

D -rôle des pigments chlorophylliens dans la capture de l'énergie lumineuse

Rappel :

La photosynthèse est une réaction biochimique énergétique qui se déroule chez les plantes vertes chlorophylliennes qui a pour but la production de la matière organique à partir des substances minérales (CO_2 , H_2O et sels minéraux). Cette production nécessite l'énergie lumineuse (soleil) captée par la chlorophylle donc les plantes vertes sont capables de transformer l'énergie lumineuse en énergie chimique emmagasinée dans les substances organiques synthétisées.

Questions

- Quelle est la nature et les constituants de la chlorophylle ?quelle est sa localisation au niveau de la cellule végétale ?
- Quelle relation y a-t-il entre la chlorophylle et l'absorption de la lumière ?
- comment l'énergie lumineuse est-elle transformée en énergie chimique nécessaire à la synthèse de la matière organique par les plantes chlorophylliennes ?

I-Quelle est la nature et les constituants de la chlorophylle ?quelle est sa localisation au niveau de la cellule végétale ?

1- Quels sont les constituants de la chlorophylle ?

a- Extraction des pigments chlorophylliens :

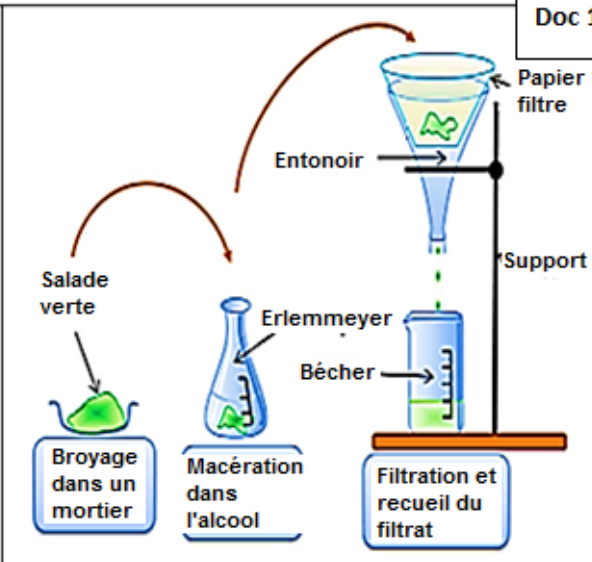
Doc 1

Pour extraire la chlorophylle des feuilles vertes, on procède en plusieurs étapes :

- Broyer des feuilles vertes (salade verte) dans un mortier avec un pilon avec un peu du sable.
- Macérer le broyat obtenu dans l'alcool(ou l'acétone). Le liquide obtenu est d'une couleur verte intense.
- Filtrer le substrat obtenu. Le filtrat obtenu est une solution de chlorophylle qui porte le nom de **chlorophylle brute**.

1-Réaliser la manipulation .Expliquer le rôle de l'alcool utilisé pour l'extraction de la chlorophylle ?

-Sachant que la chlorophylle brute est constituée d'un ensemble de pigments. 2-D'après cette observation poser une problématique?



Le diagramme illustre le processus d'extraction de la chlorophylle en trois étapes : 1. Broyage dans un mortier : une salade verte est broyée dans un mortier. 2. Macération dans l'alcool : le broyat est placé dans un erlenmeyer contenant de l'alcool. 3. Filtration et recueil du filtrat : le contenu est filtré à l'aide d'un entonnoir sur un support avec un papier filtre, le filtrat étant recueilli dans un béccher.

1- l'alcool et l'acétone sont des solvants organique leur rôle consiste à dissoudre et extraire les pigments chlorophylliens sans les modifier chimiquement et par filtration et le filtrat obtenu renferme la chlorophylle brute de couleur verte qui est constituée d'un ensemble de pigments chlorophylliens.

2- sachant que la chlorophylle brute contient un ensemble de pigments chlorophylliens donc comment séparer ces pigments et quelle est leurs natures ?

b- comment séparer les pigments chlorophylliens et quelle est leurs natures ?

<p>Protocole expérimental :</p> <ul style="list-style-type: none">- Déposer une goutte de la solution de chlorophylle brute sur une feuille de papier Wattman.- Placer la feuille de papier dans une éprouvette dans laquelle on a placé un mélange de solvants appropriés (10cm³d'étherpétrole, 9 cm³ d'acétone et 40cm³de benzène)- Fermer l'éprouvette hermétiquement pour éviter l'évaporation des solvants.- Mettre la préparation à l'obscurité pendant 50mn. <p>1- Quel est le <u>role</u> des différents solvants utilisés dans la séparation des pigments chlorophylliens par chromatographie ?</p> <p>2- Citer les pigments chlorophylliens séparés ?</p>	<p style="text-align: right;">Doc 2</p> <p>Cache Eprouvette Papier wattman tache de chlorophylle brute Mélange de solvants</p> <p>Migration solvant</p> <p>Front du solvant Carotène Xanthophylles Chlorophylle a Chlorophylle b Tache initiale</p>
--	--

1- les solvants sont des substances liquide qui ont la propriété de dissoudre les pigments chlorophylliens en montant dans la feuille par capillarité ils entraînent les pigments de manière différentielle selon leur affinité avec le solvant ainsi on arrive à séparer les pigments de la chlorophylle brute.

2-les pigments de la chlorophylle brute sont : La chlorophylle b, la chlorophylle a , les xanthophylles et la carotène.

c-bilan :

Les parties vertes des plantes chlorophylliennes renferment des pigments chlorophylliens capables d'absorber l'énergie lumineuse qui sont : la chlorophylle b ; la chlorophylle a, les xanthophylles et la carotène.

Questions

-A quel niveau de la cellule végétale est située la chlorophylle ?

-Quelles sont les propriétés de la chlorophylle vis-à-vis de la lumière ?

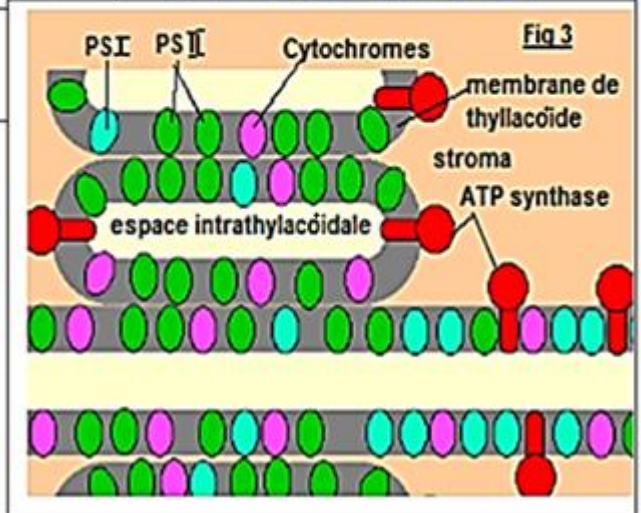
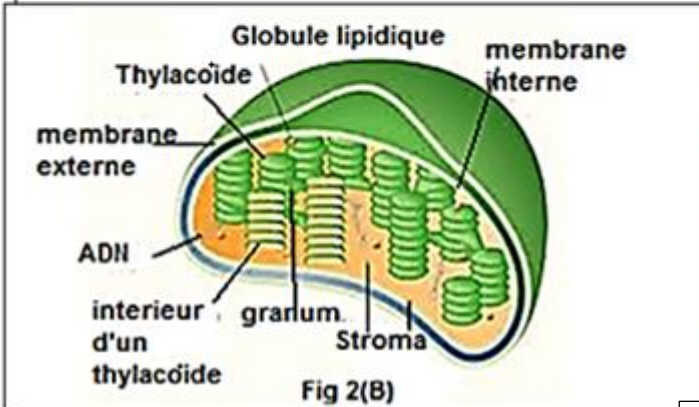
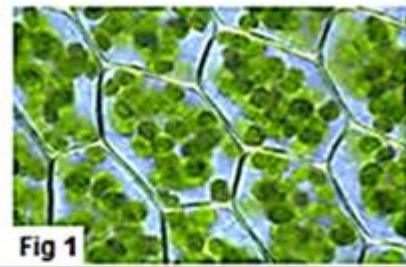
2- à quel niveau de la cellule végétale est située la chlorophylle ?

a- observations

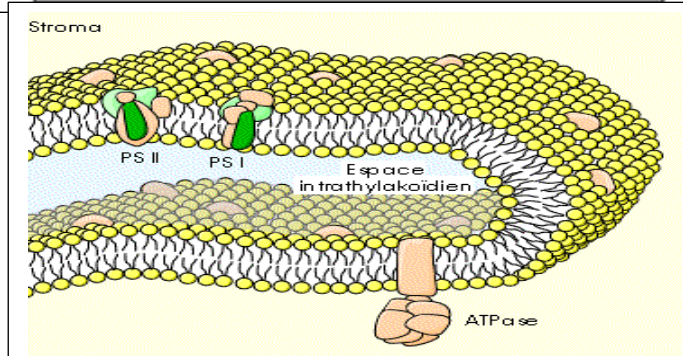
-La Fig 1 montre l'observation au microscope optique des cellules de feuilles de plantes vertes.

- La fig 2 montre l'observation au microscope électronique d'un chloroplaste (A) et son schéma explicatif en D (B)

- la fig 3 un schéma explicatif de l'ultra structure du thylacoïde.



- 1-Décrire la position des chloroplastes au niveau des cellules ?
- 2- D'après les Fig 2 faire un schéma du chloroplaste et décrire sa structure
- 3- Décrire l'ultrastructure de la membrane des thylacoïdes et en déduire à quel niveau du chloroplaste les pigments chlorophylliens se situent-ils ?



1- l'observation au microscope optique des cellules de plantes vertes révèle la présence d'organites de couleur verte renfermant la chlorophylle. Ce sont des chloroplastes.

2-

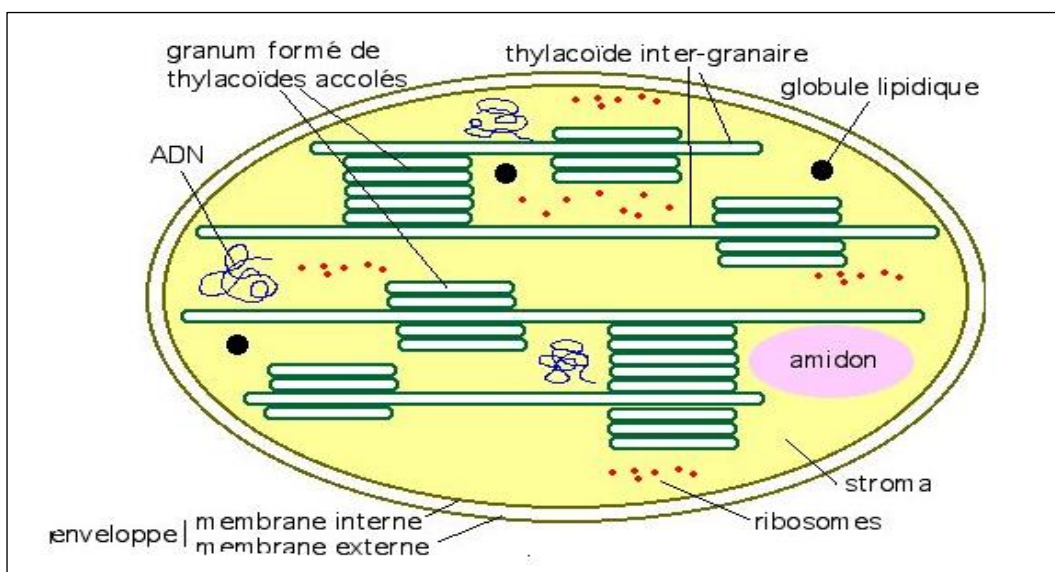


Schéma d'un chloroplaste

Les chloroplastes sont délimités par une enveloppe constituée de deux membranes, et contiennent des systèmes membranaires complexes composés de sacs appelés : thylacoïdes délimitant un espace intra thylacoïdale. Certains sont associés en disques superposés appelés **Granum**.

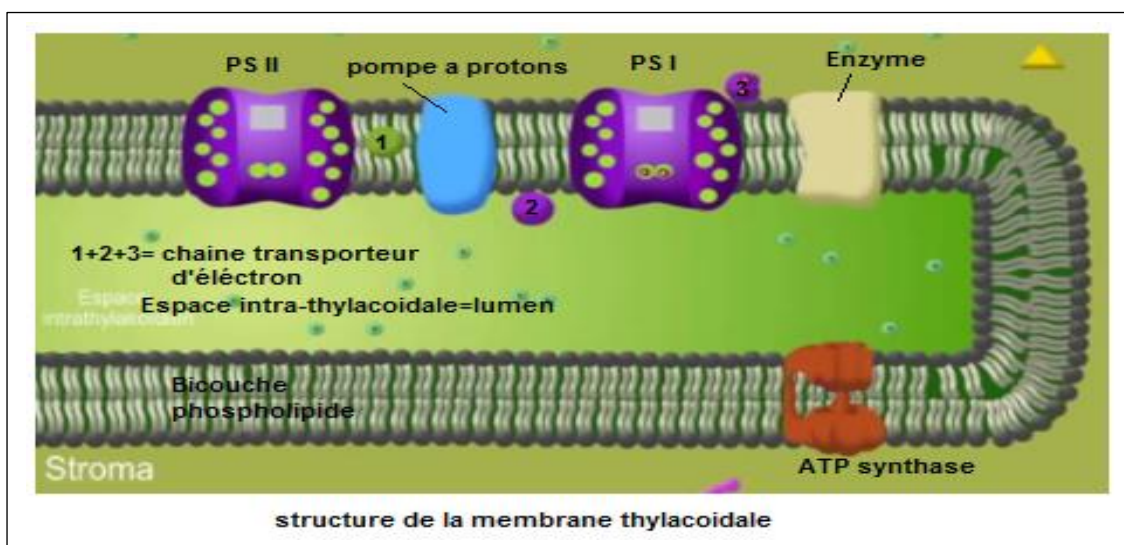
3- la membrane du thylacoïde est semblable à celle de la membrane plasmique .Elle renferme des protéines et des molécules lipidiques parmi ces protéines intégrées dans la membrane du thylacoïde on note :

- des complexes protéiniques tels que PS I, PS II et le complexe Cytochrome
- des molécules qui sont des Sphères pédonculées qui sont des complexes enzymatique appelées ATPsynthase.

Les pigments chlorophylliens se trouvent dans la membrane des thylacoïdes dans des complexes moléculaires formant des photosystèmes PS I et PS II.

b- bilan :

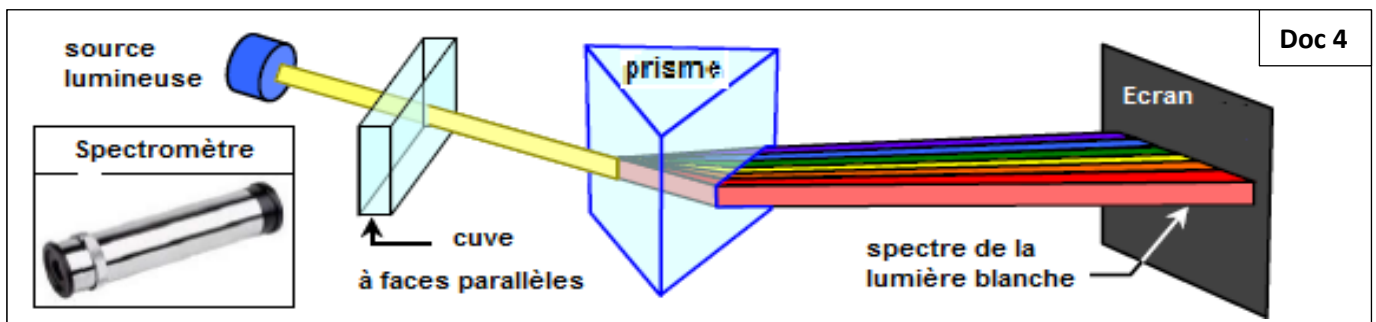
- Les chloroplastes organites propres aux cellules végétales renfermant les pigments chlorophylliens qui assurent l'absorption de l'énergie lumineuse qu'ils transforment en énergie chimique au cours de la photosynthèse.
- Le chloroplaste est formé de 3 compartiments :
 - * l'enveloppe : formée d'une double membrane : membrane externe et membrane interne.
 - *les thylacoïdes : réseaux membranaires sous forme de citernes aplaties plus au moins longues. Les citernes les plus courtes sont empilées et forment le Granum.
 - *le stroma : milieu dans lequel baignent les thylacoïdes.
- Les thylacoïdes sorte de sacs plus au moins aplaties délimités par une membrane riche en complexes protéiniques :
 - * Des photosystèmes PS II et PS I (protéines+ pigments chlorophylliens)
 - * des chaînes photosynthétiques transporteurs d'e⁻ et ou H⁺
 - * ATPsynthase



3- Quelles sont les propriétés des pigments chlorophylliens vis –à- vis de la lumière ?

a-Quelles sont les radiations lumineuses absorbées par les pigments chlorophylliens ?

Exercice 1



La lumière blanche est le mélange d'un ensemble de radiations que l'œil perçoit sous forme de couleurs. Les couleurs perçues par l'œil humain s'étendent du bleu au rouge c'est ce qu'on appelle spectre visible.

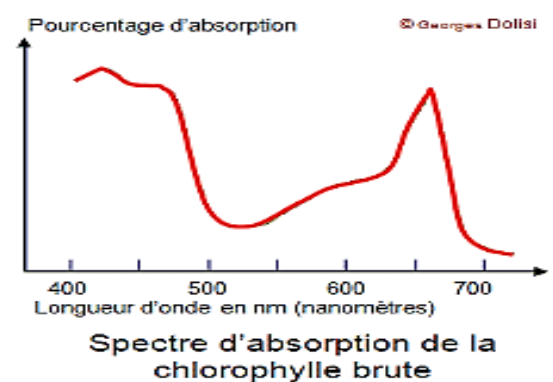
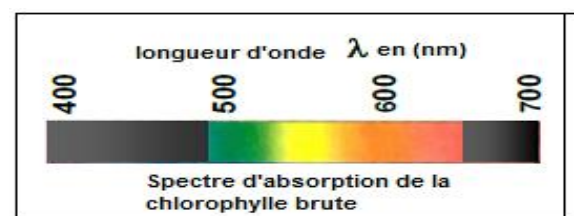
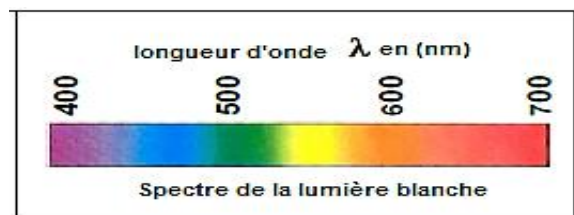
Pour pouvoir observer le spectre de la lumière émise par une source on utilise plusieurs outils en spectroscopie :

- Par prisme qui permet de disperser la lumière blanche en un ensemble de lumières de couleurs différentes.

- Le spectrophotomètre permet la captation des radiations lumineuses après avoir traversé une solution de chlorophylle brute. Les résultats sont représentés graphiquement sous forme d'une courbe traduisant le taux d'absorption en fonction de la longueur d'onde.

Comparer le spectre de la lumière blanche au spectre d'absorption de la chlorophylle brute

Expliquer la différence observée



- le spectre de la lumière blanche visible est formé de différentes radiations dont la longueur d'onde λ comprise entre 400nm et 700nm mais en plaçant une cuve contenant la chlorophylle brute entre la source lumineuse et le prisme on obtient un spectre d'absorption qui montre des bandes noires qui correspondent aux radiations absorbées par la chlorophylle brute et constituent le spectre d'absorption.

- les radiations absorbées par la chlorophylle brute sont le violet le bleu et le rouge et peu jaune et d'orange tandis qu'elle reflète beaucoup le vert c'est pour cela les plantes apparaissent vertes.

Question

Quel est le spectre d'absorption de chaque pigment chlorophyllien ?

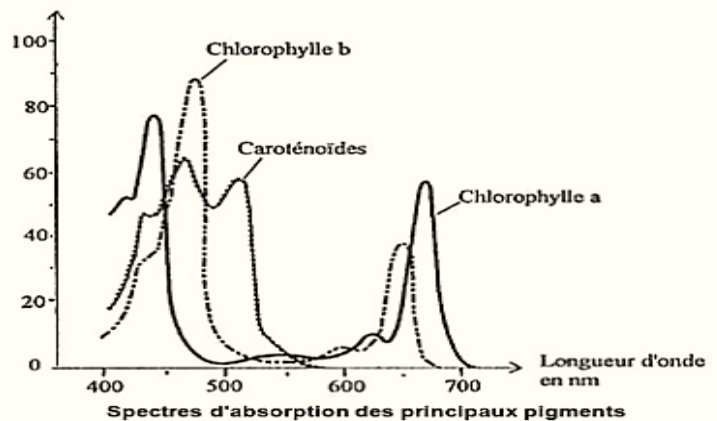
Exercice 2

Le spectrophotomètre permet aussi de mesurer l'absorption des différents pigments chlorophylliens après leur séparation.

Ceci permet d'avoir un spectre d'absorption pour chaque pigment en fonction de la longueur d'onde de radiations lumineuses.

* Analyser les spectres d'absorption des différents pigments chlorophylliens. Déduire la relation entre les radiations lumineuses absorbées et la couleur verte des chloroplastes

Pourcentage d'absorption



Doc 5

D'après les spectres d'absorption des principaux pigments on constate que :

- * la chlorophylle a absorbe fortement à 430nm (bleu) et à 660nm (le rouge)
- * la chlorophylle b absorbe fortement à 445nm (le bleu) et à 645nm (rouge)
- * les caroténoïdes absorbent fortement entre 400 et 500nm (violet et bleu)

Les radiations faiblement absorbées sont surtout le vert ce qui explique la couleur verte des chloroplastes et des plantes verte en générale.

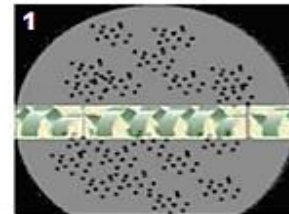
Question

Quelle est la relation des radiations lumineuses absorbées et la photosynthèse ?

b-Quelle est la relation des radiations lumineuses absorbées et la photosynthèse ?

Expérience d'Engelmann

Engelmann a utilisé une algue filamenteuse, la spirogyre, pourvue sur toute sa longueur d'un ou plusieurs chloroplastes rubanés et spiralés. Il l'a placée dans un milieu contenant une suspension de bactéries, le *Bacterium thermo* doté d'un chimiotactisme positif pour l'oxygène. Le comportement des bactéries a été observé dans des conditions d'éclairage différentes.



1- Spirogyre mise à l'obscurité

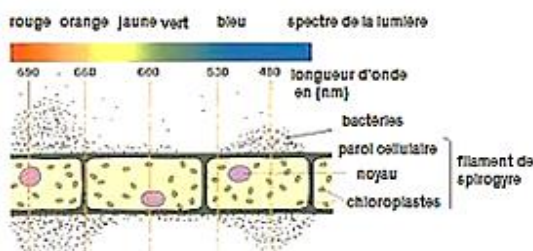
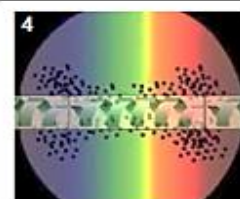
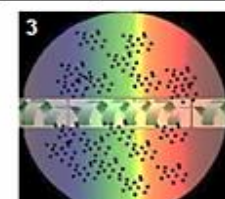


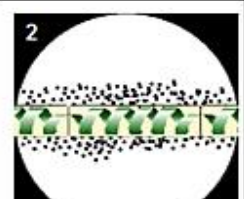
Schéma explicatif montrant la disposition des bactéries après éclairage par un spectre de la lumière blanche



4- Spirogyre éclairée par un spectre de lumière blanche (fin)



3- Spirogyre éclairée par un spectre de lumière blanche (début)



2- Spirogyre éclairée par la lumière blanche

Comparez les résultats observés dans des conditions d'éclairage différentes puis donnez une explication

Doc 6

- à l'obscurité les bactéries restent dispersées et éloignées de l'algue : pas d'oxygène pas de photosynthèse

- une fois éclairées par la lumière blanche on constate que les bactéries se regroupent tout le long de la spirogyre ce qui témoigne que l'algue libère l'oxygène donc forte activité photosynthétique.
- Après avoir soumis l'algue au spectre de la lumière blanche on constate que les bactéries se regroupent en grand nombre autour des parties de l'algue soumise à des radiations lumineuse bleues et rouges par contre elles sont presque absentes près de la partie éclairée par le vert On déduit que les parties éclairées par les rayons bleus et rouges sont riches en oxygène donc ces radiations sont les plus efficaces pour la production d'O₂ et en général pour la photosynthèse.

Expérience 2

Afin de déterminer la relation entre l'intensité de la photosynthèse (exprimée en fonction du volume d'O₂ dégagé) avec les différentes radiations lumineuses absorbées. On réalise l'expérience ci-contre en utilisant des filtres (sorte de verre colorée en rouge, jaune, vert, bleu et violet) et à chaque fois on mesure le nombre de bulles d'O₂ dégagées pour chaque filtre utilisé et pendant la même période les résultats sont illustrés dans le tableau suivant

Doc 7

Couleur du filtre	violet	bleu	vert	jaune	rouge
Nombre de bulles d'O ₂ dégagé par minute	8	6	0	3	12

1-Que peut-on déduire de l'analyse de ces résultats obtenus

On a représenté sur un même graphe les variations de l'intensité photosynthétique (spectre d'action) et le pourcentage d'absorption (spectre d'absorption) en fonction des longueurs d'ondes des radiations lumineuses (voir diagramme)

1 - courbe de variation de l'intensité de la photosynthèse en U A (spectre d'action)

2- courbe de variation d'absorption de radiations lumineuses (spectre d'absorption)

2- analyser le graphe que peut-on déduire ?

1--On constate que pour des filtres rouge et violet le volume dégagé d'O₂ est très élevé moyen pour le bleu très faible pour le jaune mais pas de dégagement d'O₂ pour le filtre vert On déduit que les radiations lumineuses n'ont pas le même effet et la même action dans la photosynthèse on parle de **spectre d'action**.

2- suivant le graphe on constate qu'il y a une concordance entre le spectre d'absorption et le spectre d'action donc la photosynthèse est maximum pour les radiations les plus absorbées On conclue que l'énergie lumineuse absorbée par les pigments chlorophylliens est utilisée dans le phénomène de la photosynthèse.

c- comment se comporte la chlorophylle vis-à-vis de la lumière ?

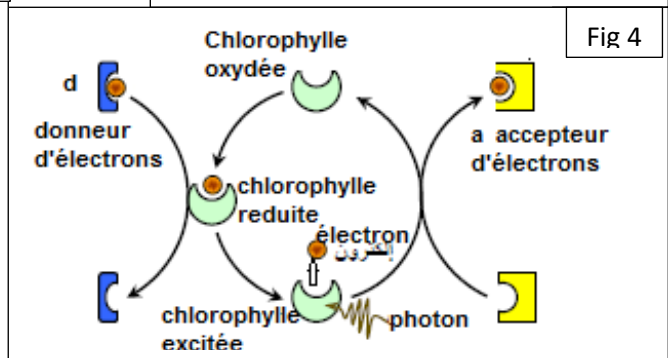
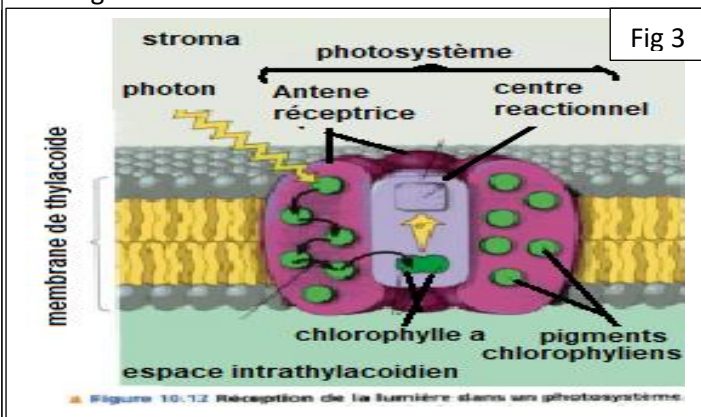
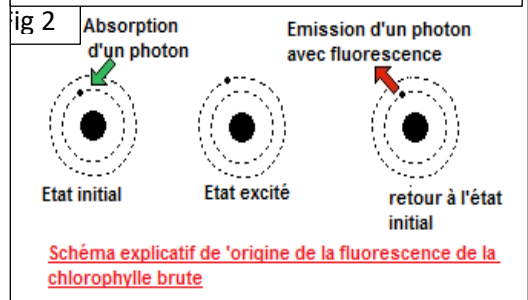
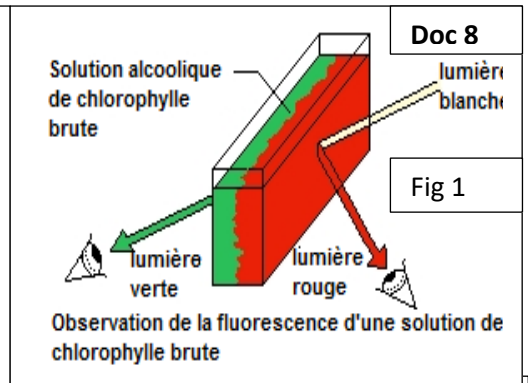
Dans une cuve en verre à faces parallèles on met une solution de chlorophylle brute. Placer une lampe puissante (spot halogène ou projecteur) devant la solution et on l'observe des deux côtés (fig1)

- observer par transparence la solution apparait verte

1- comment expliquer la couleur verte des rayons qui traversent la chlorophylle brute ?

- observer les rayons réfléchis apparait rouge. C'est la fluorescence
Lorsque la chlorophylle absorbe la lumière, certains électrons des atomes qui la composent en absorbant l'énergie lumineuse subissent des modifications qui sont à l'origine de la fluorescence de la chlorophylle brute (voir fig2)

2- Expliquer l'origine de la fluorescence de la chlorophylle Brute ?
La Fig 3 montre un schéma d'un photosystème tandis que
La Fig 4 est une explication de la captation et la transformation de l'énergie lumineuse.



3- Décrire le fonctionnement du photosystème et déduire comment transforme-t-il l'énergie lumineuse en énergie chimique

1- la lumière qui traverse la chlorophylle brute est de couleur verte du fait que la chlorophylle absorbe la plus part des radiations lumineuses à l'exception du vert.

2-lorsque la chlorophylle brute absorbe la lumière, certains électrons des atomes qui la composent absorbent l'énergie lumineuse. Ceci a pour effet de les amener à un état « excité » plus éloigné du noyau atomique. Cet état très instable ne dure que 10ns (nanoseconde) soit 1/1 000 000 000 de s et les électrons reviennent spontanément à leur état initial en restituant l'énergie absorbée sous forme de lumière rouge c'est la fluorescence.

3- le complexe photosystème est constitué de l'antenne réceptrice qui contient un ensemble de pigments chlorophylliens et un centre réactionnel renfermant la chlorophylle a.

Les pigments chlorophylliens de l'antenne réceptrice collectent l'énergie lumineuse cette énergie est ensuite transmise au centre réactionnel qui contient une molécule de la chlorophylle a qui cède un électron (chlorophylle oxydée) à un accepteur et cet électron libéré ainsi participe aux réactions de la photosynthèse donc on a transformation d'énergie lumineuse en énergie chimique.

La chlorophylle oxydée doit récupérer son électron et devienne réduite en enlevant l'électron à un donneur d'électron qui sera oxydé.

d- bilan :

- les pigments chlorophylliens absorbent différentes radiations lumineuses qui forment le spectre d'absorption
- Les radiations de spectre d'absorption coïncident avec le spectre d'action.
- la photosynthèse est à son maximum pour les radiations les plus absorbées telles que le bleu et le rouge.
- les pigments chlorophylliens transforment l'énergie lumineuse en énergie chimique comme suite :

Absorption des radiations lumineuses par les pigments chlorophylliens de l'antenne réceptrice qui la transmet à la chlorophylle a dans le centre réactionnel celle-ci cède un électron à un récepteur d'électron ce dernier rentre dans une série de réactions de photosynthèse.

Question :

Quelles sont les principales réactions de la photosynthèse ?

II- Quelles sont les principales réactions de la photosynthèse ?

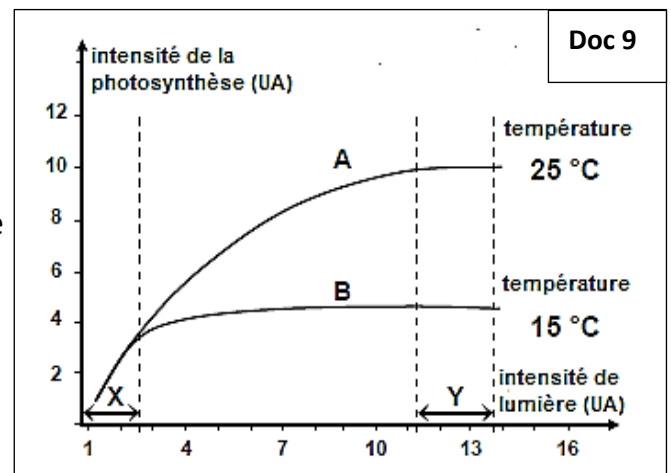
1 Quelles sont les réactions qui se déroulent au cours de la photosynthèse ?

a-Mise en évidence des étapes de la photosynthèse

❖ Expérience de Frederick Frost Backman

Dès 1905, Blackman en étudiant l'influence de la température et de l'intensité lumineuse sur la photosynthèse (voir résultat) il 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.

Que peut-on déduire de l'analyse des résultats de Blackman ?



D'après Le diagramme qui montre l'influence de la température et de l'intensité lumineuse sur l'intensité de la photosynthèse on constate que :

- Pendant la phase X ou l'intensité de la lumière est très faible on observe que l'intensité de la photosynthèse n'est pas influencée par la température par contre elle est influencée par l'intensité de la lumière puisque son intensité augmente avec l'élévation de l'intensité de la lumière donc pendant cette phase **le facteur limitant est l'intensité de la lumière**.
- Pendant la phase Y avec une intensité de lumière élevée on observe que l'intensité de la photosynthèse n'est pas influencée par l'intensité de lumière mais elle est influencée par la

température puisqu'elle augmente avec l'élévation de la température donc pendant cette phase **le facteur limitant est la température.**

D'après ces données Blackman avait supposé que la photosynthèse nécessite deux types de réactions :

- **Réactions photochimiques** qui ont besoin de la lumière et ne sont pas influencées par la température.

- **Réaction thermochimiques** influencées par la température et n'ont pas besoin de lumière.

❖ Expérience d'Emerson et Arnold 1932

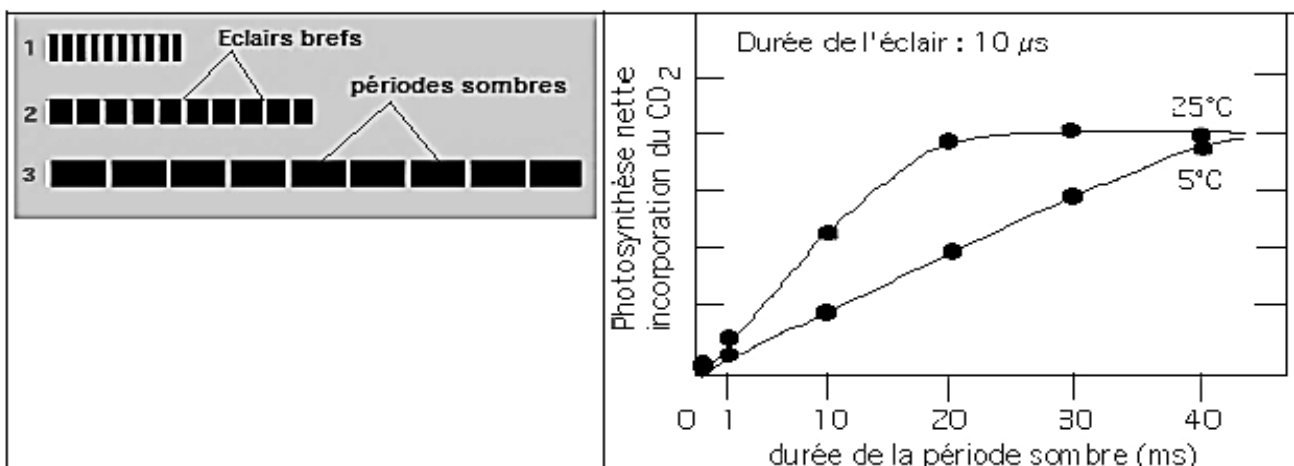
Expériences d'Emerson et Arnold (1932)

Doc 10

Ces expériences ont été réalisées sur des algues vertes unicellulaires (Chlorelles) en suspension.

L'incorporation du CO_2 est mesurée en lumière intermittente à l'aide d'un tube-néon intense qui produit des éclairs brefs ($10 \mu\text{s}$) séparés par des intervalles variables d'obscurité (entre 1 et 40 ms). (1, 2, 3)

Expérimentalement, chaque mesure est réalisée pour un total de 10 000 éclairs de $10 \mu\text{s}$ (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).



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

Les études d'Emerson et d'Arnold confirment-elles les déductions de Blackman ? expliquer

On constate que :

- à 25°C : une période sombre totale d'environ 20ms (2000fois plus importante) pour obtenir une photosynthèse nette maximum.

- à 5°C : la durée de la période sombre augmente, mais la photosynthèse nette maximum est la même.

Dans les conditions de cette expérience ou l'éclairement total bref est saturant il faut une période sombre importante pour obtenir une photosynthèse maximale.

Donc ceci confirme la déduction de Blackman.

bilan :

L'ensemble des réactions composant la photosynthèse peut être découpé en deux groupes :

- Des réactions mettant directement en jeu la lumière - on parle de phase claire qui met en jeu des réactions photochimiques de la photosynthèse
- Des réactions plus lentes, sans utilisation directe de la lumière - on parle de phase obscure qui met en jeu des réactions biochimique de la photosynthèse ou thermochimique.

Dans les conditions où l'éclairement total bref est 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 CO₂.

Remarque : On parle de façon abusive de réactions dites "claires" et "obscur", mais, dans les conditions normales (lumière continue), ces deux groupes de réactions se déroulent conjointement à la lumière. Donc, il faut préférer les termes respectivement de "réactions photochimiques" et de "réactions biochimiques d'assimilation du CO₂".

Questions :

Quelles sont les principales réactions de la photosynthèse : la phase claire (réactions photochimiques)?

Quelles sont les principales réactions de la photosynthèse : la phase obscure (réaction biochimique) ?

2- les principales réactions de la photosynthèse : la phase claire

a- Rappel

Ruben et Kamen ont mis en évidence l'origine du dioxygène dégagé au cours de la photosynthèse qui provient de l'oxydation de la molécule d'eau :



Question Quel est le devenir des protons et des électrons libérés lors de l'oxydation d'eau ?

b-Expérience de Hill

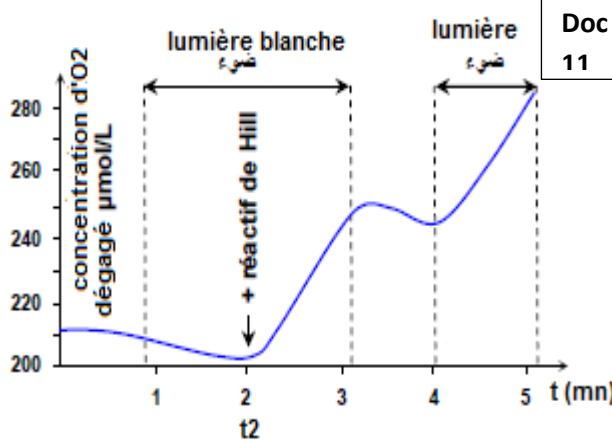
Hill a préparé une solution de chloroplaste dans un milieu sans CO₂. Puis il a mesuré le volume d'O₂ dégagé après avoir soumis la solution à une lumière blanche.

Au temps t₂ il a ajouté à la solution un accepteur d'électrons artificiel le Ferricyanure de potassium appelé Réactif de Hill qui joue le même rôle que le accepteur naturel présent dans les chloroplastes.

Ce réactif de Hill contient des ions Fe³⁺ cet ion peut accepter un électron donc réduit suivant la réaction suivante :



Analyser le résultat obtenu que peut-on déduire



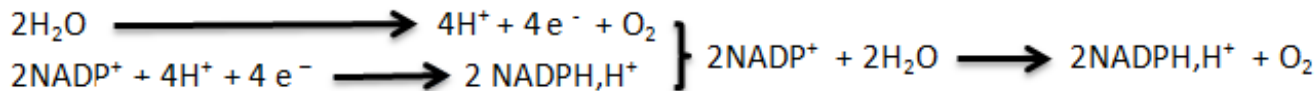
- Avant t₂ c'est-à-dire avant d'ajouter le réactif de Hill à la solution à l'obscurité et même à la lumière le volume d'O₂ dégagé est très bas.

- Après t₂ après avoir ajouté le réactif de Hill à la solution le volume d'O₂ dégagé augmente tant que la solution est soumise à la lumière mais une fois à l'obscurité ce volume diminue à nouveau. Donc le dégagement d'O₂ (c'est-à-dire oxydation de H₂O) nécessite un accepteur d'électrons dans l'expérience de Hill l'accepteur c'est l'ion Fe³⁺ Fe³⁺ + 1e⁻ → Fe²⁺

Dans le stroma des chloroplastes une substance chimique qui joue le rôle d'accepteur d'électrons et de protons H⁺ c'est la molécule NADP⁺(Nicotinamide Adénine Diphosphate) qui se réduit en acceptant 2 e⁻ et 2 protons H⁺



On déduit donc qu'il s'agit de réaction d'oxydo- réduction : oxydation d'eau et réduction de NADP⁺



Remarque : l'électron libéré par la chlorophylle a est transporté grâce à des réactions d'oxydo-réduction par des transporteurs (T₁, T₂ T₃..) intégré dans la membrane des thylacoides jusqu'à l'accepteur NADP⁺ présent dans le stroma.

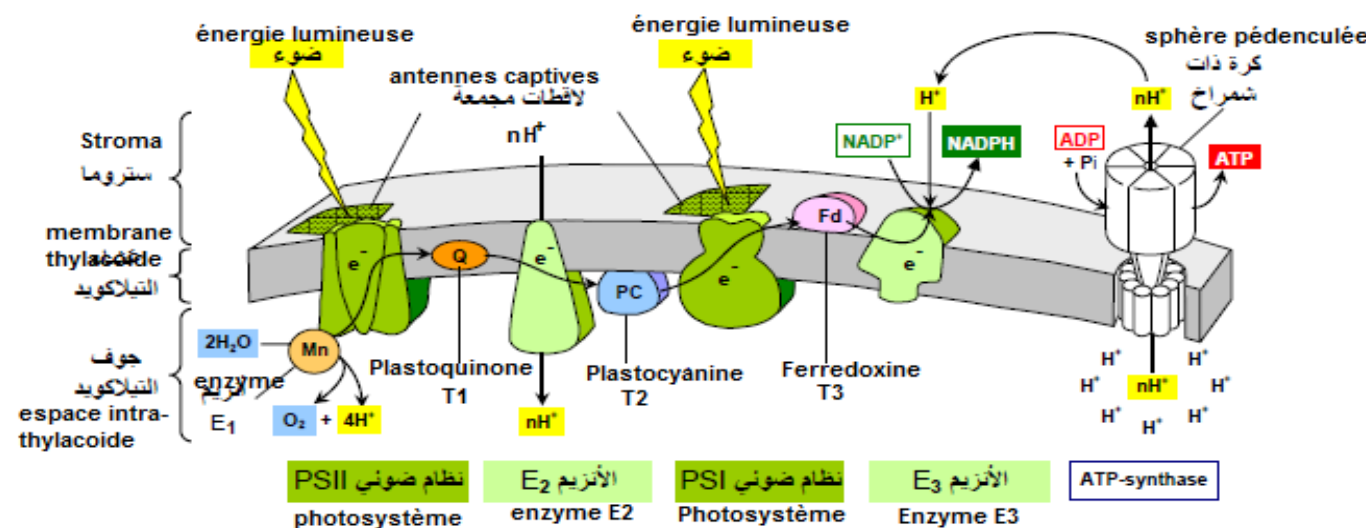
Question comment se fait ce transport d'é depuis la chlorophylle a jusqu'à l'accepteur final NADP⁺ ?

c- comment se fait le transport d'é depuis la chlorophylle a jusqu'à l'accepteur final

NADP⁺ ?

Les électrons cédés par la chlorophylle a sont transportés grâce à des réactions d'oxydo-réduction Par des transporteurs d'électrons présents au niveau de a membrane thylacoïdale jusqu'à l'accepteur final NADP⁺. Cette chaine de transport des électrons est appelée chaine photosynthétique. La figure suivante montre un schéma explicatif du mécanisme du transport d'é par la chaine photosynthétique

Doc 12



- 1- décrire le devenir des électrons une fois cédé par la chlorophylle a en déduire le rôle de la lumière
- 2- Décrire le mécanisme de synthèse de molécule d'ATP ?

1- Dans un photosystème les pigments chlorophylliens présents dans l'antenne réceptrice collectent l'énergie lumineuse qui est transmise au centre réactionnel qui contient la chlorophylle a qui est oxydée et cède un électron à un accepteur qui passe à l'état réduit (transporteur T₁)

- la chlorophylle a récupère son électron par photolyse de la molécule d'eau (oxydation d'eau et libération d'O₂)

- les électrons libérés par la chlorophylle a sont transportés grâce à des réactions d'oxydo-réduction d'un transporteur à un autre le long de la membrane thylacoïdale et ce transport nécessite un apport énergétique qui est assuré par les deux photosystèmes (PS II) et (PS I) Arrivé à l'enzyme E₃ NADP réductase qui catalyse la réduction de NADP⁺ en acceptant 2 e⁻ et 2H⁺.

- lors de ce transport l'énergie libérée par les électrons est utilisée pour pomper les protons H⁺ depuis le stroma vers l'espace intra-thylacoïdal additionné aux protons résultant de la photolyse de l'eau ainsi l'espace intra-thylacoïdal devient plus concentré en H⁺ (très acide) ceci génère un gradient de protons H⁺ (sorte d'énergie)

2- la membrane thylacoïdale est imperméable aux protons H⁺ et vue l'augmentation de concentration des protons H⁺ dans l'espace intra-thylacoïdal qui génère un gradient de protons ce qui permet l'efflux spontané des protons H⁺ à travers ATP synthase vers le stroma et l'énergie générée est utilisée pour la synthèse de l'ATP (adénosine triphosphate) une molécule riche en énergie suivant la réaction suivante :

ADP + P_i + énergie $\xrightarrow{\text{ATP synthase}}$ ATP cette réaction est appelée la Phosphorylation oxydative.

d- bilan

Lors de la phase claire ou réactions photochimiques qui nécessitent l'énergie lumineuse on a :

- Photolyse des molécules d'eau réaction d'oxydation qui libère l'O₂ et a pour but de remplacer les électrons cédés par la chlorophylle a.
 $2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{O}_2 + 4\text{e}^- + 4\text{H}^+$
- Les électrons libérés par la chlorophylle a sont transportés par une chaîne de transporteurs jusqu'à l'accepteur final NADP⁺ qui passe à l'état réduit NADPH,H⁺
 $2\text{NADP}^+ + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \longrightarrow 2\text{NADPH,H}^+$
- Synthèse des molécules d'ATP (réaction de phosphorylation de l'ADP)
 $3\text{ADP} + 3\text{P}_i \longrightarrow 3\text{ATP}$

En général la réaction globale qui caractérise la phase claire est :



Remarque :

Les molécules ATP et NADPH,H⁺ sont des molécules riches en énergie.

3- les principales réactions de la photosynthèse : phase obscure (réactions biochimiques d'assimilation de CO₂)

a-rappel :

Phase sombre caractérisée par des réactions thermochimiques (influencée par la température) ensemble de réactions biochimiques d'assimilation de CO₂-reduction- et synthèse de matières organique.

Question :

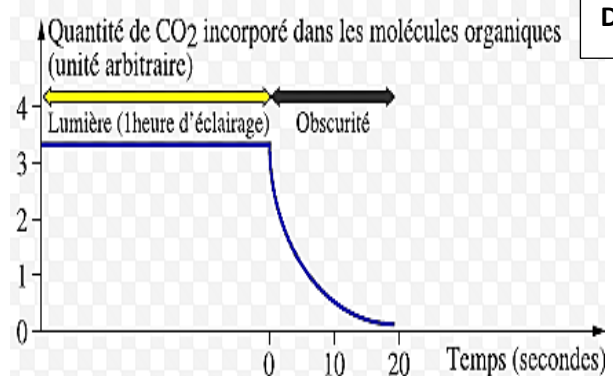
-Quel est le devenir du CO₂ absorbé par la plante chlorophyllienne ?

b- quel est le devenir du CO₂ absorbé par la plante chlorophyllienne ?

Expérience de Gaffron (1951)

Du CO₂ radioactif est fourni à une suspension d'algues unicellulaires « Chlorelles » fortement éclairée pendant 1 heure puis mise à l'obscurité. On mesure la quantité de CO₂ absorbée (fixée par les molécules organiques élaborées à partir du CO₂)(fig 1)

-Analyser et justifier les résultats de l'expérience de Gaffron que peut-on déduire



La quantité de CO₂ incorporée dans les molécules organiques reste constante et élevée tant que les algues sont éclairées mais à l'obscurité les algues continuent à incorporer le CO₂ d'une façon qui diminue progressivement puis s'annule après 18s.

L'incorporation du CO₂ dans les molécules organiques utilise des substances synthétisées pendant la phase claire et qui fournissent de l'énergie une fois épuisées après 18s de l'obscurité il y a arrêt de l'incorporation.

On déduit que les réactions de la phase sombre : réactions thermochimiques et qui sont des réactions permettant l'incorporation du CO₂ dans les molécules organiques consomment de l'énergie fournie par les substances synthétisées pendant la phase photochimique : ATP et NADPH, H⁺

Expérience Benson et Calvin (1962)

Des chlorelles (algues unicellulaires) en suspension sont cultivées dans un récipient plat et transparent.

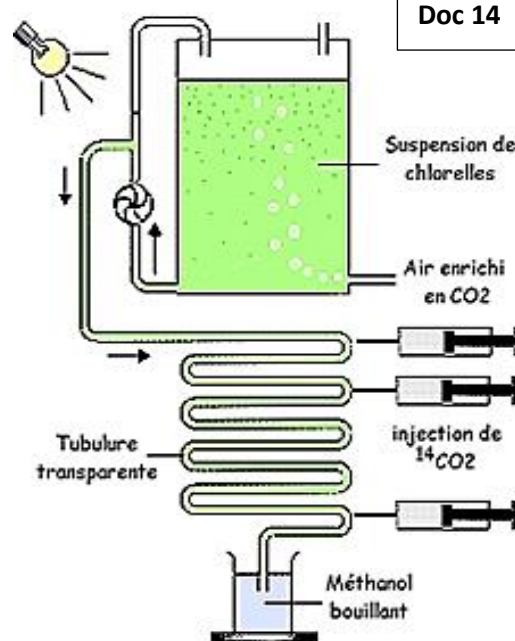
Pour favoriser la photosynthèse, le milieu est enrichi en CO_2 et le flacon est placé sous un éclairage puissant.

On injecte dans le milieu du dioxyde de carbone radioactif $^{14}\text{CO}_2$ pour suivre le devenir du carbone minéral.

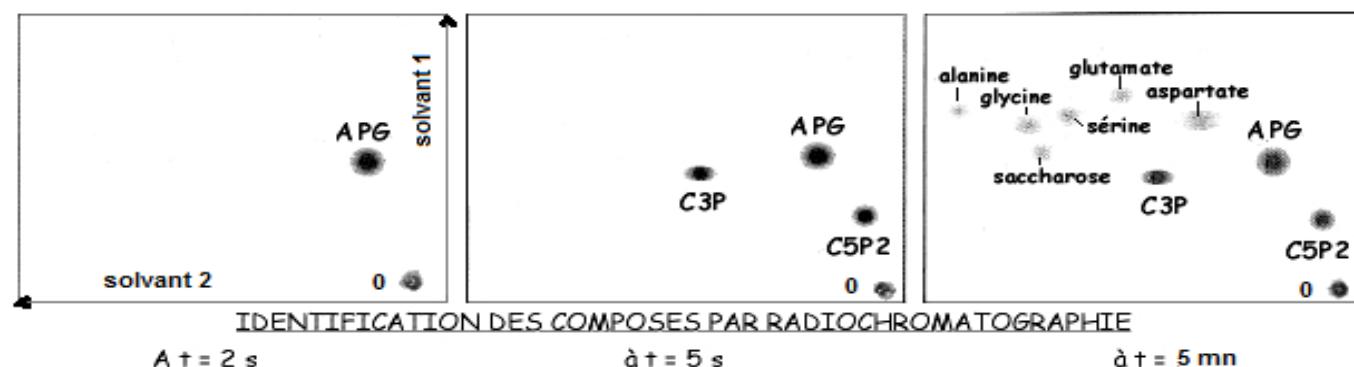
Au bout d'un temps que l'on peut faire varier, on fait couler un échantillon de la culture dans l'alcool bouillant, ce qui stoppe instantanément toutes les réactions cellulaires.

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 papier spécial : le résultat s'appelle chromatogramme.

Par autoradiographie on révèle sur papier photographique toutes les molécules contenant du ^{14}C leur position sur le chromatogramme permet d'identifier les différentes molécules.

**DISPOSITIF EXPERIMENTAL DE CALVIN**

0 : position initiale de l'échantillon prélevé
 APG : acide phospho-glycérique
 C3P : triose phosphate
 C5P2 : Ru. di P.



- 1-Dégager le devenir du CO_2 absorbé par les plantes chlorophylliennes. Justifier votre réponse
- 2-Classer chronologiquement les substances synthétisées selon leur ordre d'apparition.

1-On constate que la radioactivité apparaît progressivement dans un ensemble de substances organiques ce qui explique l'incorporation du carbone minéral (CO_2) dans les molécules organiques donc transformation du carbone minéral en carbone organique.

2- les substances synthétisées suivant l'ordre chronologique : APG (acide phospho-glycérique) ; C3P (diphosphoglycérate), Rudi P (ribulose di phosphate) et en fin après 5mnsynthèse des substances organiques plus complexe acides aminés, acides gras, saccharose.....

DÉDUCTION :

On déduit donc que le carbone minéral (CO_2) se transforme en carbone organique du faite qu'il est incorporé dans différentes molécules organiques avec le temps.

c- réduction du CO₂ et synthèse de la matière organique

Doc 15

Expérience de James Bassham et Calvin :

Des chlorelles sont cultivées dans un milieu ou barbote de l'air enrichi en CO₂ radioactif.

On mesure au cours du temps la concentration en APG et en ribulose diphosphate. Les concentrations sont réduites de la radioactivité mesurée (fig1).

a- la culture normalement éclairée pendant 30mn et ensuite transférée à l'obscurité. On mesure également la concentration en hexoses (sucre à 6 carbones).

b- la culture éclairée en permanence cesse d'être approvisionnée en CO₂

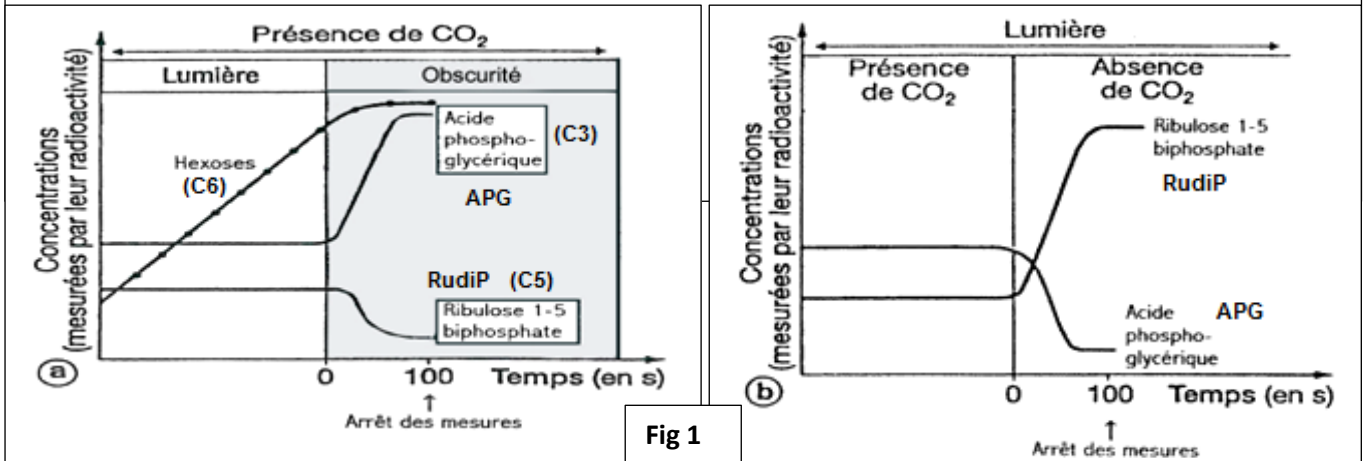


Fig 1

- 1- décrire l'évolution des trois composés C₃; C₅ et C₆
- 2- expliquer l'évolution simultanée des trois composés ?

Quelle relation existe-t-il entre l'évolution des concentrations de l'acide phosphoglycérique et du ribulose phosphate et la présence du dioxyde de carbone dans le milieu

L'incorporation du CO₂ dans les substances organiques fait intervenir plusieurs réactions biochimiques qui forment un cycle appelé cycle de Calvin. Ces réactions ne dépendent pas de la lumière se sont les réactions de la phase sombre (fig2).

3-Dégager les principales étapes du cycle de Calvin ?

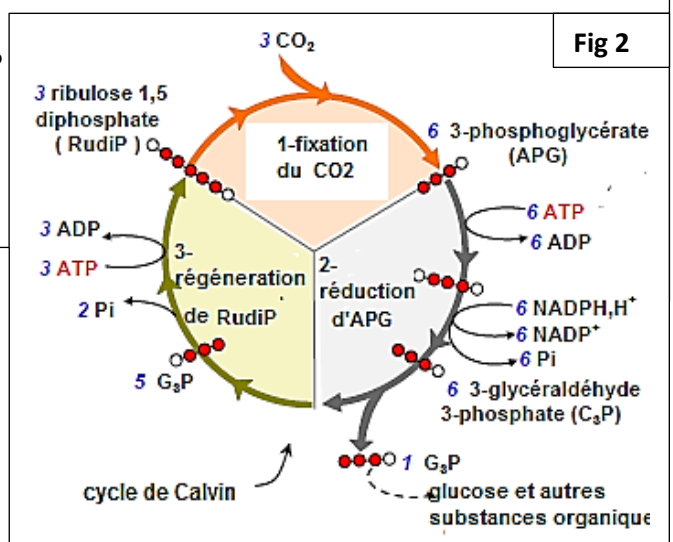


Fig 2

1-description de l'évolution des trois composés :

Dans l'expérience a avec présence du CO₂

- A la lumière on note l'augmentation progressive de la concentration des hexoses (C₆) tandis que les concentrations de l'APG et RudiP restent constante.
- Pendant l'obscurité on note l'augmentation de concentration des C₃ APG et C₆ tandis que la concentration de RudiP diminue progressivement.

Dans l'expérience 2 avec la variation de la concentration du CO₂

- En présence du CO₂ la concentration APG et RudiP est constante avec une légère supériorité de APG.

- En absence de CO₂ il y a augmentation de la concentration RudiP et diminution de la concentration de APG

2- explication

- ✓ A la lumière la concentration du RudiP et APG restent constante ceci peut s'expliquer par des réactions réversibles entre les deux composés. Mais à l'obscurité il y a accumulation de APG au dépend du RudiP qui ne peut être régénéré qu'en présence de substances produites pendant la phase claire (photochimique) qui sont ATP et NADPH, H⁺
- ✓ En absence du CO₂ l'accumulation du RudiP au dépend de APG dont la concentration diminue ceci est due à l'arrêt des réactions de la transformation du RudiP en APG tandis que l'APG se transforme en RudiP et autres substances.

Déduction :

-L'APG (l'acide phospho-glycérique) est la première substance organique fabriquée lors de l'incorporation du CO₂.

- l'APG se transforme en diphosphoglycérate utilisé pour la synthèse des substances organiques (sucre, lipide, protide) et régénérer la RudiP

Ces réactions consomment de l'énergie fournie par les substances formées lors des réactions photochimiques ATP et NADPH, H⁺.

3- les réactions formant le cycle du Calvin sont divisées en 3 principales étapes :

a-étape 1 : incorporation du CO₂ dans le RudiP (C5) pour former deux molécules d'acide phospho-glycérique (C3) dit APG.

b- étape2 : la réduction de l'APG en triose phosphate : glycéraldéhyde3-phosphate avec consommation d'une ATP et NADPH, H⁺, une partie de ces triose phosphate est utilisée pour la production des substances organiques.

c-étape 3 : la régénération du RudiP : une partie des trioses phosphate est utilisée pour la régénération de la RudiP indispensable à la fixation du CO₂. cette étape est constituée d'une série de réactions avec consommation d'énergie (ATP)

4- bilan :

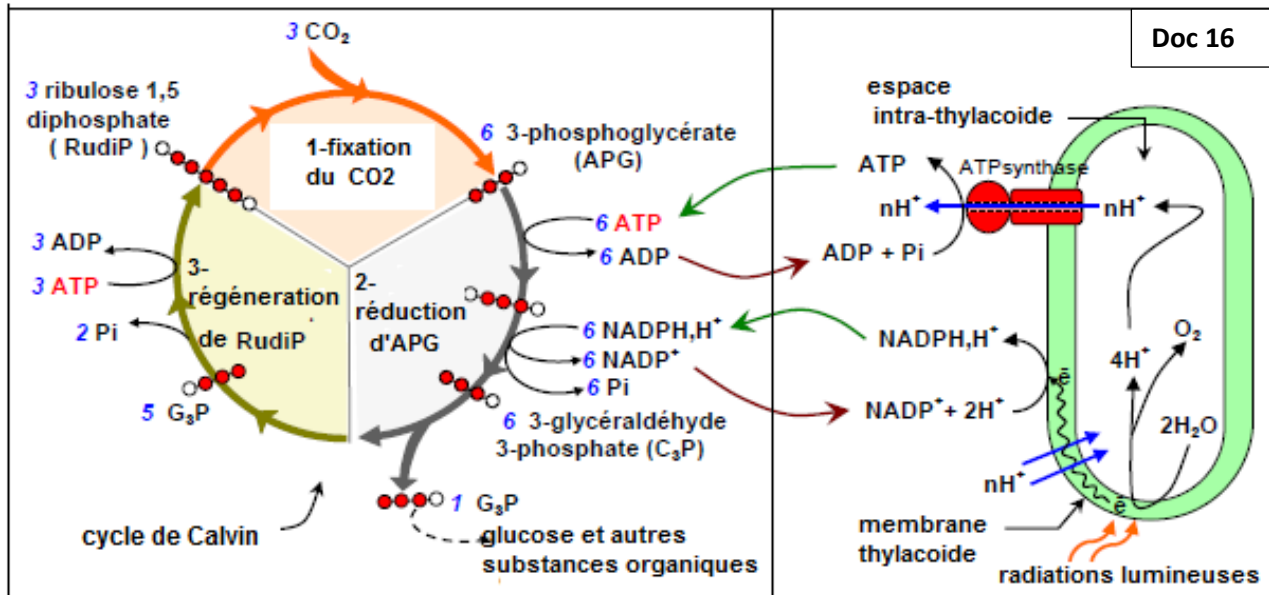
La photosynthèse est subdivisée en 2 types de réactions :

a- **réactions de la phase claire** : qui comporte des réactions photochimiques qui permettent de convertir et transformer l'énergie lumineuse en énergie chimique qui est stockée dans les molécules ATP et NADPH, H⁺ avec photolyse de l'eau et libération d'O₂.

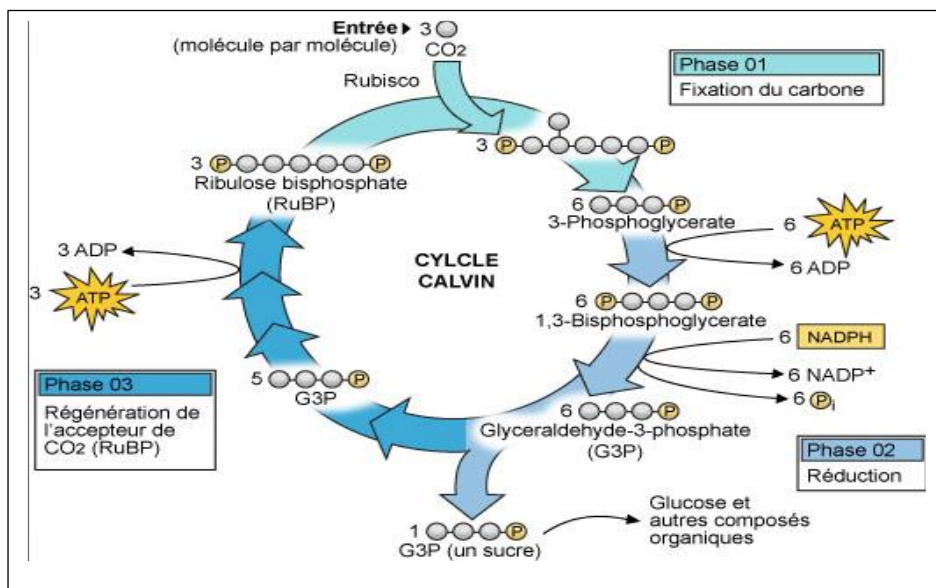
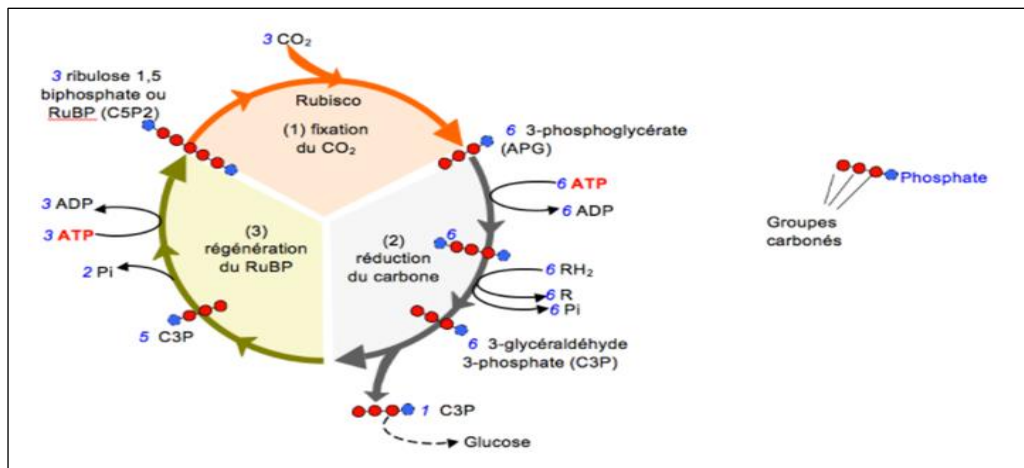


b- **réaction de la phase obscure** : ou réactions biochimiques (thermochimiques) qui consistent à incorporer le CO₂ dans les substances organiques. ces réactions utilisent l'ATP et NADPH, H⁺ fabriqué lors de la phase claire.





Donc la réaction globale de la synthèse du glucose est :



Energie lumineuse

