



Géorressources, énergies et transitions

La photosynthèse (1ère partie)

R. Thiéry

Des formes primitives et  
archaïques de  
photosynthèse seraient  
peut-être apparues dès les  
début de la vie,  
il y a **3.8 milliards d'années**



La photosynthèse oxygénique  
aurait commencé,  
il y a **2.4 à 2.0 milliards d'année**



Dégagement de dioxygène

Il y a 2,4 à 2,0 milliards d'années

La catastrophe de l'oxygène

La crise de l'oxygène

Un événement majeur  
dans l'histoire de la Terre ...



# La Terre à l'époque du Paléoproତérozoïque

*une planète jaune-orange à cette époque...*

# Les Cyanobactéries



## Sur l'oxygénation de l'atmosphère et des océans

Ce dioxygène finit par  
diffuser dans l'atmosphère

# Sur l'oxygénation de l'atmosphère et des océans

PHILOSOPHICAL  
TRANSACTIONS  
— OF —  
THE ROYAL  
SOCIETY 

*Phil. Trans. R. Soc. B* (2006) **361**, 903–915

doi:10.1098/rstb.2006.1838

*Published online 19 May 2006*

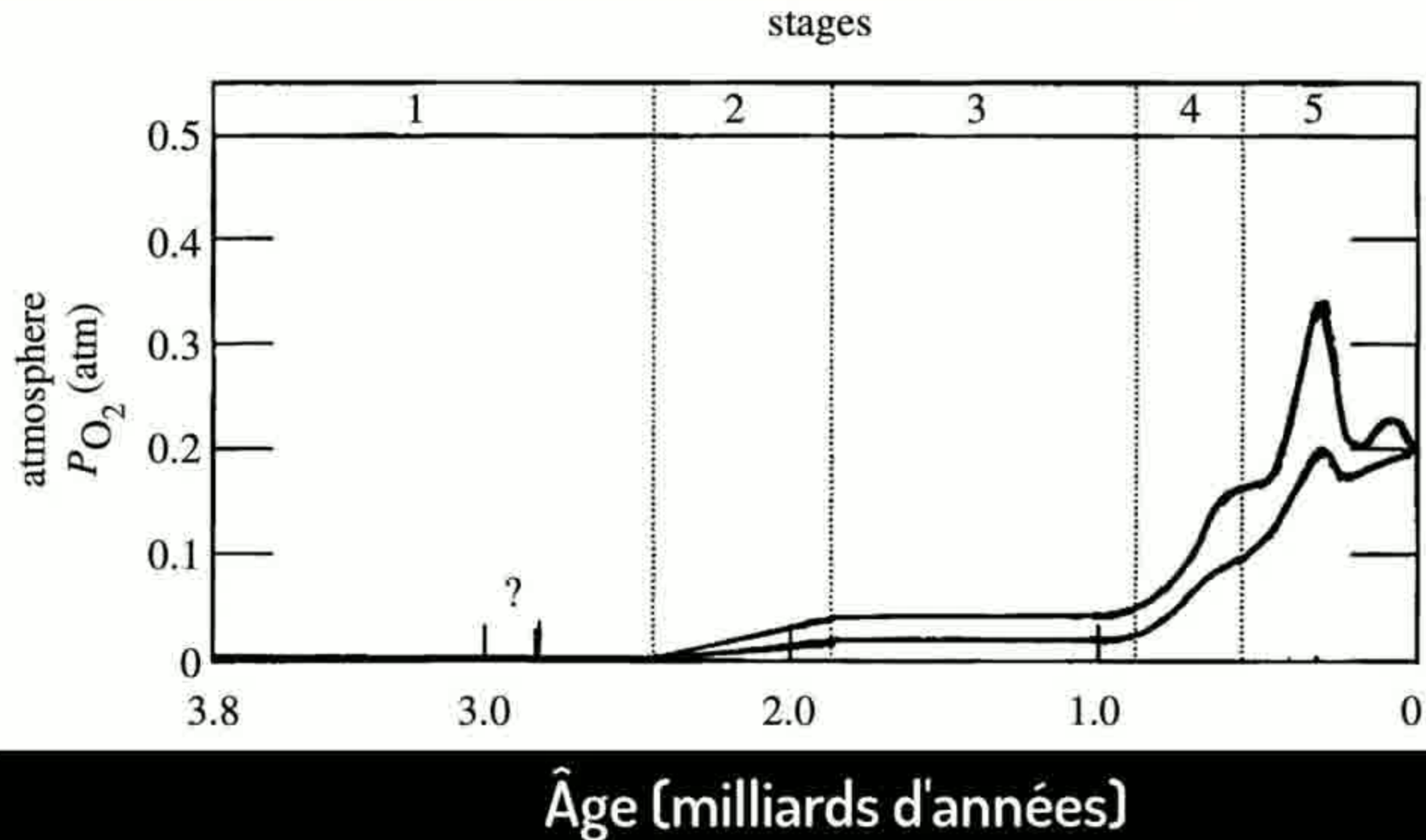
## **The oxygenation of the atmosphere and oceans**

**Heinrich D. Holland\***

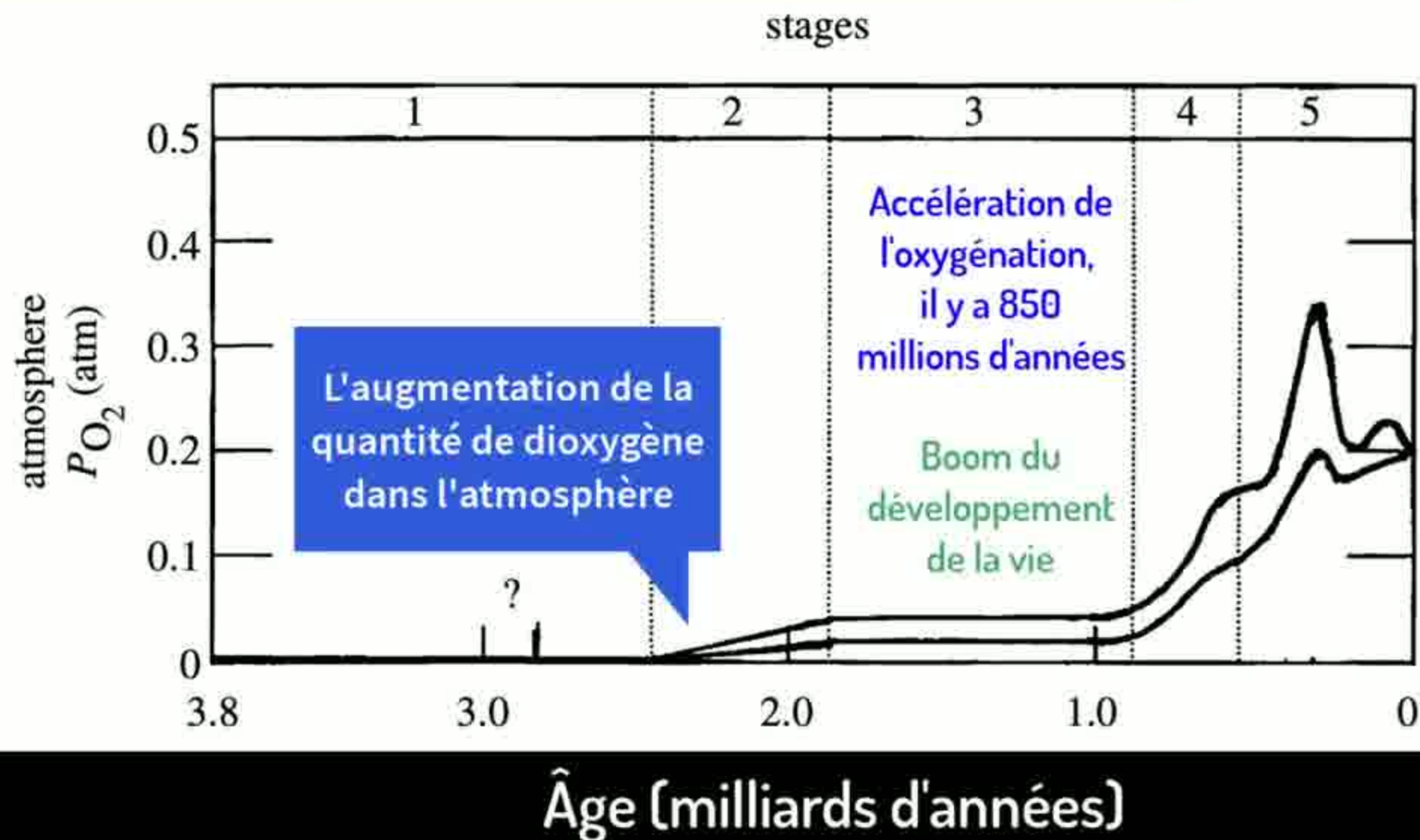
*Department of Earth and Planetary Sciences, Harvard University, Cambridge, MA 02138, USA*

*(l'article de référence)*

# Sur l'oxygénation de l'atmosphère et des océans



# Sur l'oxygénation de l'atmosphère et des océans



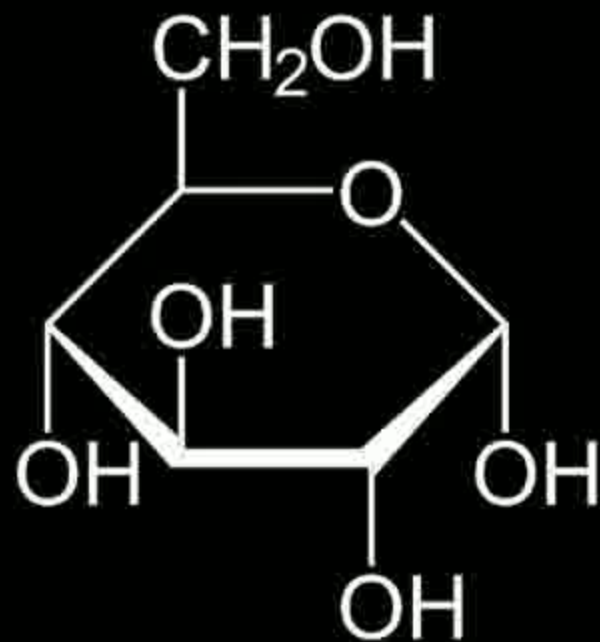


Convertir l'énergie de  
la lumière du Soleil  
en énergie chimique

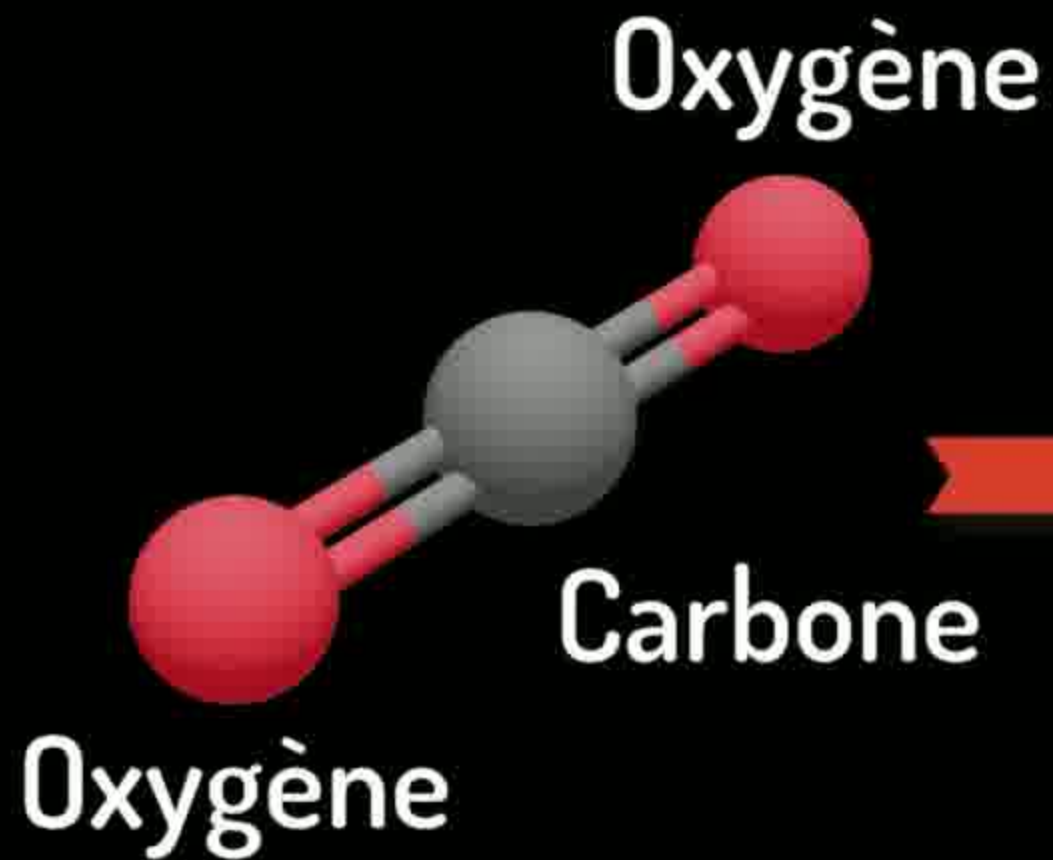


Fabriquer des  
molécules organiques  
à partir d'eau et de  
gaz carbonique

# La photosynthèse

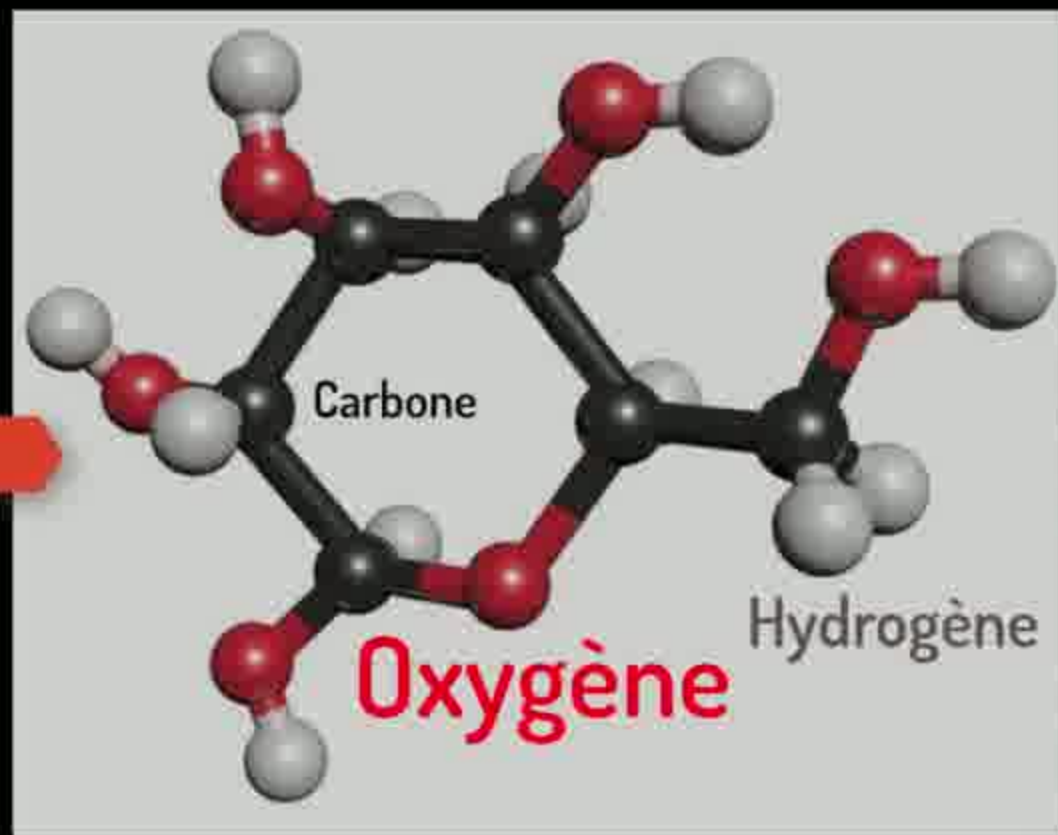


## Le dioxyde de carbone



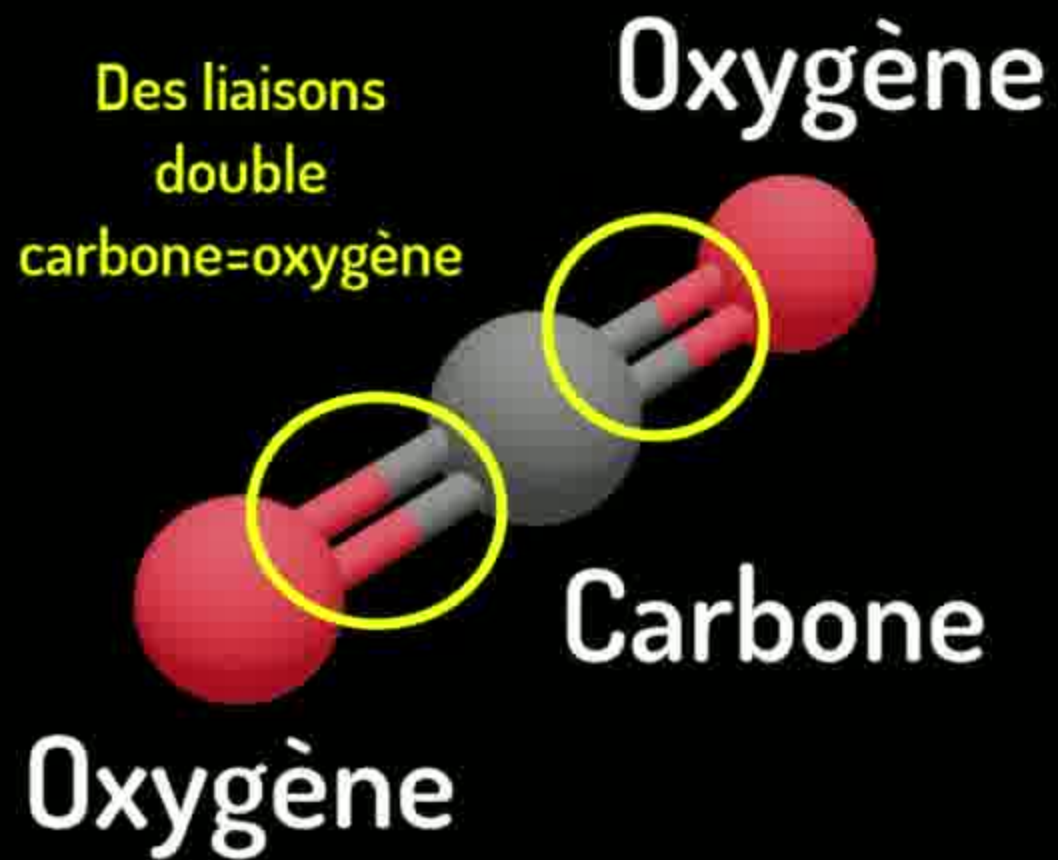
*du carbone inorganique*

## Le glucose

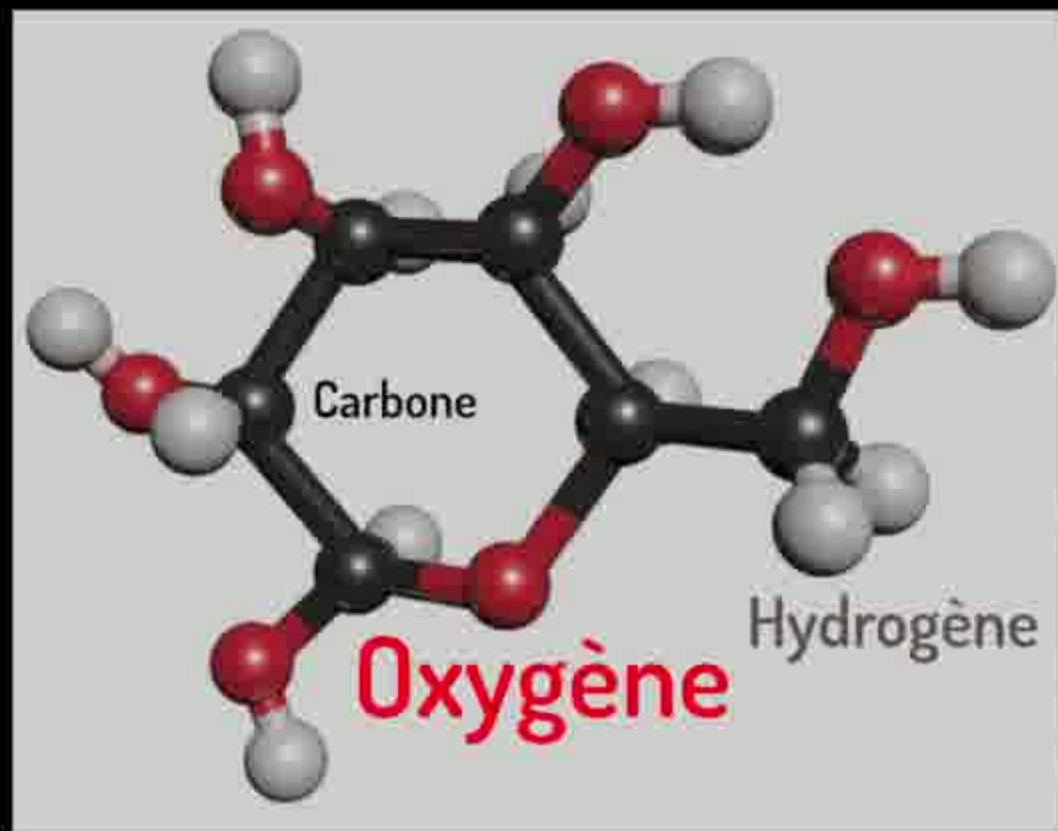


*du carbone organique*

## Le dioxyde de carbone

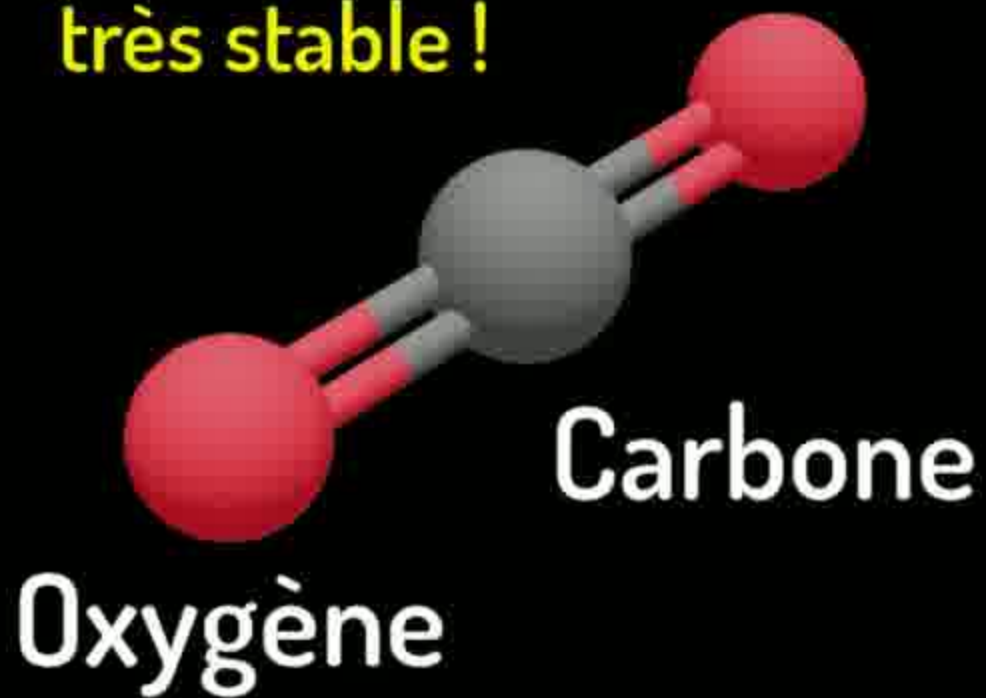


## Le glucose

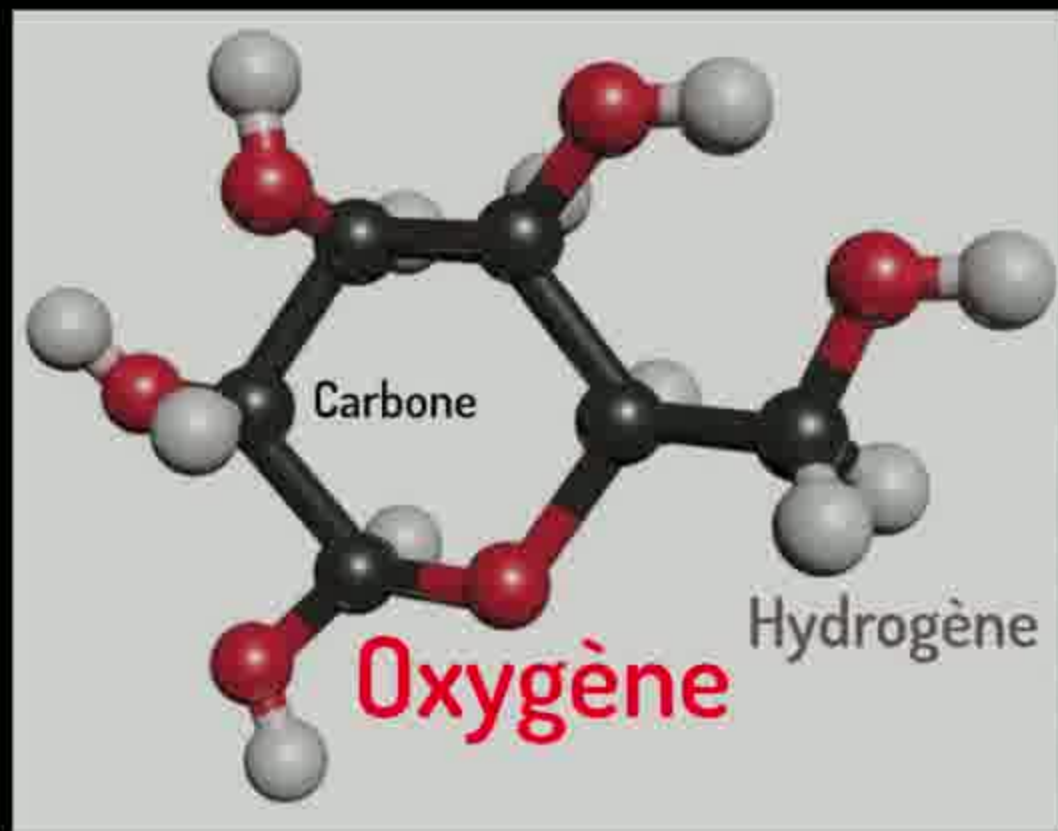


## Le dioxyde de carbone

Une molécule  
très stable !

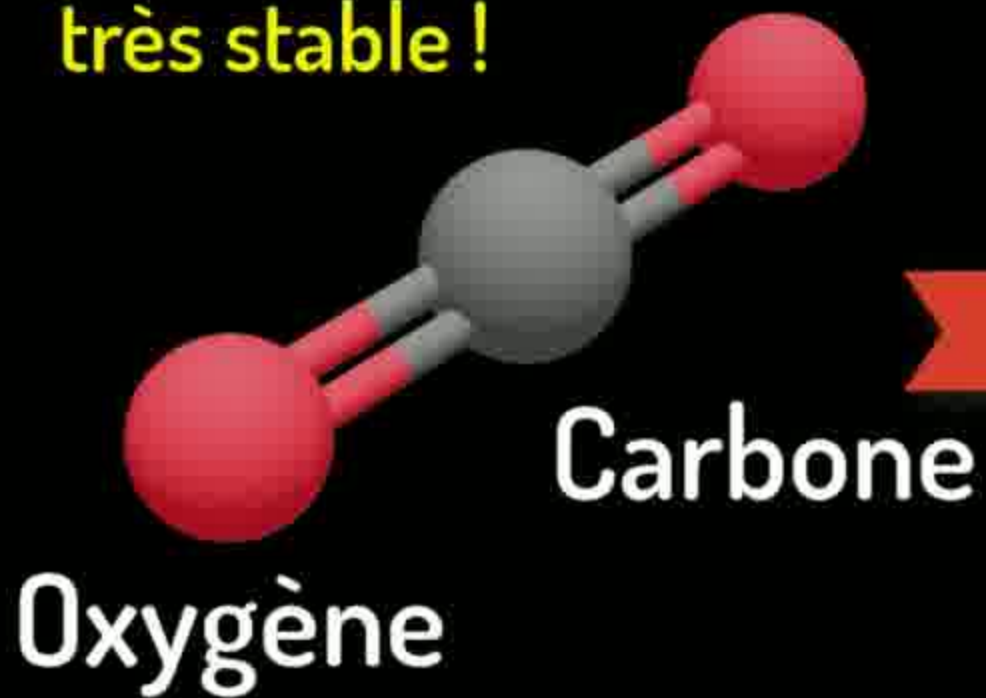


## Le glucose



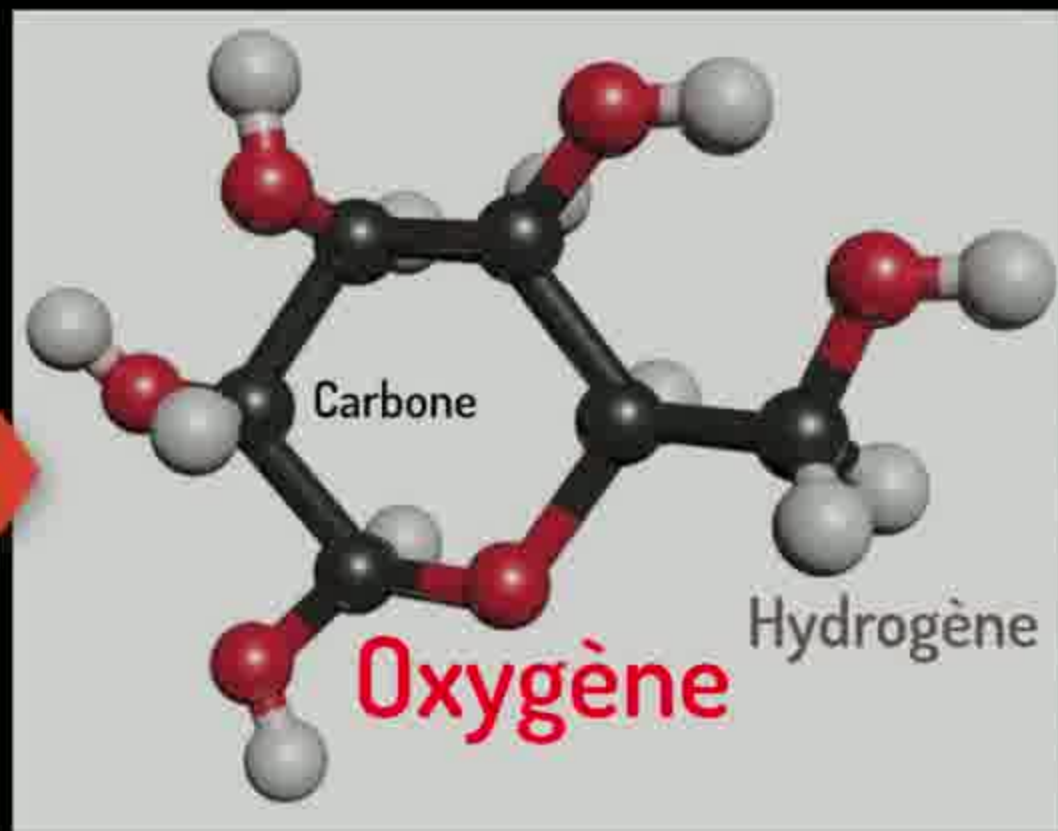
## Le dioxyde de carbone

Une molécule très stable !



Énergie

## Le glucose



# Le glucose



De l'énergie  
chimique en boîte !

avec des liaisons covalentes simples

C-C

*carbone-carbone*

C-H

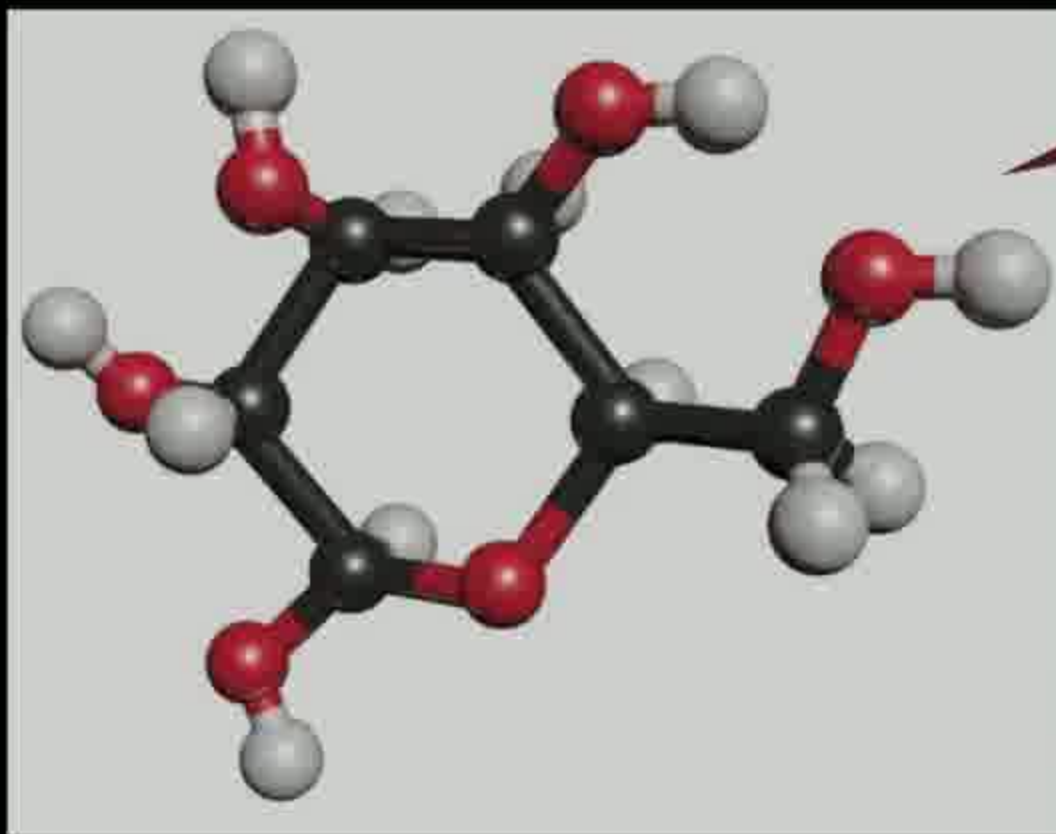
*carbone-hydrogène*

C-OH

*carbone-oxygène hydroxyl*

Ce sont des liaisons moins stables !

# Le glucose



De l'énergie  
chimique en boîte !

avec des liaisons covalentes simples

C-C

*carbone-carbone*

C-H

*carbone-hydrogène*

C-OH

*carbone-oxygène hydroxyl*

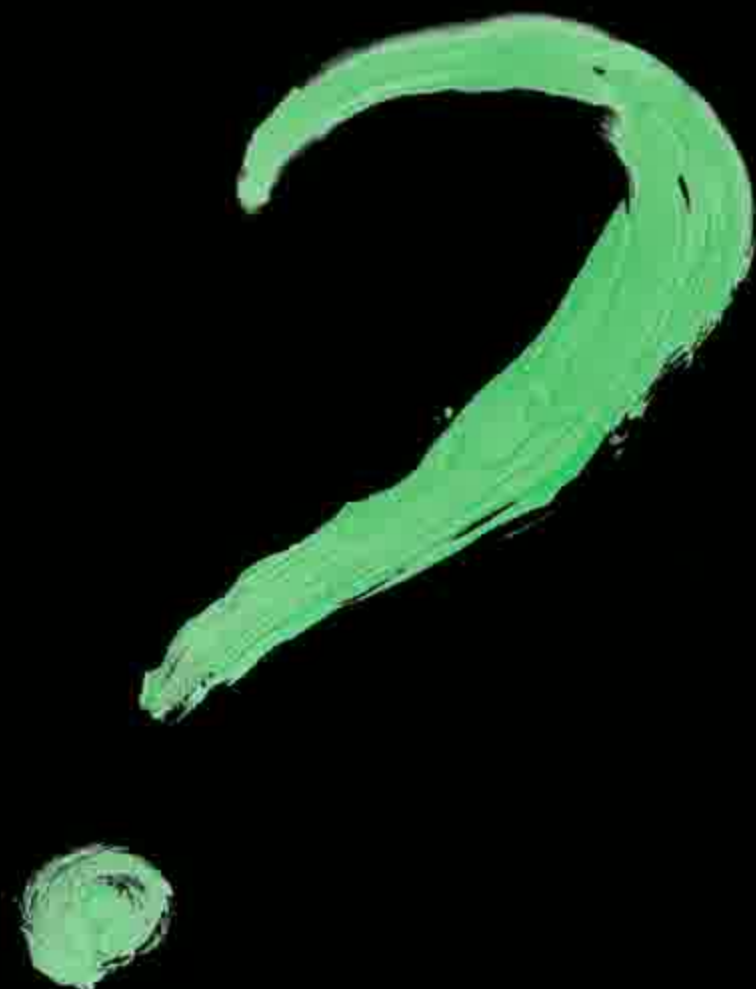
En cassant ces liaisons pour refaire des  
liaisons C=O, on récupère de l'énergie !

La respiration  
cellulaire



La  
photosynthèse,  
cela fonctionne  
comment ?

*Une question d'actualité en lien avec les  
futures transitions énergétiques à venir !*



## Les pigments

= substances colorées  
qui absorbent la  
lumière dans certaines  
longueurs d'onde

Interactions matière-  
lumière visible du Soleil



## Les pigments

= substances colorées  
qui absorbent la  
lumière dans certaines  
longueurs d'onde

Chlorophylles

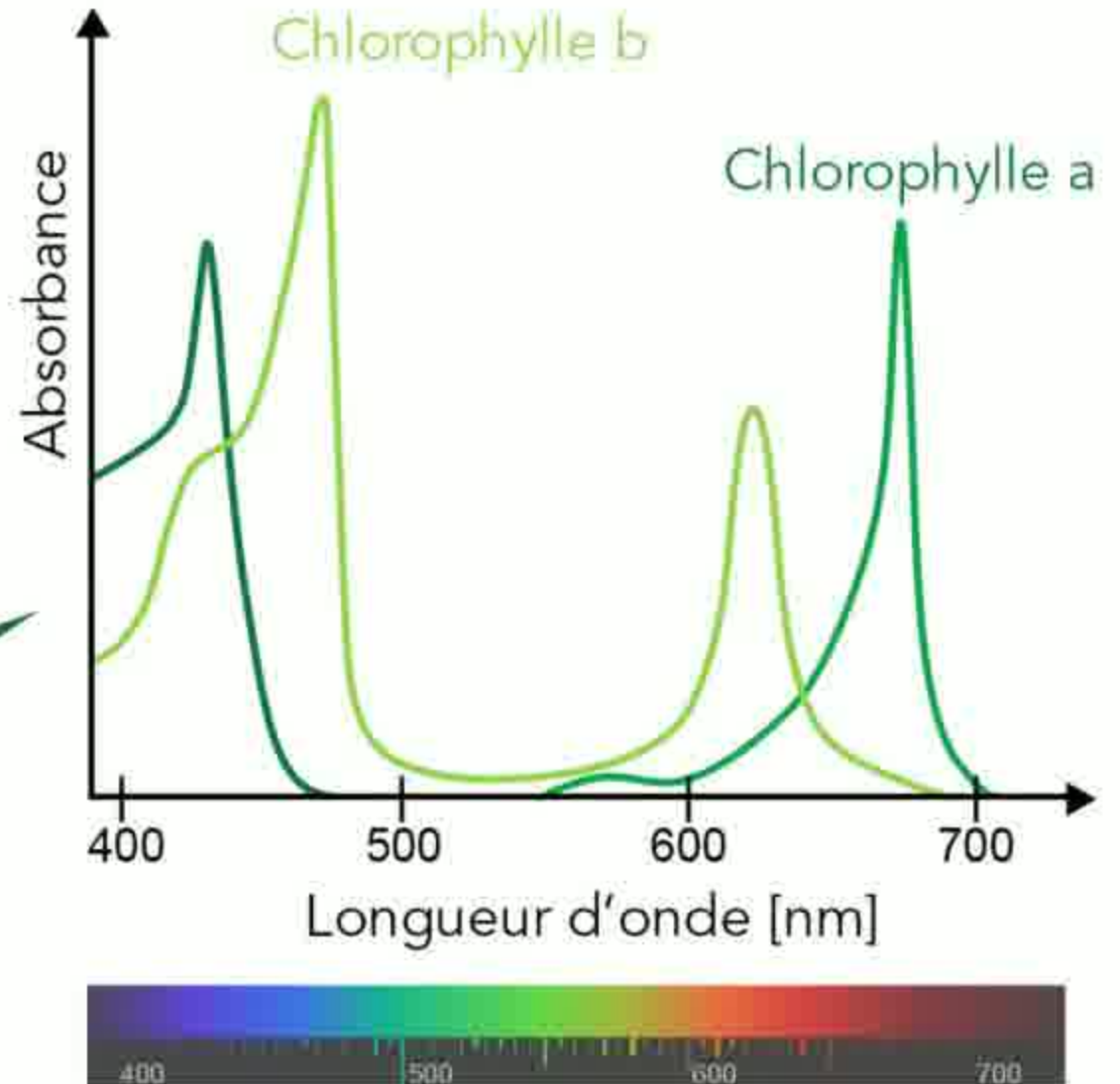
Caroténoïdes



# Les pigments

= substances colorées  
qui absorbent la  
lumière dans certaines  
longueurs d'onde

Pics d'absorption des  
chlorophylles dans les  
**bleus** et les **rouges**



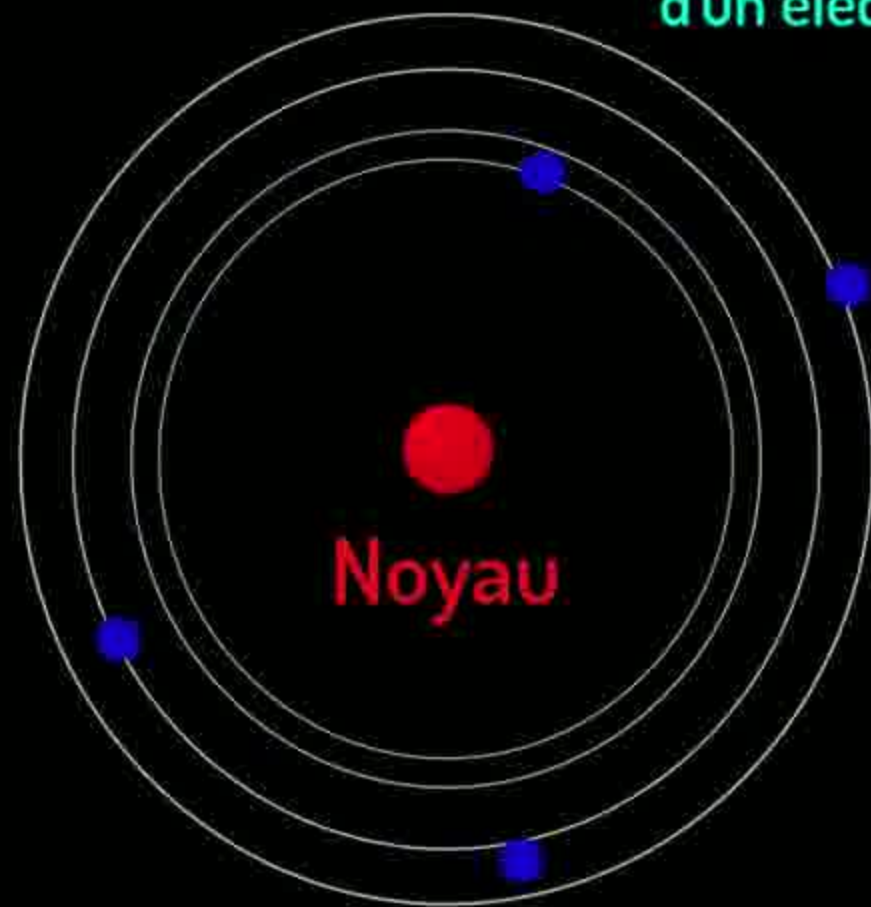
## Les pigments

= substances colorées  
qui absorbent la  
lumière dans certaines  
longueurs d'onde

Photon avec la "bonne"  
longueur d'onde



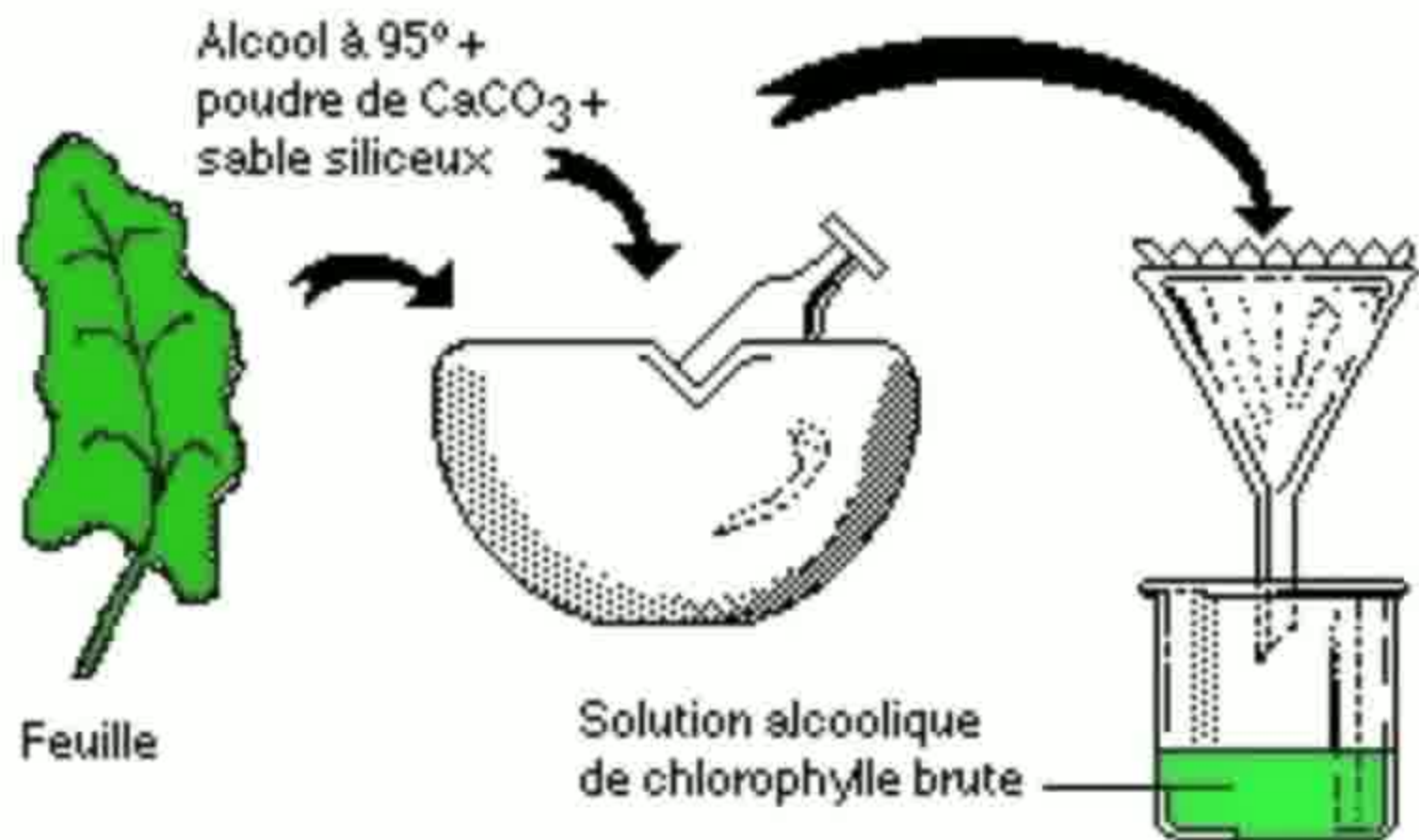
Excitation  
d'un électron



Électrons

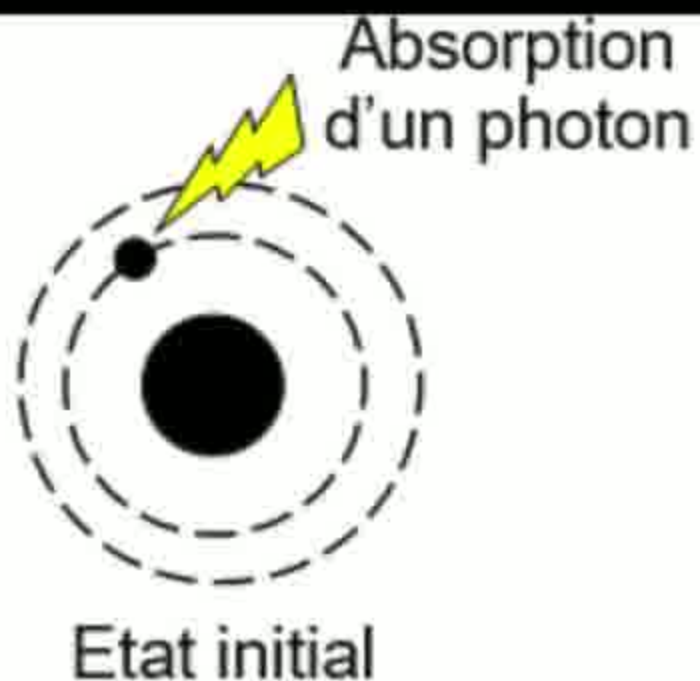
## Une solution alcoolique de chlorophylle, c'est vert ...

car elle absorbe  
les lumières  
bleues et rouges

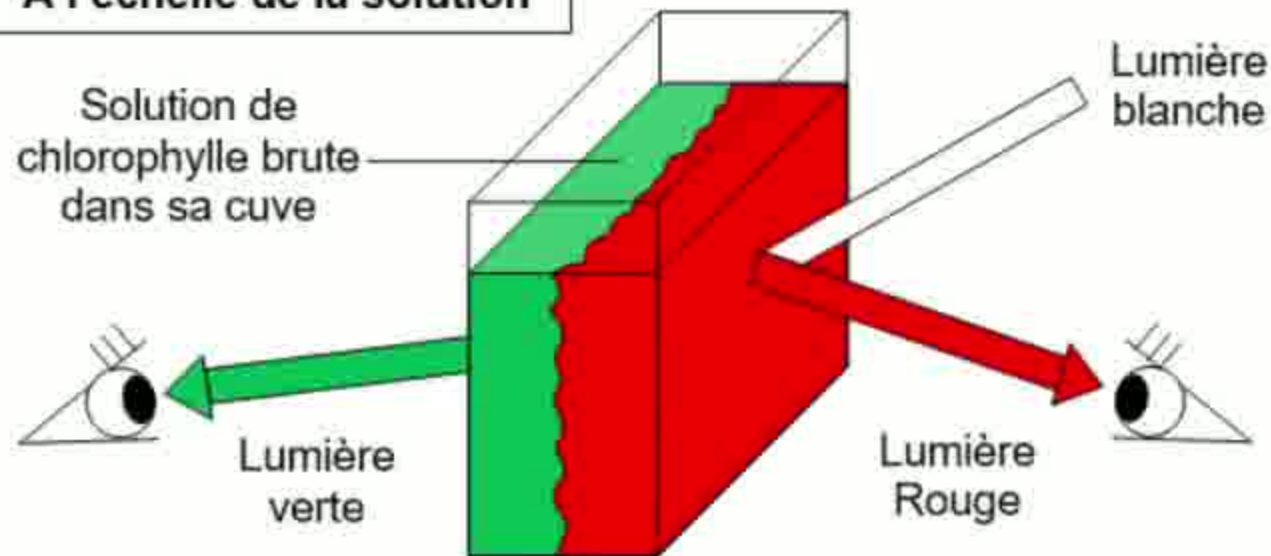


PREPARATION D'UNE SOLUTION ALCOOLIQUE DE CHLOROPHYLLE

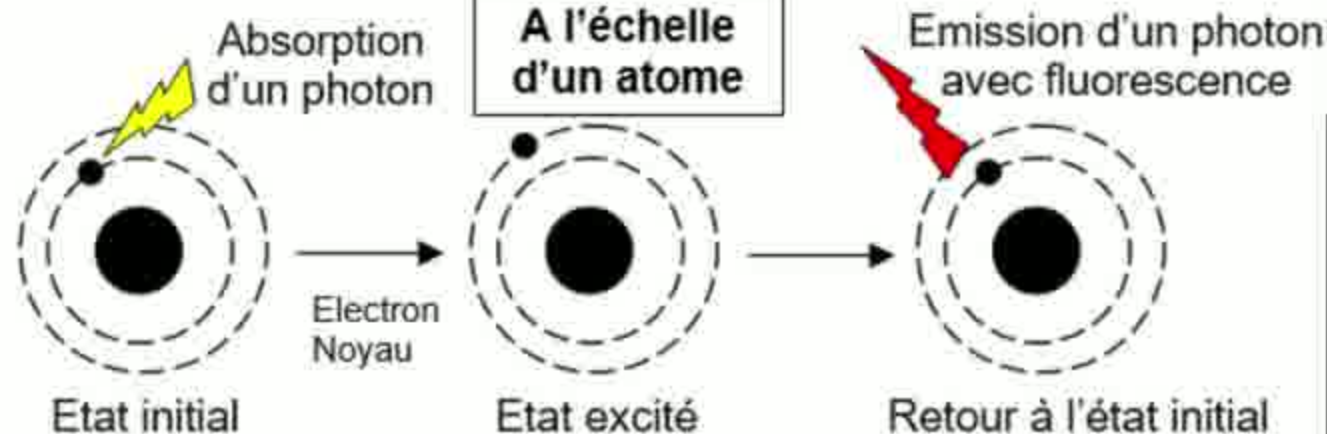
Mais cela n'est pas une simple  
absorption de photons.  
Pour une chlorophylle isolée, il se  
passe quelque chose d'autre ...



### A l'échelle de la solution



### A l'échelle d'un atome



cela excite un électron du  
nuage électronique du  
pigment

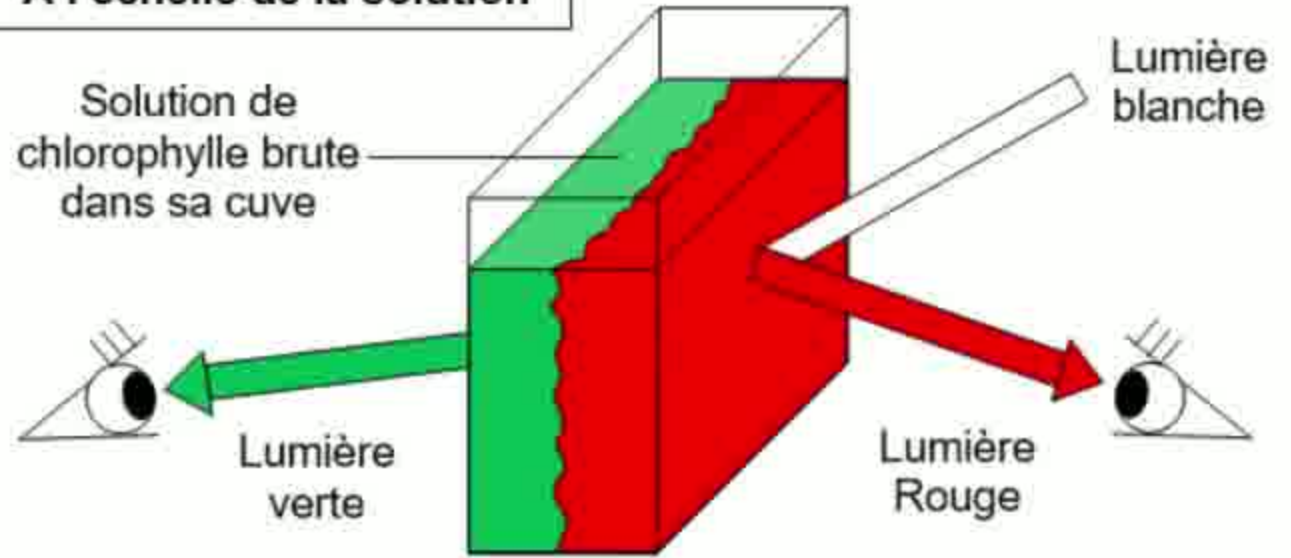
A l'échelle  
d'un atome



Etat excité

A l'échelle de la solution

Solution de  
chlorophylle brute  
dans sa cuve

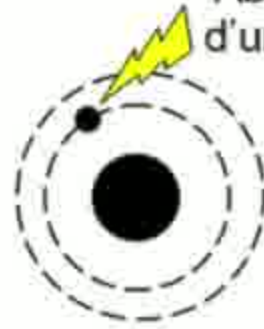


Lumière  
verte

Lumière  
Rouge

Lumière  
blanche

Absorption  
d'un photon



Etat initial

Electron  
Noyau

A l'échelle  
d'un atome



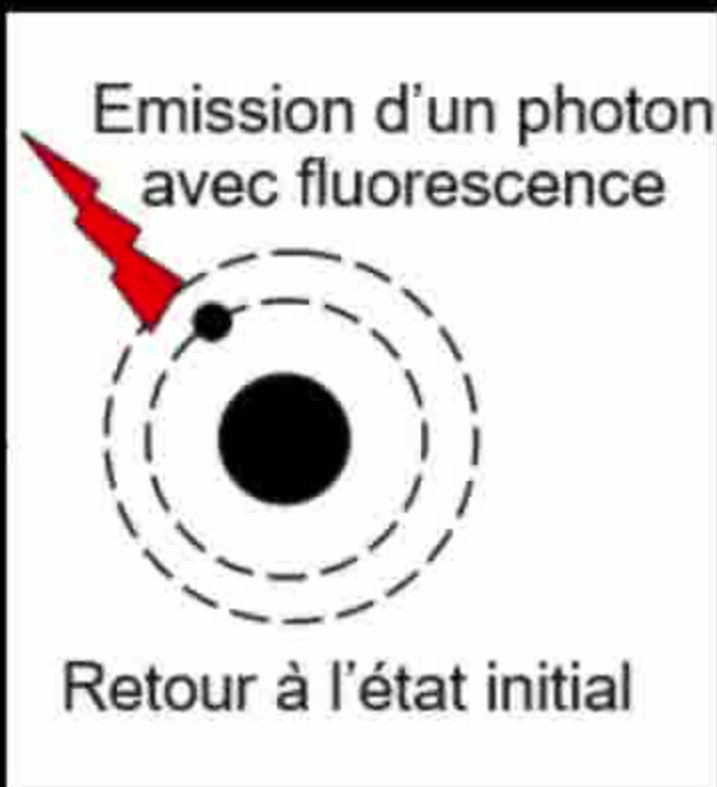
Etat excité

Emission d'un photon  
avec fluorescence

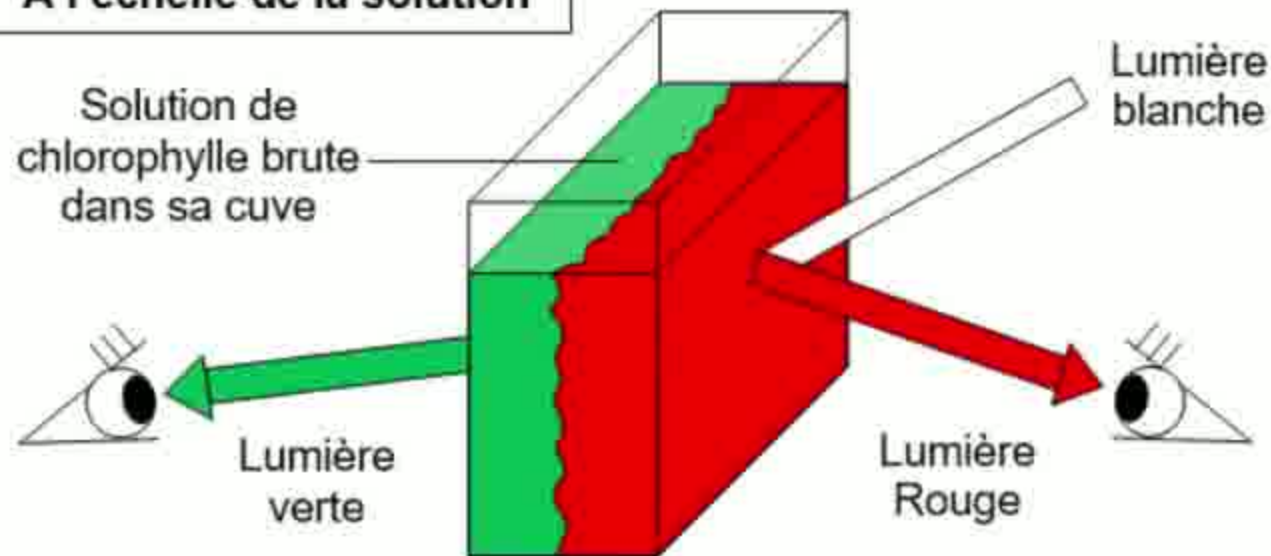


Retour à l'état initial

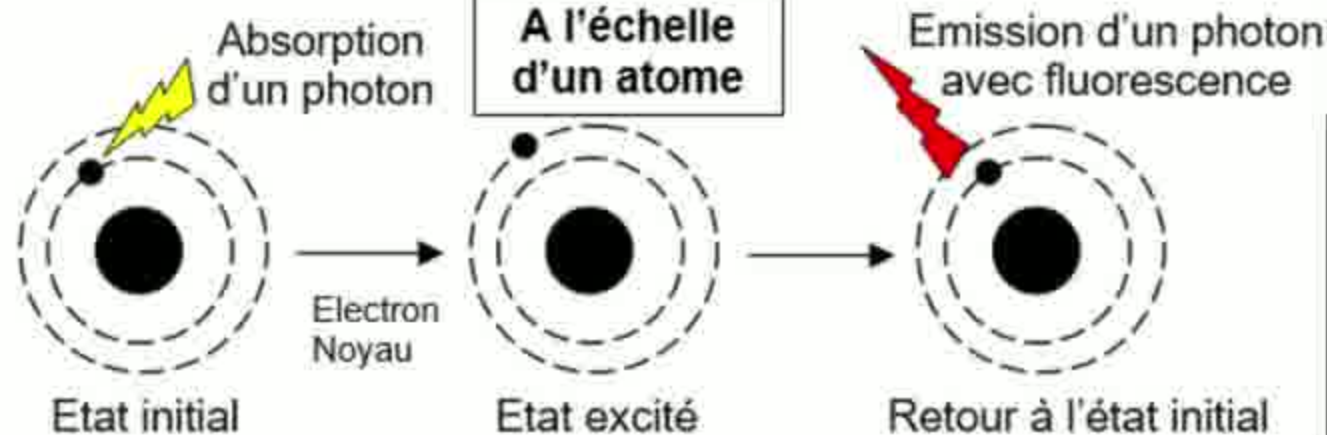
**l'électron excité revient à son état normal en émettant un photon de plus basse énergie**



### A l'échelle de la solution



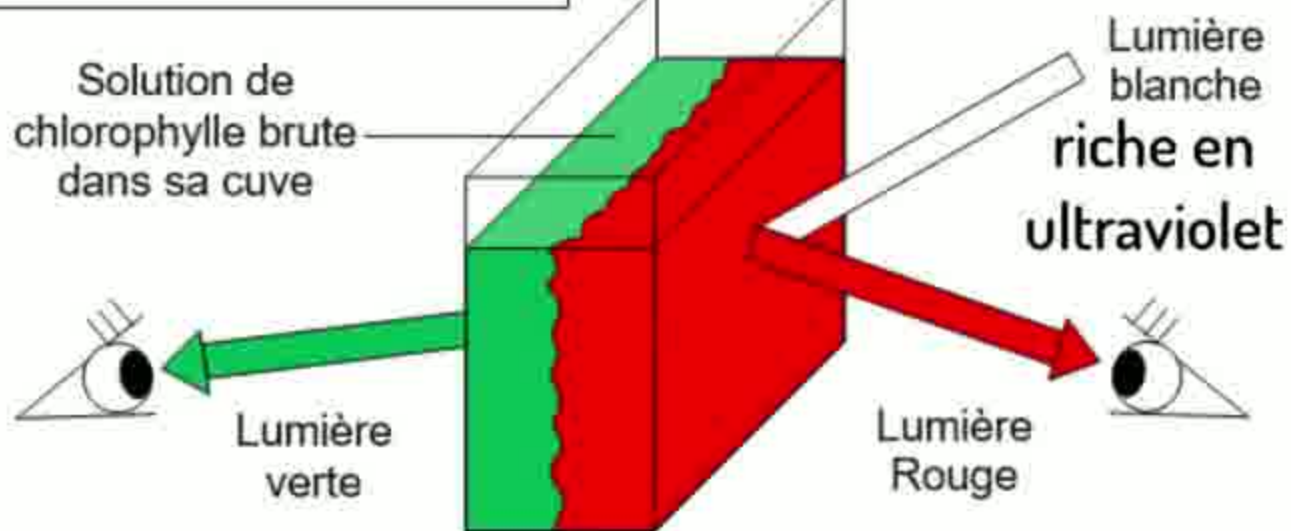
### A l'échelle d'un atome



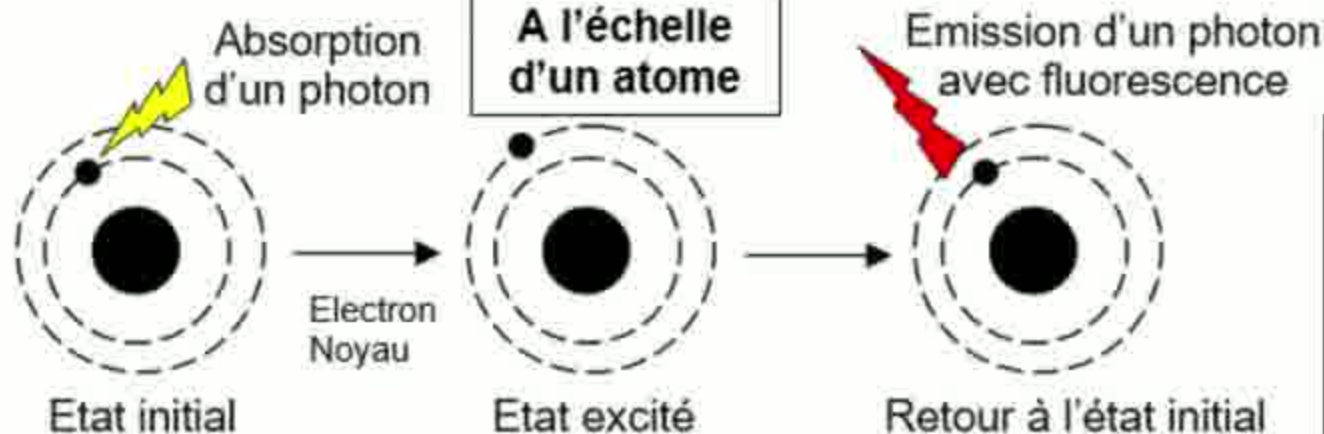
La fluorescence peut être mise en évidence en éclairant la chlorophylle avec une lumière riche en ultra-violets



### A l'échelle de la solution



### A l'échelle d'un atome

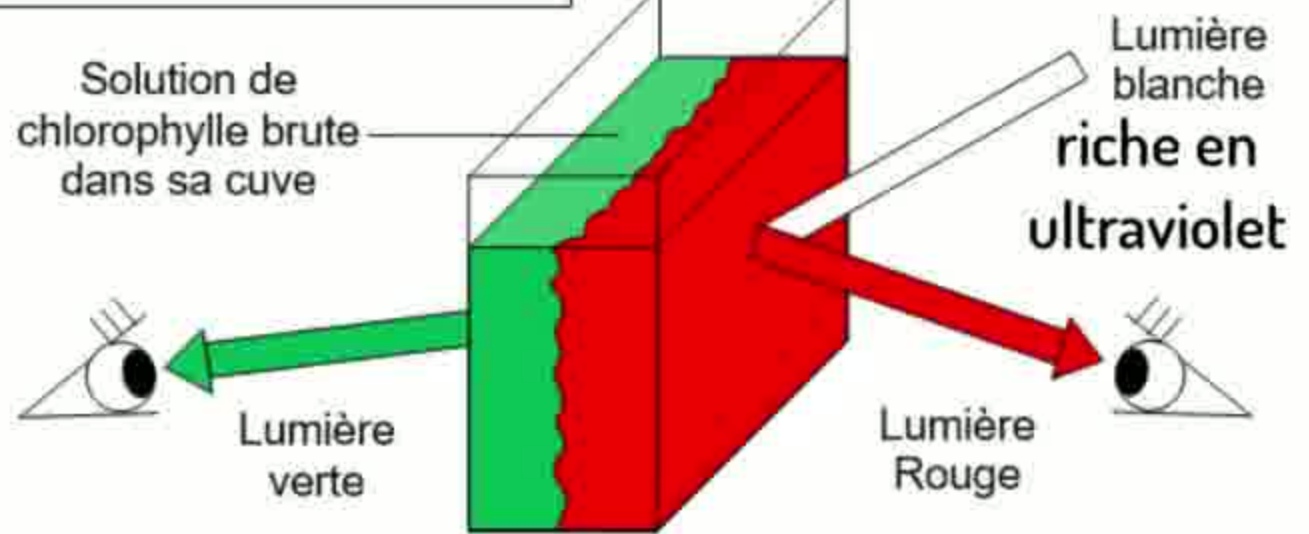


La fluorescence peut être mise en évidence en éclairant la chlorophylle avec une lumière riche en ultra-violets

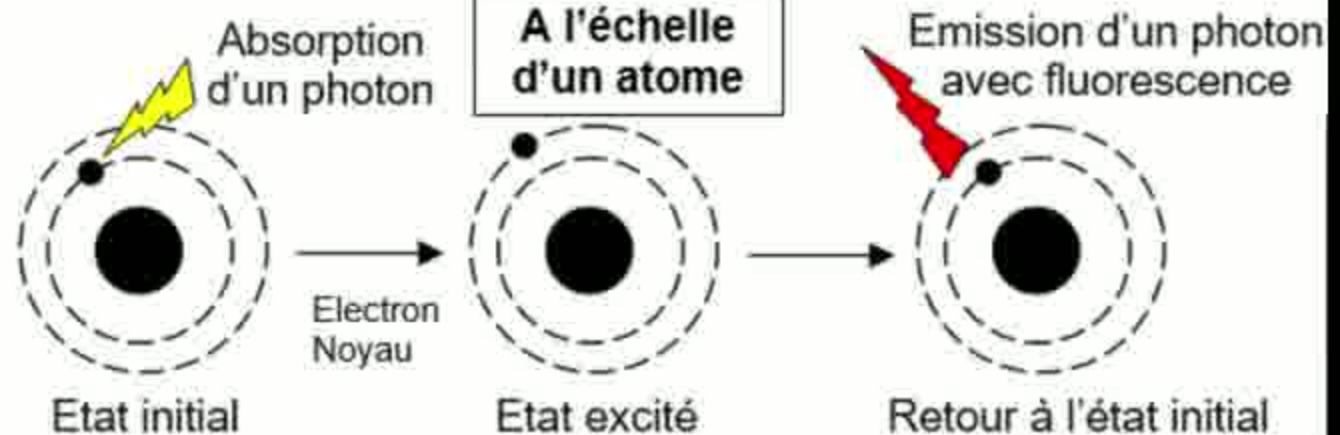
il y a émission d'un photon d'énergie plus basse, consécutive à l'excitation d'un électron du pigment

La chlorophylle est un pigment fluorescent

A l'échelle de la solution



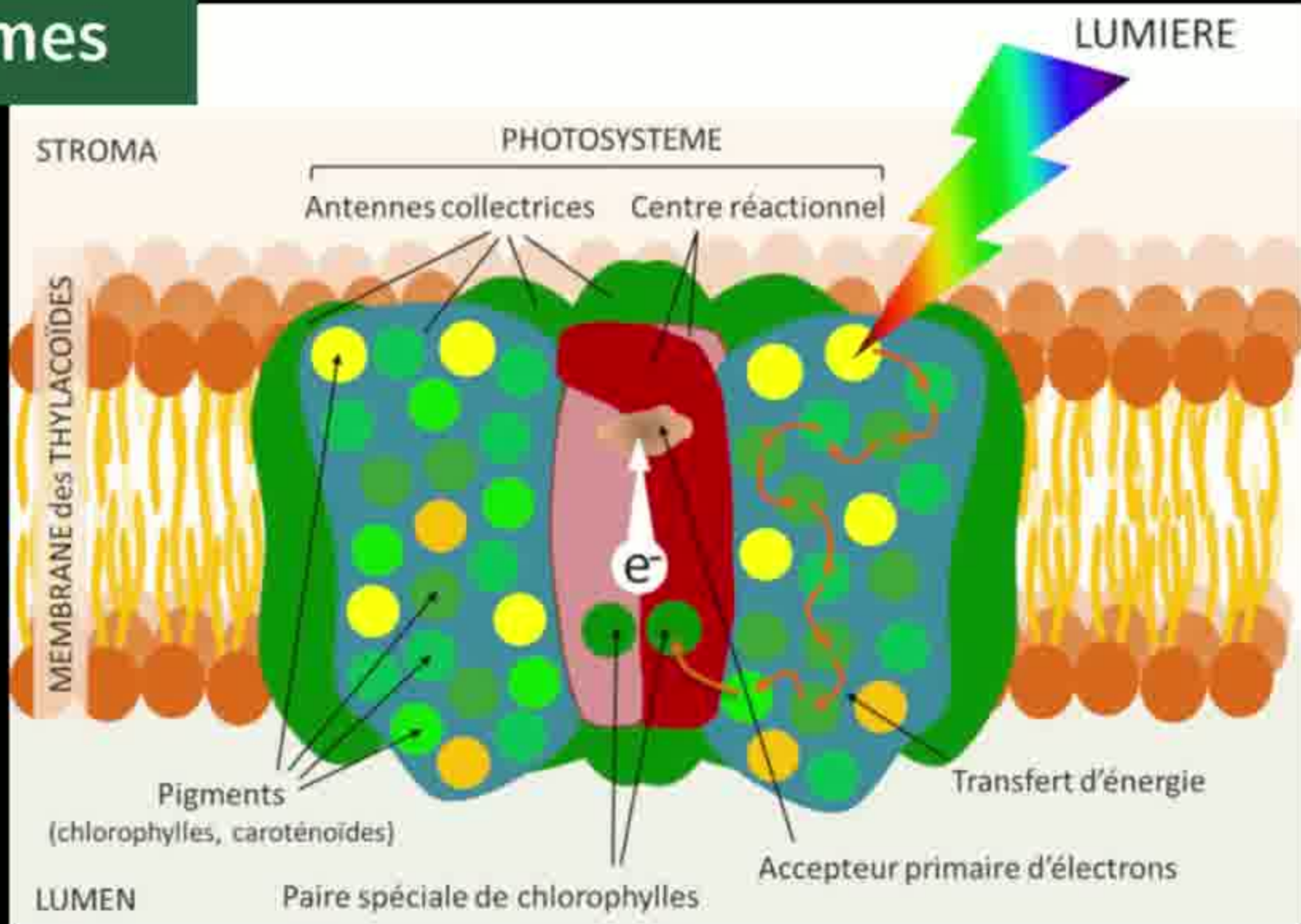
A l'échelle d'un atome



# Les photosystèmes

= assemblages de pigments et de protéines

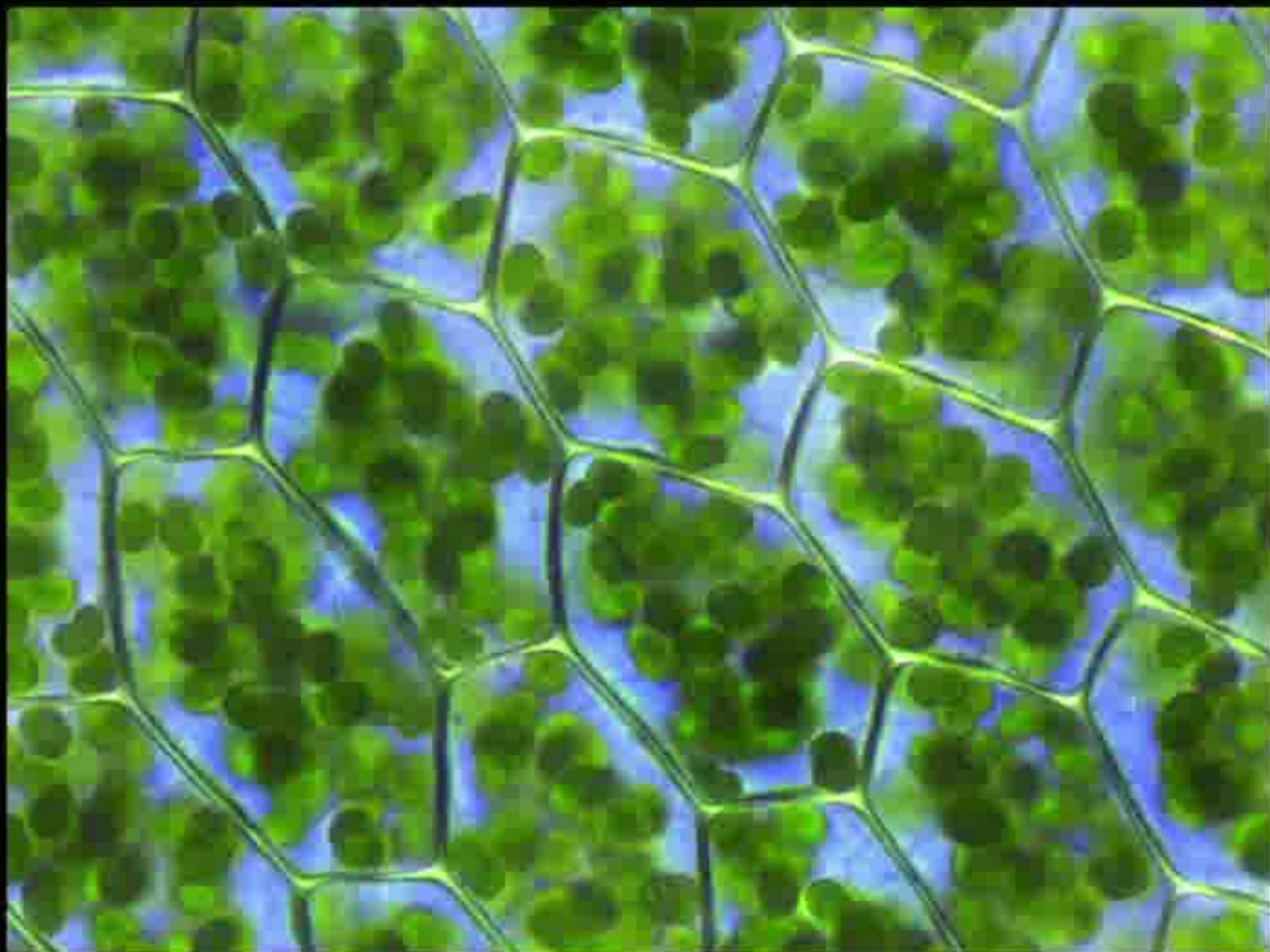
Les photosystèmes convertissent l'énergie lumineuse en énergie chimique



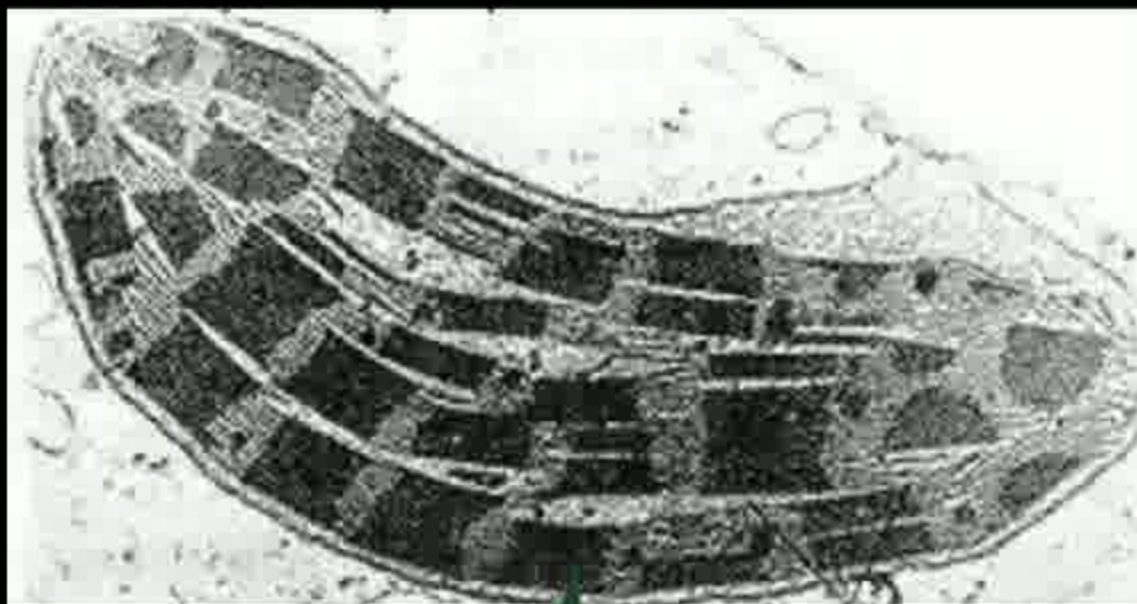
# Les chloroplastes

= organites cellulaires  
qui réalisent la  
photosynthèse

Chloroplastes dans des  
cellules végétales

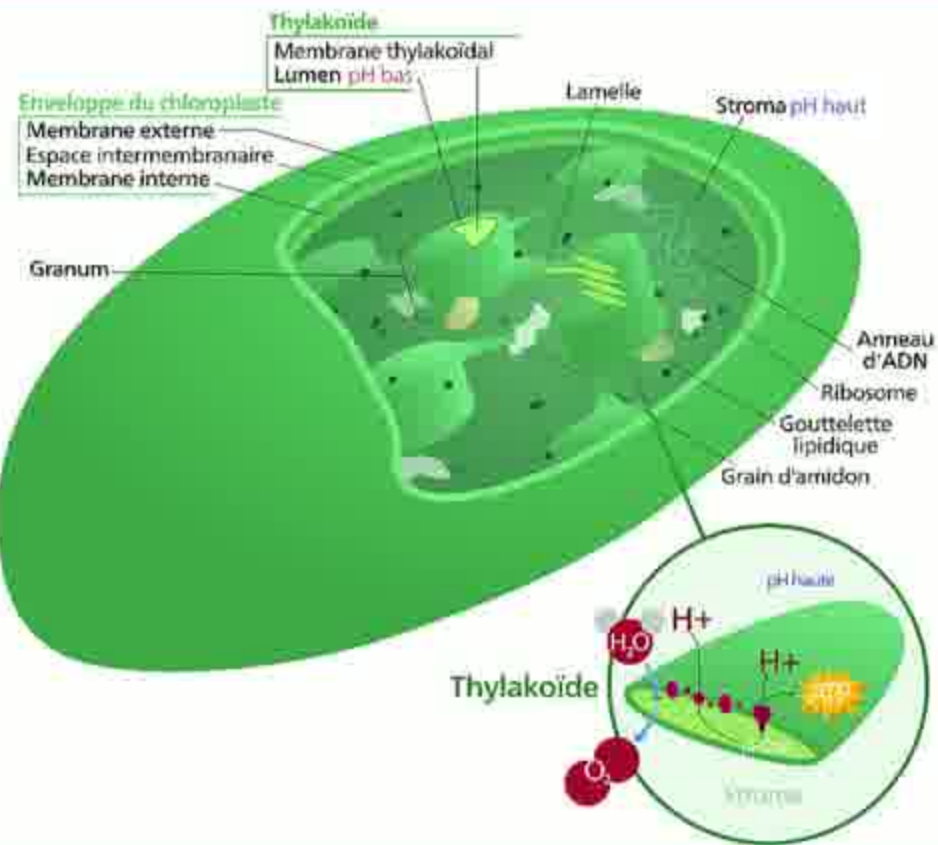


# Les thylakoïdes

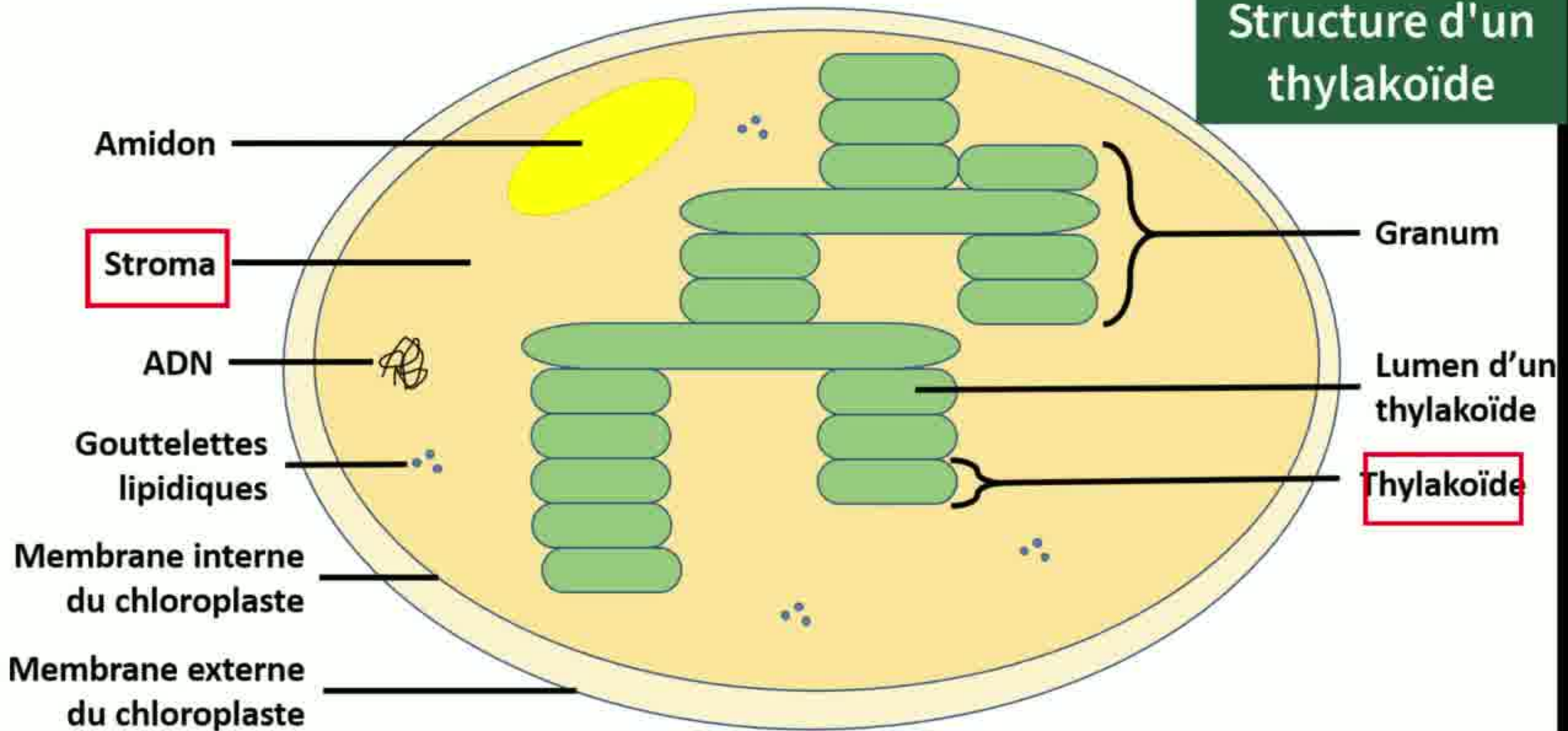


Empilement de thylakoïdes  
dans un chloroplaste

## le chloroplaste

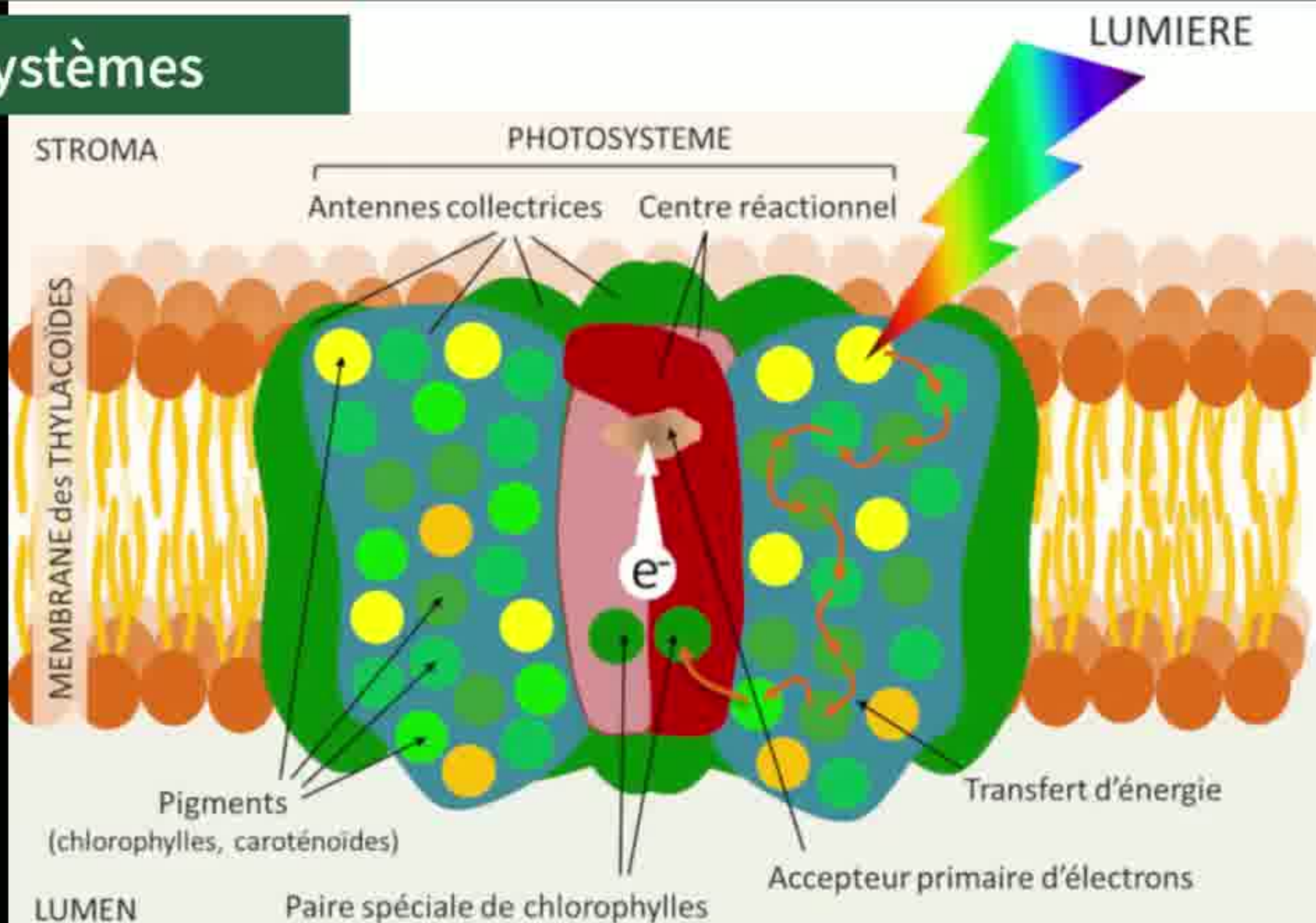


## Structure d'un thylakoïde



# Les photosystèmes

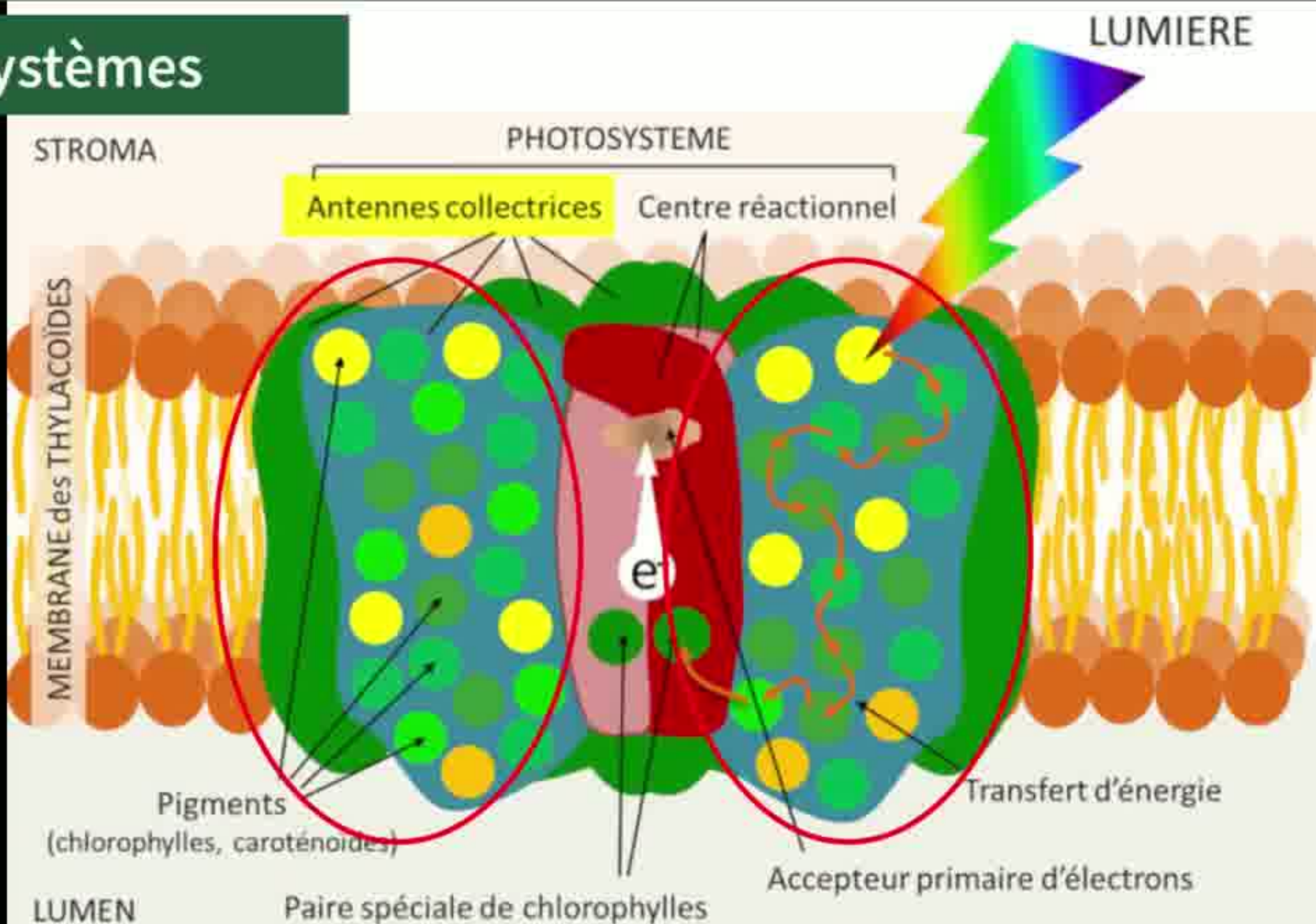
Les photosystèmes sont des structures complexes situées dans les membranes thylakoidique



# Les photosystèmes

Un photosystème est constitué dans sa périphérie par un assemblage de pigments

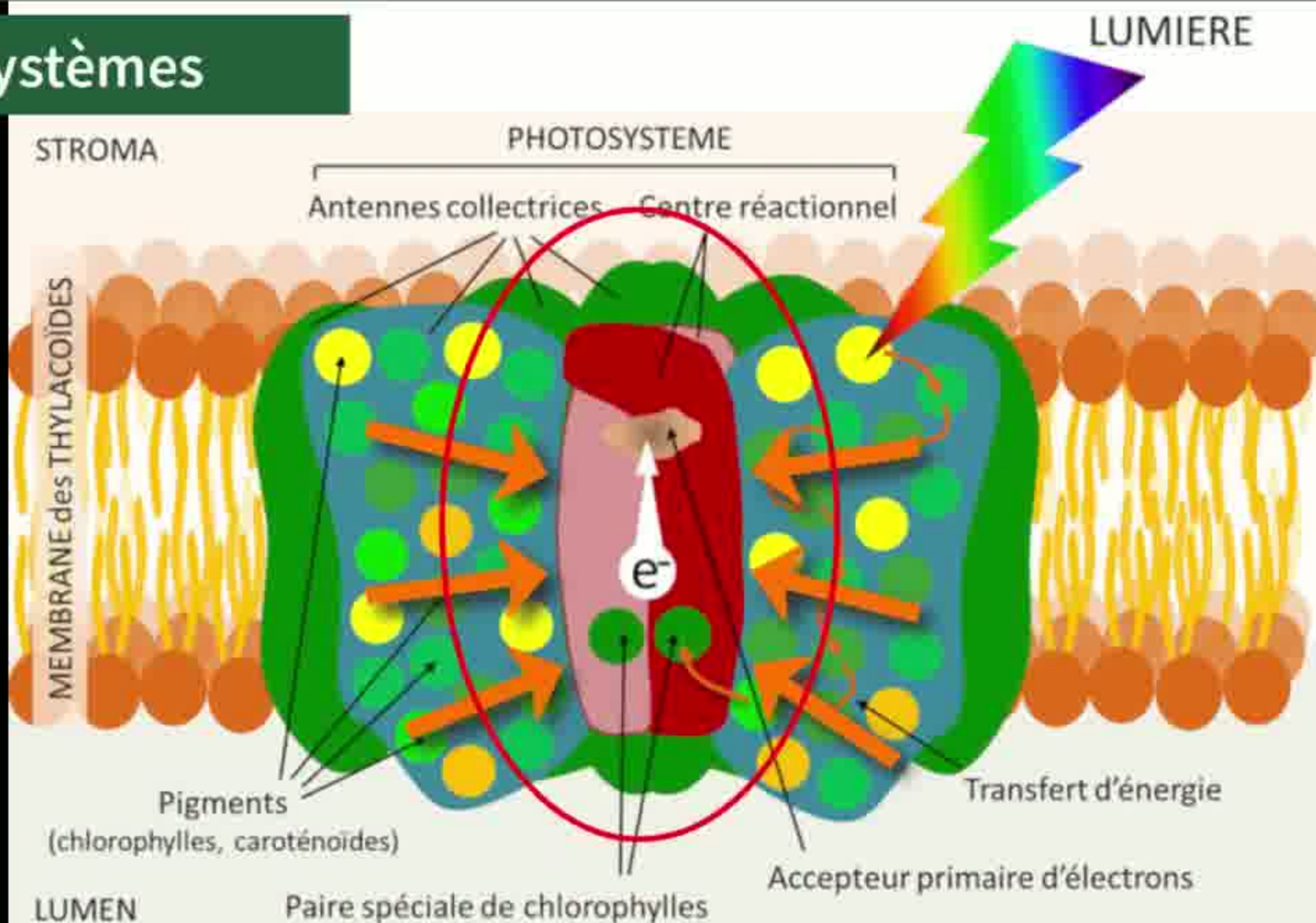
Les antennes collectrices



# Les photosystèmes

Les antennes collectrices captent les photons et transfèrent leurs énergies vers le centre de ces photosystèmes:

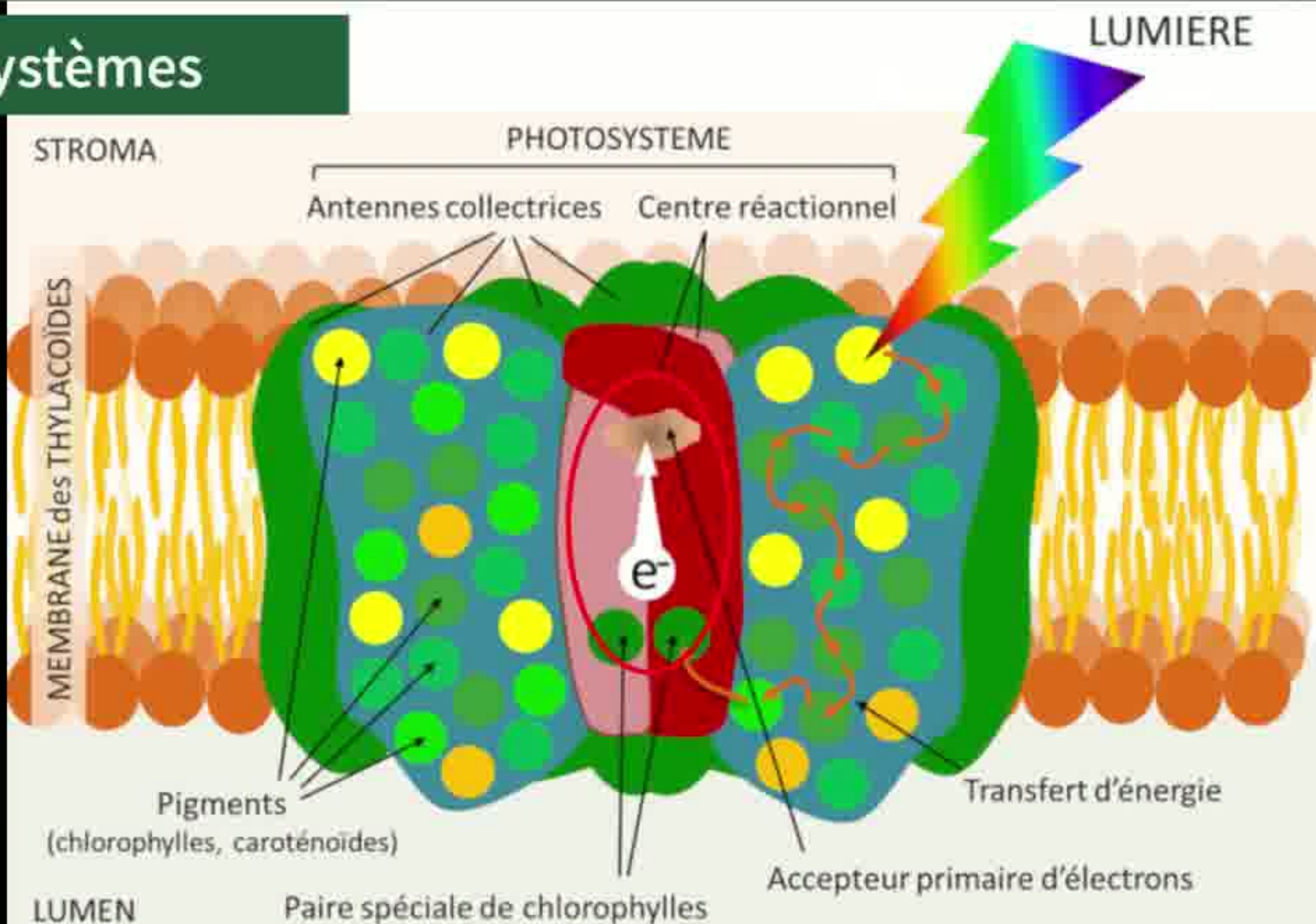
Le centre réactionnel



# Les photosystèmes

Après avoir capté un photon, les chlorophylles des centres réactionnels expulsent un électron

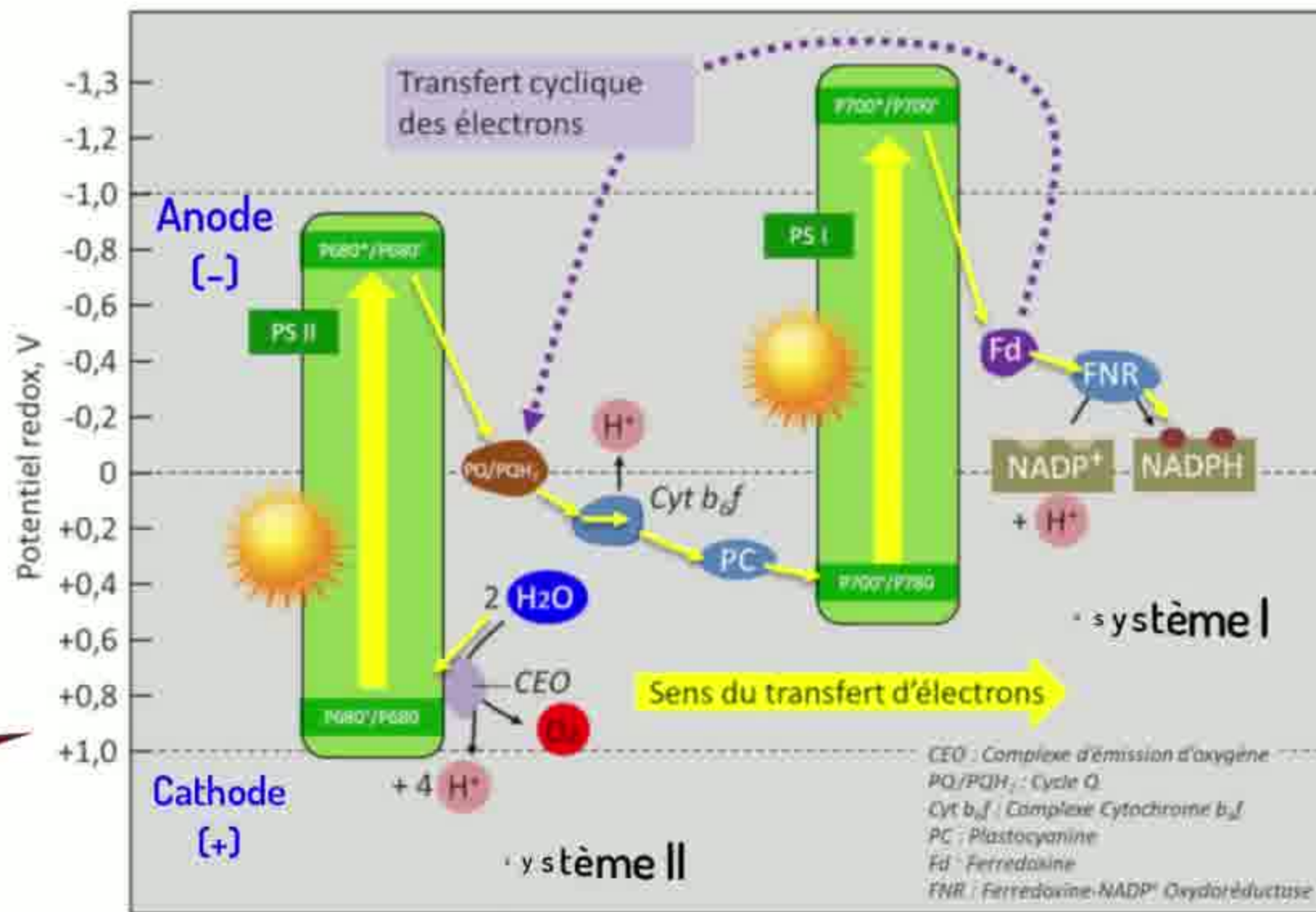
Ce sont des donneurs d'électrons qu'elles cèdent à des accepteurs d'électrons



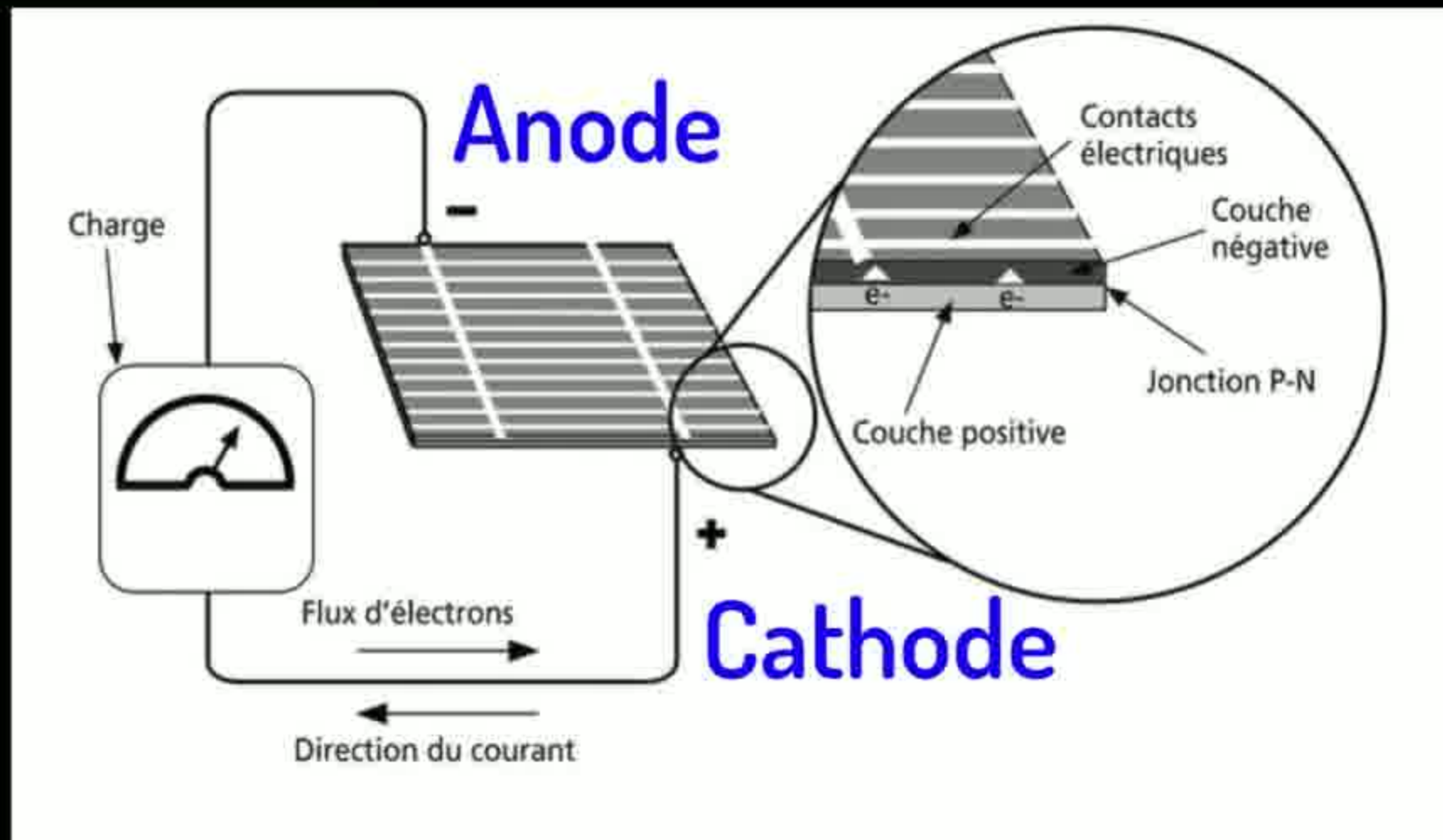
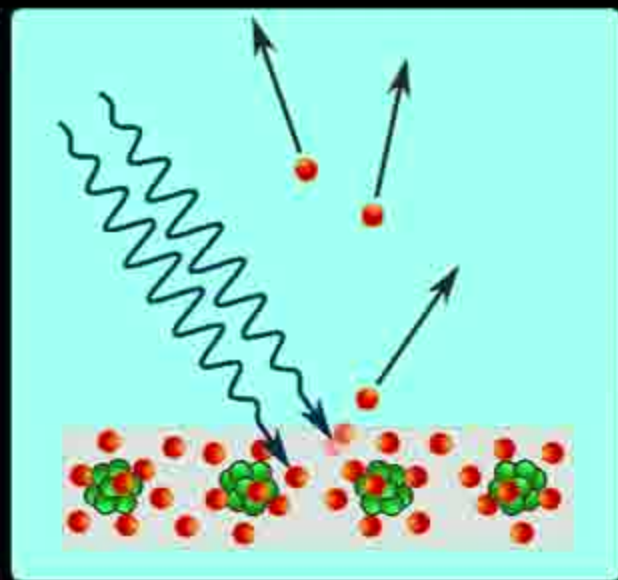
# Les photosystèmes sont des photopiles biologiques

fournissant des électrons permettant de réduire des molécules biologiques

**Potentiel redox: attention échelle inversée !**



# L'effet photoélectrique dans les panneaux photovoltaïques

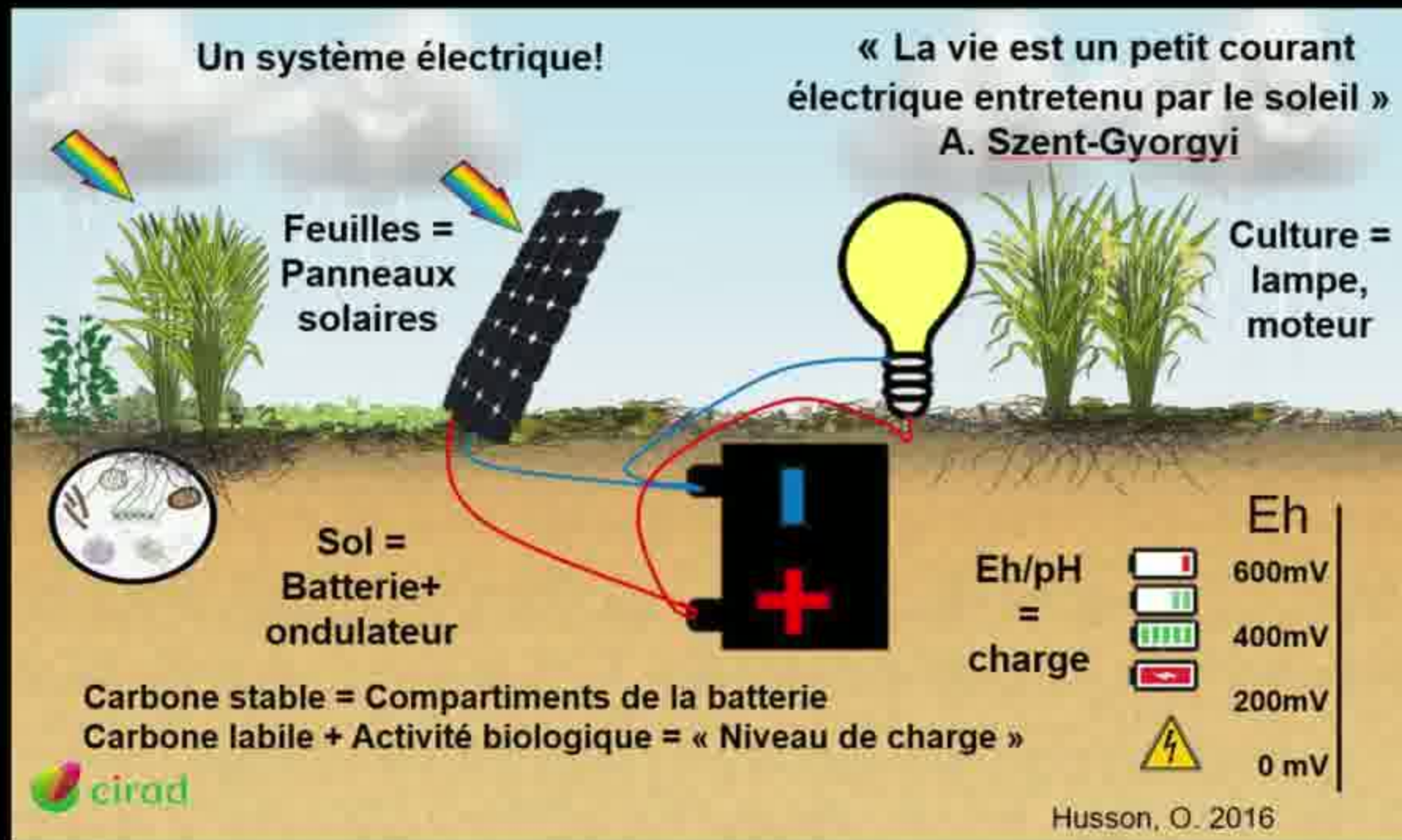


Apport  
d'électrons

Réduction  
du carbone

Création de liaisons  
C-C, C-O-H et C-H

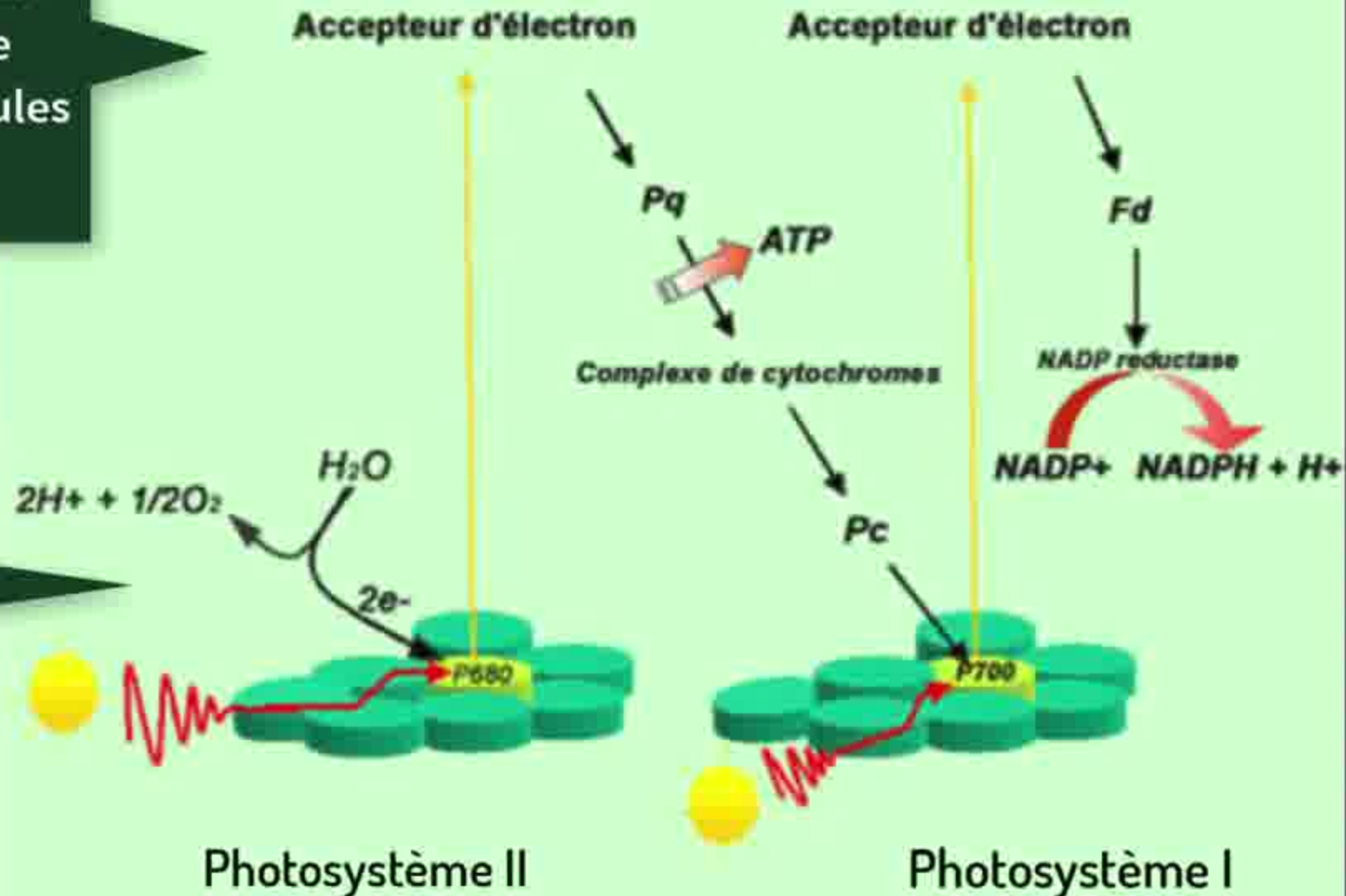
Production de  
molécules renfermant  
de l'énergie chimique



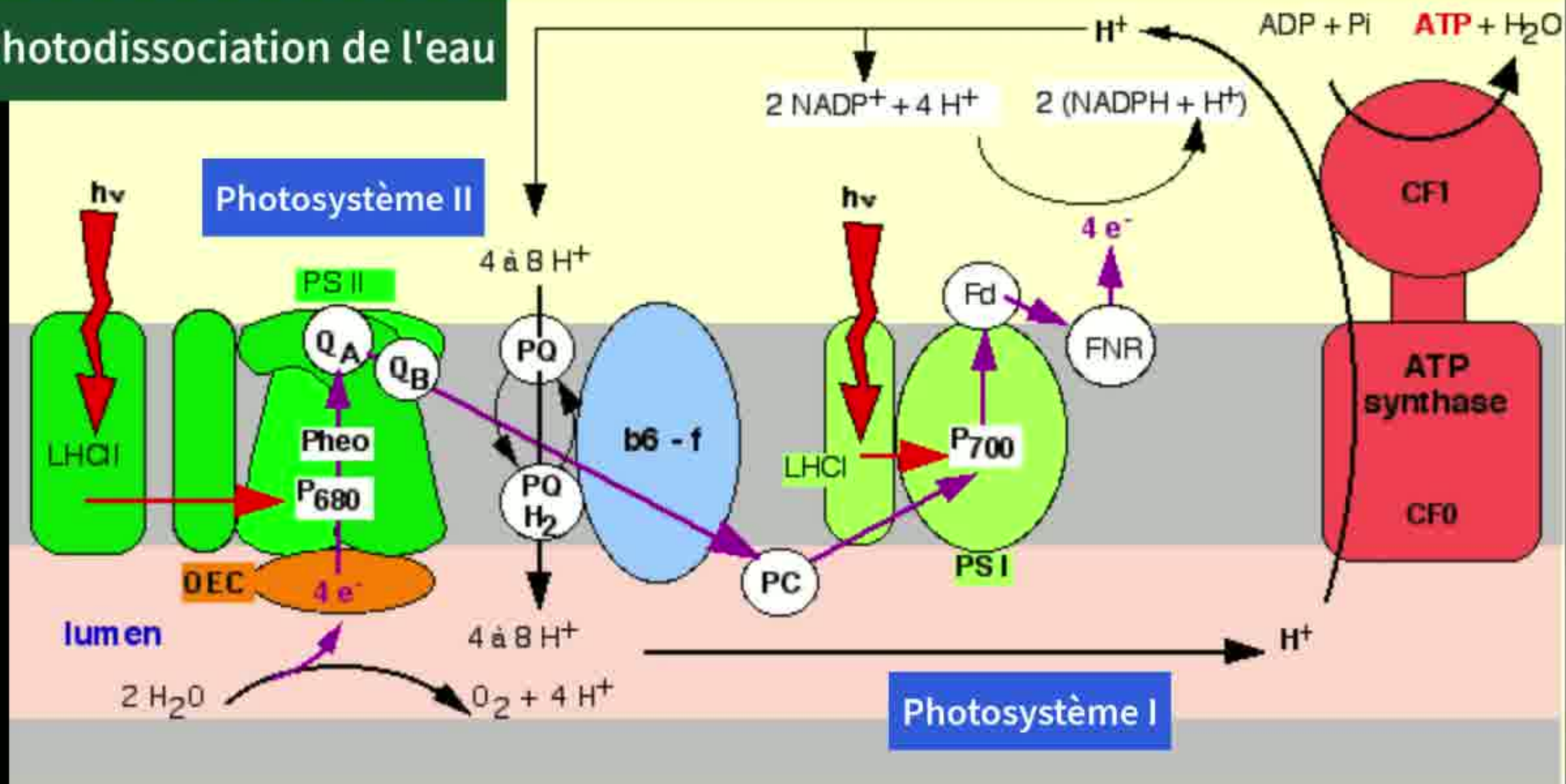
## Les flux d'électrons dans les membranes des thylakoïdes

Les accepteurs d'électrons sont des **OXYDANTS** qui vont être réduits en donnant des molécules enrichies en hydrogène

Les chlorophylles des centres réactionnels des photosystèmes sont des donneurs d'électrons (= **RÉDUCTEURS**)



## Photodissociation de l'eau



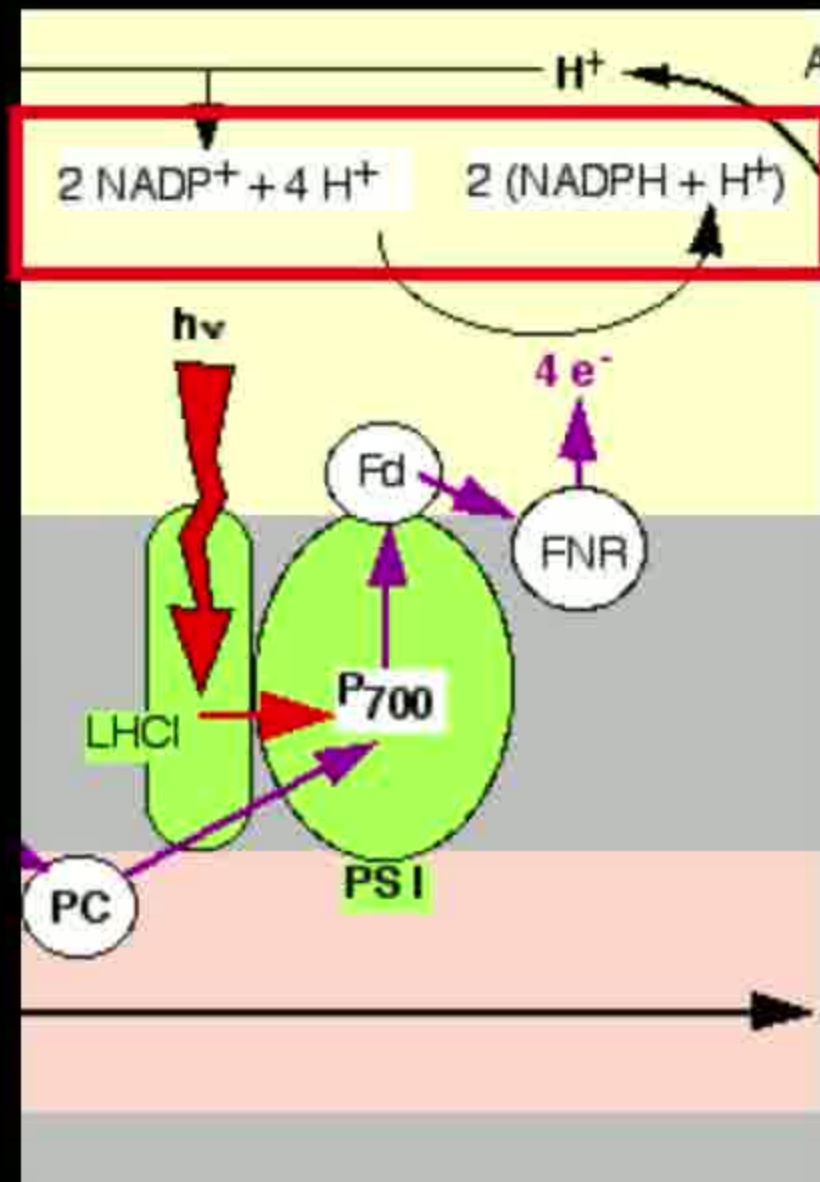
## Photodissociation de l'eau



L'oxydation de l'eau  
fournit des électrons,  
mais aussi des protons !

Cela va permettre de construire des sucres,  
molécules réduites avec des liaisons C-C, C-H et C-OH

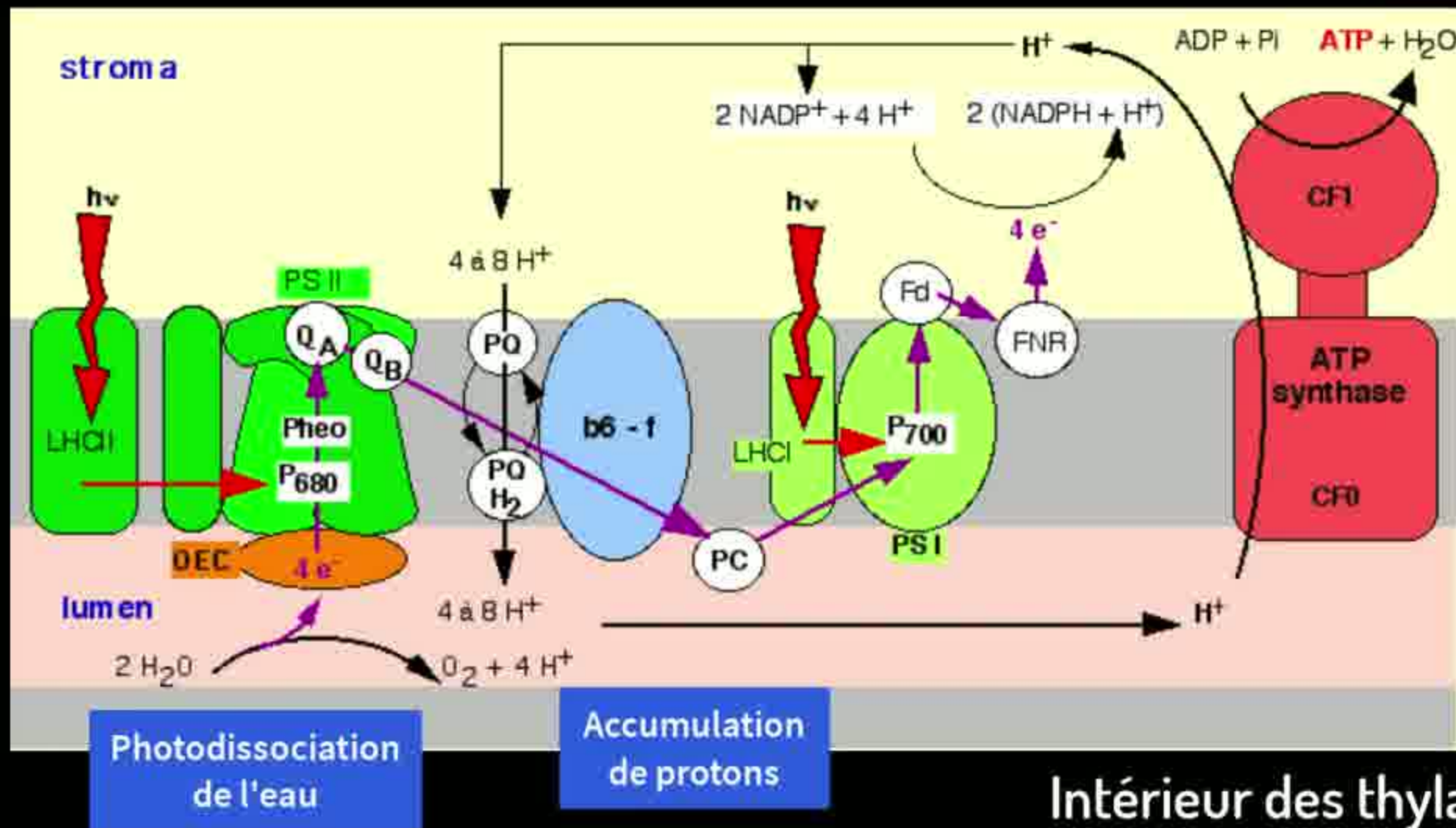
## Réduction



# Un moteur à protons

Fabrication  
d'ATP

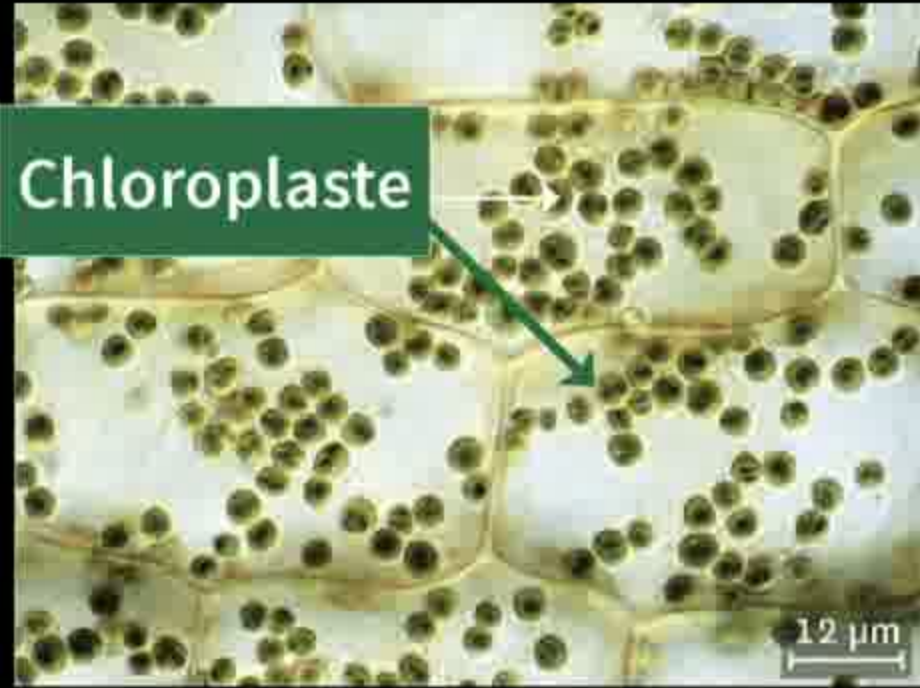
Extérieur des thylakoïdes



Gradient de  
protons

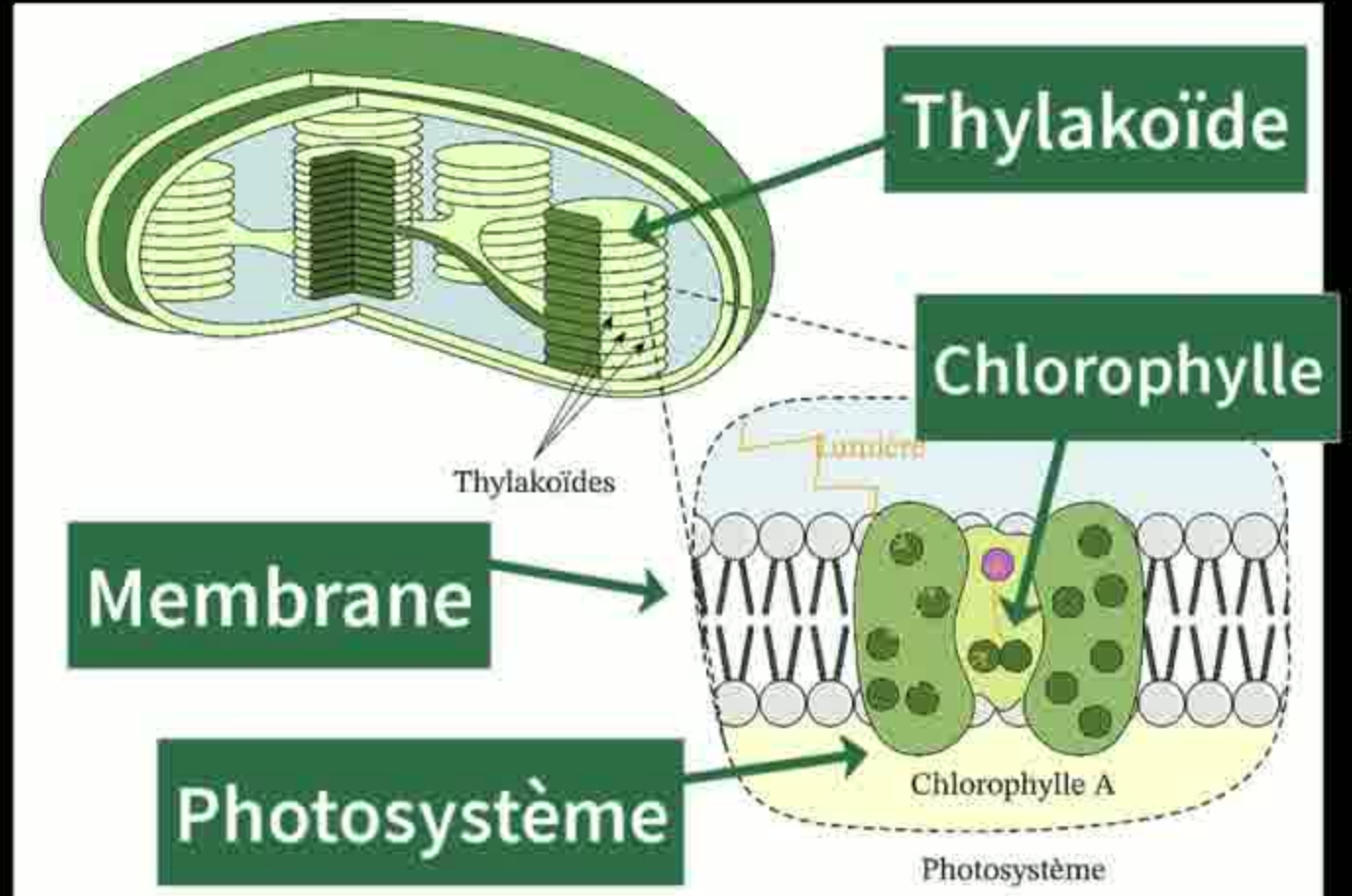
Flux de  
protons

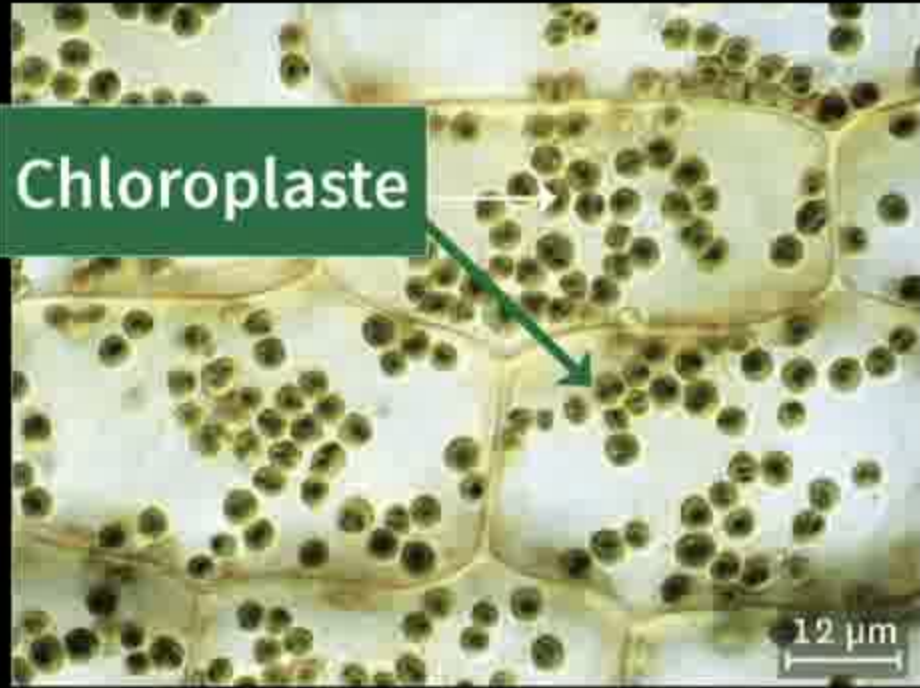
Intérieur des thylakoïdes



*des photopiles*

*de petites usines*

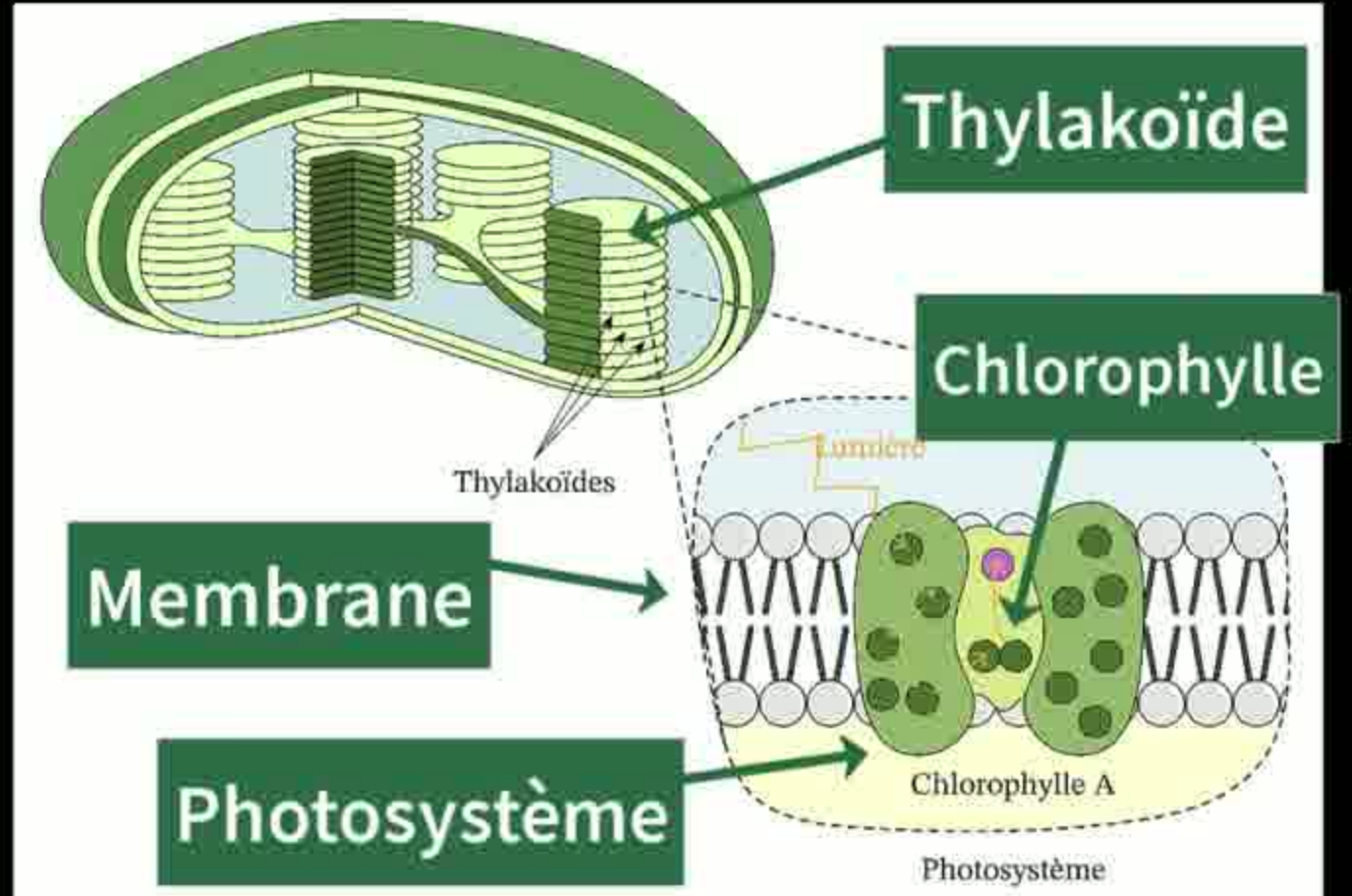


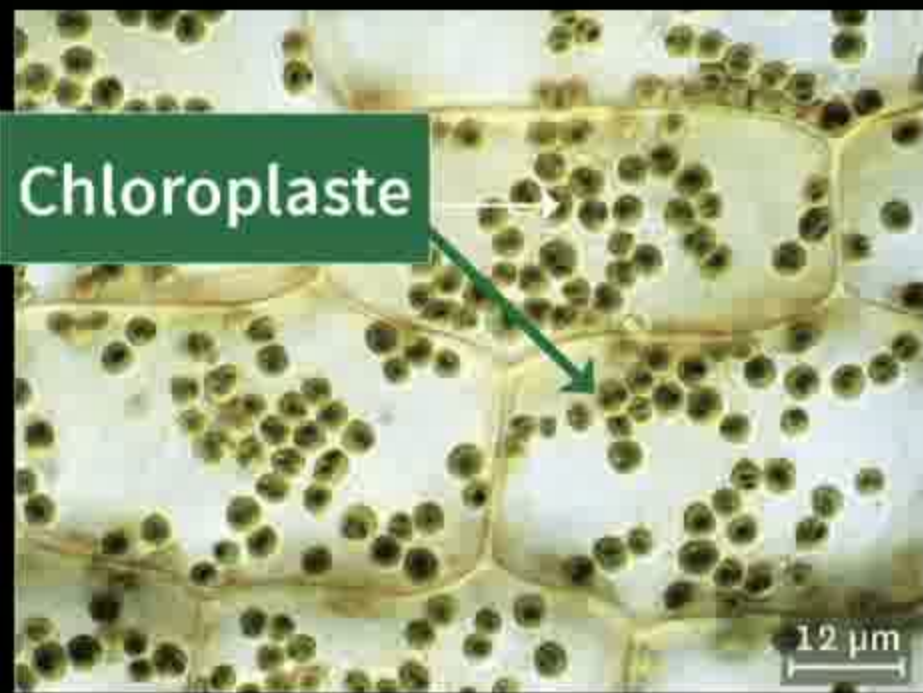


*de petits réacteurs chimiques*

*de petits panneaux solaires*

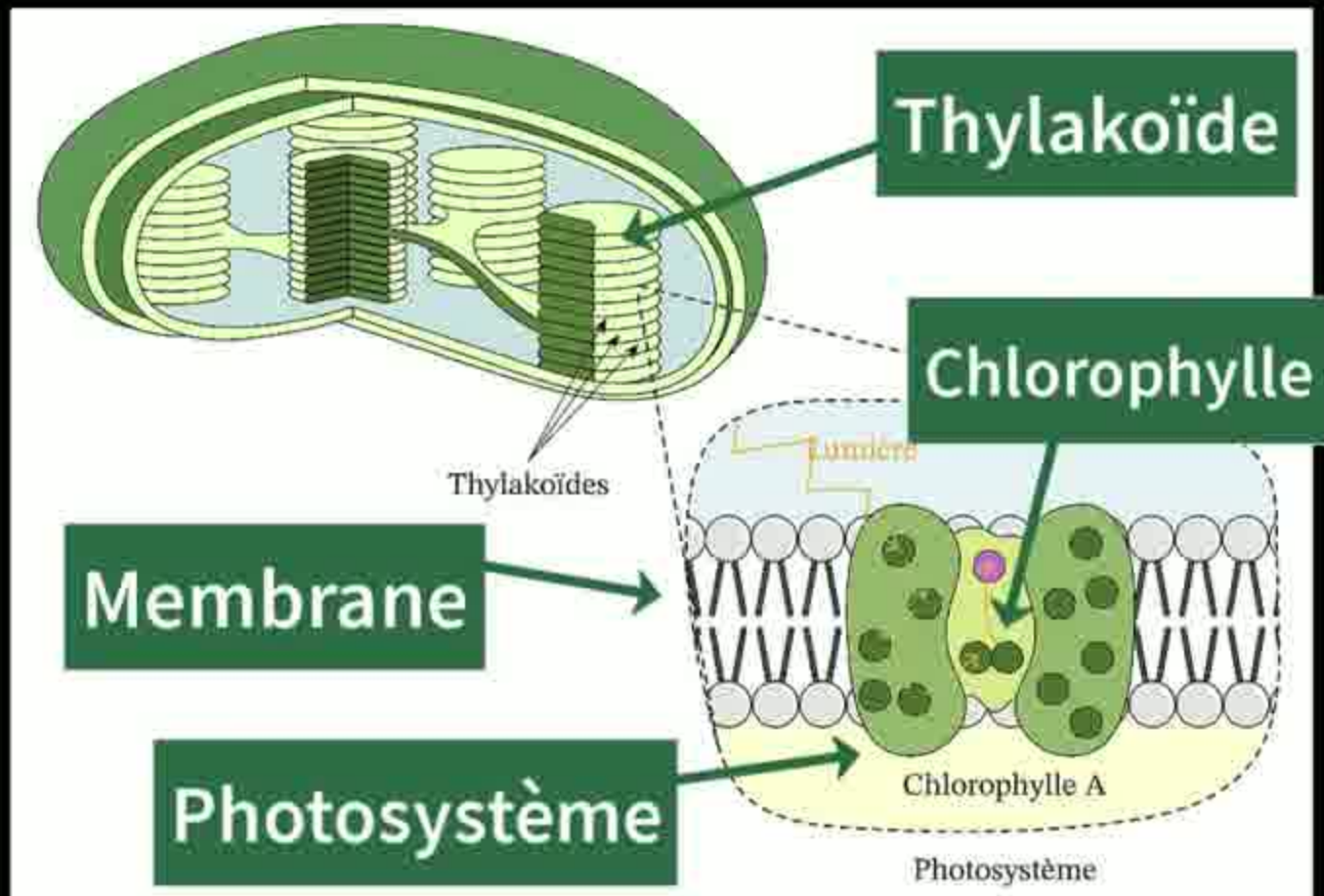
*de petites usines*



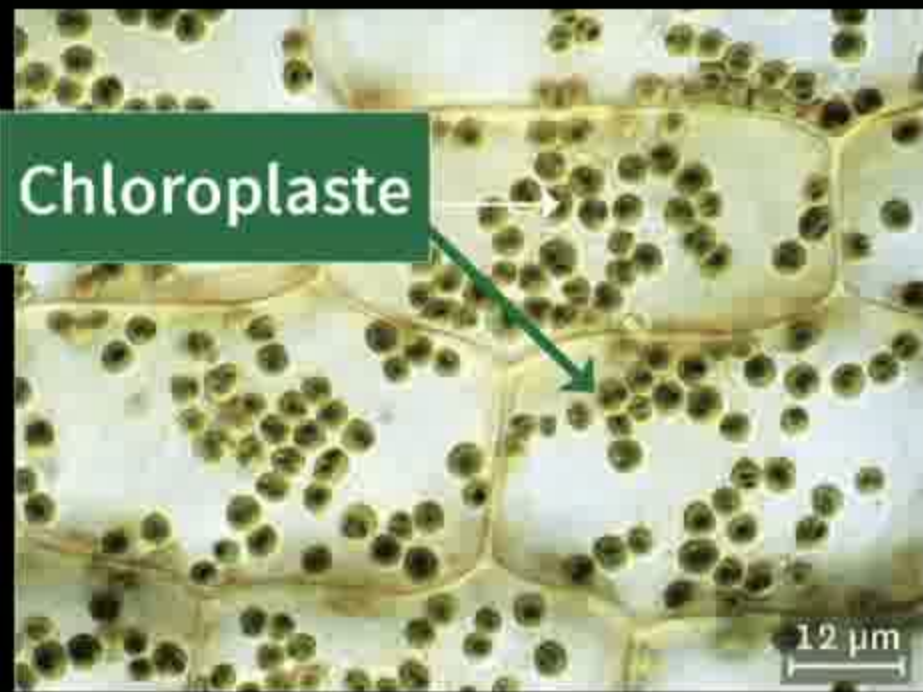


*100% biodégradables  
et recyclables*

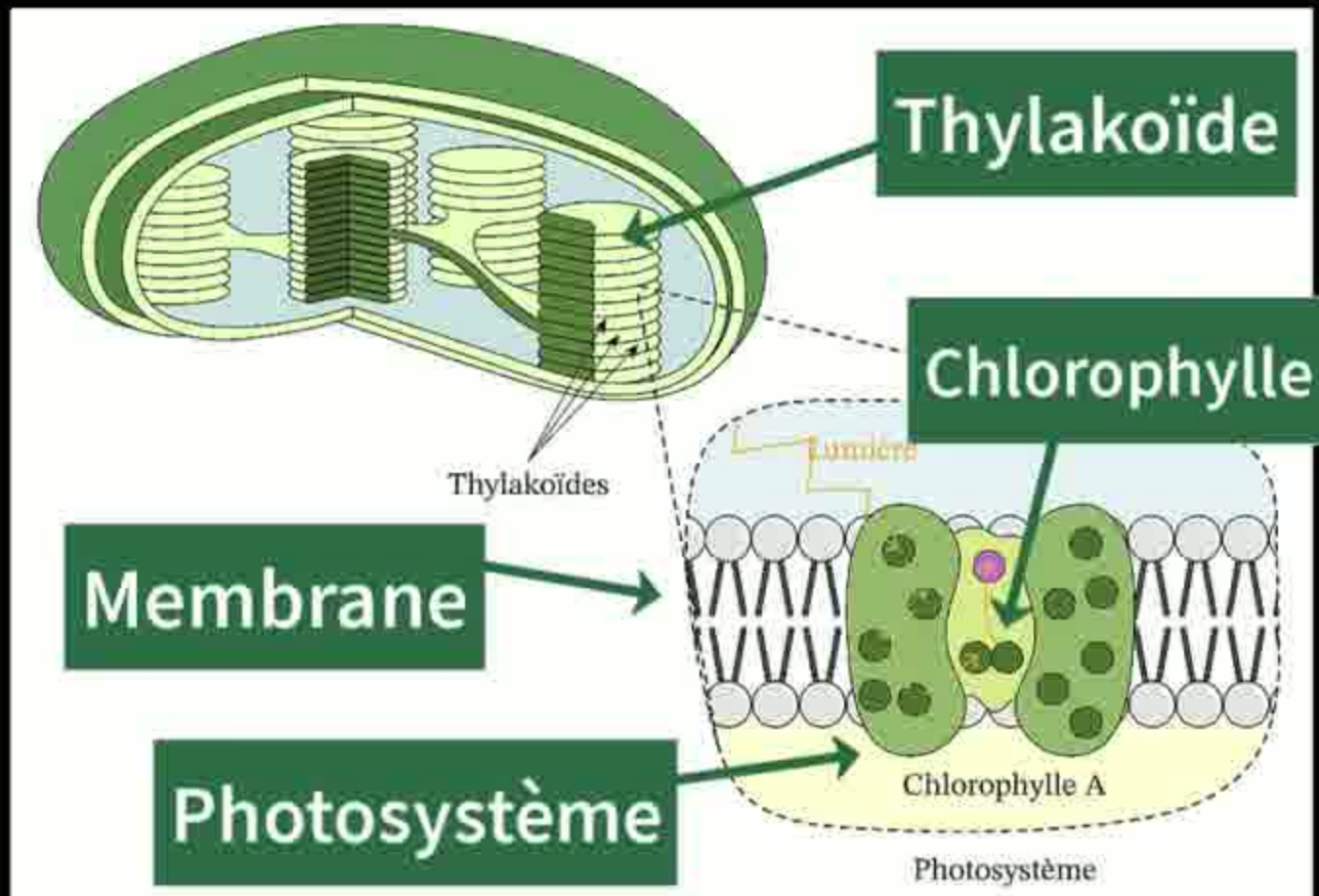
*des matériaux 100% naturels*



*et cela ne produit pas directement de  
l'électricité ou du dihydrogène ...*



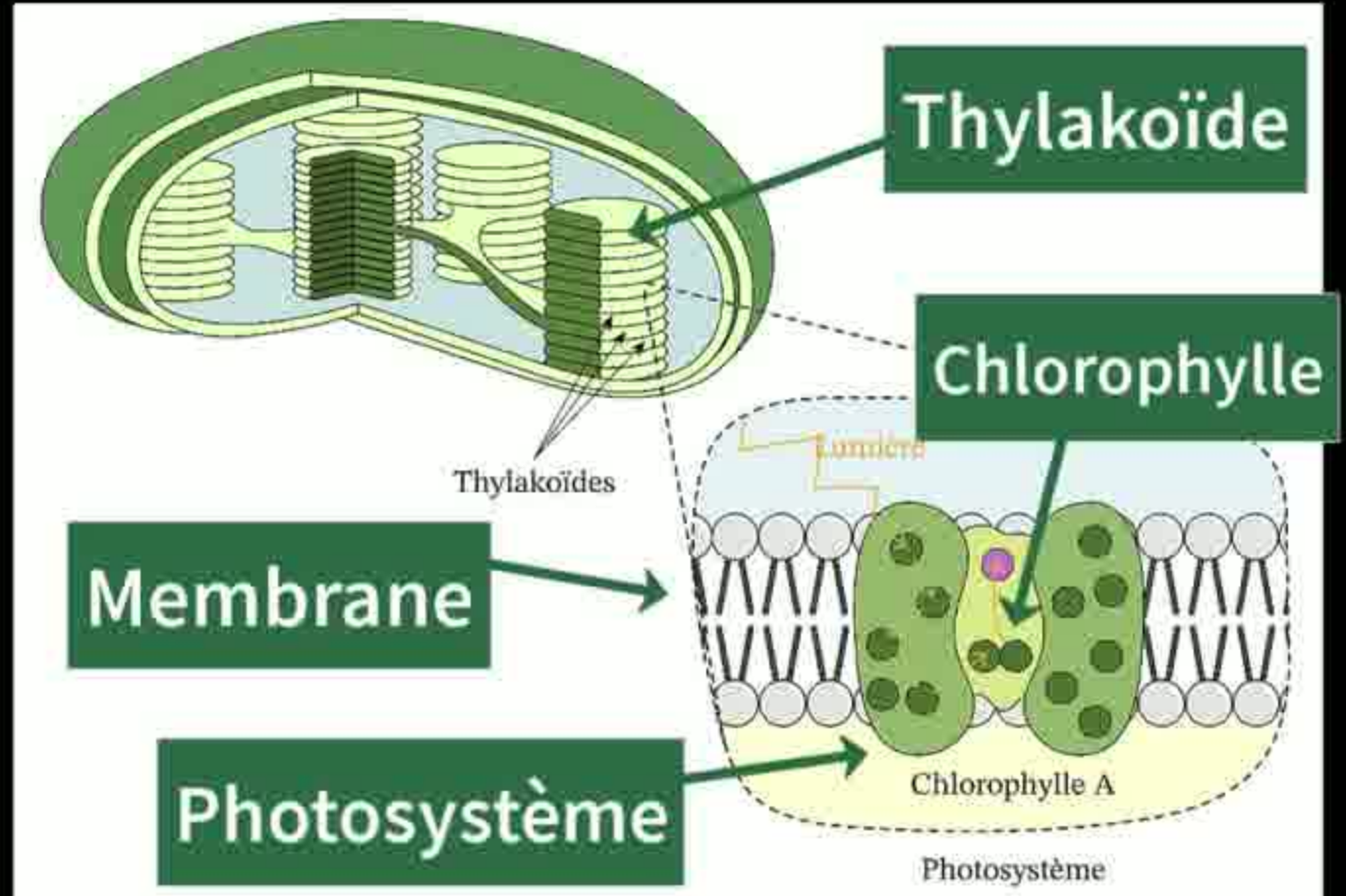
*mais rendement  
pas très élevé*





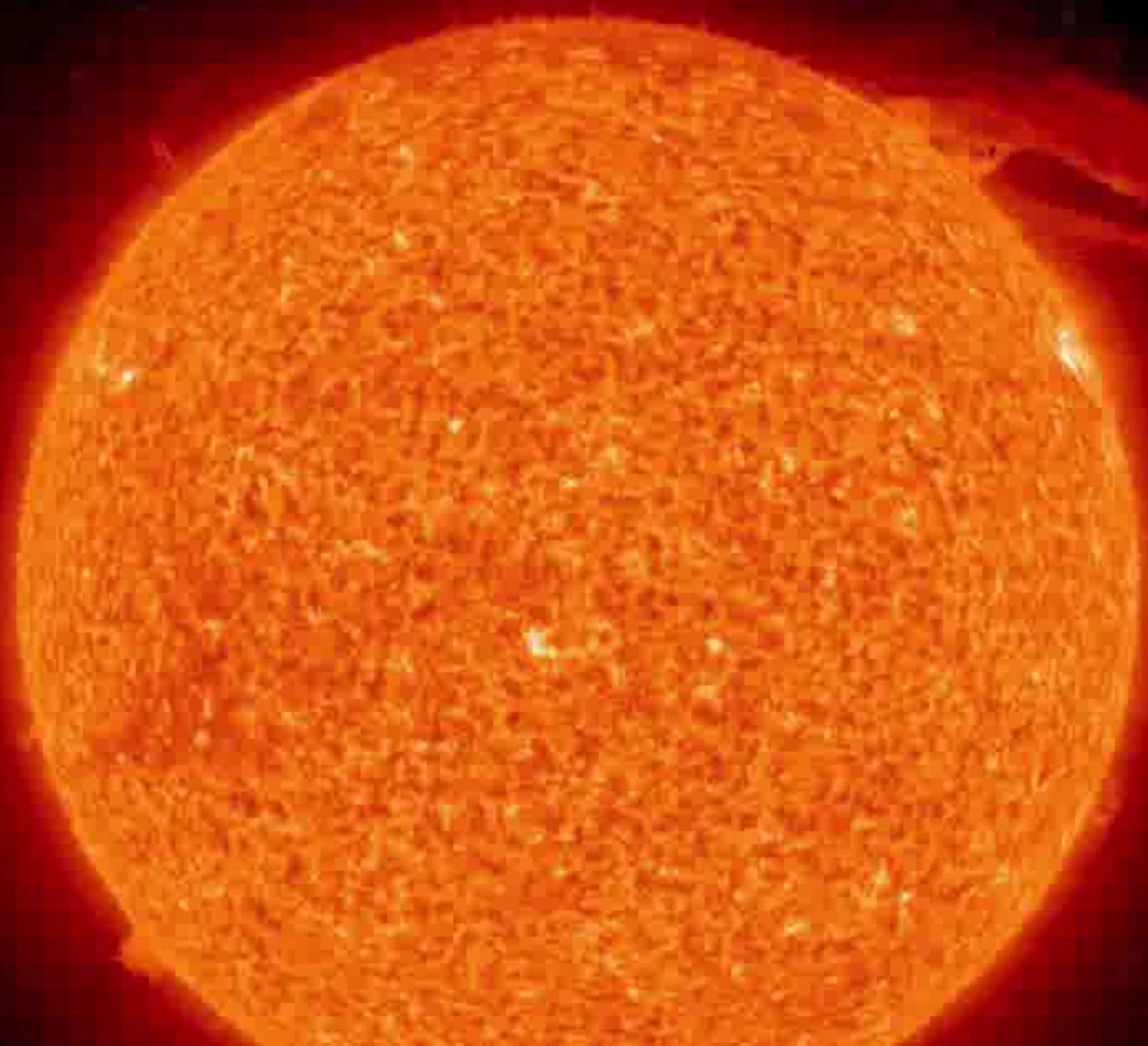
*et cela nécessite  
des engrais*

*et cela ne produit pas directement de  
l'électricité ou du dihydrogène ...*





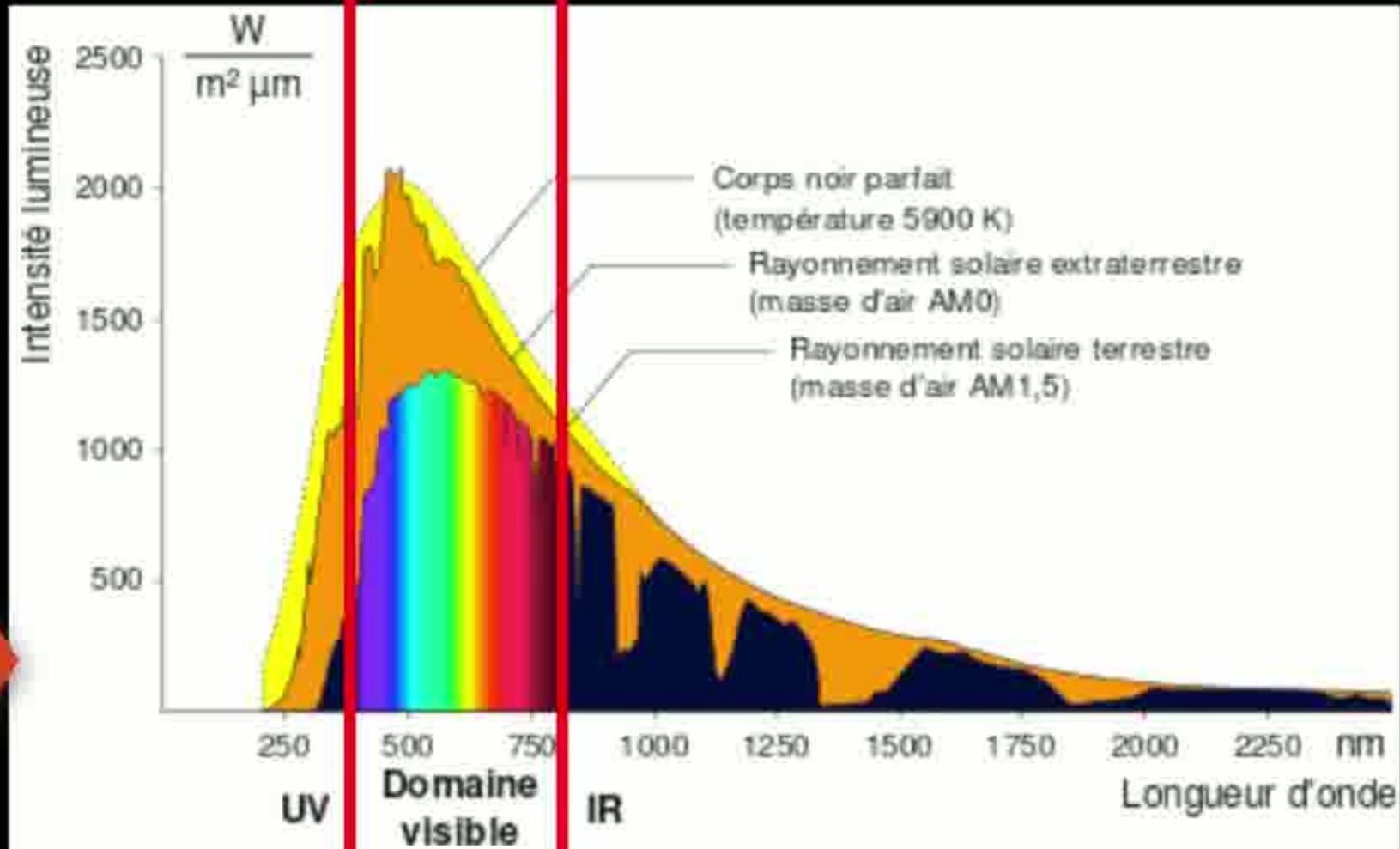
# *Soleil et photosynthèse*



# Le spectre du Soleil

Lumière visible  
entre 380 et 800 nm

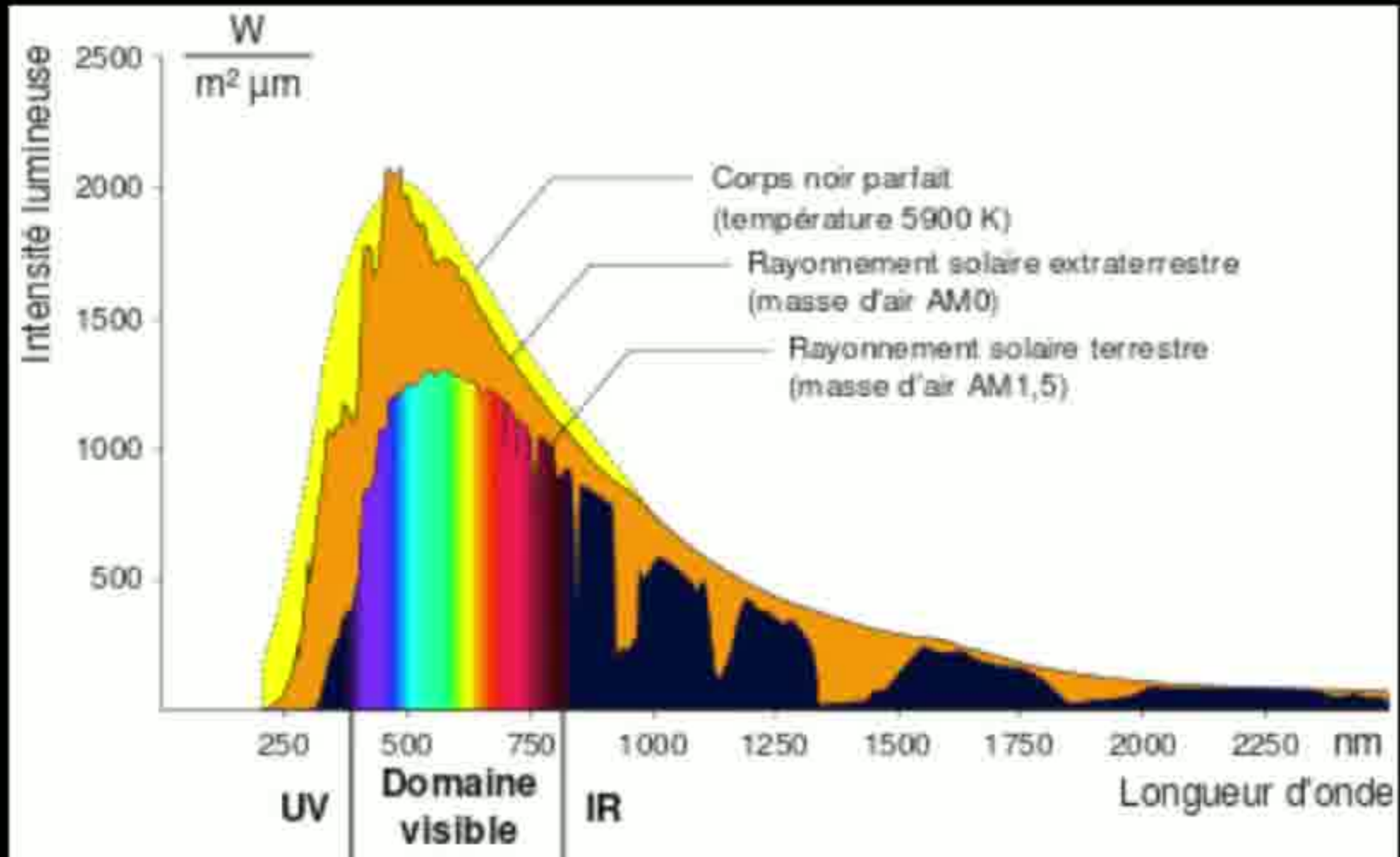
50% du  
spectre total  
du Soleil



# Le spectre du Soleil



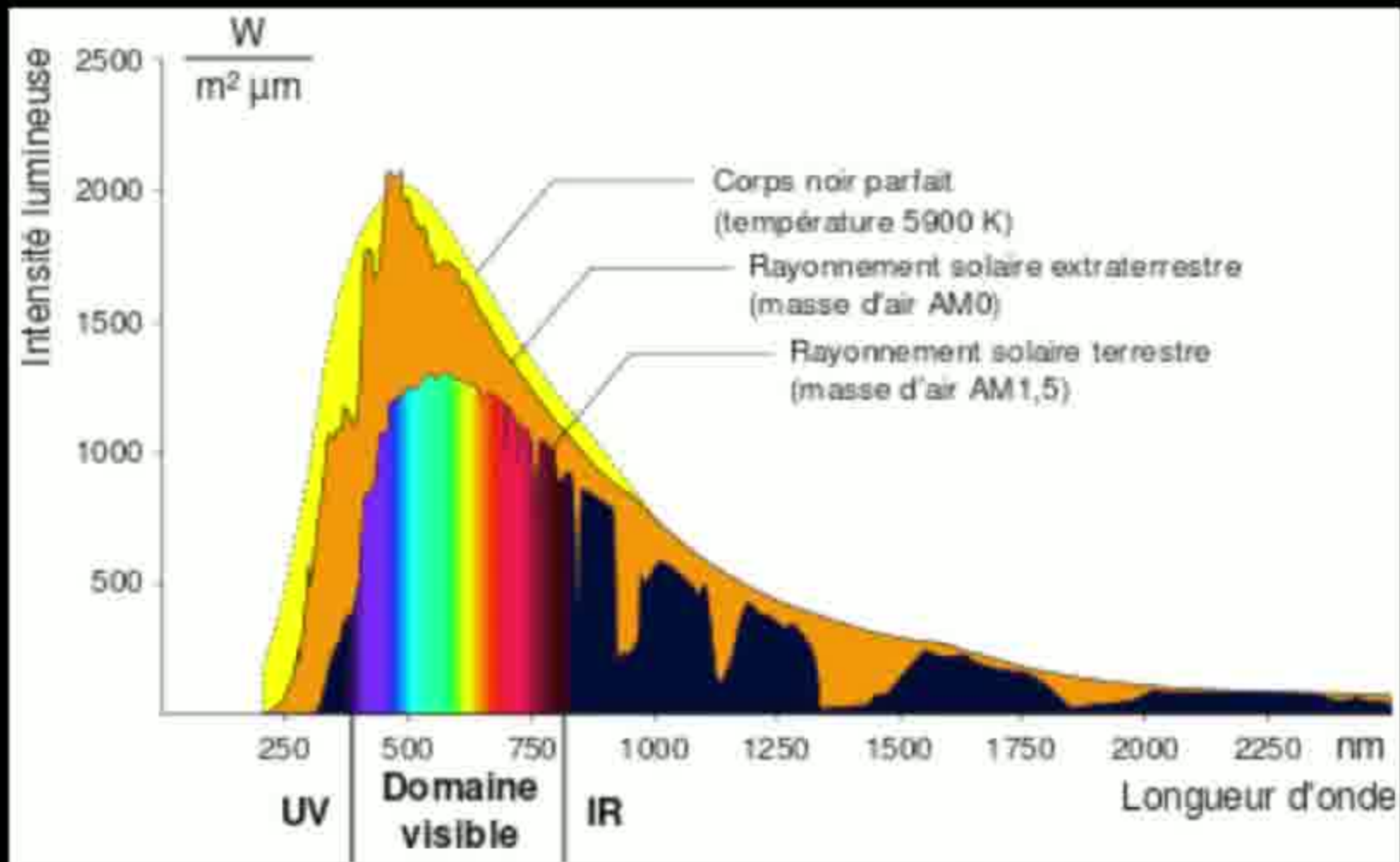
*et heureusement que  
c'est comme cela !*



Les ultra-violets (UV),  
c'est nocif pour la vie !



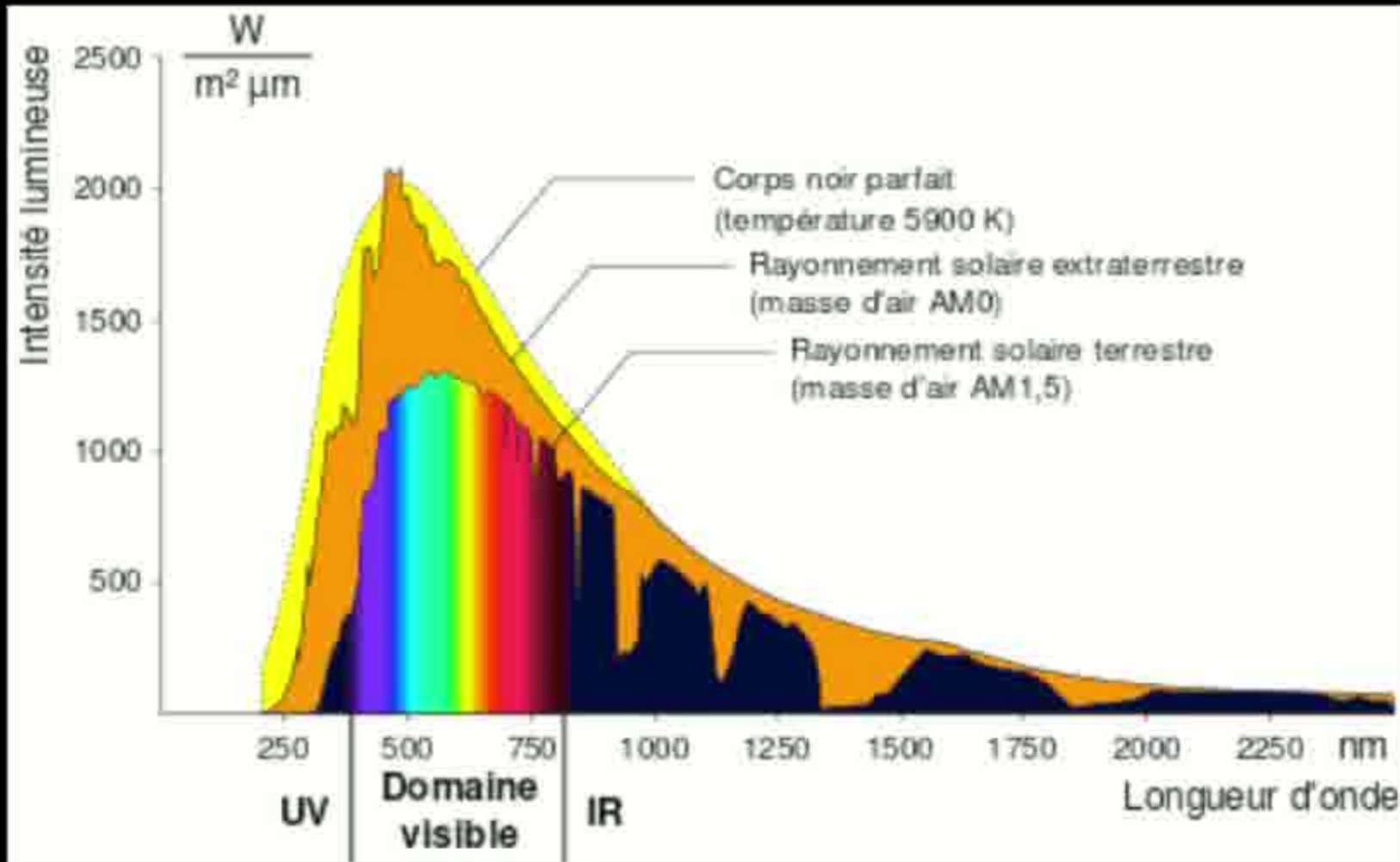
Une étoile géante bleue



Pas de photosynthèse possible avec les UV !

**Les infra-rouges (IR),  
c'est pas terrible !**

car ils sont absorbés par l'eau  
et ils sont peu énergétiques



**Une naine rouge**

**Peu ou pas de photosynthèse possible avec les IR !**



Le Soleil, une naine jaune, qui  
produit la moitié de son  
spectre dans la lumière visible

Une étoile ni trop  
chaude, ni trop  
froide.

Juste ce qu'il faut pour le  
développement de la  
photosynthèse sur Terre !

