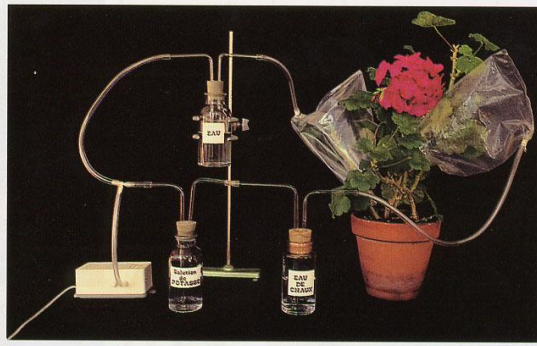


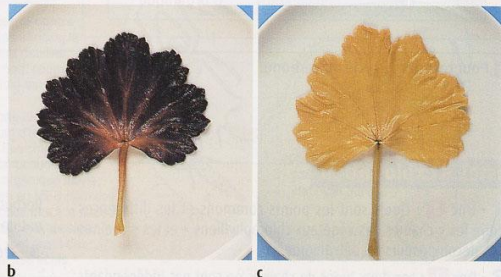
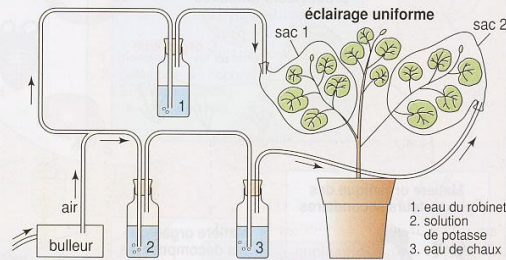
# Photosynthèse et autotrophie



Sur la photographie b, la feuille provient du sac 1 et, sur la photographie c, la feuille provient du sac 2.  
NB : dans le flacon 3, l'eau de chaux est restée limpide.

## ■ PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

- Placer quelques feuilles de pélagonium dans deux sacs transparents où de l'air est mis en circulation grâce à une pompe d'aquarium. Avant de parvenir aux sacs 1 ou 2, l'air barbote dans des liquides dont les propriétés sont les suivantes :
  - l'eau du robinet (1) ne modifie pas la teneur de l'air en dioxyde de carbone ;
  - la solution de potasse (2) absorbe le dioxyde de carbone ;
  - l'eau de chaux (3) se trouble en présence de dioxyde de carbone.
- Une fois le dispositif installé, la plante est éclairée uniformément pendant 24 heures.



## ■ OBSERVATION DES RÉSULTATS

- Prélever une feuille dans chaque sac.
- Dans un ballon chauffé au bain-marie, décolorer les feuilles avec de l'alcool bouillant (la chlorophylle est dissoute et donc éliminée des feuilles qui deviennent jaunâtres).
- Passer les feuilles décolorées sous l'eau froide puis les étaler dans des boîtes de Pétri.
- Les recouvrir d'eau iodée (colorant qui colore spécifiquement l'amidon en bleu-noir) et observer immédiatement.

## ■ PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

1. Une feuille de pélagonium dont une partie est recouverte par un cache noir depuis 48 heures (photo a) est disposée dans une enceinte bien éclairée dans laquelle circule de l'air enrichi en dioxyde de carbone « marqué » : le carbone 12 ( $^{12}\text{C}$ ) y est remplacé par du carbone 14 ( $^{14}\text{C}$ ) radioactif.

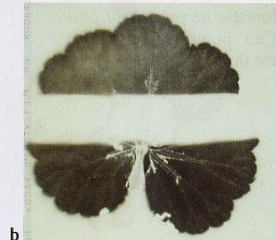
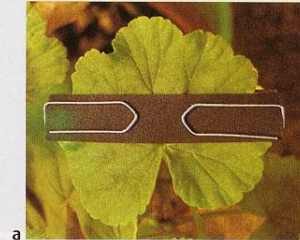


L'isotope  $^{14}\text{C}$  possède rigoureusement les mêmes propriétés chimiques que  $^{12}\text{C}$  ; il est utilisé de la même façon que ce dernier par les végétaux.

2. Après 20 minutes dans l'enceinte, la feuille est prélevée et placée à l'obscurité au contact d'une pellicule photographique vierge. L'ensemble est conservé au congélateur : les réactions chimiques sont ainsi bloquées dans les tissus foliaires mais, en revanche, la radioactivité du  $^{14}\text{C}$  éventuellement présent n'est pas affectée.

3. Quarante huit heures plus tard, la pellicule photographique est développée : les régions qui ont été au contact d'une zone foliaire radioactive apparaissent en noir ; le rayonnement a impressionné la pellicule.

4. La même expérience est ensuite réalisée en plaçant dans l'enceinte une feuille panachée, c'est-à-dire présentant des plages dépourvues de chlorophylle.

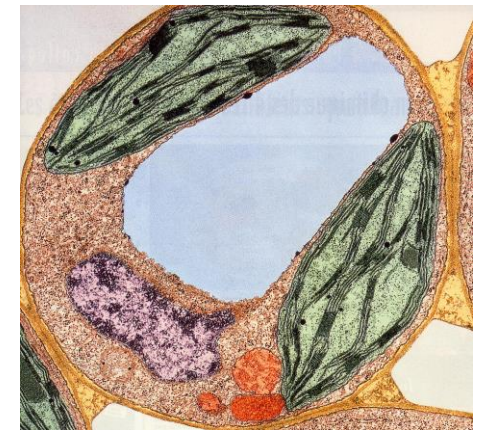
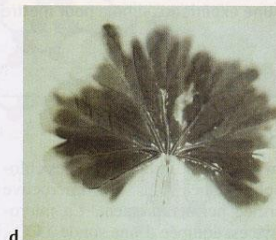
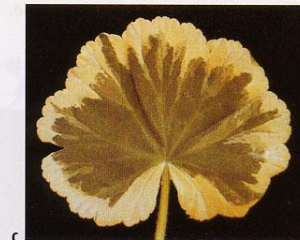


## ■ RÉSULTATS

Ils sont présentés par les photographies b et d.

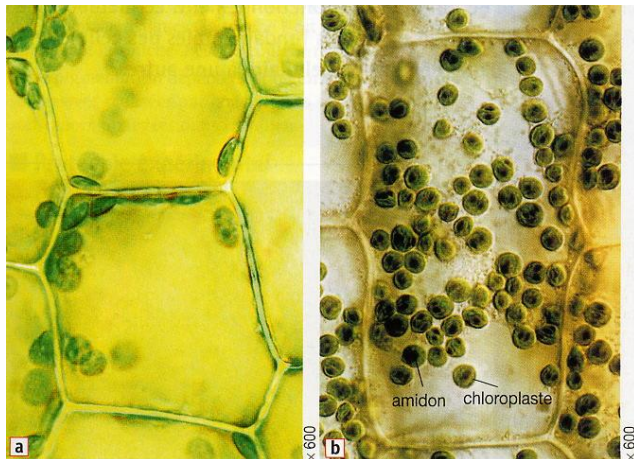
## ■ ÉTUDE COMPLÉMENTAIRE

L'amidon extrait de ces feuilles se révèle radioactif.



Cellule chlorophyllienne MET ( fausses couleurs)

Chloroplastes en début de journée (a) et en fin de journée (b)

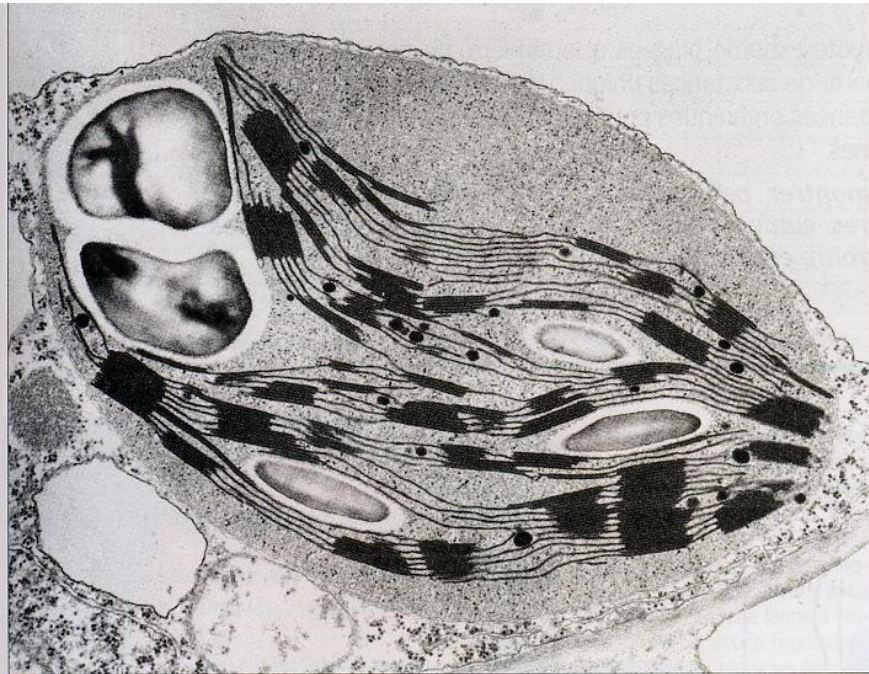


Les végétaux chlorophylliens sont des organismes autotrophes: éclairés, en présence d'eau, de dioxyde de carbone et de sels minéraux ils synthétisent de la matière organique. Cette photosynthèse est réalisée dans des organites spécialisés, les chloroplastes présent essentiellement dans les feuilles.

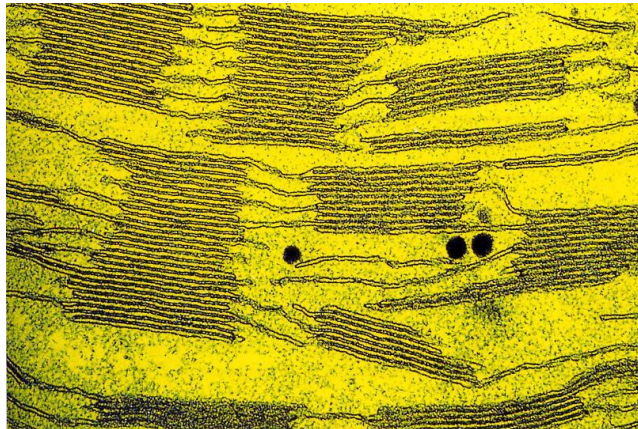


## Le chloroplaste, organe de la photosynthèse

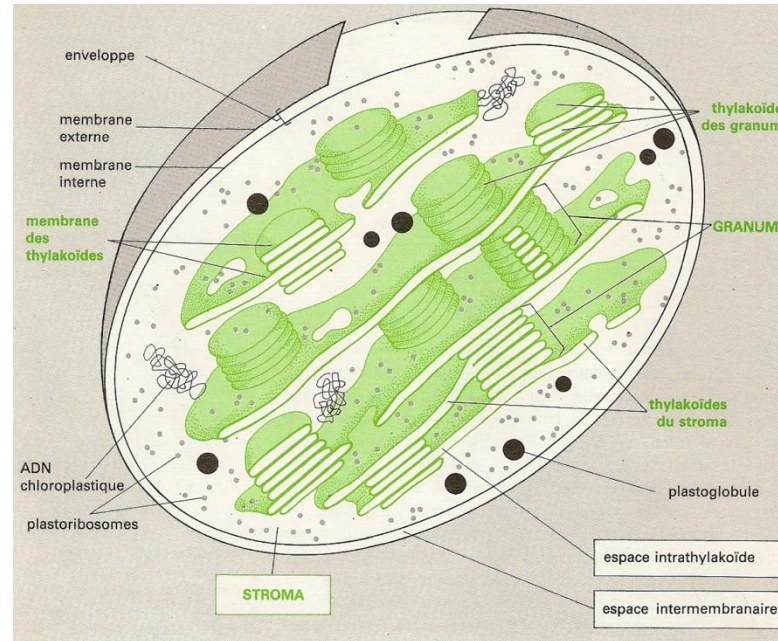
Un chloroplaste est un organe compartimenté limité par une membrane externe et interne contenant un réseau membranaire appelé thylakoïdes baignant dans un stroma. Seuls les thylakoïdes sont de couleur verte et contiennent des pigments chlorophylliens.



**2** **Détail d'un chloroplaste d'algue exposée à la lumière** (MET x 18 000).  
Les grains gris clair présents dans le chloroplaste sont des grains d'amidon. Ils sont révélés, lors d'une observation au microscope optique, par le changement de couleur de l'eau iodée.

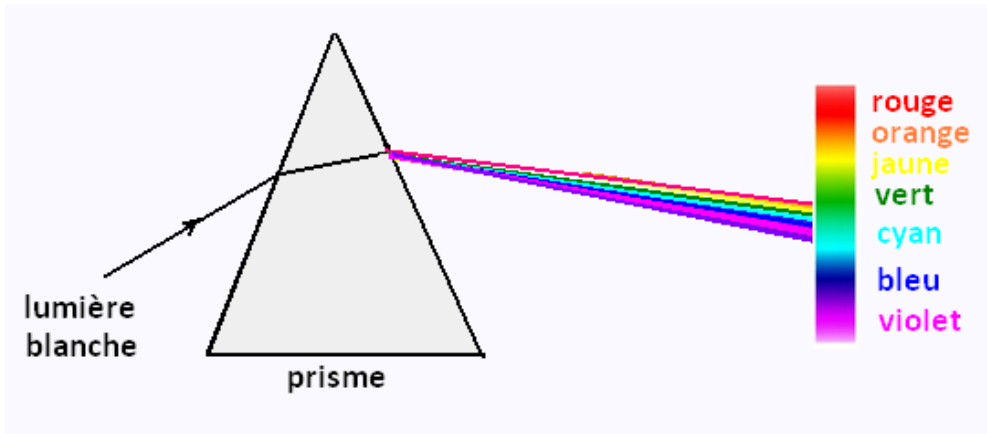


*Intérieur d'un chloroplaste observé au MET à très fort grossissement (x 50 000, fausses couleurs).  
La chlorophylle est fixée sur les membranes des sacs aplatis bien visibles sur cette photographie.*



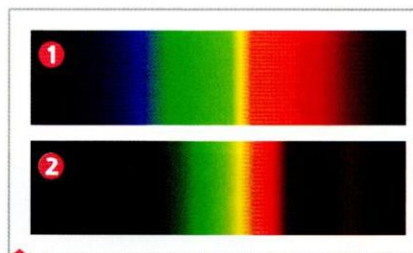
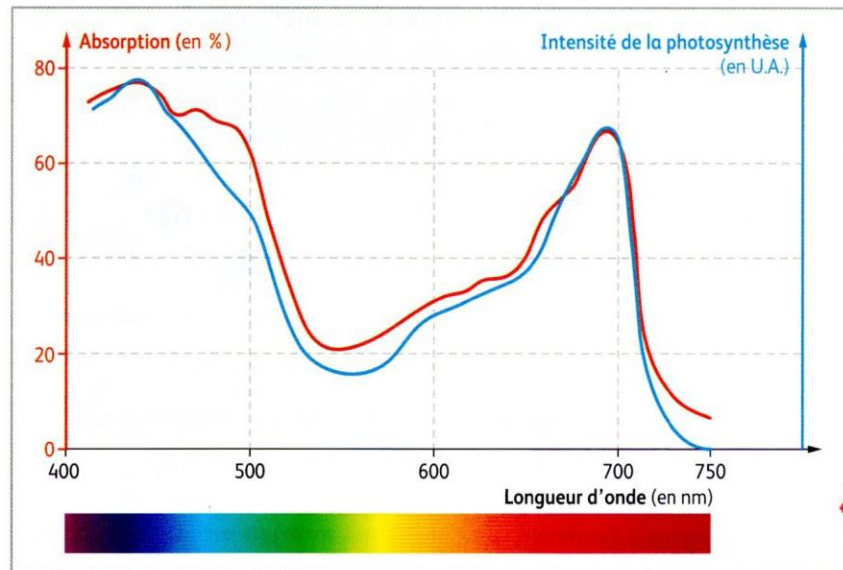


# Spectre d'absorption et spectre d'action



Les différentes radiations qui composent la lumière blanche peuvent être séparées en intercalant un prisme sur le trajet du faisceau lumineux. Dans un spectroscopie à main, on peut placer une solution de chlorophylle brute sur le trajet de la lumière et observer les radiations absorbées par cette solution.

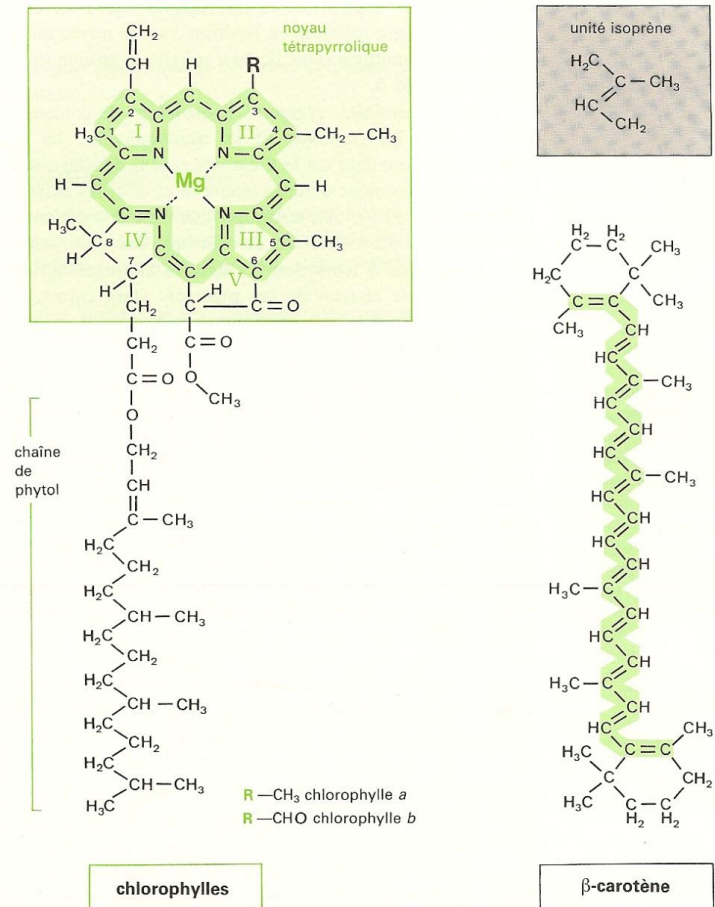
Des études plus approfondies permettent de mesurer le pourcentage de lumière absorbée par les différents pigments pour chaque longueur d'onde. On établit ainsi le **spectre d'absorption** des différents pigments photosynthétiques.



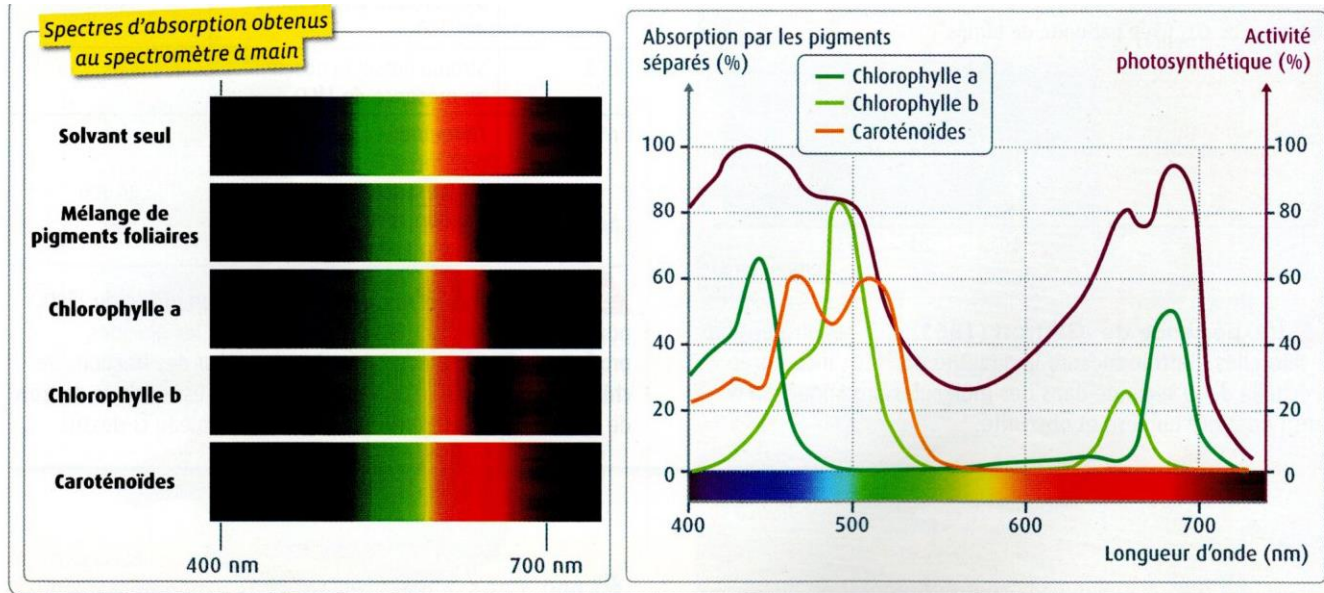
**a** Spectre de la lumière blanche **1** et spectre de la lumière ayant traversé une solution de chlorophylle brute **2**. Les bandes sombres correspondent aux radiations absorbées.

D'autre part, on peut déterminer l'intensité de la photosynthèse (dégagement d'O<sub>2</sub>) pour chaque longueur d'onde. On établit ainsi le **spectre d'action** photosynthétique d'un végétal, c'est-à-dire les longueurs d'onde qui lui permettent de réaliser les réactions photosynthétiques.

**b** Spectre d'absorption des différents pigments et spectre d'action de la photosynthèse.



# Les pigments chlorophylliens et la capture de l'énergie lumineuse



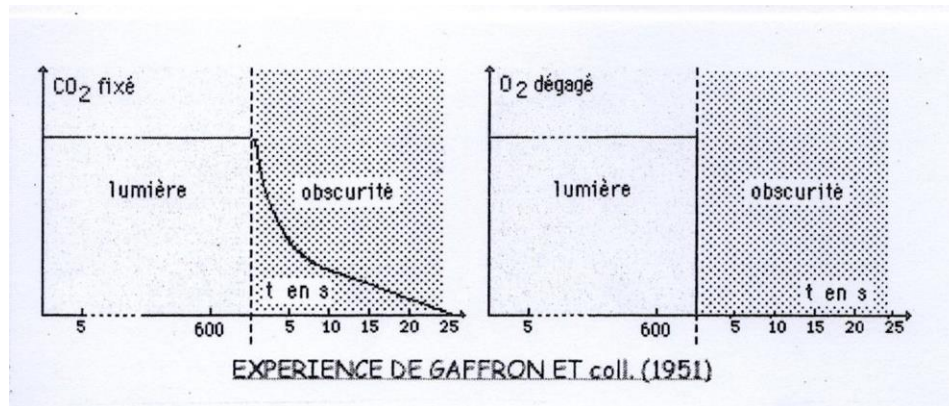
## Comparaison du spectre d'absorption des pigments foliaires et du spectre d'action photosynthétique.

Le **spectre d'absorption** correspond à la quantité de lumière absorbée par les pigments foliaires, en fonction de la longueur d'onde. Il peut être obtenu à l'aide d'un spectromètre à main ou d'un spectrophotomètre, sur le mélange de pigments ou après séparation. Le **spectre d'action photosynthétique** mesure l'intensité de la photosynthèse de cellules intactes sous lumière monochromatique, pour les différentes longueurs d'onde de la lumière visible.

# La photosynthèse, une synthèse en deux étapes

## Expérience de Gaffron

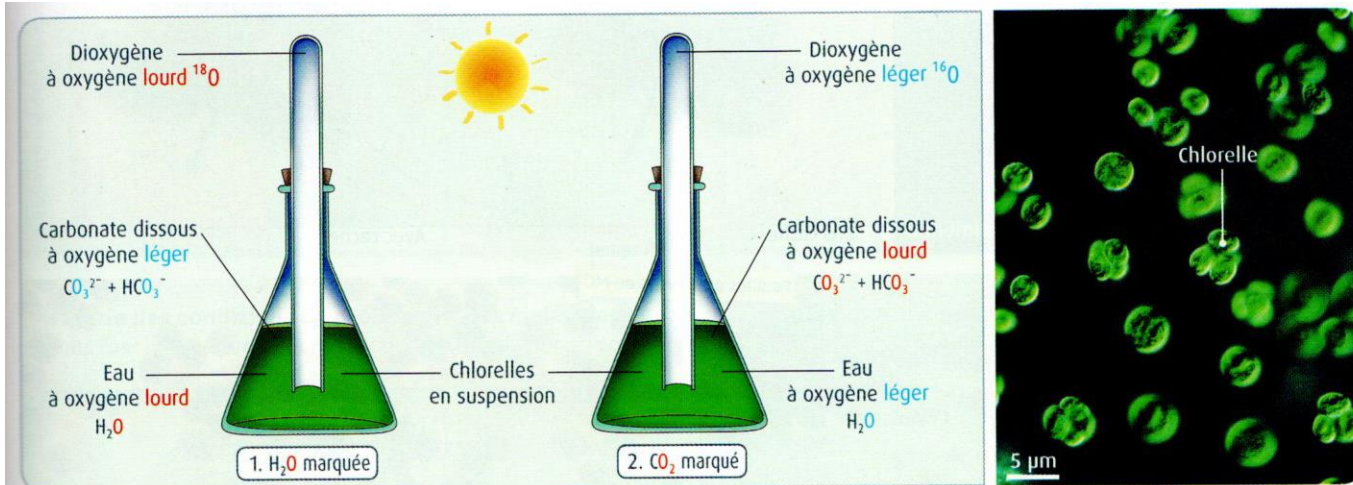
En 1951, Gaffron et ses collaborateurs travaillent sur une suspension d'algues vertes unicellulaires (*Scenedesmus*). Ces algues sont cultivées dans un milieu dans lequel barbote du dioxyde de carbone radioactif ( $^{14}\text{CO}_2$ ). La solution est éclairée pendant une heure par un faisceau lumineux de forte intensité, puis placée à l'obscurité. Les chercheurs mesurent pendant toute la durée de l'expérience la quantité de  $^{14}\text{CO}_2$  incorporé dans la matière organique par les algues vertes. Les résultats obtenus sont présentés dans le graphe ci-dessous.





# L'origine du dioxygène

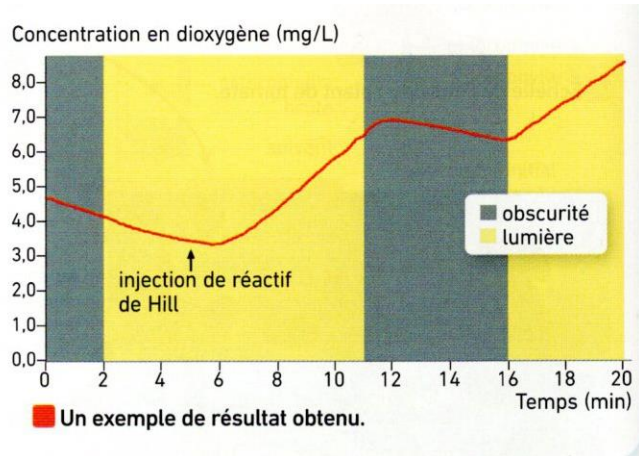
Pb: d'où provient le dioxygène ?



**5** L'expérience de Samuel Ruben (1900-1988) et Martin Camen (1913-2002). En 1941, Ruben et Kamen ont réalisé l'expérience schématisée ci-dessus en utilisant un isotope lourd de l'oxygène, le <sup>18</sup>O, pour marquer soit l'eau, soit le dioxyde de carbone (sous forme de carbonate dissous) fourni à des algues vertes unicellulaires (*Chlorella vulgaris*) exposées à la lumière.

Q: Analysez ces expériences et précisez l'origine du dioxygène

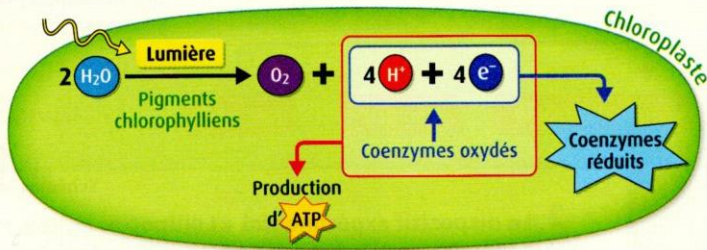
# Synthèse d'ATP et nécessité d'un oxydant



La photosynthèse s'accompagnant d'un dégagement de dioxygène, on a longtemps cru que la photosynthèse résultait d'une rupture de la molécule de  $\text{CO}_2$ , selon la réaction suivante :  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_2\text{O} + \text{O}_2$  ( $\text{CH}_2\text{O}$  : formule d'un glucide élémentaire). Or, en 1937, Robert Hill remit cette conception en question :

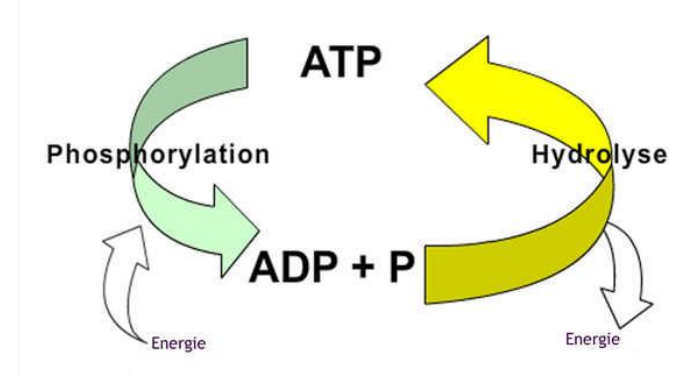
il montra que des chloroplastes isolés, en suspension dans un milieu dépourvu de  $\text{CO}_2$ , sont capables de libérer du dioxygène, à condition d'être exposés à la lumière et mis en présence d'une molécule oxydante, telle que le ferricyanure de potassium, connu depuis sous le nom de « réactif de Hill ».

L'expérience de Ruben et Kamen a permis de montrer que les plantes chlorophylliennes effectuent à la lumière une transformation chimique appelée photolyse de l'eau. Cette transformation se produit dans les chloroplastes grâce à l'énergie lumineuse captée par les pigments photosynthétiques. Elle est modélisée par l'équation schématisée ci-dessous :



Il s'agit d'une réaction d'oxydation car l'eau y perd des électrons. Ces derniers sont captés par des molécules appelées coenzymes, qui passent de l'état oxydé à l'état réduit. Au cours de ce même processus de l'ATP est produit. Les coenzymes réduits et l'ATP, produits grâce à la lumière et aux électrons fournis par l'eau, sont une source d'énergie chimique utilisable par la cellule chlorophyllienne.

## CYCLE ATP / ADP

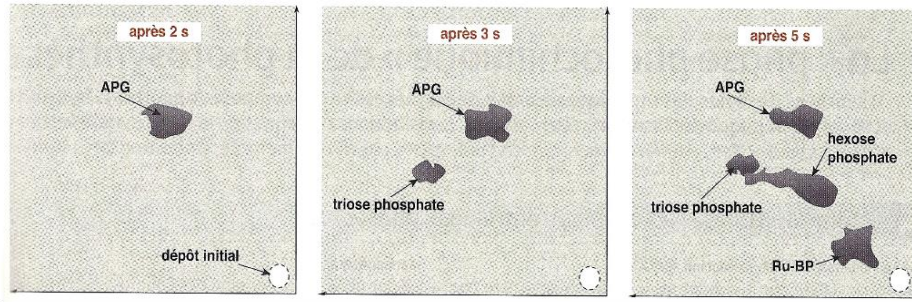


On réalise une série d'expériences, dont les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous, sur des solutions de thylakoïdes intacts.

	Composition du milieu contenant les thylakoïdes intacts	Conditions d'exposition de la solution	Résultats obtenus
1	Solution contenant un oxydant mais dépourvue d'ADP et de phosphate inorganique ( $\text{P}_i$ ).	Lumière	Pas de synthèse d'ATP
2	Solution contenant un oxydant, de l'ADP et du phosphate inorganique.	Lumière	Synthèse d'ATP
3	Solution contenant un oxydant, de l'ADP et du phosphate inorganique.	Obscurité	Pas de synthèse d'ATP
4	Solution contenant de l'ADP et du phosphate inorganique, mais dépourvue d'oxydant.	Lumière	Pas de synthèse d'ATP



Vers 1950, Melvin Calvin et Andrew Benson mettent au point une technique leur permettant de suivre le devenir du  $\text{CO}_2$  fixé par les végétaux chlorophylliens. Une suspension d'algues vertes unicellulaires est placée pendant une heure à la lumière dans un milieu alimenté en  $\text{CO}_2$  non radioactif. On fournit alors à la culture du  $\text{CO}_2$  marqué au  $^{14}\text{C}$ . Les algues sont ensuite tuées dans l'alcool bouillant soit 2 secondes, soit 3 secondes soit 5 secondes après la fourniture du  $\text{CO}_2$  marqué, ce qui bloque toutes les réactions chimiques. Des extraits d'algues sont traités par chromatographie bidimensionnelle puis révélés par autoradiographie.

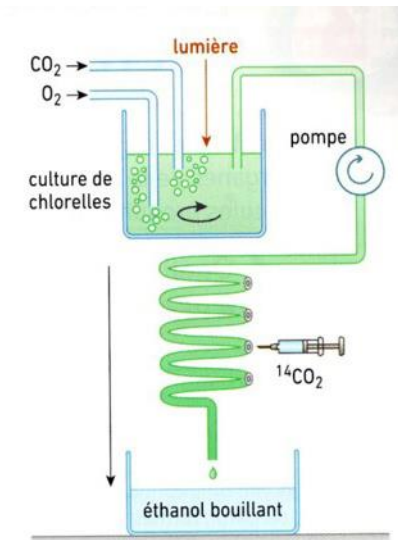


Ru-BP : ribulose 1-5 bisphosphate (glucide à 5 atomes de carbone).  
 APG : acide phosphoglycérique (3 atomes de carbone).  
 Triose : glucide à 3 atomes de carbone.  
 Hexose : glucide à 6 atomes de carbone (glucose par exemple)

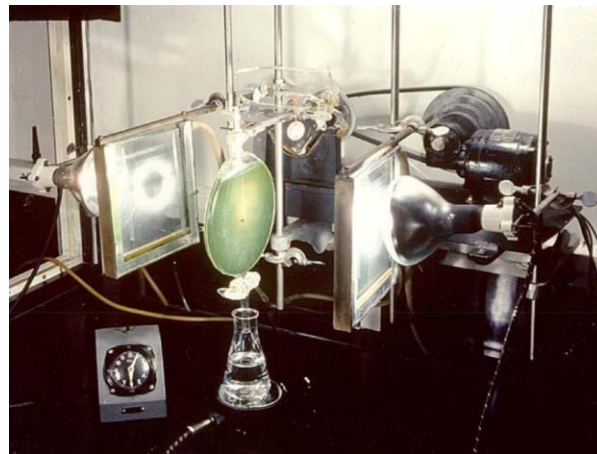
Les résultats de l'expérience. © Spécialité SVT Bordas 2012

## Phase chimique de la photosynthèse

- Q1:** quelles sont dans l'ordre d'apparition les molécules présentes dans les expériences de Calvin et Benson ?  
**Q2:** Comment évoluent les concentrations d'APG et de RuBP dans les expériences ?  
**Q3:** quelles sont les conditions nécessaires à la production d'APG ?  
**Q4:** Sachant que APG est une molécule en C3 et le RuBP en C5, déduisez de ces documents qu'il y a une relation de précurseur à produit permettant l'incorporation de dioxyde de carbone.  
**Q5:** Sachant que ces réactions sont cycliques, proposer une ébauche de cycle

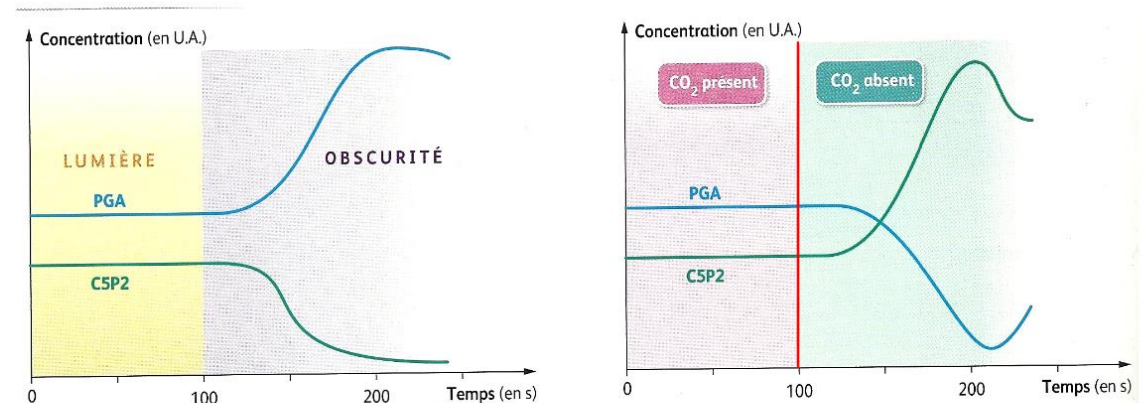


A Dispositif expérimental.



Melvin Calvin et James Bassham fournissent en continu du  $\text{CO}_2$  marqué ( $^{14}\text{CO}_2\text{H}$ ) à une culture d'algues vertes : des chlorelles. Ils mesurent au cours du temps la concentration (mesurée par leur radioactivité) de l'acide phosphoglycérique (APG = PGA) et du ribulose 1-5 bis phosphate ( $\text{C}_5\text{P}_2$ ) formés dans différentes conditions en particulier :

- quand la culture cesse d'être éclairée, tout en étant toujours en présence de  $\text{CO}_2$  ;
- quand la culture cesse d'être approvisionnée en  $\text{CO}_2$ , tout en étant toujours à la lumière

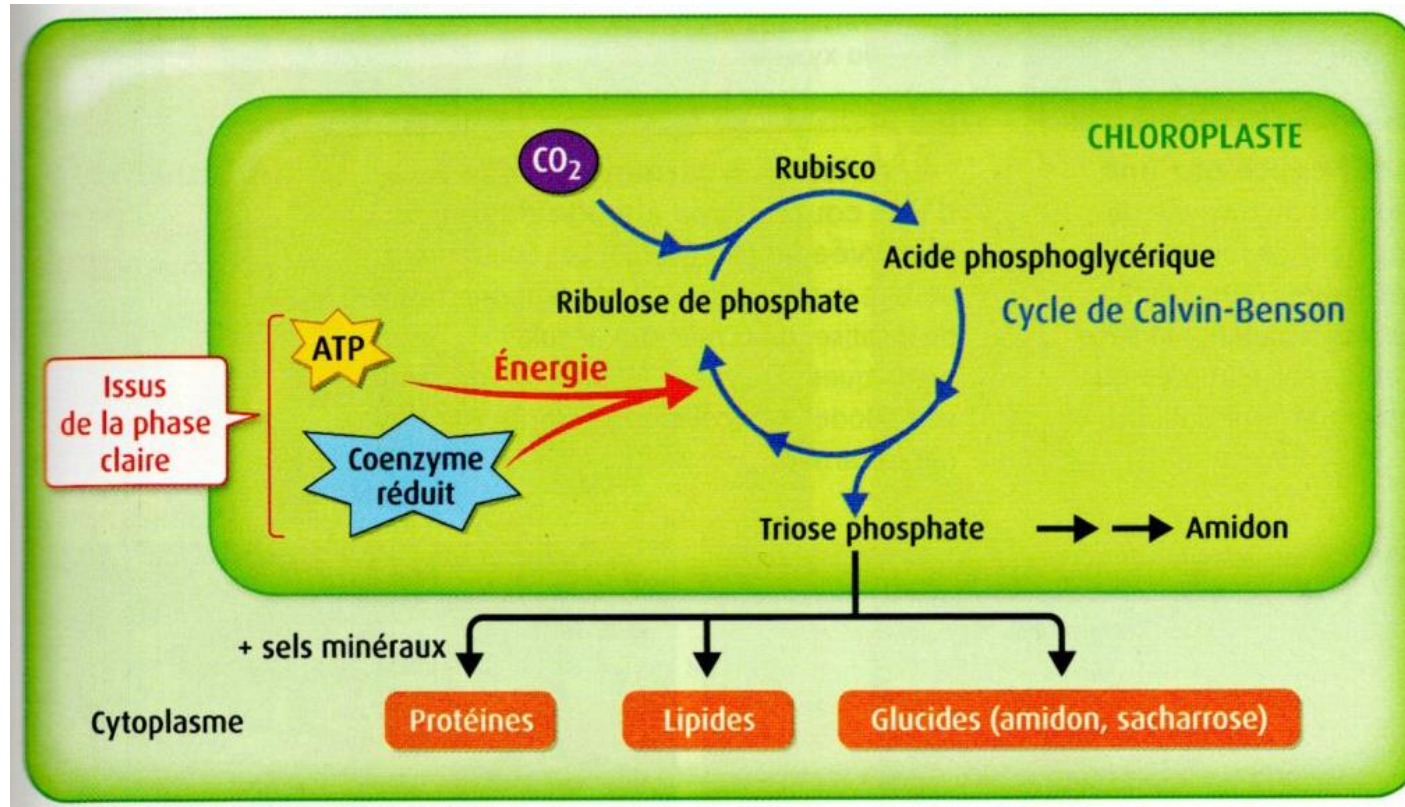


3. Expérience de Bassham et Calvin. © Spécialité SVT Nathan 2012

Protocole expérimental et résultats. Dans chaque expérience, la courbe en plateau de la radioactivité de l'APG ou du  $\text{C}_5\text{P}_2$  résulte d'un état dynamique où la quantité de produit utilisée est égale à celle synthétisée.



## La réduction du dioxyde de carbone et le cycle de Calvin

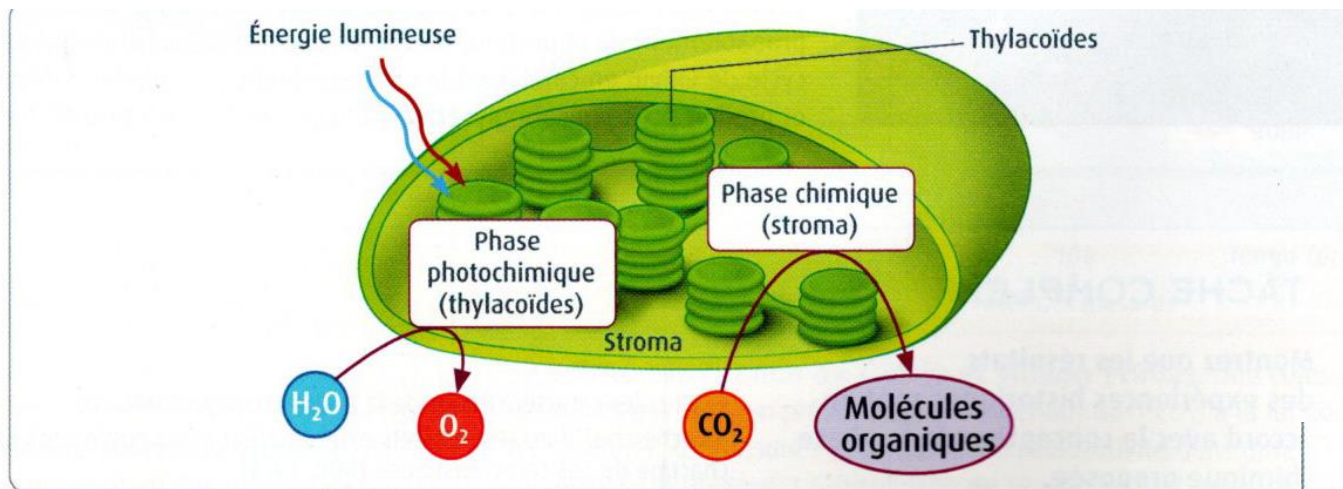


Phase claire = phase photochimique

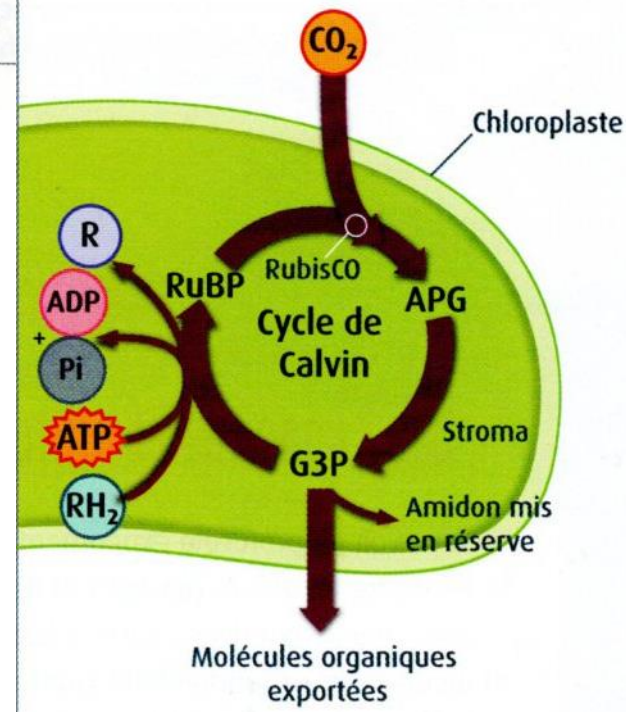
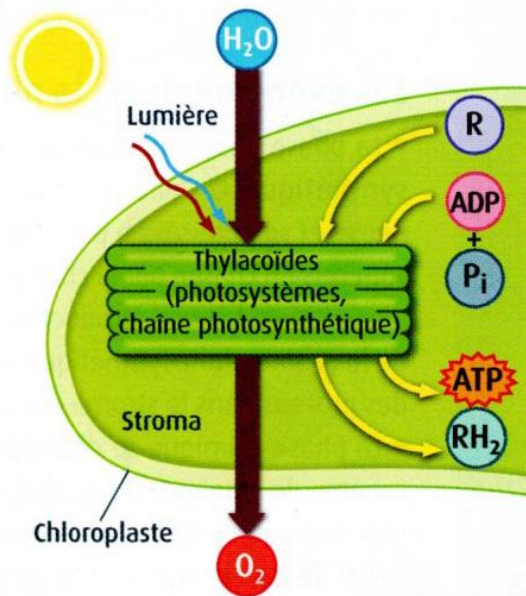
### Cycle de Calvin Benson.

De nombreuses années ont été nécessaires pour découvrir la suite des réactions permettant la synthèse des glucides à partir du  $\text{CO}_2$  atmosphérique. Ces réactions forment un cycle. La fixation du dioxyde de carbone sur une molécule de RuBP est réalisée par une enzyme : la Rubisco. Le produit de cette réaction est l'APG qui grâce à l'énergie apportée par la phase claire de la photosynthèse est converti en sucres à trois carbones phosphorylés : les trioses phosphates.

# La Photosynthèse: bilan



Les deux phases de la photosynthèse dans un chloroplaste.





# Elysia, un animal étonnant

*Elysia* est une limace qui vit dans l'eau de mer. Après un premier repas constitué d'algues, elle devient verte et peut rester plusieurs mois en l'absence de nourriture, à condition d'être éclairée.

## QUESTION

À partir de l'exploitation des différents documents, formulez une hypothèse afin d'expliquer comment *Elysia* peut survivre sans apport extérieur de nourriture.

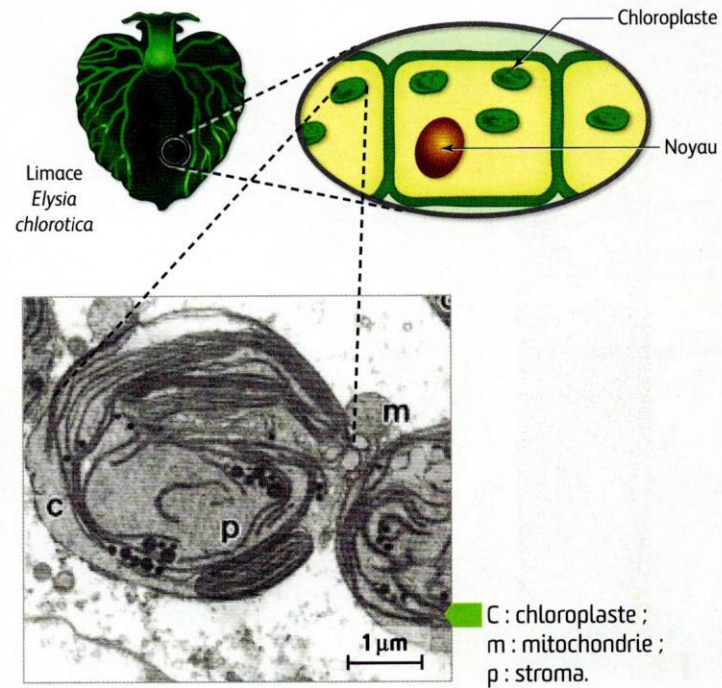
### DOCUMENT 1 La limace de mer *Elysia*

► Quelques jours après l'éclosion, les larves se fixent à des algues marines (végétaux chlorophylliens) dont elles se nourrissent. On constate qu'au bout de 5 jours, les limaces de mer changent de couleur et deviennent vertes.

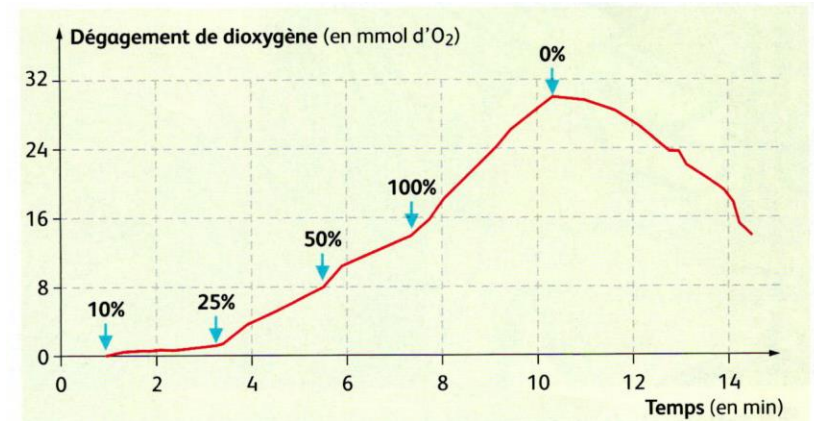


### DOCUMENT 2 Organites observables chez *Elysia* après la consommation d'algues (MET)

► Après le changement de couleur, les cellules possèdent de nouvelles structures présentées sur la photo suivante. Ces structures n'apparaissent pas si les limaces ne se nourrissent pas d'algues.



## Exercice



► L'éclairage varie de 100 % à 0 %.