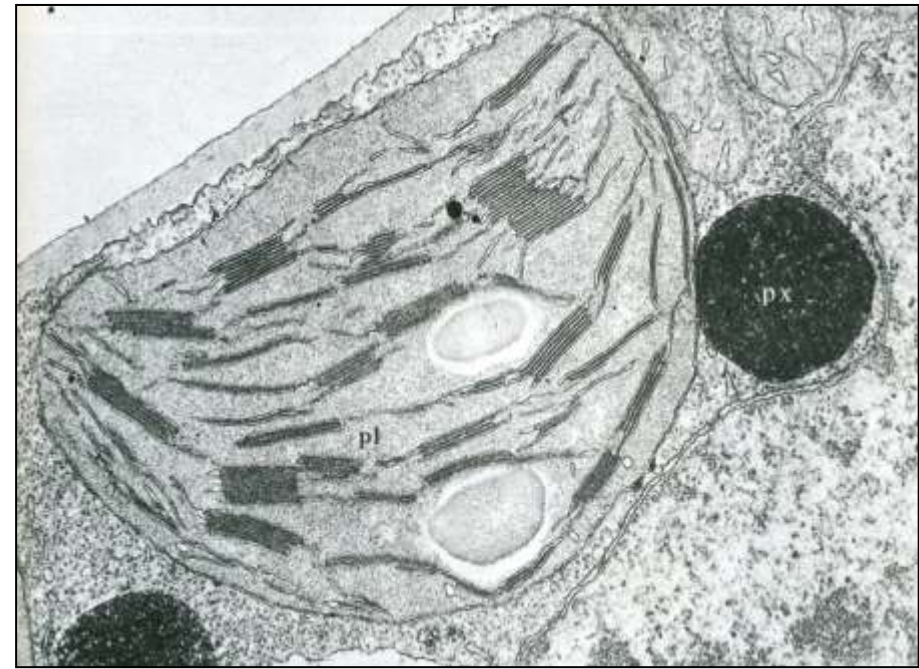
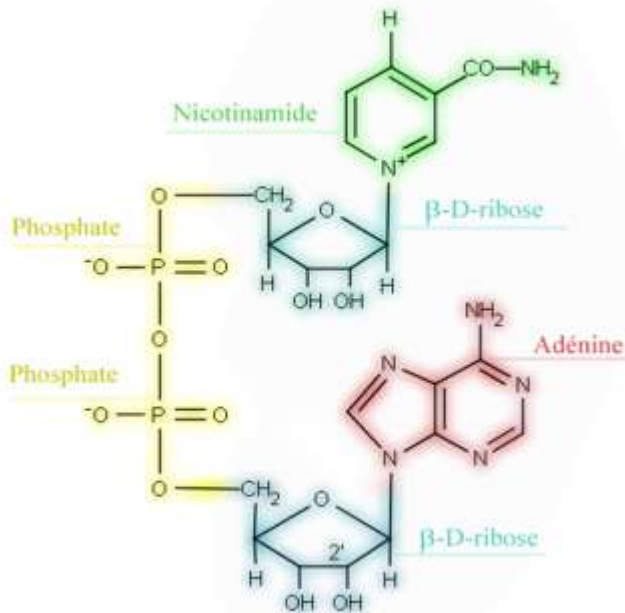
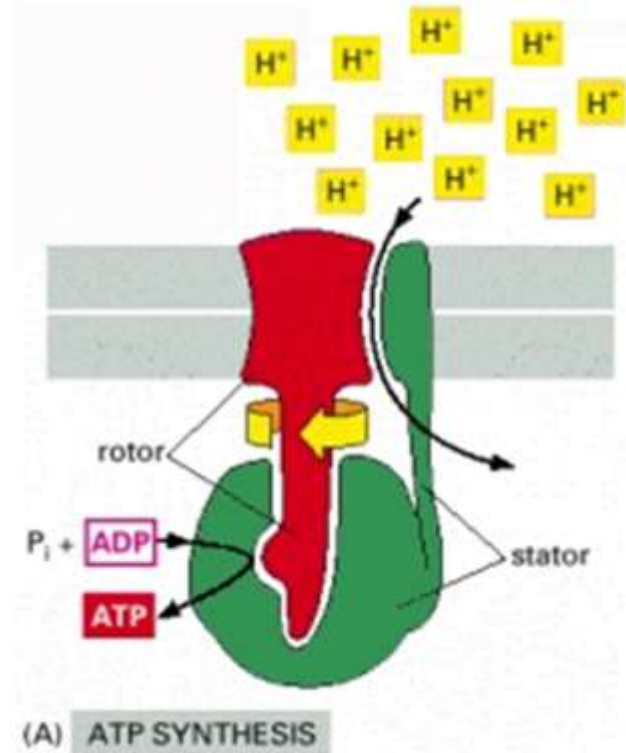
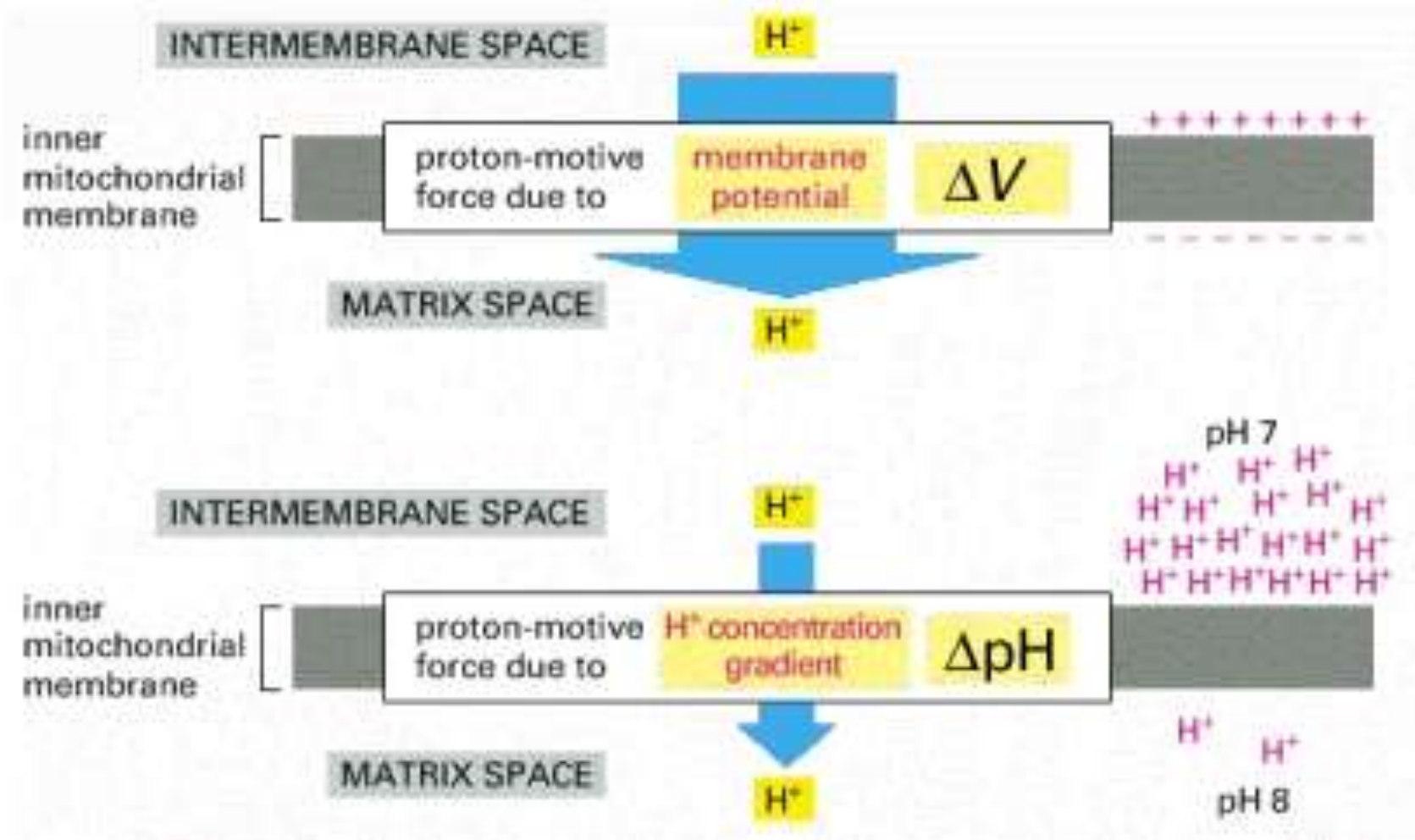
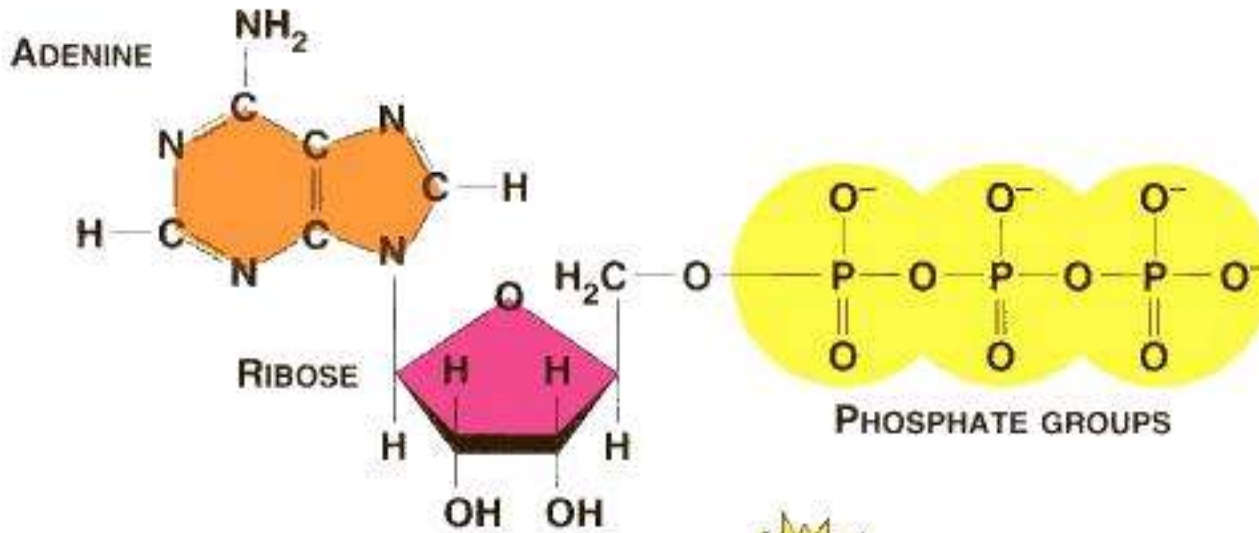


# Chapitre I – C – 3 – a : Métabolisme et formes d'énergie dans la cellule





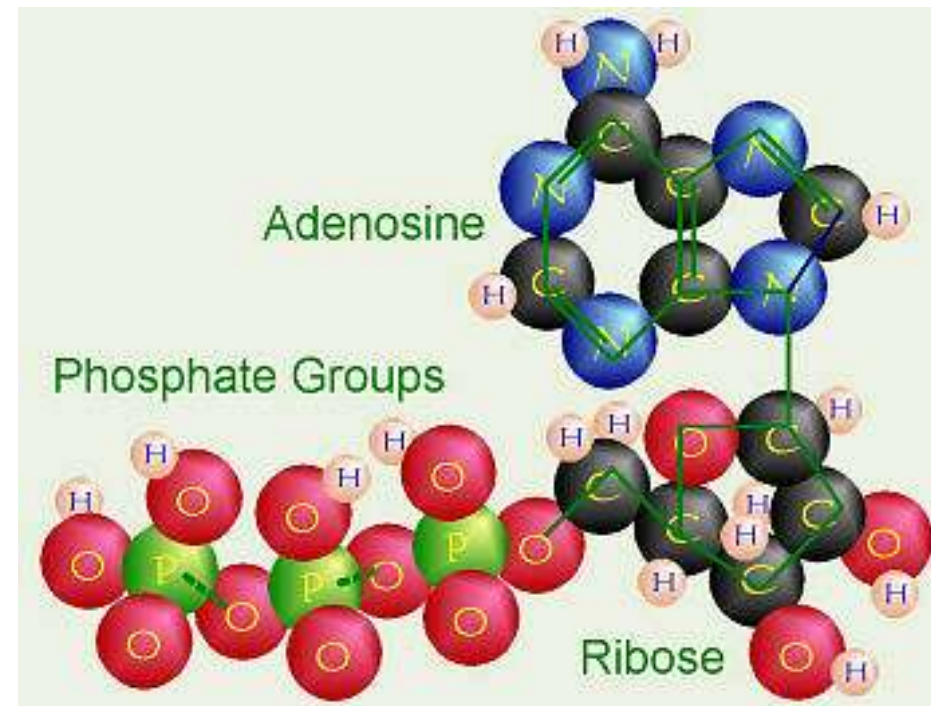
**Les deux composantes d'un gradient électrochimique pour un ion (ici pour les protons).**

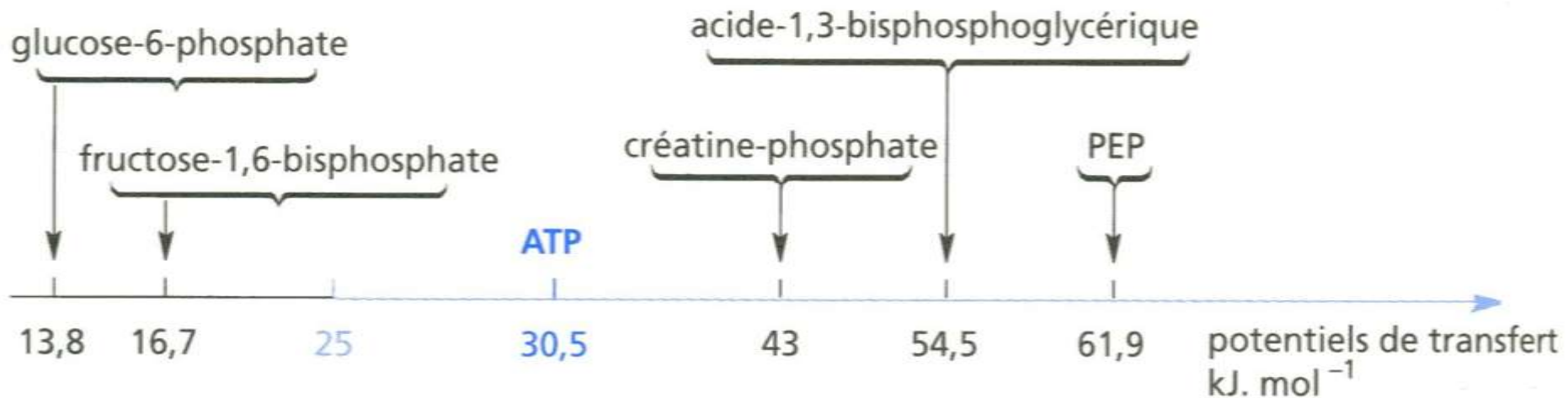


(a) Adenosine triphosphate



# Document 1. L'ATP.



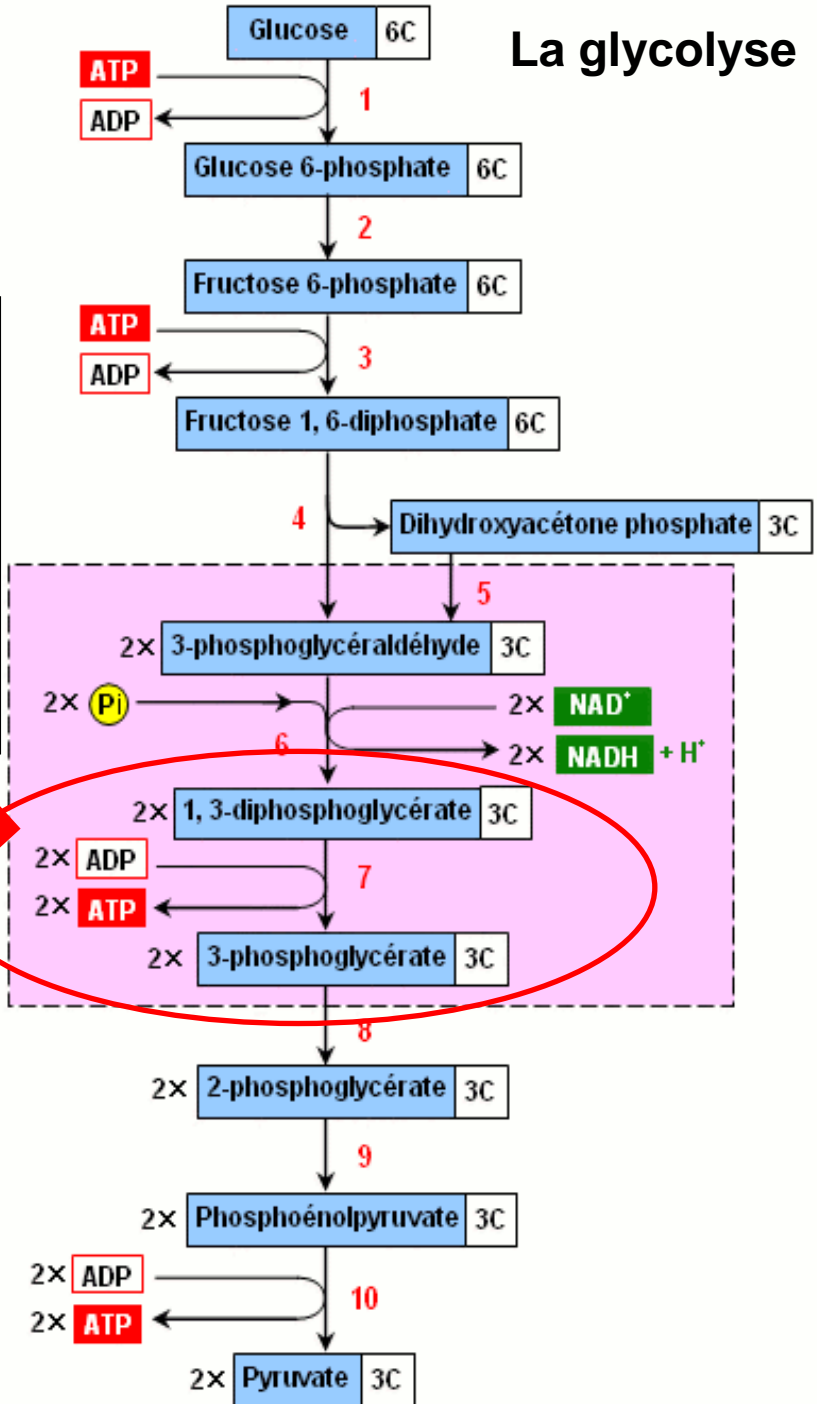
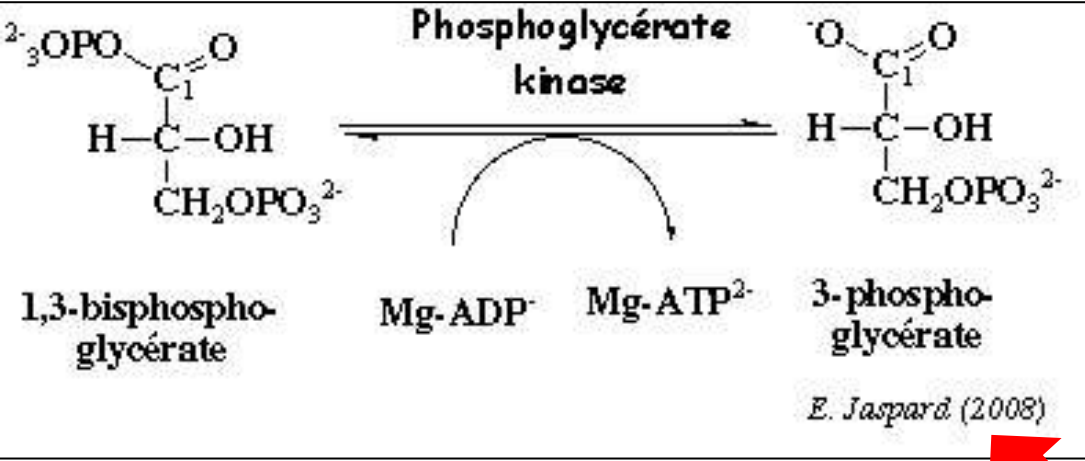


## Document 2. Echelle des potentiels de transfert de quelques composés.

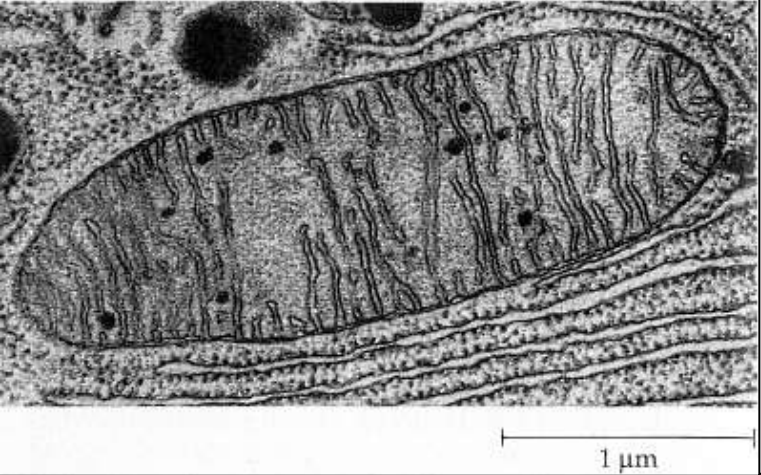
(Peycru P. et coll., " Biologie 1<sup>ère</sup> année BCPST ", Dunod Ed., 2007).

# Document 3. Synthèse de l'ATP par transphosphorylation.

## La glycolyse



(<http://biochimej.univ-angers.fr/Page2/COURS/Zsuite/3BiochMetab/4Glycolyse/1Glycolyse.htm>) et [http://svt.ac-dijon.fr/schemassvt/article.php3?id\\_article=1279](http://svt.ac-dijon.fr/schemassvt/article.php3?id_article=1279)



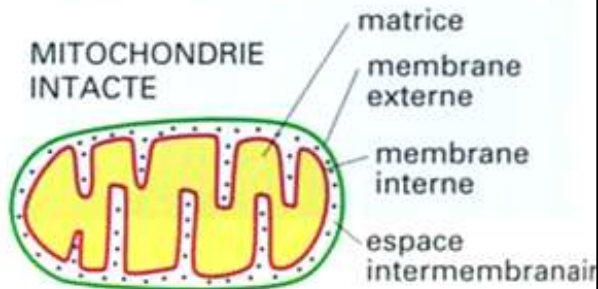
**Document 4. Mise en évidence des « sphères pédonculées » dans la membrane interne des mitochondries.**

A gauche : mitochondrie entière en MET.  
(*"Biologie"* Campbell 1995 Ed. DeBoeck Universités).

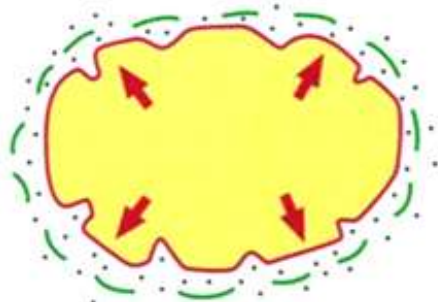


Ci-contre : les membranes ont été isolées sous forme de lambeaux (MET x 200 000).

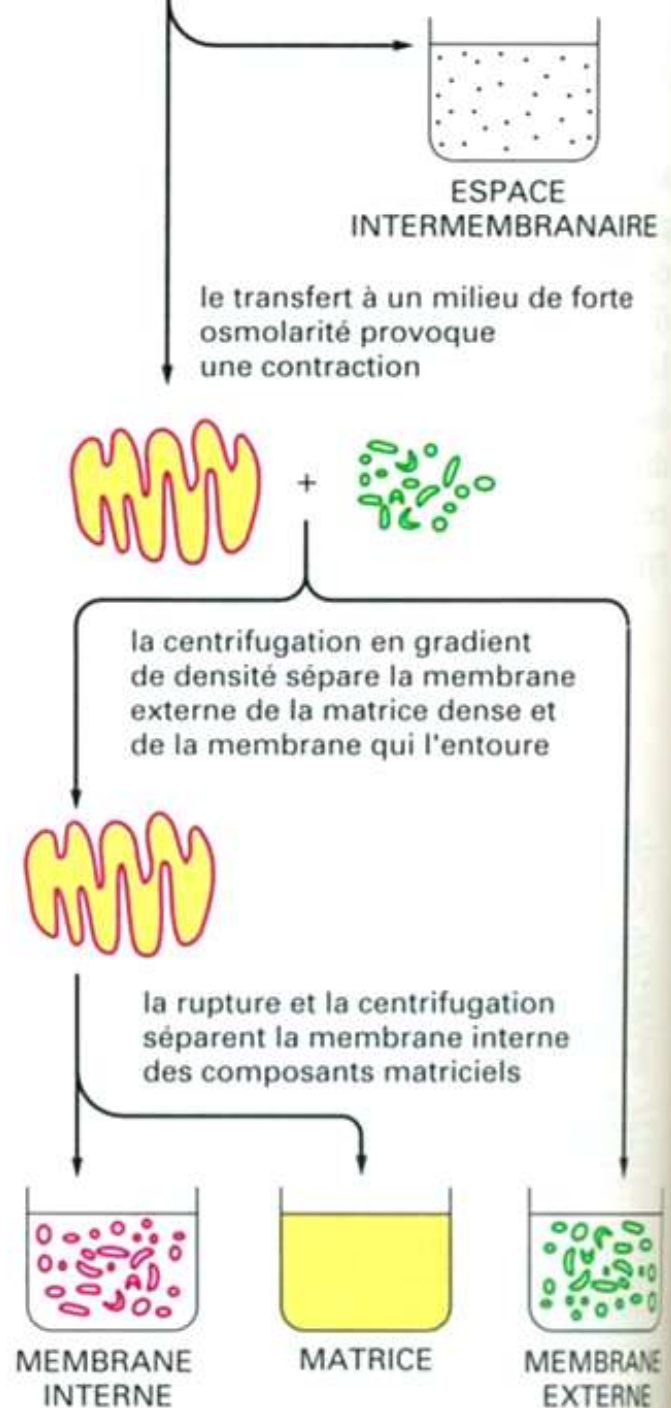
(ROLAND J.-C. et coll., « *Biologie cellulaire* », Dunod ed., 2001).



dans un milieu de faible osmolarité, l'entrée d'eau provoque le gonflement de la mitochondrie et la rupture de la membrane externe avec libération du contenu de l'espace intermembranaire ; la membrane interne reste intacte



la centrifugation laisse le contenu de l'espace intermembranaire dans la fraction non sédimentée



## Document 5. Fractionnement des mitochondries purifiées en composants séparés.

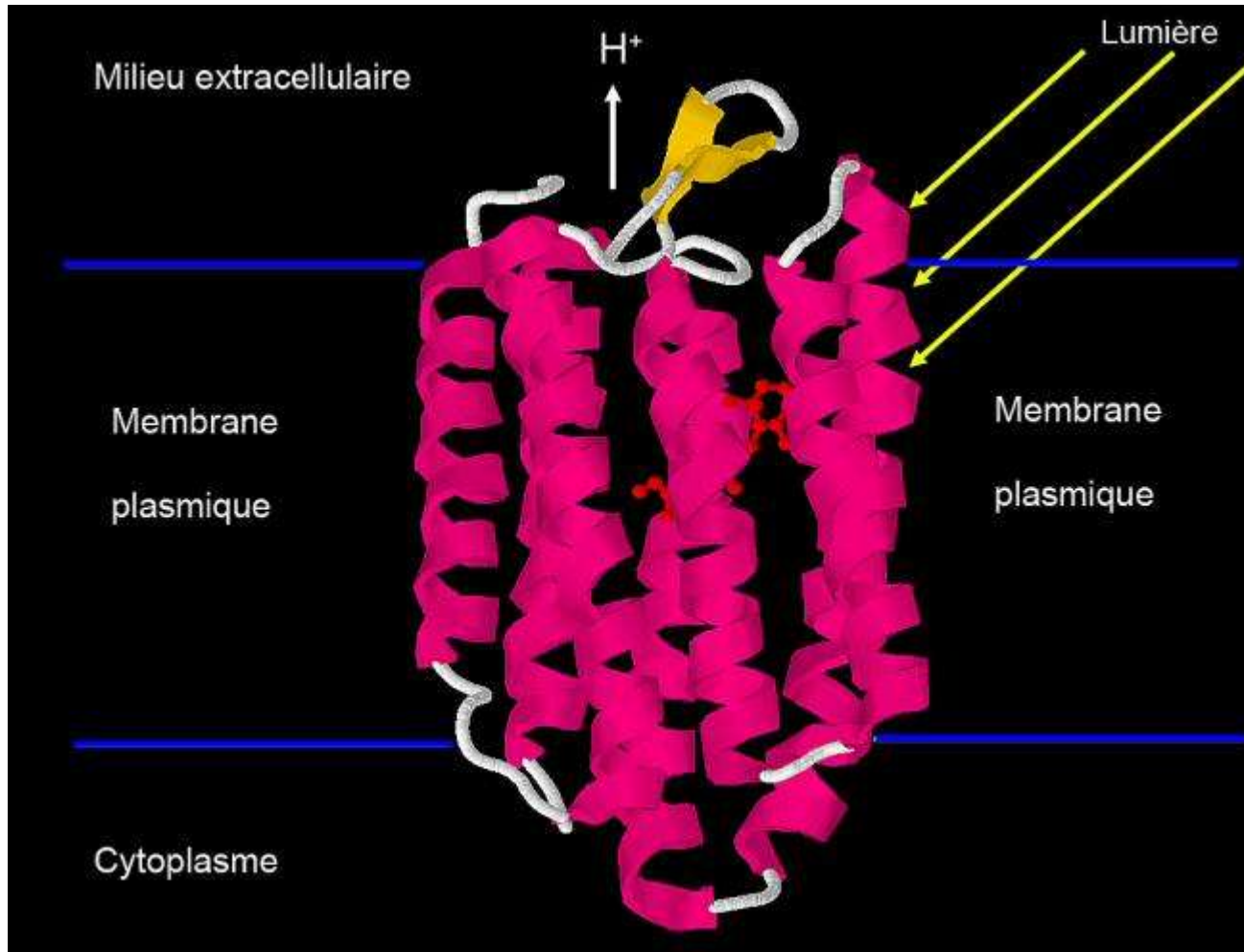
(ALBERTS B. et coll., " Biologie moléculaire de la cellule", Flammarion Médecine – Sciences Ed. ; 1995).

<b>Membrane externe</b>	Protéines (62 %) et lipides (38 %) de nature proche de celles de la membrane plasmique.
<b>Membrane interne et crêtes</b>	Protéines (80 %) et lipides (20 %) de natures très différentes de celles de la membrane plasmique (enzymes participant à des réactions d'oxydo-réduction, ATPsynthase).
<b>Matrice</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Petites molécules carbonées (pyruvate, acides aminés, acides gras...)</li> <li>– Nombreuses enzymes (deshydrogénases, décarboxylases, cytochrome-oxydase intervenant dans la réaction  <math display="block">1/2 O_2 + 2 H^+ \rightarrow H_2O</math>)</li> <li>– Transporteurs réduits ou oxydés (T, TH<sub>2</sub>)</li> <li>– ATP, ADP, Pi</li> </ul>

## **Document 6. Analyse biochimique des différentes structures mitochondriales.**

(« SVTT°S spécialité », Nathan Ed., 2002).

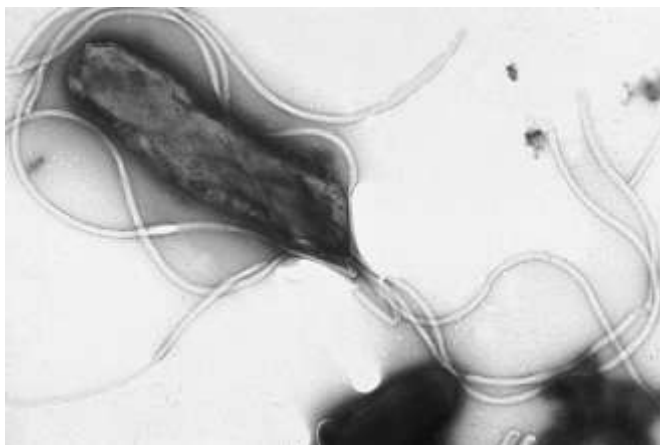
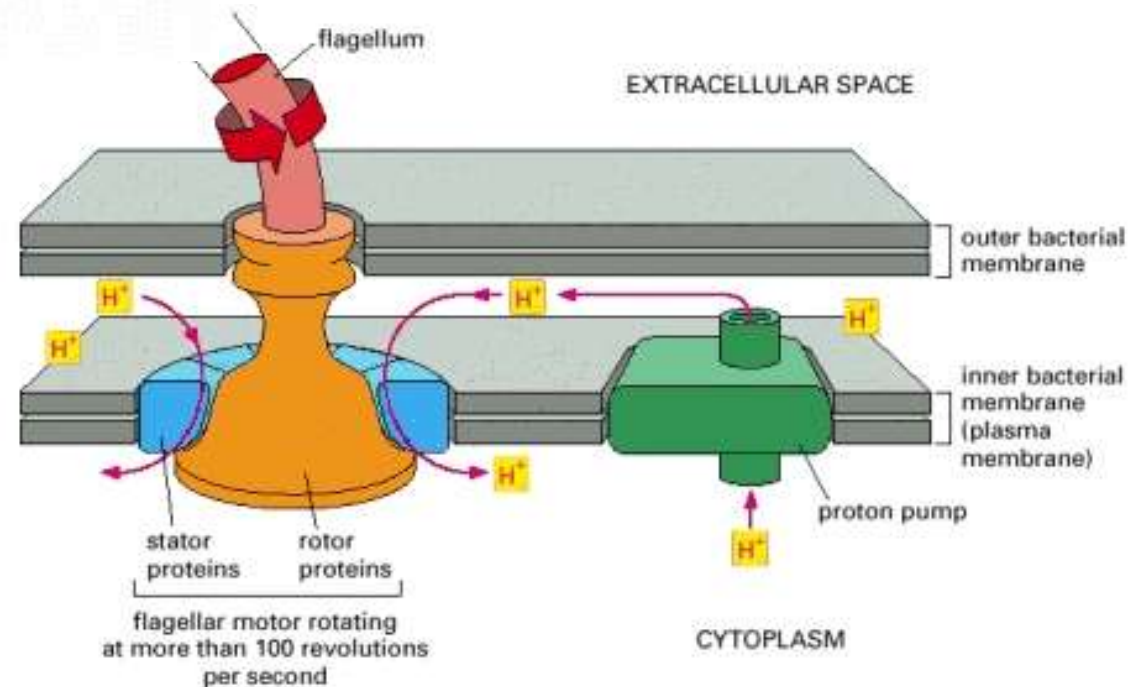
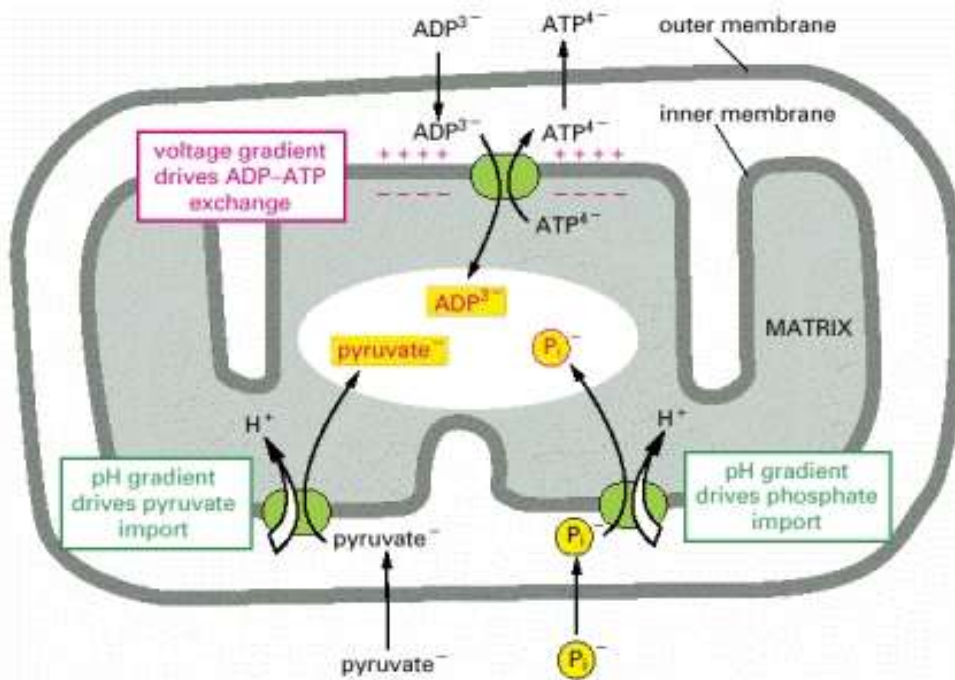




## La bactériorhodopsine

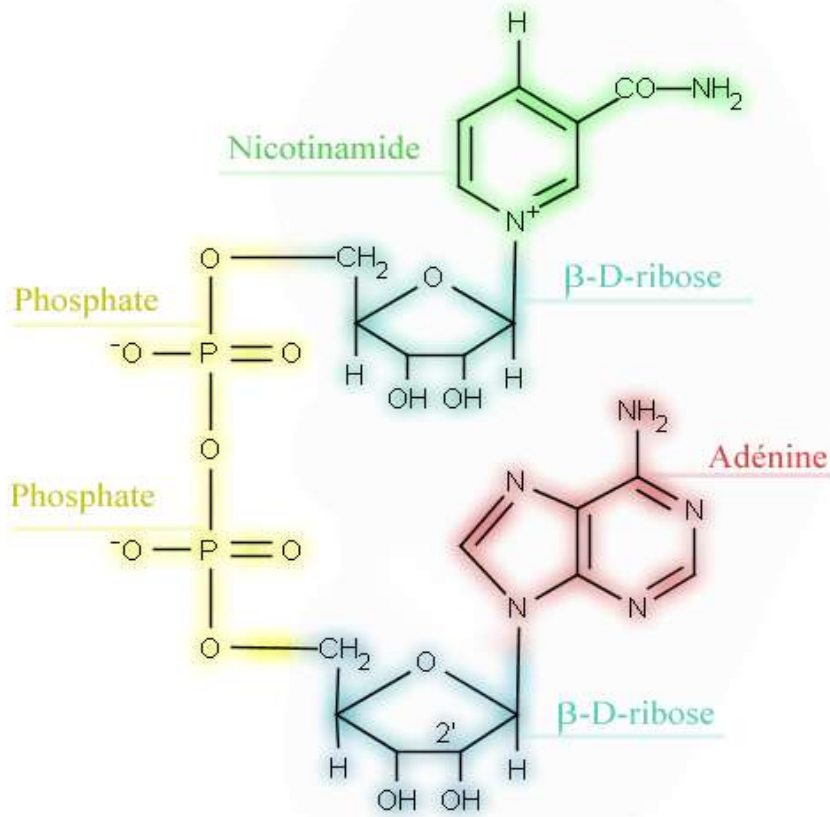
# Quelques utilisations de l'énergie de gradient protonique

Certains transports actifs dans la mitochondrie utilisent le gradient de protons.



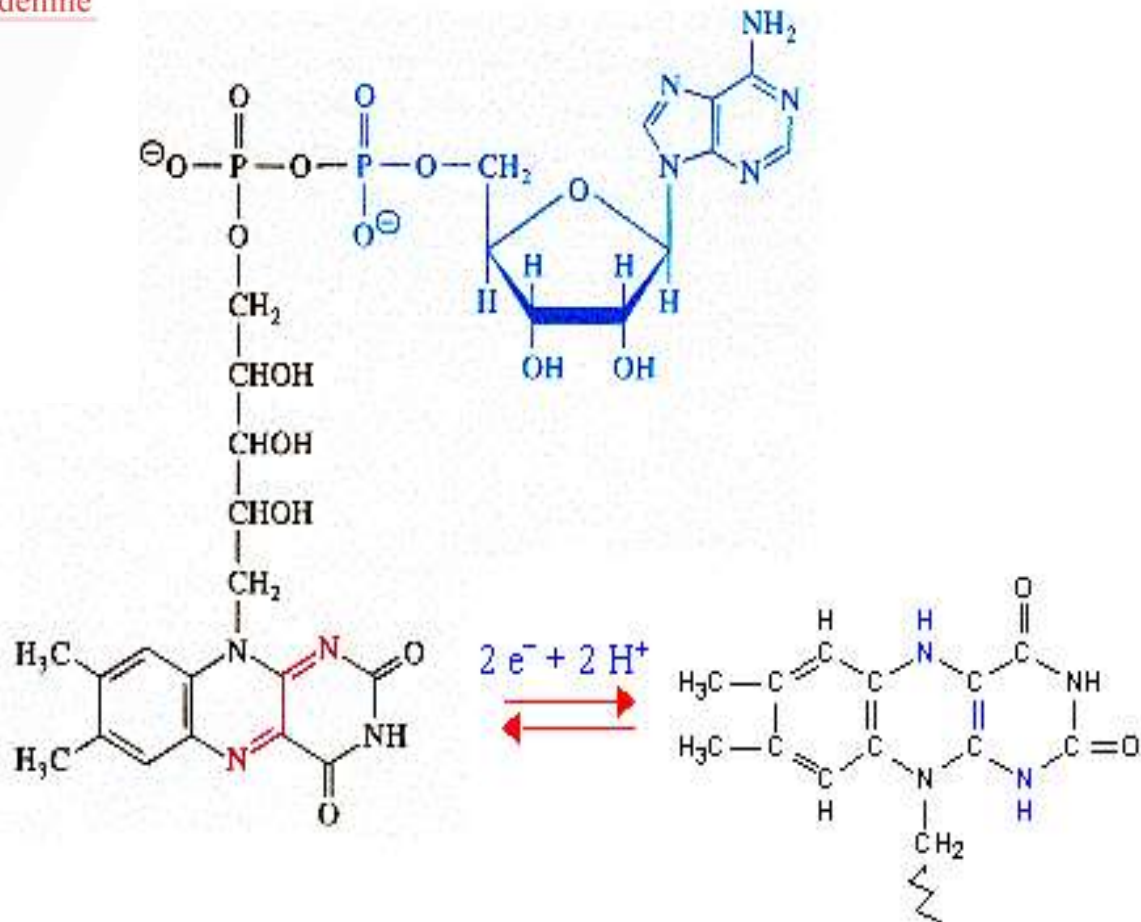
*Helicobacter pylori* avec ses nombreux flagelles (MET)

La rotation du flagelle bactérien est entraînée par un flux de protons.

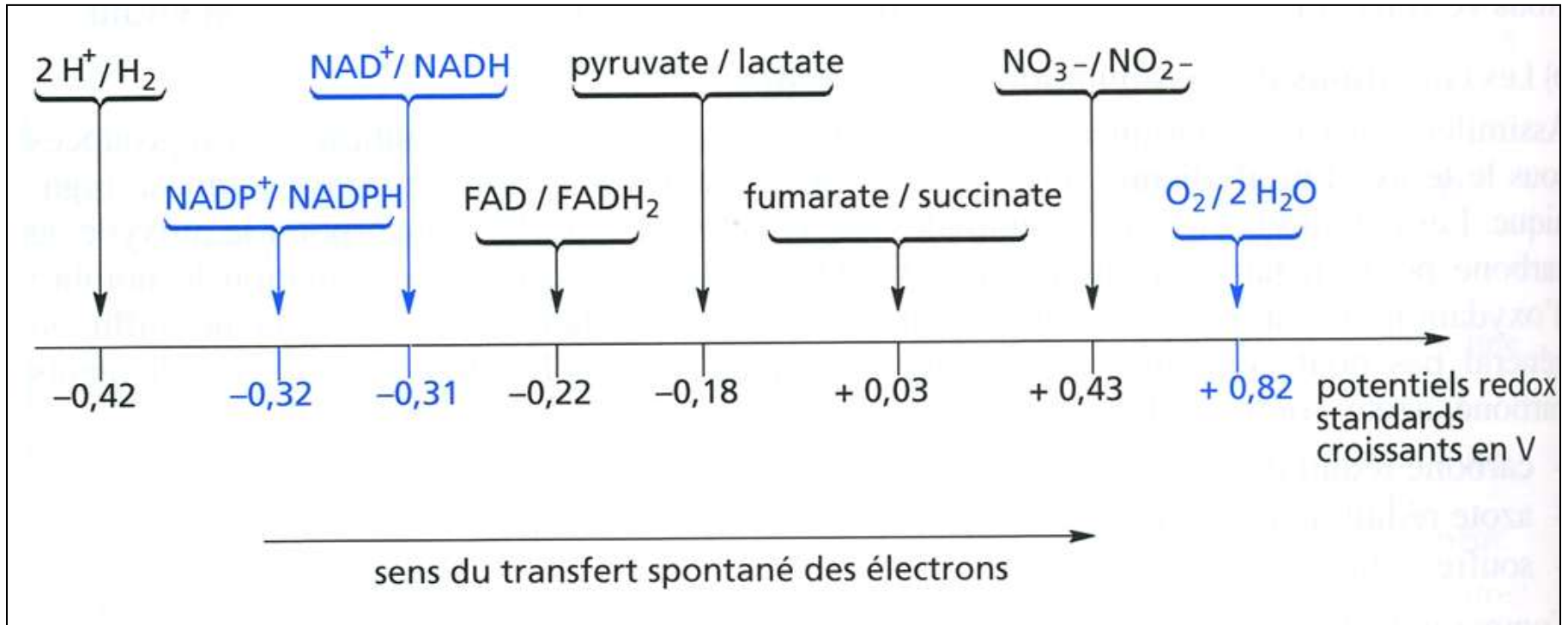


## Document 7. Structure des coenzymes d'oxydoréduction.

### NAD<sup>+</sup> ou nicotinamide adénine dinucléotide



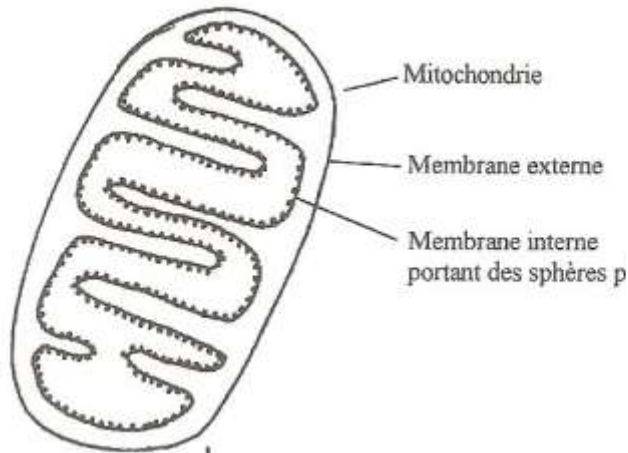
### La flavine adénine dinucléotide (FAD)



## Document 8. Echelle des valeurs du potentiel redox standard de quelques couples.

(Peycru P. et coll., " Biologie 1<sup>ère</sup> année BCPST ", Dunod Ed., 2007).

# Mise en évidence de l'utilisation d'un gradient protonique pour la synthèse d'ATP à l'aide de particules submitochondriales

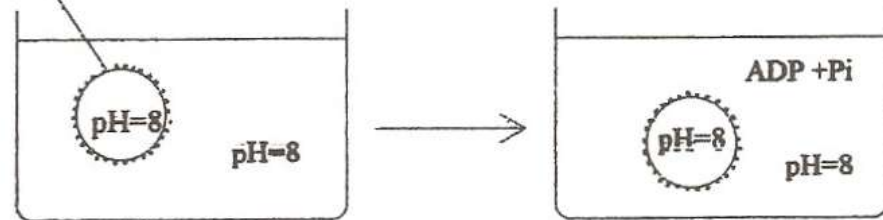


Fragmentation par ultrasons

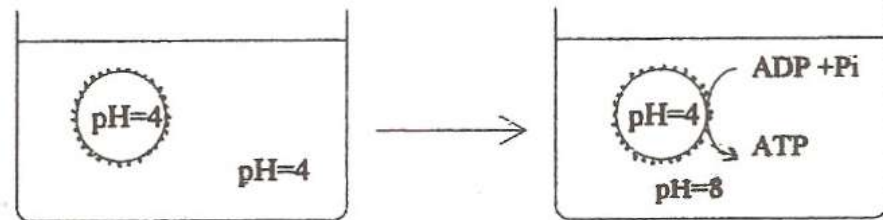


Particules submitochondriales  
= vésicules de membrane interne

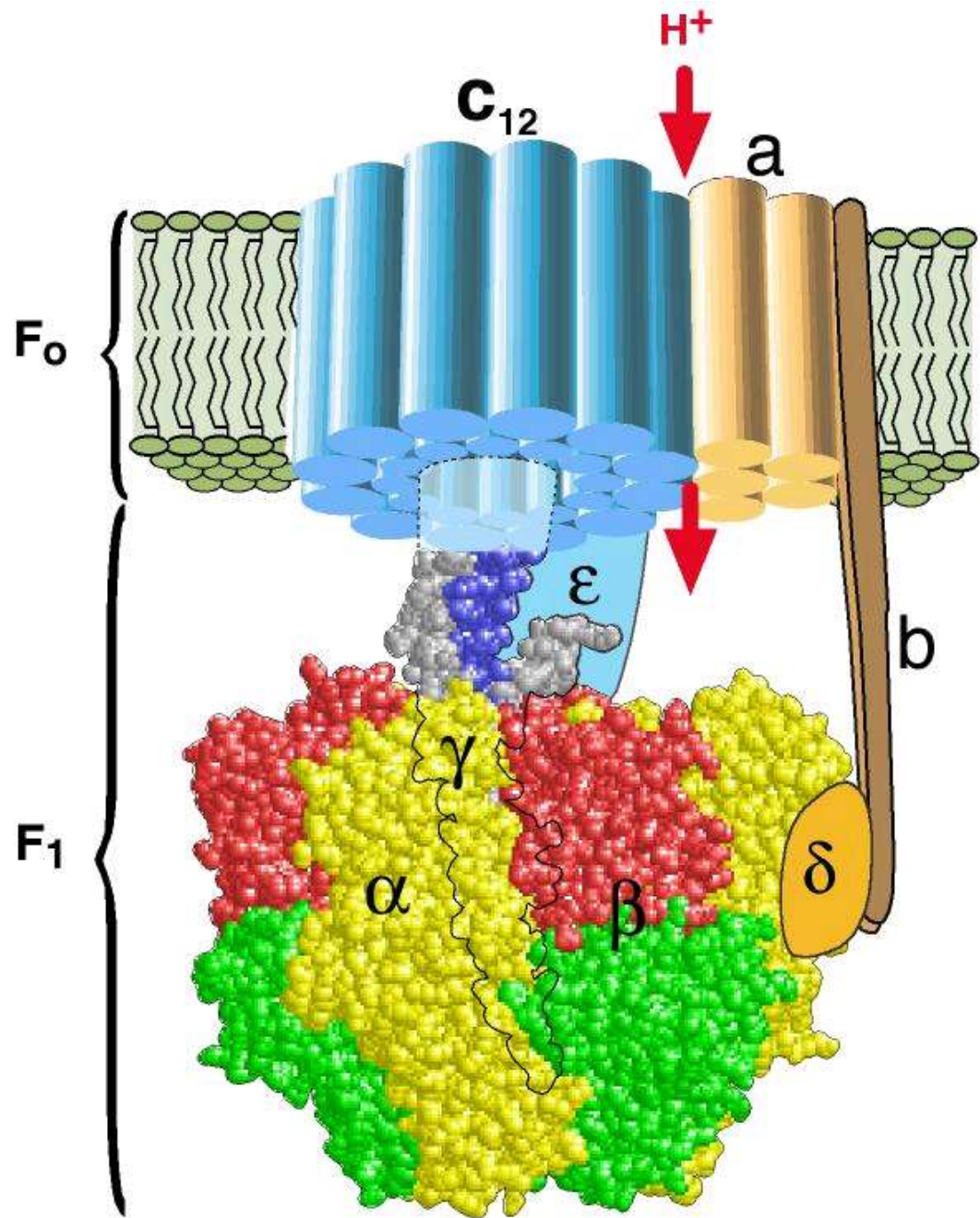
Particule submitochondriale



a/ Lorsque le pH de la vésicule interne est égal ou supérieure à celui du milieu extravésiculaire il n'y a pas formation d'ATP



b/ Lorsque le pH de la vésicule interne est inférieur à celui du milieu extravésiculaire on constate la synthèse d'ATP



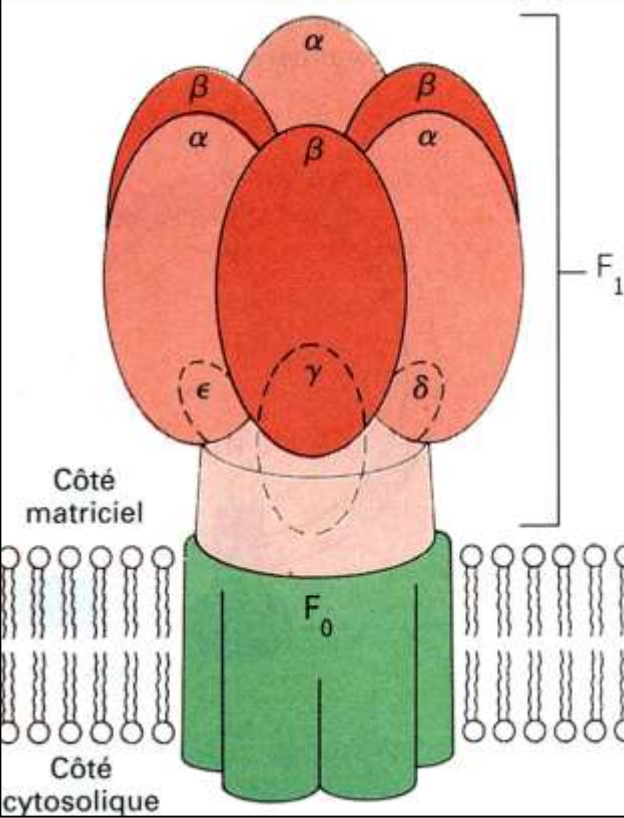
# Modèle structural de l'ATP synthase

Peter D. Mitchell  
 Prix Nobel chimie  
 1978

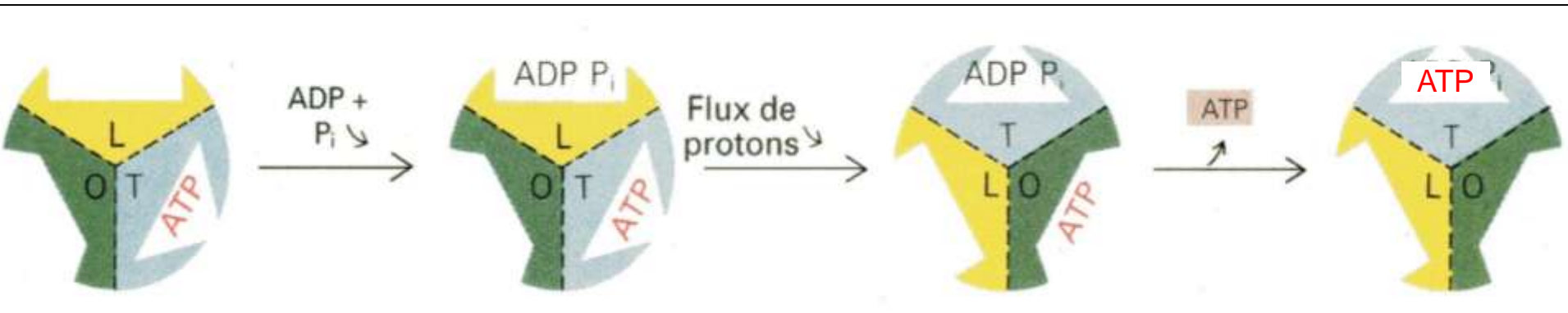


## Document 9. Représentation schématique de l'ATP synthase.

(STRYER L., « La biochimie » Flammarion Médecine – Sciences Ed. 1997).

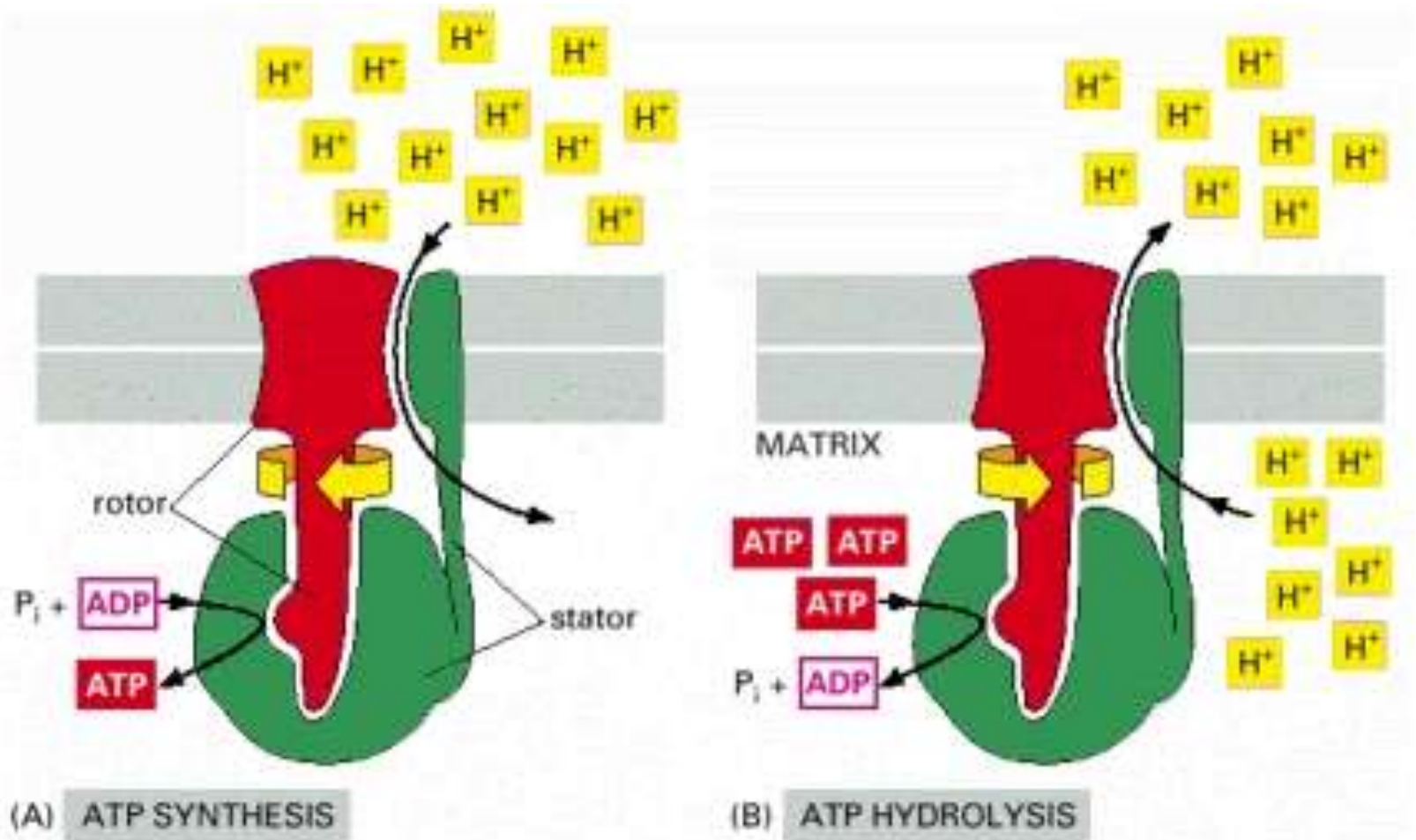


Voir [l'animation](#) !



## Document 10. Modèle de fonctionnement de l'ATP synthase.

(d'après STRYER L., « La biochimie » Flammarion Médecine – Sciences Ed. ; 1997).



**Le fonctionnement de l'ATP synthase est réversible :  
l'hydrolyse d'ATP peut financer un transport de protons.**



# Document 11. Les couples redox de la membrane mitochondriale interne.

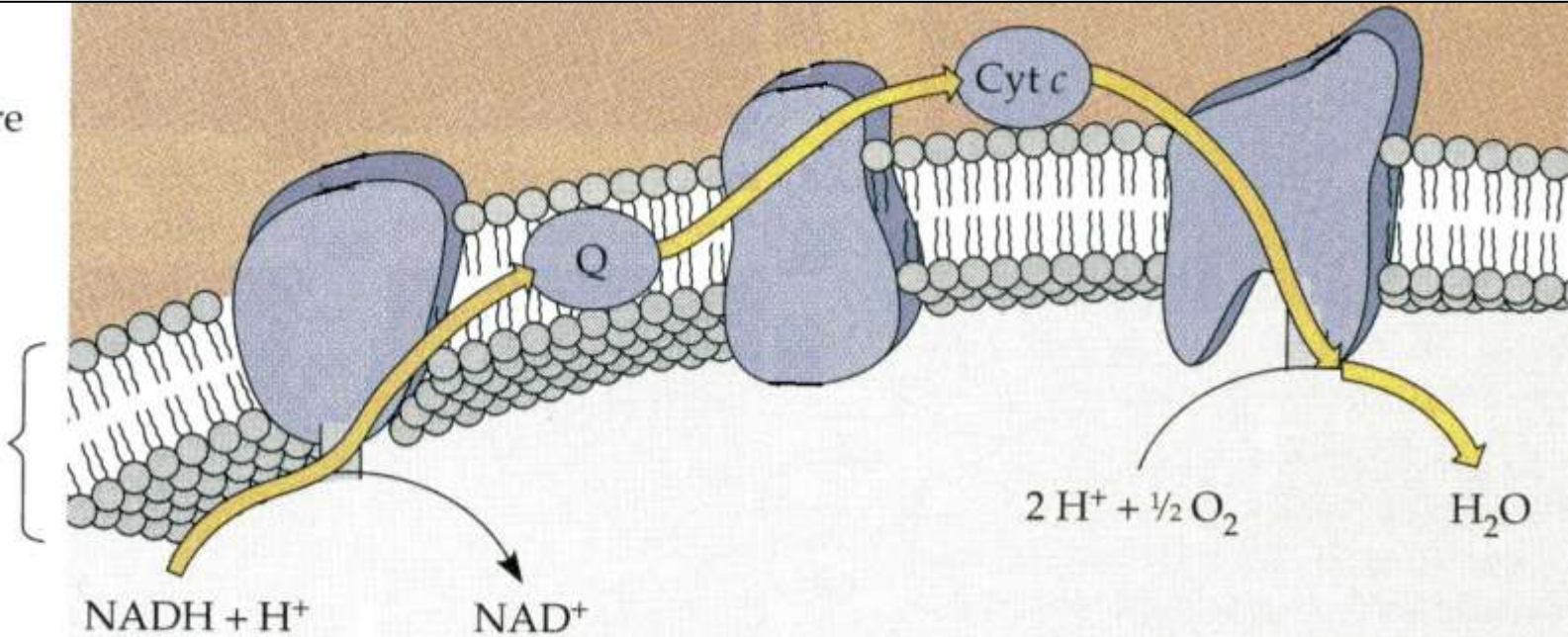
Composant	Nomenclature	Composition	E <sup>0'</sup> (V)
Ubiquinone ou coenzyme Q	Ubiquinone ou coenzyme Q	Polyisoprène : lipide au sens large présentant une forme réduite et une forme oxydée	0,045
Complexe III	Q-cytochrome c réductase	8 sous-unités dont une protéine fer-soufre et des cytochromes (b et c1)	b : 0,077 c1 : 0,215
Cytochrome C	Cytochrome C	cytochrome	0,235
Complexe IV	Cytochrome C oxydase	13 sous-unités dont des cytochromes (a et a3)	a : 0,29 a3 : 0,385

**Protéines fer-soufre** : possèdent Fe et S qui peuvent changer de valence  
→ **transporteurs d'électrons.**

**Cytochromes** : protéines avec groupement prosthétique (=non protéique) à Fe ou Cu, qui peuvent changer de valence → **transporteurs d'électrons.**

Espace intermembranaire

Membrane mitochondriale interne

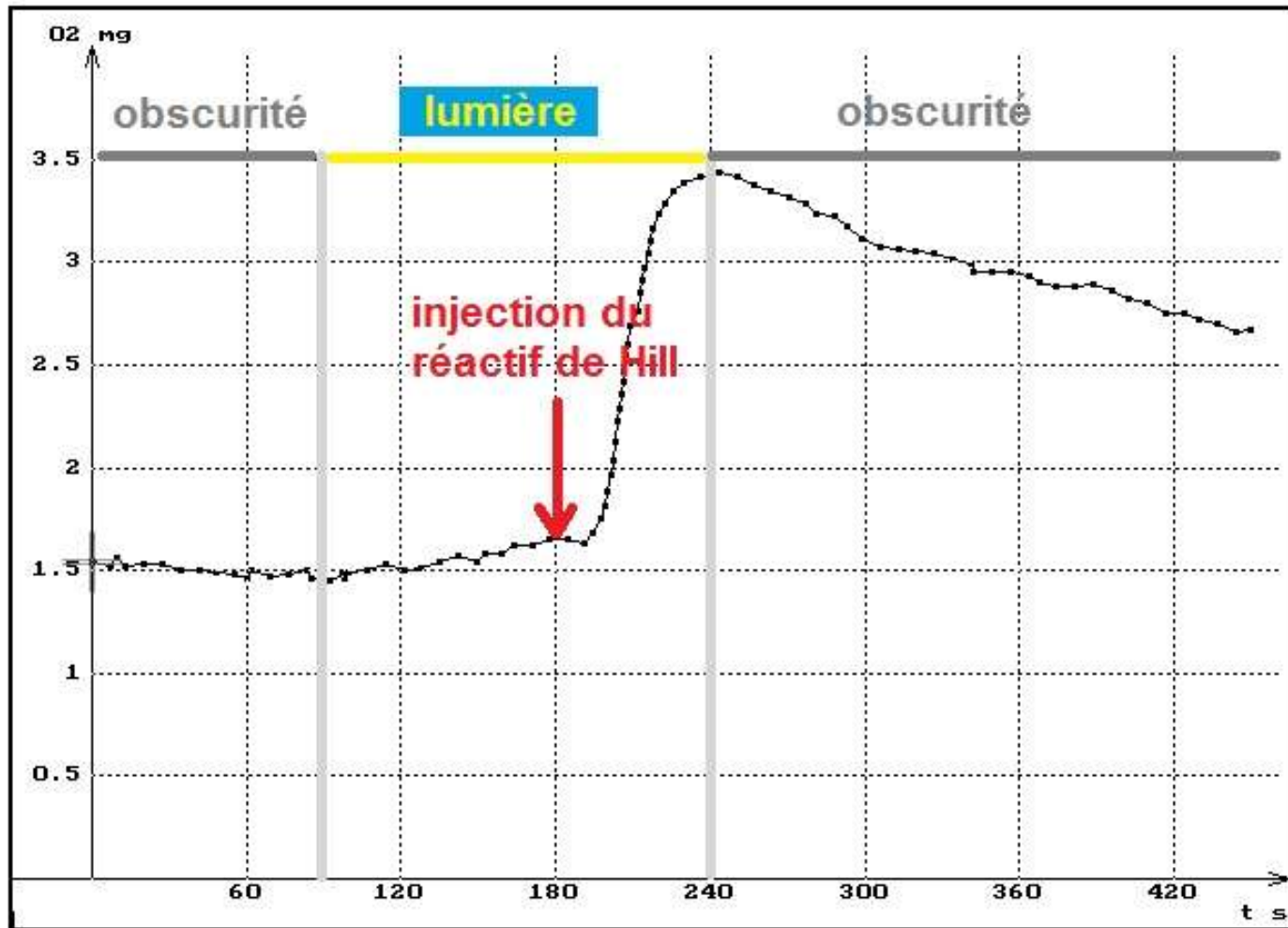


## Document 12. La chaîne de transport des électrons dans la membrane mitochondriale interne.

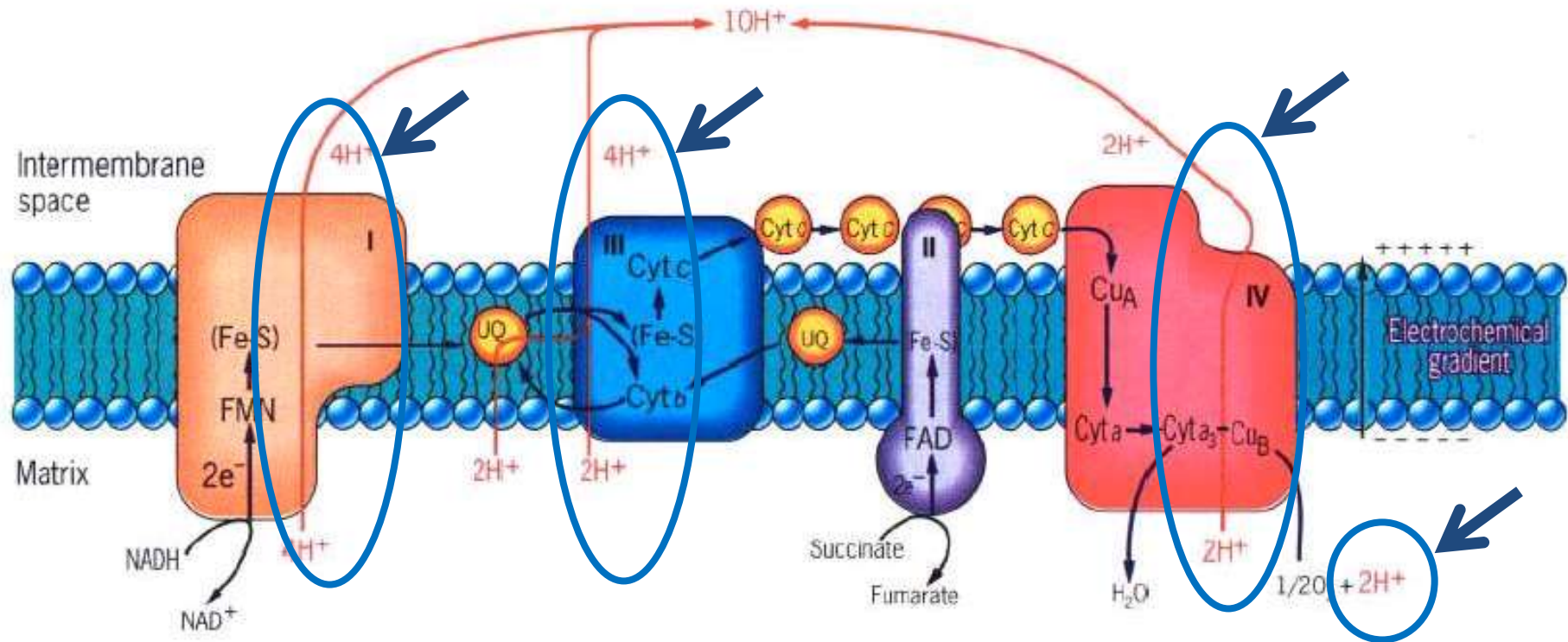
Composants	Composition	Propriétés redox
Lipides structuraux	Glycolipides, sulfolipides très insaturés	
PSI	Pigments (dont chlorophylles, caroténoïdes) apparentés aux lipides par leurs propriétés hydrophobes, associés à des protéines	oui pour la chlorophylle a de ces complexes
PSII	Pigments (dont chlorophylles) apparentés aux lipides par leurs propriétés hydrophobes, associés à des protéines	
Quinone Q Plastoquinone	Polyisoprènes : lipides au sens large	oui
Plastocyanine	Protéine à Cu	oui
Complexe b6f	cytochromes	oui
Ferrédoxine	Protéine Fe-S	oui
ATP synthase	Comparable à celle des mitochondries	

## **Document 13. Les principaux constituants de la membrane des thylacoïdes.**

# Document 14. Résultats de l'expérience de Hill



# Trajet des électrons dans la chaîne respiratoire et translocation de protons



Complex I  
NADH Dehydrogenase

Complex III  
Cytochrome bc<sub>1</sub>

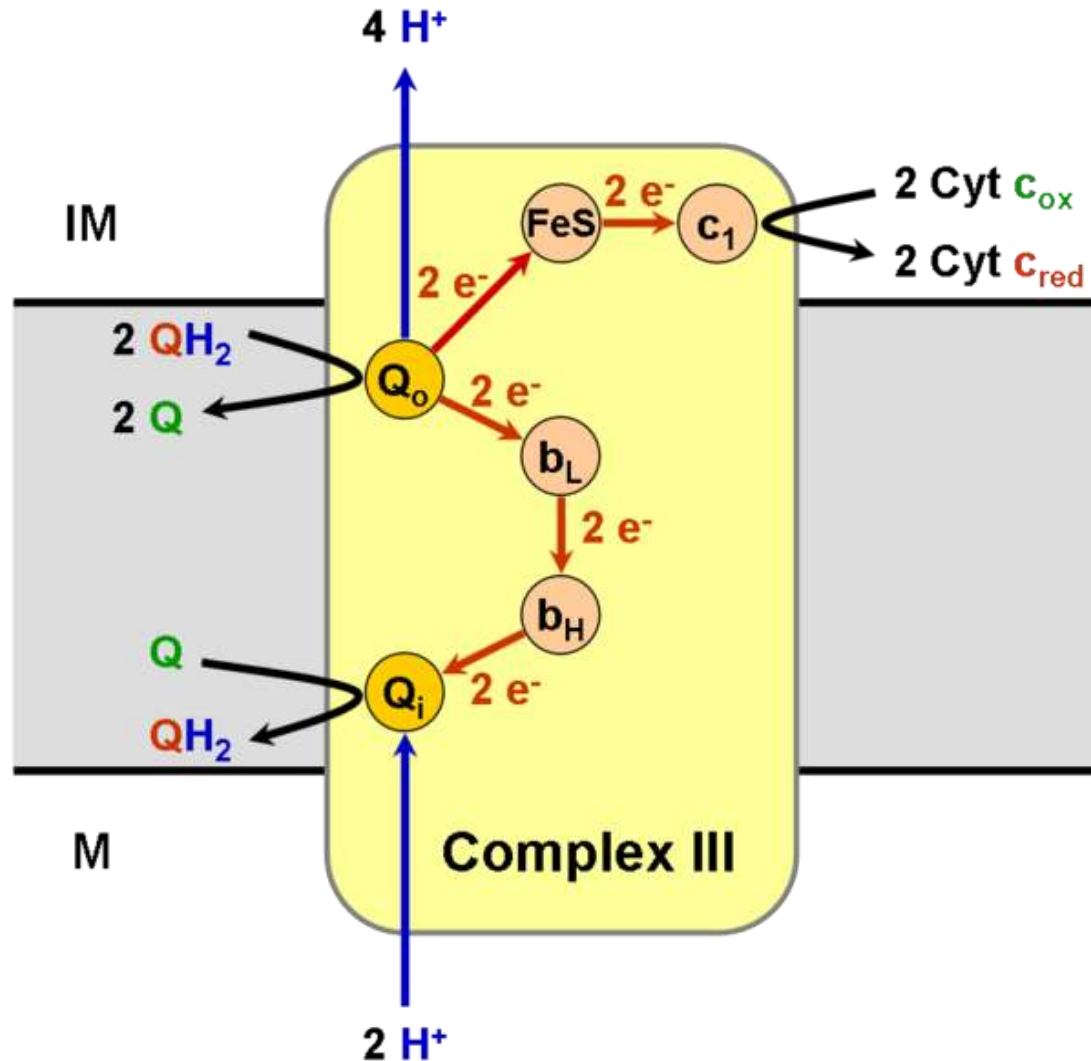
Complex II  
Succinate dehydrogenase

Complex IV  
Cytochrome c Oxidase

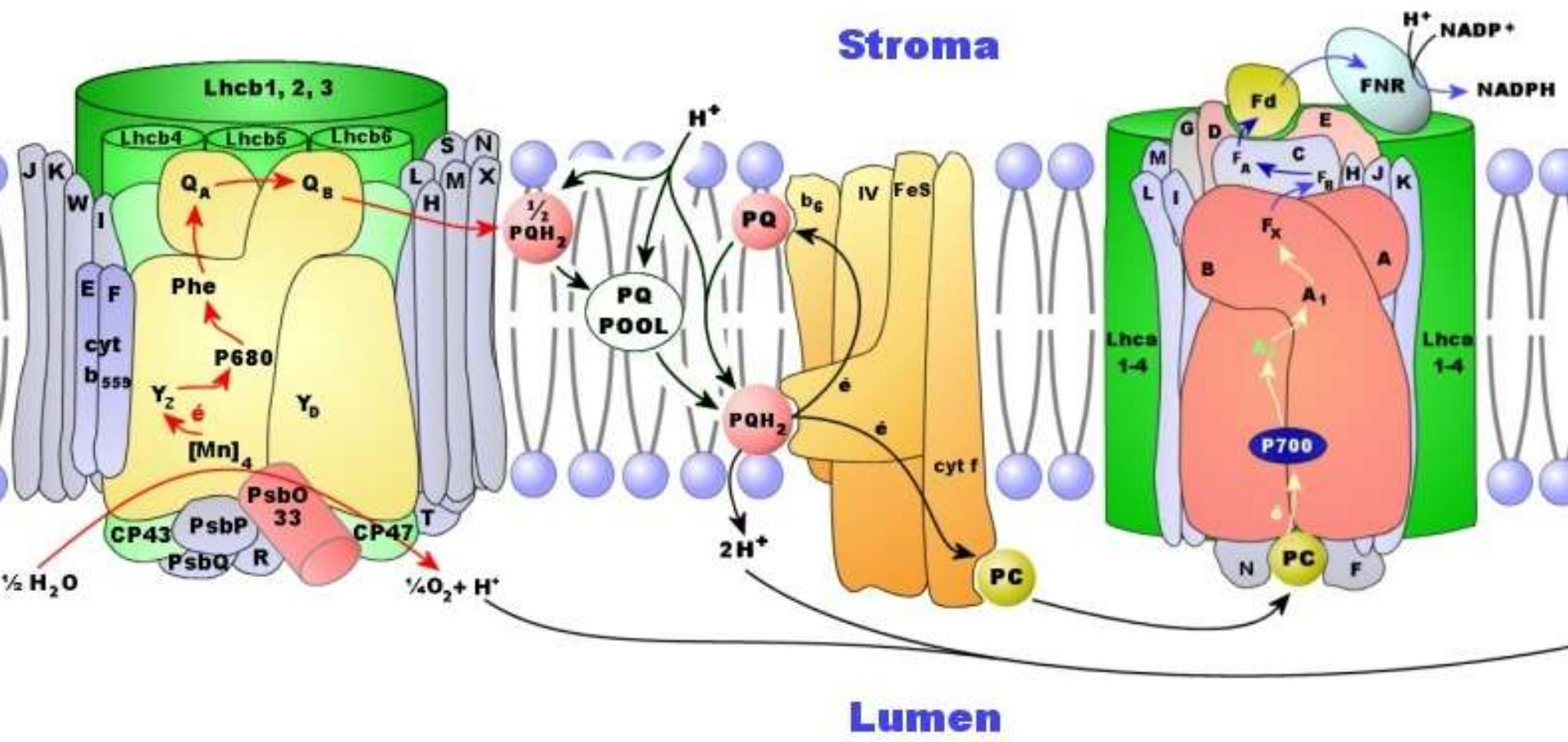
Reçoit les électrons de NADH

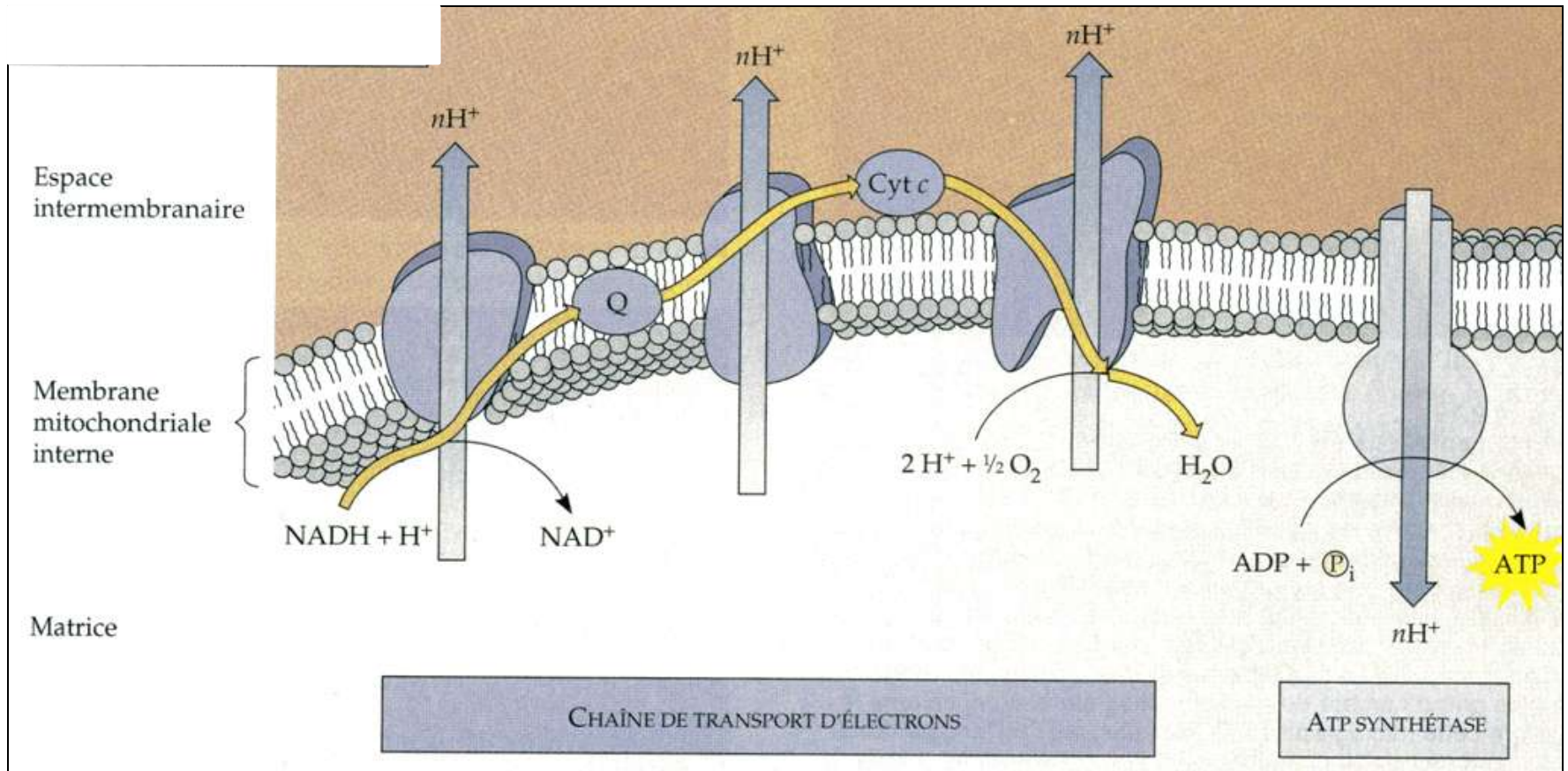
Reçoit les électrons de FADH<sub>2</sub>

# Document 15. Translocation des protons lors du fonctionnement du complexe b-c1.



# Translocation des protons lors du fonctionnement du complexe b6-f de la membrane des thylacoïdes

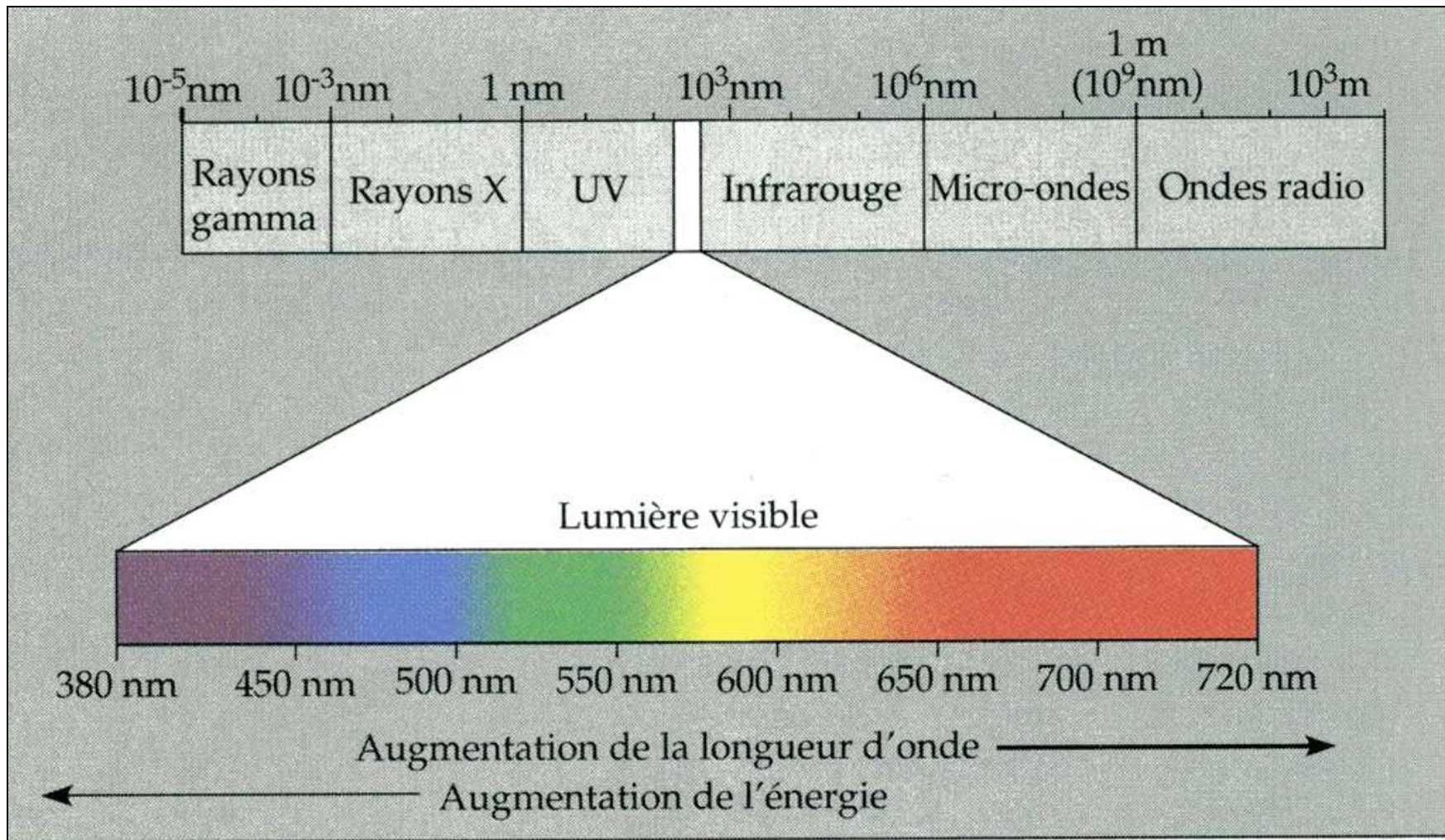




# Modèle de l'organisation fonctionnelle de la chaîne respiratoire mitochondriale.

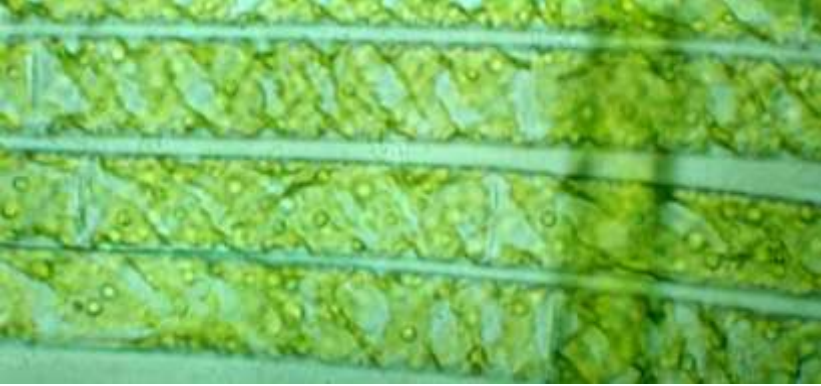
(CAMPBELL N., " Biologie ", ERPI Ed., 1995).





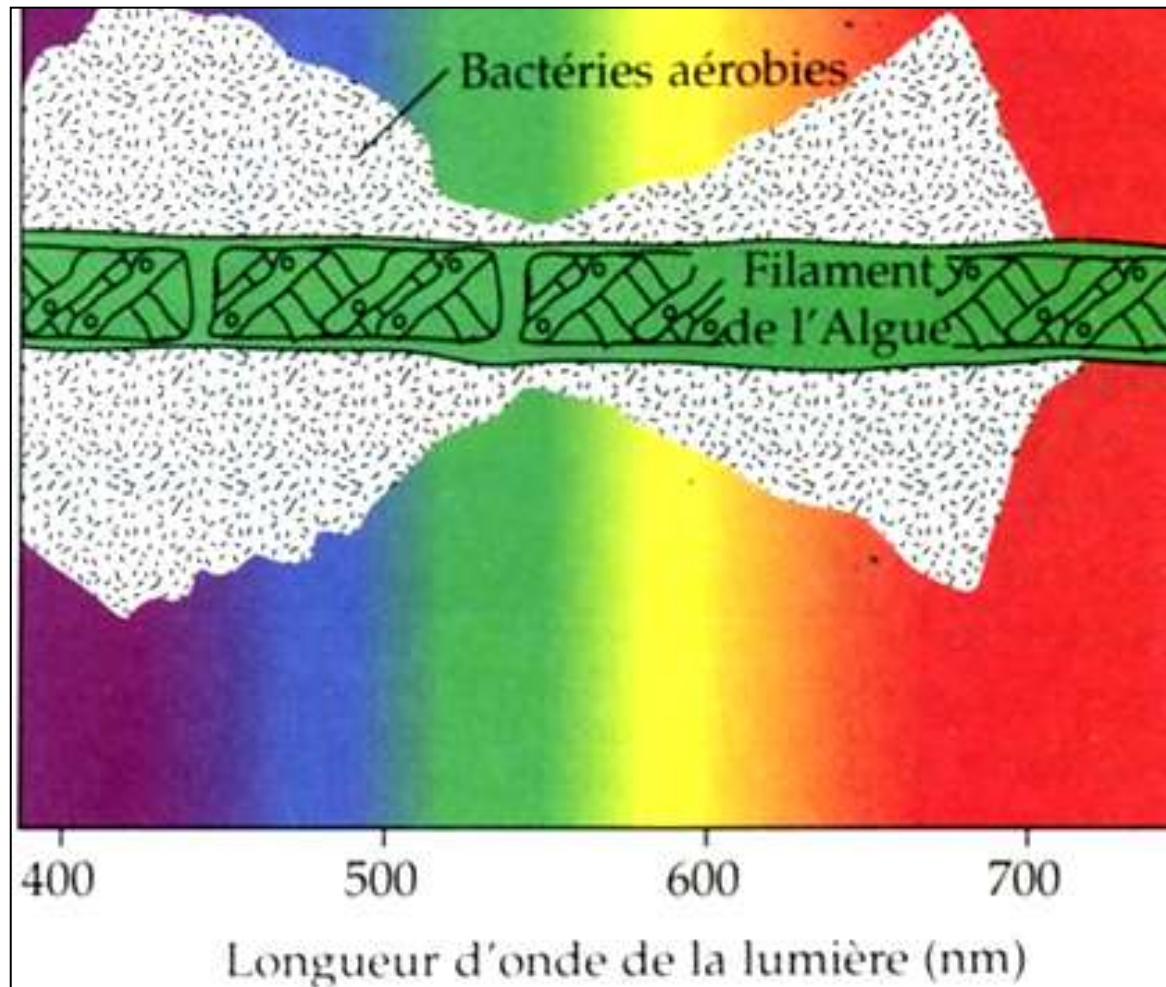
## **Document 16. Le spectre électromagnétique.**

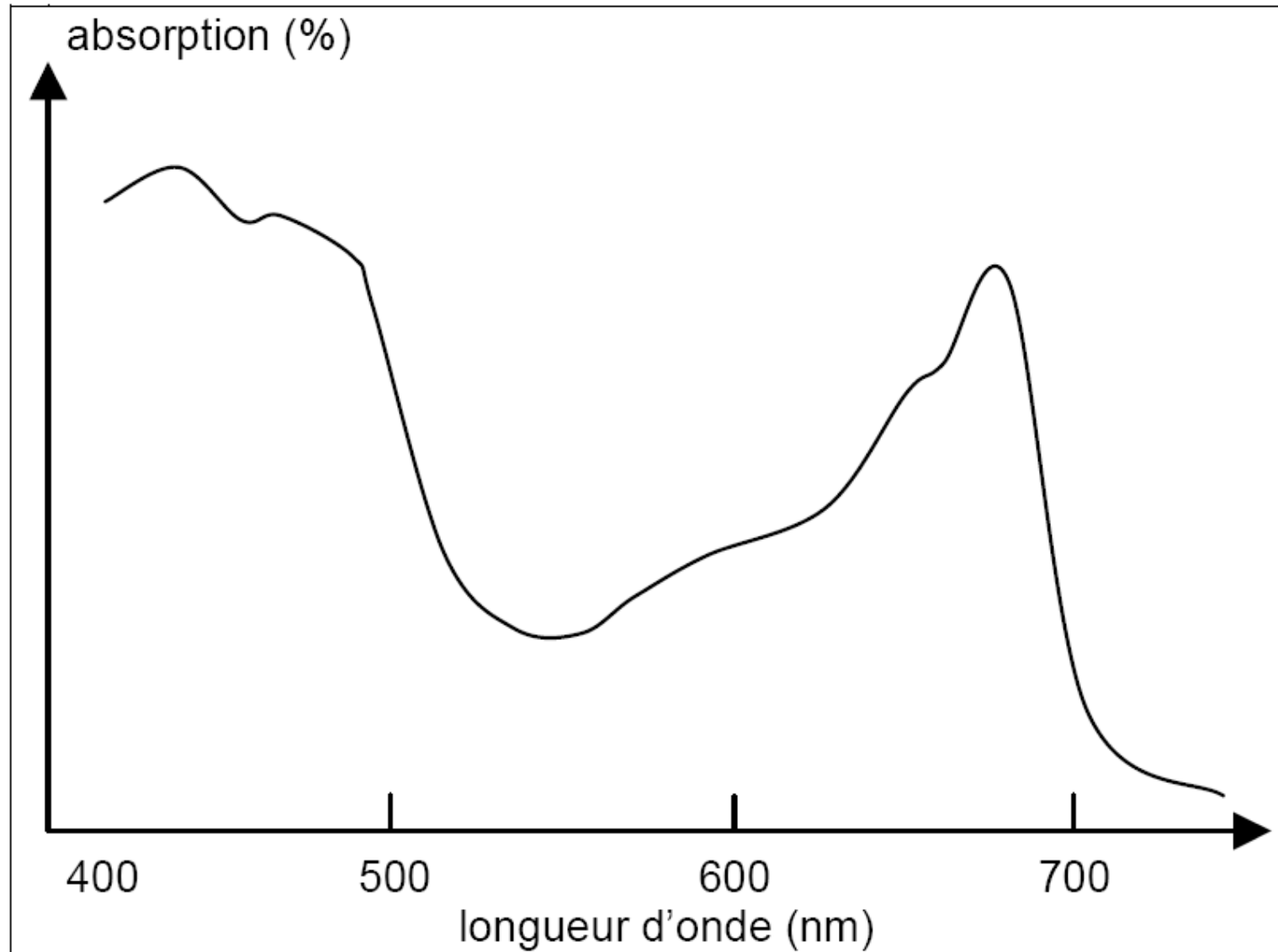
(CAMPBELL N., " Biologie ", ERPI Ed., 1995).



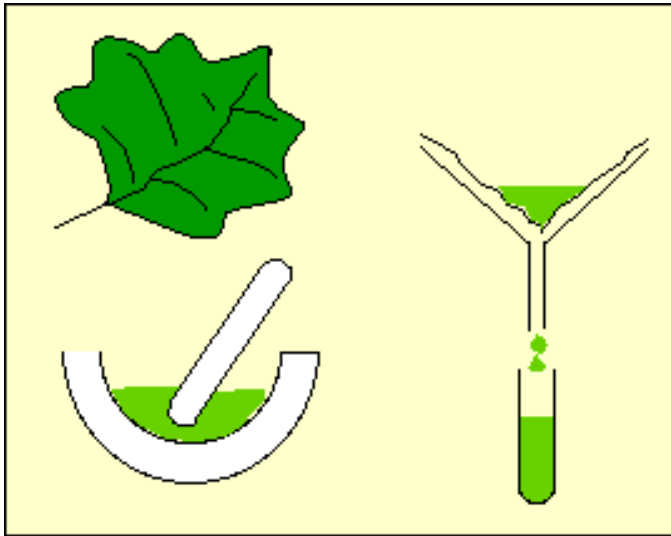
## Document 17. Résultats de l'expérience d'Engelmann (1885).

(CAMPBELL N., " Biologie ", ERPI Ed., 1995).





**Document 18 : Spectre d'absorption des pigments extraits d'une algue verte.** (D'après Blinks LR in : " La photosynthèse " H. JUPIN, A. LAMANT, DUNOD Ed. 1999).

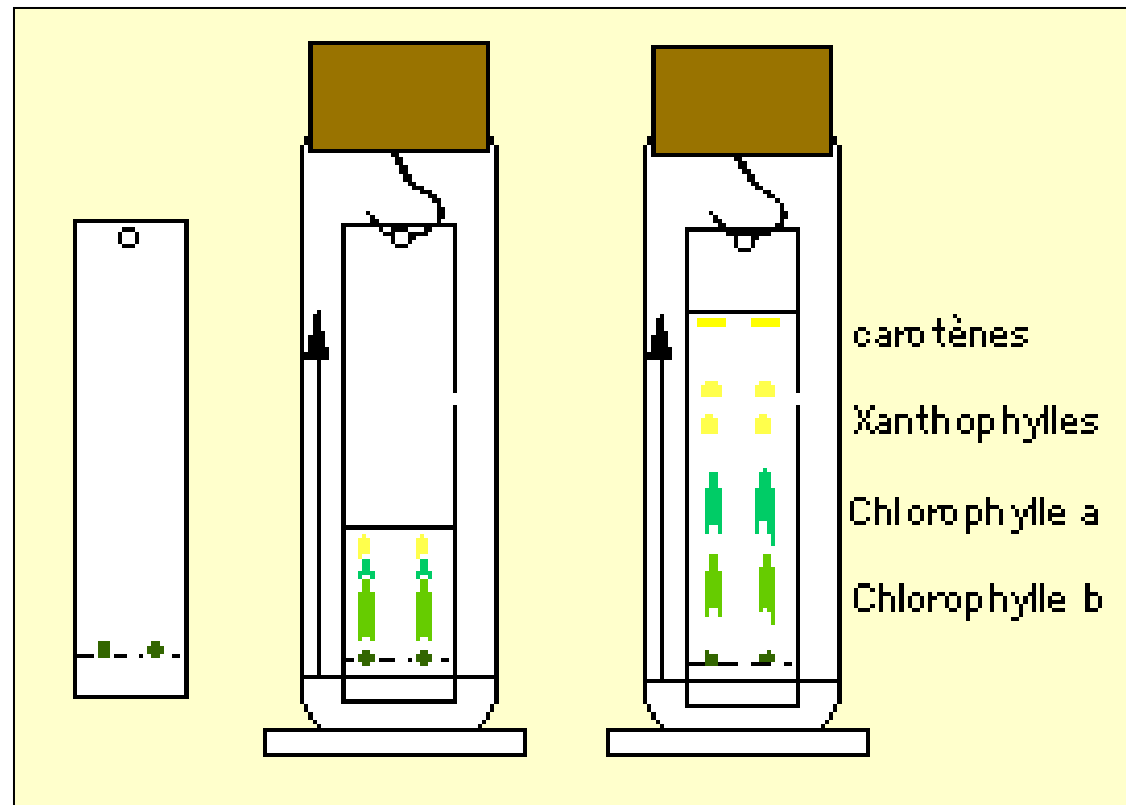


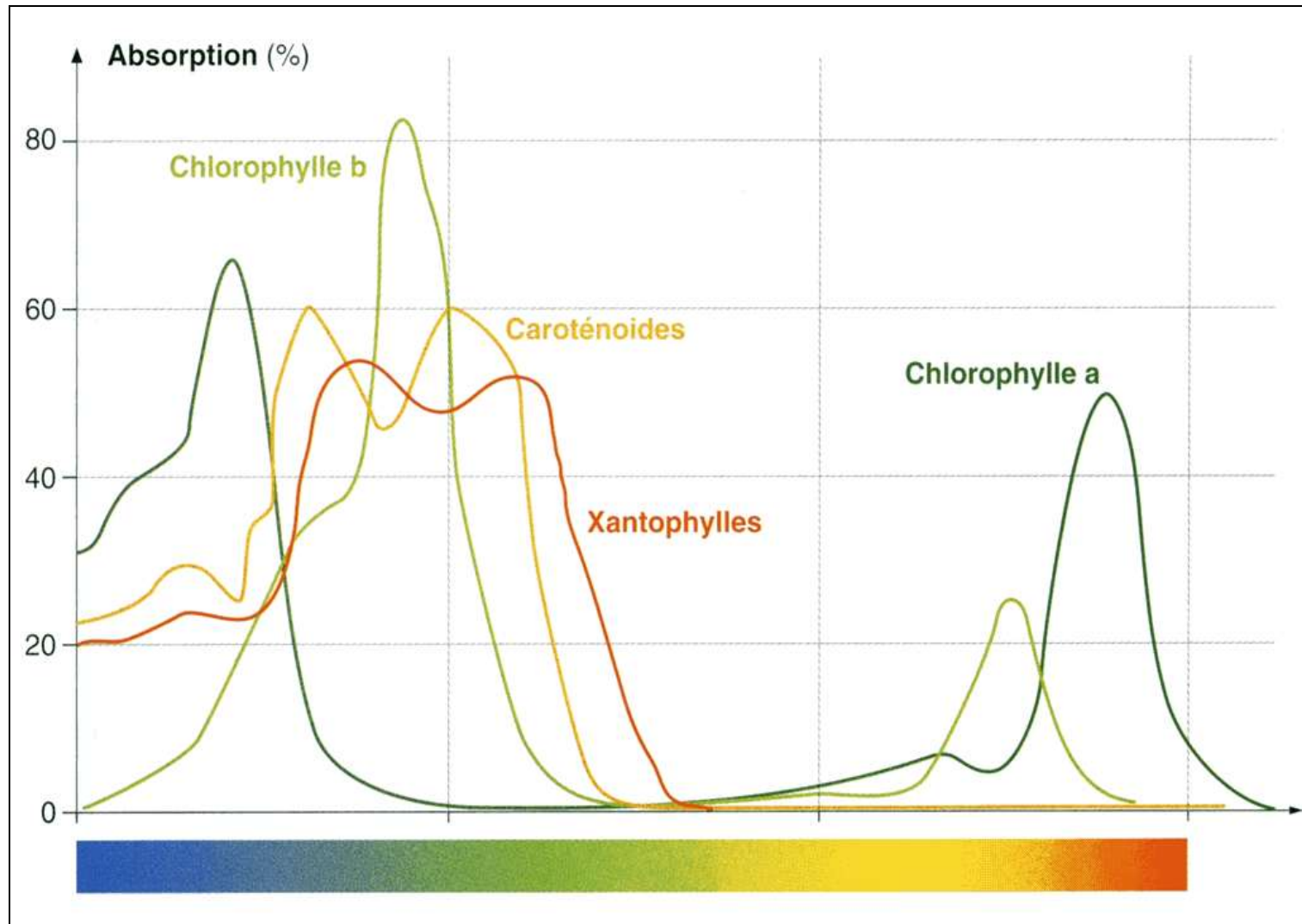
## Chromatographie de pigments bruts :

Mise en œuvre et résultats.

### Extraction des pigments bruts :

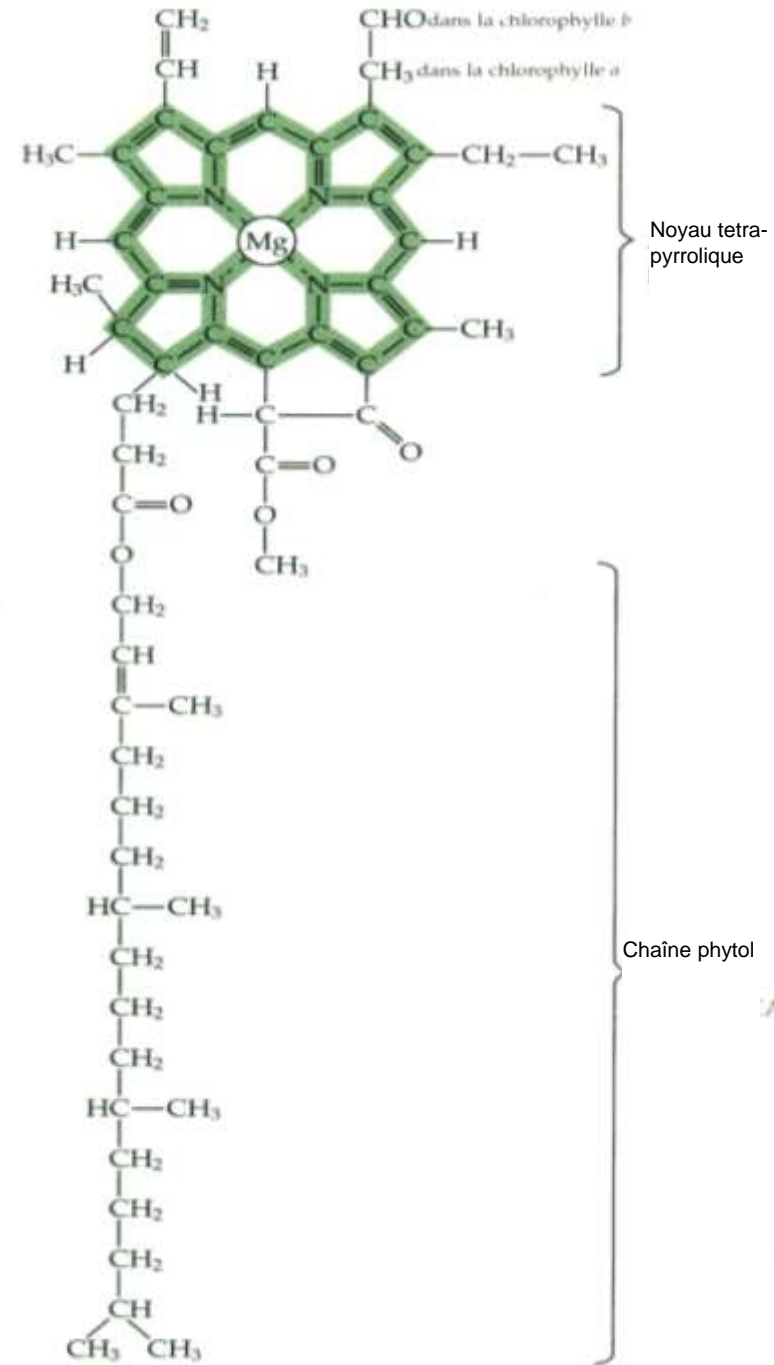
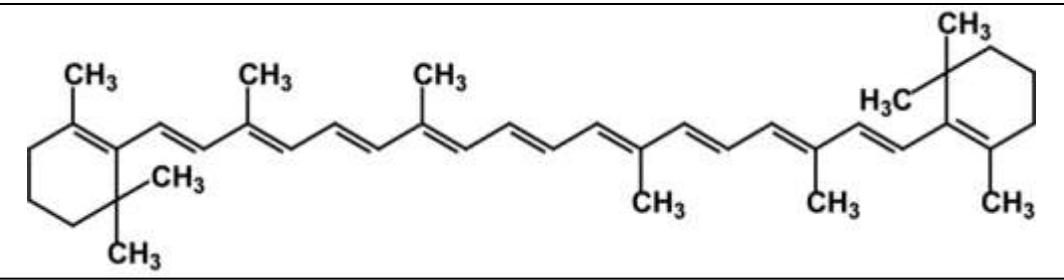
la feuille est broyée dans de l'alcool absolu ou de l'acétone. Les pigments solubles dans les solvants organiques sont extraits. Après filtration pour éliminer les débris cellulaires, on obtient une solution brute de pigments.





## **Document 19 : Spectre d'absorption des différents pigments.**

(" SVT T°S spécialité ", Nathan Ed., 2002).



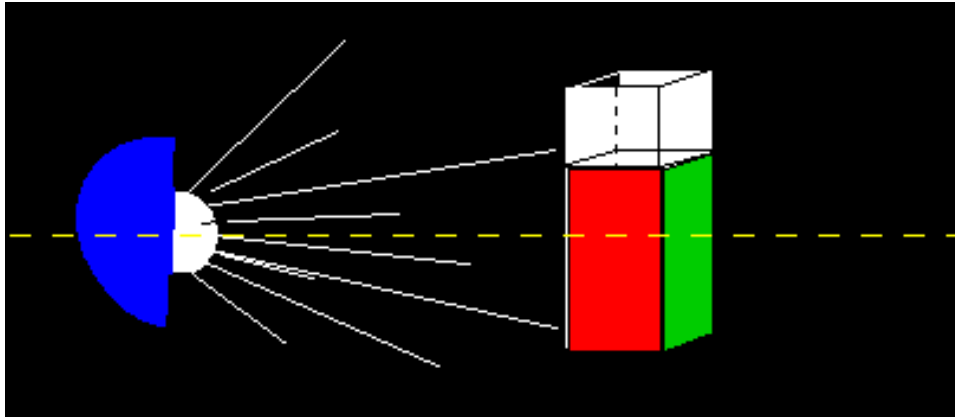
## Document 20. Structure de la chlorophylle et du $\beta$ -carotène.

Ci-dessus :  $\beta$ -carotène

A droite : chlorophylle

(CAMPBELL N., " Biologie ", ERPI Ed., 1995).

# La fluorescence de la chlorophylle

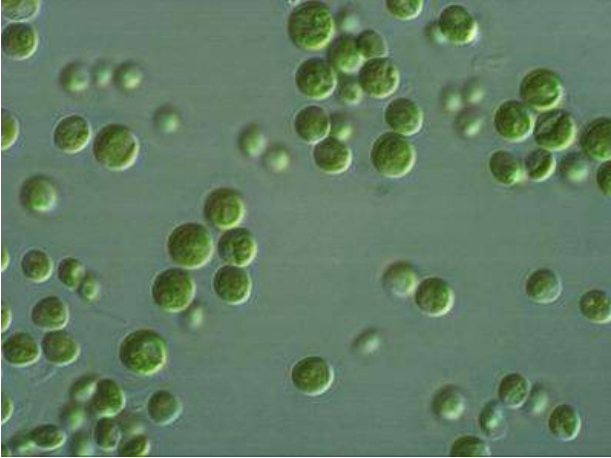


Une solution de chlorophylle éclairée apparaît verte par transparence et rouge sur le côté

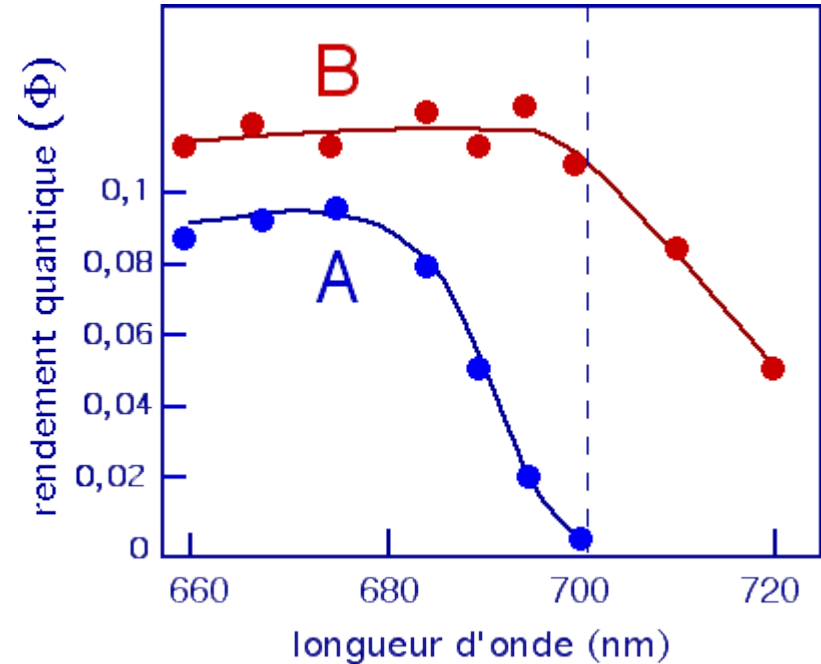
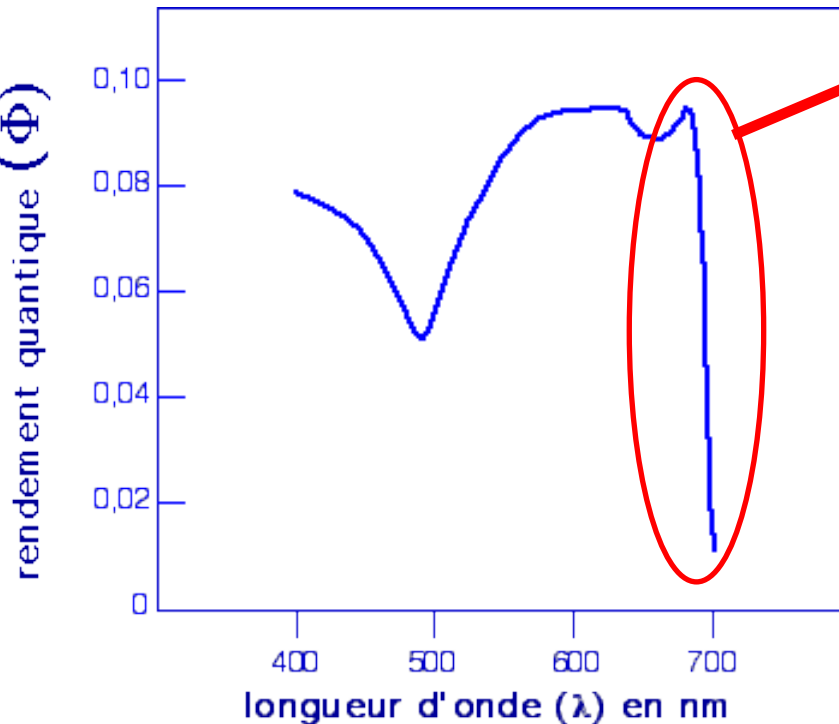
Solution de chlorophylle brute dans un faisceau de lumière blanche.



# Document 21. Effet Emerson (red drop fall) ou « chute dans le rouge ».



Chlorelles



A : longueur d'onde variable (660 à 720 nm).

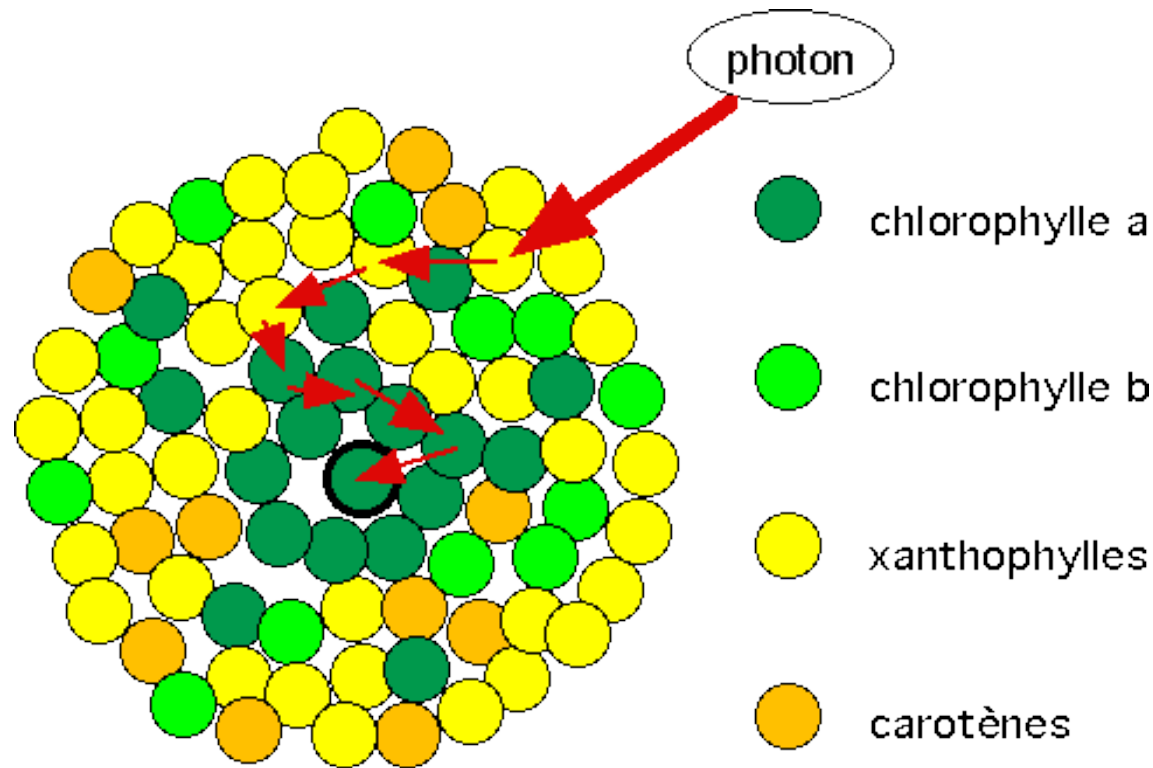
B : longueur d'onde variable (660 à 720 nm)  
+ radiation monochromatique fixe à 650 nm

→ Le rendement quantique (qO<sub>2</sub> dégagé / q photons) chute brutalement dans le rouge.

→ La chute dans le rouge est supprimée en ajoutant une radiation de plus courte longueur d'onde.

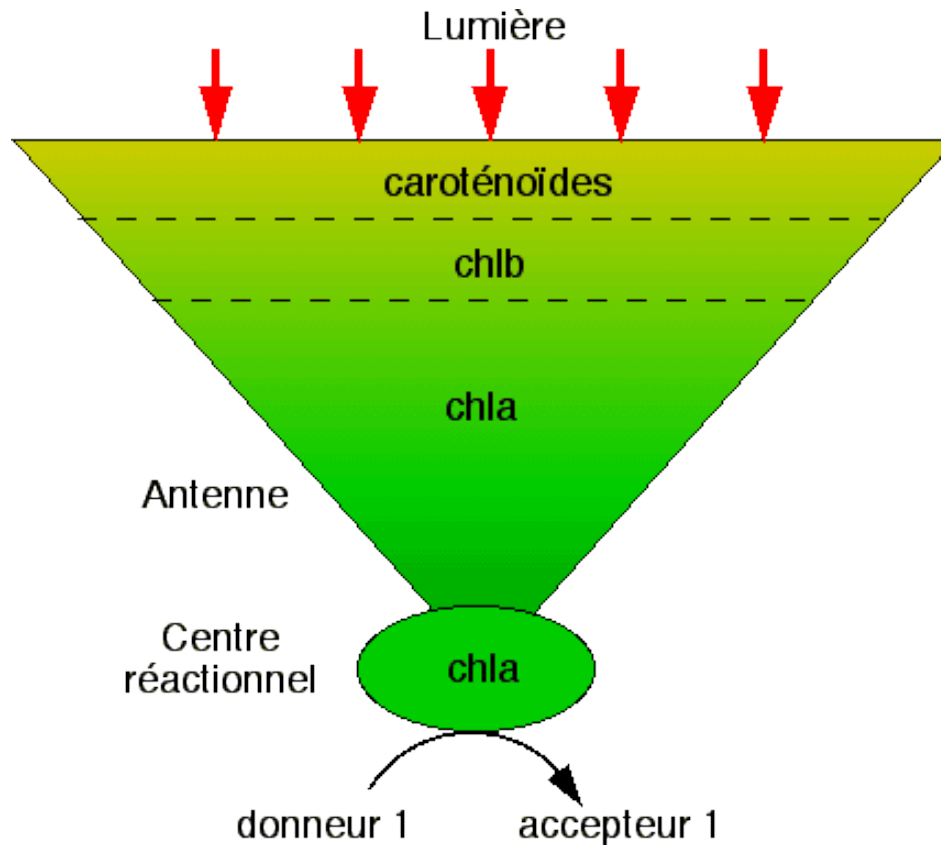


## Document 22. Transmission par résonance au sein d'un photosystème.



De très nombreuses molécules de pigments peuvent être excitées par les photons et elles peuvent transmettre l'énergie reçue, par résonance à la molécule de chlorophylle a du centre réactionnel.

## Document 23. Transmission de l'énergie de l'antenne collectrice au centre réactionnel.



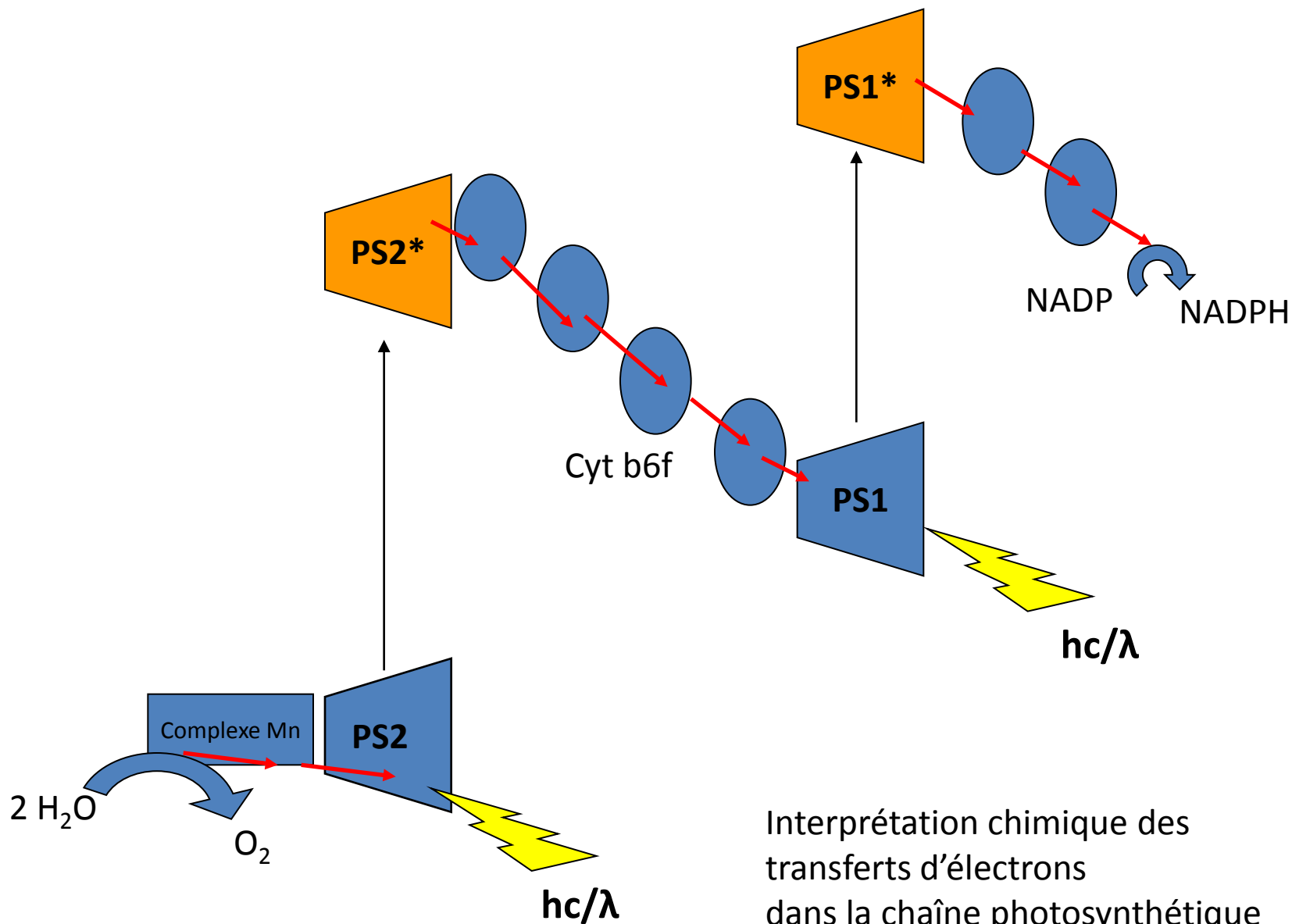
L'antenne est schématisée par un entonnoir qui draine l'énergie des photons reçus par de nombreuses molécules de pigments jusqu'à une molécule de chlorophylle a correspondant au centre réactionnel.

## Document 24. Valeurs du $E'^0$ des principaux couples redox de la membrane des thylacoïdes.

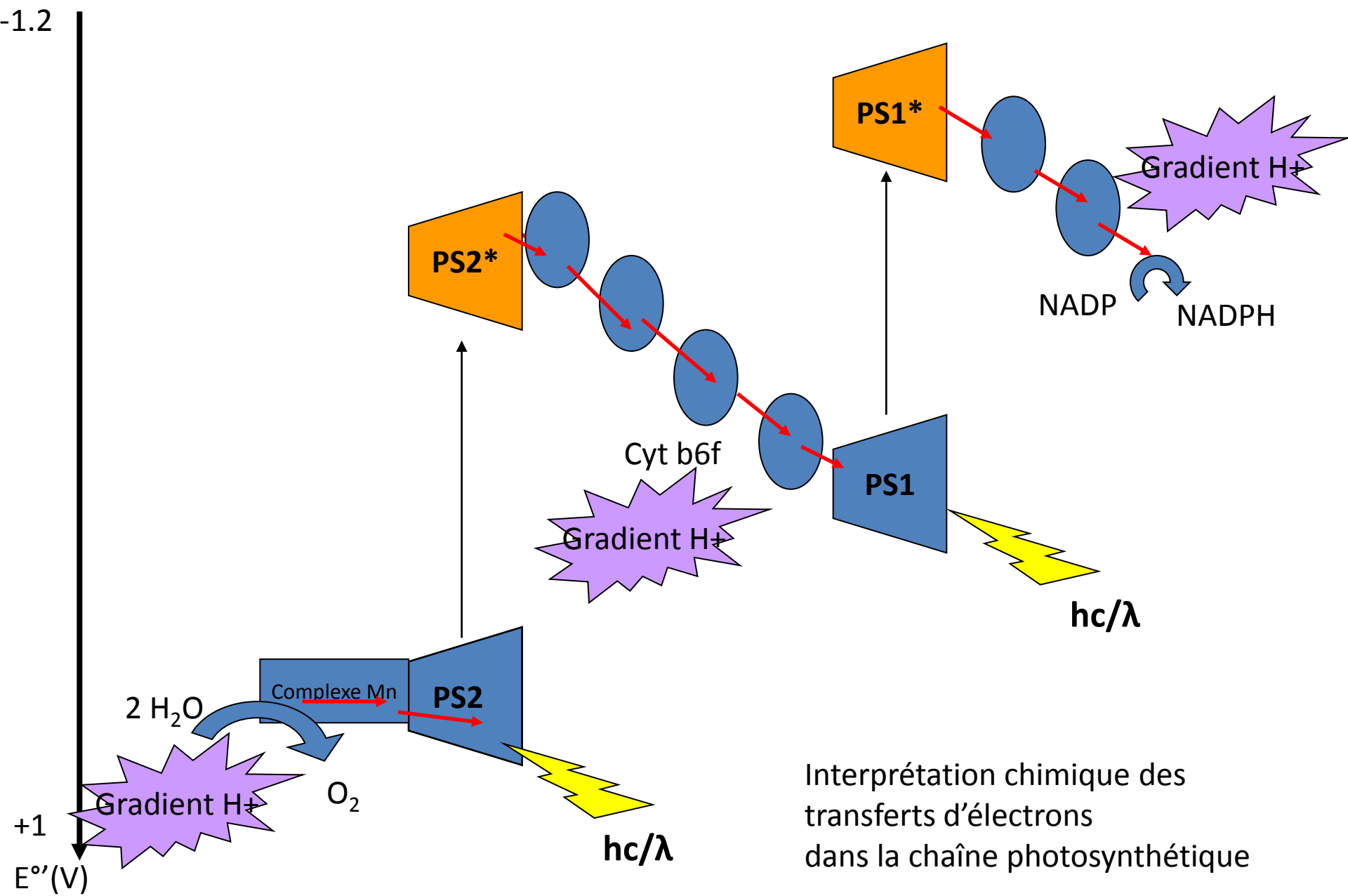
Couple redox	$E'^0$ (V)
$O_2 / H_2O$	+ 0,82
$P_{680} / P_{680}^+$	+ 0,9
$P_{680}^* / P_{680}$	- 0,8
Pheo (red/ox)	- 0,6
QA-QB(red/ox)	- 0,2
PQ (red/ox)	0
b6f (red/ox)	- 0,2 et + 0,2
$P_{700} / P_{700}^+$	+ 0,4
$P_{700}^* / P_{700}$	-1,3
Ao (red/ox )	-1,0
Fd (red/ox )	- 0,42
$NADP^+ / NADPH$	-0,32

-1.2

+1  
 $E'(\text{V})$



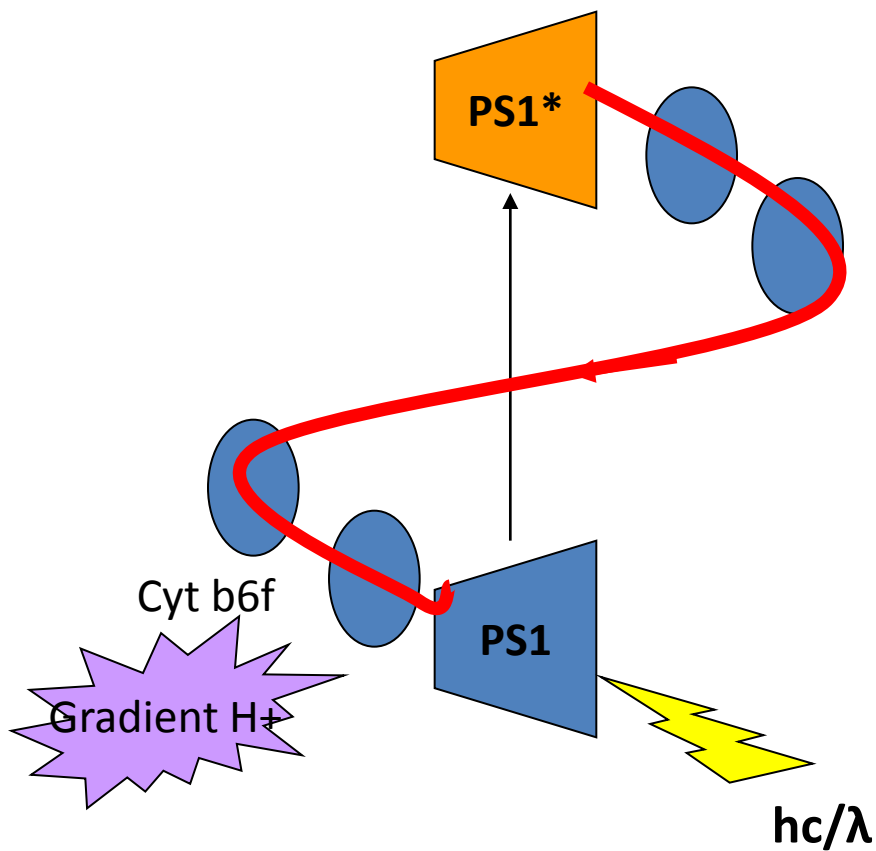
Interprétation chimique des transferts d'électrons dans la chaîne photosynthétique



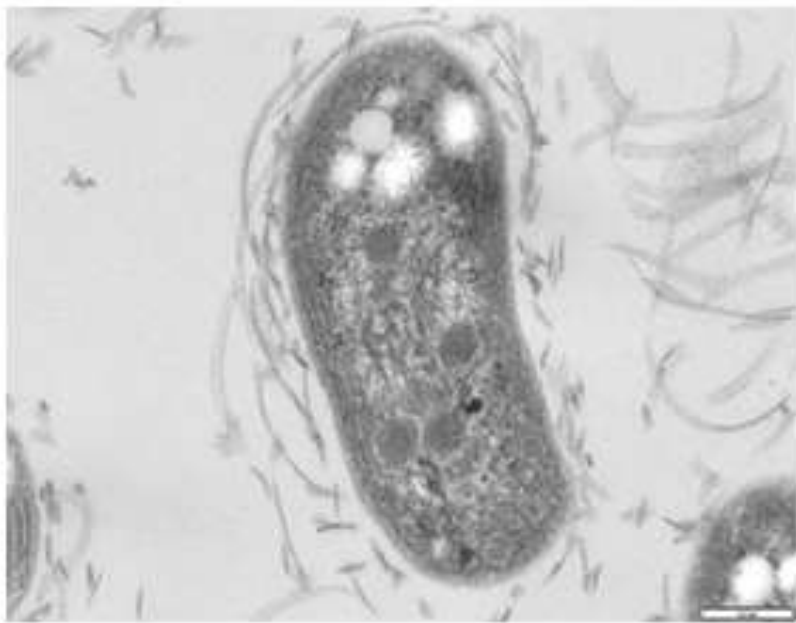
-1.2

+1

$E'(\text{V})$



Transfert cyclique des électrons



## Nitrobacter (MET)

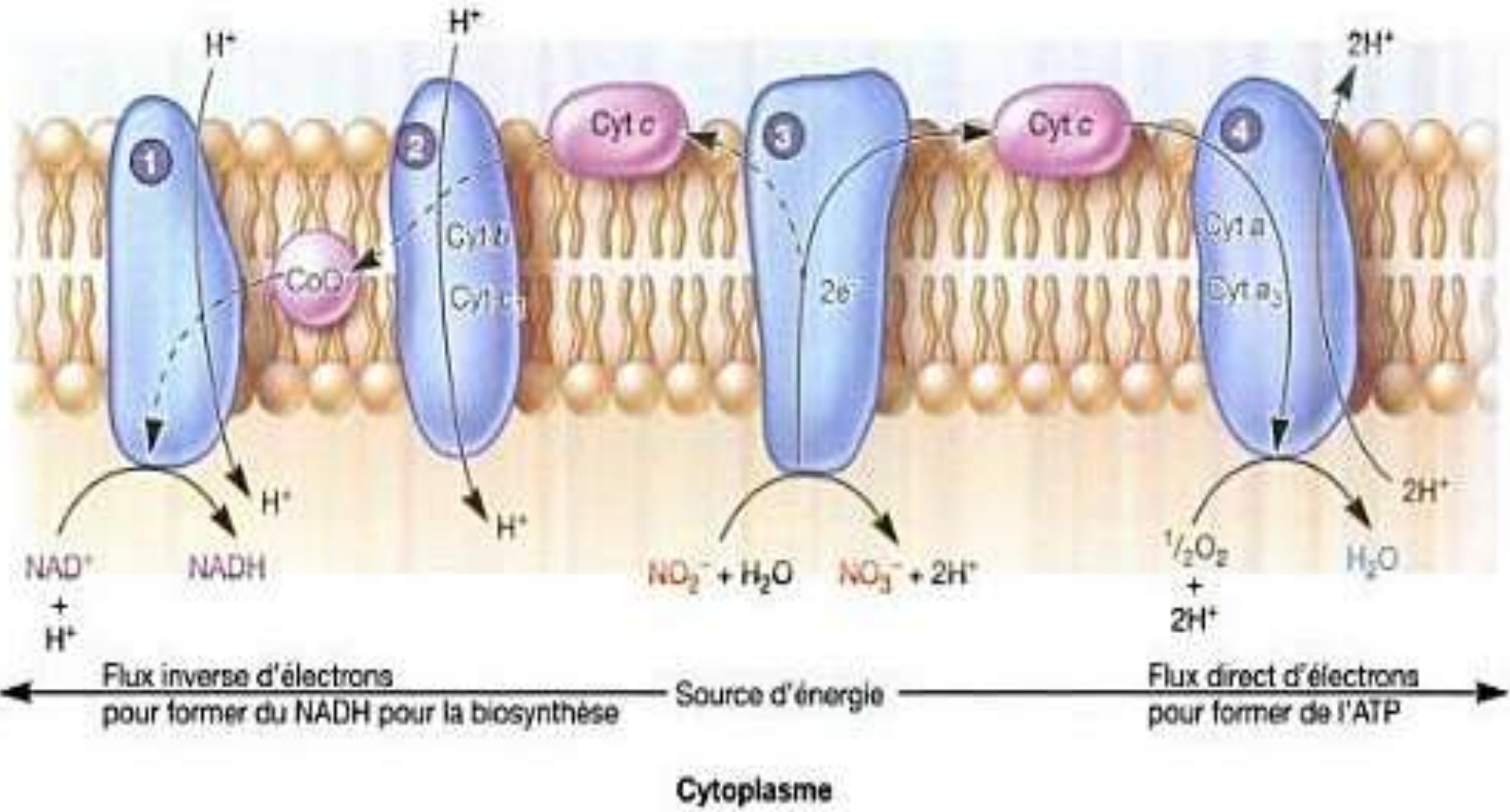
(W.J. Hickey, University of Wisconsin-Madison, 2006)



Réaction de nitratation

# Document 26.

Périplasma

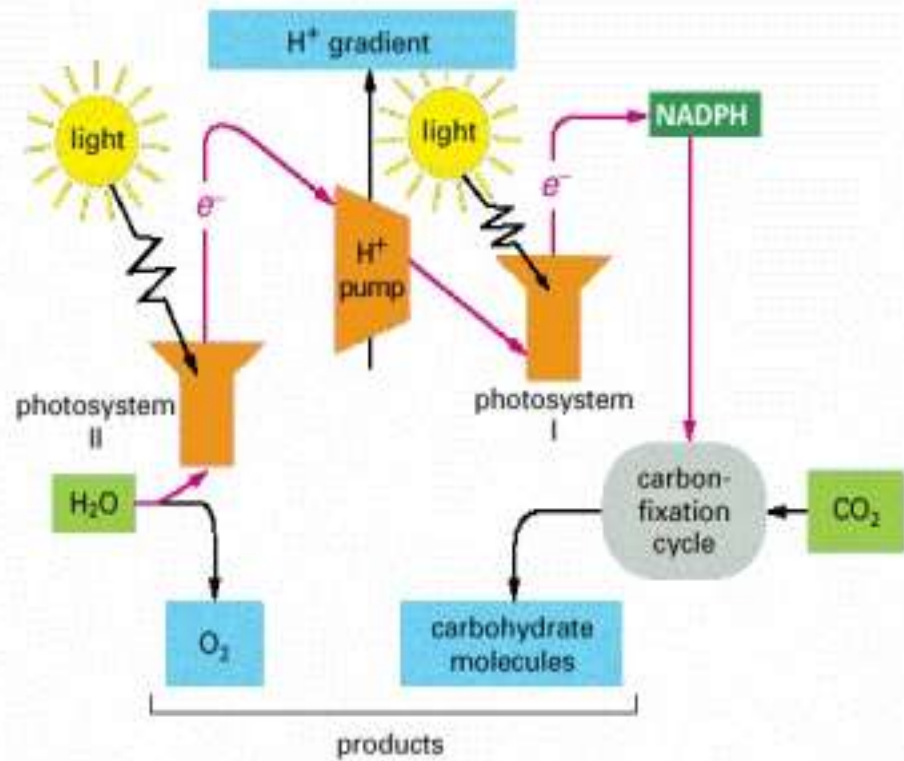
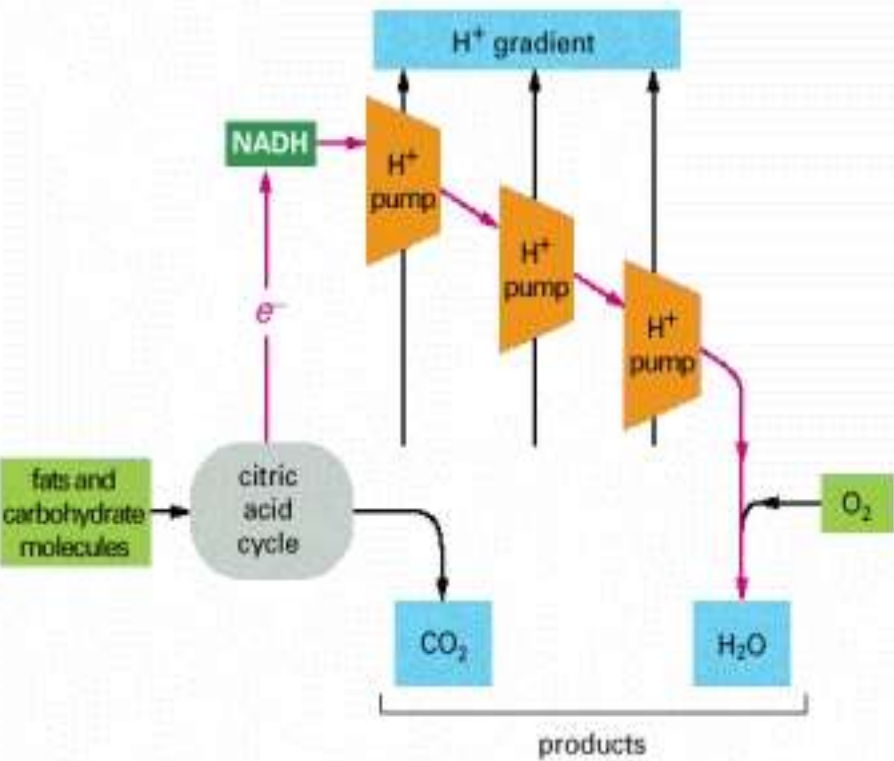


**Figure 9.25** Le flux d'électrons dans la chaîne de transfert chez *Nitrobacter*. *Nitrobacter* oxyde le nitrite et effectue un transfert normal d'électrons pour générer une force proton-motrice et synthétiser de l'ATP. C'est la branche droite du schéma. Une partie de la force proton-motrice sert aussi pour forcer les électrons à remonter le gradient de potentiel de réduction, du nitrite au  $NAD^+$  (branche gauche). Le cytochrome c et quatre complexes interviennent : la NAD-ubiquinone oxydoréductase (1), l'ubiquinol-cytochrome c oxydoréductase (2), la nitrite oxydase (3) et la cytochrome  $aa_3$  oxydase (4).



(A) MITOCHONDRION

(B) CHLOROPLAST



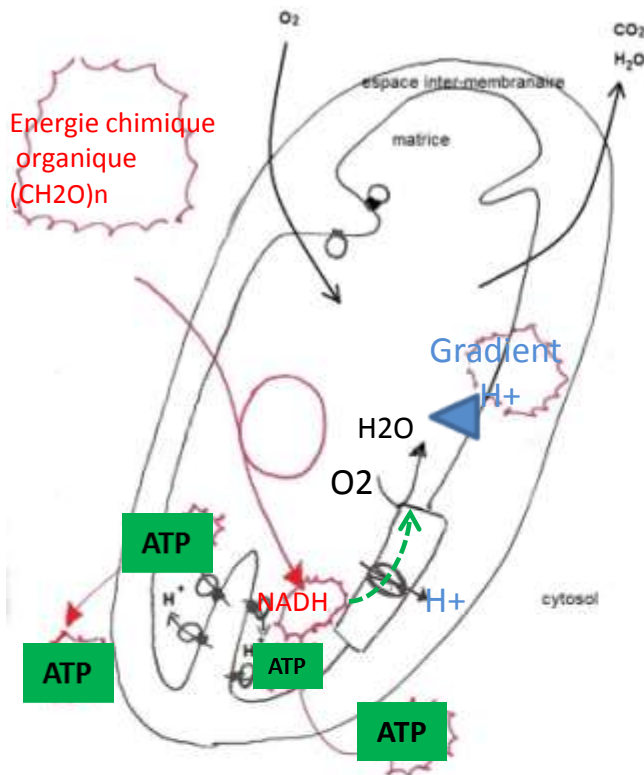
## Document 27. Comparaison des conversions énergétiques dans la mitochondrie et le chloroplaste.

En vert clair, les entrées de matière. En bleu, les produits. Le trajet des électrons est représenté par les flèches rouges. Chaque complexe protéique (en orange) est inclus dans une membrane, asymétrique.

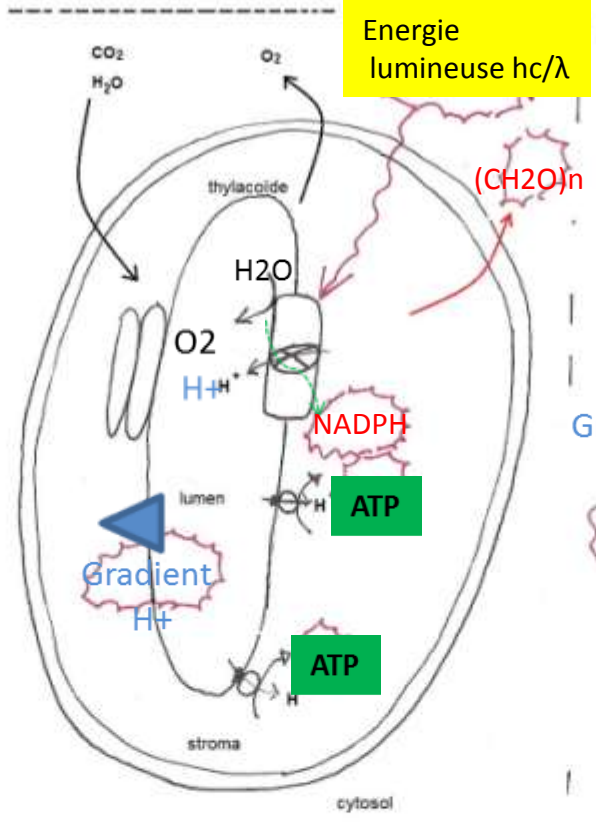
(ALBERTS B.. et coll., « Biologie moléculaire de la cellule », Flammarion Médecine – Sciences Ed.).

Types trophiques :

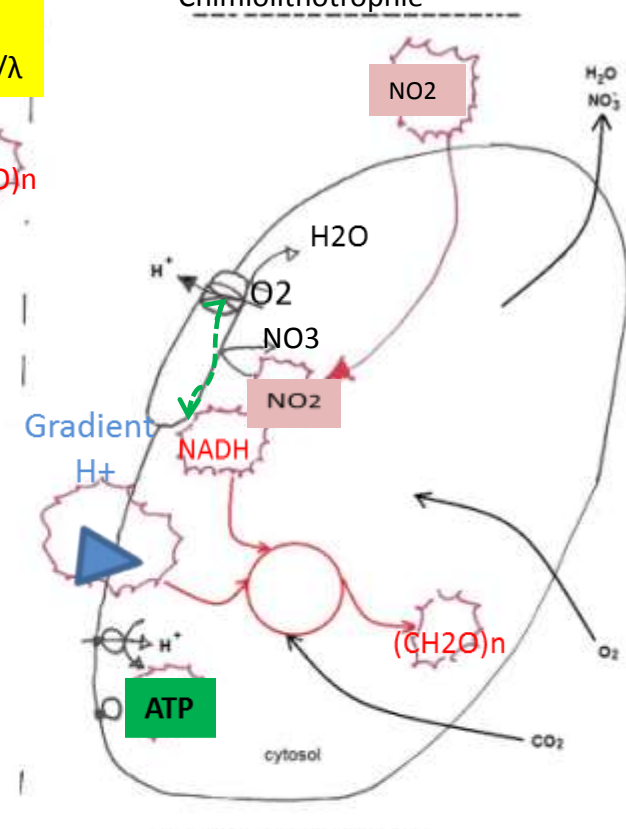
### Chimiohétérotrophie



### Photolithotrophie



### Chimolithotrophie



Cellules eucaryotes animales et végétales

translocation de protons par Cytochrome bc1

ATP synthase

trajet des électrons

Chaîne respiratoire

forme d'énergie

Transfert de matière :  $\text{CHOH} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

Cellules végétales chlorophylliennes

translocation de protons par : Cytochrome b6f

ATP synthase

trajet des électrons

Chaîne photosynthétique

forme d'énergie

Transfert de matière :  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CHOH} + \text{O}_2$

Eubactéries nitratantes Ex : Nitrobacter

translocation de protons par : ...Cytochrome oxydase

ATP synthase

trajet des électrons

Chaîne de transfert d'électrons du plasmalemme

forme d'énergie

Transfert de matière :  $\text{CO}_2 \rightarrow \text{CHOH}$   
 $\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$   
 $\text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$

		Source d'électrons	
		minérale	organique
Source d'énergie	lumineuse	<b>Photolithotrophe</b> bactéries photosynthétiques, algues, plantes	
	chimique	<b>Chimiolithotrophe</b> bactéries nitrifiantes, archées	<b>Chimioorganotrophe</b> animaux, champignons (= mycètes), certaines bactéries

**Document 28. Différents types trophiques selon les sources d'énergie et d'électrons utilisées.**