

DIVERSITE ET COMPLEMENTARITE DES METABOLISMES**CHAPITRE 1 : La photosynthèse**

Herbier de posidonies en méditerranée (Bonifacio) : les premiers maillons d'une chaîne alimentaire.


Les végétaux chlorophylliens sont des producteurs primaires : ils fabriquent leurs constituants organiques à partir de substances minérales et sont dits pour cela "autotrophes" par opposition aux autres êtres vivants "hétérotrophes".

Pb : Comment cette autotrophie est-elle possible ?

I- La synthèse de matière organique**1- Localisation de la photosynthèse dans une plante éclairée**

En démo au bureau : feuilles de géranium éclairées 24h avec cache + témoin à l'obscurité


Montage expérimental




JE MANIPULE

- Recouvrez deux feuilles de pélargonium par des caches. Placez la plante une nuit à l'obscurité, puis 24 h à la lumière.
- Prélevez une feuille après une nuit à l'obscurité et une autre feuille après 24h à la lumière. Plongez-les quelques minutes dans de l'alcool bouillant.
- Recouvrez de lugol puis rincez. Le lugol colore en brun-noir les zones avec de l'amidon et en clair les zones sans amidon.

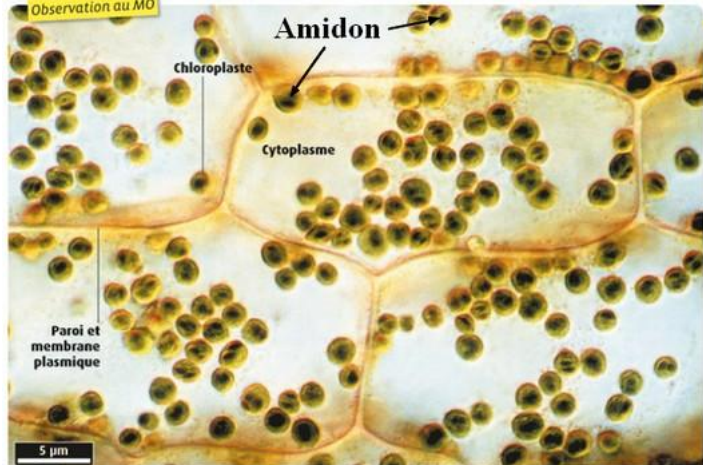
Feuille prélevée après une nuit à l'obscurité



Feuille prélevée après 24 heures d'éclairement

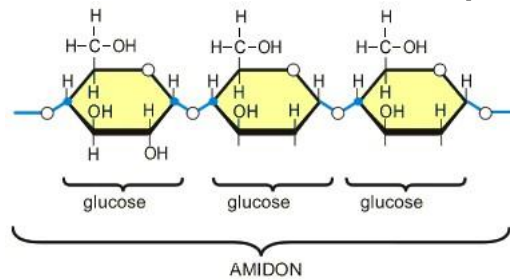


Observation au MO



3 Une feuille d'élodée placée 24 heures à la lumière puis colorée au lugol (voir la même feuille avant coloration, doc. 1 p. 44). Les chloroplastes contiennent un pigment qui donne leur couleur verte aux végétaux : la chlorophylle. Cette molécule est capable de capter l'énergie lumineuse. Une fois captée, cette énergie est transformée et utilisée par la cellule, par exemple afin de réaliser les transformations chimiques du métabolisme. Les organismes possédant de la chlorophylle sont dits chlorophylliens.

Documents extraits du manuel de 2nde SVT Belin 2010 p110-111

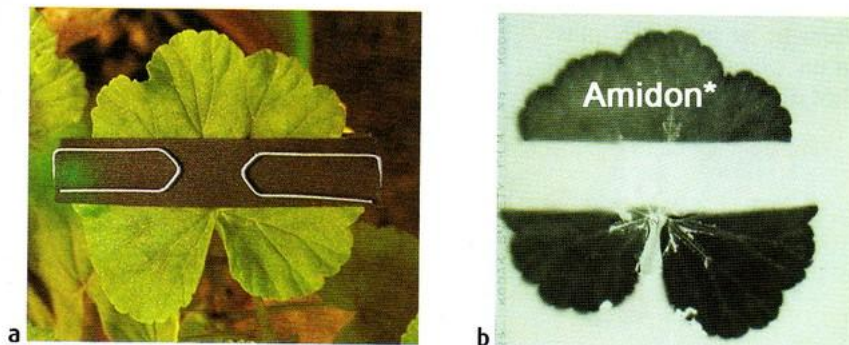
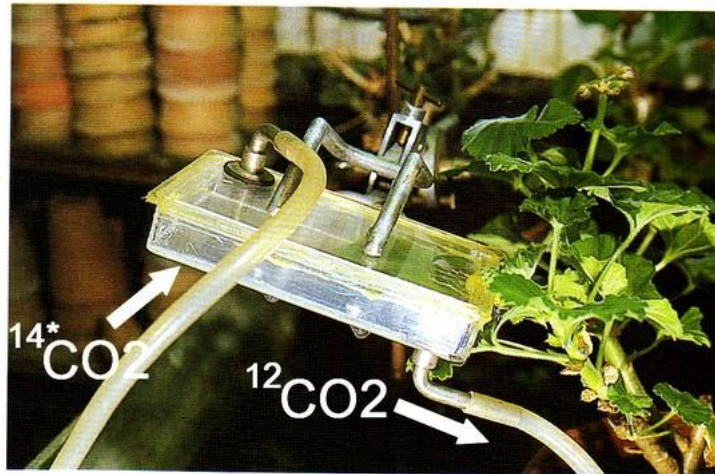
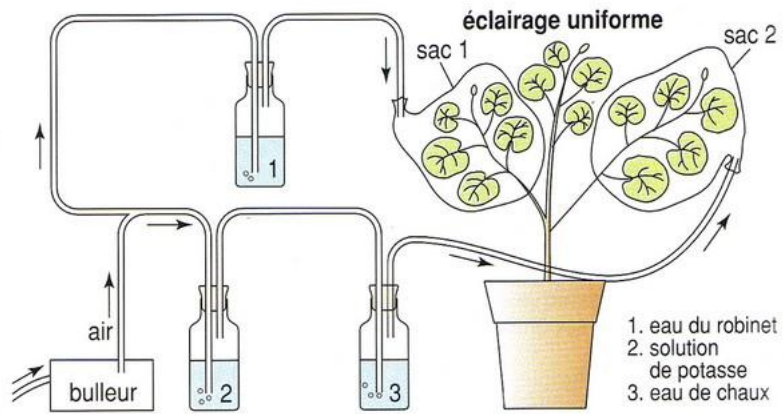


La synthèse de matière organique est photodépendante : elle ne se produit qu'à la lumière dans les **chloroplastes** des cellules végétales. Cette matière organique est **une macromolécule glucidique** : l'**amidon**, révélé par l'eau iodée.

Pb : Pour synthétiser de la matière organique carbonée, il faut une source de carbone et une source d'énergie. L'expérience précédente met clairement en évidence l'importance de la lumière dans ce processus mais comment prouver que la source de carbone est bien le CO₂ atmosphérique ?

2- Recherche de la source de carbone

Manuel p178, 179



Documents extraits du manuel de SVT spe Bordas 2002 p178-179

Chez les végétaux chlorophylliens, le carbone utilisé pour synthétiser l'amidon est issu d'une **molécule minérale oxydée** : le **CO₂ atmosphérique** ou l'**ion hydrogén**
 Les êtres vivants capables de produire de la matière organique en procédant à la réduction d'une matière minérale (CO₂ ou HCO₃⁻) sont dits **autotrophes pour le ca**

Remarque : l'autotrophie peut également concerner l'azote : un organisme capable de réduire l'azote minéral (N₂ ou NO₃) est dit autotrophe pour l'azote...

Pb : la source d'énergie nécessaire à cette synthèse de matière organique est-elle toujours la lumière ?

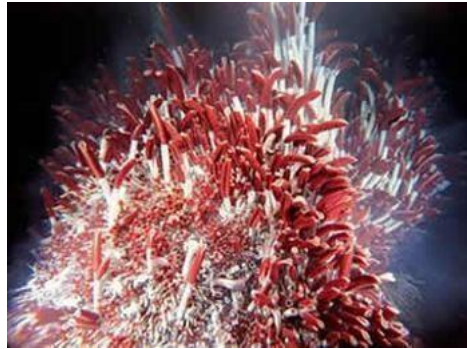
3- la source d'énergie



[Source](#)

Le soleil produit de l'énergie et la lumière la transporte vers la Terre : c'est l'énergie lumineuse qui est convertie en énergie chimique par les végétaux verts. Ainsi, l'énergie se retrouve dans les chaînes alimentaires et elle ne fait que circuler d'êtres vivants en êtres vivants...

Ex 4p192



Colonie de vers du genre Riftia au voisinage d'un fumeur noir sur le plancher océanique ([Source](#))

Les végétaux chlorophylliens utilisent l'énergie lumineuse du soleil pour réaliser la synthèse de matière organique : on parle de **phototrophie** ou plus généralement d'**écosystèmes particuliers** comme au voisinage des sources hydrothermales des grands fonds océaniques, il existe des bactéries autotrophes qui tirent leur énergie de l'**inorganiques** (hydrogène, sulfure d'hydrogène) : on parle alors de **chimiotrophie** ou plus généralement de **chimiosynthèse**.

Remarque : chez les Eucaryotes, d'une manière générale, les organismes autotrophes sont aussi phototrophes et les organismes hétérotrophes sont aussi chimiotrophes.

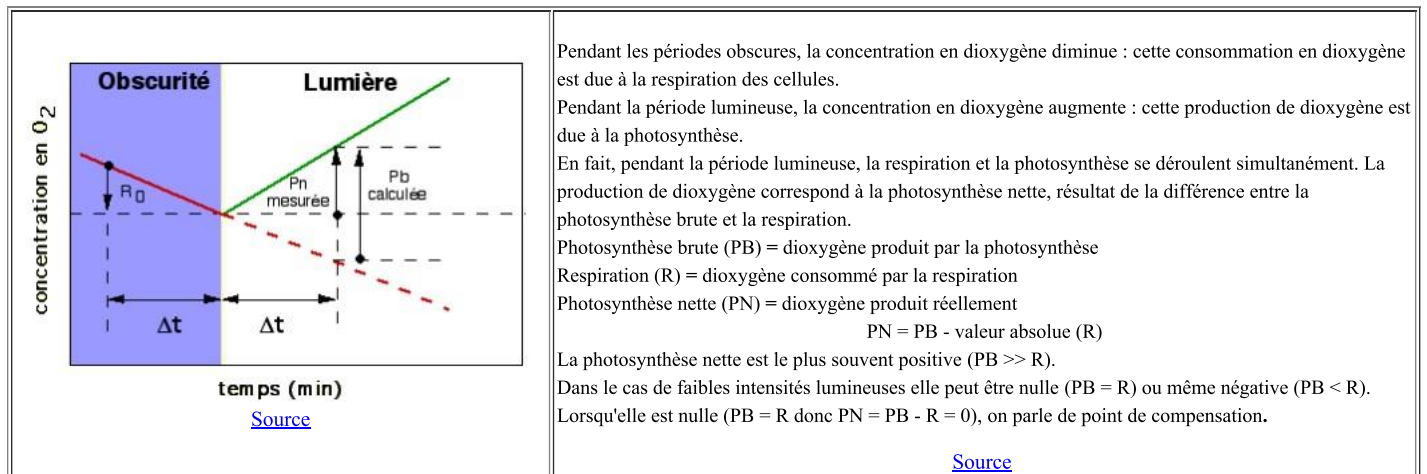
Ces deux types de caractéristiques ne sont cependant pas toujours couplées chez les bactéries (Procaryotes) où les types trophiques sont plus complexes (voir [types trophiques des bactéries](#)). NOTION HORS PROGRAMME! [Source](#)

Pb : comment mesurer l'absorption de CO₂ par un végétal chlorophyllien éclairé ? Par ailleurs, il est courant d'entendre que les plantes dégagent du dioxygène : certains n'hésitent pas à parler des grandes forêts comme les "poumons de la planète" : est-ce justifié ?

II- Les échanges gazeux chez un végétal chlorophyllien

I- Mise en évidence des échanges gazeux d'une plante verte aquatique (l'élodée) à l'obscurité puis à la lumière

En démo : EXAO avec élodée + sonde O₂ + sonde CO₂



Remarque 1 : les échanges gazeux de la respiration et de la photosynthèse étant contraires, il y existe un point de compensation pour lequel la plante verte ne produit pas plus de dioxygène par photosynthèse qu'elle n'en consomme pour la respiration.

Remarque 2 : dire que la forêt amazonienne est le "poumon de la Terre" est une idée fautive car c'est oublier que globalement les plantes respirent autant qu'elles font de la photosynthèse et c'est oublier aussi qu'un bois mort est consommé par des millions de microorganismes qui eux aussi respirent!

Pour aller plus loin : <http://planet-terre.ens-lyon.fr/planetterre/XML/db/planetterre/metadata/LOM-oxygene-forets.xml>

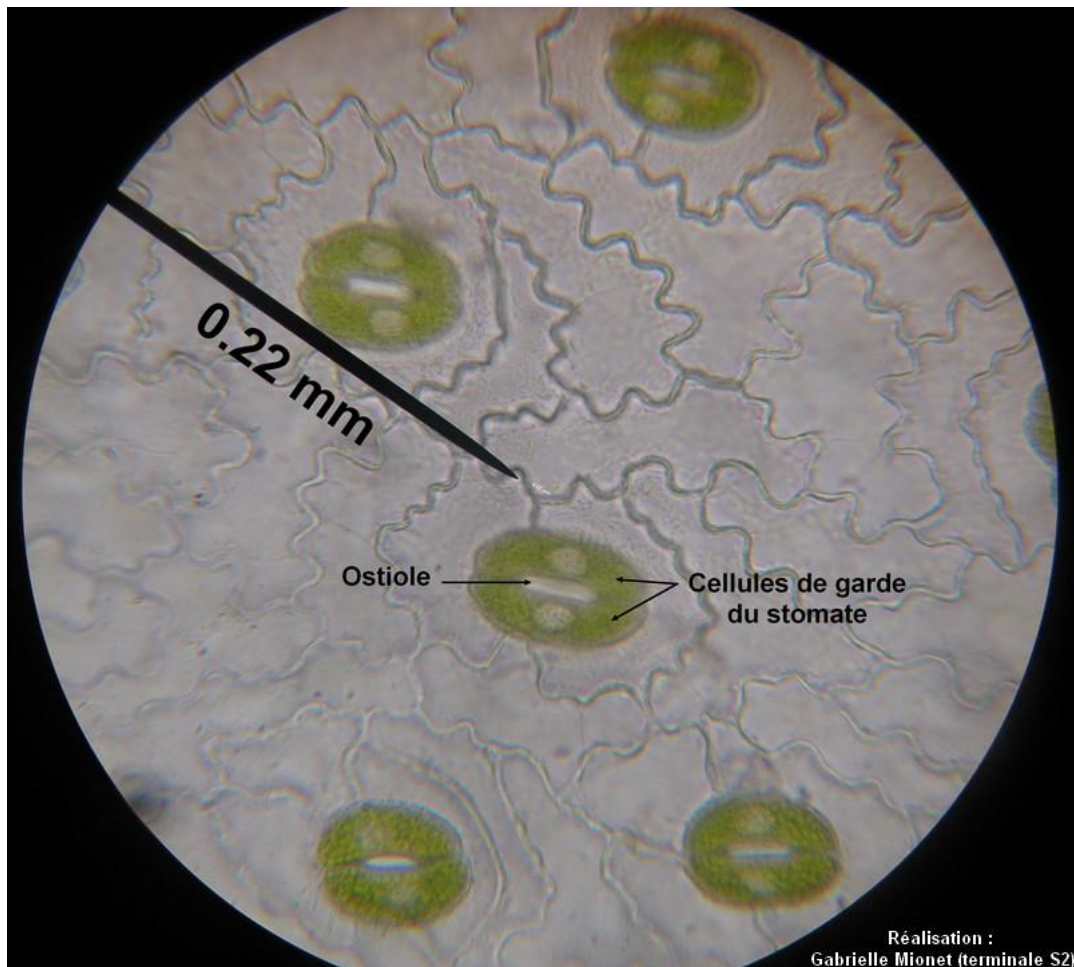
Bien éclairée, une plante chlorophyllienne consomme du dioxyde de carbone et rejette du dioxygène en réalisant la photosynthèse. Elle utilise les molécules ou

photosynthèse pour se procurer, grâce à la **respiration**, l'énergie nécessaire à son fonctionnement. La **respiration est continue, de jour comme de nuit, mais à la lumière photosynthèse.**

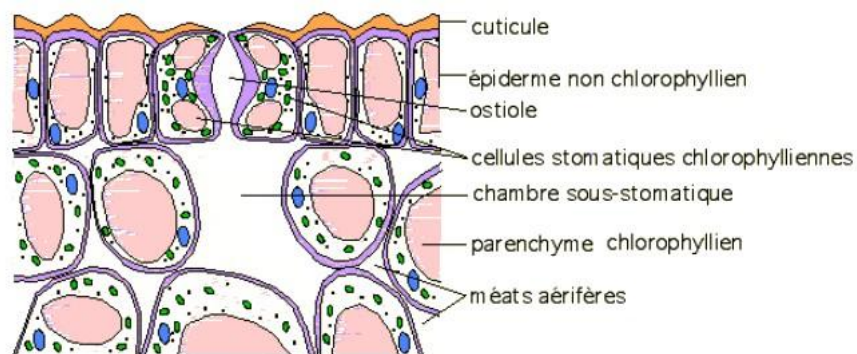
Equation globale de la photosynthèse : $6 \text{ CO}_2 + 12 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ (glucide) + $6 \text{ O}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O}$

Pb : Comment les cellules chlorophylliennes sont-elles alimentées en CO_2 ?

2- Observation microscopique de la face inférieure d'une feuille de polypode



Epiderme inférieur d'une feuille de polypode

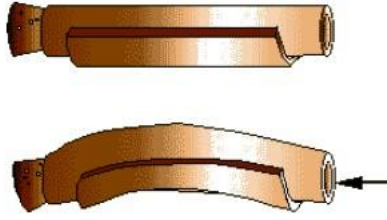


Coupe transversale du limbe d'une feuille de dicotylédone. Seuls sont représentés schématiquement, un stomate composé de ses deux cellules de garde, l'épiderme et sa cuticule et quelques cellules de parenchyme chlorophyllien séparées par des méats aérifères et maintenant une grande chambre sous stomatique aérifère sous le stomate. On constate que les gaz de l'atmosphère sont en continuité avec cette chambre et les méats grâce à l'ostiole du stomate. Remarquons que dans l'épiderme, seules les cellules stomatiques sont pourvues de chloroplastes.

Source : <http://www.sny.jussieu.fr/bmedia/mouvements/nasties-stomate.htm>

Les calculs montrent que les variations de concentrations en potassium et malate sont susceptibles de produire des variations notables de turgescence.

La structure de la cellule stomatique permet d'expliquer qu'une augmentation de turgescence se traduit par une ouverture de l'ostiole. L'expérience suivante, en évidence ce phénomène.



Construction d'un modèle de cellule stomatique

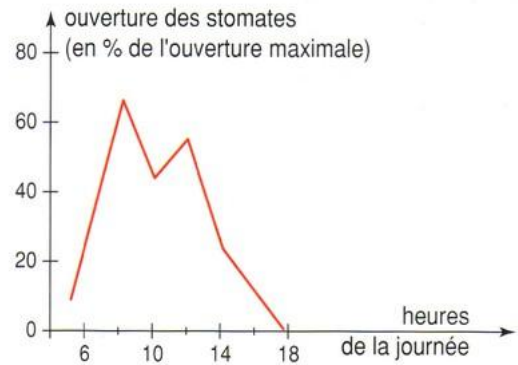
- 1-Un tuyau en plastique souple est bouché par un bouchon bien hermétique
- 2-un demi tuyau de même matière est collé sur un côté
- 3-Le tuyau est enfoncé sur un robinet et celui-ci est ouvert
- 4-sous l'effet de la pression, le tuyau s'incurve, la face concave du côté de l'épaississement.

ATTENTION : Si vous voulez réaliser cette expérience, ouvrez très doucement le robinet, SINON,

J.P. Rubinstein et R. Prat



D'après Chapman
et Staffelt



Document extrait du manuel de SVT spe Bordas 2002 p185

Chez les végétaux terrestres, le CO₂ et les autres gaz pénètrent dans les feuilles par des petits orifices : les ostioles des stomates. Chaque stomate est composé de deux (de garde) très sensibles à des changements importants de pression osmotique donc de turgescence. Leur ouverture est indirectement dépendante de la lumière car ce est la photosynthèse qui augmente la concentration du milieu intracellulaire à l'origine de la pression de turgescence : chez la plupart des plantes, les stomates sont fermés

Remarque : de nombreuses plantes adaptées à la sécheresse (Cactacées, Crassulacées, Euphorbiacées, ...) ont leurs stomates fermés le jour pour limiter les pertes d'eau et ouverts la nuit pour capter le CO₂. Leur métabolisme est également différent...

3- Observation microscopique d'une feuille de houx en coupe transversale

TP : réalisation d'une coupe transversale fine dans une feuille de houx :

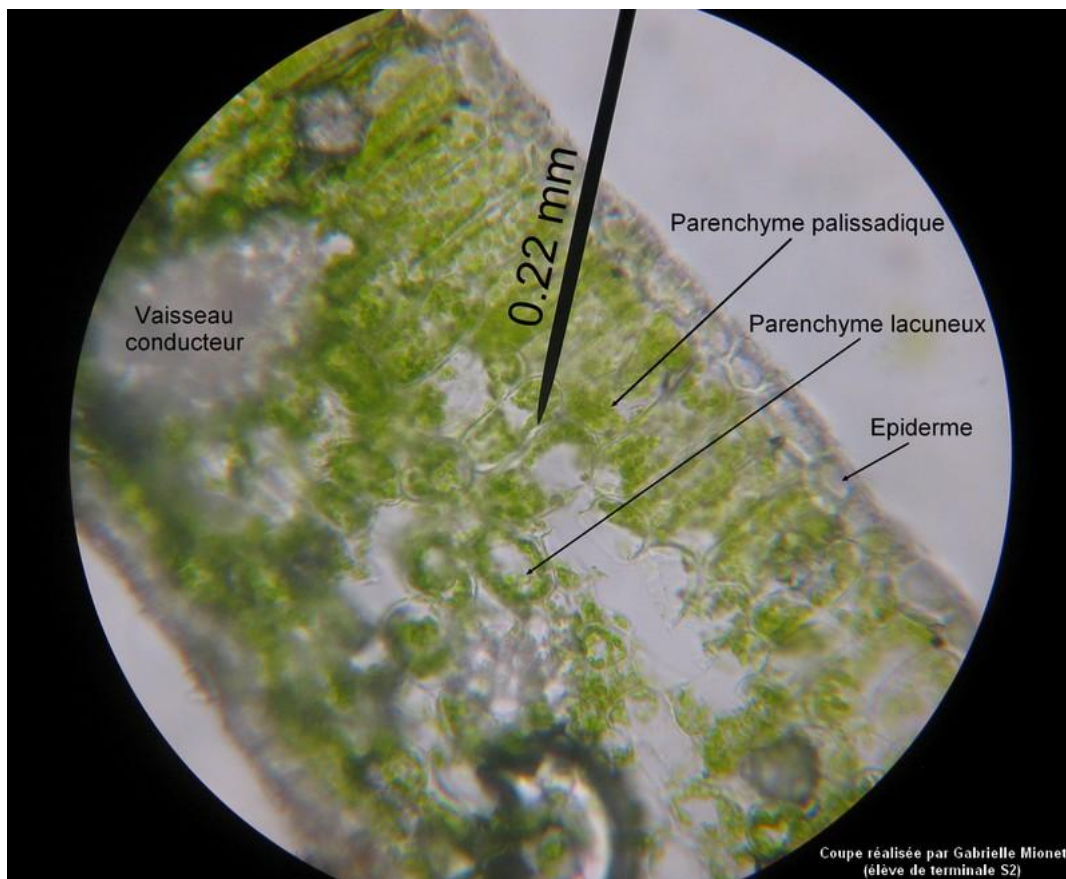
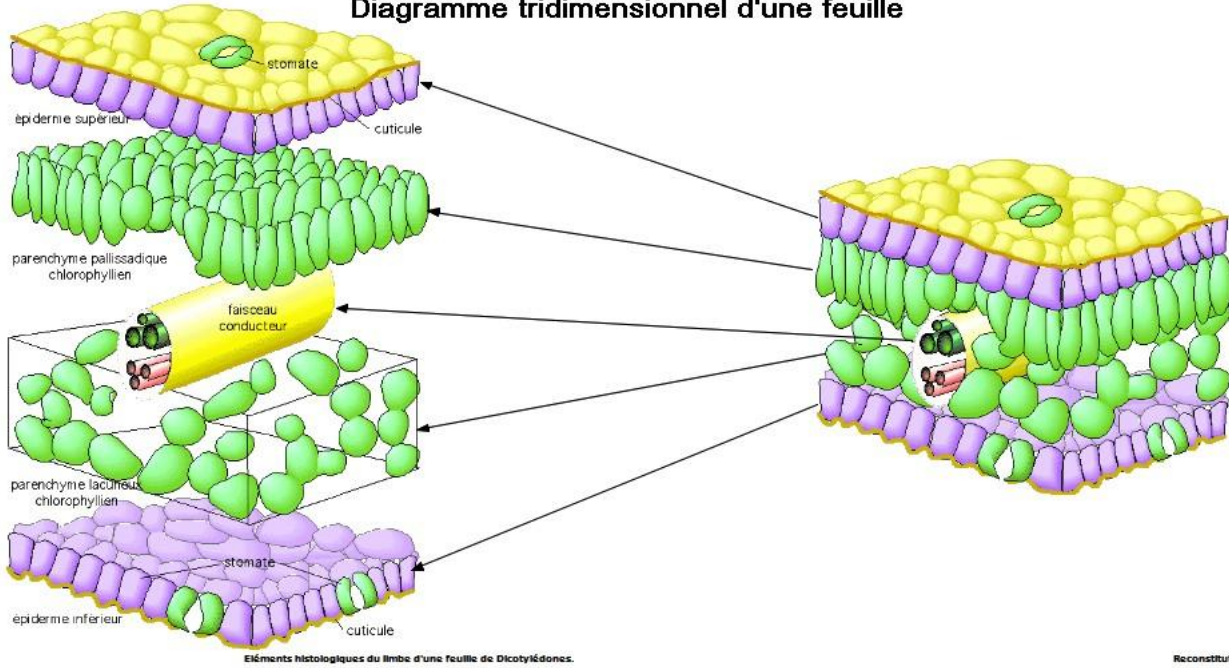
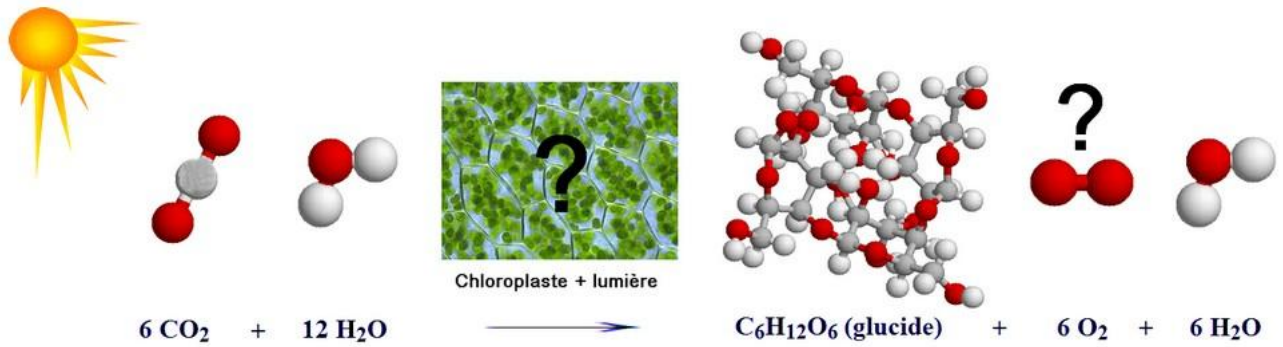


Diagramme tridimensionnel d'une feuille



Source : <http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/Photosynthese-cours/02-localisation.htm#>

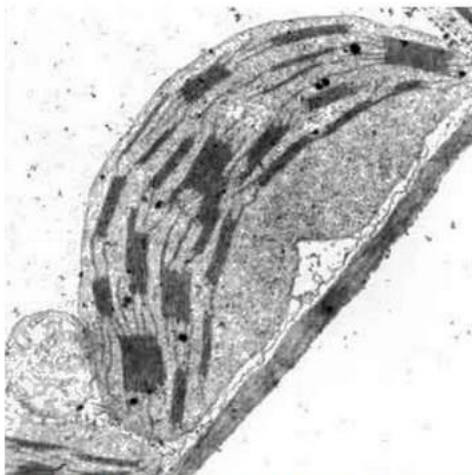
La coupe transversale d'une feuille montre de nombreux espaces entre les cellules du parenchyme chlorophyllien. Ces lacunes permettent l'existence d'une véritable a



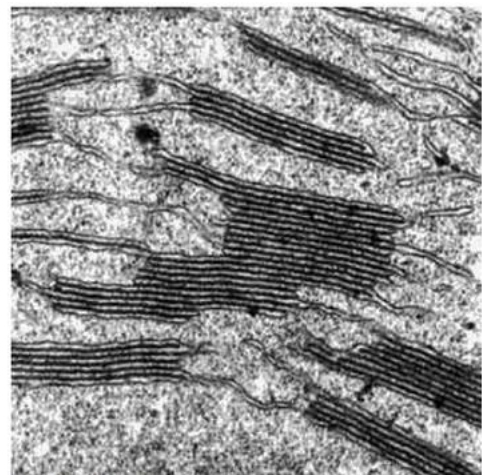
Pb : Comment l'énergie lumineuse est-elle convertie en énergie chimique ? Comment est assurée l'assimilation du CO₂ ? Quelle est l'origine du dioxygène libéré ?

III- Les pigments chlorophylliens

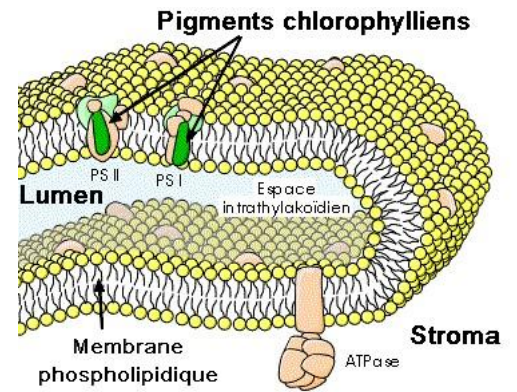
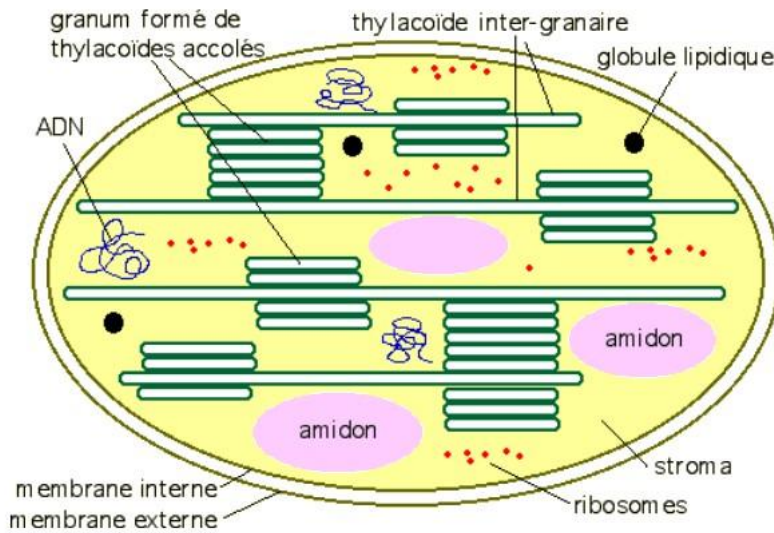
1- Localisation des pigments chez les Eucaryotes photosynthétiques (plantes, algues)



Vue générale d'un thylakoïde dans une cellule de parenchyme chlorophyllien de feuille d'épinard en microscopie électronique à transmission.
A gauche, une mitochondrie ; à droite, la paroi cellulaire.
(Cliché : Christiane Tuquet).



Détail des thylakoïdes.
Ils sont regroupés en thylakoïdes accolés (grana) reliés par des thylakoïdes intergranaires.
(Cliché : Christiane Tuquet).



Source : <http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/Chloroplaste/met.htm>

Les pigments chlorophylliens liposolubles sont enchassés dans la membrane des thylakoïdes qui baignent dans un gel hydraté : le stroma.

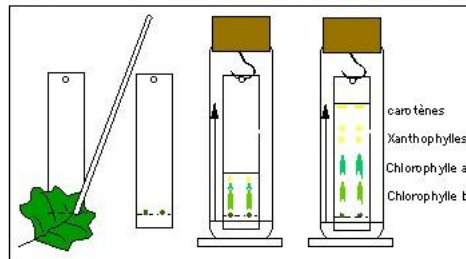
Remarque : la présence d'ADN, de ribosomes et d'une double membrane est un argument de poids en faveur de la théorie endosymbiotique selon laquelle les chloroplastes (comme les mitochondries d'ailleurs) étaient des bactéries à l'origine...

Pb : comment extraire et isoler les pigments chlorophylliens ?

2- Séparation des pigments chlorophylliens par chromatographie

Chromatographie à partir d'une feuille verte (exemple : pèlargonium).

Sur une ligne située à 1 cm du bas d'une bande de papier à chromatographie, on écrase un morceau de feuille avec un agitateur (en répétant l'opération plusieurs fois p très colorée). La bande de papier est placée dans une cuve contenant un mélange de solvants organiques (cyclohexane, 5%, éther de pétrole, 85%, acétone, 10%). Le s dans la bande de papier et entraîne les différents pigments solubles dans les solvants organiques. Ils se séparent progressivement en fonction de leur vitesse de migra solubilité différentielle dans le solvant (phase mobile) et de leur affinité pour le support de chromatographie (phase stationnaire).



On observe plusieurs taches correspondant à des pigments verts (chlorophylles a et b) et jaunes (xanthophylles et carotènes).

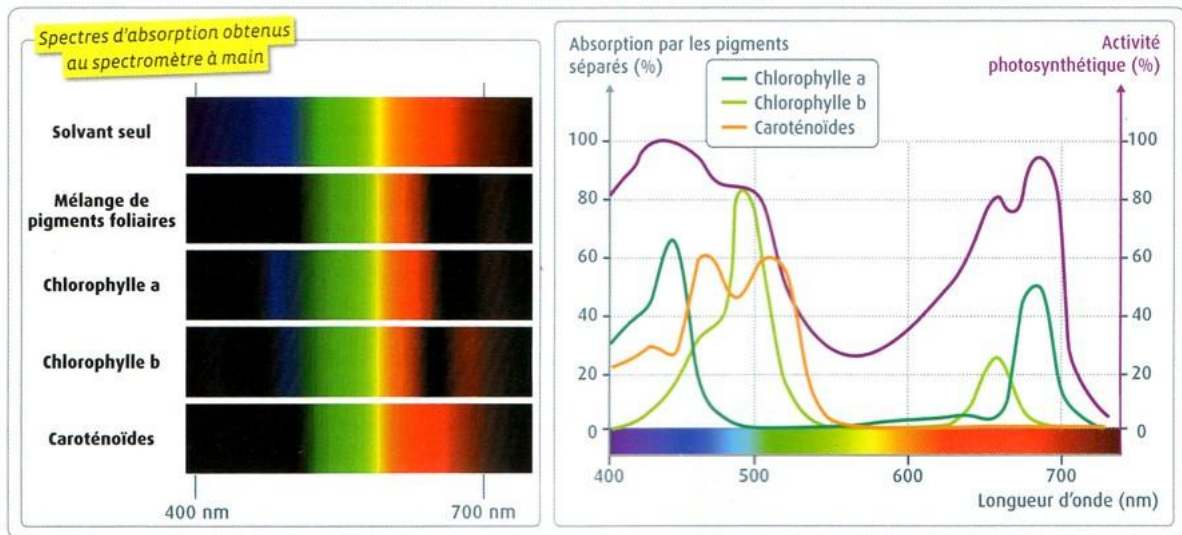
Source : <http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/Photosynthese/exp22.html>

Par chromatographie, on peut séparer plusieurs types de pigments dans les feuilles :

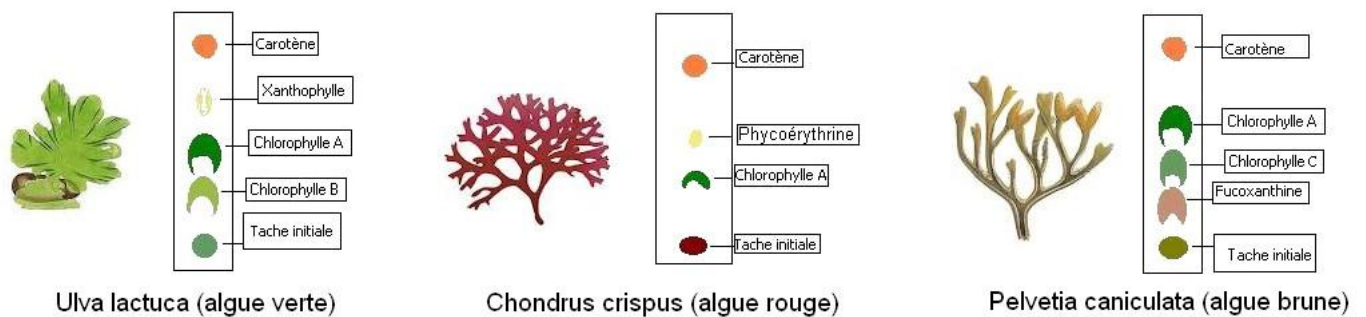
- Les pigments solubles dans les solvants organiques : chlorophylles a et b (verts), caroténoïdes (orange).
- Les pigments insolubles dans les solvants organiques mais solubles dans l'eau : anthocyanes (bleus).

Pb : Pourquoi les pigments sont-ils colorés ? Quel est le lien entre ces pigments et la photosynthèse ?

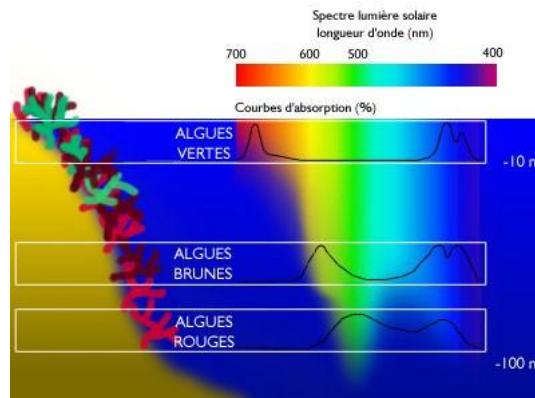
3- Spectre d'absorption et activité photosynthétique



Extrait du manuel de terminale spe SVT Belin 2012 p18



Les algues possèdent aussi des pigments chlorophylliens mais dans certains groupes, ils sont masqués par des pigments spécifiques pour absorber les longueurs d'ondes dominantes à la profondeur où elles vivent.



Les pigments absorbent principalement la lumière bleue et rouge, ce qui explique la coloration verte des feuilles. Il y a une bonne correspondance entre le **spectre d'absorption** des pigments et le **spectre d'action photosynthétique** : les longueurs d'onde absorbées sont utilisées pour la photosynthèse.

Remarque : chez les végétaux terrestres, les pigments solubles dans l'eau comme les anthocyanes (présents dans les vacuoles), ne jouent aucun rôle dans la photosynthèse.

Pb : quel rôle les pigments jouent-ils dans la photosynthèse ? Quelles sont les étapes de la photosynthèse ?

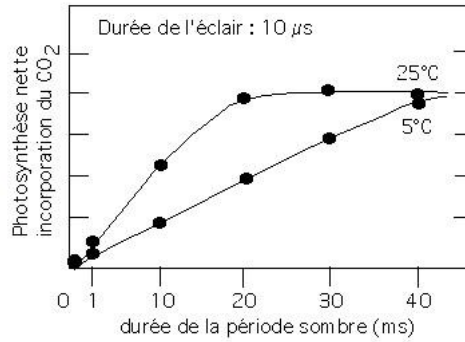
IV- Les étapes de la photosynthèse

1- Expériences d'Emerson et Arnold (1932)

Ces expériences ont été réalisées sur des algues vertes unicellulaires (Chlorelles) en suspension. L'incorporation du CO₂ est mesurée en lumière intermittente à l'aide d'un tube-néon intense qui produit des éclairs brefs (10 μs) séparés par des intervalles variables d'obscurité (entre 1 et 40 ms). Expérimentalement, chaque mesure est réalisée pour un total de 10 000 éclairs de 10 μs (soit un total de 1 s 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 µs). La durée totale de l'éclairage est constante.



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

Dans les conditions de cette expérience (éclairage total bref et saturant), il faut une période sombre importante pour obtenir une photosynthèse maximale. Ceci suggère que des intermédiaires sont formés à la lumière rapidement (de manière quasi insensible à la température) = **réactions photochimiques**, et qu'ils sont utilisés beaucoup plus lentement par des réactions chimiques (sensibles à la température) = **réactions biochimiques d'assimilation du CO₂**.

Pb : en quoi consiste exactement cette phase photochimique ?

2- La phase photochimique : 1ère étape de la photosynthèse

En 1937, Hill réalise son expérience sur une suspension de chloroplastes éclairée et utilise, en absence de CO₂, un réducteur artificiel : le ferricyanure de potassium (réactif de Hill)

En absence de CO₂, les chloroplastes sont capables de libérer du dioxygène, à condition qu'un accepteur d'électron (Fe³⁺) soit présent dans le milieu.

$$4 \text{ Fe}^{3+} + 2 \text{ H}_2\text{O} \xrightarrow[\text{chloroplastes}]{\text{Lumière}} \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4 \text{ Fe}^{2+} \quad (\text{Réaction de Hill})$$

$$2 \text{ H}_2\text{O} \xrightarrow{\quad\quad\quad} \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \quad (\text{oxydation de l'eau})$$

$$4 \text{ Fe}^{3+} + 4\text{e}^- \xrightarrow{\quad\quad\quad} 4 \text{ Fe}^{2+} \quad (\text{réduction d'un accepteur})$$

On peut expérimentalement remplacer le réactif de Hill par le DCPIP (dichloro-phéno-indo-phénol) qui a la propriété d'être bleu à l'état oxydé et incolore à l'état réduit. Le matériel biologique est une suspension de chloroplastes préparée à partir, par exemple, de feuilles d'épinard.

On ajoute du DCPIP à la suspension de chloroplastes, la solution bleuit.

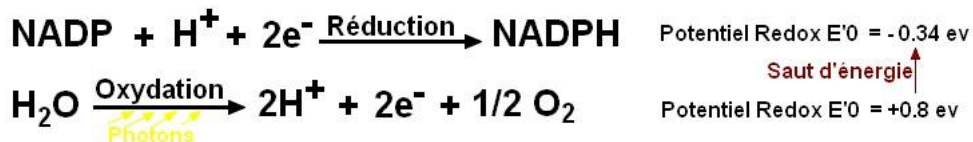
Le tube est placé à l'obscurité, la solution reste bleue.

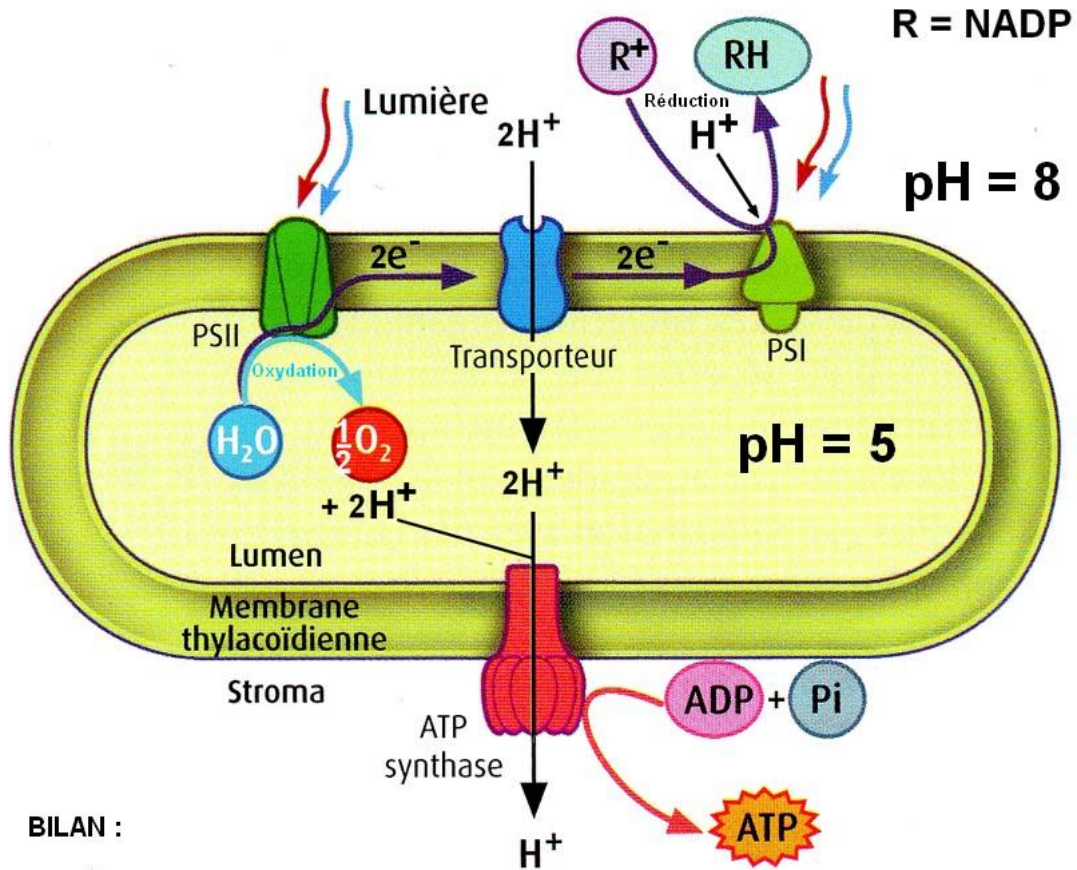
Le tube est placé à la lumière, la solution se décolore.

Le DCPIP est décoloré, donc réduit à la lumière par la suspension de chloroplastes.

En absence de source carbonée, à la lumière, les chloroplastes isolés dégagent de dioxygène, parallèlement à la réduction du

Source : <http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/Photosynthese/exp44.html>





BILAN :

+ 4H⁺ dans le lumen
- 3H⁺ dans le stroma

=> flux de proton photoinduit permettant la synthèse d'ATP

Extrait du manuel de Terminale spe SVT Belin 2012 p21 (modifié)

la photosynthèse peut donc être séparée en 2 réactions couplées à un système d'oxydo-réduction. Dans les conditions naturelles de la photosynthèse, ce rôle d'accepteur d'électron est rempli par le NADP⁺ (Nicotinamide Adénine Dinucléotide Phosphate). Le couple NADP⁺ / NADPH joue ainsi le rôle d'intermédiaire entre l'oxydation de l'eau et la réduction du CO₂.

Il existe en fait une série de couples redox qui transfèrent successivement les électrons jusqu'à un accepteur final, le long d'une chaîne d'oxydo-réductions dans la membrane du thylacoïde. Avec les protons issus de la photooxydation de l'eau, le lumen devient plus acide que le stroma et un flux transmembranaire de H⁺ permet in fine de synthétiser de l'ATP (Adénosine Triphosphate), molécule portant l'énergie dans ses liaisons P-P.

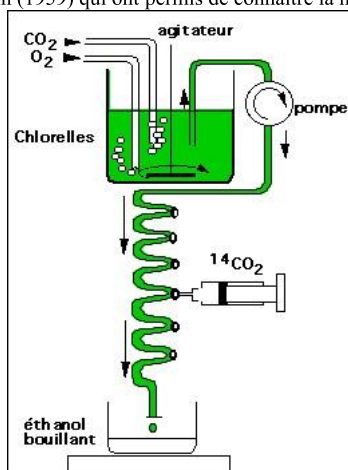
La phase photochimique correspond donc à la synthèse d'un pouvoir réducteur (le NADPH) et d'un pouvoir énergétique (l'ATP).

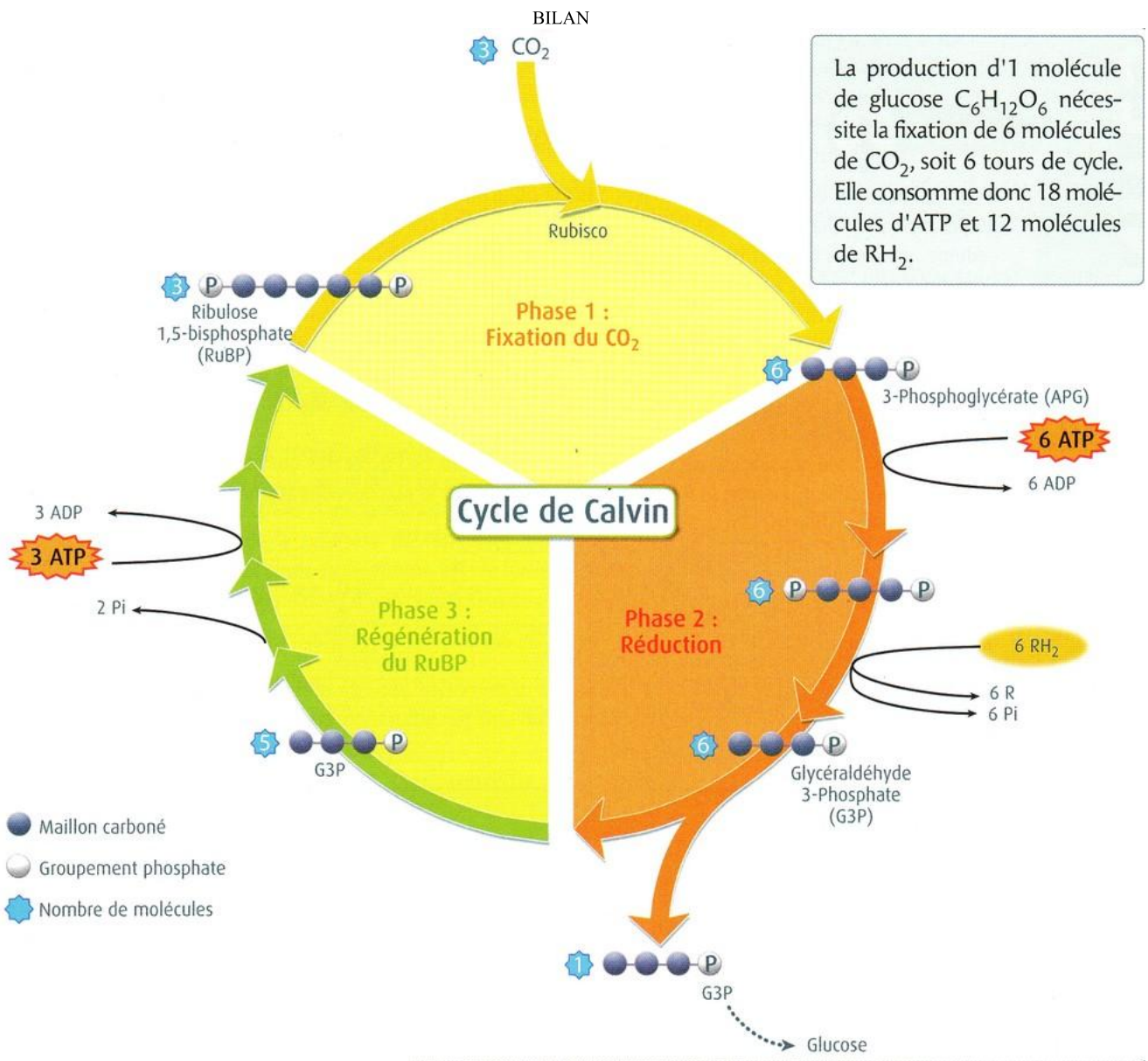
Remarque : pour certains auteurs, la photosynthèse au sens strict se limite à la synthèse du pouvoir énergétique et du pouvoir réducteur. Dans ce cours, comme dans beaucoup d'ouvrages, nous incluons l'assimilation du dioxyde de carbone et la synthèse de molécules carbonées dans la photosynthèse (prise donc au sens large)

Pour aller plus loin (attention, hors programme!) : <http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/Photosynthese-cours/12-schemaz.htm>

3- La phase chimique : 2ème étape de la photosynthèse

Ce sont les expériences de Calvin (1952) et Bassham et Calvin (1959) qui ont permis de connaître la nature du premier composé carboné formé par la photosynthèse.





Extrait du manuel de Terminale spe SVT Belin 2012 p23

Remarque 1 : la Rubisco est l'enzyme la plus abondante sur Terre

Remarque 2 : cette enzyme est peu spécifique. Elle catalyse aussi bien la fixation du CO₂ que celle de l'O₂ sur le RuBP!

Remarque 3 : son activité est indirectement dépendante de la lumière. Elle ne fonctionne qu'à la lumière car elle nécessite du Mg²⁺ qui passe dans le stroma pour compenser alors l'entrée de H⁺. Enfin, son activité est maximale à pH 8, pH du stroma dans un chloroplaste éclairé...

L'ancienne terminologie "phase sombre" ou "non photodépendante" pour cette phase chimique est donc totalement injustifiée