

EPFL/CMS
Sciences de la vie
Printemps 2019

S. Guennoun Lehmann

Métabolisme cellulaire



Introduction

- La vie se manifeste par un **flux d'énergie** constant canalisé par l'ensemble des organismes vivants
- Chaque caractéristique du vivant (croissance, reproduction, régulation du milieu interne, ...) requiert un apport constant d'énergie

Comment l'énergie alimente les activités du vivant ?

Autrement dit :

Comment les organismes captent, emmagasinent et utilisent l'énergie ?

Différentes formes d'énergie

- Énergie potentiel : énergie résiduelle, c'est l'énergie emmagasinée qu'un corps possède en raison de sa forme et de sa position
- Énergie cinétique : énergie que possède un corps en raison de son mouvement
- Le travail se traduit par la transformation de l'énergie potentielle en énergie cinétique
- Différentes formes d'énergie : mécanique, son, chaleur, électrique, lumineuse, radioactif,...
- Toutes les formes d'énergie peuvent être converties en chaleur
 - Unité : calories = chaleur nécessaire pour éléver la température d'un gramme d'eau de 1°C, en SI : joules ($1\text{J} = 0,239\text{ cal}$)

Métabolisme cellulaire

➤ **Métabolisme** : l'ensemble des réactions chimiques qui se passent dans une cellule, au sein d'un organisme vivant. On distingue :

- **Anabolisme** : réactions du métabolisme qui nécessitent de l'énergie pour établir ou modifier des liaisons chimiques (réactions de synthèse). Ce sont des réactions **endergoniques**

La photosynthèse est une réaction d'anabolisme :



- **Catabolisme** : réactions du métabolisme qui récupèrent l'énergie libérée par des ruptures de liaisons chimiques (dégradation des macromolécules en petites molécules). Ce sont des réactions **exergoniques**. La respiration cellulaire est une réaction de catabolisme :



Métabolisme cellulaire

- Anabolisme et catabolisme sont des **réactions couplées** avec d'autres réactions qui nécessitent non seulement des **enzymes catalyseurs** mais aussi des **transporteurs de protons (H^+) et d'électrons**

Chez le vivant, le flux d'énergie est traduit par des réactions d'oxydo-réduction (réactions redox)

Anabolisme :

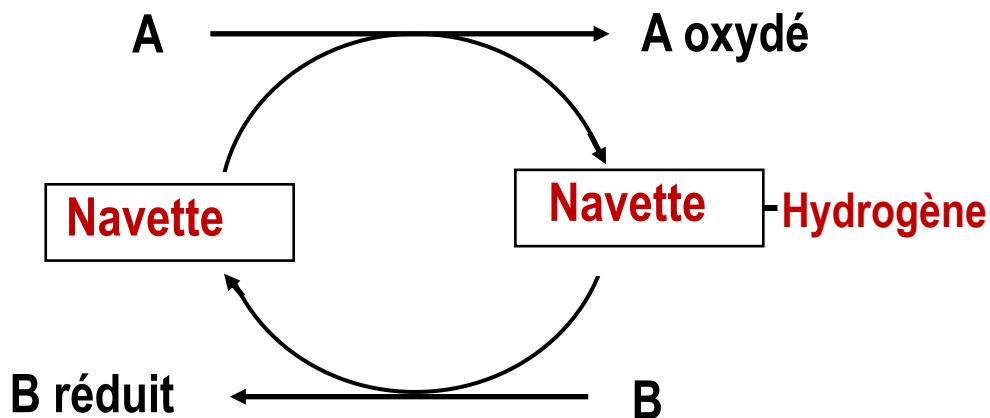
- Synthèse de grosses molécules à partir de petites molécules
- Réactions de **réduction**
- Voies métaboliques **endergoniques** (consomment de l'énergie)

Catabolisme :

- Dégradation de macromolécules en petites molécules
- Réactions d'**oxydation**
- Voies métaboliques **exergoniques** (libèrent de l'énergie)

Chez le vivant, les réactions redox font intervenir des navettes qui fixent le proton H⁺ lors d'une réaction d'oxydation et le rendent lors d'une réaction de réduction

Chez les organismes vivants, les réactions d'oxydoréduction font généralement intervenir des "**navettes**" à hydrogène ; celles-ci se chargent de l'hydrogène "enlevé" lors d'une oxydation et ces "navettes" ainsi hydrogénées redonnent cet hydrogène lors d'une réaction de réduction



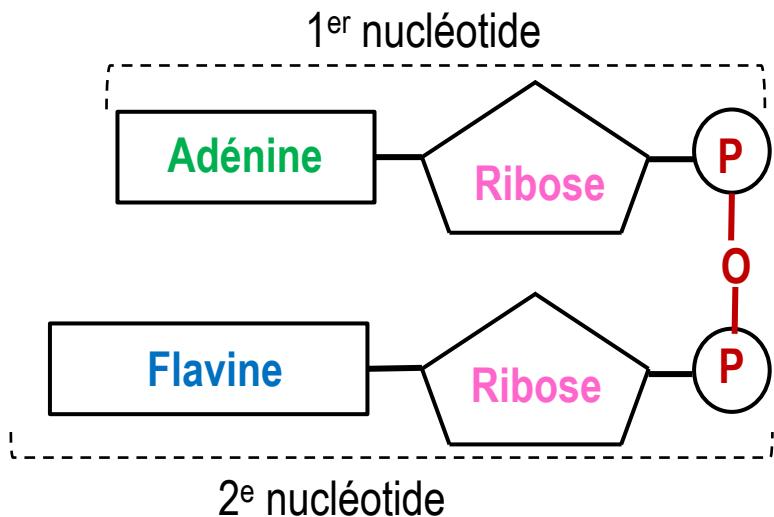
Les transporteurs de H⁺ et d'électrons "navettes" sont appelés coenzymes ou cofacteurs d'oxydoréduction

Les enzymes catalytiques sont souvent assistées dans leur fonction par des substances chimiques appelés **cofacteurs**

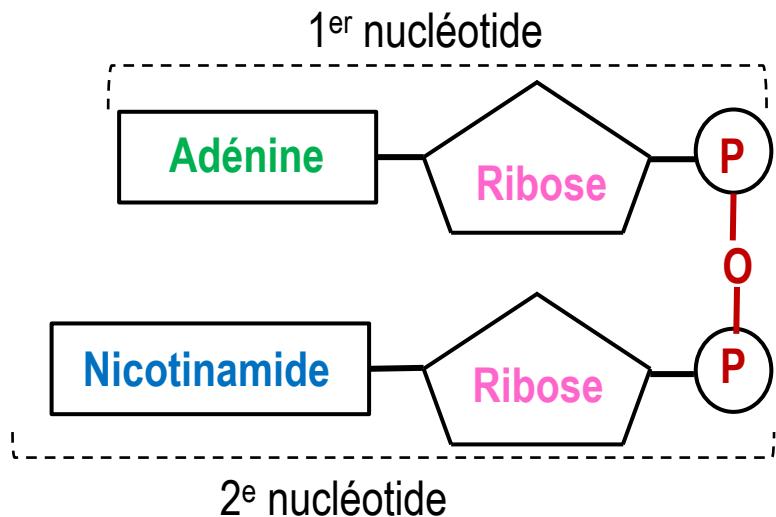
- Le site actif de nombreuses enzymes contient par exemple des ions métalliques qui aident à maintenir les électrons à l'écart des molécules du substrat (Zn, Mn, Mg, ...)
- Lorsque le cofacteur est une molécule organique non protéique on l'appelle **coenzyme**
- Dans une cellule, la plupart des coenzymes transmettent de l'énergie sous forme d'hydrogène

Les deux couples redox NADH, H⁺/NAD⁺ et FADH₂/FAD

Le NAD et le FAD jouent un rôle majeur dans les **réactions d'oxydo-réduction** : il servent de **navette à hydrogène**, fixant l'hydrogène libéré lors de réactions d'oxydation et s'en "déchargeant" d'une enzyme à l'autre



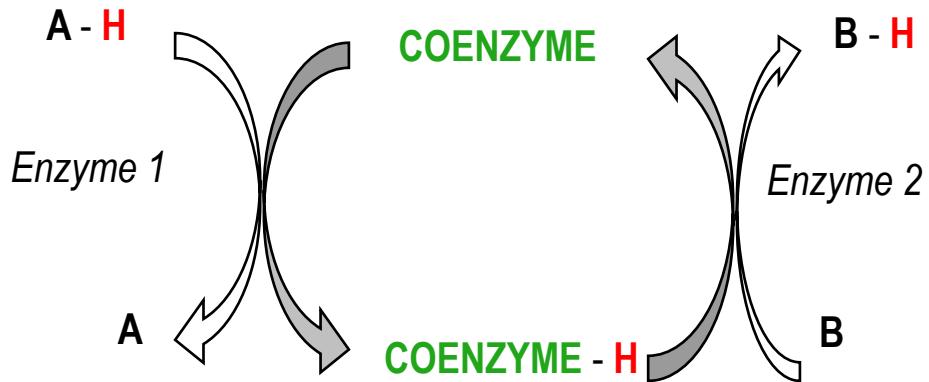
FAD : Flavine Adénine Dinucléotide



NAD : Nicotinamide Adénine Dinucléotide

Autres coenzymes

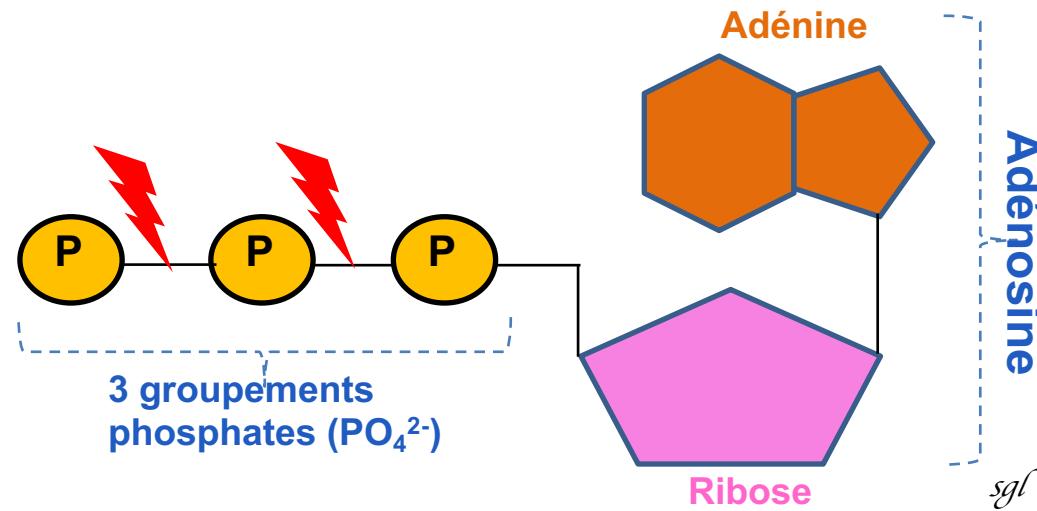
*N.B.: seulement pour information !
 Ne sera pas évalué au contrôle 3)*



De nombreuses coenzymes sont des vitamines ou contiennent des vitamines

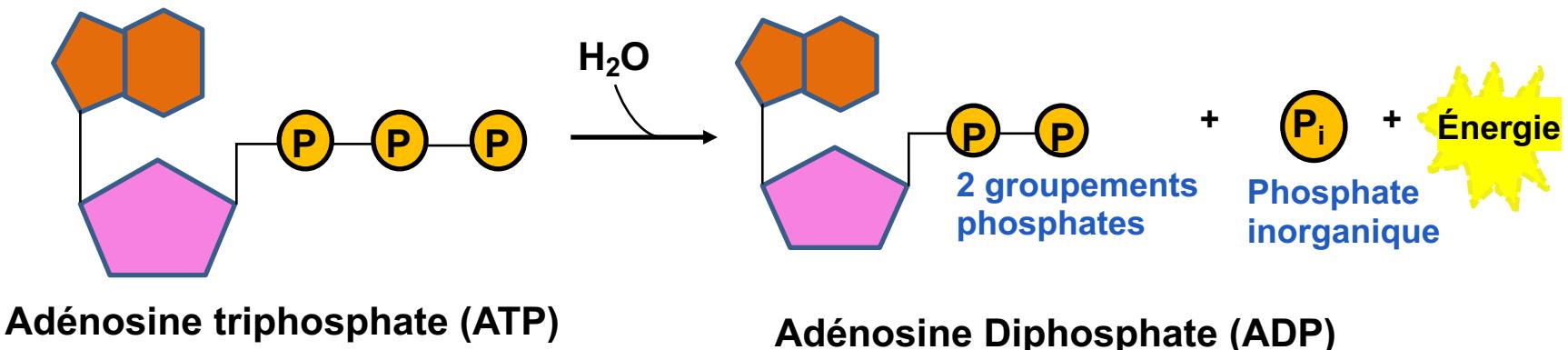
- Coenzymes d'oxydo-réduction :
 - vitamine PP ou vitamine B5 contenue dans le NAD et le NADP
 - vitamine B2 (riboflavine) contenue dans FAD
- Coenzymes de transfert de groupements carbonés :
 - CO_2 : la biotine et la thiamine (vitamine B1) interviennent dans les réactions de carboxylation (ajout de CO_2) ou de décarboxylation (soustraction de CO_2)
 - groupement mono-carboné : acide folique et vitamine B12
 - groupement à plusieurs carbones : vitamine B6 et **Coenzyme A** (cf. respiration cellulaire)

L'échange d'énergie entre anabolisme et catabolisme n'est possible que grâce à l'ATP capable d'emmagasiner cette énergie et de la restituer selon les besoins de la cellule

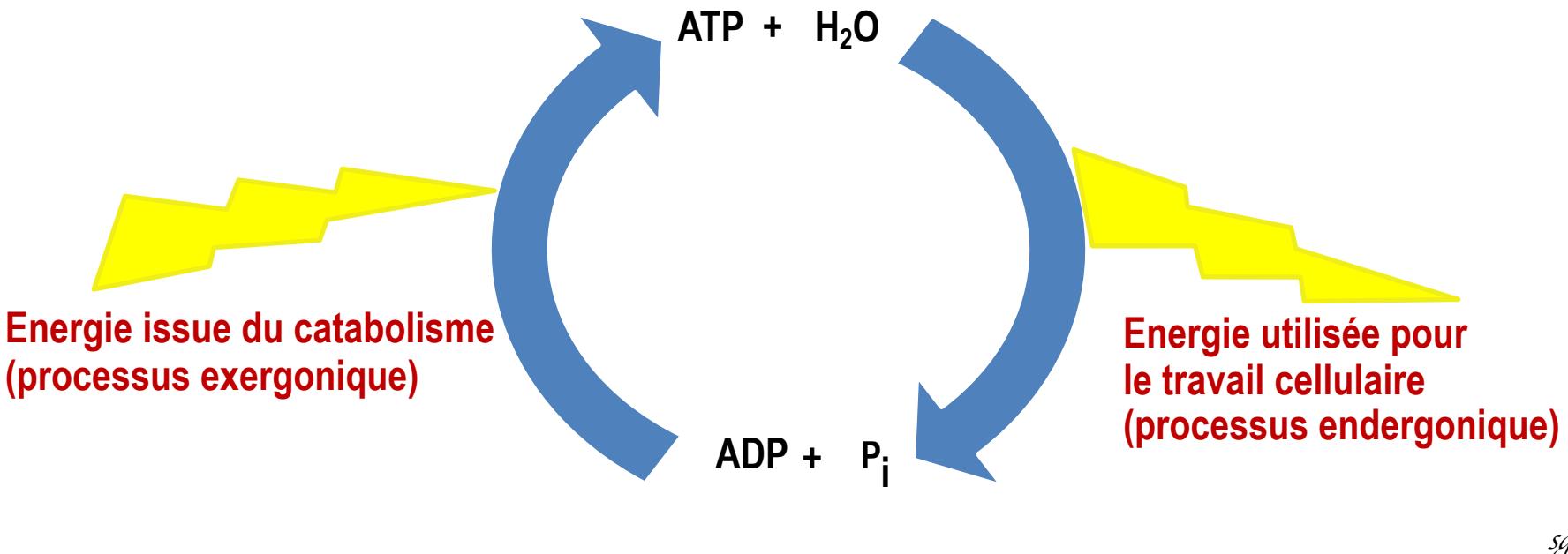


L'ATP (Adénosine triphosphate) fonctionne comme une pile électrique chargée qui, lorsqu'elle est utilisée, se décharge en se transformant en ADP avec perte d'un phosphate inorganique noté : P_i

Hydrolyse de l'ATP et libération d'énergie nécessaire aux réactions métaboliques


sgl

L'ATP ne peut être stocké, il est reconstitué en permanence selon les besoins de la cellule



sgf

- **Un organisme vivant est un système ouvert : il échange, en permanence, de l'énergie et de la matière avec son environnement**
- **Les composés organiques sont continuellement renouvelés et transformés : un apport continu de matière et d'énergie est indispensable pour le métabolisme cellulaire**

Les organismes vivants peuvent être classés en fonction de leur source de matière organique, c'est ce qu'on appelle leur type trophique

- **Les Hétérotrophes** : organismes qui se procurent de la matière organique dans leur milieu
Animaux, Eumycètes, la plupart des Protistes et la plupart des Bactéries
- **Les Autotrophes** : organismes capables d'élaborer leur matière organique grâce à la photosynthèse
Végétaux, certains Protistes comme les algues et certaines Bactéries

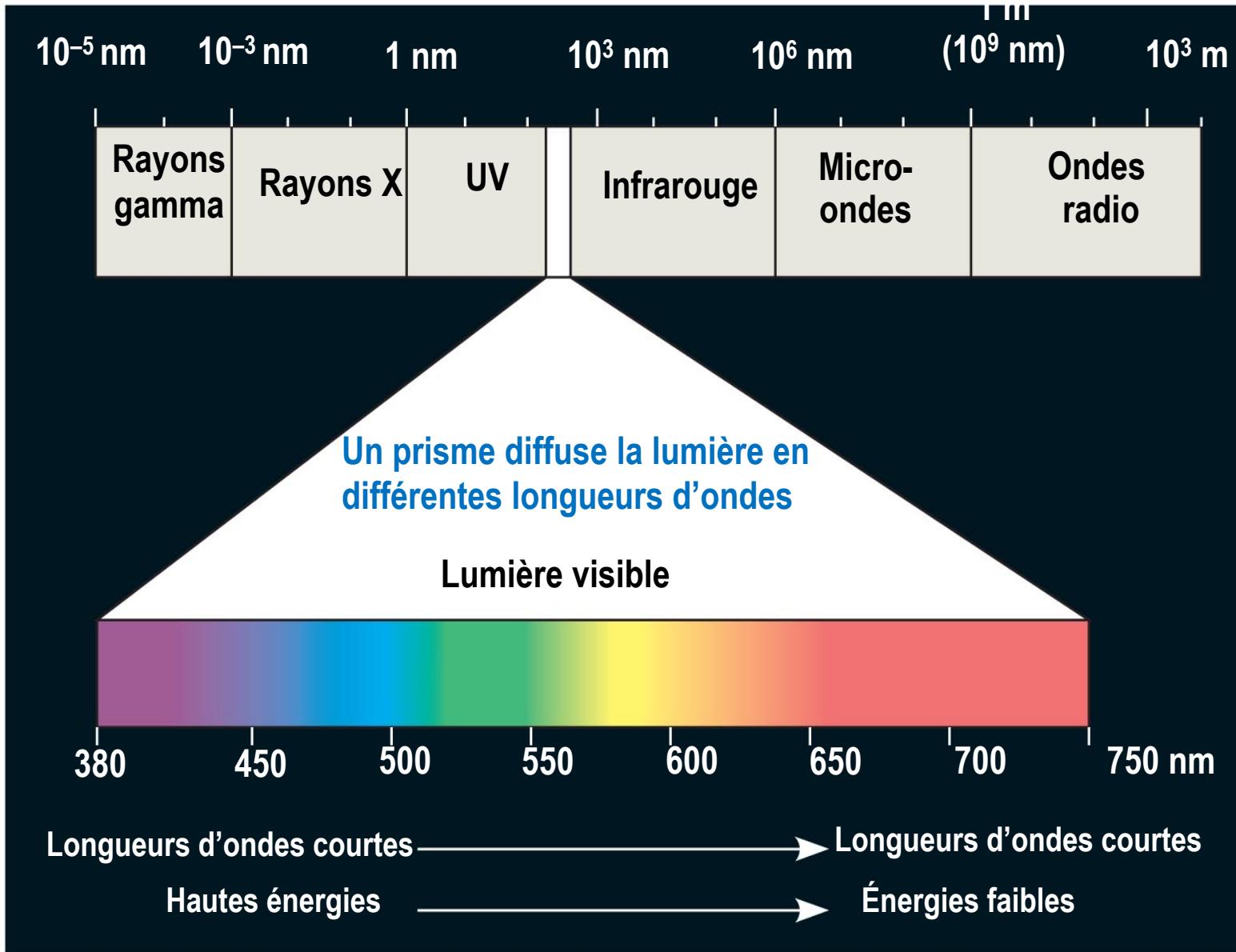
Exemple d'anabolisme : La photosynthèse qui converti l'énergie solaire en énergie chimique

La lumière peut être diffuser ou absorbée par la matière



Campbell & Reece, 2010

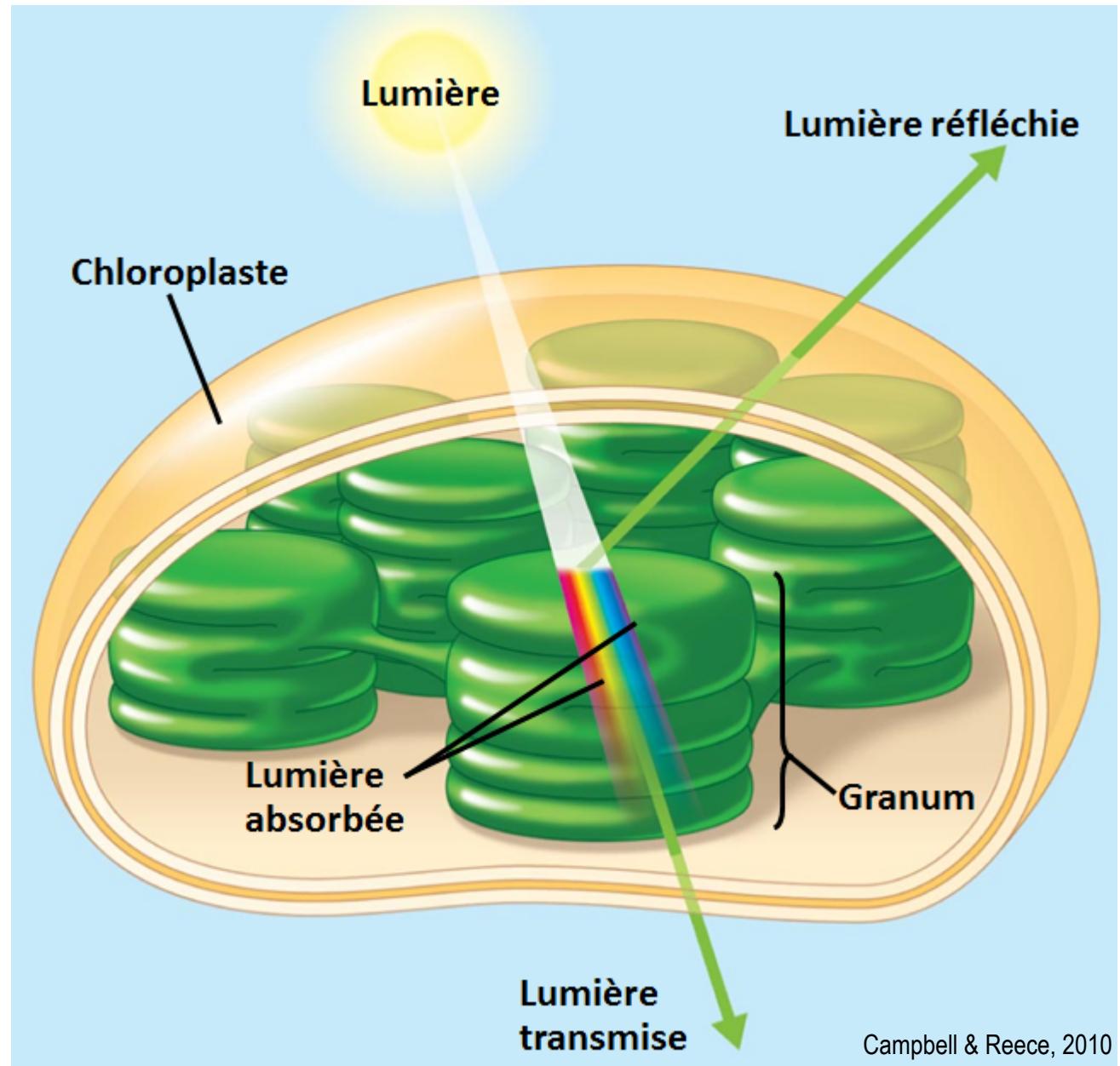
La lumière visible alimente la photosynthèse



Campbell & Reece, 2010

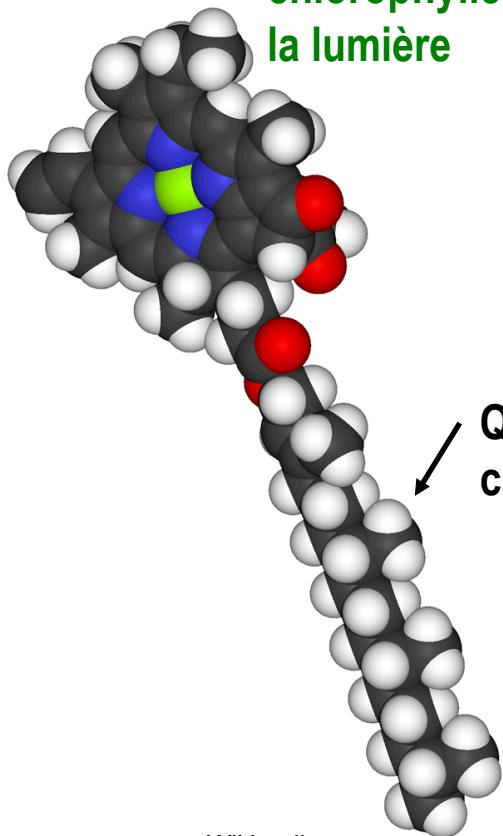
Chez les organismes autotrophes (ou photoautotrophes), les substances qui absorbent la lumière s'appellent **pigments**

Le principal pigment chez les plantes vertes c'est la **chlorophylle**



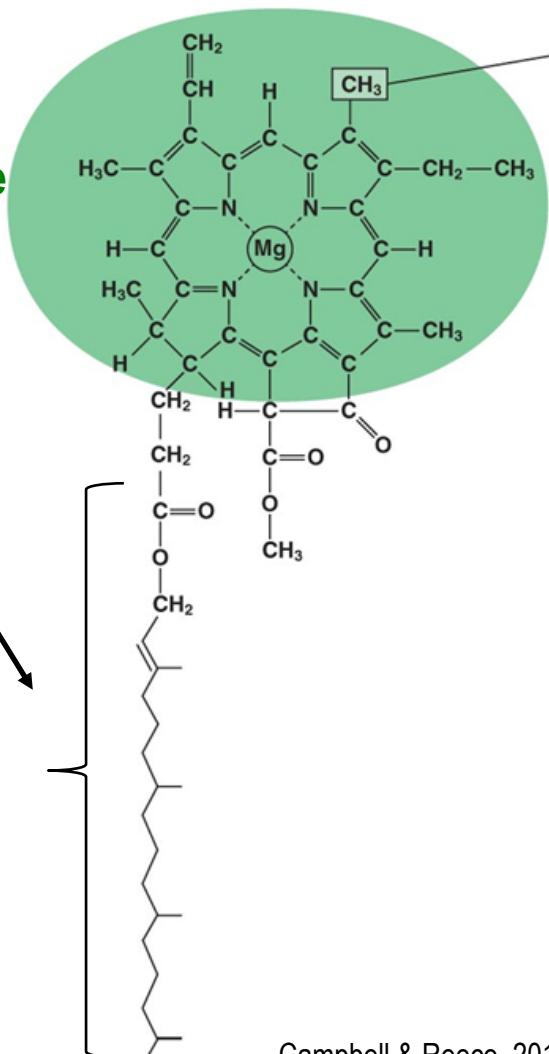
Campbell & Reece, 2010

Structure chimique de la molécule de chlorophylle



Tête : partie de la chlorophylle qui absorbe la lumière

Queue à 20 carbones



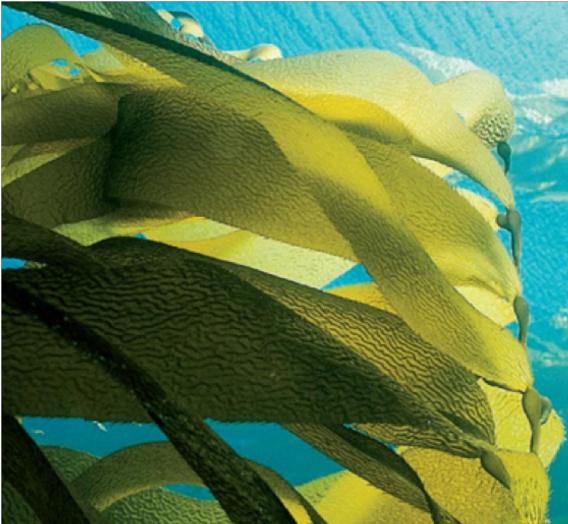
Campbell & Reece, 2010

Exemples d'organismes autotrophes

40 µm



40 µm



Cyanobactéries
(Algues bleues)

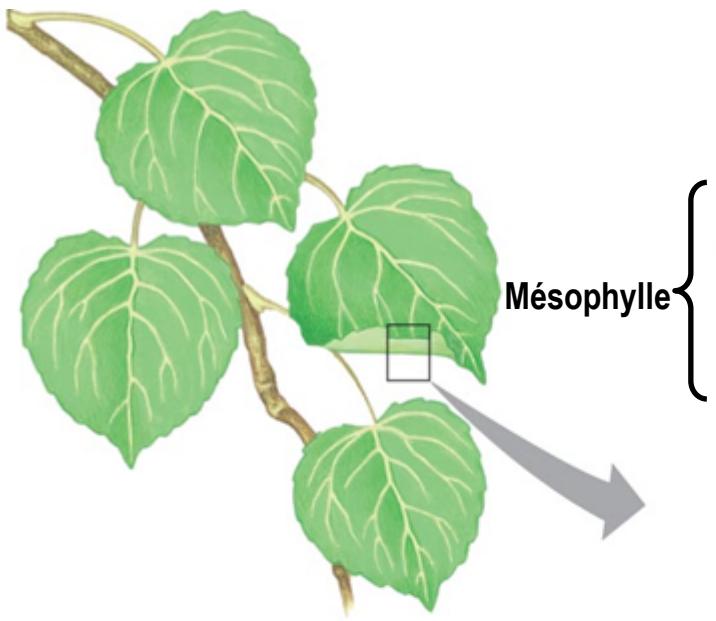
10 µm



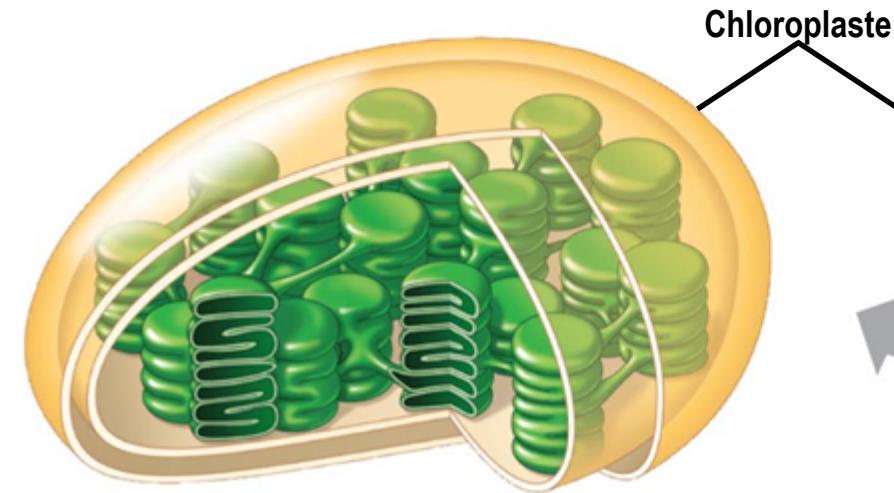
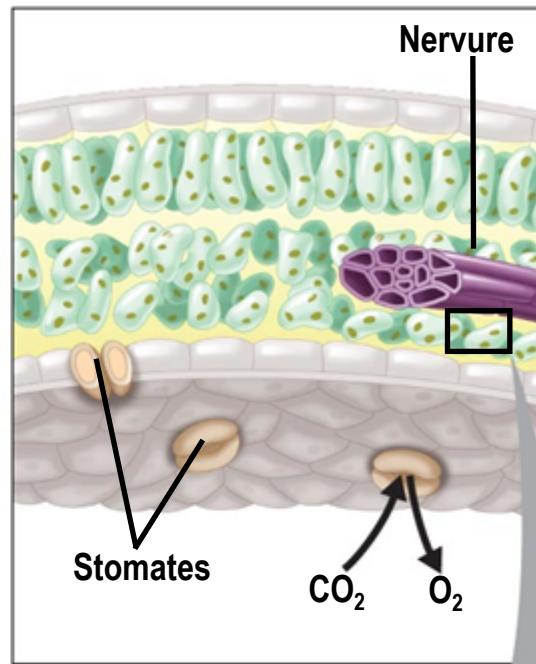
Végétaux

Campbell & Reece, 2010

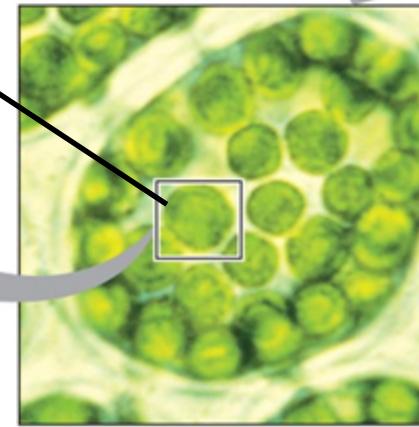
Algues (Protistes)



Coupe transversale d'une feuille



Cellule du mésophylle



Campbell & Reece, 2010

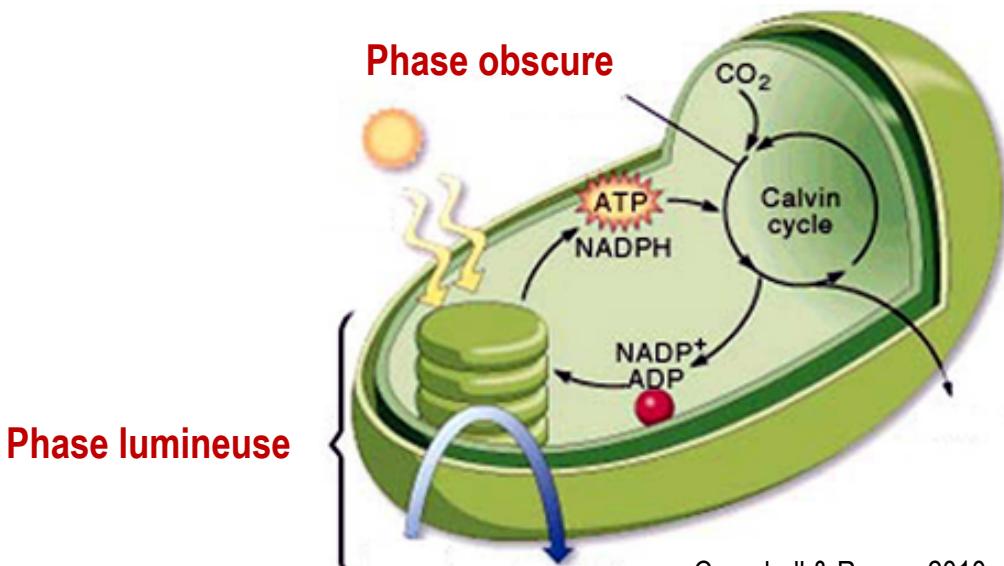
La photosynthèse se fait en deux phases

1. **Phase lumineuse** : réactions photochimiques dans la membrane des thylakoïdes où H_2O se scinde et rejette O_2

- Réduction de NADP^+ en NADPH
- Production de l'ATP par photophosphorylation

2. **Phase obscure** : Cycle de Calvin dans le stroma :

- Fixation du carbone : formation du glucose à partir du CO_2 en utilisant NADPH et l'ATP

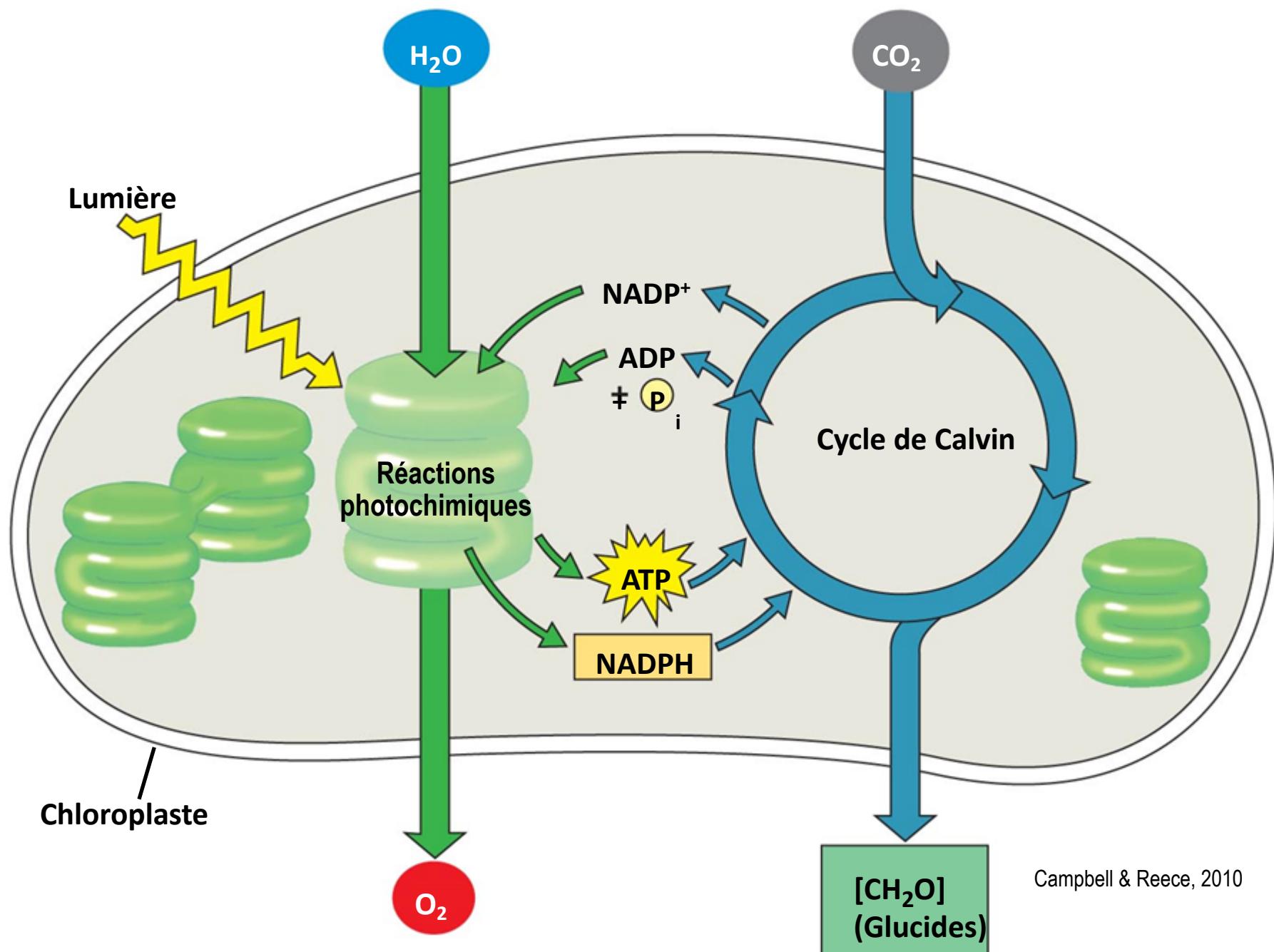


Campbell & Reece, 2010



Melvin Calvin (1911-1997)
Biochimiste Américain
Prix Nobel de chimie en 1961.
Wikipedia.org

Calvin a utilisé le carbone 14 comme traceur radioactif, pour cartographier la cheminement complet du carbone à travers une plante pendant la photosynthèse, commençant depuis son absorption sous forme de CO_2 atmosphérique jusqu'à sa conversion en glucose.



La photosynthèse : Bilan énergétique

Réaction globale :



Il faut 6 molécules de CO_2 et 6 molécules d' H_2O pour synthétiser 1 molécule de glucose, libérant 6 molécules de O_2 , grâce à l'énergie lumineuse.

Mais ce bilan est en fait décomposé en deux étapes successives :

1. les réactions photochimiques (phase claire) :



2. le cycle de Calvin (phase sombre) :

