

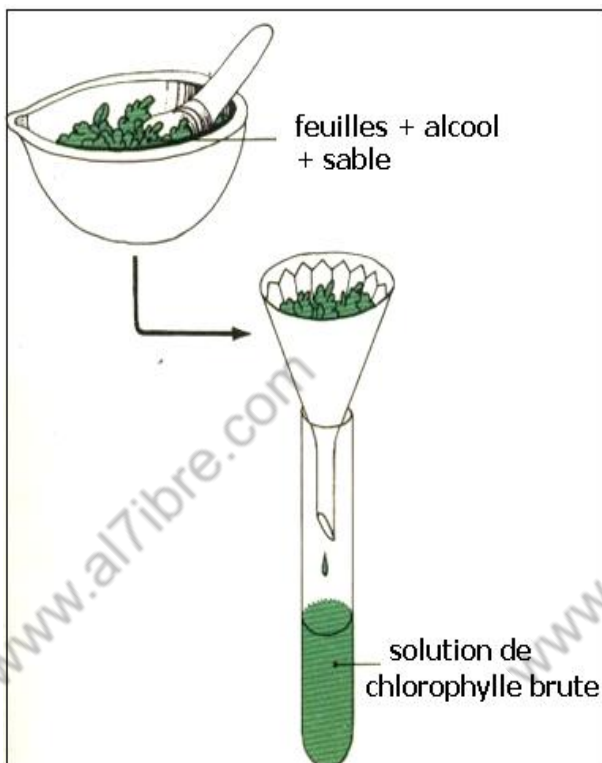
MECANISME DE LA PHOTOSYNTHESE

Pour produire de la matière organique par photosynthèse , les plantes doivent posséder la chlorophylle , puiser de l'eau et les sels minéraux du sol , absorber le dioxyde de carbone de l'air et énergie lumineuse du soleil

Qu'il est le rôle de ces élément dans la photosynthèse ?

1- Les pigments chlorophylliens :

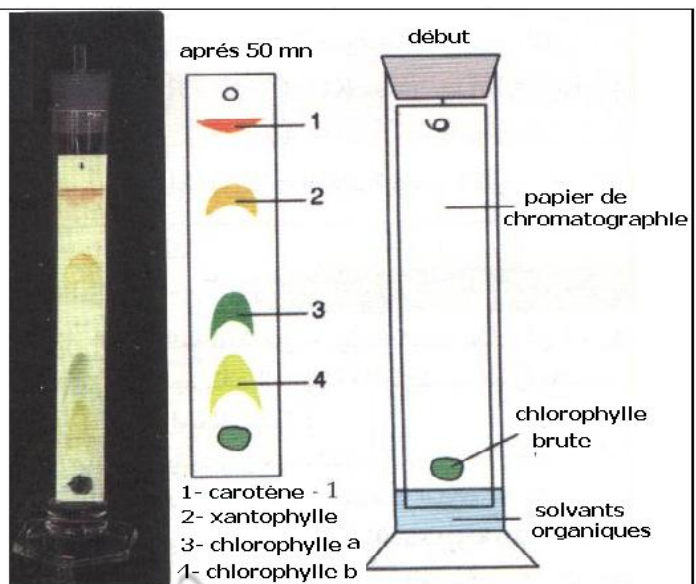
1-1- Extraction de la chlorophylle brute des feuilles :



Dans un mortier on broie des morceaux de feuilles vertes avec un peu de sable , en broyant les feuilles on ajoute de l'alcool , après broyage on filtre le contenu du mortier , on obtient une solution alcoolique de chlorophylle brute .

1-2- Séparation des pigments chlorophylliens par chromatographie :

A 2 cm environ du bas d'une bande de papier à chromatographie , on écrase un fragment de feuille verte ,on suspend le papier à chromatographie dans une éprouvette fermée contenant des solvants organiques : éther de pétrole 85 % , acétone 10 % et cyclohexane 5 % pendant 30 à 50 mn . Les pigments chlorophylliens sont des lipides à degrés de solubilité différent dans les solvants organiques , en progressant par capillarité dans le papier de chromatographie , les solvants emportent les pigments chlorophylliens selon leur solubilité



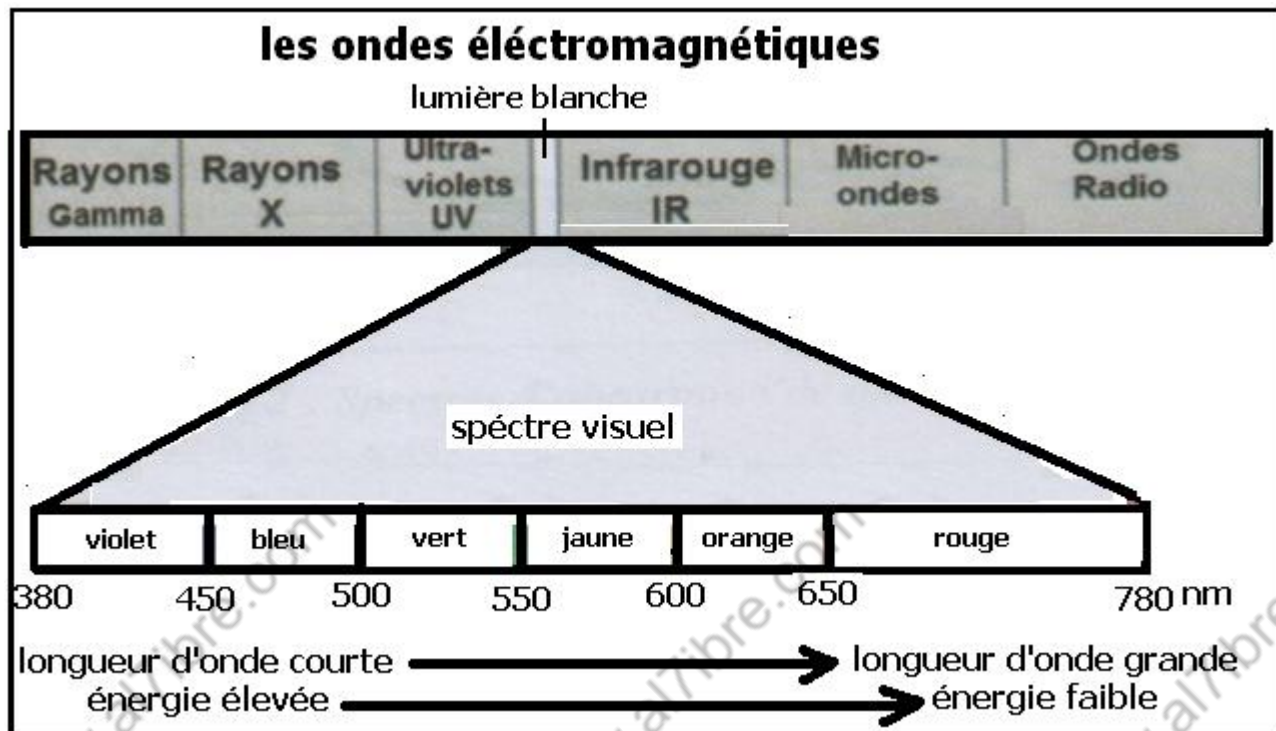
Les pigments chlorophylliens sont donc de 4 types : les carotènes , les xanthophylles , la chlorophylle b et la chlorophylle a qui possède un ion Mg^{2+} .

1-3- Relation entre les pigments chlorophylliens et la lumière :

a- La lumière blanche :

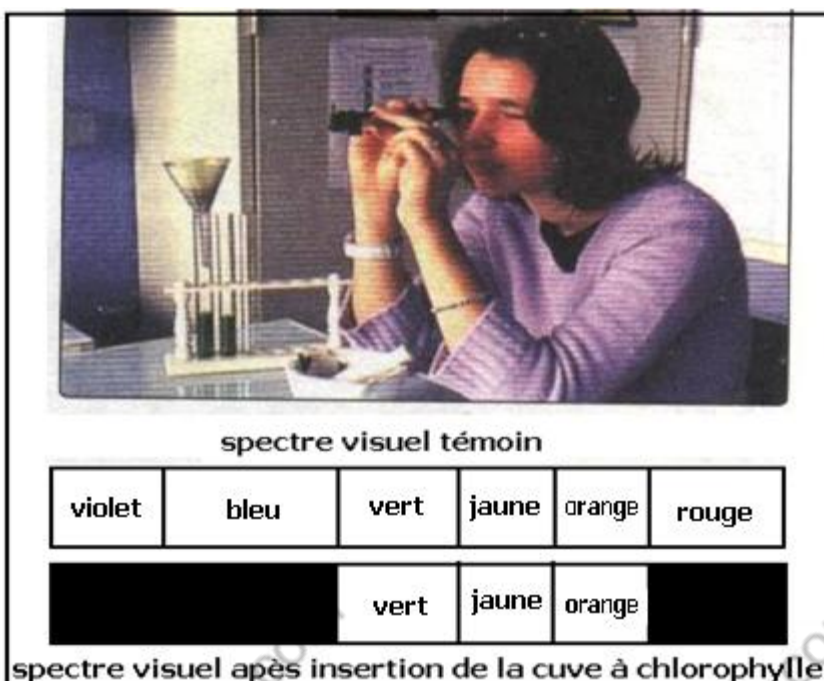
La lumière blanche est un faisceau d'ondes électromagnétiques qui diffèrent par leurs longueur d'onde .

En envoyant un rayon de lumière blanche sur la surface d'un prisme , il se décompose donnant un spectre visuel , ensemble d'ondes lumineuses visibles par l'œil humain .



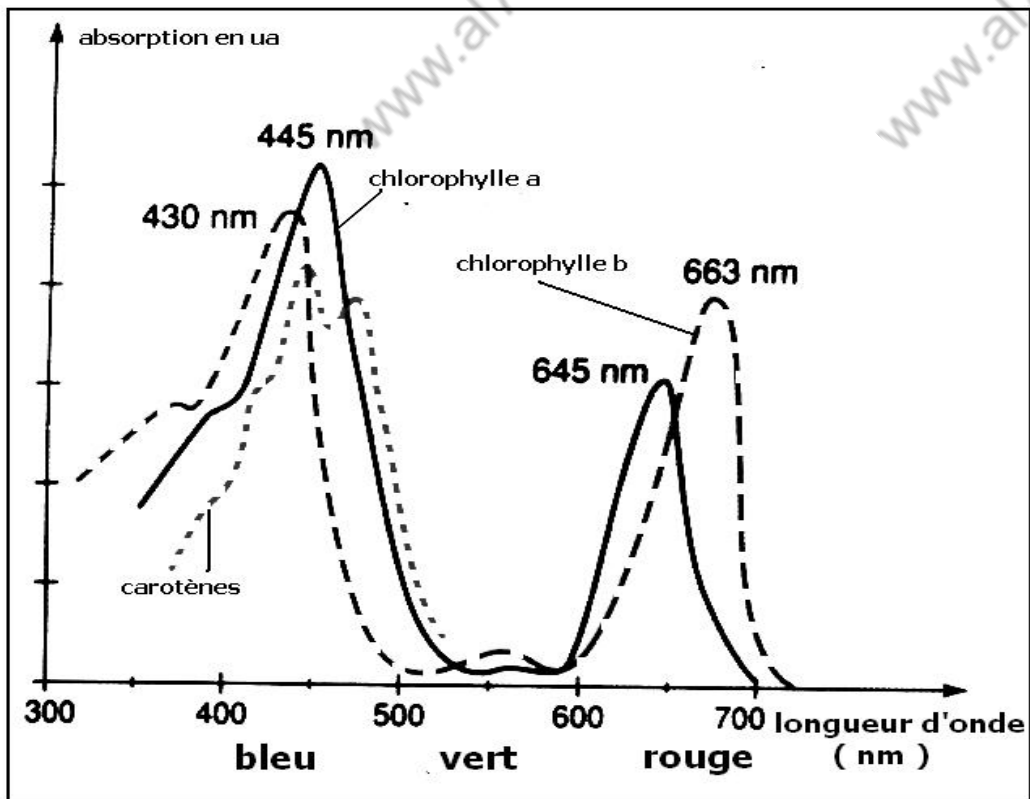
b- Spectre d'absorption des chlorophylles :

On peut l'observer à l'aide d'un spectroscope à main ,après remplissage de la cuve du spectrophoscope par la solution de chlorophylle brute :



Les couleurs violet , bleu et rouge disparaissent du spectre visuel , ils étaient absorbé par la chlorophylle

On peut mesurer avec précision les ondes lumineuse absorbées par la chlorophylle , grâce à un spectrophotomètre , qui enregistre le spectre d'absorption des pigments chlorophylliens :

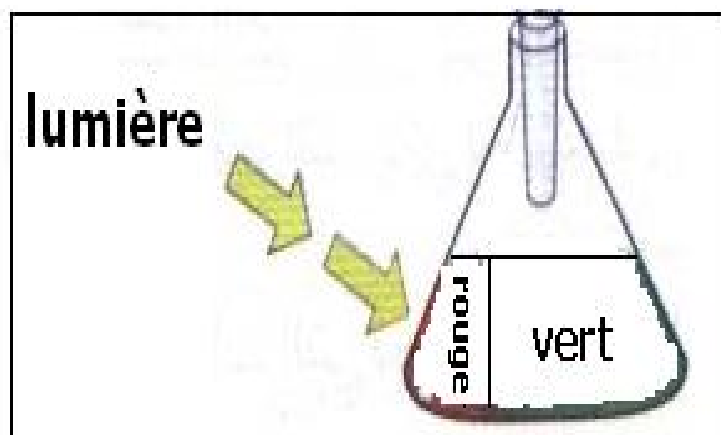


Les pigments chlorophylliens absorbent les ondes correspondant à la couleur bleu et rouge , et réfléchissent les ondes correspondant à la couleur verte

c- La fluorescence :

+ observation :

Lorsqu'on projette la lumière blanche sur une solution de chlorophylle brute , elle apparait rouge du coté de projection de la lumière , et verte du coté opposé
Du du coté de projection de la lumière , la chlorophylle émet des radiations rouges , on parle de fluorescence

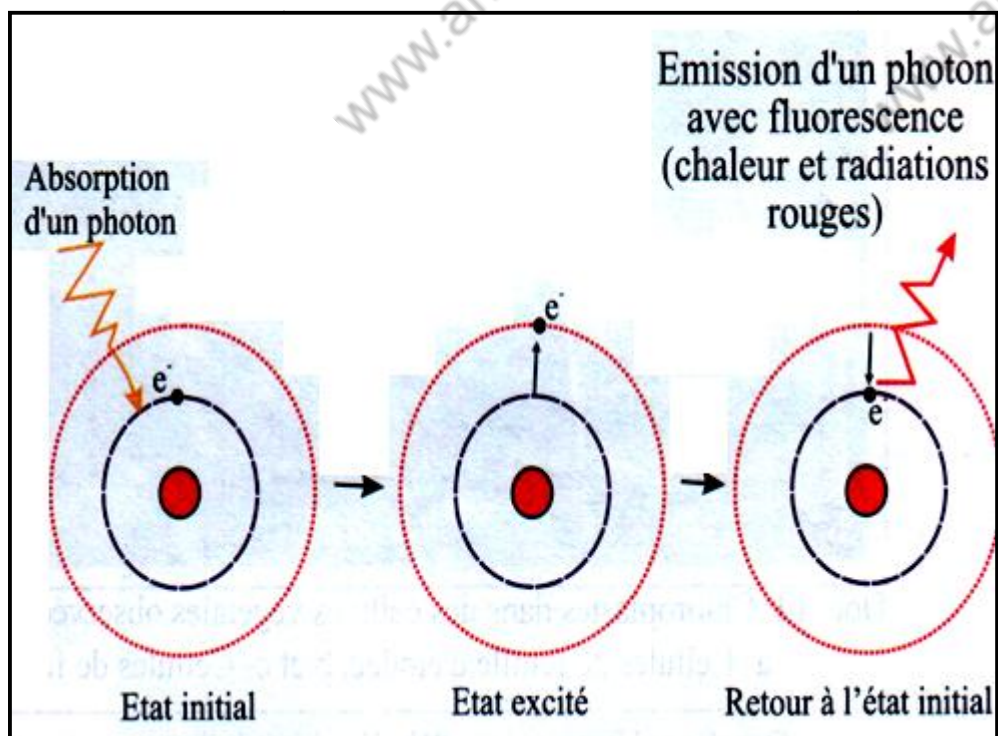


+ explication :

La lumière incidente sur la chlorophylle isolée excite des atomes des molécules chlorophylliennes. Certains atomes réagissent en perdant un électron qui sort de son orbite et s'éloigne du noyau de l'atome et acquiert un niveau énergétique élevé.

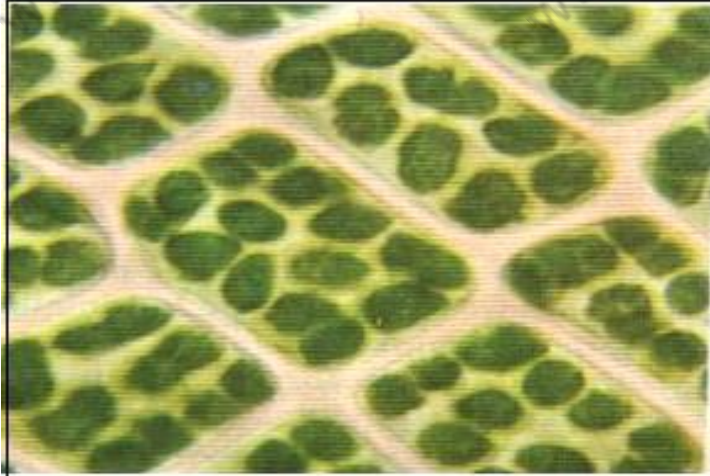
L'atome de la molécule chlorophyllienne passe de l'état initial à l'état excité qui est instable et momentané. L'électron retourne rapidement à son orbite initiale en libérant l'énergie emmagasinée: une partie est dissipée sous forme de chaleur et le reste peut apparaître sous forme de radiations rouges de moindre énergie que les radiations incidentes: L'émission de ces radiations rouges constitue la fluorescence.

In vivo, dans les cellules chlorophylliennes, le phénomène de fluorescence de la chlorophylle éclairée est trop faible pour être décelé. Cela suppose que l'énergie lumineuse captée par les pigments chlorophylliens est utilisée dans la production de la matière organique au cours de la photosynthèse.

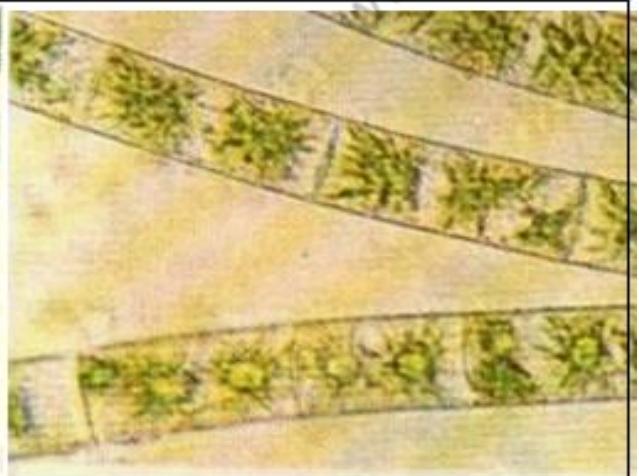


1-4- Organites contenant la chlorophylle :

a- Observation de cellules végétales au microscope optique :



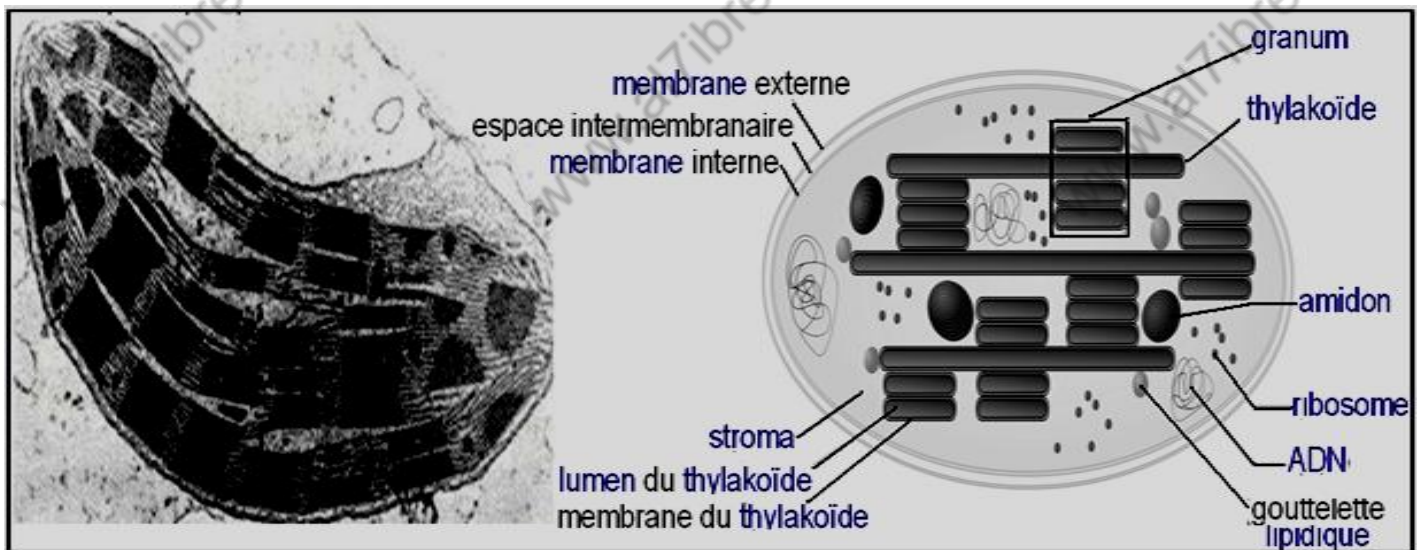
observation microscopique
de feuille de mousse
chloroplastes sphériques



observation microscopique
de filament de Zygnema
algue vert
chloroplastes étoilés

Le cytoplasme des cellules des plantes chlorophylliennes contient des organites appelés chloroplastes , leurs nombres et leurs formes varient selon les espèces

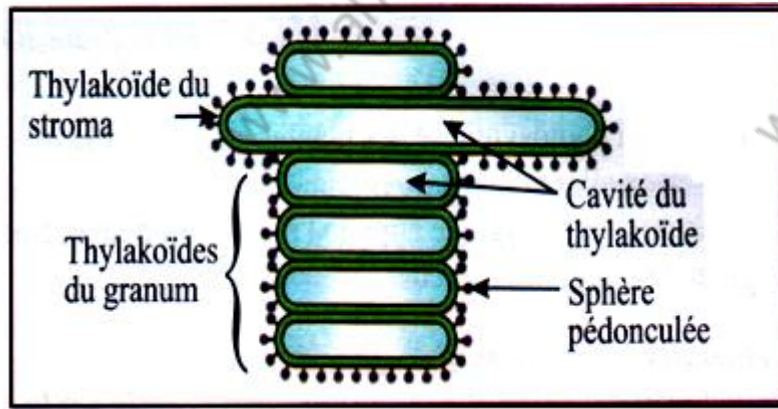
b- Ultra structure du chloroplaste :



Le chloroplaste est un organe cellulaire enveloppé par deux membranes qui limitent le contenu du chloroplaste ou stroma

Dans le stroma on trouve des saccules aplatis et clos les thylakoides qui forment par endroits des empilements ou granum .

La membrane des thylakoides est revêtu de sphères pédonculées et renferme les chlorophylles et des protéines qui jouent le rôle de transporteurs d'électrons

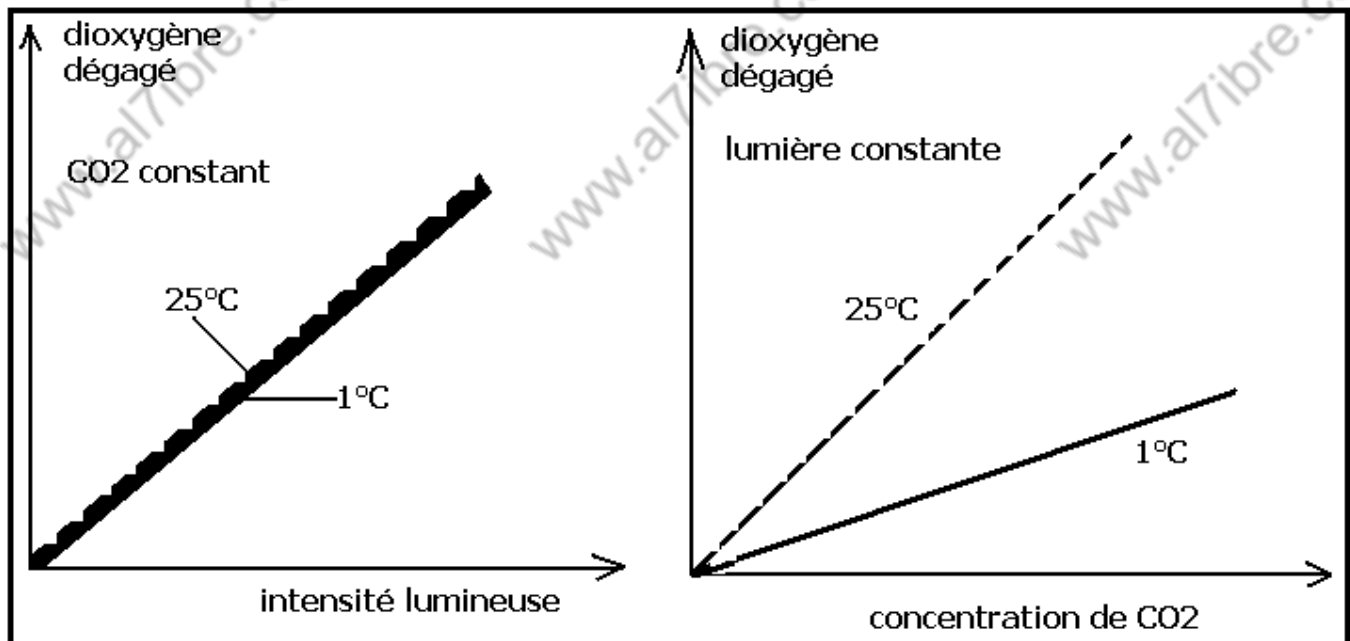


2- Etapes de la photosynthèse :

2-1- Mise en évidence : travaux de Blackman :

a- Expériences et résultats :

Blackman cultiva des plantes en faisant varier l'intensité de la lumière, la température et la concentration de CO_2 , et a enregistré l'impacte de ces paramètres sur la quantité de dioxygène dégagé par les plantes, les résultats obtenus sont représentés par les graphes suivants :



Que peut on conclure de ces résultats ?

b- Interprétation :

Du 1^{er} graphe : la quantité de dioxygène dégagé est indépendante de la température et de la quantité de CO_2 et dépend de l'intensité de la lumière

Du 2^{ème} graphe : la quantité de dioxygène dégagé est indépendante de la lumière et dépend de la température et de la quantité de CO_2 .

c- Conclusion :

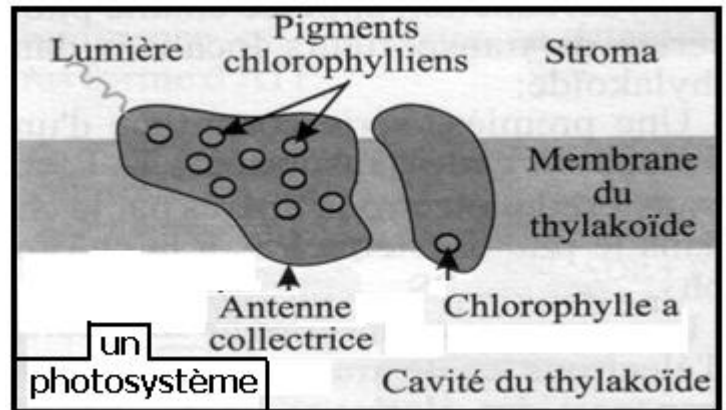
La photosynthèse se déroule en deux étapes :

Une étape dépendante de la lumière , appelée phase claire ou photochimique

Une étape dépendante de la température et du CO_2 , appelée phase obscure ou thermochimique .

2-2- La phase claire ou photochimique : Rôle de la lumière :

Les pigments chlorophylliens se localisent au niveau de la membrane des thylakoides des chloroplastes , ils s'organisent en groupes appelés photosystèmes (PS) , qui sont de deux types PSI et PSII .



Chaque PS est composé d'une molécule de chlorophylle a , et d'une antenne collectrice formé d'un mélange des autres pigments chlorophylliens qui capte l'énergie lumineuse .

L'absorption de la lumière s'accompagne de la production de O_2 , qu'il donc l'origine de cet dioxygène ?

a- Origine de O_2 rejeté :

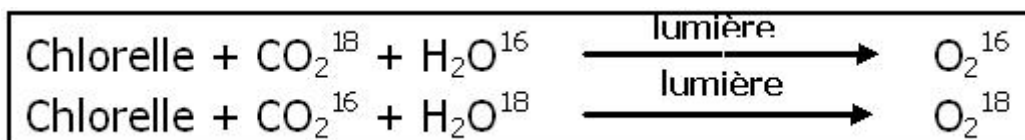
+ hypothèse :

Le dioxygène dégagé peut provenir du CO_2 absorbé par les feuilles de l'air , ou de H_2O absorbé par les racines du sol .

+ expérience de RUBEN et CARMEN :

Ils ont cultivé un algue vert unicellulaire la chlorelle en présence de composés radioactifs contenant de l'oxygène O^{18} , et ont déterminé la nature de O_2 rejeté :

+ Résultat :

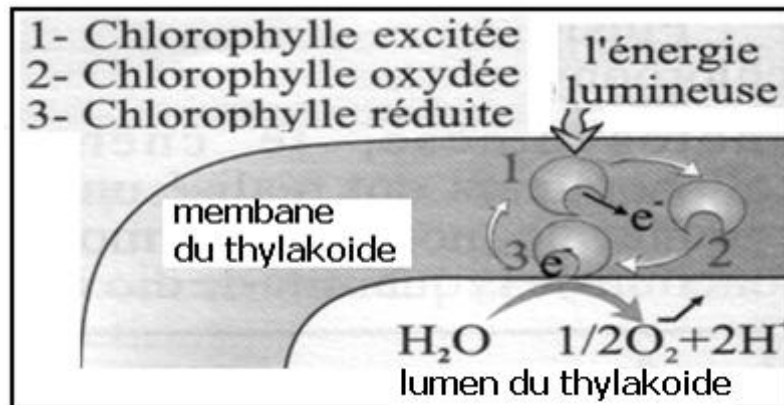


+ conclusion :

Le dioxygène rejeté provient de l'eau , qui se décompose à la lumière , on parle de la photolyse de l'eau selon la réaction suivante :



La photolyse de l'eau est due à la chlorophylle a du photosystème , l'énergie lumineuse absorbée par l'antenne collectrice est transmise à la chlorophylle a qui devient excitée et perd un électron , la chlorophylle a devient très oxydante et accepte les électrons issues de la photolyse de l'eau pour récupérer son état initial



L'eau est qualifié de donneur d'électrons .

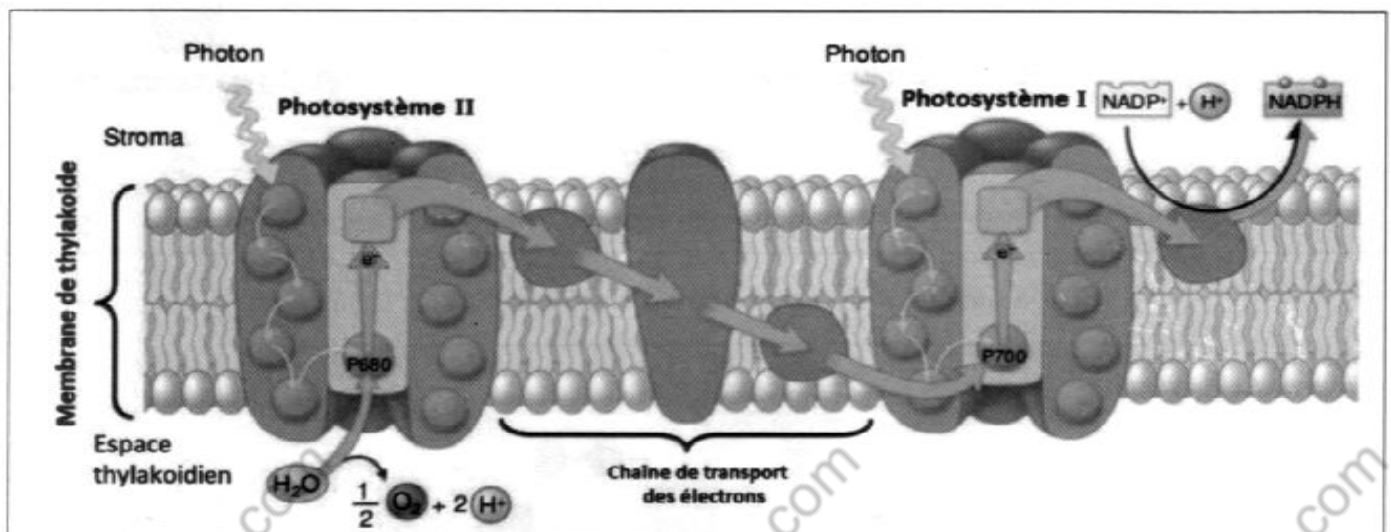
La photolyse de l'eau s'accompagne du dégagement de dioxygène et de l'accumulation des protons H^+ dans le lumen du thylakoides .

b- Destinée des électrons perdus par la chlorophylle a :

Les électrons perdus par la chlorophylle a sont transportés par des transporteurs d'électrons intégrée dans la membrane des thylakoides vers un récepteur final des électrons dans le stroma appelé nicotinamide adénine dinucléotide phosphate $NADP^+$ qui se trouve réduit selon la réaction suivante :



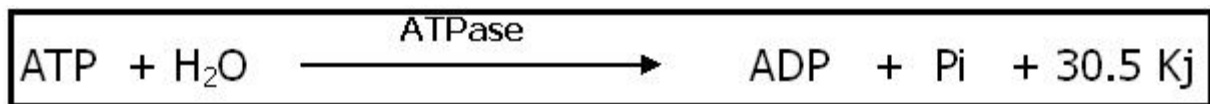
Les transporteurs d'électrons de la membrane des thylakoides ; s'organisent en deux chaines , chacune débute par un photosystème PSII et PSI . l'ensemble forme une chaîne photosynthétique .



Le transport des électrons à travers la chaîne photosynthétique nécessite l'absorption de l'énergie lumineuse par les PS , et s'accompagne de la libération d'énergie et d'un transfert de H^+ du stroma vers la cavité du thylakoïde ce qui crée une différence de concentration de H^+ et une différence de pH entre le stroma et le lumen du thylakoïde , car la membrane du thylakoïde est imperméable aux protons , cette différence de concentration de H^+ est appelée gradient de H^+ .

c- Production d'énergie chimique :

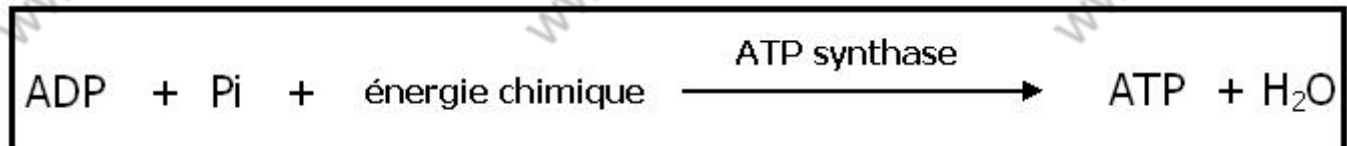
L'adénosine triphosphate ATP est la molécule de stockage de l'énergie utilisée dans toutes les activités de la cellule , les cellules extraient l' énergie de l'ATP par une réaction d'hydrolyse catalysée par une enzyme ATPase :



ADP : adénosine di phosphate

Pi : acide phosphorique , phosphore inorganique

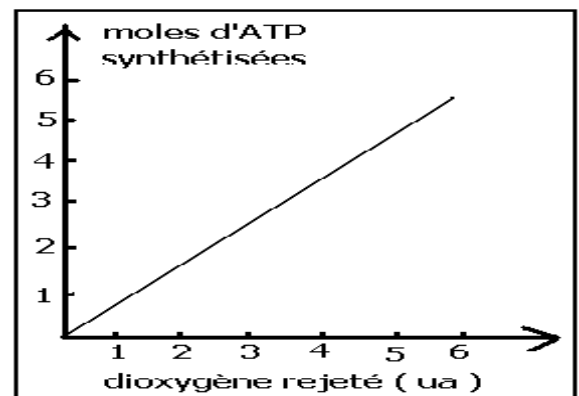
Le stockage de l'énergie et la synthèse d'ATP nécessite une source d'énergie chimique et une enzyme ATP synthase selon la réaction de phosphorylation suivante :



+ relation entre la synthèse d'ATP et l'activité photosynthétique :

Pour déterminer la relation entre la synthèse d'ATP et l'activité photosynthétique , le chercheur ARNON et ses collaborateurs ont réalisé une expérience qui consiste à compter le nombre de moles d'ATP synthétisées en fonction de la quantité de dioxygène rejeté , les résultats sont représentés par le graphe suivant :

Que peut on conclure de l'analyse de ces résultats ?



+ les conditions et les éléments nécessaires à la synthèse d'ATP :

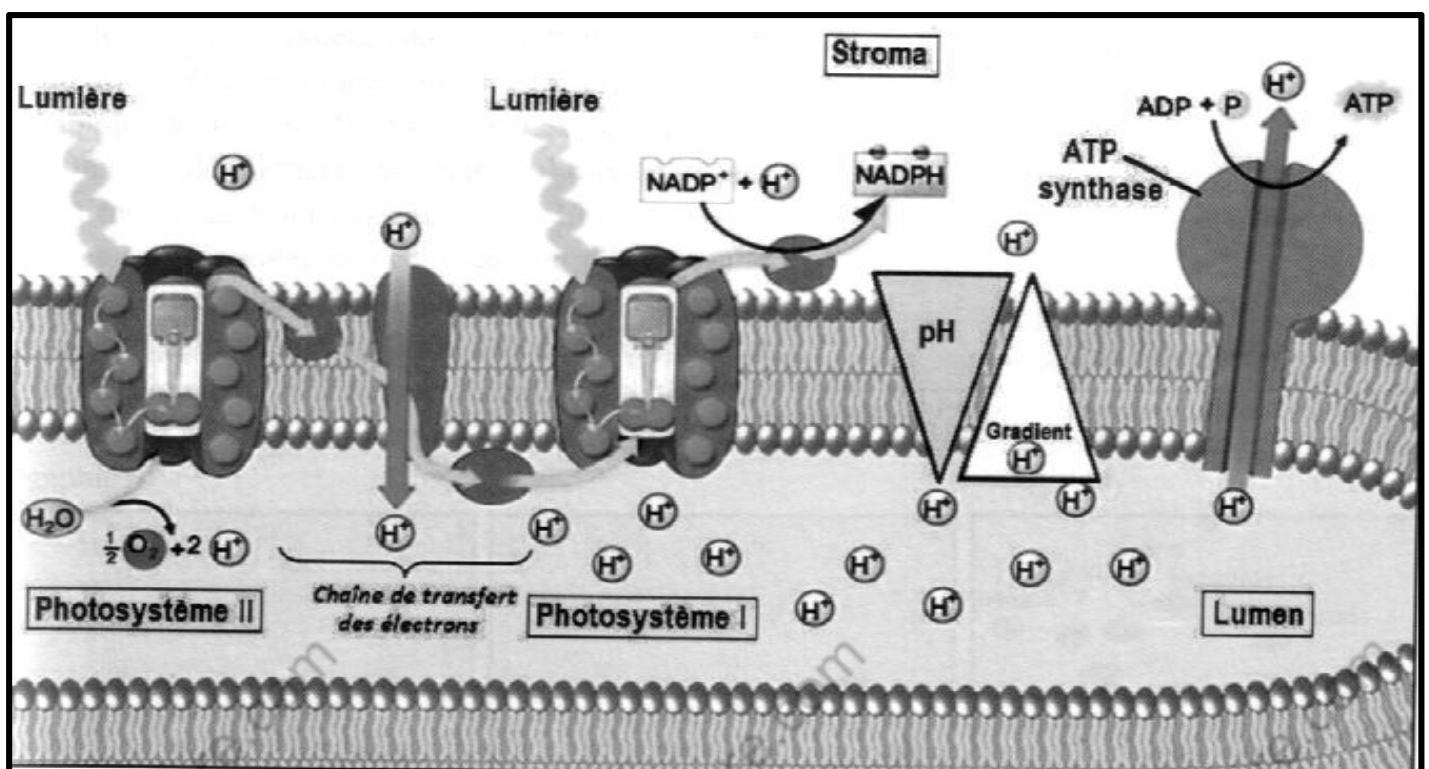
Pour déterminer les conditions et les éléments nécessaires à la synthèse d'ATP, on a réalisé des expériences dont les conditions et les résultats figurent dans le tableau suivant :

expériences	Concentration de H^+ ($mol.l^{-1}$) et pH		Sphère pedonculée	ADP et Pi	Résultat
	stroma	Lumen du thylakoïde			
1	10^{-8} pH= 8	10^{-4} pH= 4	présence	présence	Synthèse d'ATP
2	10^{-7} pH= 7	10^{-7} pH= 7	présence	présence	Pas de Synthèse d'ATP
3	10^{-8} pH= 8	10^{-4} pH= 4	absence	présence	Pas de Synthèse d'ATP
4	10^{-8} pH= 8	10^{-4} pH= 4	présence	absence	Pas de Synthèse d'ATP

A partir de l'analyse du tableau, tirer les conditions nécessaires à la synthèse d'ATP ?

+ conclusion :

Le gradient de protons H^+ entre le lumen de thylakoïde et le stroma crée un flux de protons qui s'effectue de la cavité du thylakoïde vers le stroma à travers les sphères pédonculées, ce flux entraîne la libération d'énergie et l'activation des ATP synthase des sphères pédonculées qui stockent l'énergie chimique libérée dans la phosphorylation de l'ADP en ATP.



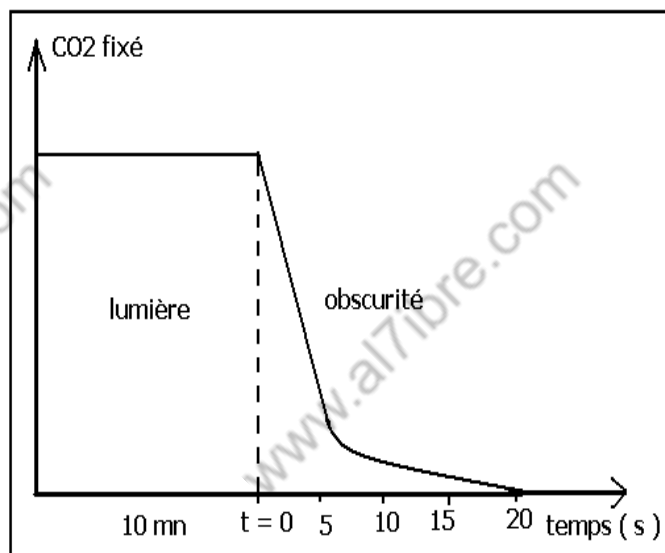
d- Résumé :

Au cours de la phase photochimique il y a absorption de l'énergie lumineuse et de l'eau et production du dioxygène rejeté dans de NADPH_2 et d'ATP qui s'accumulent dans le stroma .

2-3- La phase obscure ou thermochimique : incorporation de CO_2 :

a- Dépendance des deux phases de la photosynthèse :

Gaffron et ses collaborateurs ont mesuré la quantité de CO_2 incorporée dans la matière organique par des algues vertes unicellulaires à la lumière pendant 10 mn puis à l'obscurité en barbotant du CO_2 radioactif avec du C^{14} , les mesures ont donnés le résultat suivant :



Que peut on conclure de l'analyse de ces résultats ?

- b- Résultat de l'incorporation de CO_2 :
+ travaux de Benson et Calvin

Expérience de Calvin et Benson (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. Les cellules tombent enfin dans du méthanol bouillant qui bloque instantanément toutes les réactions chimiques. Les substances organiques sont extraites des cellules ; on place ensuite une goutte d'extrait au point 0 sur une feuille de papier à chromatographie puis, en utilisant successivement deux solvants différents, on réalise une chromatographie bidimensionnelle. Les chromatogrammes obtenus sont autoradiographiés

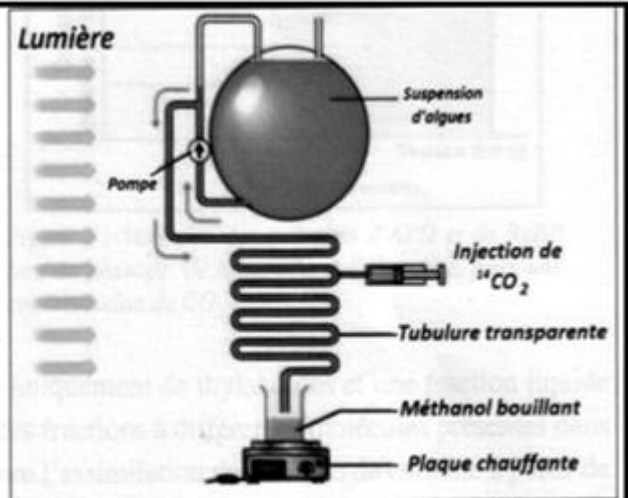


Figure 1 : Protocole expérimental permettant l'identification des produits organiques formés lors de la photosynthèse.

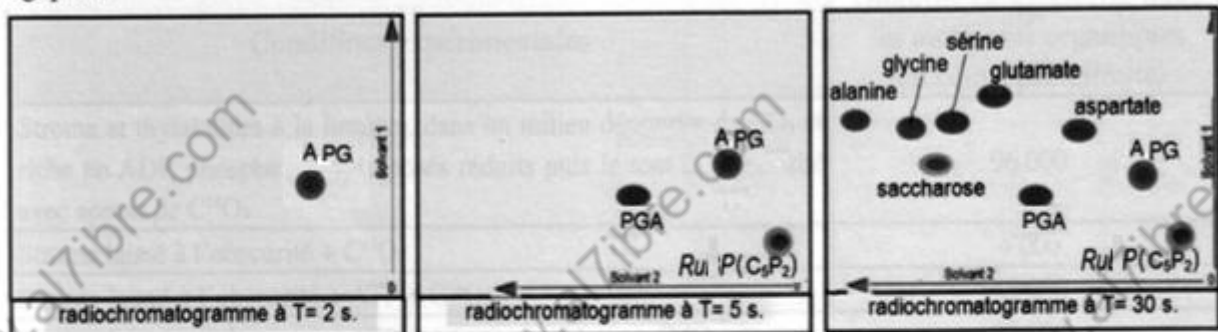


Figure 2 : L'identification des premiers produits organiques formés par chromatographie bidimensionnelle

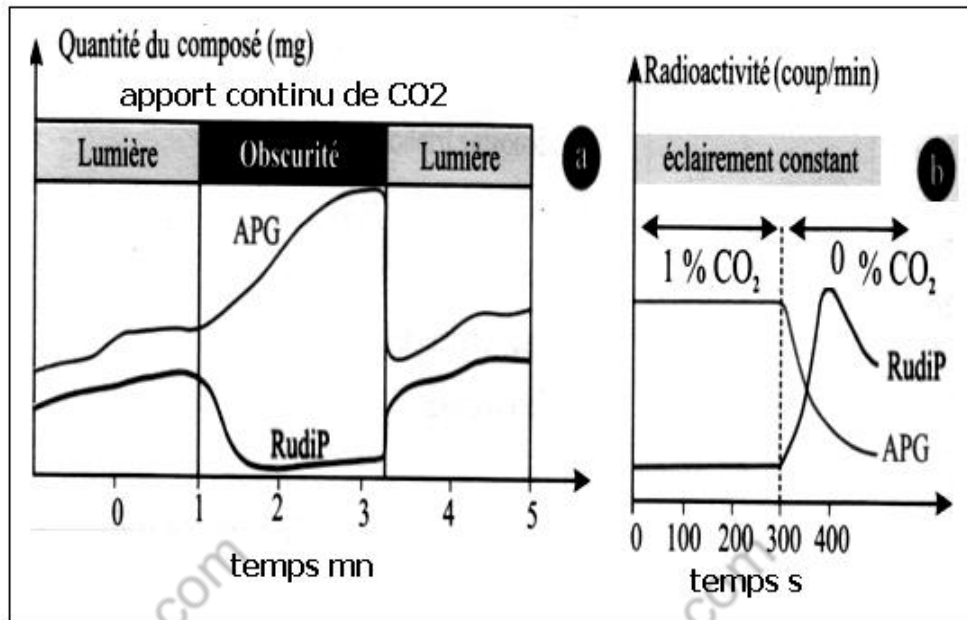
En analysant les résultats obtenus dans les radiochromatogrammes :

- 1- Déterminer le premier produit résultant de l'incorporation de CO_2 ?
- 2- Donner la succession des produits qui apparaissent après 2 s ?

- 1- Le premier produit qui résulte de l'incorporation du CO_2 est l'acide phosphoglycérique (APG) un composé carboné à 3 carbones , les plantes dont le premier produit carboné de la photosynthèse est l'APG sont appelées plantes C3
- 2- Après l'APG apparaissent successivement :
 - le phosphoglyceraldéhyde (PGA) le plus petit sucre simple à 3 carbones , il résulte de la réduction de l'APG
 - Le ribulose diphosphates (RuDP) un sucre du stroma à 5 carbones
 - Différents types de produits organiques , sucre à 12 c le saccharose et différents acides aminés

+relation entre APG et RuDP :

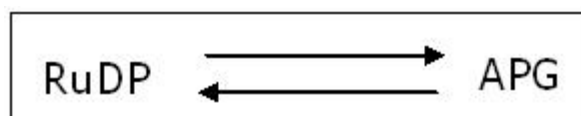
Pour déterminer la relation entre l'APG et le RuDP , Benson et Calvin ont suivi l'évolution de la quantité de ces deux composés dans une suspension de chlorelles dans différentes conditions , les résultats obtenues sont représentés par les graphes suivants :



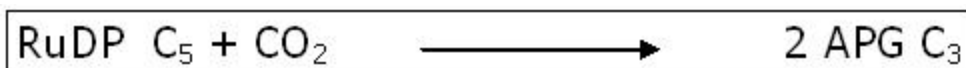
Que peut on déduire de l'analyse de ces résultats ?

Analyse du graphe a :

- A la lumière et en présence de CO₂ la quantité d'APG est supérieure à la quantité de RuDP , leur évolution est en parallèle , ce qui s'explique par renouvellement continu des deux produits .



- A l'obscurité et en présence du CO₂ l'APG s'accumule et la quantité du RuDP diminue , le RuDP donne l'APG en présence du CO₂



- Le retour à la lumière ramène les concentrations initiales des deux composés .l'APG renouvelle le RuDP à la lumière .

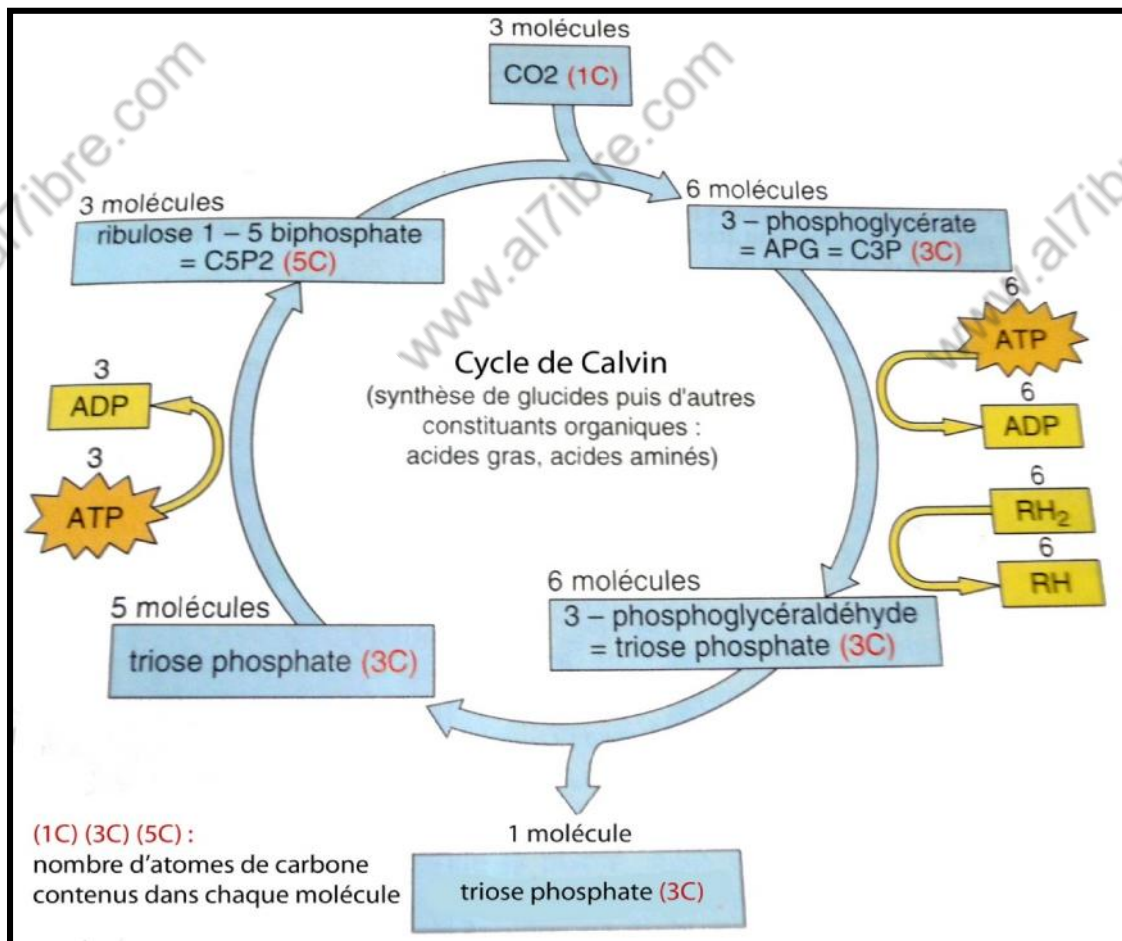
Analyse du graphe b :

- A la lumière et en présence de CO_2 on a renouvellement continue des deux produits .
- En absence de CO_2 , et malgré l'éclairement la quantité de l'APG diminue alors que la quantité du RuDP augmente , l'apparition de APG à partir du RuDP nécessite le CO_2 .

c- Conclusion :

Au niveau du stroma se trouve le RuDP sucre phosphaté à C_5 , et un enzyme la RuDP carboxylase ou Rbisco qui catalyse la réaction de carboxylation du RuDP par le CO_2 , ainsi s'intègre le CO_2 dans la matière organique produisant 2 APG à C_3 , premier produit de la photosynthèse chez les plantes C_3 .

L'APG renouvelle le RuDP à travers un cycle de réaction appelé cycle de Calvin , ces réactions consomment les produits de la phase claire ATP et NADPH_2 , d'où la dépendance des deux phases :



Le PGA qui quitte le cycle de calvin est la base des différents types de matière organique .

d- Remarque :

En plus des plantes C_3 , il existe des plantes nommées C_4 , ce sont des plantes des zones arides très chaudes le jour ,les stomates ne peuvent s'ouvrir que la nuit pour éviter la perte d'eau ; ainsi , ces plantes absorbent le CO_2 la nuit ,le CO_2 réagit avec l'acide pyruvique à 3 C pour donner l'acide malique à 4 C qui s'accumule, ainsi le premier produit de l'incorporation du CO_2 est à 4 C d'où le nom de plantes C_4 . Pendant le jour , la réaction inverse se produit , le CO_2 libéré entre dans le cycle de calvin en présence des produits de la phase claire .