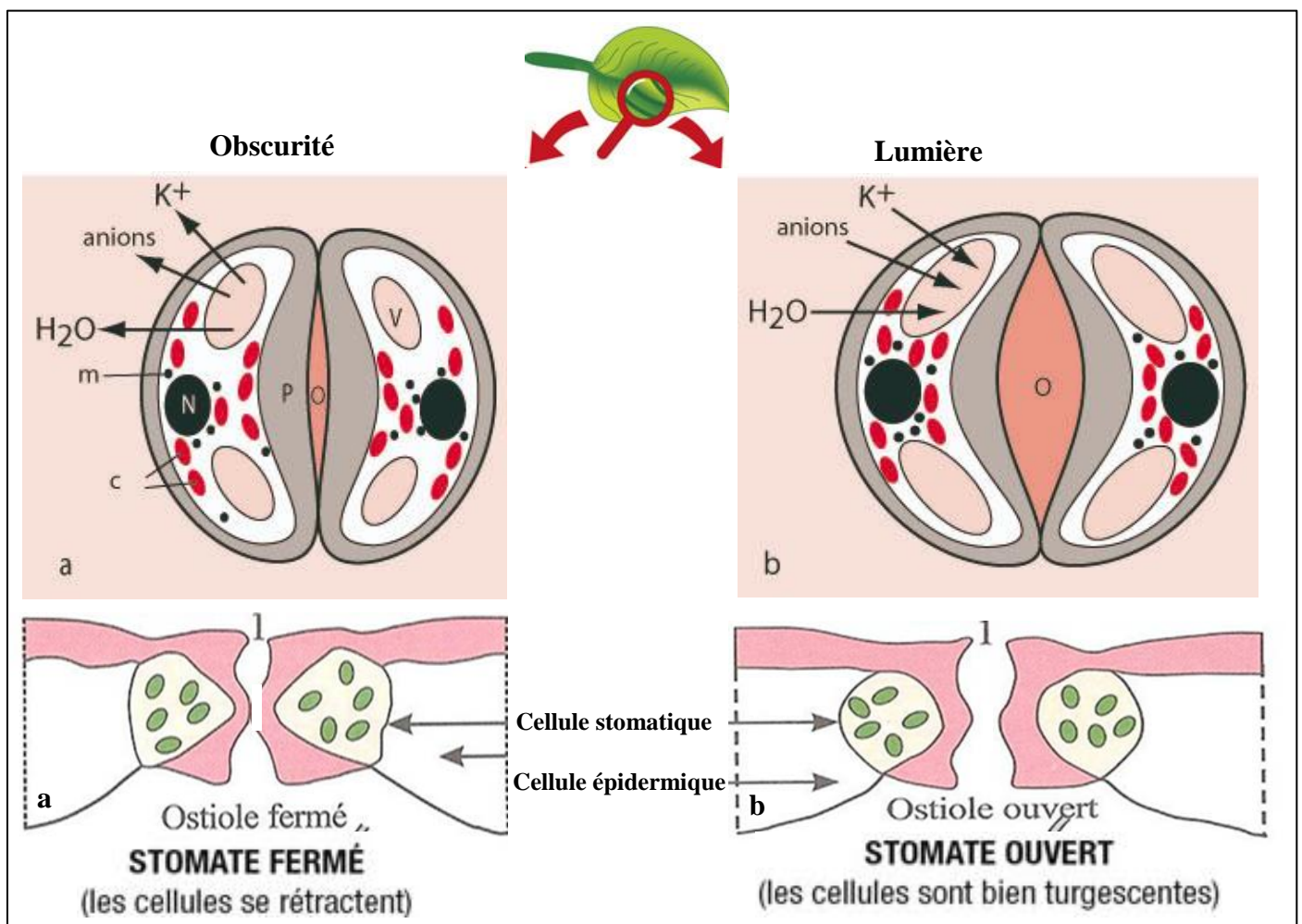




### 3-Savoir le rôle des ions $K^+$ dans le mécanisme de l'ouverture et fermeture des stomates.

Les études ont montré que le degré d'ouverture ou de fermeture de l'ostiole du stomate est contrôlé par les variations de turgescence des cellules de garde, ces variations de turgescence provoquent une modification de forme et de volume des cellules de garde. Le Doc-9 illustre le rôle des ions  $K^+$  dans le mécanisme d'ouverture et de fermeture des stomates.

- Commenter le schéma du Doc-9 et déduire le mécanisme responsable de la régulation de l'ouverture du stomate.



**Doc-9 :** Schémas explicatifs du mécanisme contrôlant l'ouverture et la fermeture du stomate.





### III- Les conditions de la production de la matière organique par les végétaux chlorophylliens.

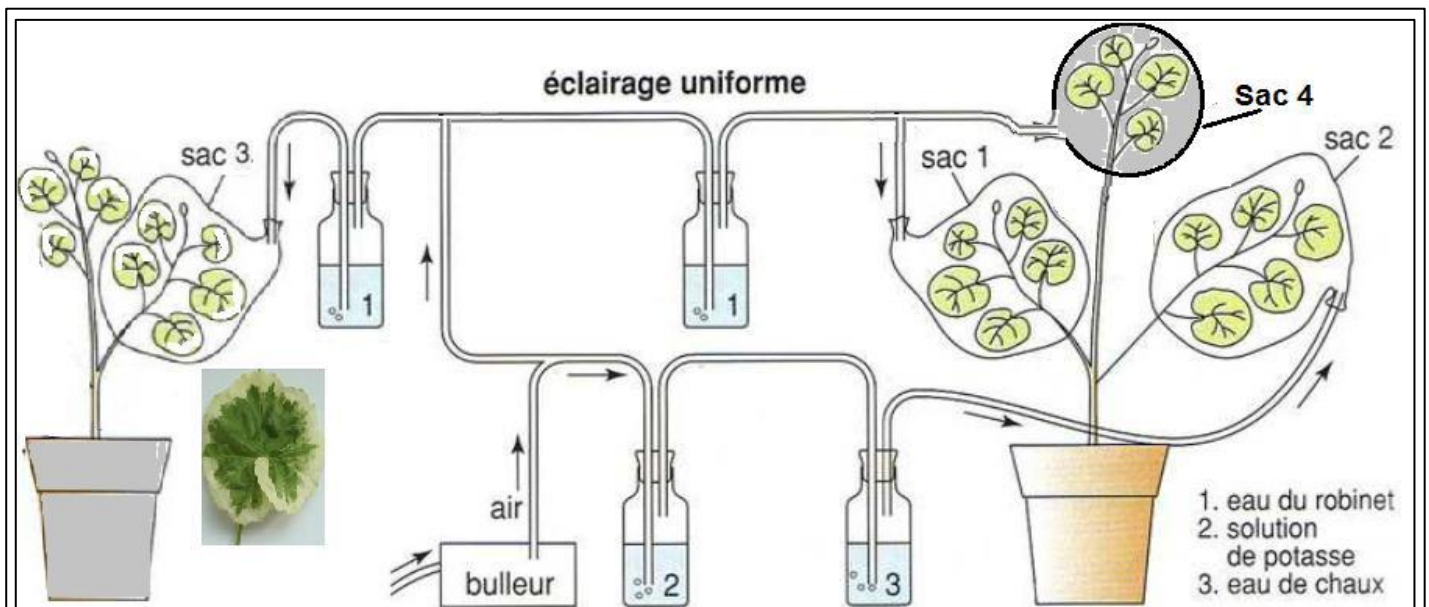
#### 1- Mise en évidence de la synthèse de la matière organique par les végétaux chlorophylliens.

##### Expérience 1 :

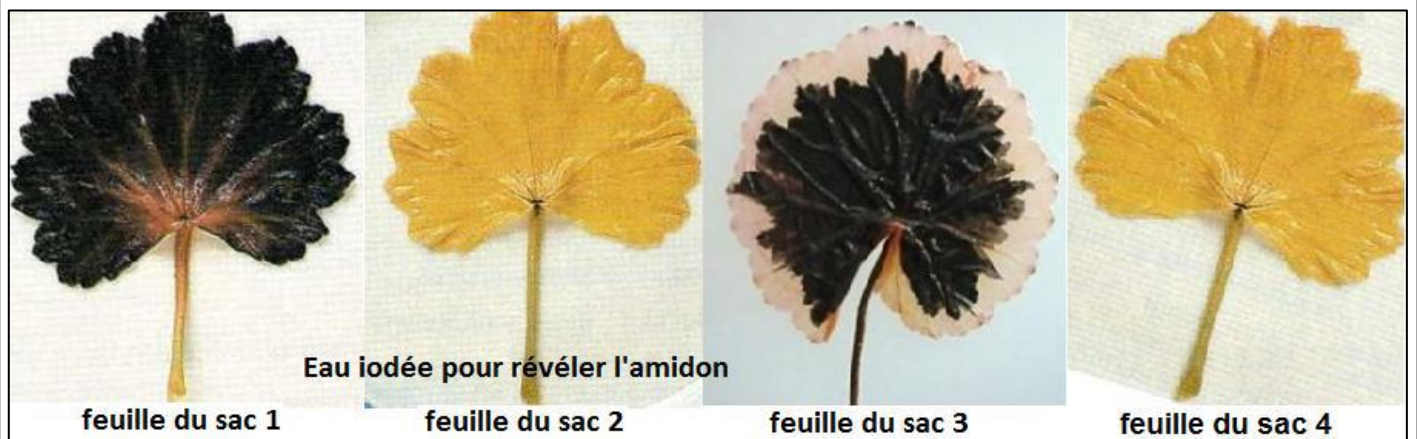
On met une plante de Pélargonium dans l'obscurité durant 48 h, puis on recouvre trois groupes de feuilles chacun par un sac transparent :

- + Des feuilles normales éclairées dans le sac 1 qui est traversé par un circuit d'air ordinaire,
- + Des feuilles normales éclairées dans le sac 2 qui est traversé par un circuit d'air dépourvu de CO<sub>2</sub> qui a été absorbé par la potasse et l'eau de chaux.
- + Des feuilles panachées éclairées dans le sac 3 qui est traversé par un circuit d'air ordinaire.
- + Des feuilles normales dans l'obscurité dans le sac 4, qui est traversé par un circuit d'air ordinaire.

On expose le montage au soleil durant une journée puis on enlève les feuilles, et on les met dans de l'eau chaude pour ramollir les tissus. Ensuite on les met dans de l'alcool bouillant, pour détruire la chlorophylle (disparition de la couleur verte). Ensuite, on met les feuilles dans de l'eau iodée. L'apparition de la coloration bleue foncée révèle l'existence de l'amidon. Le **Doc-11** représente les conditions expérimentales ainsi que les résultats obtenus.



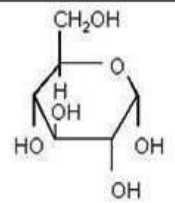
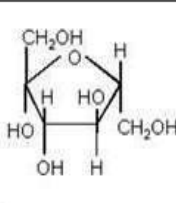
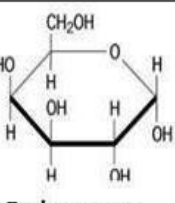
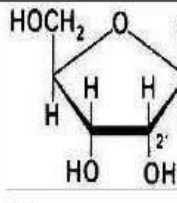
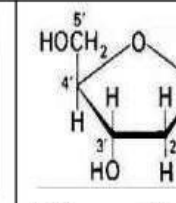
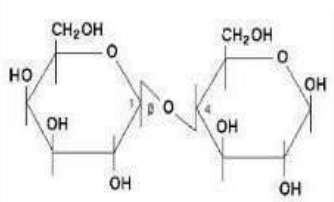
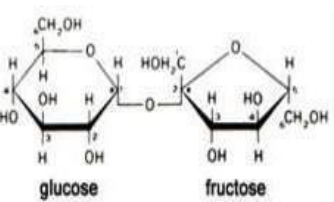
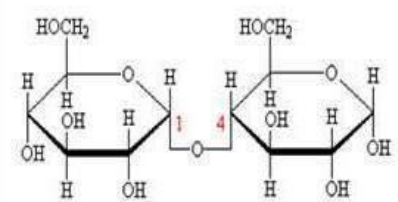
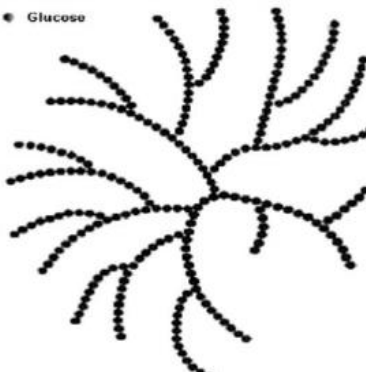
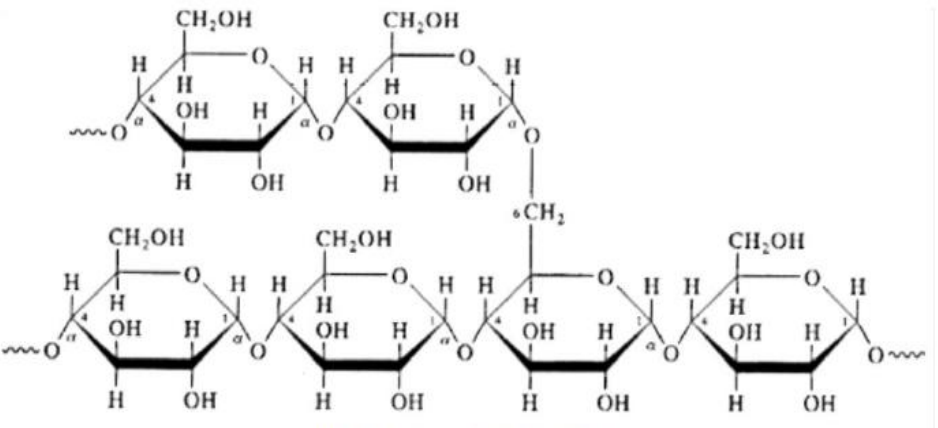
**Fig-1:** Mise en évidence des conditions nécessaires à la synthèse de l'amidon dans les feuilles du *Pélargonium*.



**Fig-2:** Les résultats obtenus par le test de l'eau iodée.

**Doc-11 :** Mise en évidence des conditions nécessaires à la synthèse de l'amidon dans les feuilles du *Pélargonium* (plante chlorophyllienne).



Les glucides					
Ose simple	Hexose			Pentose	
Structure cyclique	 Glucose	 Fructose	 Galactose	 Ribose	 Désoxyribose
Formule Brute .....	.....	.....	.....	.....	.....
Structure cyclique de trois diholosides.	 Lactose		 Saccharose		 Maltose
Formule Brute .....	Un diholoside est un sucre formé par deux oses. la solution de Fehling (ou liqueur de Fehling) permet de mettre en évidence les <u>sucre réducteurs</u> comme le glucose et le maltose.				
Sucres complexes					
 Aspect de la molécule d'amidon	 Formule développée de l'amidon				
Formule Brute .....	L'amidon est un polysaccharide ou polyoside composé de chaînes de molécules de glucose. C'une molécule de réserve pour les végétaux supérieurs et un constituant essentiel de l'alimentation humaine. Chez les animaux, l'équivalent de l'amidon est le glycogène : molécule de stockage de glucides et donc d'énergie.				

Doc-12 : Les glucides.



**2- Les protides :** c'est une famille de composés organiques formés par quatre types d'atomes : le carbone, l'hydrogène, l'oxygène et l'azote. Elle regroupe les acides aminés, les peptides et les protéines (**Doc- 13**).

- Compléter ce tableau.

Les protides	
Exemple d'acides aminés	<p style="text-align: center;">Tyrosine      Phenylalanine      Cystéine      Méthionine      Valine</p>
Formule Brute	<p>Un acide aminé est un acide carboxylique qui possède à la fois un groupe carboxyle <math>-\text{COOH}</math> et un groupe amine <math>\text{NH}_2</math>  <math>R</math> est une chaîne latérale qui diffère d'un acide aminé à un autre.</p> <p><math>R_{\text{Tyrosine}} = \dots\dots\dots</math>  <math>R_{\text{Phénylalanine}} = \dots\dots\dots</math>  <math>R_{\text{Cystéine}} = \dots\dots\dots</math>  <math>R_{\text{Valine}} = \dots\dots\dots</math></p>
Polypeptide	<p>Un acide aminé est un mono-peptide. Un dipeptide est formé de deux acides aminés. La réaction de condensation entre les deux acides entraîne la formation d'une liaison peptidique par condensation de la fonction acide carboxylique du premier acide aminé et de la fonction amine du deuxième avec élimination d'une molécule d'eau.</p> <p style="text-align: center;"> </p> <p style="text-align: center;"><b>Liaison peptidique</b></p>
Protéine	<p>L'association de plus que 100 acides aminés forme une protéine. La séquence de ses acides aminés constitue sa structure primaire, après la protéine peut évoluer vers une structure secondaire, tertiaire et parfois quaternaire quand la protéine est constituée de plusieurs sous-unités indépendantes.</p> <p>Met-Glu-Gly-Ala-Cys-          Trp-Tyr-Trp-Leu-His-          Cys-Ala-Asp-Phe-...</p> <p style="text-align: center;"> </p>

**Doc-13 :** Les protides.

**Remarque :** Parmi les protéines, on distingue les holoprotéines (homogènes) formés uniquement des acides aminés et les hétéroprotéines (hétérogènes) formées par une partie protéique et une partie non protéique qui peut être un cofacteur métallique ( $\text{Fe} \rightarrow$  métalloprotéines) ou organique (lipides  $\rightarrow$  lipoprotéines) ou (glucidiques  $\rightarrow$  glycoprotéines).





#### IV- Rôle des plantes chlorophylliennes dans la captation de l'Energie lumineuse et la synthèse de la matière organique : La photosynthèse.

##### 1- Etude des pigments chlorophylliens.

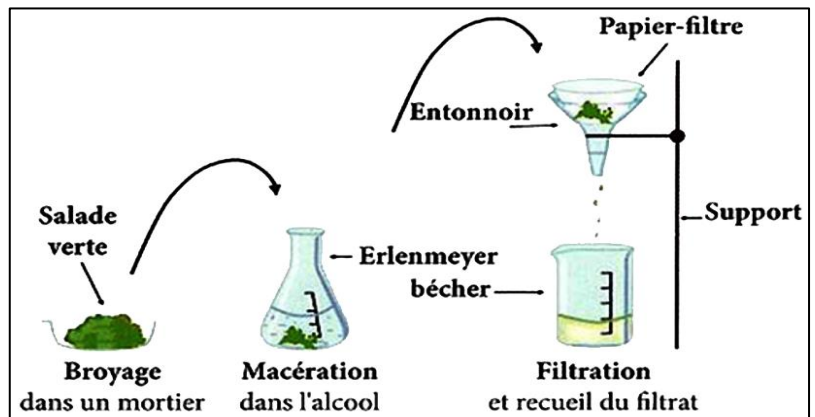
##### 1-1- Extraction et séparation des pigments chlorophylliens.

La photosynthèse est inhérente à la présence de la chlorophylle, pigments responsables de la couleur verte des feuilles.

- Comment on peut extraire la chlorophylle ? et qu'elles sont ses propriétés ?

##### -Expérience 1 : Extraction des pigments chlorophylliens.

On broie des feuilles vertes dans un mortier avec un peu de sable pour écraser les cellules, on ajoute progressivement 10 mL d'alcool 90° pour faciliter l'extraction des pigments chlorophylliens de l'intérieur des cellules. On filtre le contenu du mortier avec du papier filtre pour obtenir la solution alcoolique de la chlorophylle brute (Doc-15).



Doc-15 : Etapes de l'extraction des pigments chlorophylliens.

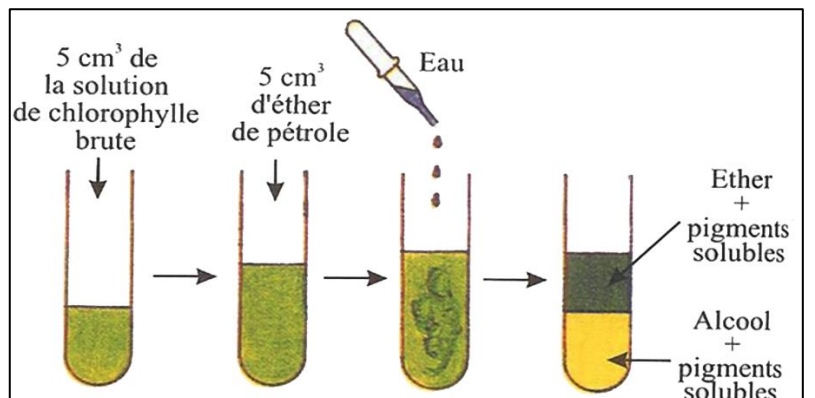
##### -Expérience 2 : Séparation des pigments chlorophylliens.

Les pigments chlorophylliens peuvent être séparés par la solubilité différentielle (Doc-16).

Qu'est ce qu'on peut conclure du résultat de l'expérience 2 ?

Cette expérience montre qu'il existe deux types de pigments chlorophylliens :

- Les pigments dissouts dans la phase alcoolique d'en bas.
- Les pigments dissouts dans la phase d'éther d'en haut.



Doc-16 : Séparation des pigments chlorophylliens par la solubilité différentielle.

##### -Expérience 3 : Séparation des pigments chlorophylliens par chromatographie sur papier wattman.

- ▶ Déposer une goutte de chlorophylle brute sur du papier à chromatographie (Wattman) à 2cm du bas, laisser sécher et renouveler l'opération une dizaine de fois (ou écraser une rondelle de feuille fraîche) ;
- ▶ Suspendre le papier à l'aide d'un crochet fixé sur un bouchon dans une éprouvette fermée contenant des solvants organiques (éther de pétrole 85%, acétone 10% et 5% de benzène) ; Laisser migrer durant 40 mn à l'obscurité (Fig-1).
- ▶ Le résultat obtenu est schématisé par la Fig-2.

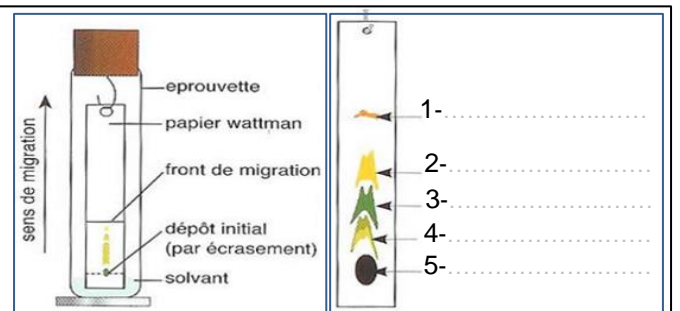


Fig-1 : Protocole expérimental Fig-2 : Résultat obtenu

Doc-17 : Séparation des pigments chlorophylliens par chromatographie sur papier wattman : Protocole expérimental et résultats.

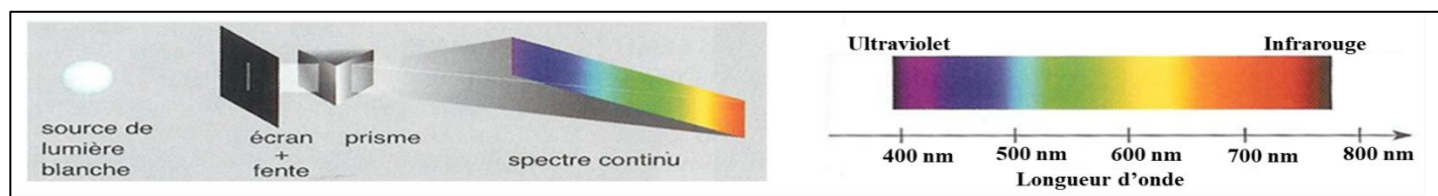
La séparation de la chlorophylle brute par chromatographie sur papier Wattman (Doc-17), montre que la chlorophylle est composée de quatre (4) pigments :

- Les carotènes (orange) ;
- Les xanthophylles (Jaune) ;
- La chlorophylle a (bleu vert) ;
- La chlorophylle b (bleu jaune).

## 1-2- Propriétés des pigments chlorophylliens.

### 1-2-1- Spectre d'absorption et spectre d'action de la chlorophylle brute.

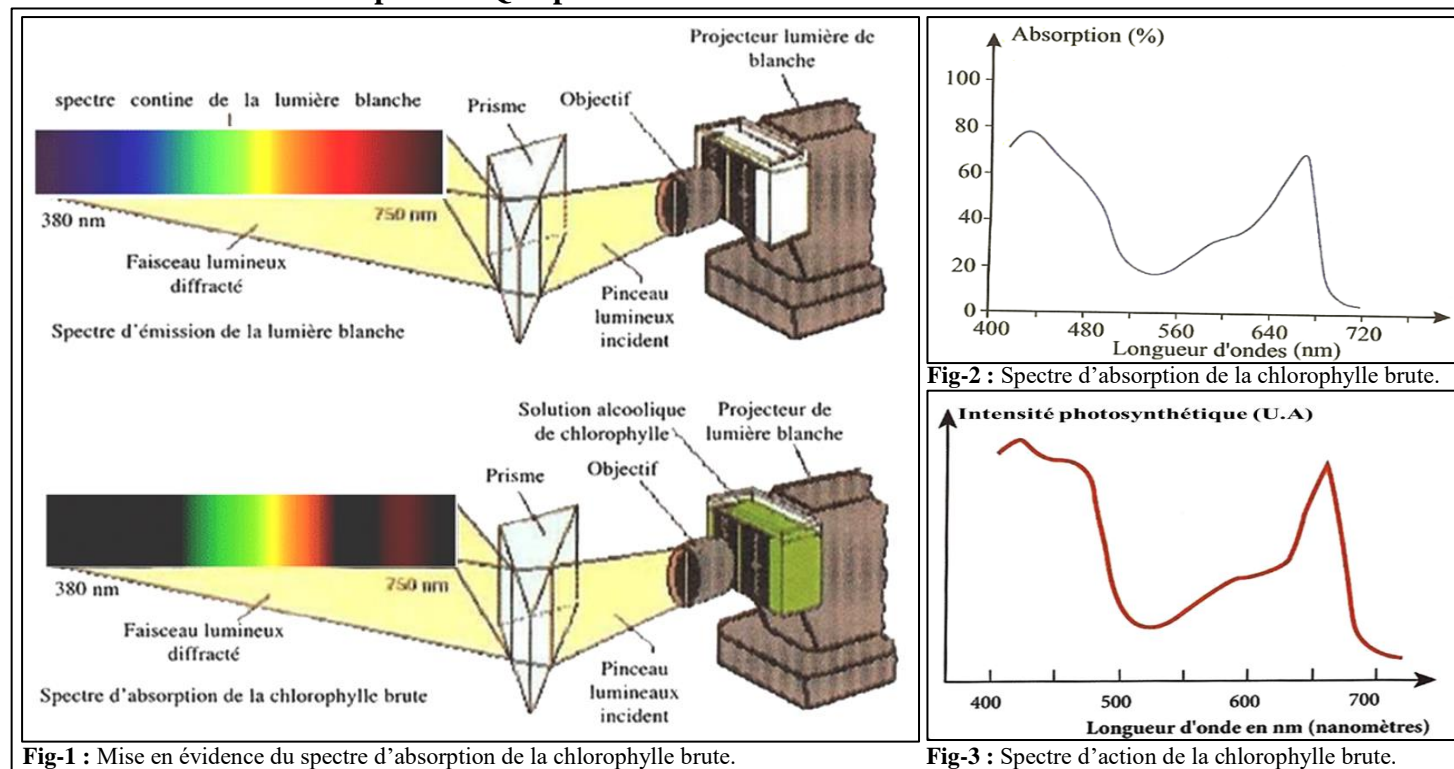
La lumière est formée d'un mélange de lumières de couleurs différentes : Violet, bleu, vert, jaune, orange, et rouge, comme l'arc-en-ciel, dit le spectre de la lumière blanche. Chaque lumière de couleur précise (monochromatique) est caractérisée par une longueur d'onde bien définie (Doc-18).



Doc-18 : Spectre de la lumière blanche.

Le Doc-19 montre la comparaison du spectre d'émission de la lumière blanche avec le spectre d'absorption de la chlorophylle brute (Fig-1), spectre d'absorption de la chlorophylle brute (Fig-2) et le spectre d'action de la chlorophylle brute (Fig-3).

- Commenter ces spectres. Que peut-on déduire ?



Doc-19 : Spectre d'absorption et spectre d'action de la chlorophylle brute.

Il ressort de la comparaison du spectre de la lumière blanche et le spectre d'absorption de la chlorophylle brute (Fig-1du doc-19) que les radiations bien absorbées par la chlorophylle brute sont surtout les radiations bleues et rouges, d'après la Fig-2 elles sont autour de 400 et 650nm.

Le spectre d'action de la photosynthèse correspond à l'efficacité photosynthétique en fonction des longueurs d'ondes. En superposant le spectre d'action de la Fig-3, Doc-19 et le spectre d'absorption de la Fig-2, Doc-19 des pigments bruts, on remarque que les radiations autour de 400 et 650nm sont les plus influentes sur la photosynthèse, c.à.d., il existe une correspondance entre le pic d'absorption et le pic du spectre d'action de la chlorophylle brute.

### 1-2-2- Propriété de la fluorescence la chlorophylle brute.

#### .a-Expérience de la mise en évidence du phénomène de la fluorescence

On soumise une solution alcoolique de la chlorophylle brute à une source de lumière blanche, on observe que cette solution émet une lumière rouge (Fig-1,

.Doc-20: c'est le phénomène de la fluorescence

#### .b-Interpretation du phénomène de la fluorescence

D'après le schéma explicatif de la Fig-2 du Doc-20, expliquer l'origine de la fluorescence émise par la .chlorophylle brute

Exposée à la lumière (les photons), un électron de "la chlorophylle a" absorbe des photons et passe à un niveau énergétique supérieur, ce qui rend "la chlorophylle a" excitée. Ensuite, cet électron retourne spontanément à son état initial en libérant de l'énergie sous forme de chaleur et de lumière rouge : c'est la fluorescence.

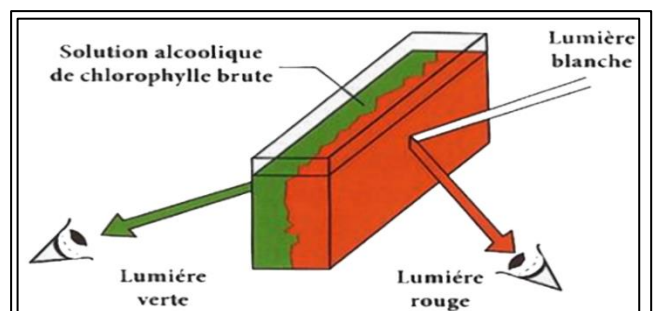


Fig-1 : Mise en évidence de la fluorescence de la chlorophylle brute.

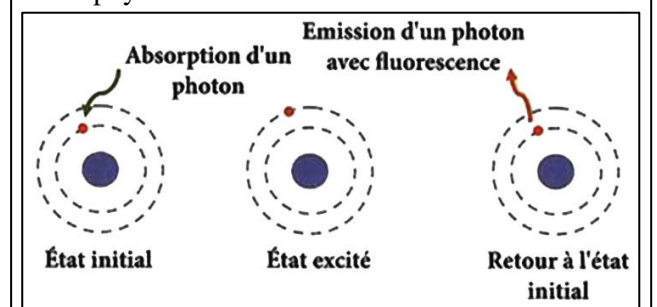


Fig-2 : Schéma explicatif de l'origine de la fluorescence de la chlorophylle brute.

Doc-20 : La fluorescence de la chlorophylle brute.

Dans les feuilles, la chlorophylle n'émet pas de fluorescence, car elle libère l'énergie lumineuse captée par les phénomènes de "la résonance" (Fig-1, Doc-21) avec les molécules voisines ou de l'oxydoréduction (Fig-2, Doc-21).

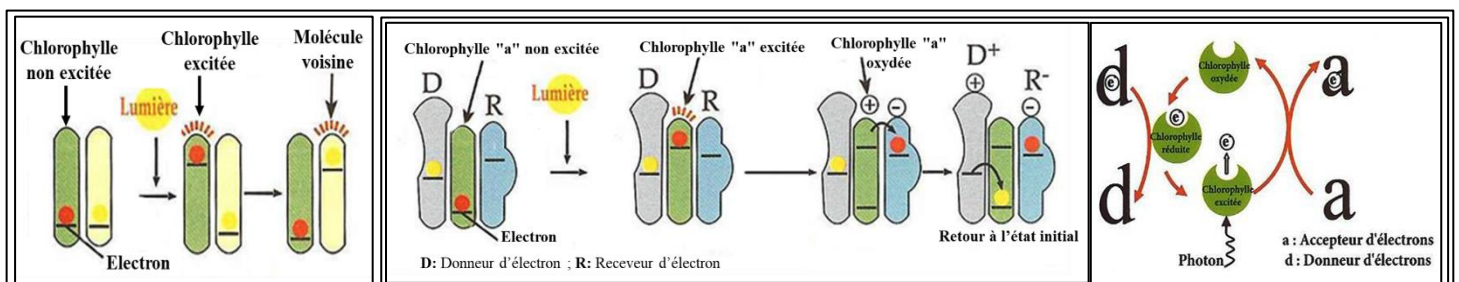


Fig-1 : La résonance.

Fig-2 : L'oxydoréduction.

Doc-21 : Schémas explicatif des phénomènes de résonance de l'oxydoréduction de la chlorophylle dans les feuilles.

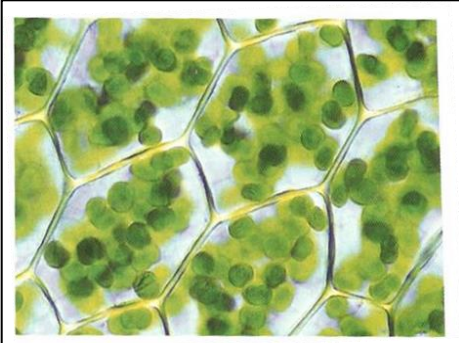


## 2- Organite cellulaire responsable de la photosynthèse.

### 1-2-Ultrastructure du chloroplaste.

L'observation au microscope des cellules des feuilles de plantes vertes révèle la présence de plusieurs organites verts intracellulaires renfermant de la chlorophylle (**Doc-22**): ce sont les chloroplastes. Le **Doc-23** montre l'ultrastructure de cet organite.

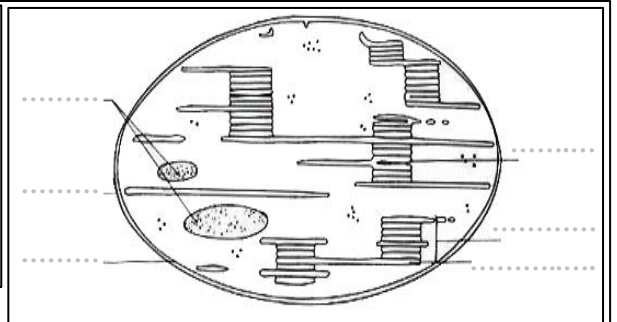
- Après avoir annoté le schéma du **Doc-23**, Décrire l'ultrastructure du chloroplaste.



**Doc-22** : Observation des chloroplastes de l'élodée au microscope photonique.



**Fig-1** : Photo électronique du chloroplaste : A : Stroma, B : Thylakoïdes.



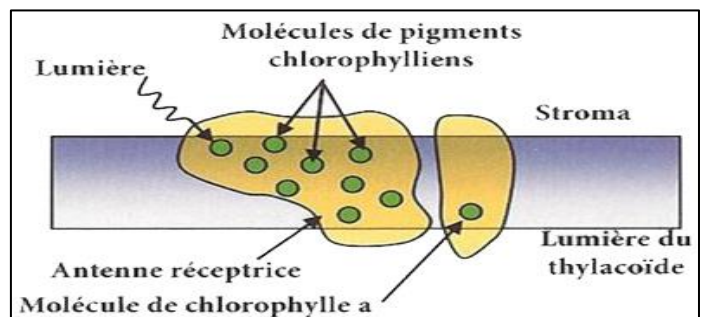
**Fig-2** : Schéma interprétatif de l'ultrastructure du chloroplaste.

**Doc-23** : l'ultrastructure du chloroplaste.

Le chloroplaste est formé de deux membranes, une externe et l'autre est interne et d'un stroma, qui contient plusieurs thylakoïdes (petits saccules), certains sont longs d'autres sont courts, ces derniers sont empilés par plusieurs pour former un Granum.

### 2-2- Le photosystème : composition et organisation.

Ce sont les thylakoïdes qui contiennent la chlorophylle. A l'intérieur du stroma, on trouve les produits de la photosynthèse tel le glucose, l'amidon et autres composés organique. Donc, le chloroplaste est l'organe de la photosynthèse. Les pigments chlorophylliens se localisent au niveau de la membrane des thylakoïdes, ils s'organisent en groupe appelé photosystème (PS) (**Doc-24**), chaque photosystème est composé d' :



**Doc-24** : Schème de l'organisation du photosystème.

+ **Antenne réceptrice (collectrice)** : elle est formée par un mélange de pigments chlorophylliens (Chlorophylle b, xanthophylle et carotène).

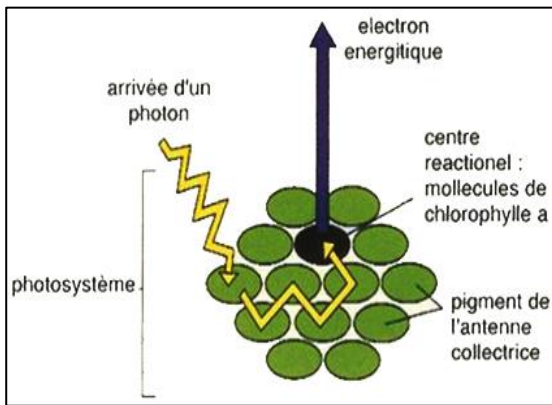
+ **Un centre réactionnel** : il est constitué par la chlorophylle a, c'est lui qui transforme l'énergie lumineuse en énergie chimique.

Au niveau de la membrane des thylakoïdes, il existe deux types de photosystème :

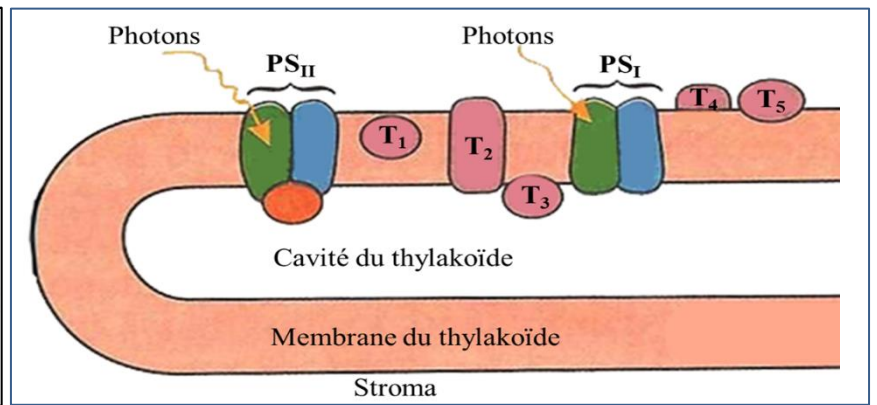
+ **Le PS<sub>I</sub>** : a un centre réactionnel ayant la chlorophylle a<sub>1</sub>.

+ **Le PS<sub>II</sub>** : a un centre réactionnel ayant la chlorophylle a<sub>2</sub>.

**N.B** : la différence entre la chlorophylle a<sub>1</sub> et a<sub>2</sub> réside dans la longueur de lumière d'absorption maximale.



Doc-25 : Excitation de la chlorophylle.

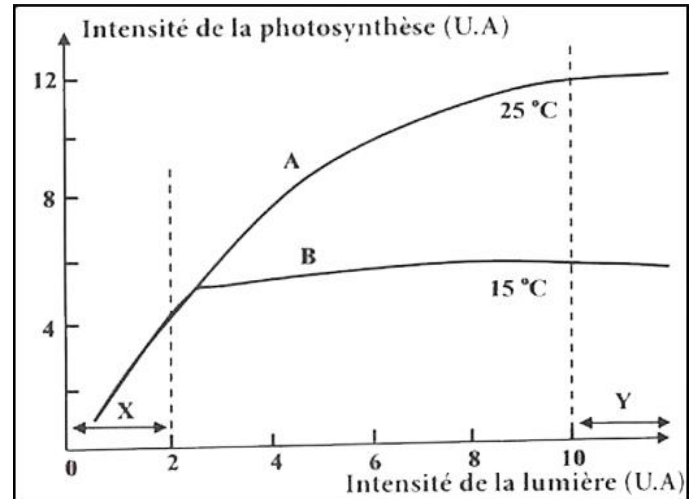


Doc-26 : Structure de la chaîne photosynthétique.

### 3- Les principales réactions de la photosynthèse.

#### 2-1-Mise en évidence des phases de la photosynthèse.

Dès 1905, **Frederick Frost Blackman** avait remarqué que la photosynthèse dépend à la fois de la lumière et de la température. Alors que les réactions chimiques dépendent de l'une ou de l'autre selon leur nature photochimique ou thermochimique. Cette observation le conduit à l'hypothèse que la photosynthèse devait résulter de deux types de réactions chimiques différentes, photochimique et thermochimique.



Doc-27 : Mise en évidence des phases de la photosynthèse photosystème.

- Analyser le Doc 27 et dégager les principales phases de la photosynthèse en vérifiant l'hypothèse de **Blackman**.

La photosynthèse résulte de deux types de réactions :

\***Les réactions photochimiques** : influencées par la lumière (ce sont les réactions de la phase claire).

\***Les réactions thermochimiques** : influencées par la température (ce sont les réactions de la phase obscure).

#### 2-2- Les réactions photochimiques de la phase claire.

##### 2-2-1-Oxydation de l'eau et réduction de NADP

###### ➤ Expérience de Ruban et Kamen :

Une suspension de chlorelle (algue unicellulaire) fortement éclairée est placée dans une solution nutritive comportant l'eau marquée ou le dioxyde de carbone marqué par l'isotope lourd de l'oxygène ( $^{18}\text{O}$ ). Les résultats obtenus sont représentés dans le Doc-28.

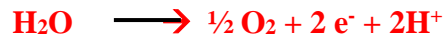
	Composition de la solution nutritive	Oxygène dégagé
Manipulation 1	$\text{H}_2^{18}\text{O}$ $\text{C}^{16}\text{O}_2$	$^{18}\text{O}_2$
Manipulation 2	$\text{H}^{16}\text{O}_2$ $\text{C}^{18}\text{O}_2$	$^{16}\text{O}_2$

Doc-28 : Résultats de l'expérience de Ruban et Kamen.



**- Analyser le Doc 28, Que pouvez-vous en déduire ?**

Le Doc 28, montre que l'origine de l'O<sub>2</sub> dégagé par les plantes provient de H<sub>2</sub>O, via une réaction photochimique de photolyse de l'eau qu'on peut écrire comme suit :

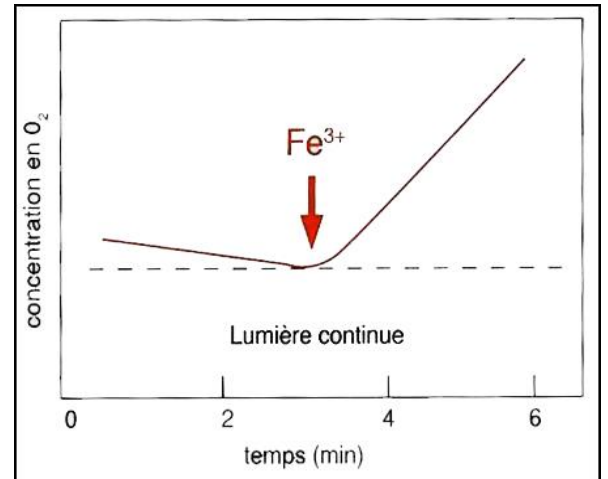


**➤ Expérience de Hill :**

Hill utilise une suspension de chloroplaste isolés dans un tampon sans CO<sub>2</sub>. Il mesure les variations du Dioxygène à l'aide d'une électrode à oxygène. Il ajoute à la préparation un accepteur artificiel d'électrons, Le ferricyanure de potassium, (Fe<sup>3+</sup> CN<sup>-</sup>) réactif de Hill :



En lumière continue, les chloroplastes isolés en suspension dans un tampon produisent du dioxygène (mesuré à l'aide d'une électrode à O<sub>2</sub>) à condition qu'un accepteur d'électrons soit ajouté. Cette réaction se réalise en absence de CO<sub>2</sub>.



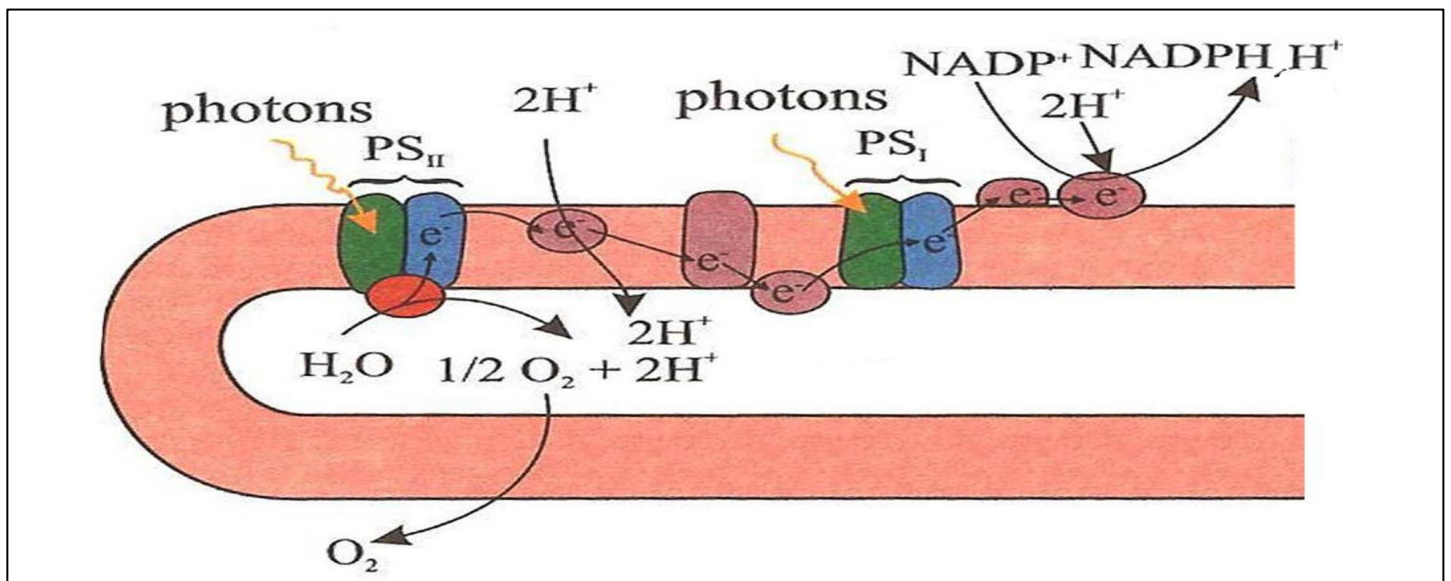
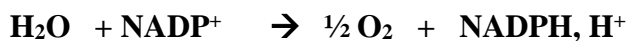
**Doc-29:** Résultat de l'expérience Hill.

**- Analyser le Doc 29, Que pouvez-vous en déduire ?**

Le Doc 29 illustre que la photolyse de l'eau est accompagnée d'une réaction d'oxydoréduction qui aboutit à la libération d'électrons qui seront pris par les transporteurs de la chaîne photosynthétique jusqu'à l'accepteur finale NADP<sup>+</sup> qui sera réduit en NADPH, H<sup>+</sup> selon la réaction :



Le Doc 30 montre la combinaison de la photolyse de l'eau et la réduction de NADP<sup>+</sup> au niveau de la chaîne photosynthétique, qu'on peut exprimer par la réaction globale suivante :

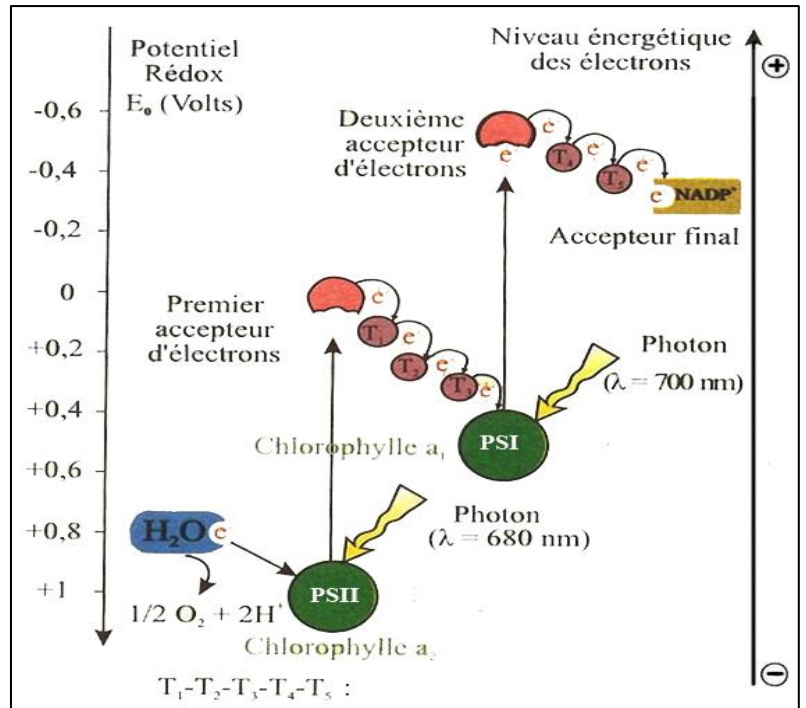


**Doc-30:** Le fonctionnement de la chaîne photosynthétique.

Le transfert des électrons se fait du couple ( $\text{H}_2\text{O} / 1/2\text{O}_2$ ) vers le couple ( $\text{NADPH}, \text{H}^+/\text{NADP}$ ) à l'encontre du potentiel d'oxydoréduction et nécessite de l'énergie lumineuse. L'énergie lumineuse nécessaire pour ce transfert fait intervenir deux photosystèmes ( $\text{PS}_1, \text{PS}_2$ ).

Le **Doc-31** montre que ce transfert d'électrons n'est pas spontané, il se fait grâce à l'énergie lumineuse.

Par des transporteurs localisés dans la membrane des thylakoïdes, qui ont des potentiels redox différents, permettent ainsi le transfert des électrons qui résultent de l'oxydation de l'eau (donneur initial) vers  $\text{NADP}^+$  (accepteur final). Ces transporteurs sont appelés chaîne photosynthétique.



**Doc-31:** Le fonctionnement de la chaîne Photosynthétique.

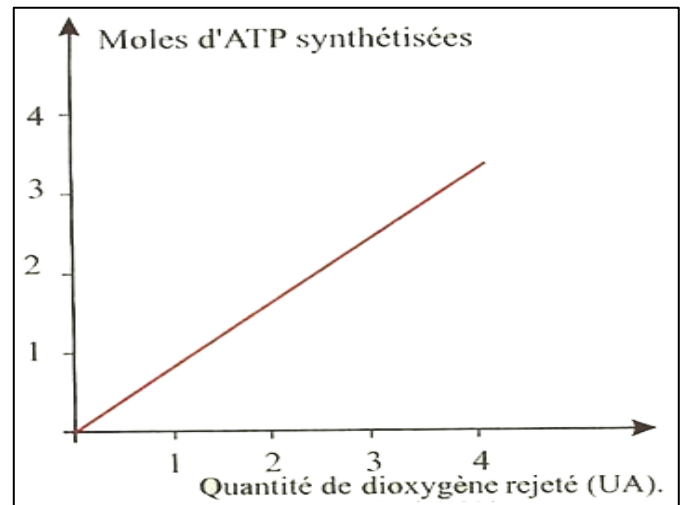
### 2-2-2- Synthèse de l'ATP.

#### ➤ Expérience d'Arnon:

Pour déterminer la relation entre la synthèse de l'ATP et la photosynthèse, le chercheur Arnon a réalisé une expérience qui consiste à compter le nombre de mole d'ATP synthétisé en fonction de la quantité d' $\text{O}_2$  rejeté.

**- Que constatez-vous de l'analyse de la courbe du Doc 32 ?**

**On constate que la photosynthèse est accompagnée de la production des molécules d'ATP.**

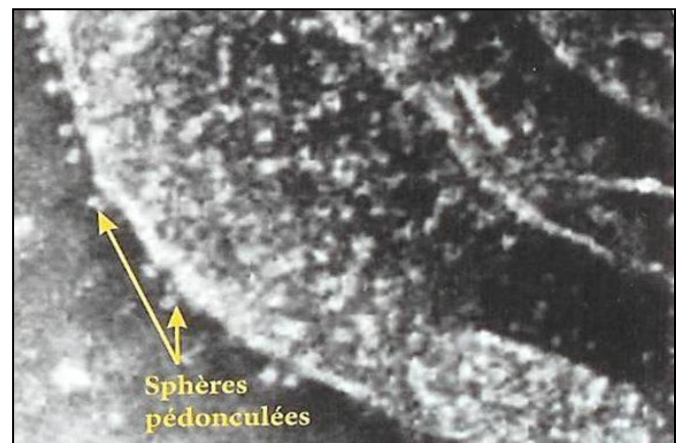


**Doc-31:** Expérience d'Arnon.

#### ➤ Rôle des sphères pédonculées :

Les sphères pédonculées se trouvent dans la membrane des thylakoïdes, elles sont nécessaires à la synthèse de l'ATP.

Des recherches ont montré que les sphères pédonculées contiennent une enzyme ATP synthétase, qui favorise la synthèse de l'ATP à partir de l'ADP selon la réaction suivante :  $\text{ADP} + \text{P}_i \rightarrow \text{ATP}$ .

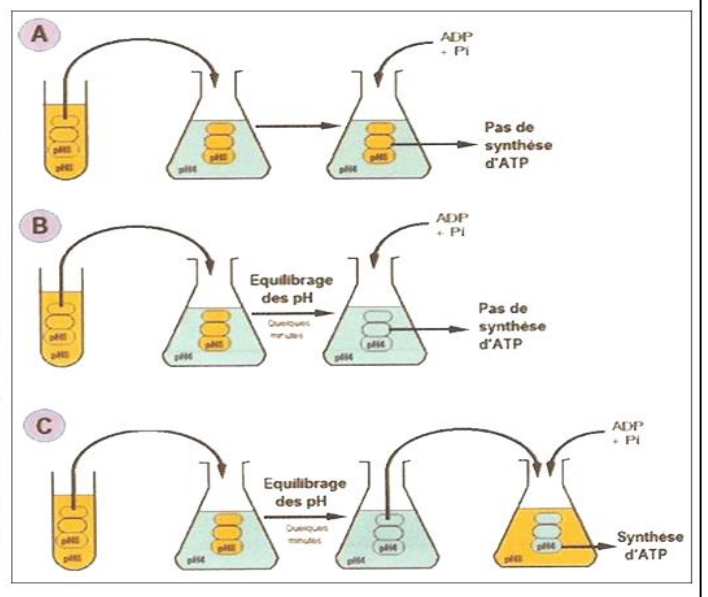


**Doc-32:** Ultrastructure des sphères pédonculées.

➤ **Les conditions de la synthèse de l'ATP:**

Des chloroplastes sont cassés (par choc osmotique) et les thylakoïdes sont isolés par centrifugation (le stroma a été éliminé) puis placés quelques minutes dans un milieu, jusqu'à ce que le pH des thylakoïdes se soit équilibré avec celui du milieu au pH=8. Toutes les expériences sont ensuite réalisées à l'obscurité.

- Dans une expérience A : on transfère les thylakoïdes dans un milieu acide à pH=4 contenant de l'ADP et du phosphate inorganique (Pi).
- Dans une expérience B : on transfère les thylakoïdes dans un milieu acide à pH=4. Après équilibrage au pH=4, on ajoute de l'ADP et du phosphate inorganique (Pi).
- Dans une expérience C : Après rééquilibrage au pH=4, on transfère les thylakoïdes dans un milieu basique à pH 8 en présence d'ADP et de phosphate inorganique (Pi).



**Doc-33: Expérience de Jagendorf, 1966 (Mise en évidence des conditions de synthèse d'ATP).**

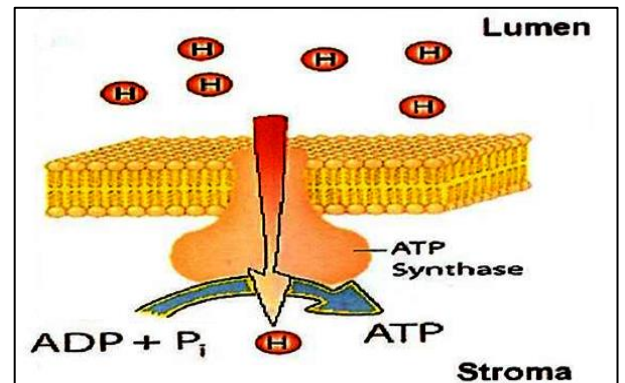
- D'après l'analyse du Doc 33, quelles sont les conditions de la synthèse d'ATP.

La synthèse d'ATP nécessite une concentration de  $H^+$  dans la cavité du thylakoïde plus élevée que la concentration de  $H^+$  dans le milieu extérieur (Stroma).

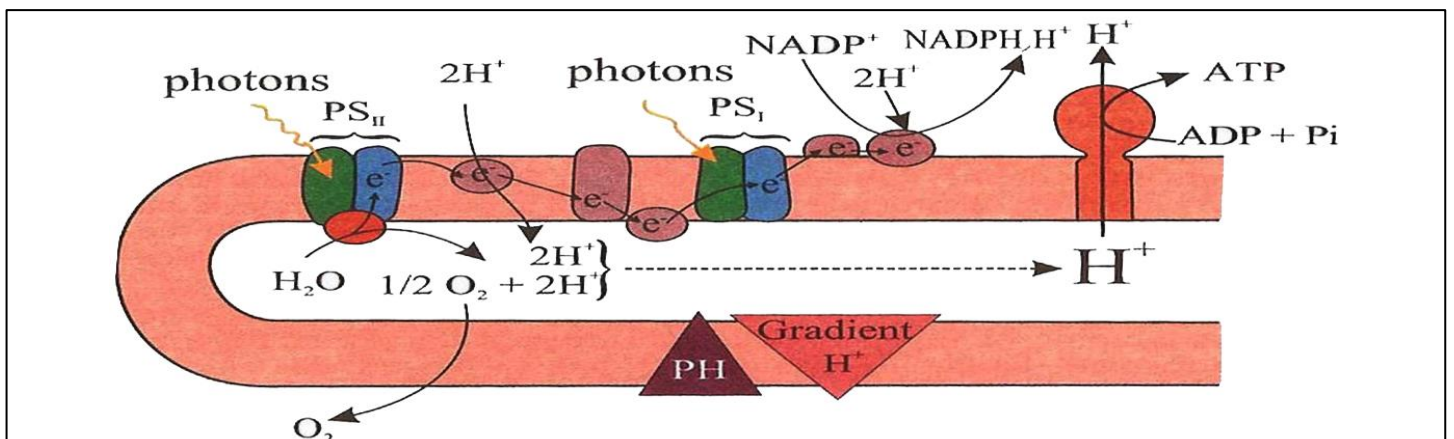
➤ **Mécanisme de la synthèse de l'ATP:**

- En se basant sur le Doc 34 et 35, déterminez le mécanisme de la synthèse de l'ATP.

Le transfert des protons s'effectue au cours du transfert des électrons au niveau des transporteurs des électrons de la chaîne photosynthétique du stroma vers le lumen, ainsi que pendant la libération des protons due à l'oxydation de la molécule d'eau, provoque une augmentation de la concentration des  $H^+$  dans l'espace intrathylakoïdale (lumen). Ceci génère un gradient de protons, ce gradient sera ensuite dissipé par le retour des  $H^+$  vers le stroma, à travers des sphères pédonculées qui vont utiliser une partie de l'énergie de ce gradient pour phosphoryler l'ADP en ATP selon la réaction suivante :  $ADP + Pi \rightarrow ATP$



**Doc-34: Mécanisme de la synthèse de l'ATP.**



**Doc-35: Schéma bilan de la phase claire.**



Ainsi, comme bilan de la phase claire, on a :

+ Photolyse de l'eau et libération d'O<sub>2</sub>.

+ Conversion, au niveau de la chaîne photosynthétique (membrane des thylakoïdes), de l'énergie lumineuse en énergie chimique, qui stockée sous forme de:

- NADPH, H<sup>+</sup> : (Pouvoir d'oxydoréduction).

- ATP: (Phosphorylation oxydative).

## 2-2- Les réactions photochimiques de la phase obscure.

### a- Devenir de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) absorbé :

Afin de mettre en évidence la nature des premières substances organiques synthétisées par la cellule végétale après la fixation de CO<sub>2</sub>, Calvin et ses collaborateurs Bassham et Benson ont réalisé une série d'expériences grâce à un procédé qu'ils ont conçu et en utilisant une algue unicellulaire (La chlorelle) et CO<sub>2</sub> radioactif (**Doc-36**).

- Analyser les résultats obtenus par Calvin et *Coll.* rapportés dans le **Doc-36**. Que peut-on déduire concernant la nature de la première molécule produite par la plante après la fixation de CO<sub>2</sub>?

Des chlorelles (algues unicellulaires) en suspension sont cultivées dans un récipient plat et transparent. Pour favoriser la photosynthèse, le milieu est enrichi en CO<sub>2</sub> et le flacon est placé sous un éclairage puissant. On injecte dans le milieu du dioxyde de carbone radioactif <sup>14</sup>CO<sub>2</sub> pour suivre le devenir du carbone. Au bout d'un temps que l'on peut faire varier, on fait couler un échantillon de la culture dans de l'alcool bouillant, ce qui stoppe instantanément toutes les réactions cellulaires. On réalise une chromatographie bidimensionnelle de l'échantillon de la culture prélevée pour séparer les constituants du mélange. A l'aide de solvants, on étale les constituants du mélange sur du papier spécial : le résultat s'appelle un chromatogramme. Par **autoradiographie** on révèle sur du papier photographique toutes les molécules contenant du <sup>14</sup>C. Leur position sur le chromatogramme permet d'identifier les différentes molécules.

① Air riche en CO<sub>2</sub>  
② Suspension de chlorelles  
③ Pompe  
④ Lumière  
⑤ Injection du <sup>14</sup>CO<sub>2</sub>  
⑥ Alcool méthylique en ébullition  
⑦ Plaque chauffante

Après 5 secondes  
A.P.G.  
Hexoses phosphates  
Ru.di P.

Après 5 minutes  
Acide malique  
Alanine  
Sérine  
Glycérine  
Acide aspartique  
Acide pyruvique  
A.P.G.  
Hexoses phosphates  
Ru.di P.

**Doc-36** : Expériences de Calvin, Bassham et Benson, 1962.

On constate d'après les résultats obtenus que le chromatographe montre après :

- 5 secondes (5s), la présence de trois molécules radioactives : Acide phosphoglycérique : APG (C<sub>3</sub>), Rubulose diphosphate : RudiP (C<sub>5</sub>) et Hexoses phosphates : (C<sub>6</sub>).

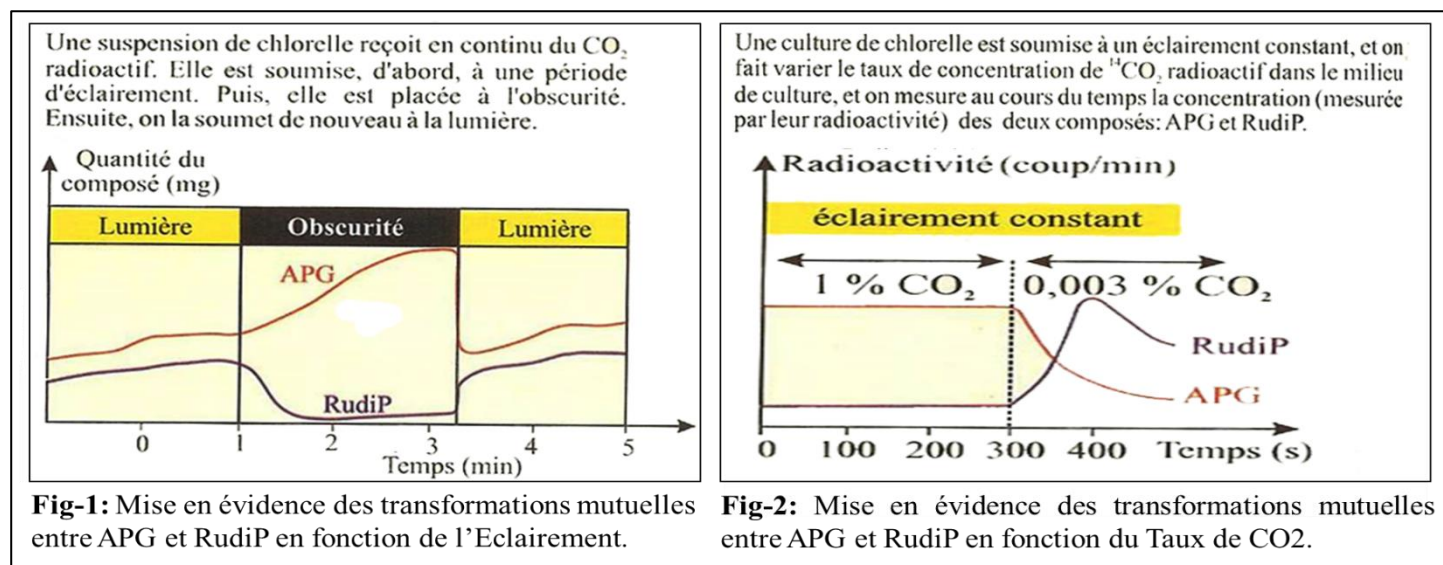
- 5 minutes (5min), la synthèse de plusieurs molécules radioactives de natures différentes : Glucides, lipides et protides.

Donc, on peut conclure d'après les résultats des travaux de Calvin et *Coll.*, que les molécules de CO<sub>2</sub> fixées lors de la photosynthèse sont intégrées dans la matière organique. Le premier composé auquel la molécule de CO<sub>2</sub> est fixée ne peut être que l'un de ces trois : l'APG, le Rubulose ou l'un des Hexoses phosphates.

### b- Réduction de CO<sub>2</sub> :

Pour déterminer la nature de la première molécule qui fixe CO<sub>2</sub> dans la cellule végétale, lors de la photosynthèse, Calvin et ses *coll.* ont réalisé des expériences complémentaires (**Doc- 37**).

- Analyser les résultats obtenus dans les conditions expérimentales de chaque figure du **Doc-37**, et déduire la nature de la première molécule organique, dans la cellule végétale, à laquelle se fixe CO<sub>2</sub> lors de la photosynthèse.

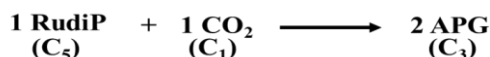


**Doc-37 :** Expériences de Calvin, Bassham et Benson, 1962 (suite).

- La Fig-1 montre que dans les conditions d'éclairage, les quantités de RudiP et d'APG évoluent dans le temps de manière parallèle, et une fois à l'obscurité les quantités d'APG augmentent alors que celles de RudiP diminuent. Lorsqu'on rétablit l'éclairage de nouveau, les quantités de ces deux molécules reprennent lors évolution parallèle une autre fois.

- La Fig-2 montre que dans les conditions d'éclairage constant et en présence de forte concentration de CO<sub>2</sub> (1%), on a aussi un parallélisme dans l'évolution dans le temps des quantités d'APG et de RudiP, mais lorsqu'on passe aux conditions de très faible concentration de CO<sub>2</sub> (0,003%), on remarque en même temps une chute de la quantité d'APG et une augmentation de la quantité de RudiP durant les premières 100s de la phase de faible concentration de CO<sub>2</sub>, et après la quantité de RudiP chute elle aussi.

Donc, on peut déduire de ces résultats que le RudiP (C<sub>5</sub>) constitue la première molécule qui réagit (fixe) avec CO<sub>2</sub> absorbé lors de la photosynthèse. Après l'avoir fixé, elle se clive immédiatement en deux molécules d'acide phosphoglycérique : APG (C<sub>3</sub>), selon la réaction suivante :



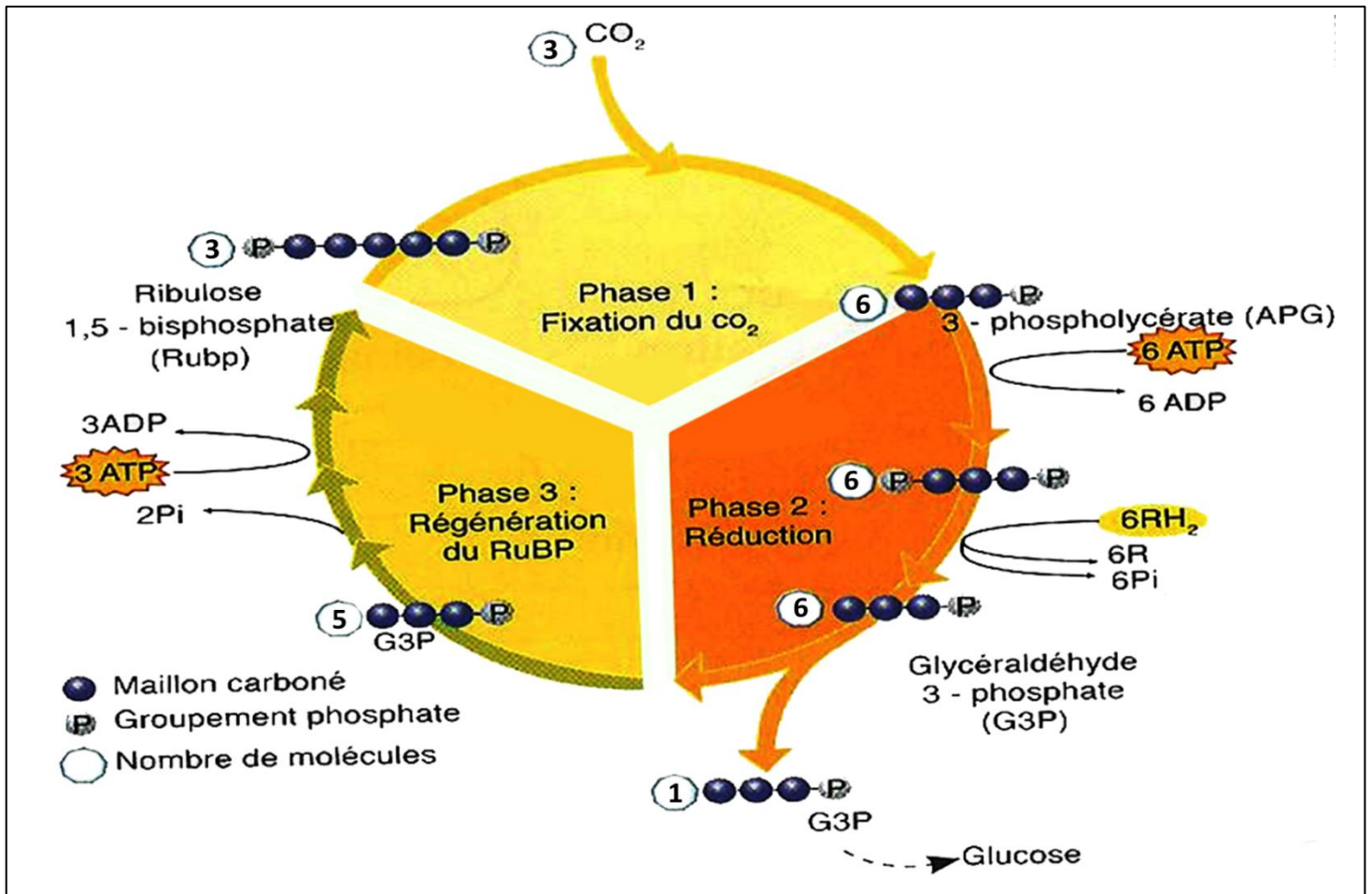
Donc le premier composé organique synthétisé lors de la photosynthèse et pendant la phase obscure est l'acide phosphoglycérique APG (C<sub>3</sub>). L'enzyme qui catalyse cette réaction existe dans le stroma, elle est nommée la RUBISCO.



## b- Réaction du Cycle de Calvin :

Le devenir des molécules d'APG est illustré par le Doc-38, il résume les réactions des 3 phases du cycle de Calvin.

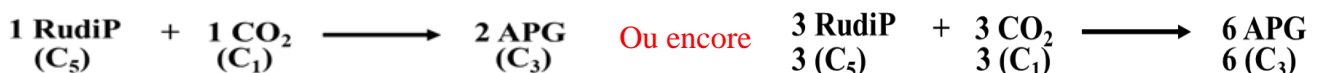
- Dégager du Doc-38 les principales phases du cycle de Calvin, et décrire succinctement les réactions de chaque phase.



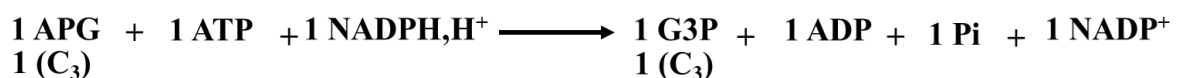
Doc-38 : Cycle de Calvin.

Le cycle de Calvin comporte trois phases :

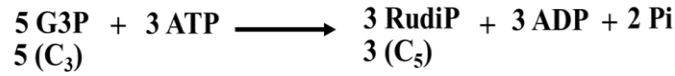
- **Phase de fixation de CO<sub>2</sub>** : elle est caractérisée par la réaction suivante (catalysée par la RUBISCO) :



- **Phase de réduction de l'APG** : au cours de cette phase, chaque molécule d'APG est phosphorylée puis réduite respectivement par une molécule d'ATP et molécule NADPH, H<sup>+</sup> (produites auparavant lors de la phase claire) pour donner un triose (le sucre G3P: C<sub>3</sub>), et selon la réaction globale suivante :

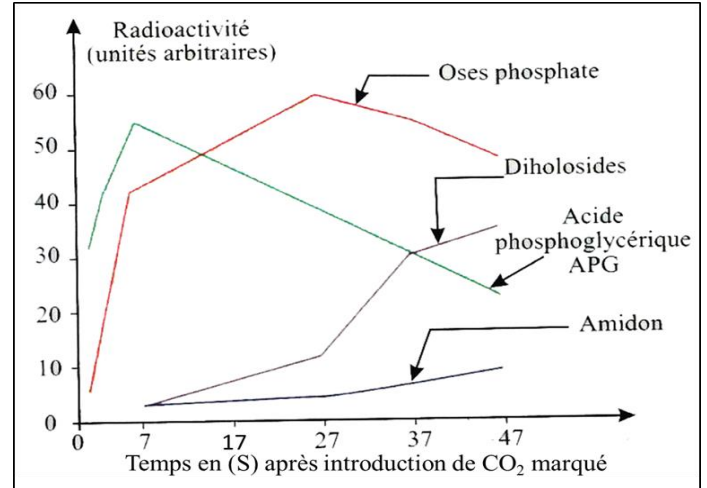
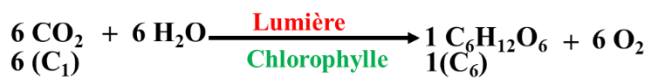


- **Phase de régénération de RudiP:** Au cours de cette phase, une partie des trioses synthétisés s'engage dans une série de réactions pour aboutir à la formation de RudiP. Cette régénération assure la continuité du fonctionnement du cycle de Calvin, elle se fait selon la réaction globale suivante :

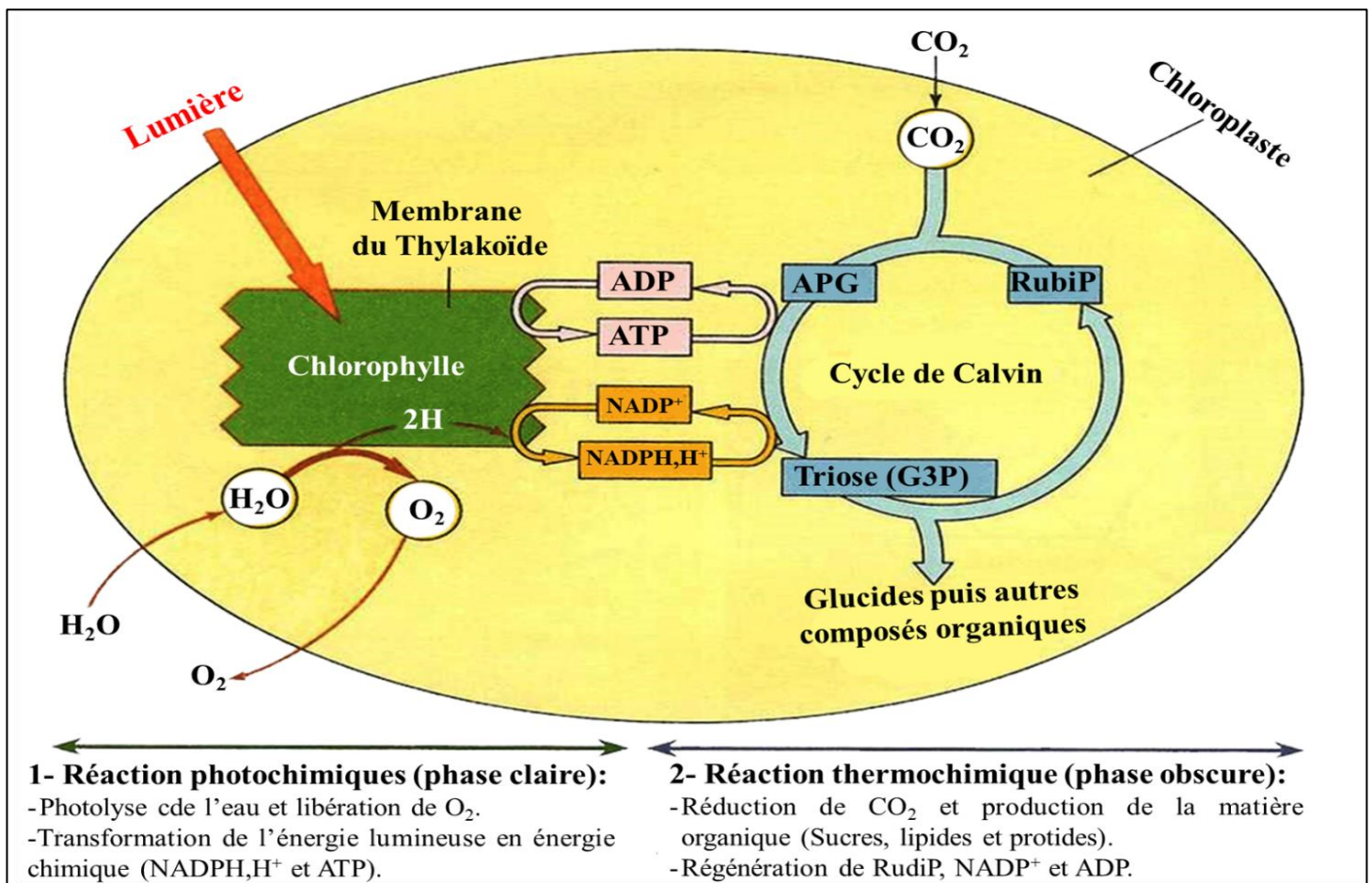


Les réactions du cycle de Calvin se déroulent dans le stroma, et les trioses synthétisés donnent ensuite les hexoses puis les polysaccharides, les lipides ou les protides (ensemble des composants de la matière organique) (**Doc-39**). Les molécules d'ATP et de NADPH, H<sup>+</sup> utilisées dans les deux dernières phases du cycle de Calvin proviennent des réactions de la phase claire qui ont lieu dans membrane des thylakoïdes.

Ainsi la synthèse de la matière organique par les cellules chlorophylliennes résultent d'un couplage entre les réactions photochimiques (oxydoréduction et phosphorylation) de la phase Claire et les thermochimiques (réactions du cycle de Calvin) de la phase obscure (**Doc-40**). La réaction globale de la photosynthèse est comme suivant :



**Doc-39 :** Evolution quantitative de quelques composés organiques produits lors de la photosynthèse.



**Doc-40 :** Couplage entre les réactions photochimiques et les réactions thermochimiques lors de la photosynthèse.

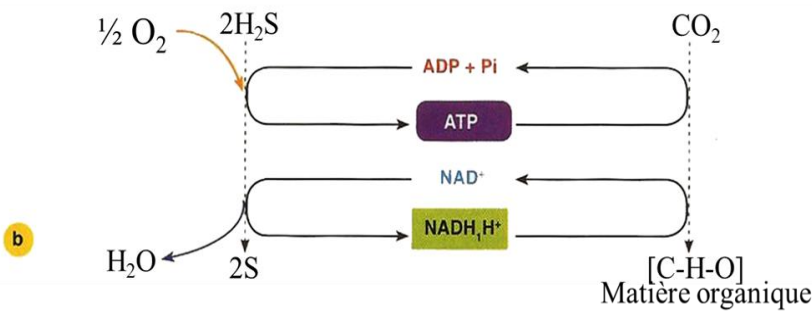
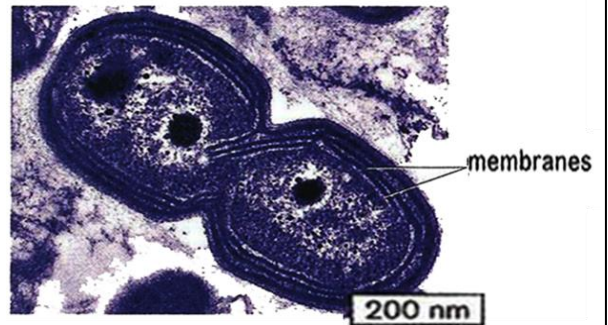
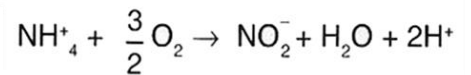
## V- Diversité des sources de la matière et de l'énergie utilisées par les êtres vivants.

Certaines espèces bactériennes peuvent synthétiser la matière organique en utilisant l'énergie chimique à la place de l'énergie lumineuse (la lumière n'est pas nécessaire dans ce cas), on parle de la chimiosynthèse. Dans ce cas, la source d'énergie peut être un composé minéral ou un composé organique. Il s'agit de sulfure d'hydrogène (H<sub>2</sub>S) chez les *bactéries sulfureuses* (**Doc-41**) ou bien d'ion ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) pour les bactéries *Nitrosomonas* (**Doc-42**).

Au voisinage des dorsales océaniques, des chercheurs ont découvert l'existence de vie animale aux alentours des sources hydrothermales (a). Ces animaux vivent en symbiose avec des bactéries qui oxydent des composés minéraux comme H<sub>2</sub>S pour extraire l'énergie nécessaire pour la synthèse de leur matière organique. Il s'agit de chimiosynthèse (b).



La bactérie *Nitrosomonas* vit dans le sol. Elle oxyde des substances minérales (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) pour tirer de l'énergie qui lui permet de synthétiser de la matière organique.



**Doc-41** : Chimiosynthèse chez les *Bactéries sulfureuses*.

**Doc-42** : Chimiosynthèse chez les *Nitrosomonas*.

Selon le mode de nutrition (source de matière et d'énergie) on distingue quatre principaux types trophiques (**Doc-43**).

Source de matière \ Source d'énergie	PHOTOTROPHES énergie lumineuse	CHIMIOTROPHE énergie chimique minérale ou organique
<b>AUTOTROPHES</b> : matière minérale	<b>PHOTOLITHOTROPHES.</b> Organismes chlorophylliens	<b>CHIMIO LITHOTROPHES</b> Bactéries : nitrifiantes et sulfureuses.
<b>HETEROTROPHES</b> : matière organique	<b>PHOTOORGANOTROPHES</b> Certaines bactéries chlorophylliennes.	<b>CHIMIOORGANOTROPHES</b> Animaux, champignons, bactéries

**Doc-43** : Quatre principaux types trophiques chez les êtres vivants.



## Bilan et schéma :

Les plantes chlorophylliennes sont capables de produire par photosynthèse leur propre matière organique à partir de la matière minérale en utilisant la lumière comme source d'énergie. Les chloroplastes sont les organites cellulaires responsables de la photosynthèse, grâce à leurs pigments chlorophylliens organisés en photosystèmes intégrés dans la membrane des thylakoïdes, ils assurent la conversion de l'énergie lumineuse en énergie chimique. La photosynthèse se déroule en deux phases complémentaires :

- **Phase claire (photochimique)**: caractérisée par des réactions photochimiques qui se déroulent dans la membrane des thylakoïdes, et produisent  $O_2$ , NADPH,  $H^+$  et ATP.

- **Phase obscure (non photochimique)**: caractérisée par des réactions qui se déroulent dans le stroma et ne nécessitent pas directement la lumière, mais elles utilisent des molécules de NADPH,  $H^+$  et d'ATP synthétisées lors de la phase claire, pour réduire les molécules de  $CO_2$  absorbées et aboutir à la synthèse des composés organiques divers. L'acide phosphoglycérique est la première molécule organique synthétisée.

- Il existe certains êtres vivants qui utilisent des composés chimiques comme source d'énergie pour synthétiser leur matière organique : c'est la **chimiosynthèse**.

