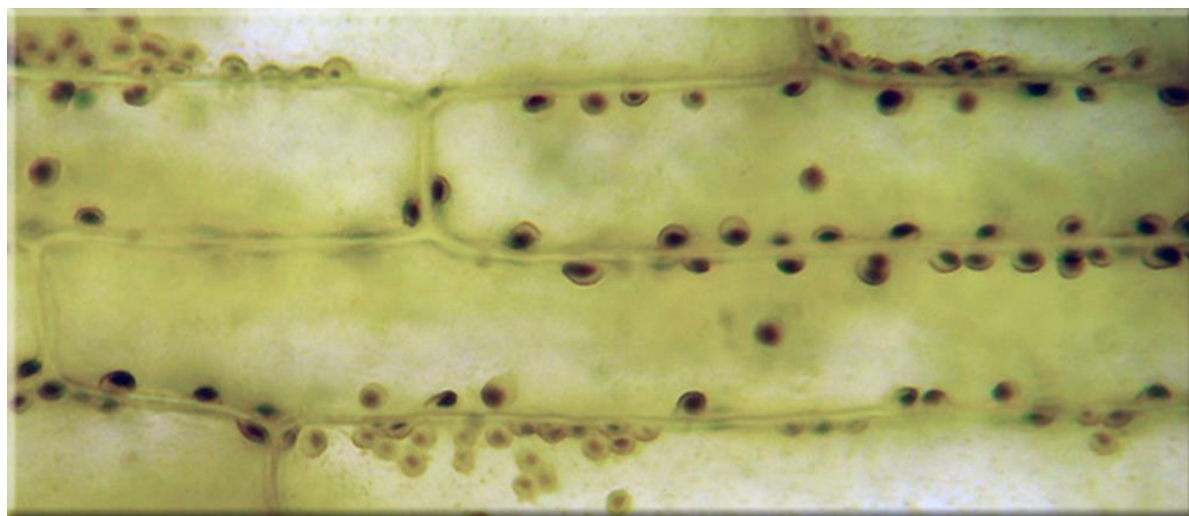
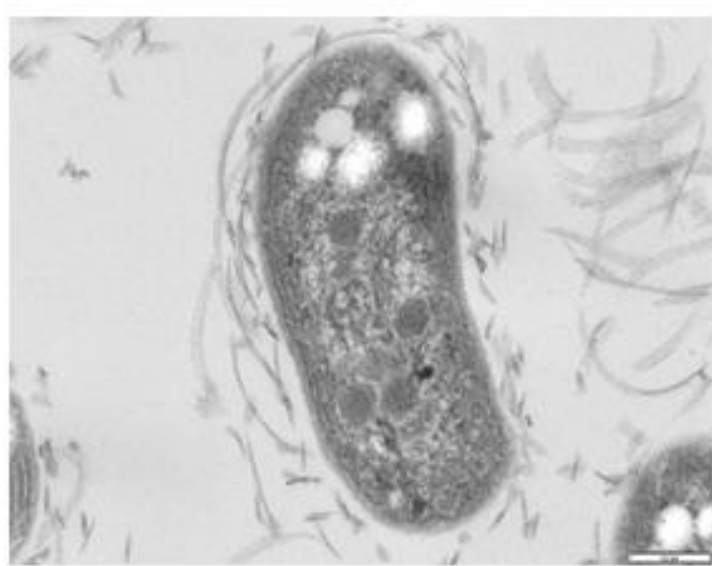
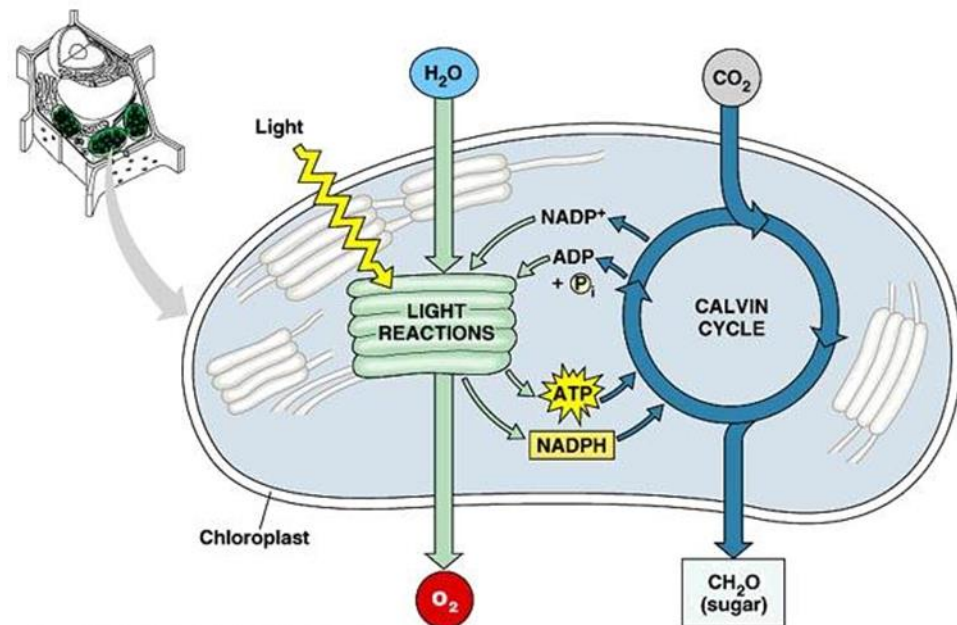
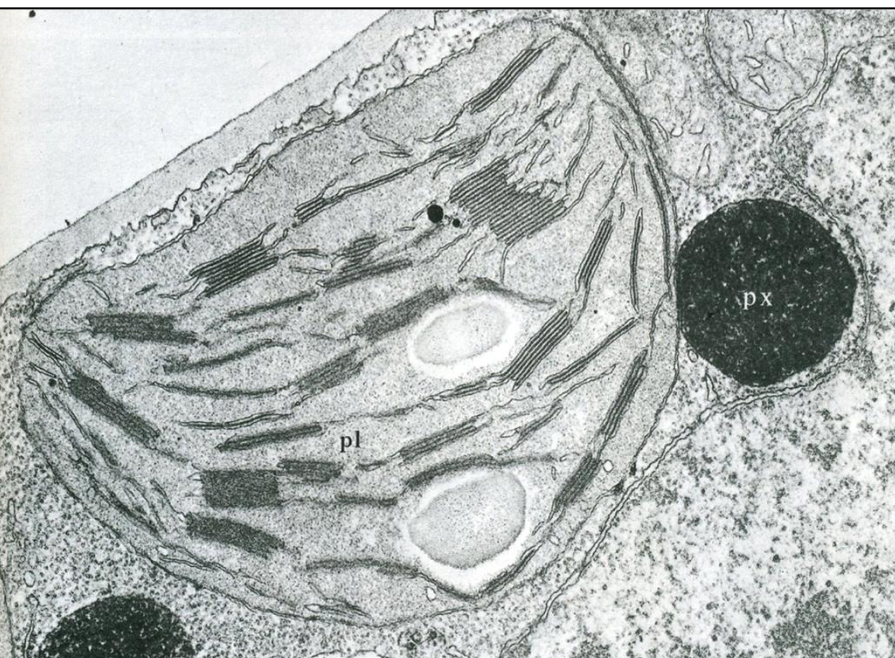




SV – E – 1 : L'approvisionnement en matière organique



Importance des réactions d'oxydo-réduction dans le métabolisme cellulaire

exemple, la respiration cellulaire :



Le C de la matière organique est oxydé

Une réaction d'oxydation : $\text{A} \rightarrow \text{A}^+ + \text{e}^-$

Une oxydation est exergonique

Une réaction de réduction : $\text{B}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{B}$

Une réduction est endergonique

A / A^+ et B / B^+
constituent des
couples redox

Mise en évidence des conditions de la synthèse de matière organique



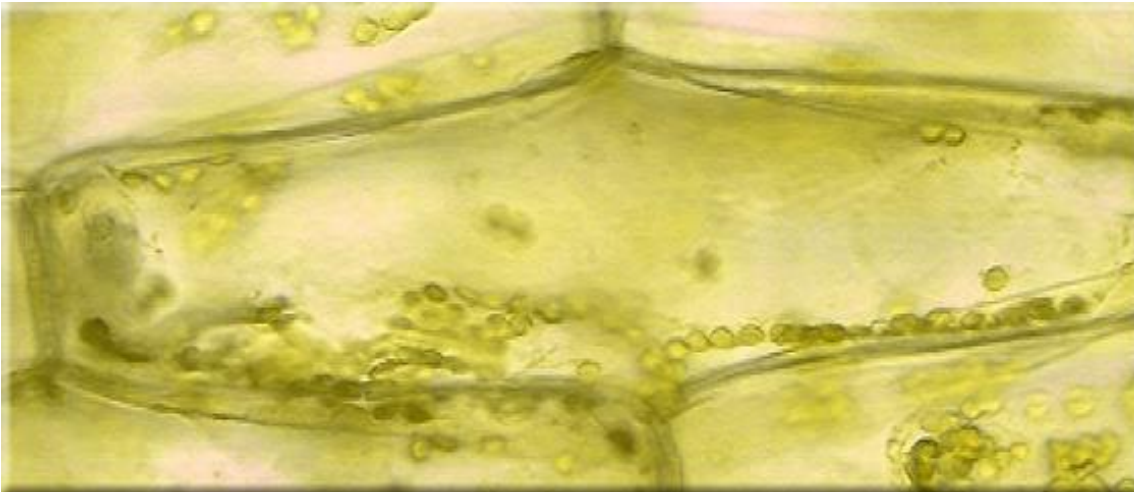
Feuille panachée de Pelargonium munie d'un cache noir et exposée à la lumière



Résultats après décoloration dans l'alcool bouillant et coloration à l'eau iodée

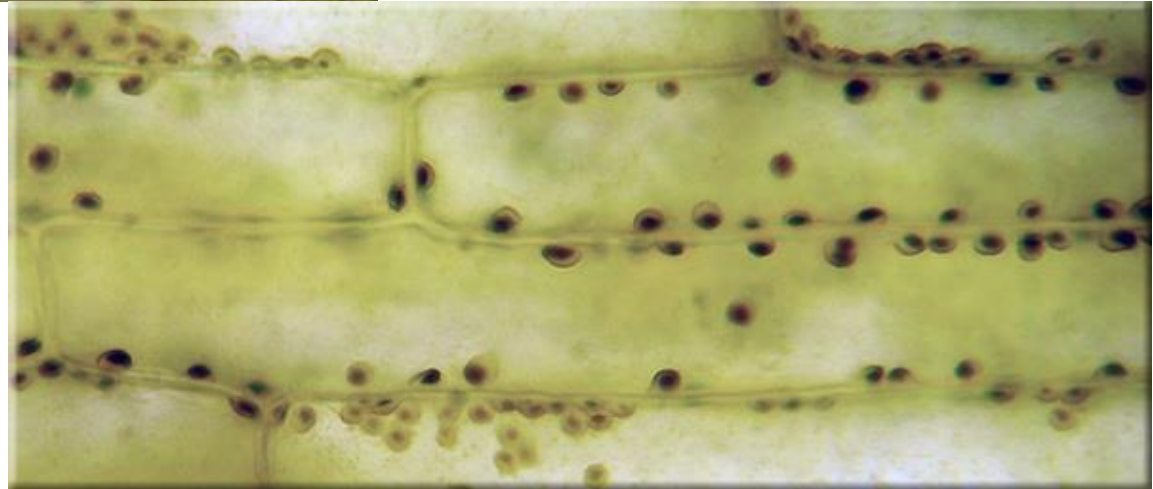
→ Conclusions ?

Mise en évidence de la localisation de la synthèse de matière organique

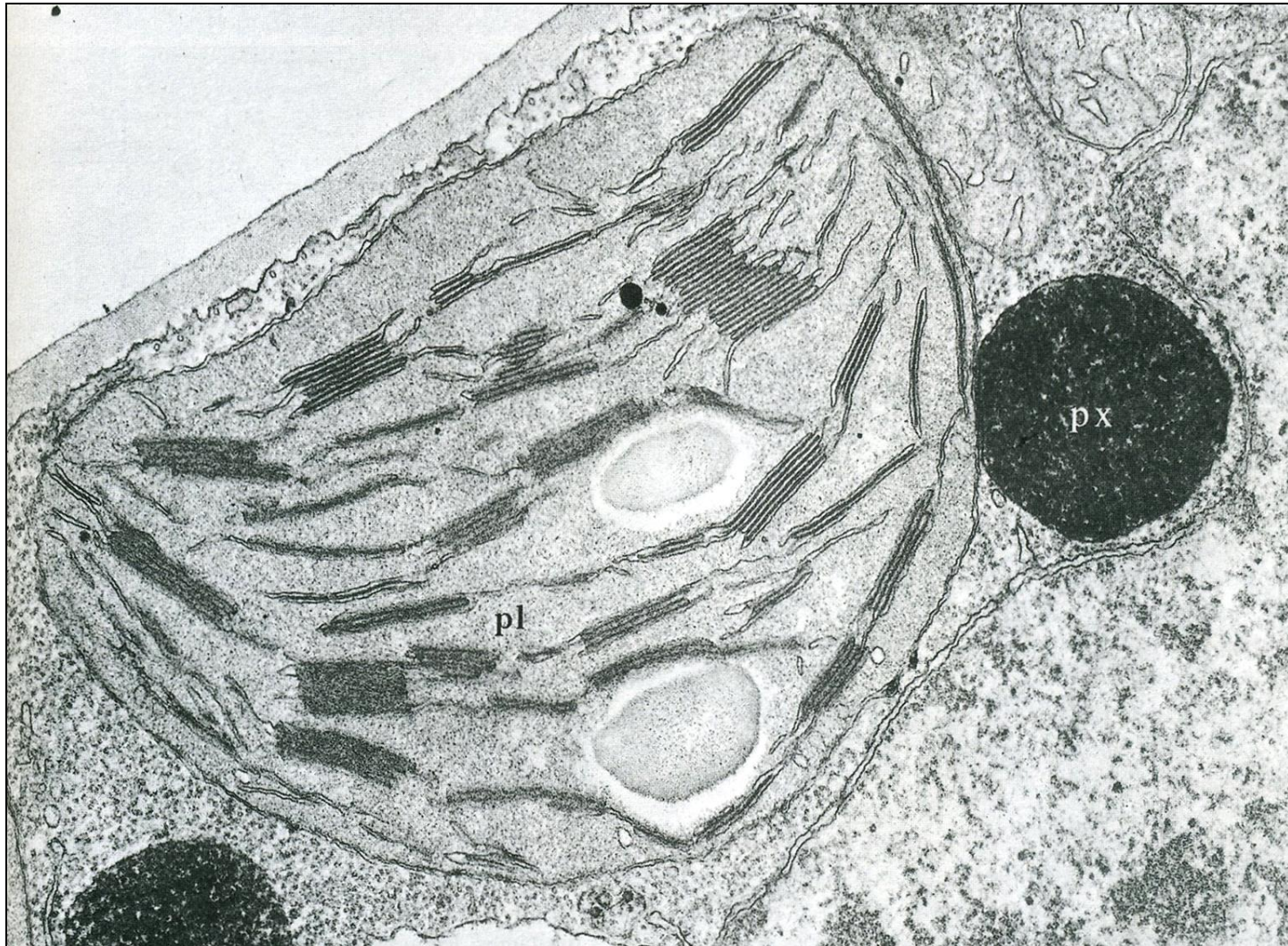


Cellules de feuilles d'Elodée
placées 12 h à l'obscurité puis
coloration au lugol.

Cellules de feuilles
d'Elodée placées 12 h
à la lumière puis
coloration au lugol.

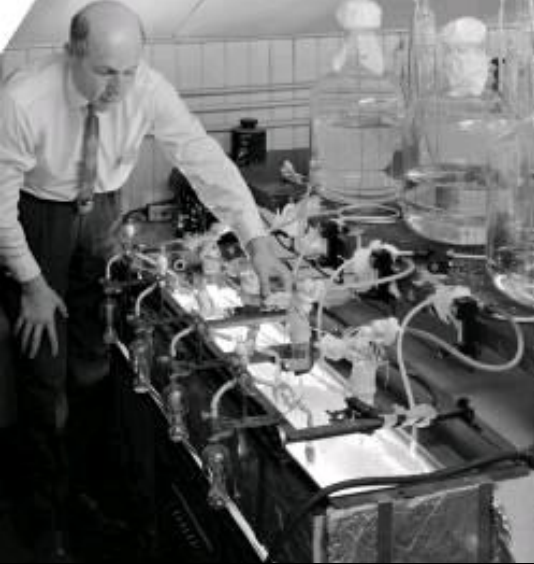


→ Conclusion ?



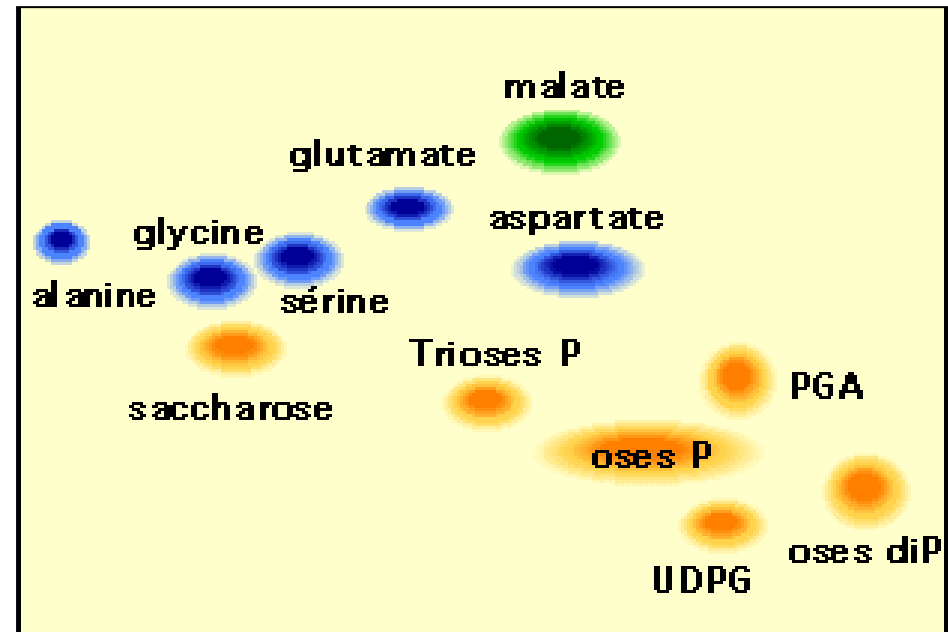
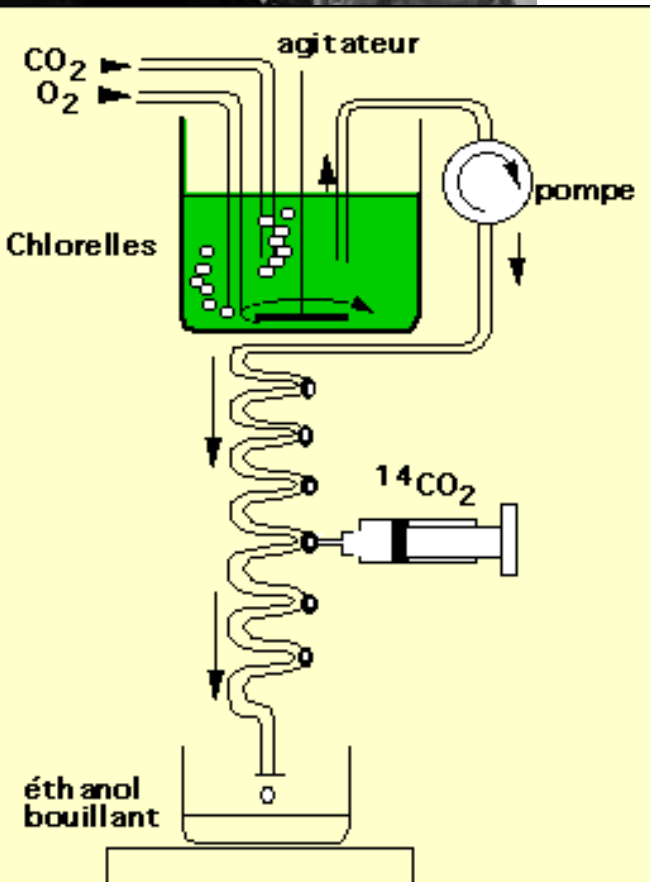
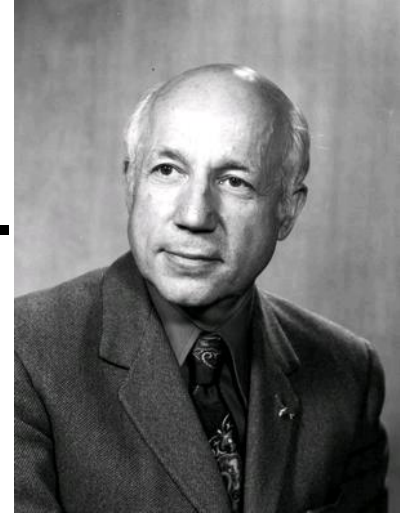
Un chloroplaste (pl) (MET x 30 000).

(ROLAND JC et Coll., "Atlas de biologie cellulaire", Dunod Ed., 2001).



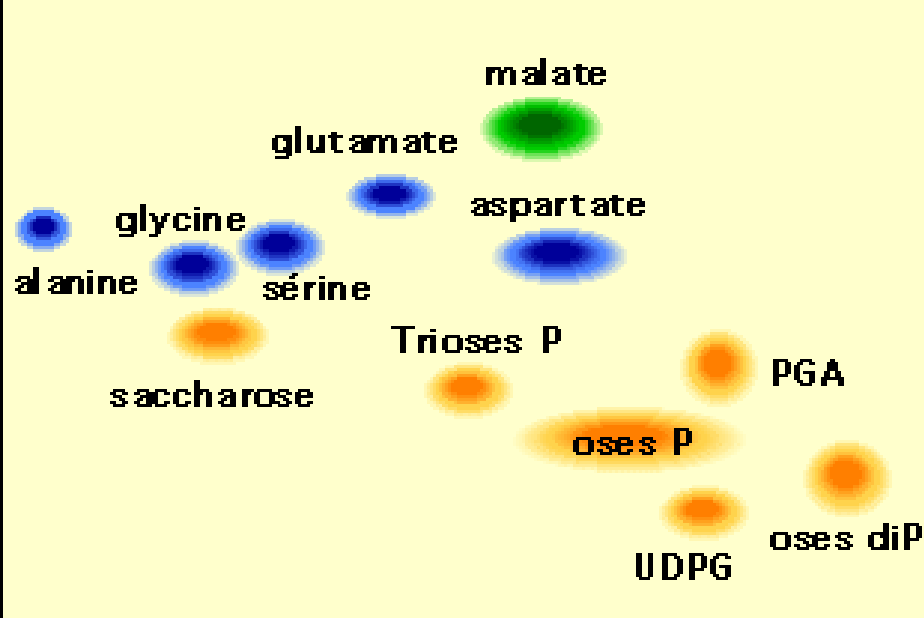
Document 1 : Expériences **de Calvin et Benson : protocole.**

Melvin CALVIN 1911-1997



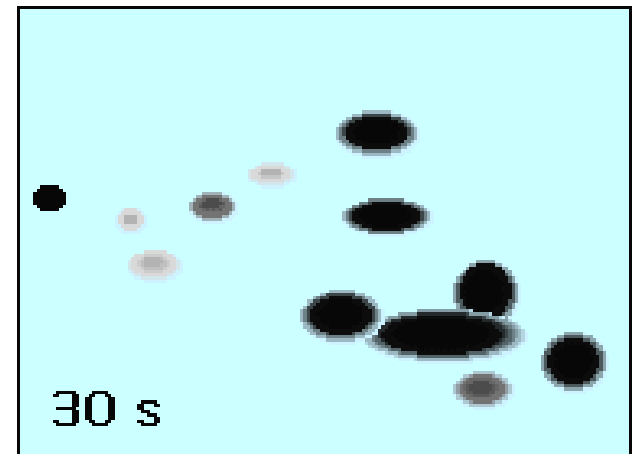
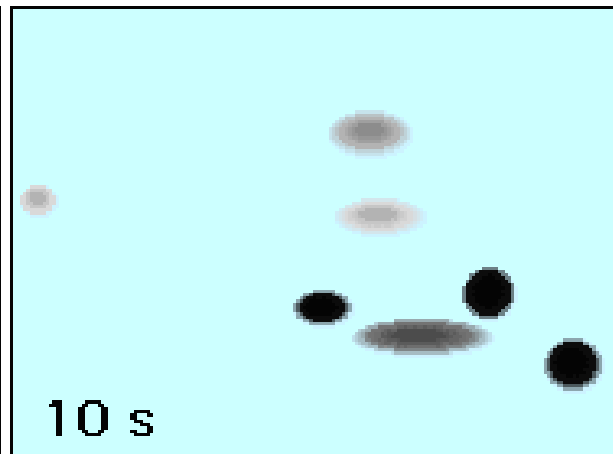
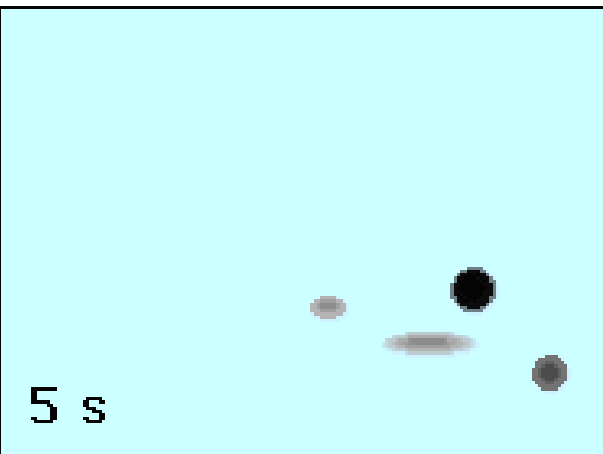
1b: Chromatogramme témoin réalisé avec des substances connues.

1a : Dispositif expérimental.

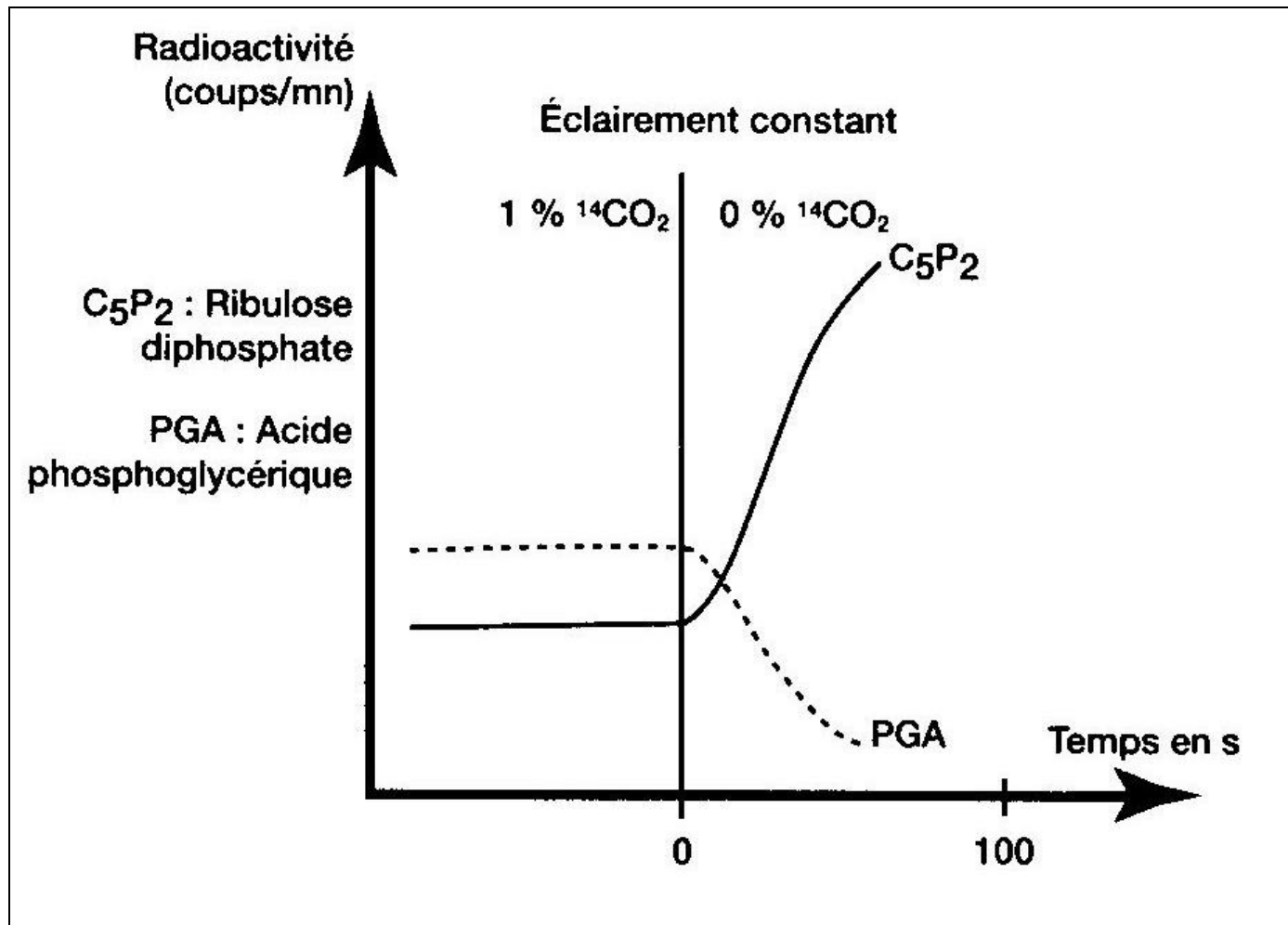


Chromatogramme témoin

Résultats expérimentaux

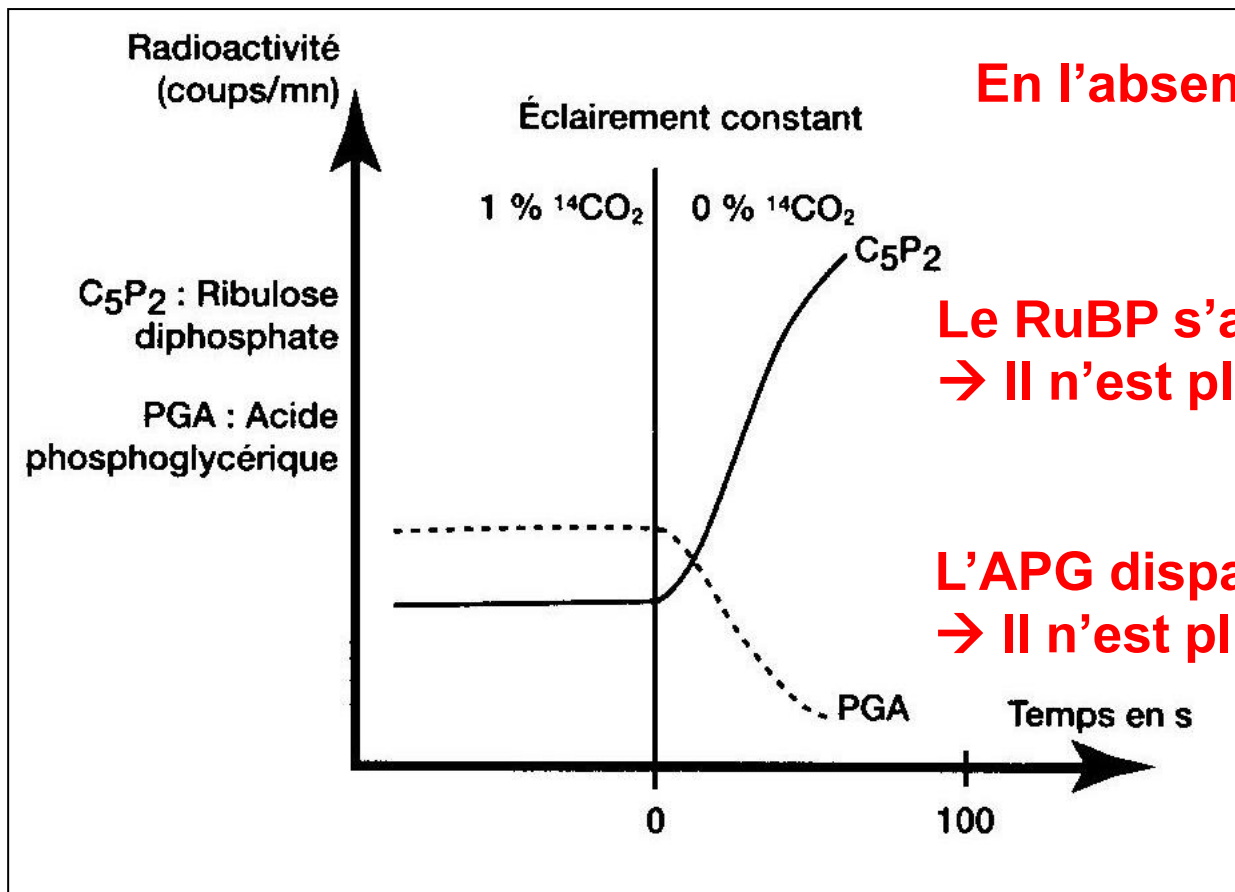


Document 2. Expériences de Calvin et Benson : résultats pour différents temps d'exposition.



Document 3. Mise en évidence expérimentale du rôle de RuBP dans la phase non photochimique de la photosynthèse.

C_5P_2 : RuBP, ribulose 1, 5 bis-phosphate ;
PGA = APG, acide phosphoglycérique.



En l'absence de CO₂ :

**Le RuBP s'accumule
→ Il n'est plus consommé**

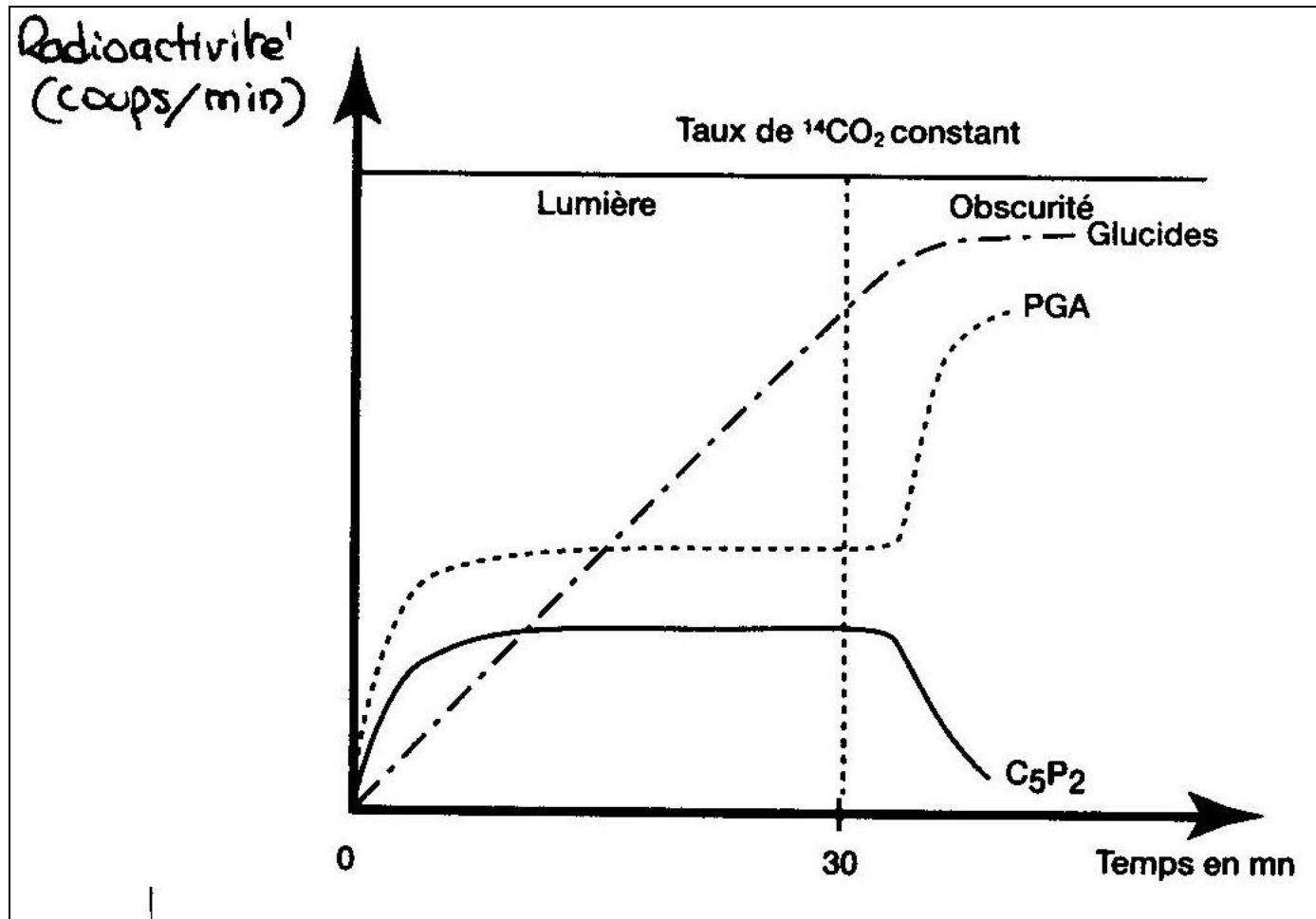
**L'APG disparaît
→ Il n'est plus produit**

Conclusion : $\text{RuBP} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{APG} (\times 2)$

Document 3. Mise en évidence expérimentale du rôle de RuBP dans la phase non photochimique de la photosynthèse.

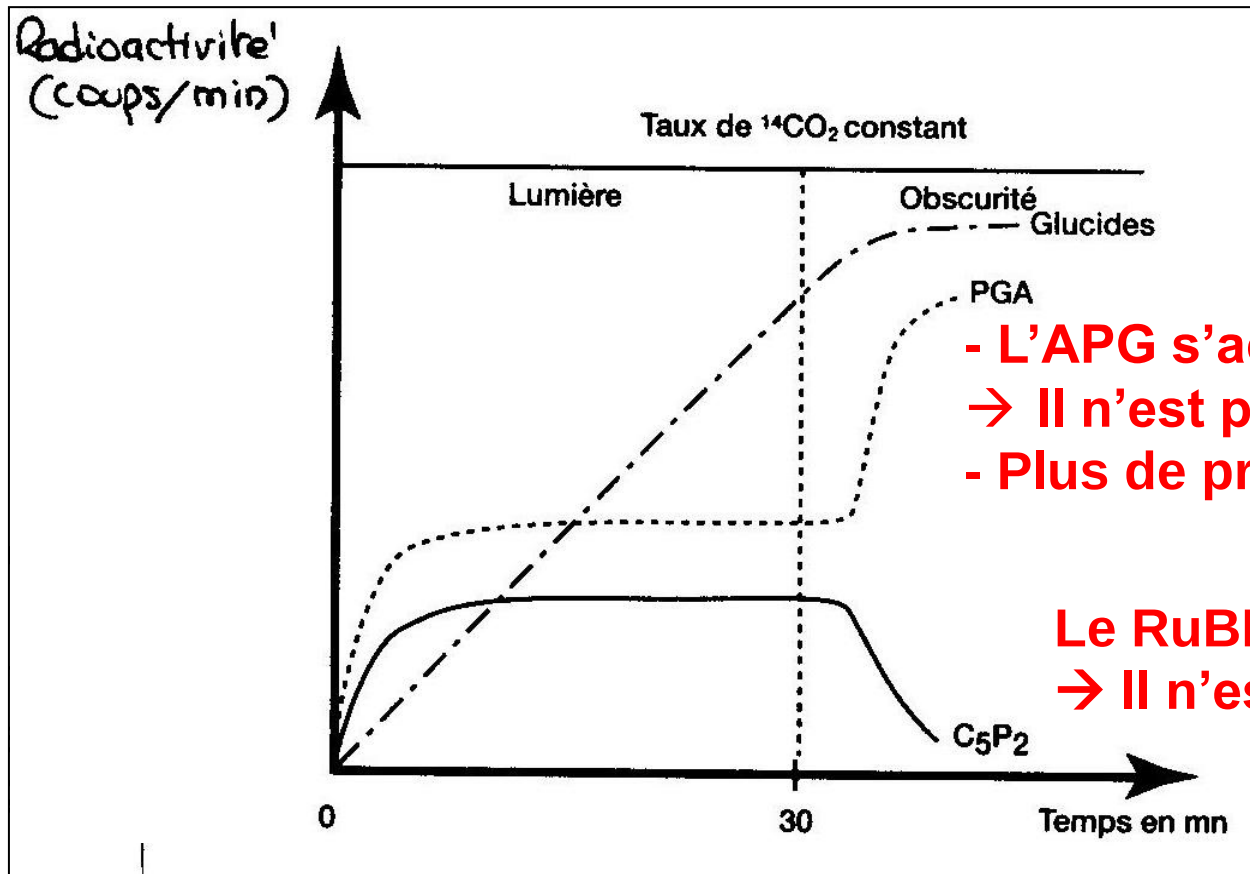
C₅P₂ : RuBP, ribulose 1, 5 bis-phosphate ;

PGA = APG, acide phosphoglycérique.



Document 4 : Evolution quantitative de RuBP (C_5P_2) et APG (PGA) à la lumière et à l'obscurité.

En l'absence des produits
de la phase photochimique (ATP et NADPH) :



- L'APG s'accumule
- Il n'est plus consommé
- Plus de production de glucides

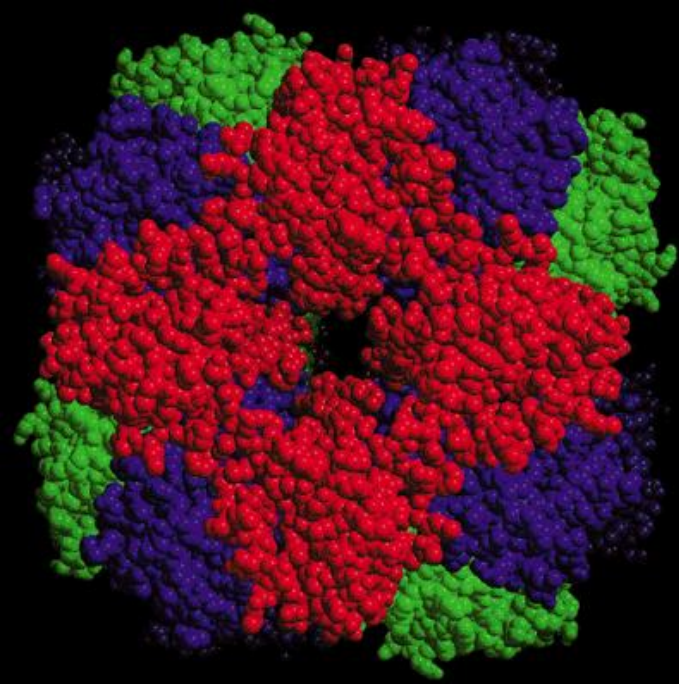
Le RuBP disparaît :
→ Il n'est plus renouvelé

**Conclusions : renouvellement du RuBP $\Rightarrow$ cycle
APG + (ATP, NADPH) - - - $\rightarrow$ RuBP + glucides**

**Document 4 : Evolution quantitative de RuBP (C_5P_2)
et APG (PGA) à la lumière et à l'obscurité.**

Le cycle de Calvin :

- consomme du CO_2
 - il comprend **une phase de carboxylation**
- utilise du pouvoir réducteur (NADPH)
 - il comprend **une phase de réduction**
- permet le renouvellement du RuBP
 - il comprend **une phase de régénération**
- utilise de l'ATP



Grandes sous unités en rouge

(origine chloroplastique)
sur lesquels se situent
les sites actifs

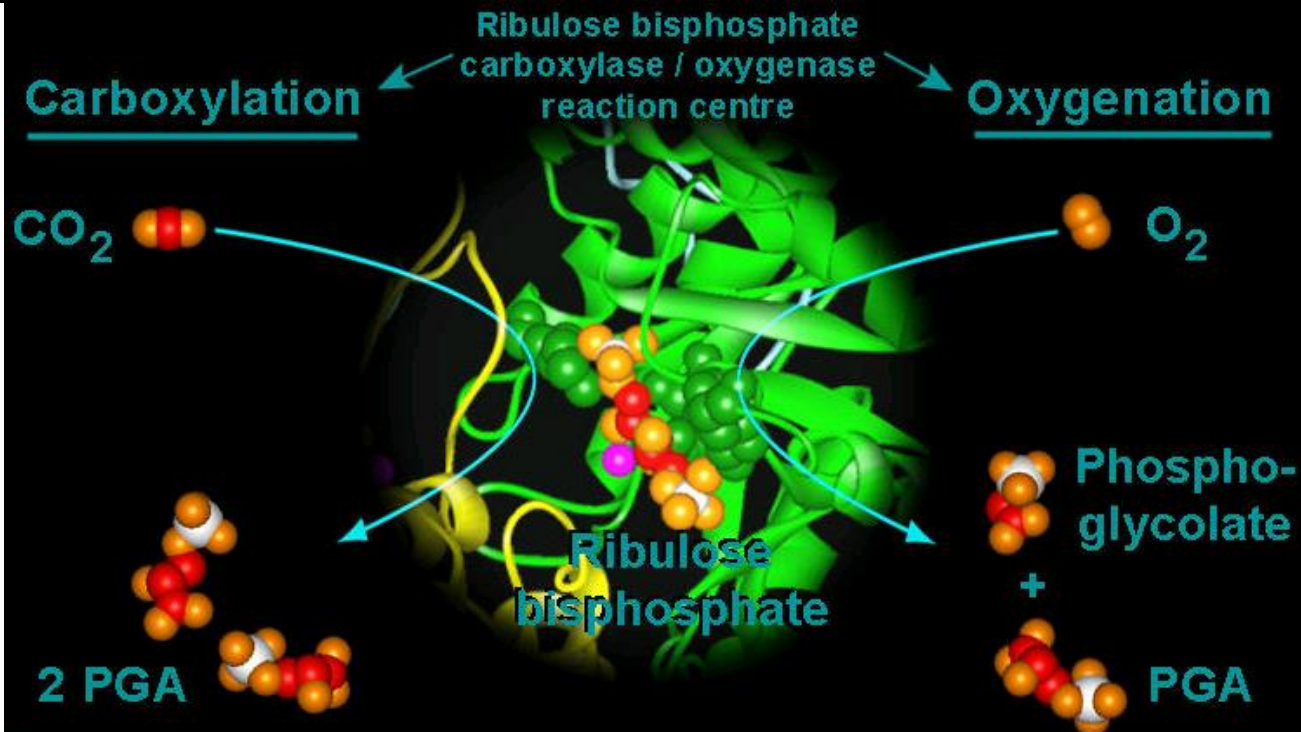
Petites sous unités
en vert et bleu
(origine nucléaire)

Une enzyme « chimère »

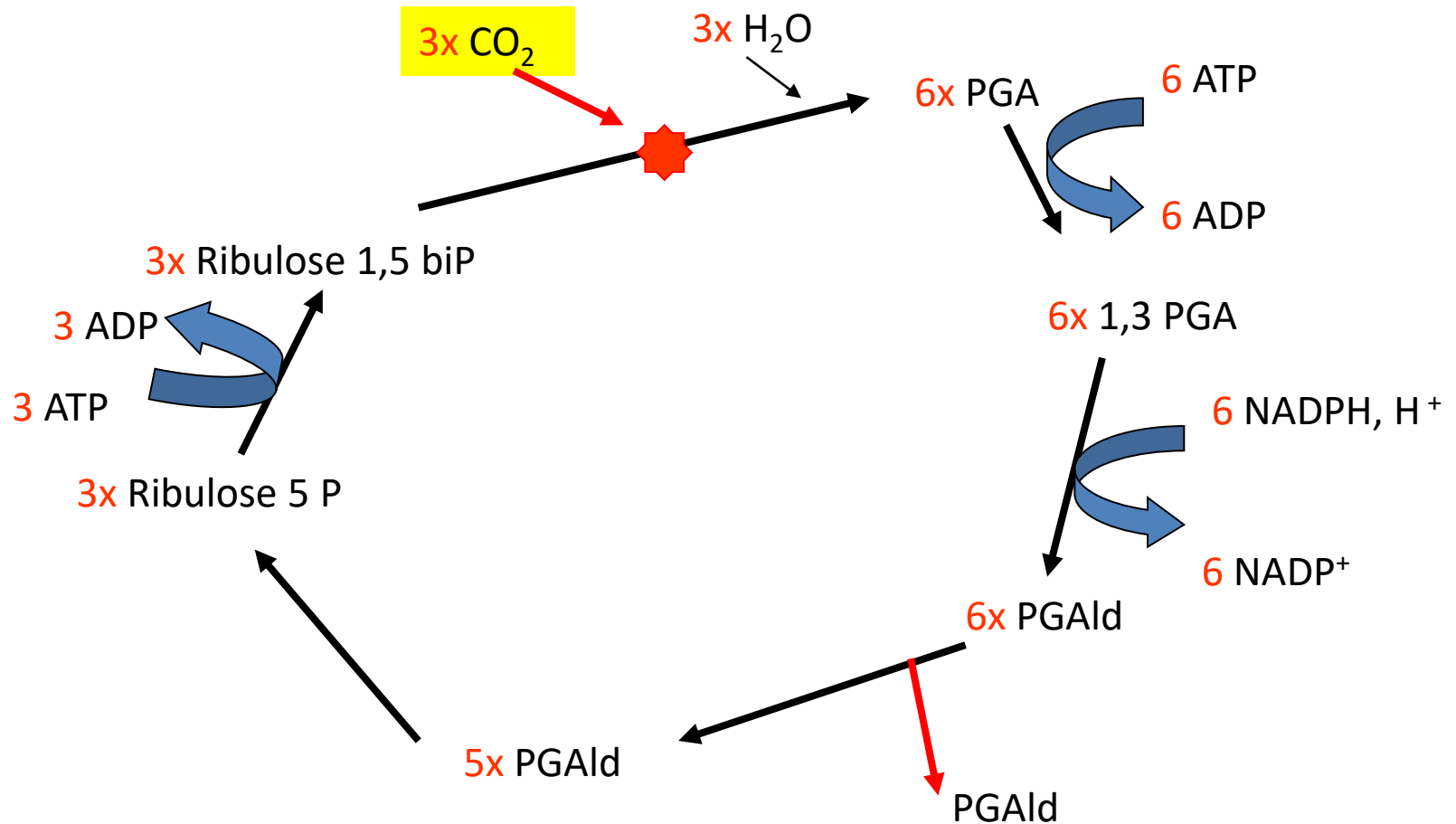
La RubisCO

Enzyme catalysant
la carboxylation

Une dualité
fonctionnelle

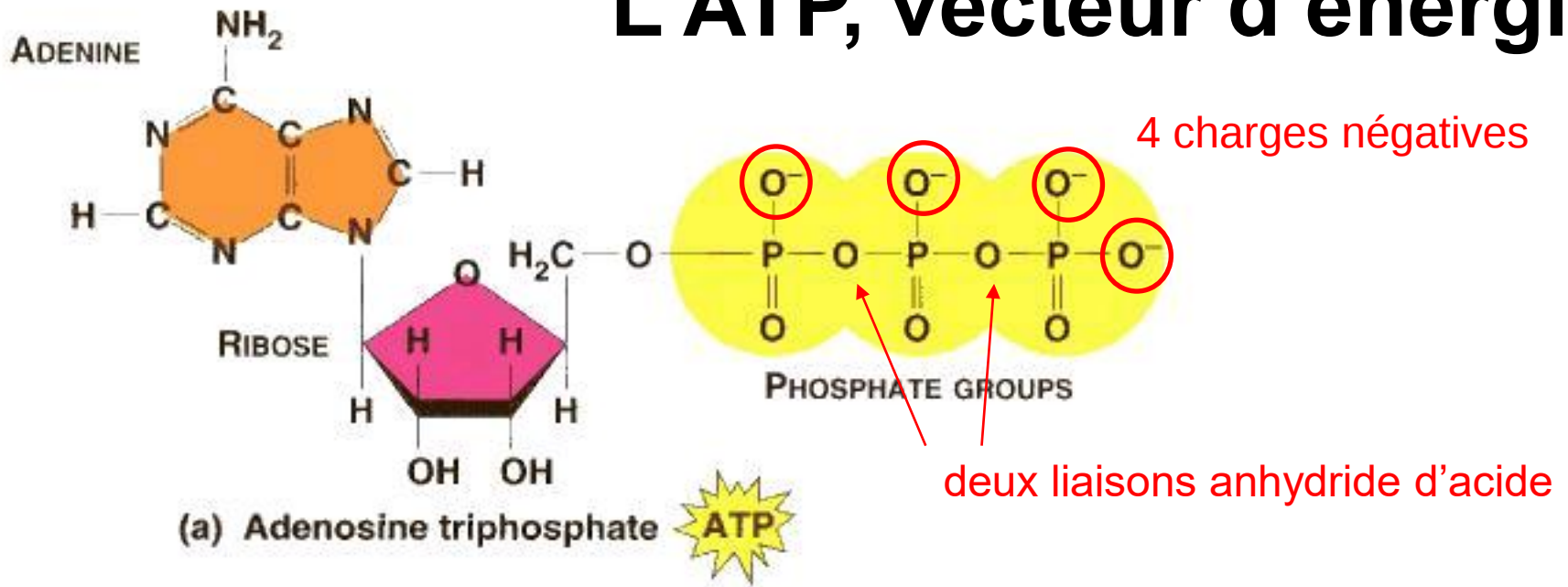


Le cycle de Calvin

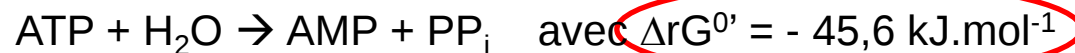


★ Étape catalysée par la rubisco

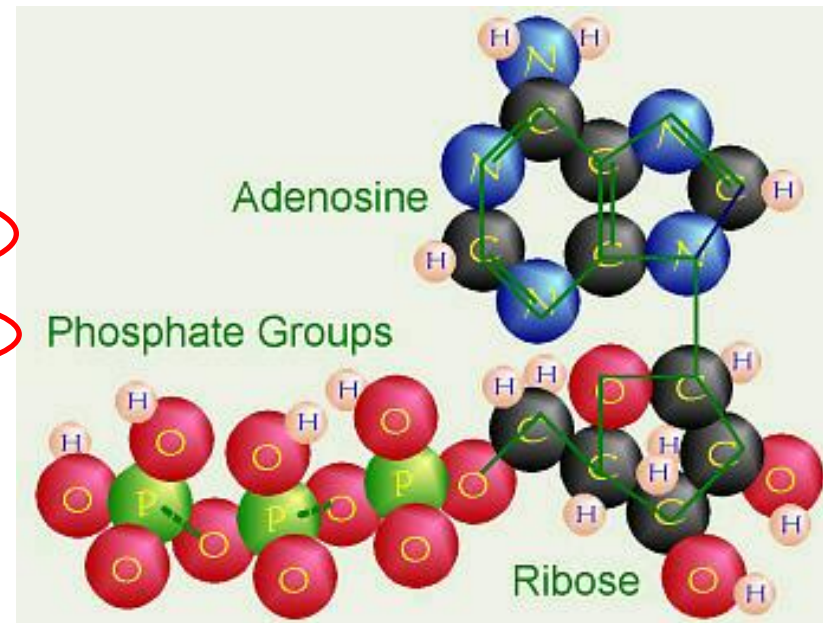
L'ATP, vecteur d'énergie

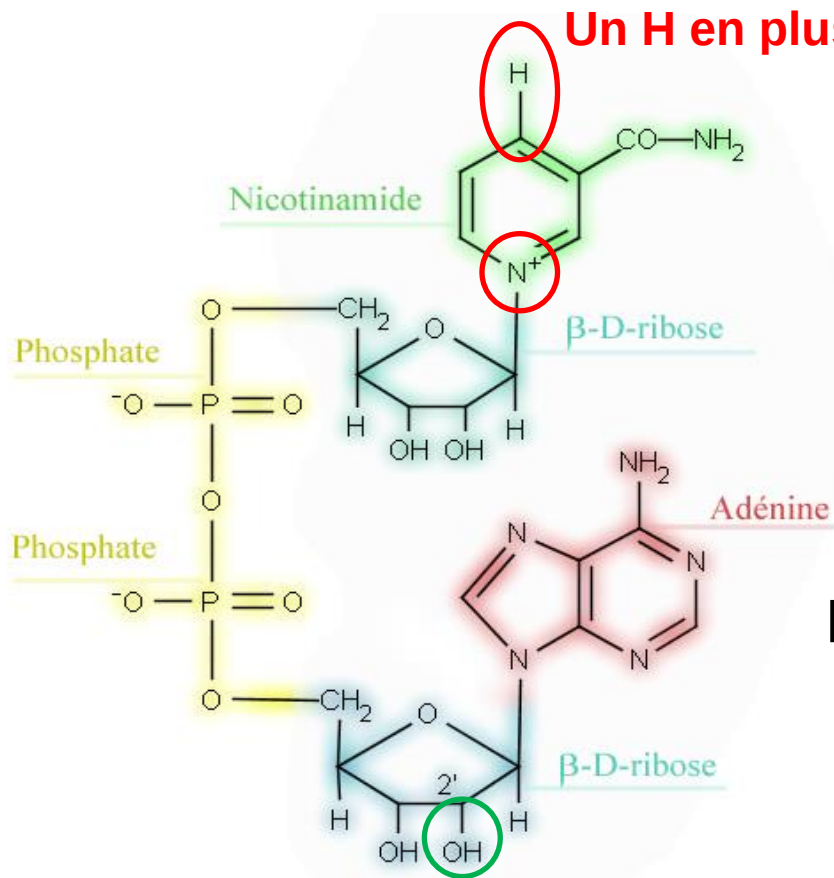


Document 6. L'ATP.



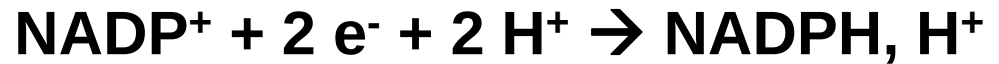
Un composé riche en énergie





Groupe P
ici pour le
NADP⁺

Document 7. Structure du NADP⁺, coenzyme d'oxydoréduction.



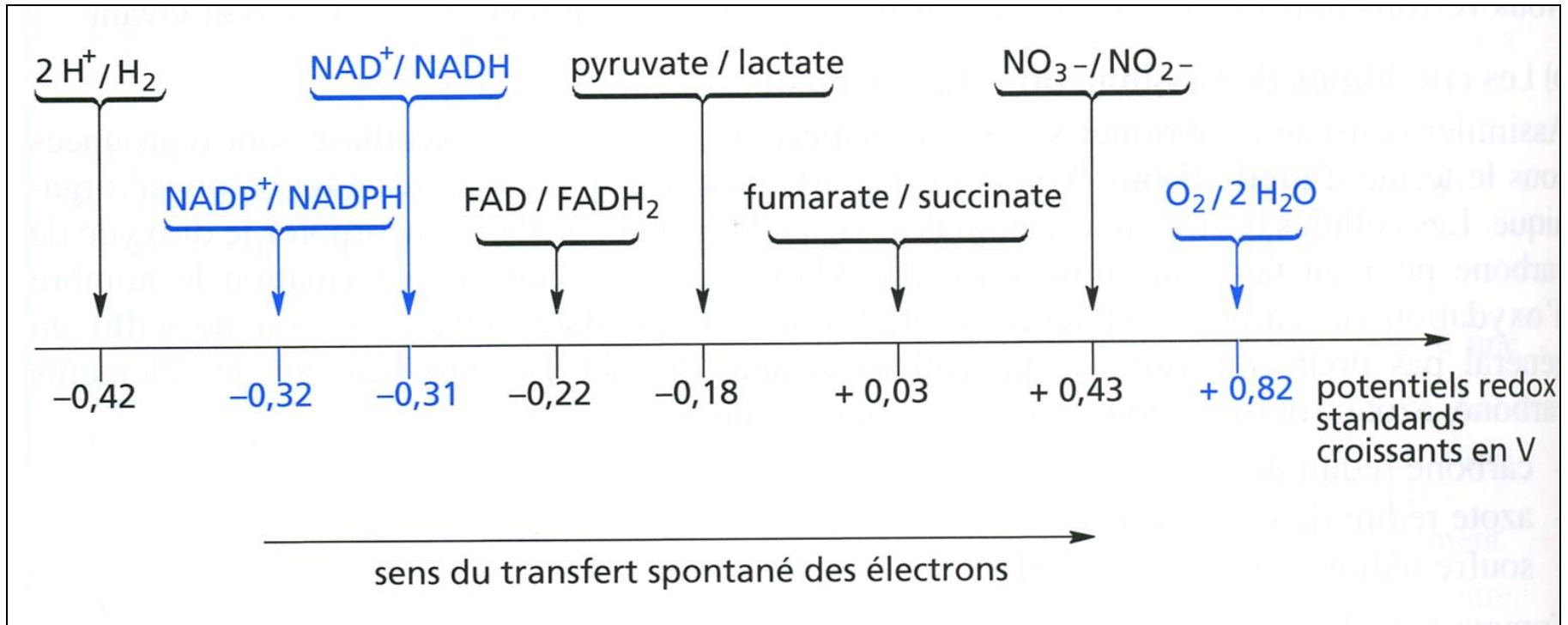
$$\Delta rG = - n F \Delta E^{0'}$$

n : nb d'électrons impliqués

F : cst de Faraday = 96500 C.mol⁻¹

$\Delta E^{0'}$: différence de potentiel redox standard entre les deux couples considérés

NAD(P)⁺ ou nicotinamide adénine dinucléotide
= forme oxydée



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

(Peycru P. et coll., " Biologie 1^{ère} année BCPST ", Dunod Ed., 2007).

Si ces deux couples sont mis en présence :



Dépend du **potentiel redox E de ces deux couples !**

On peut **prévoir le sens d'une réaction :**

**Transfert des e^- spontané
dans le sens des potentiels redox croissant**

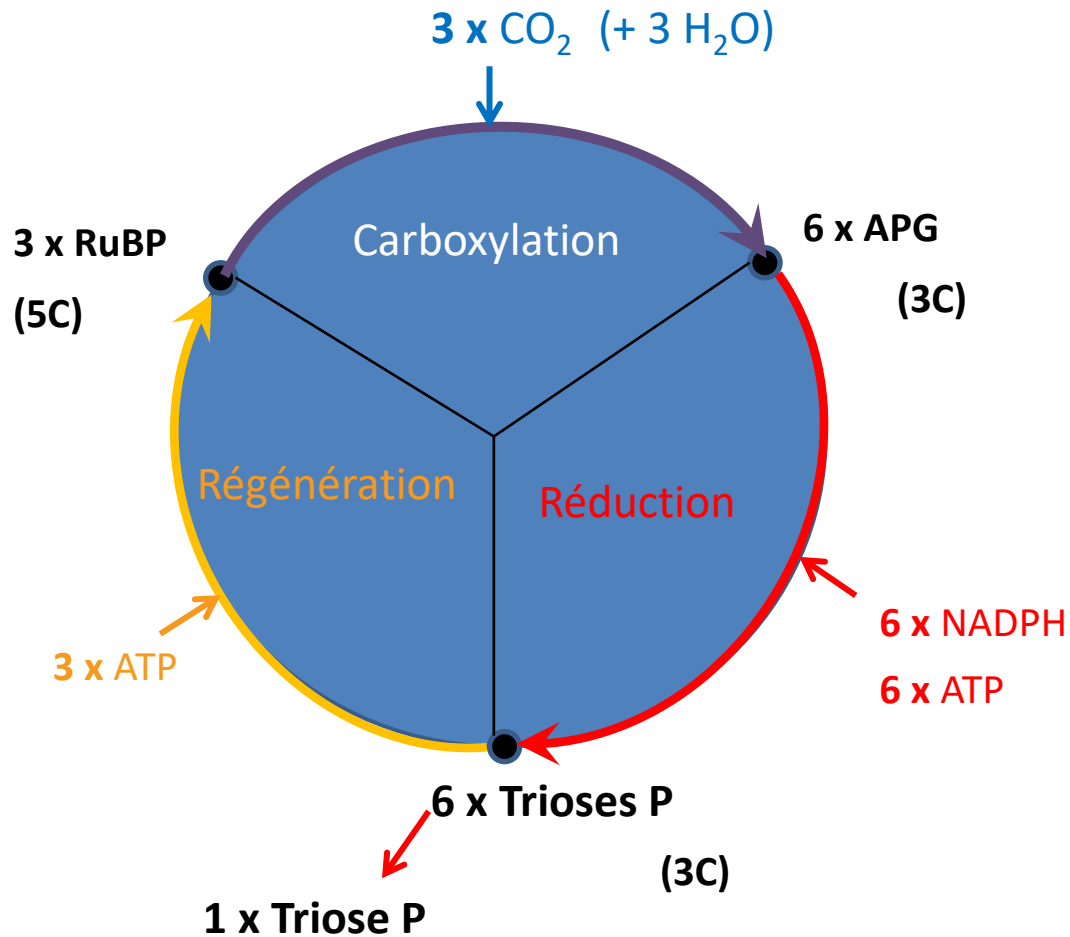
Une différence de potentiel redox entre deux couples correspond à une forme d'énergie potentielle :

$$\Delta G = - n F \Delta E^0 \quad n : \text{nb d'électrons impliqués}$$

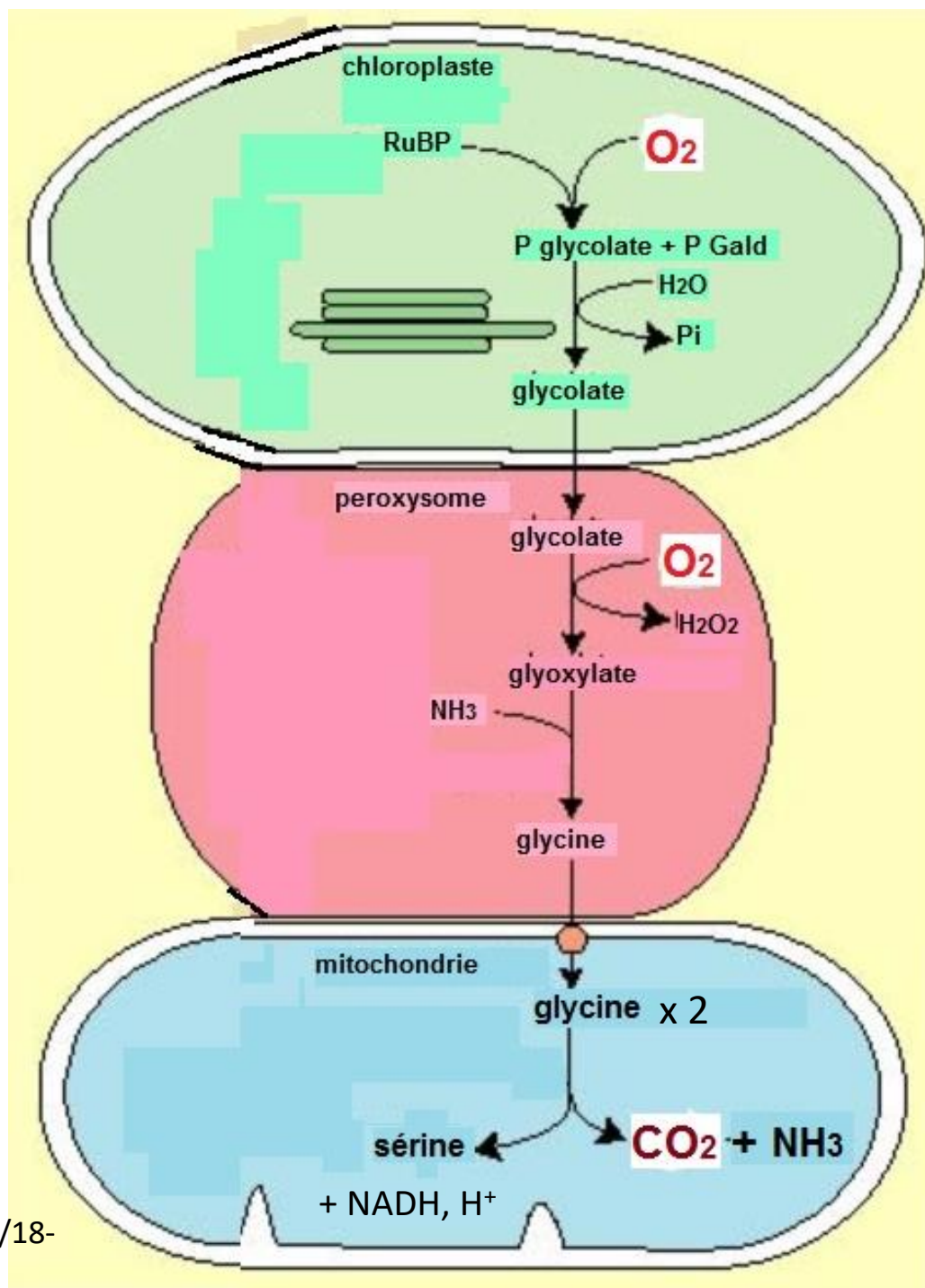
Avec ΔE : différence de potentiel redox entre les couples considérés. Le signe « - » exprime le fait que les électrons passent spontanément des bas aux hauts potentiels (ΔE positif).

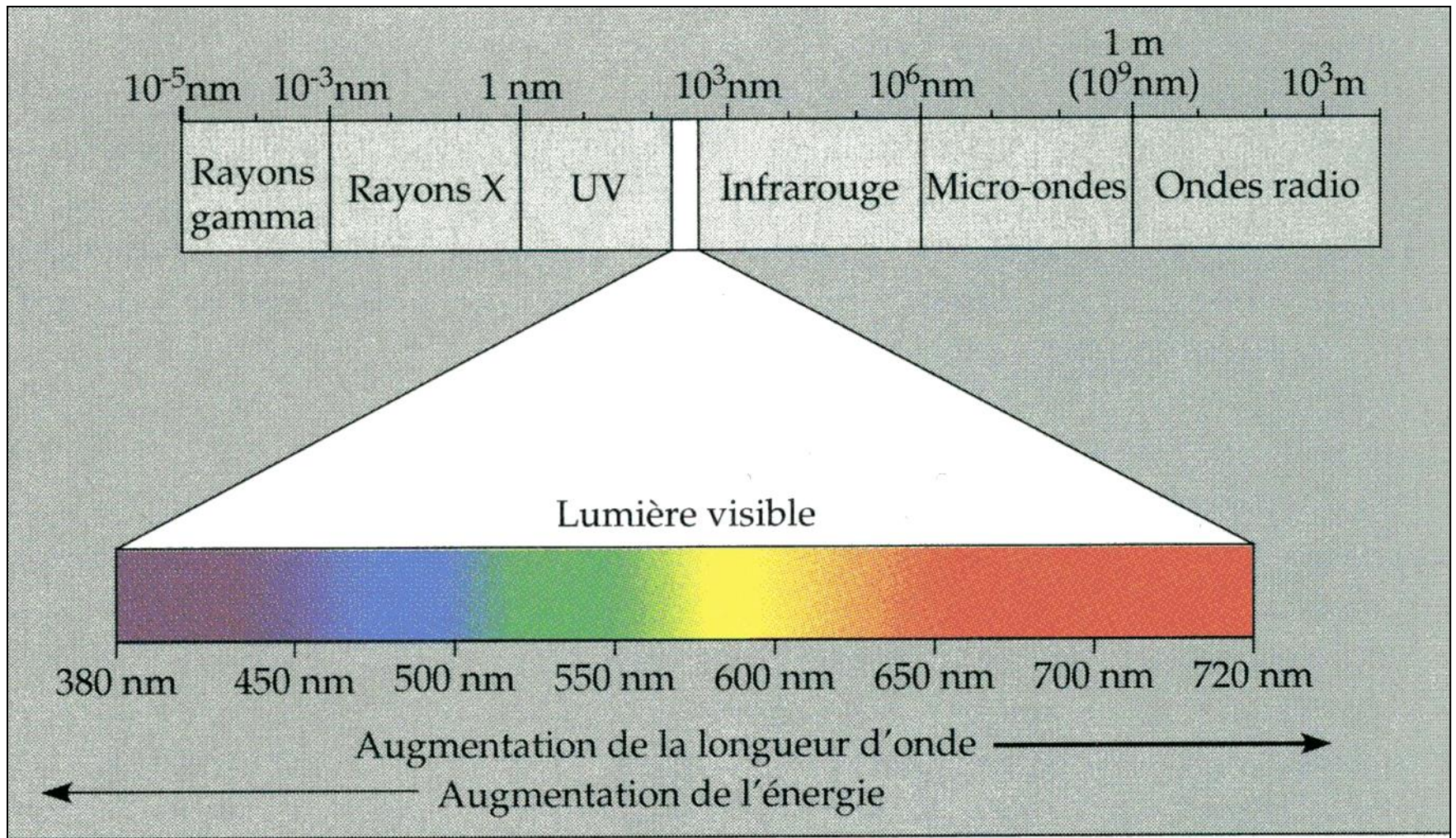
Si $E^0_{A+/A} < E^0_{B+/B}$: quelle est la réaction spontanée ?

Document 9. Bilan du cycle de Calvin.



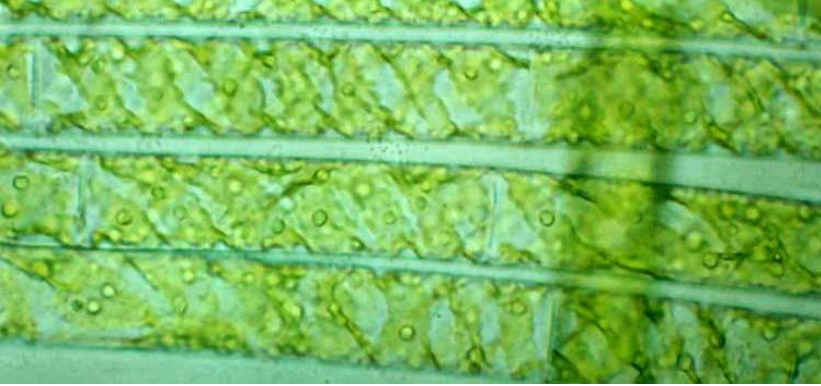
Document 10.
Processus simplifié de
la photorespiration.





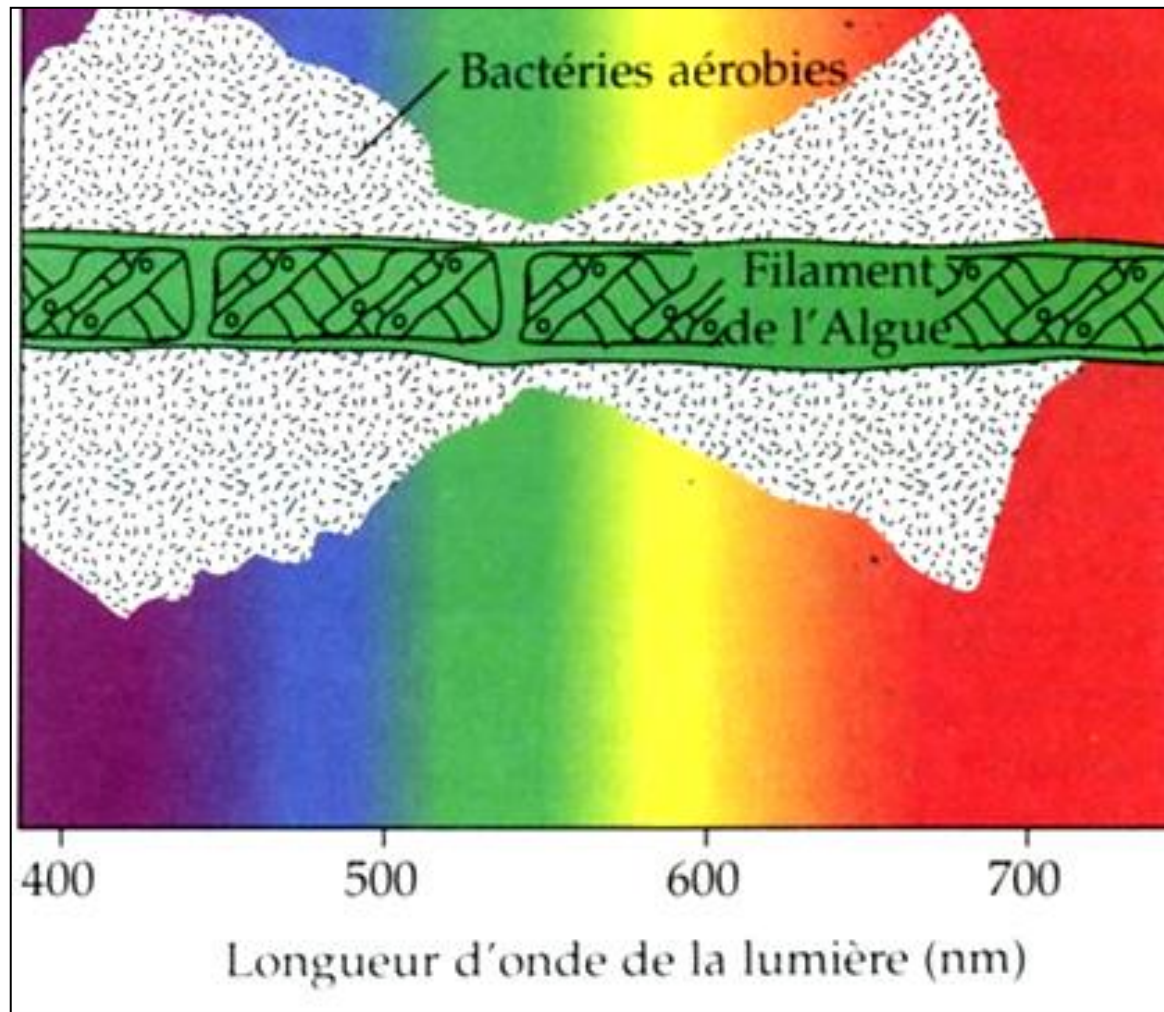
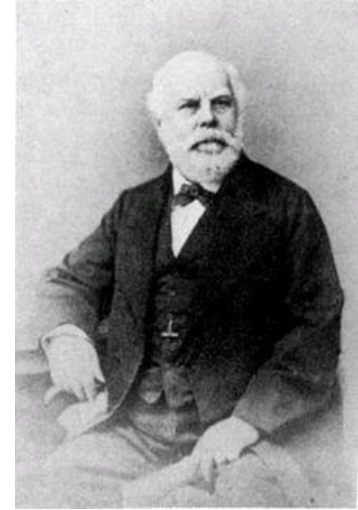
Document 11. Le spectre électromagnétique.

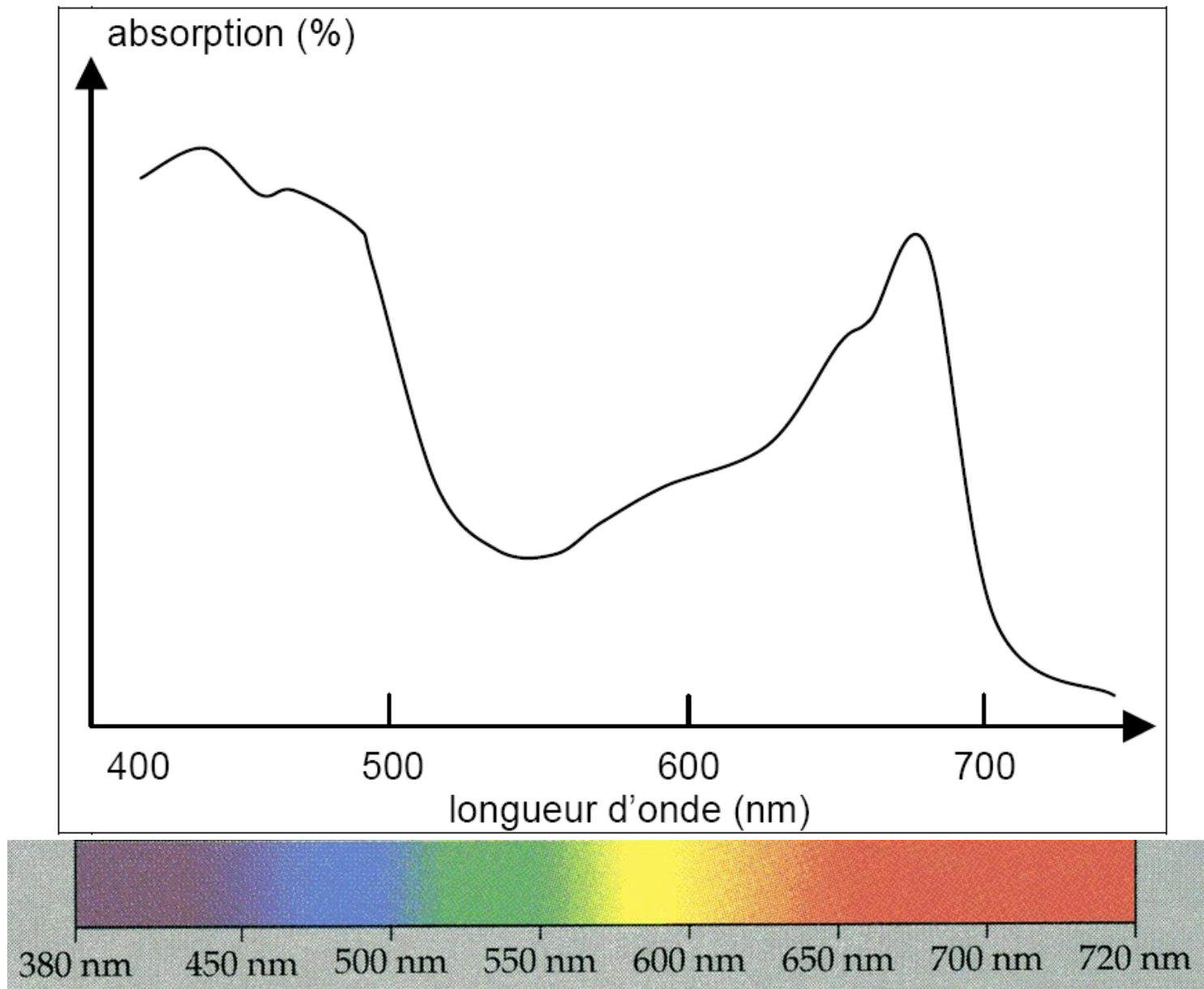
(CAMPBELL N., " Biologie ", ERPI Ed., 1995).



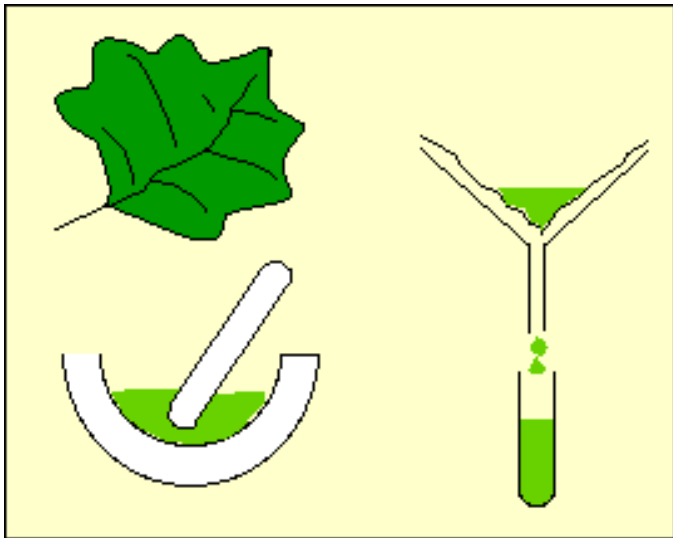
Document 12. Résultats de l'expérience d'Engelmann (1885).

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





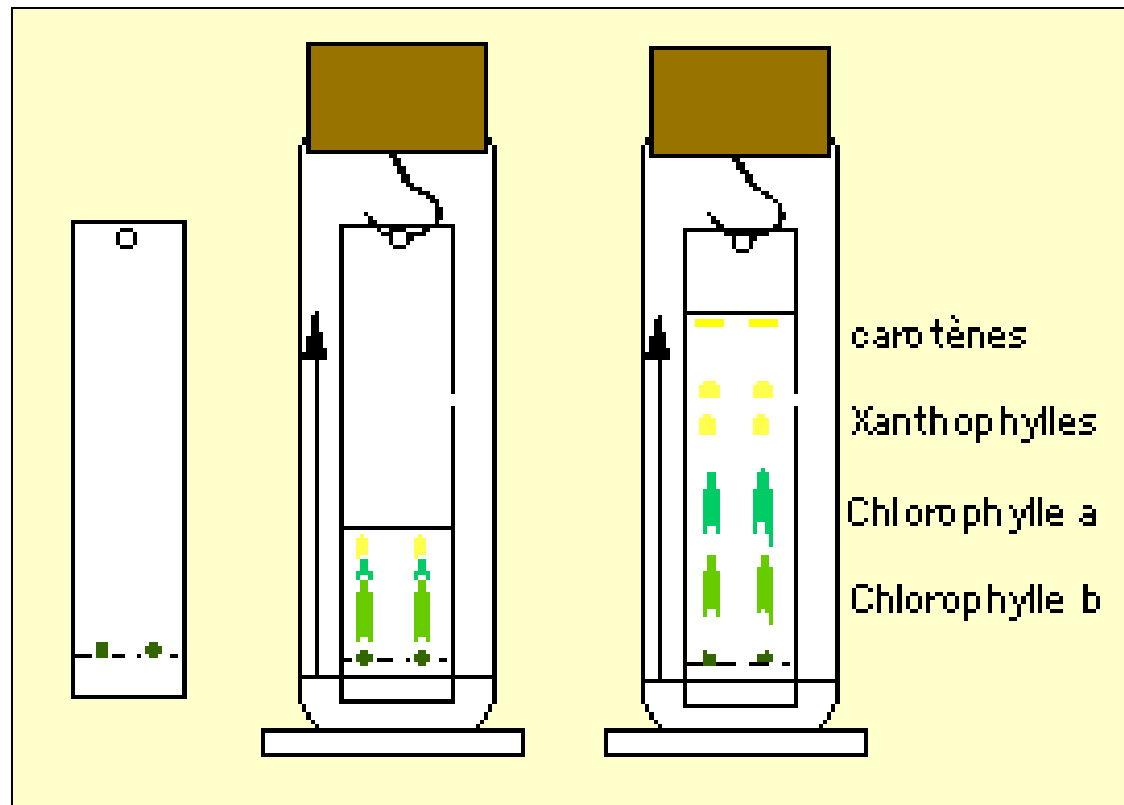
Document 13 : Spectre d'absorption des pigments extraits d'une algue verte. (D'après Blinks LR in : " La photosynthèse " H. JUPIN, A. LAMANT, DUNOD Ed. 1999).

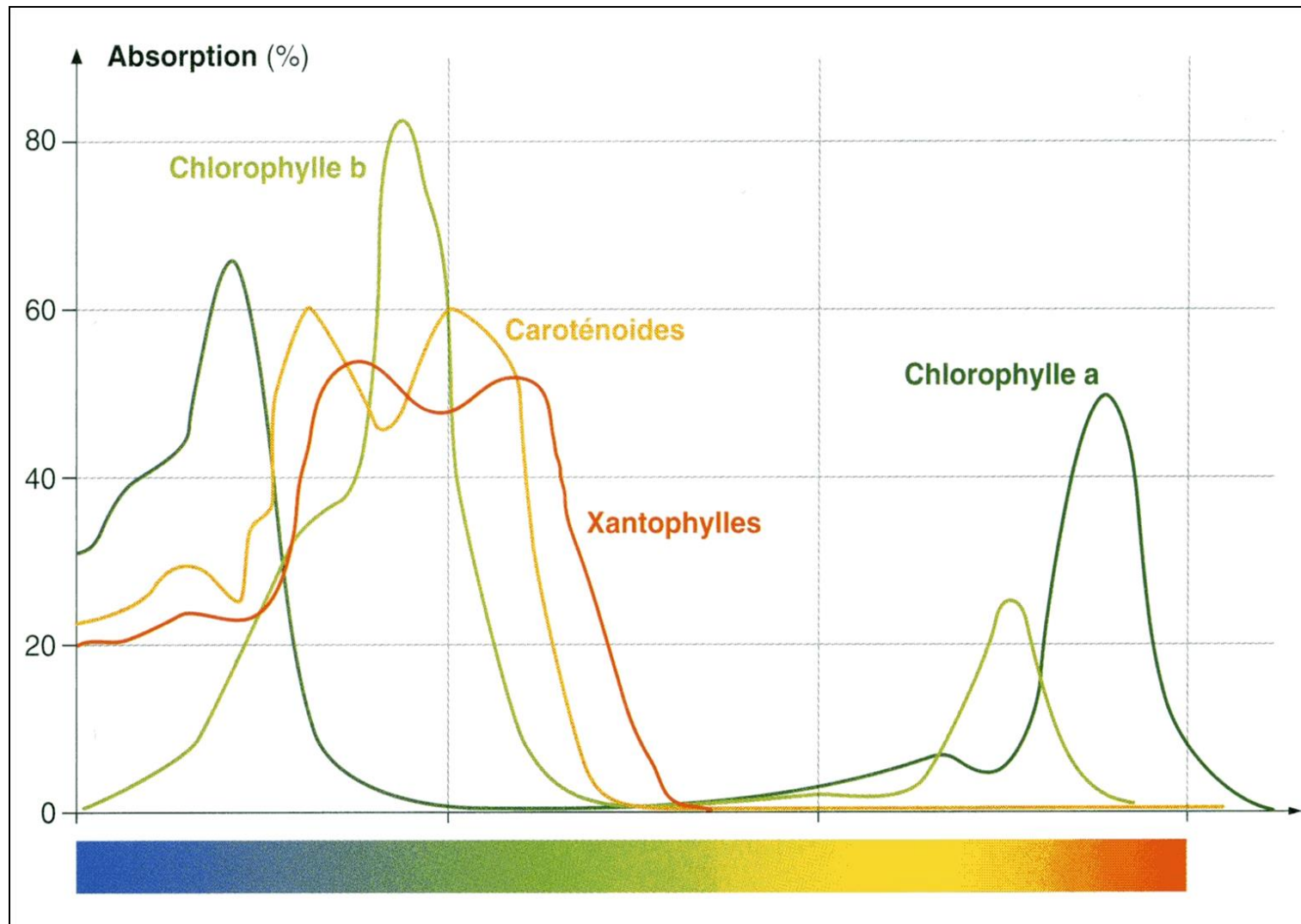


Chromatographie de pigments bruts :

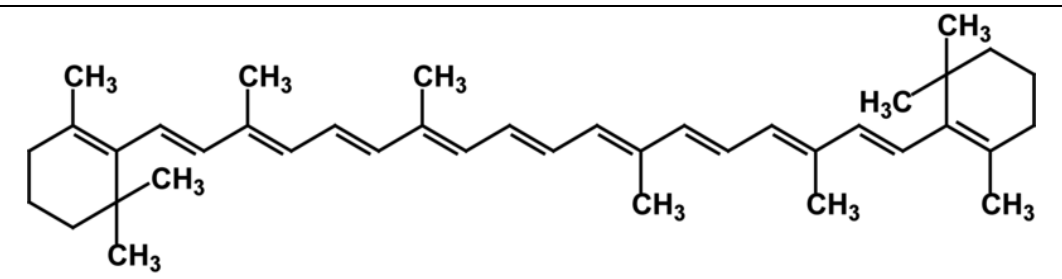
Mise en œuvre et résultats.

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 14 : Spectre d'absorption des différents pigments.
(“ SVT T°S spécialité ”, Nathan Ed., 2002).

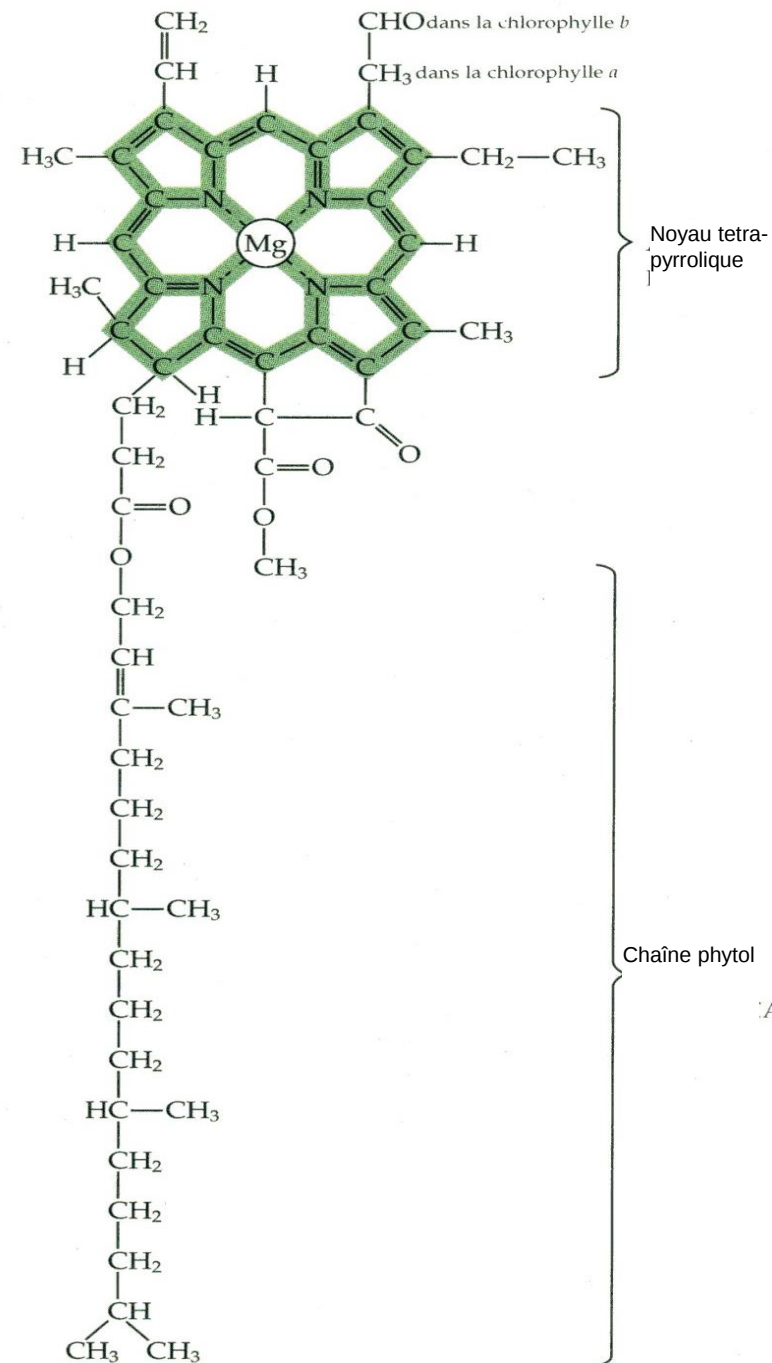


Document 15. Structure de la chlorophylle et du β -carotène.

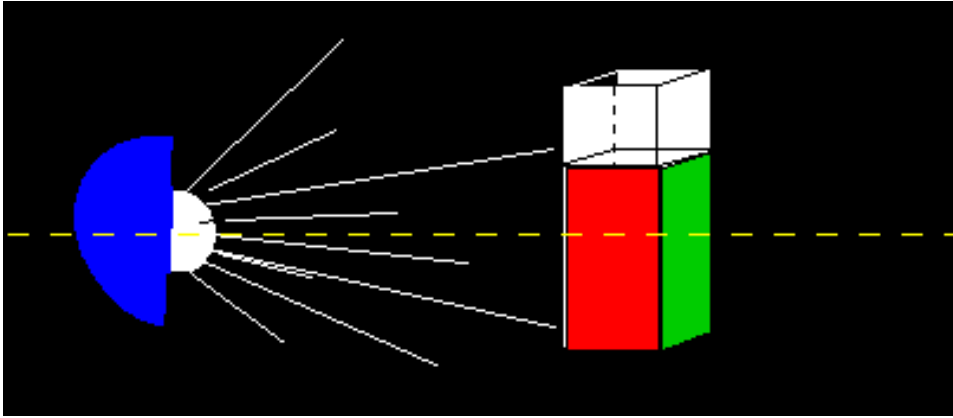
Ci-dessus : β -carotène

A droite : chlorophylle

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



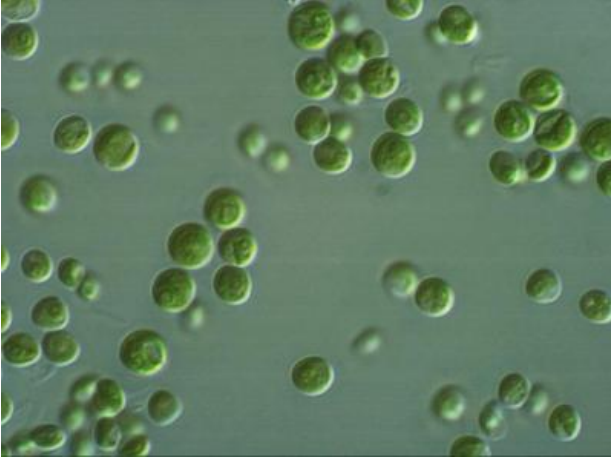
La fluorescence de la chlorophylle



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

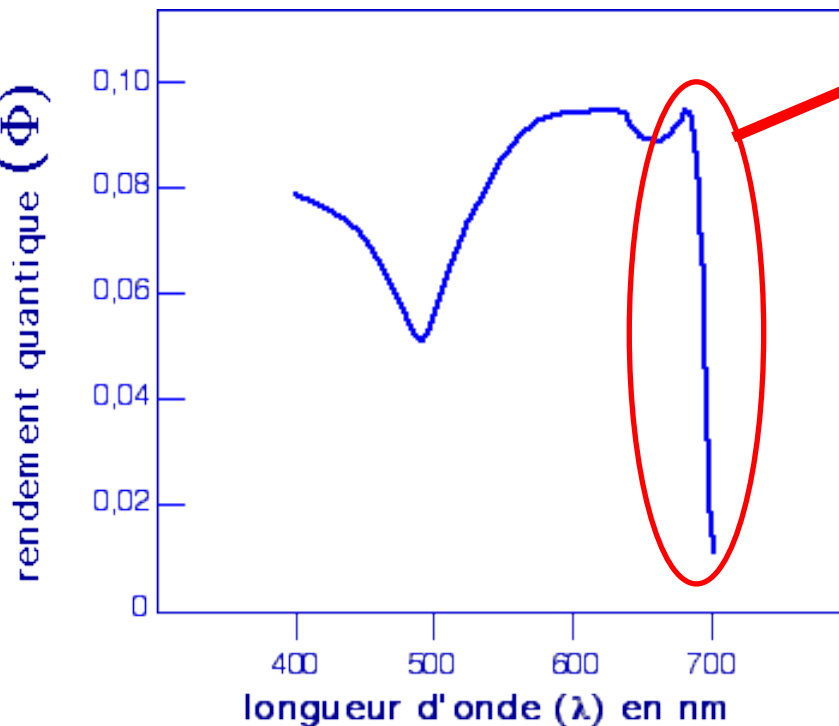
Solution de chlorophylle brute dans un faisceau de lumière blanche.



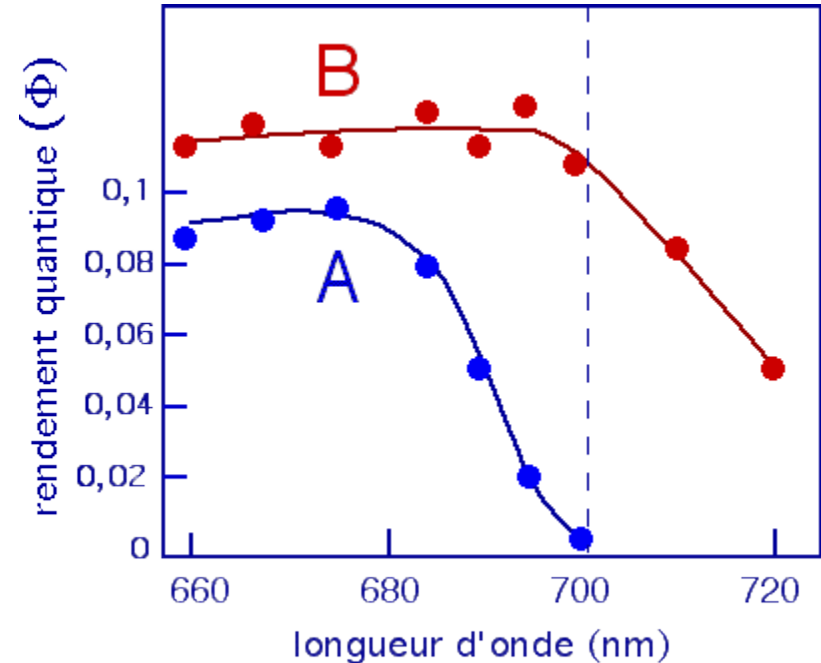


Document 16. Effet Emerson (red drop fall) ou « chute dans le rouge ».

Chlorelles



→ Le rendement quantique (qO_2 dégagé / q photons) chute brutalement dans le rouge.

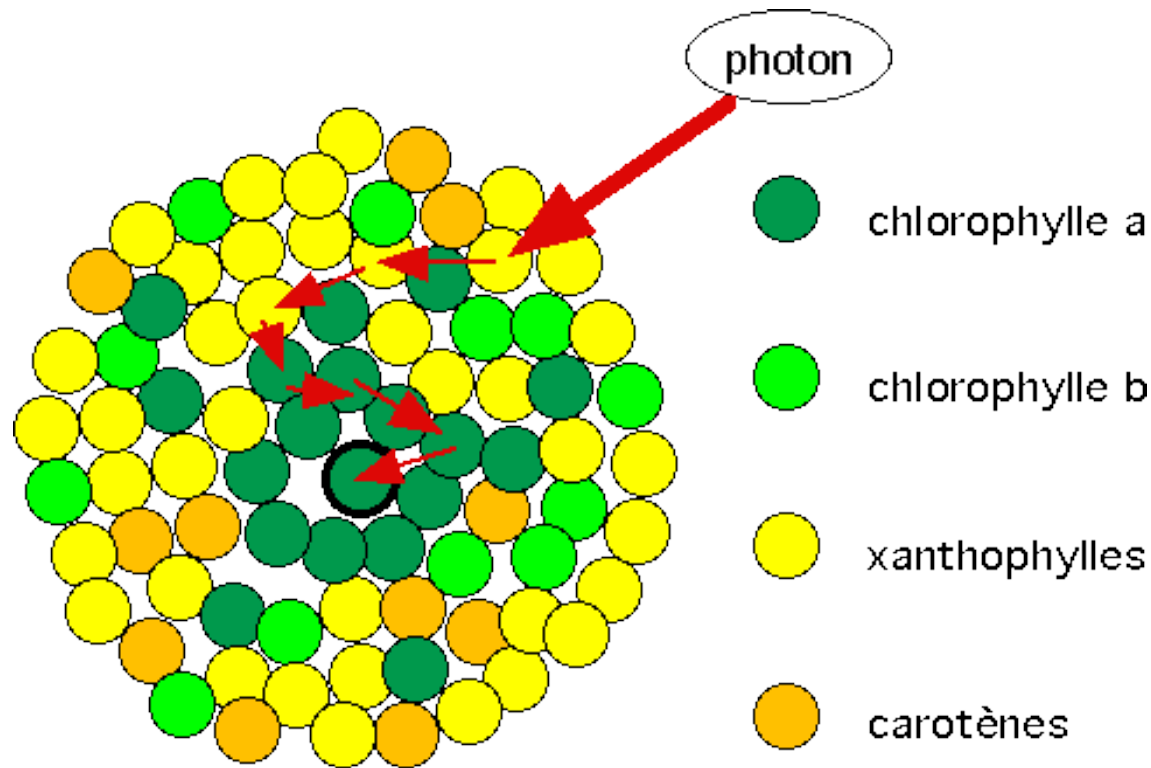


A : longueur d'onde variable (660 à 720 nm).

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

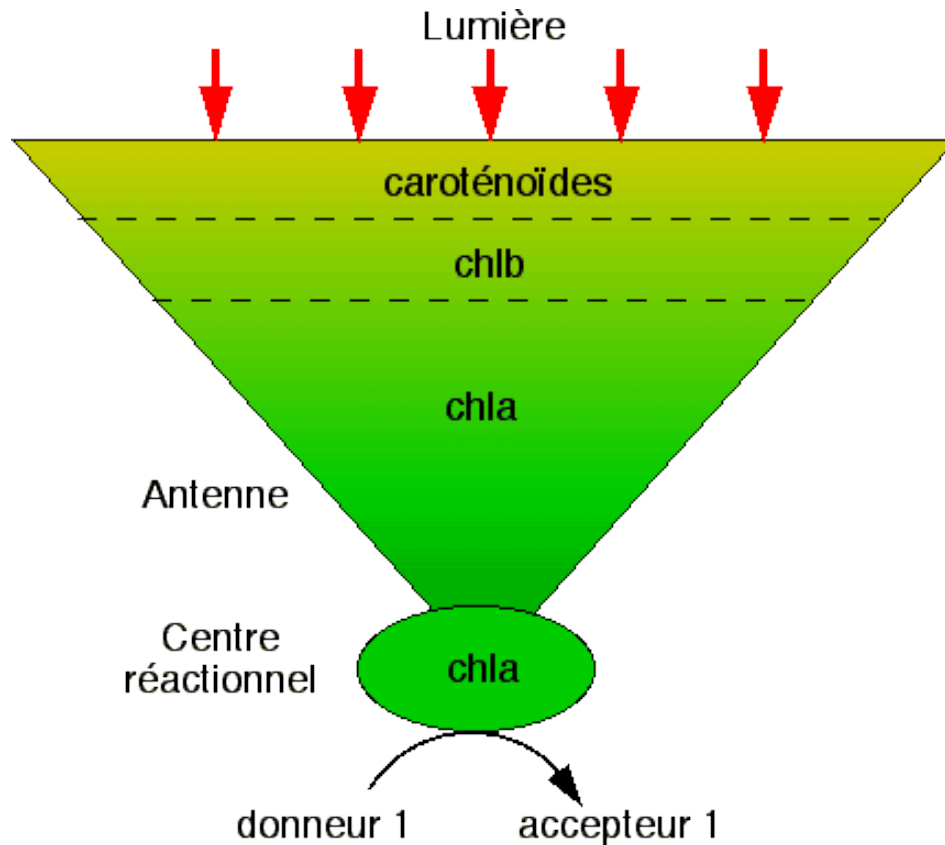
→ La chute dans le rouge est supprimée en ajoutant une radiation de plus courte longueur d'onde.

Document 17. Transmission par résonance au sein d'un photosystème.

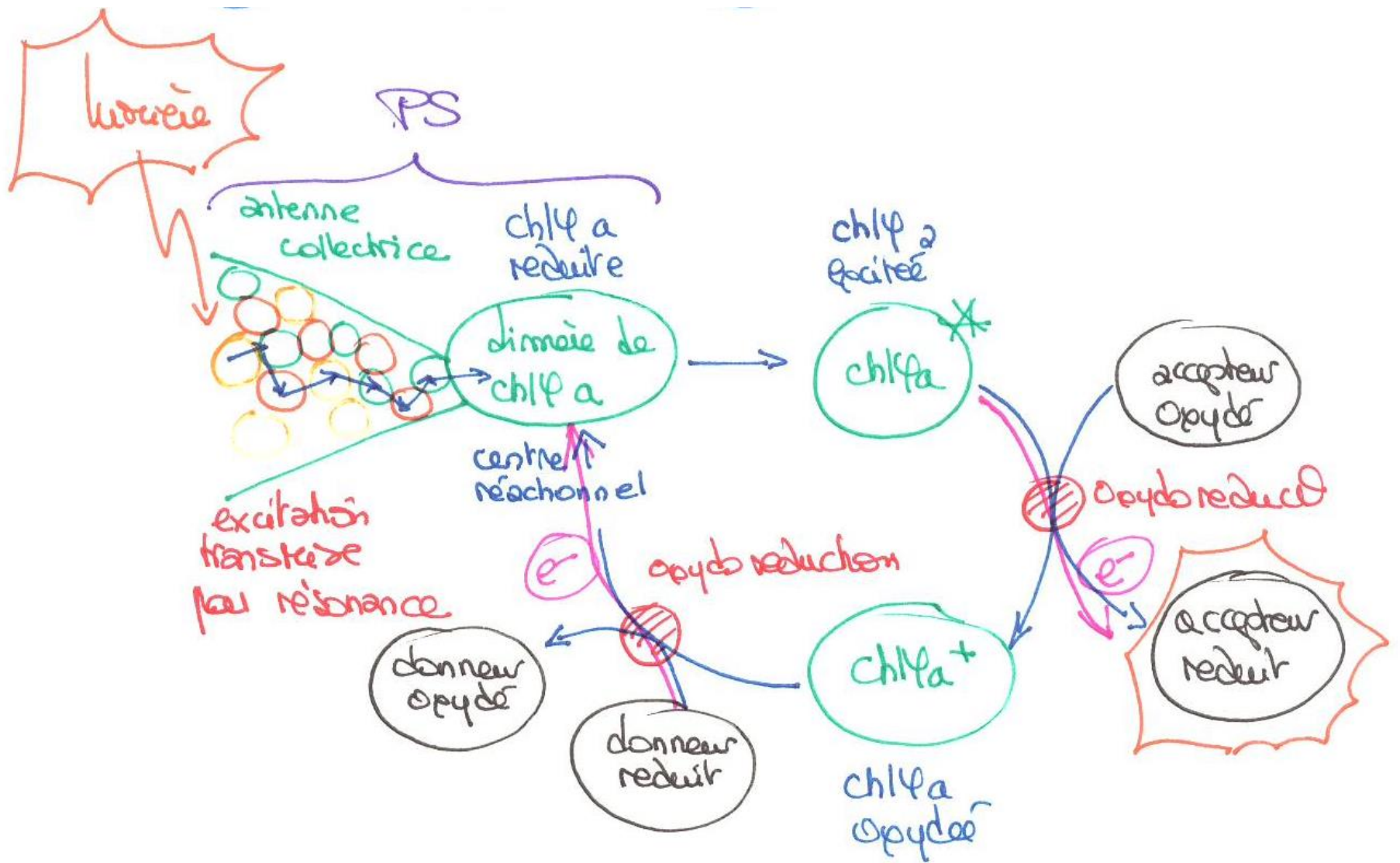


De très nombreuses molécules de pigments peuvent être excitées par les photons et elles peuvent transmettre l'énergie reçue, par résonance à la molécule de chlorophylle a du centre réactionnel.

Document 18. Transmission de l'énergie de l'antenne collectrice au centre réactionnel.

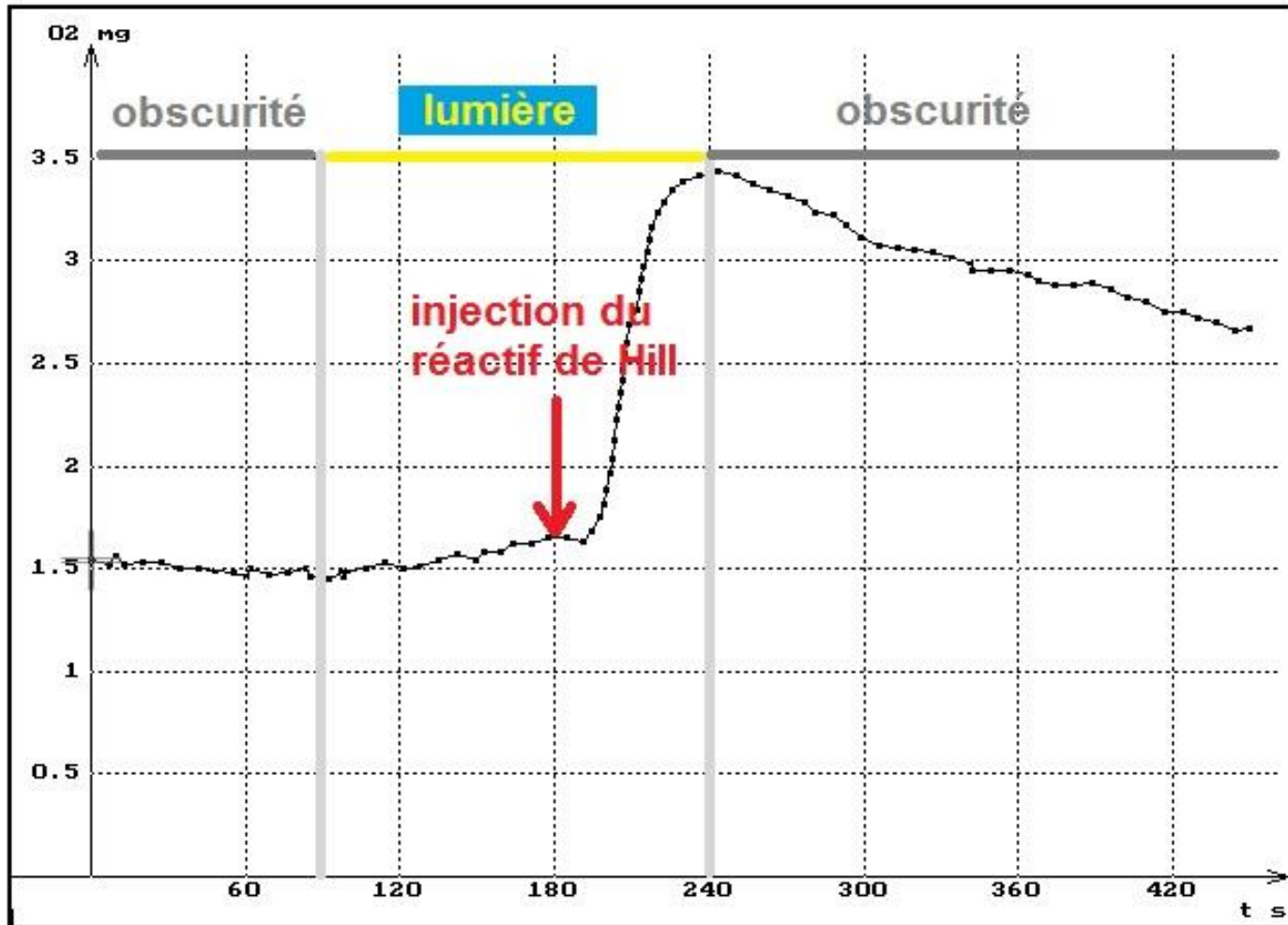


L'antenne est schématisée par un entonnoir qui draine l'énergie des photons reçus par de nombreuses molécules de pigments jusqu'à une molécule de chlorophylle a correspondant au centre réactionnel.



Photosynthèse et conversion de l'énergie
lumineuse en énergie chimique.

Document 19. Résultats de l'expérience de Hill



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 avec une forme réduite et une forme oxydée	oui
Plastocyanine	Protéine à Cu	oui
Complexe b6f	cytochromes	oui
Ferrédoxine	Protéine Fe-S	oui
ATP synthase	Comparable à celle des mitochondries	

Document 20. Les principaux constituants de la membrane des thylacoïdes.

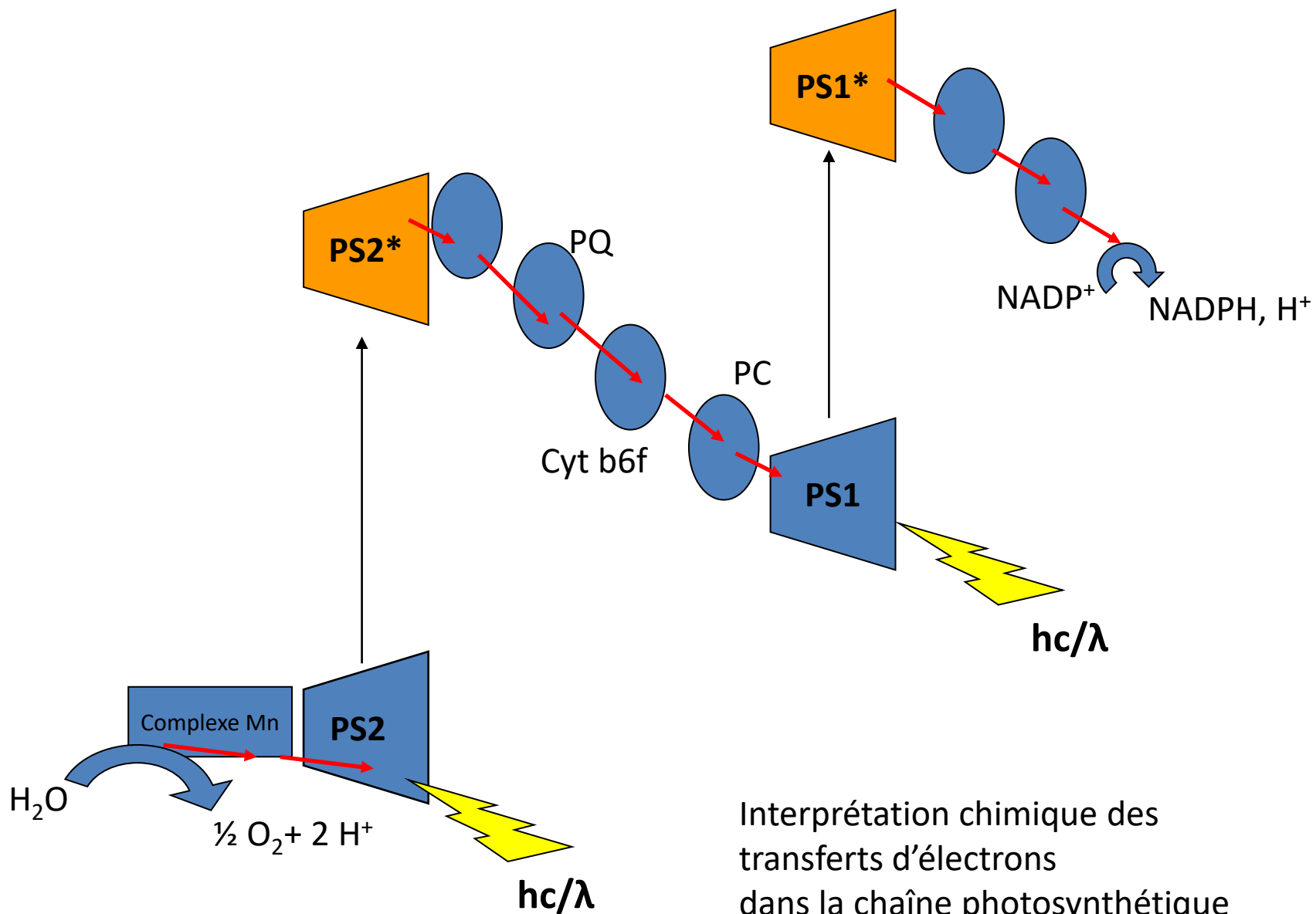
Document 21. Valeurs du E^0 des principaux couples redox de la membrane des thylacoïdes.

Couple redox	E^0 (V)	
O_2 / H_2O	+ 0,82	
P_{680} / P_{680}^+	+ 0,9	
P_{680}^* / P_{680}	- 0,8	 hc/λ
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	 hc/λ
Ao (red/ox)	-1,0	
Fd (red/ox)	- 0,42	
$NADP^+ / NADPH$	-0,32	

-1.2

+1

$E'(\text{V})$

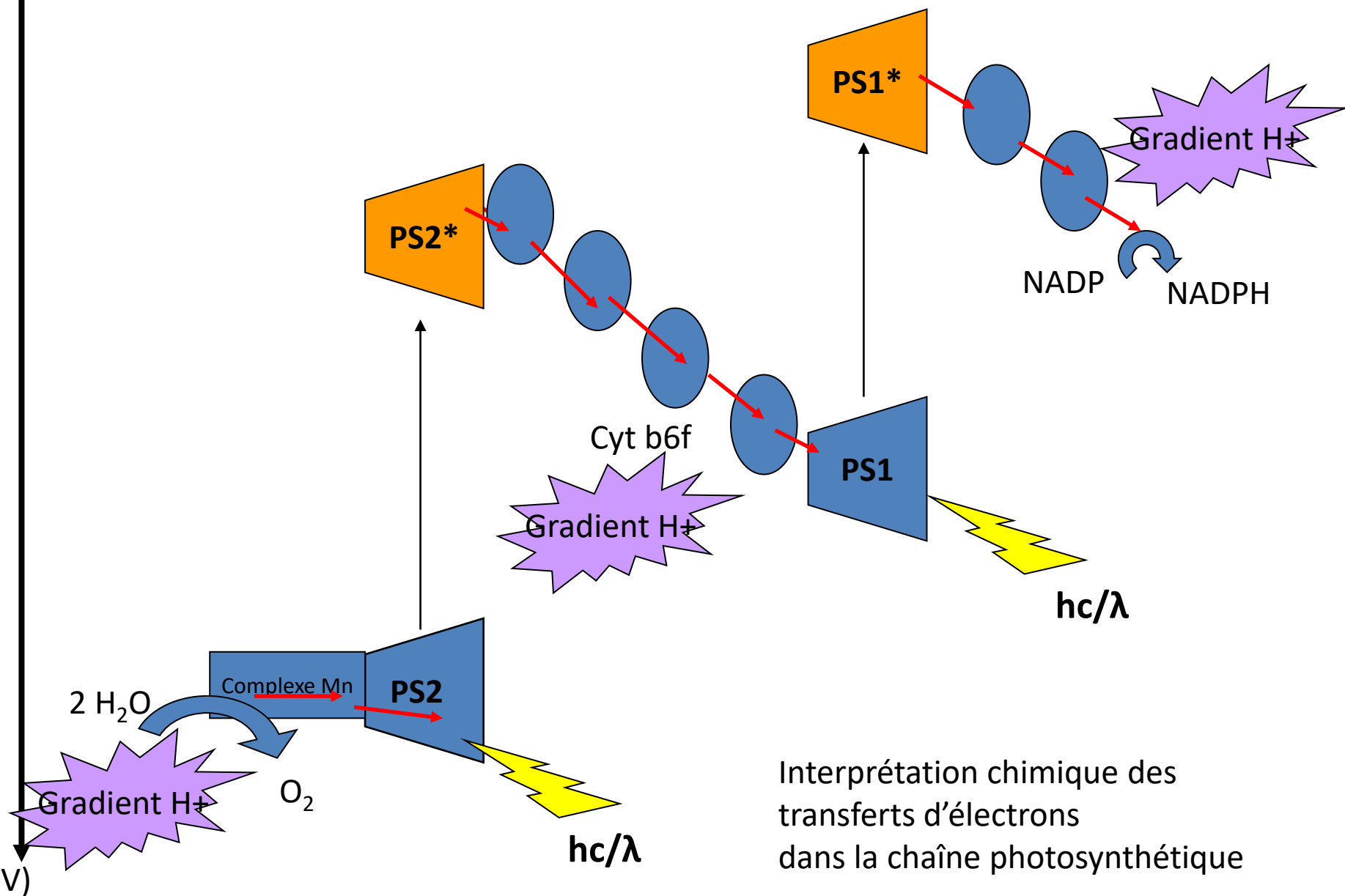


Interprétation chimique des
transferts d'électrons
dans la chaîne photosynthétique

-1.2

+1

$E'(\text{V})$

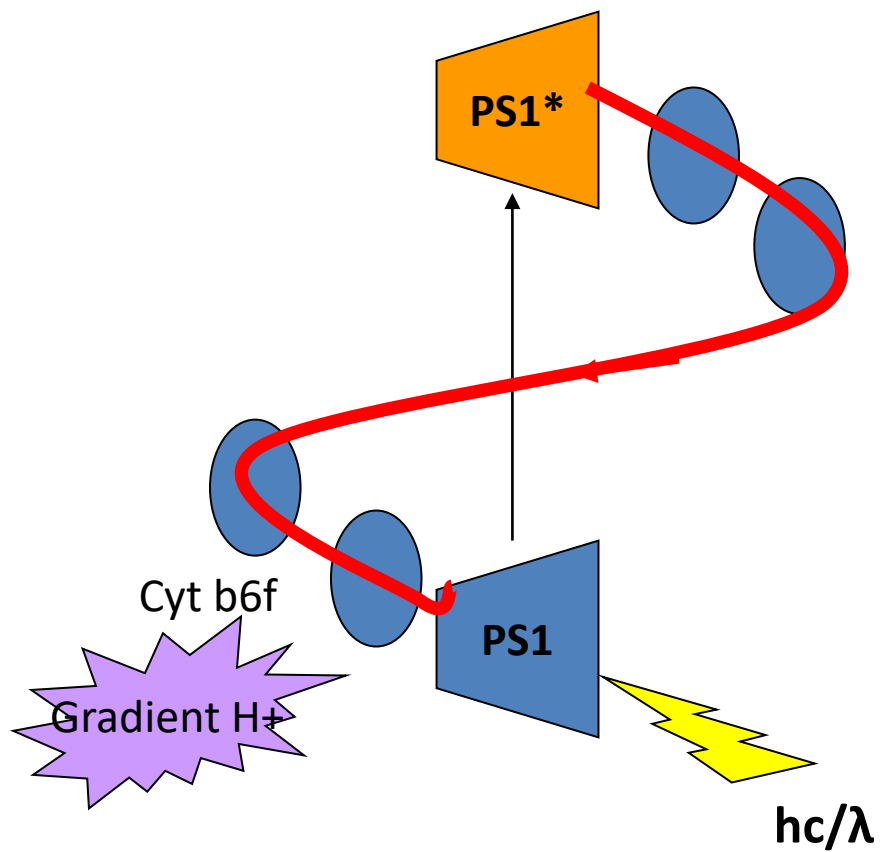


Interprétation chimique des
transferts d'électrons
dans la chaîne photosynthétique

-1.2

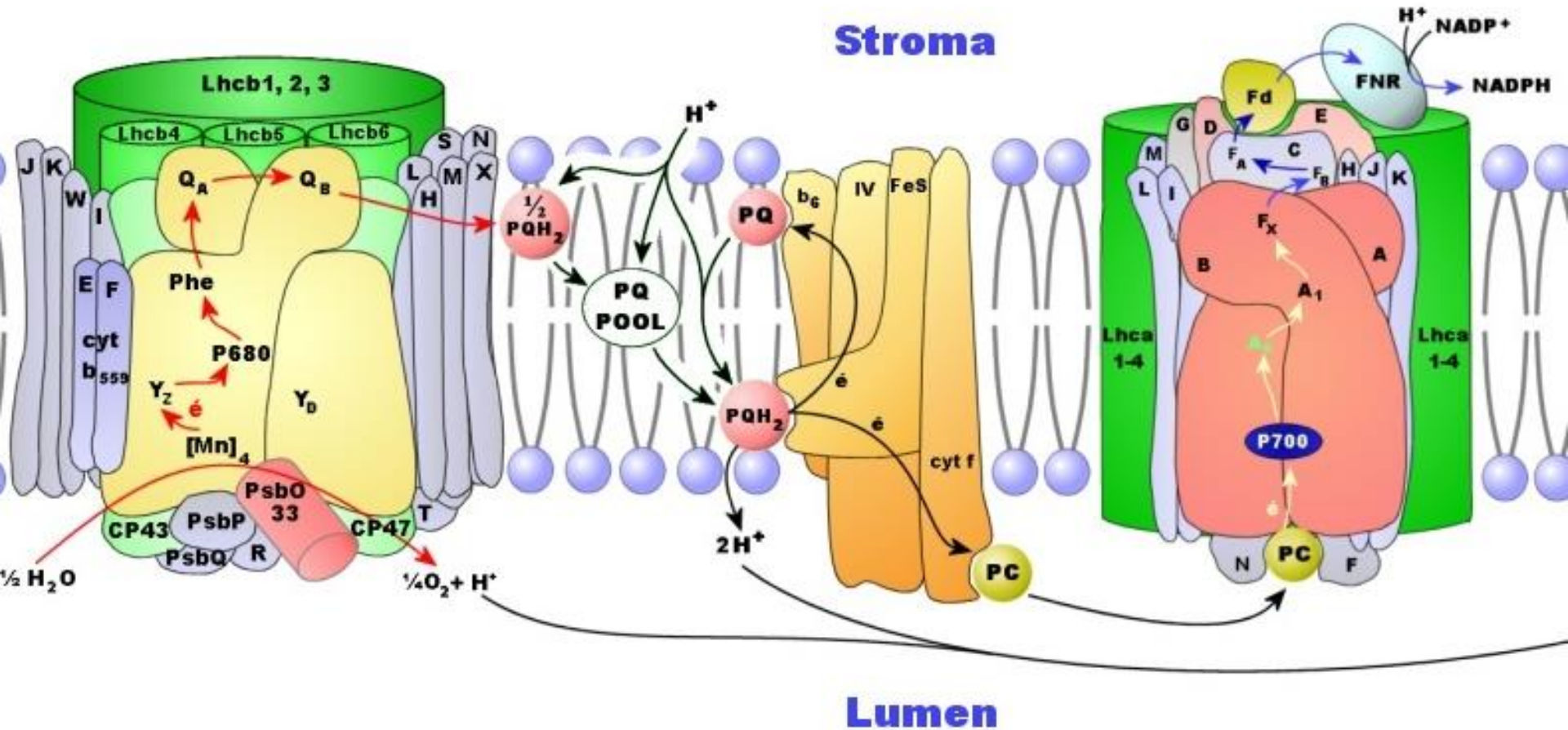
+1

$E'(\text{V})$



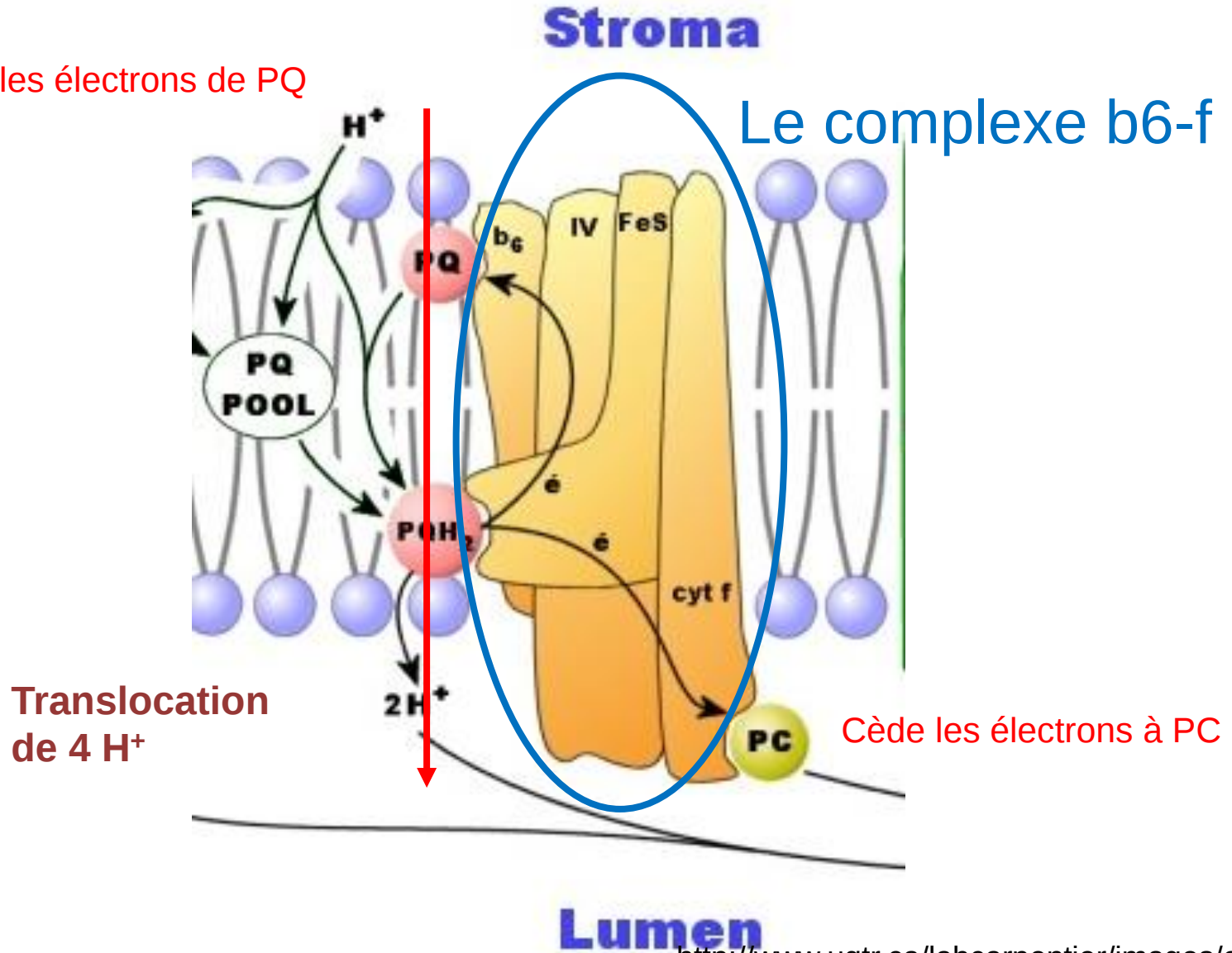
Transfert cyclique des électrons

Trajet des électrons et translocation des protons dans la membrane des thylacoïdes

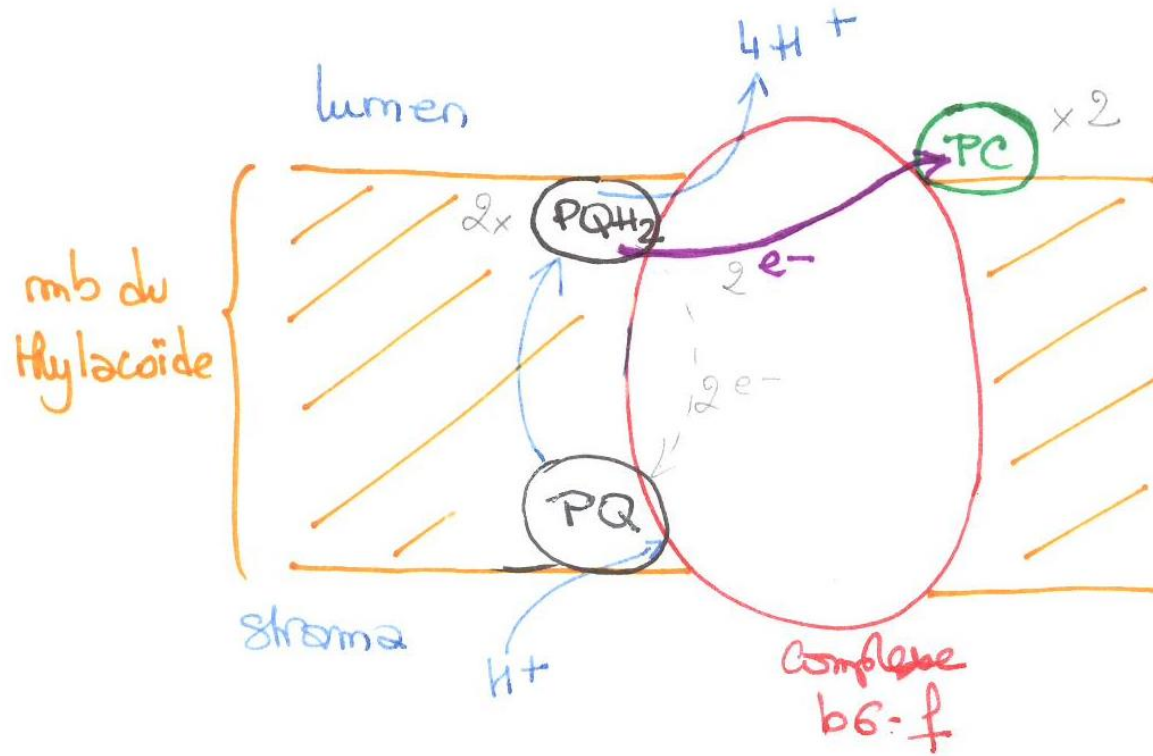


Trajet des électrons dans la chaîne photosynthétique et translocation de protons : les acteurs du cycle PQ

Reçoit les électrons de PQ

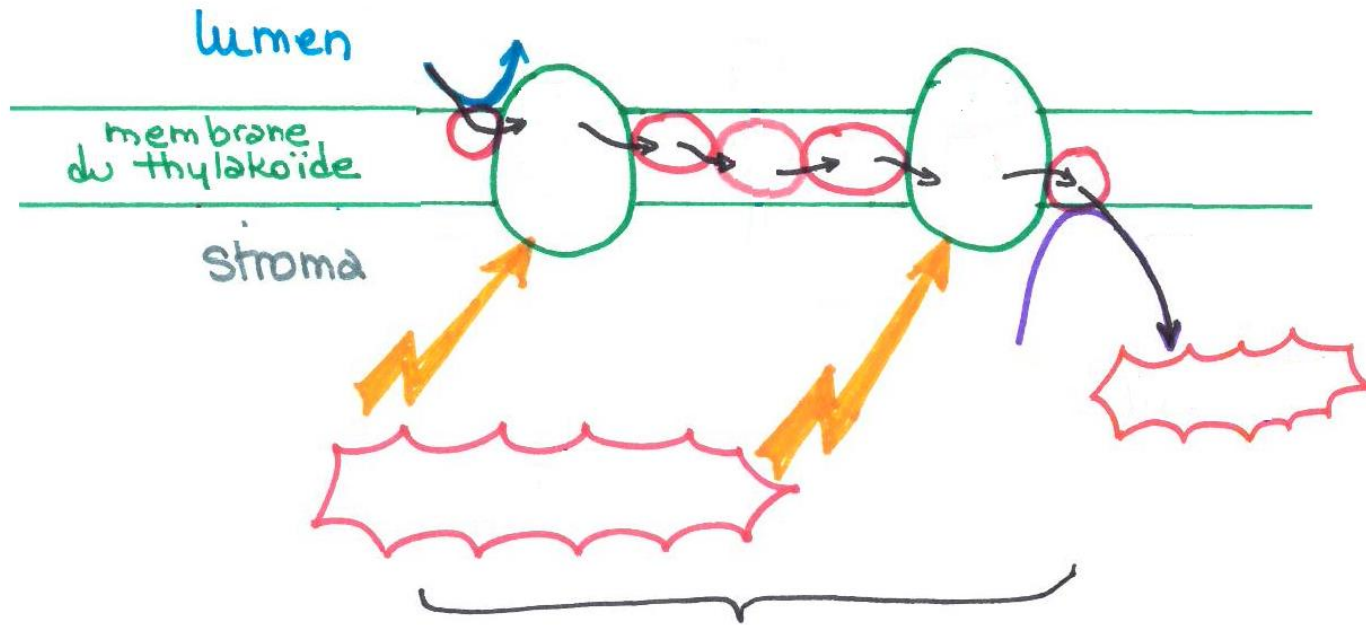


cycle PQ (chloroplaste)

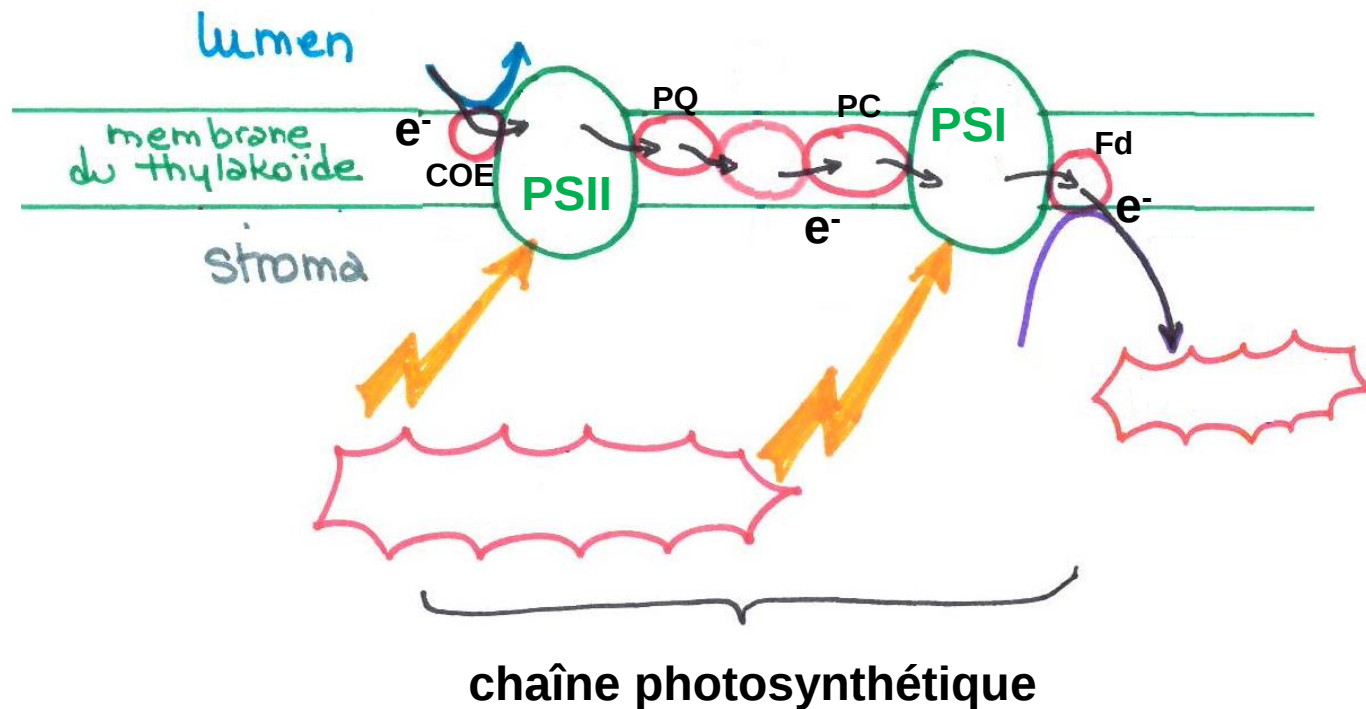


Translocation de
protons au niveau
du complexe b6-f
(du chloroplaste)
du thylacoïde

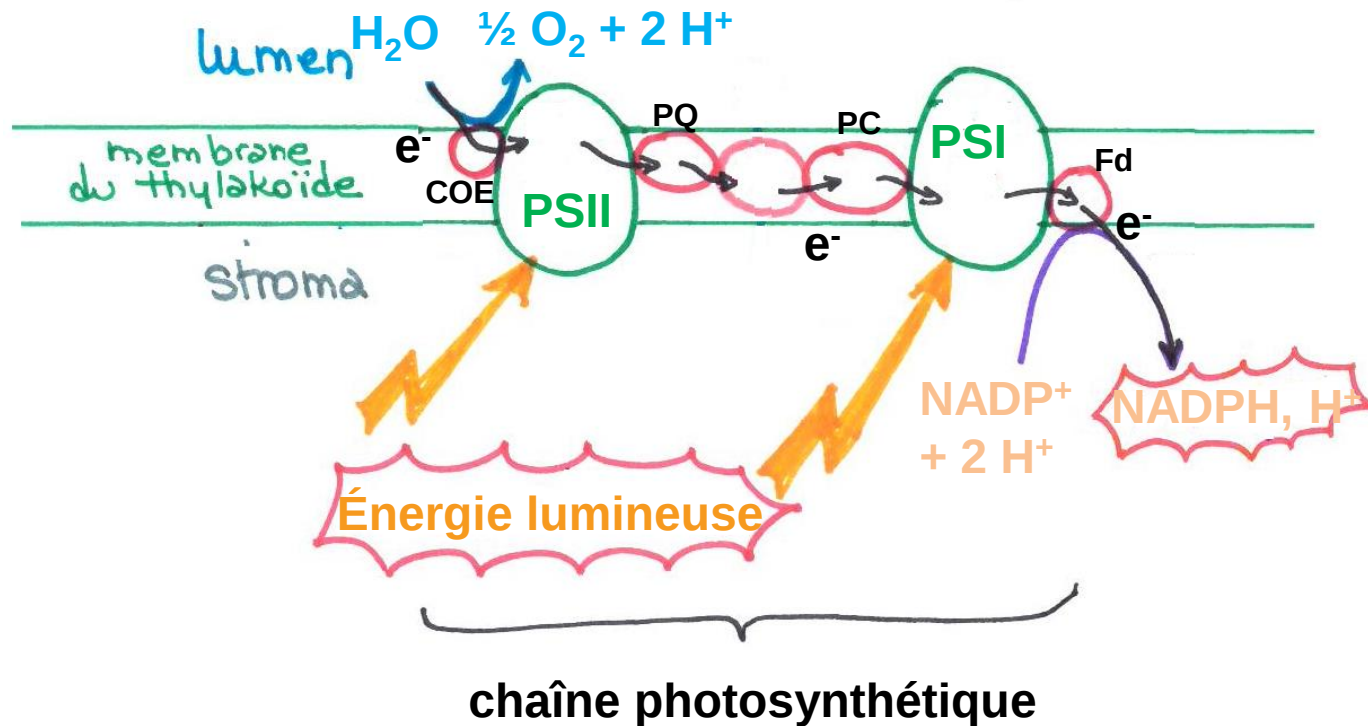
Fonctionnement de la chaîne photosynthétique et établissement d'un gradient protonique



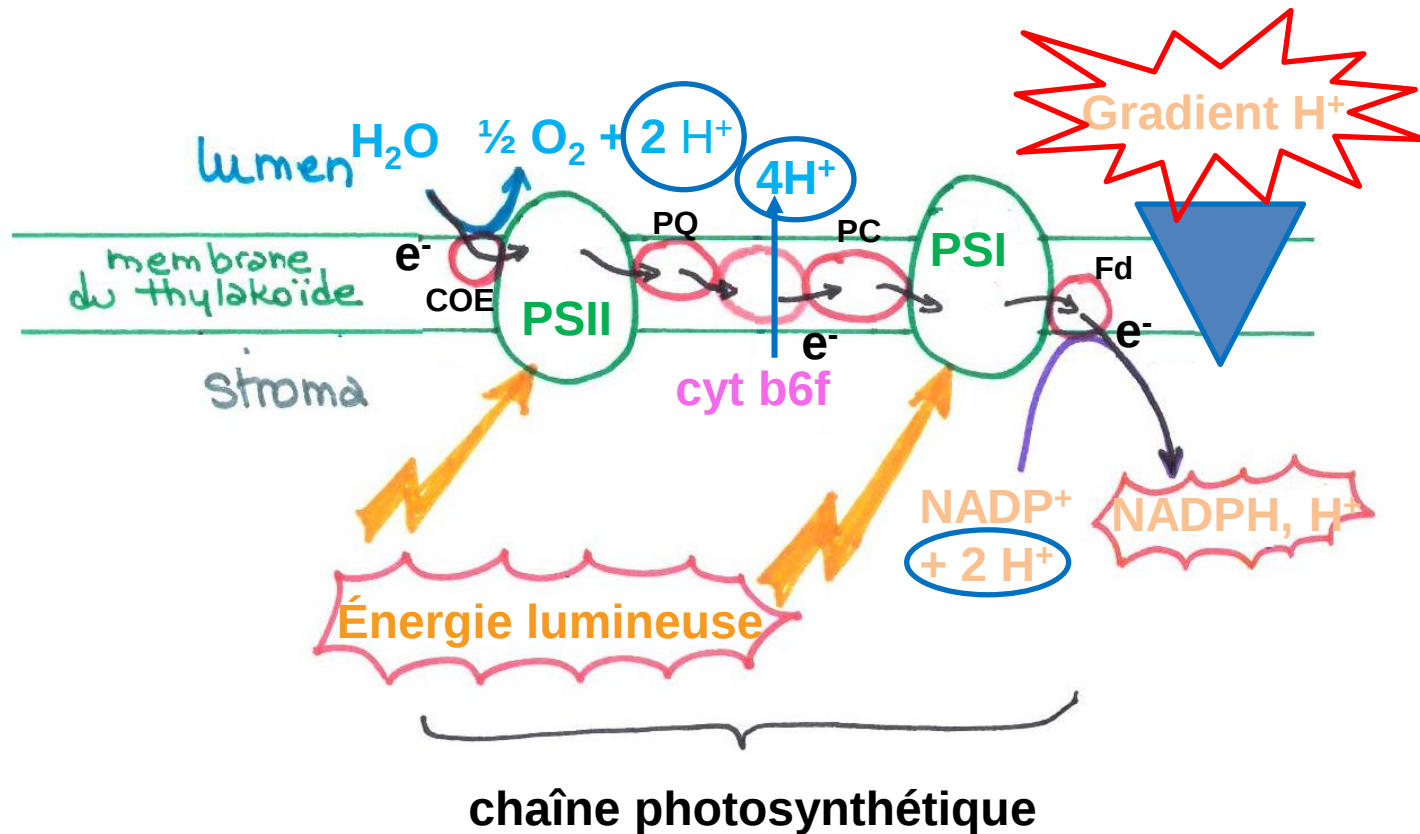
Fonctionnement de la chaîne photosynthétique et établissement d'un gradient protonique



Fonctionnement de la chaîne photosynthétique et établissement d'un gradient protonique



Fonctionnement de la chaîne photosynthétique et établissement d'un gradient protonique



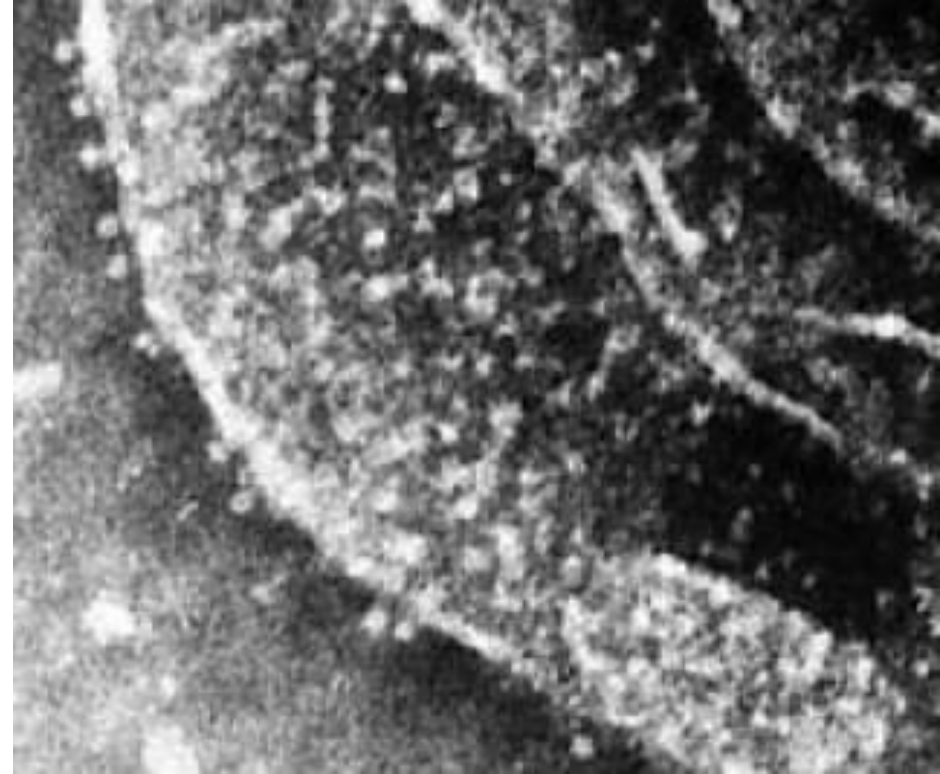
Observation de membranes de thylacoïdes en MET



Granum de feuille d'épinard (x 60 000)

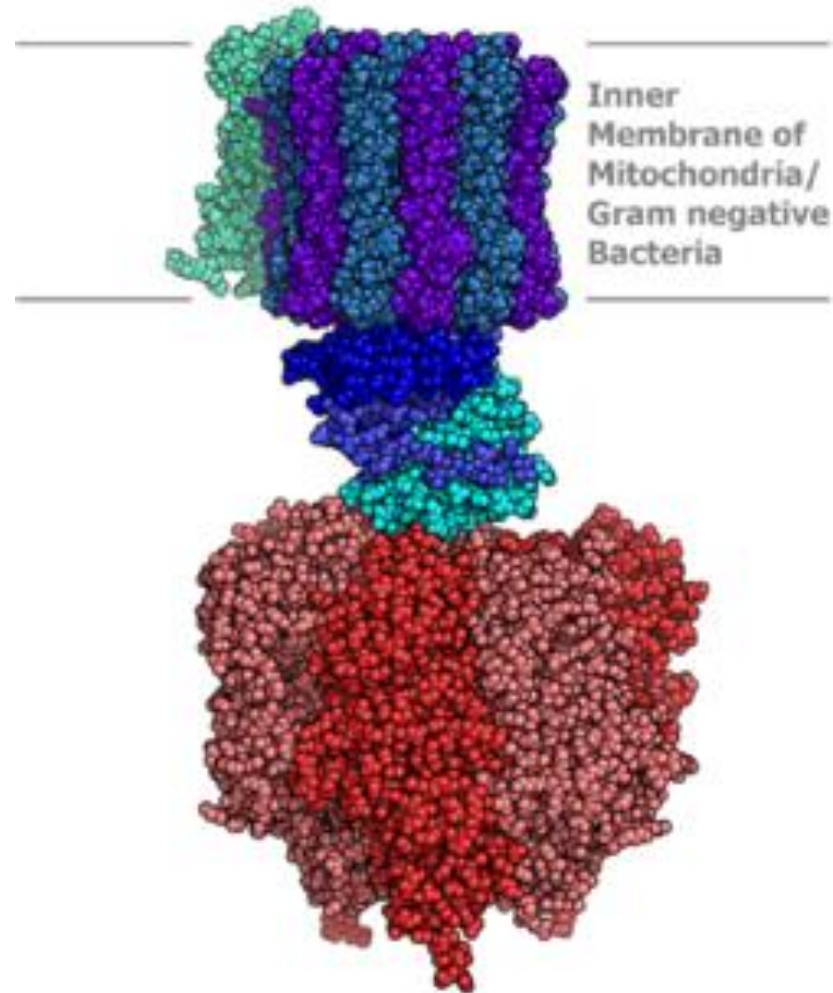
Coloration négative montrant un empilement de thylakoïdes désorganisés.

Les particules claires sur les membranes correspondent à des complexes protéiques?



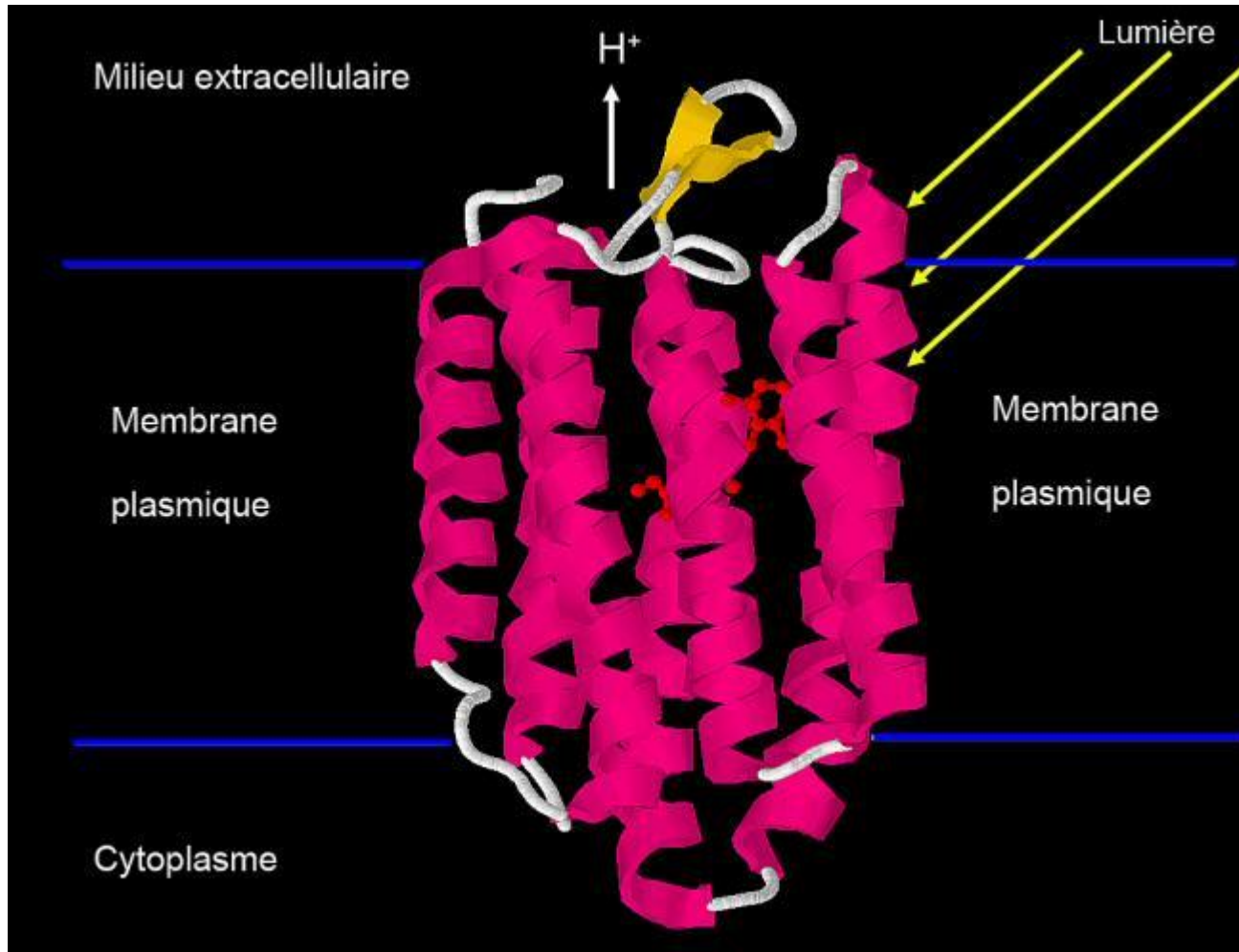
Détail du cliché précédent

Les complexes protéiques ont la forme de sphères pédonculées.



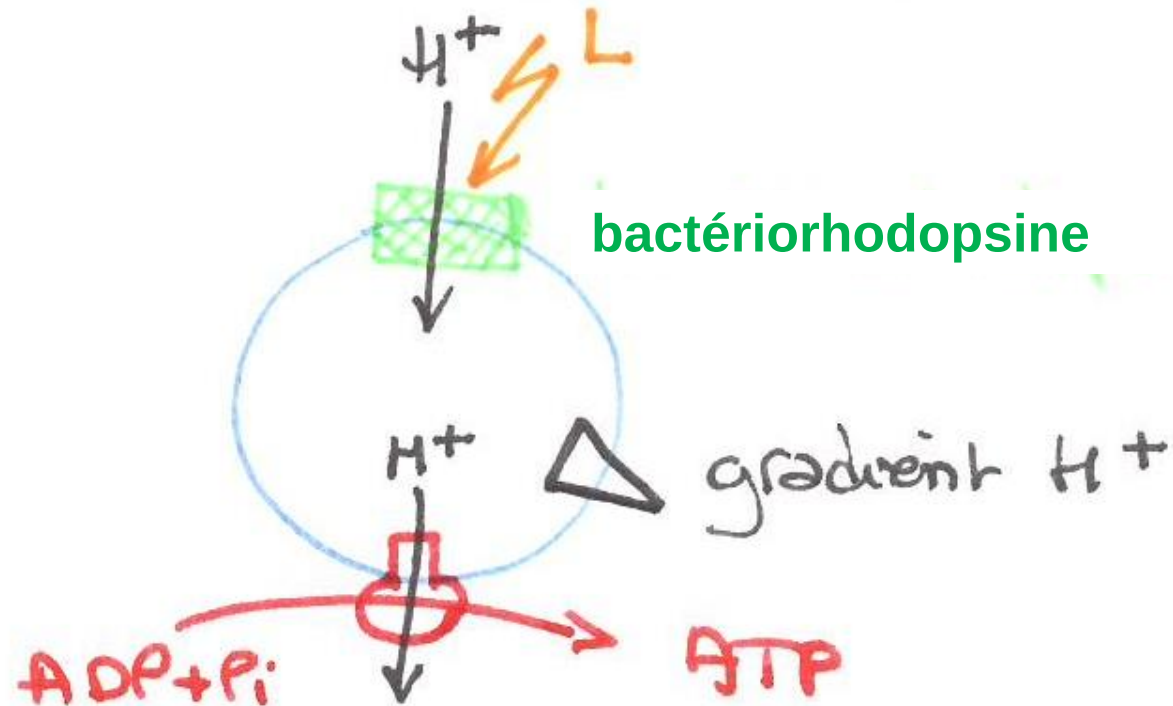
Structure des « sphères pédonculées déterminées par diffraction aux RX (stator non représenté)

https://en.wikipedia.org/wiki/ATP_synthase



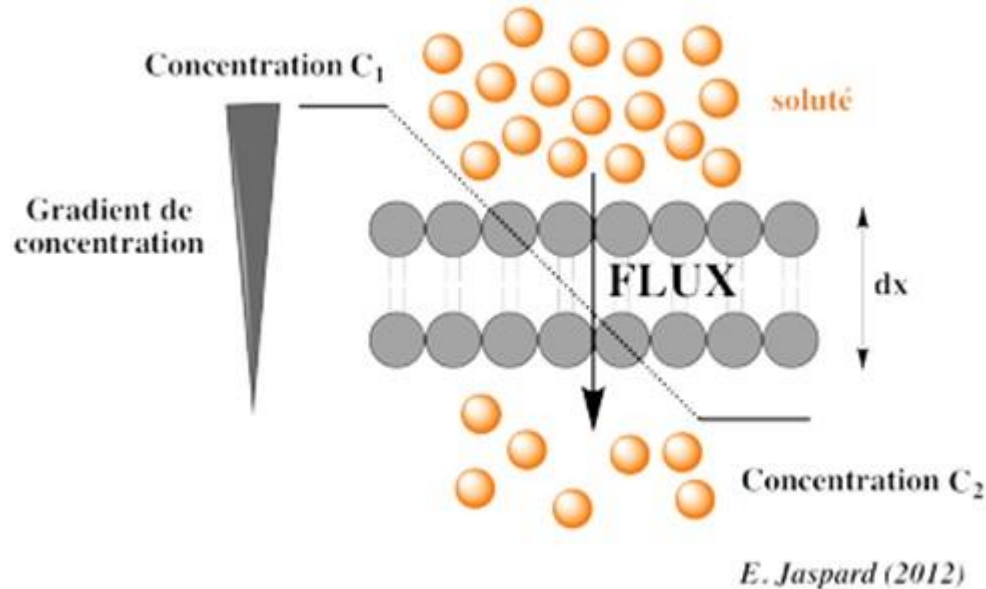
La bactériorhodopsine

Mise en évidence expérimentale de l'utilisation de la force proton motrice pour la synthèse d'ATP



L'énergie de gradient transmembranaire

Pour une substance non chargée :



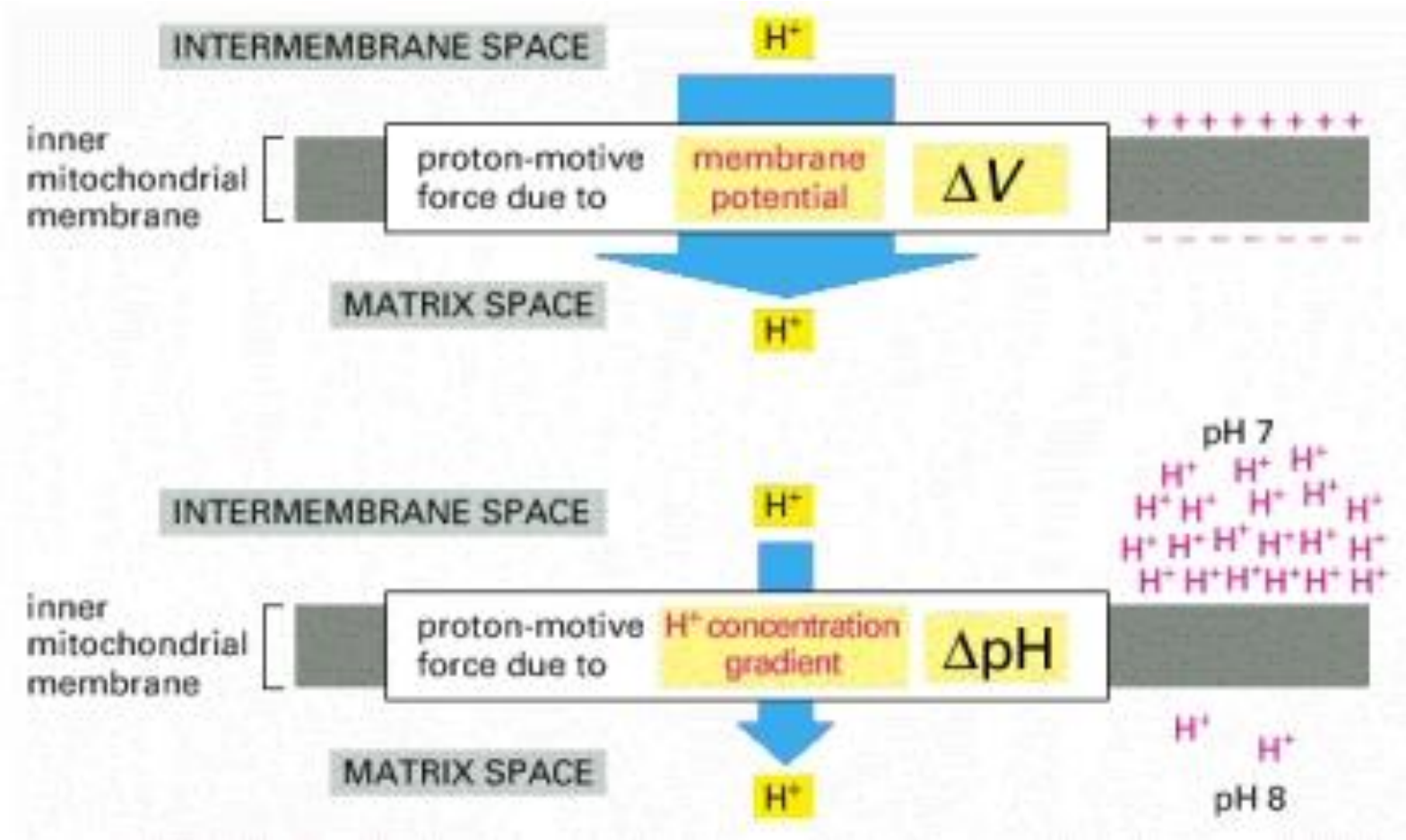
Pour un flux du compartiment 1 vers le compartiment 2 :

$$\Delta G = RT \ln C_2/C_1$$

Dans cet exemple, $[C_1] > [C_2]$ donc $\Delta G < 0$

L'énergie de gradient transmembranaire

Pour une substance chargée (ici les protons) :



Deux composantes pour le gradient électrochimique

$$\Delta G = RT \ln C_2/C_1 + ZF\Delta V$$

Détermination de la dissipation d'énergie libre ΔG liée au transfert d'un ion H^+

Pour le transfert d'un H^+ de l'espace intermembranaire (1) à la matrice mitochondriale (2) :

$$\Delta G_{1-2} = RT \ln C_2/C_1 + z F \Delta V$$

devient (car $pH = -\log_{10} [H^+]$) :

$$\Delta G_{1-2} = 2,3 RT [pH_1 - pH_2] + z F \Delta V$$

Avec $R = 8,31$ $T = 310$ K $z = 1$ et $F = 96485$ c/mol

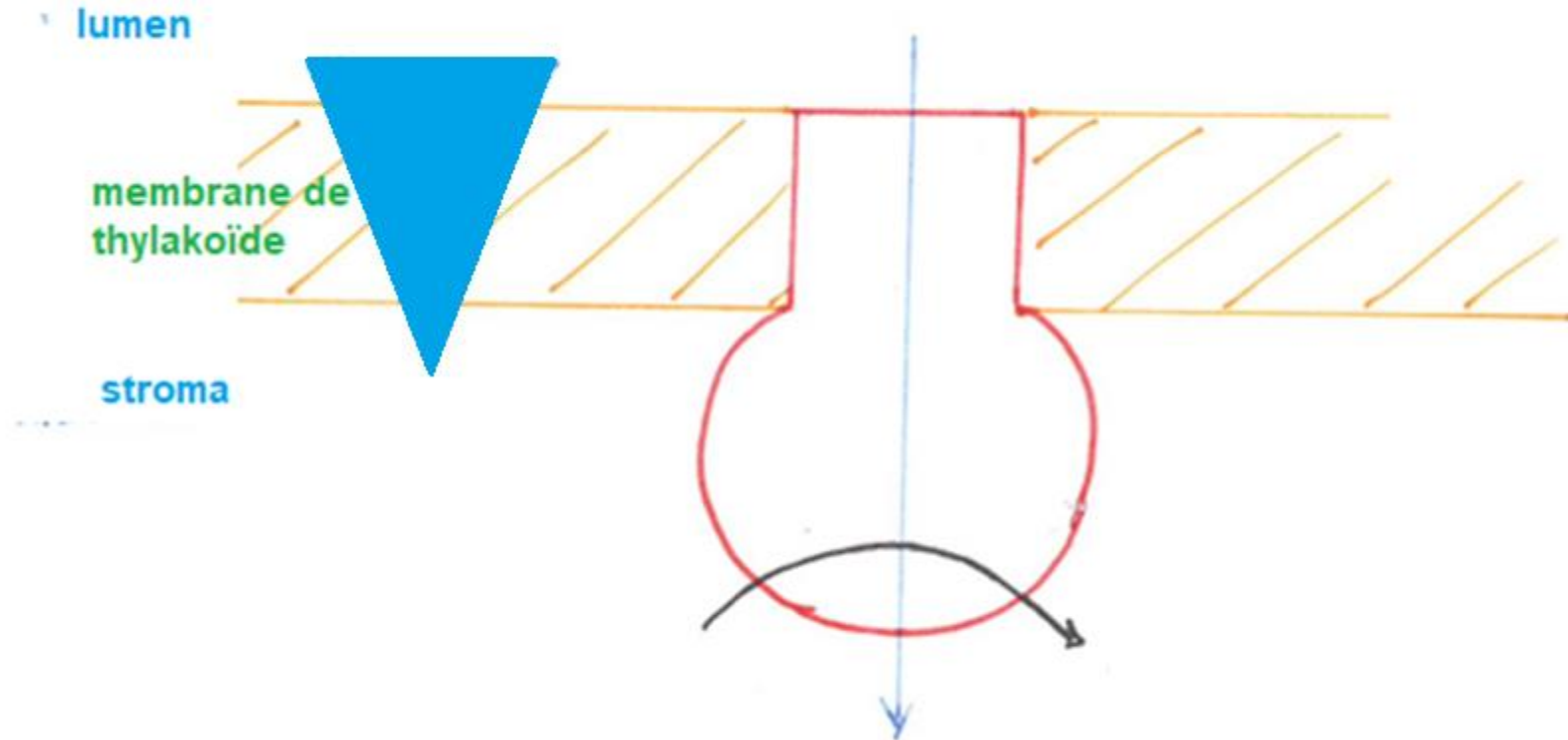
Dans les conditions physiologiques (25°C) : $\Delta pH = -3$ et $\Delta V = 0$ V

d'où : **$\Delta G = -17$ kJ/mol de protons expulsés**

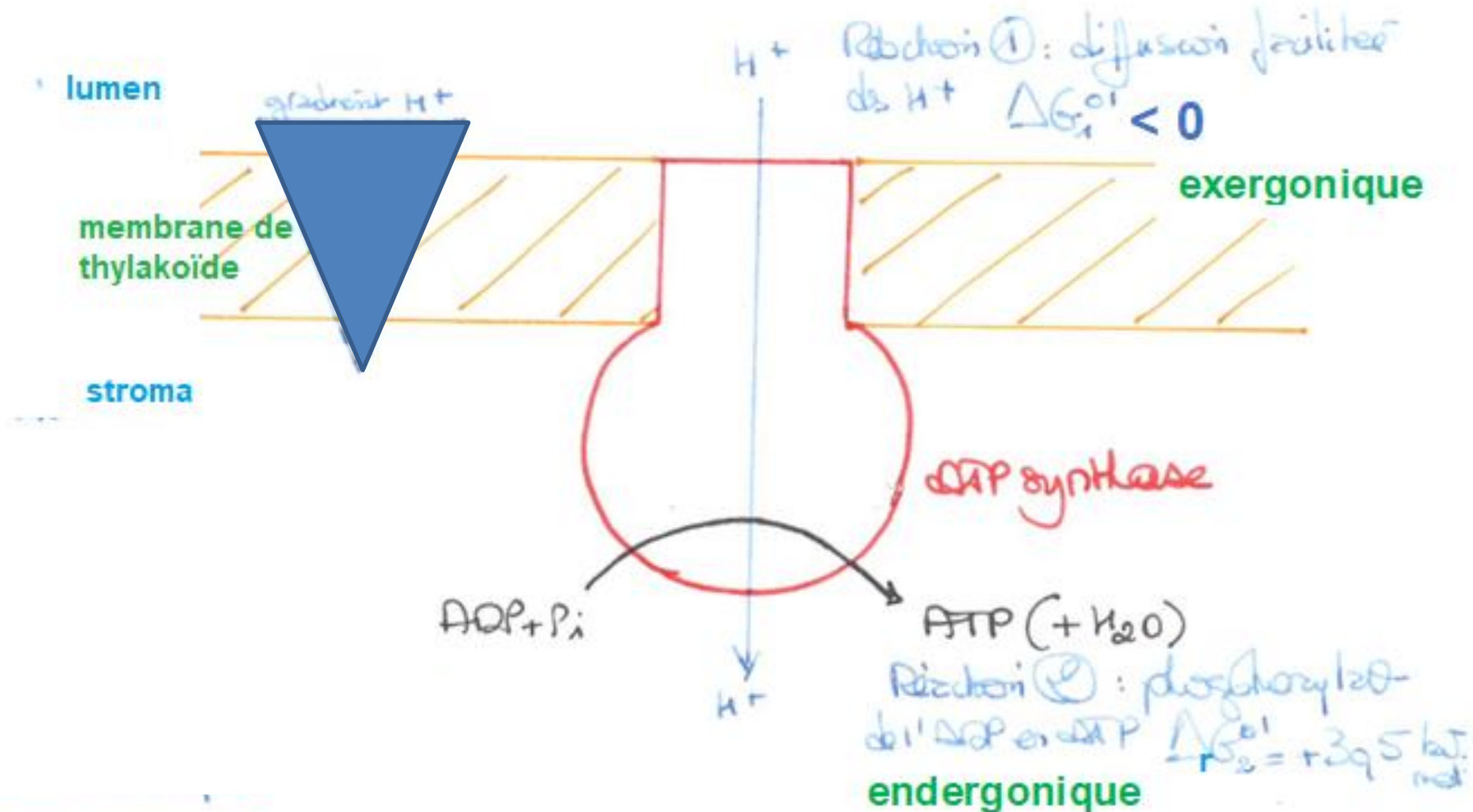
ΔrG synthèse ATP serait proche de 50 kJ/mol dans les conditions de vie cellulaire $\rightarrow$ flux de 3 à 4 H^+ nécessaire pour un ATP ?

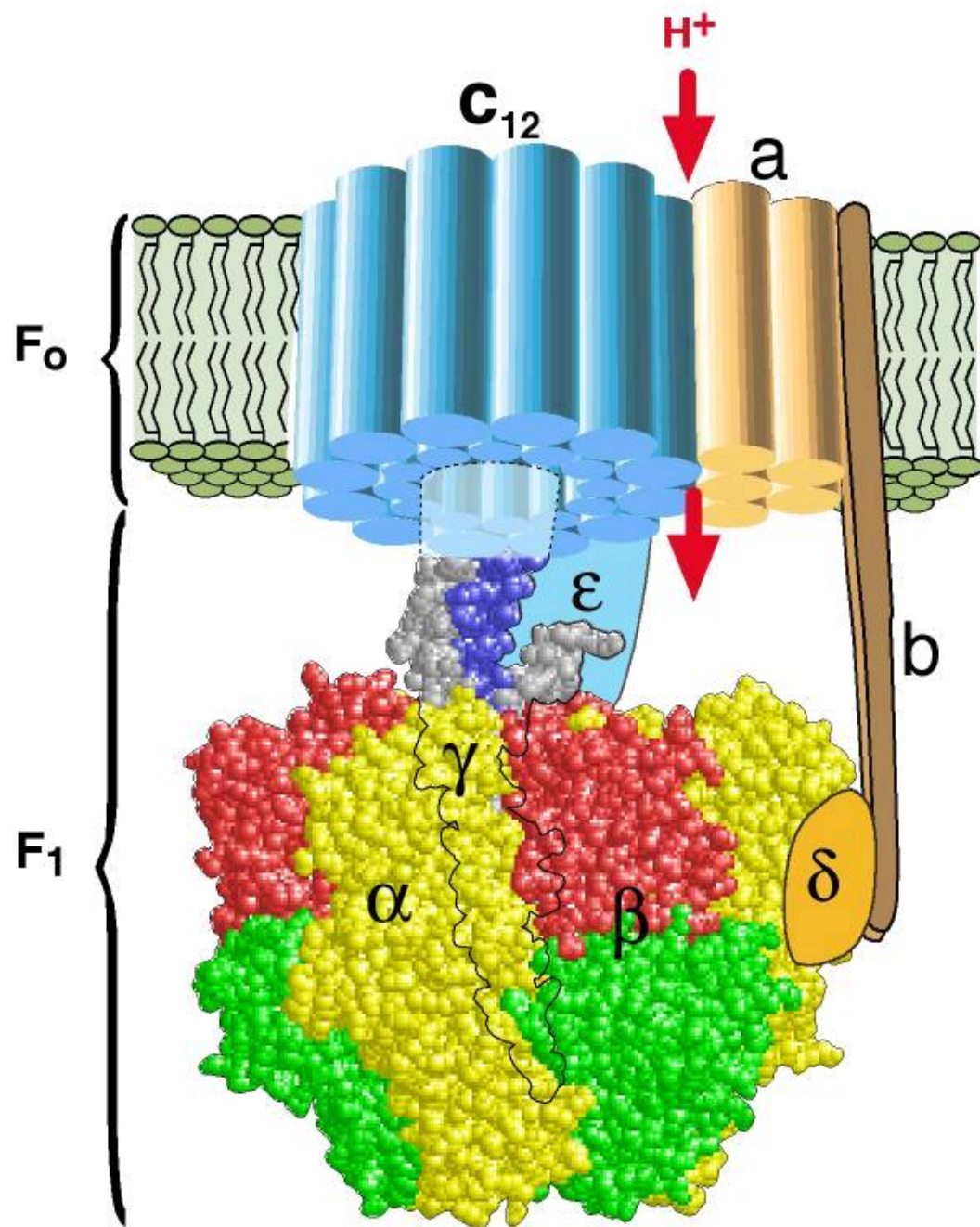
Ce ΔG peut varier selon la différence de pH...

La synthèse d'ATP par utilisation d'une force proton motrice : un couplage osmochimique



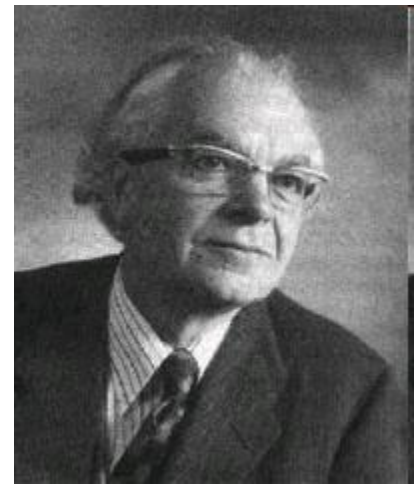
La synthèse d'ATP par utilisation d'une force proton motrice : un couplage osmochimique





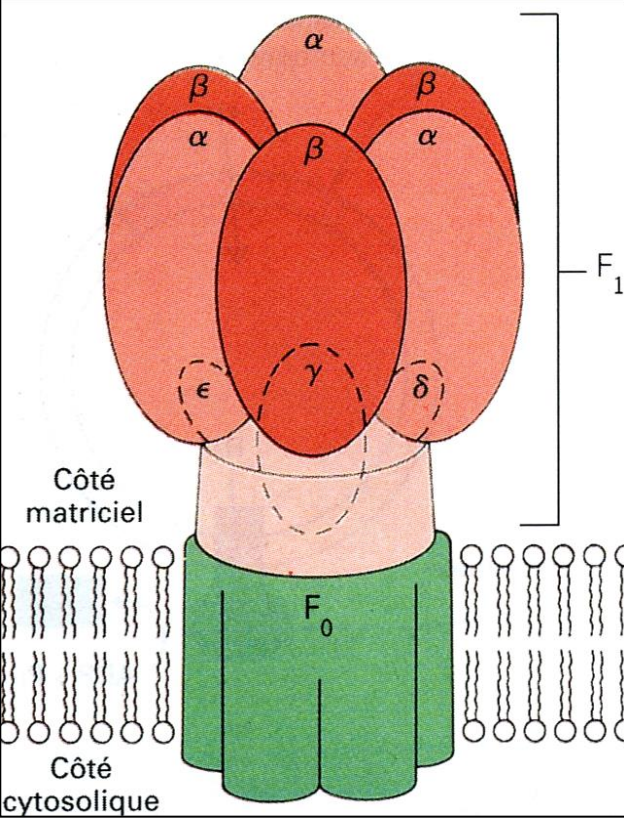
Modèle structural de l'ATP synthase

Peter D. Mitchell
Prix Nobel chimie
1978



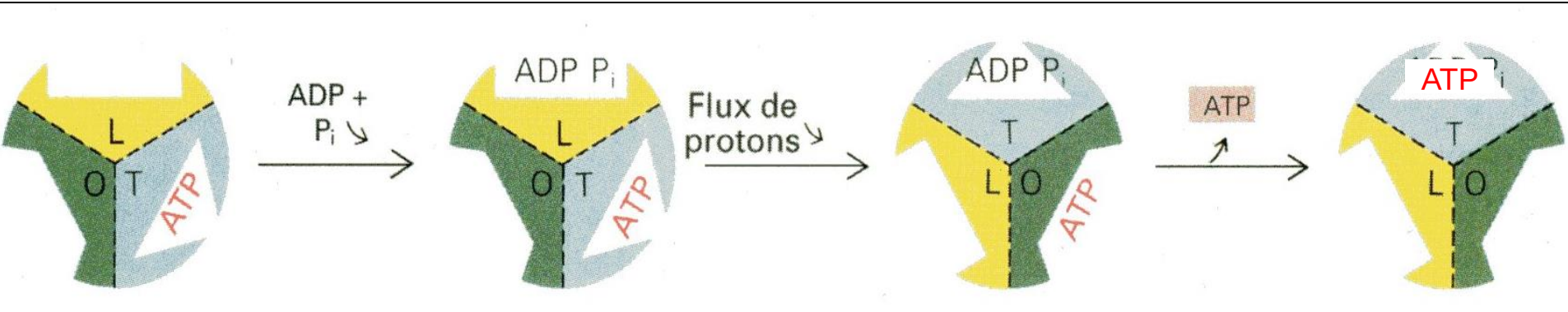
Document 23. Représentation schématique de l'ATP synthase.

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



Voir [l'animation !](https://youtu.be/kXpzp4RDGJI)

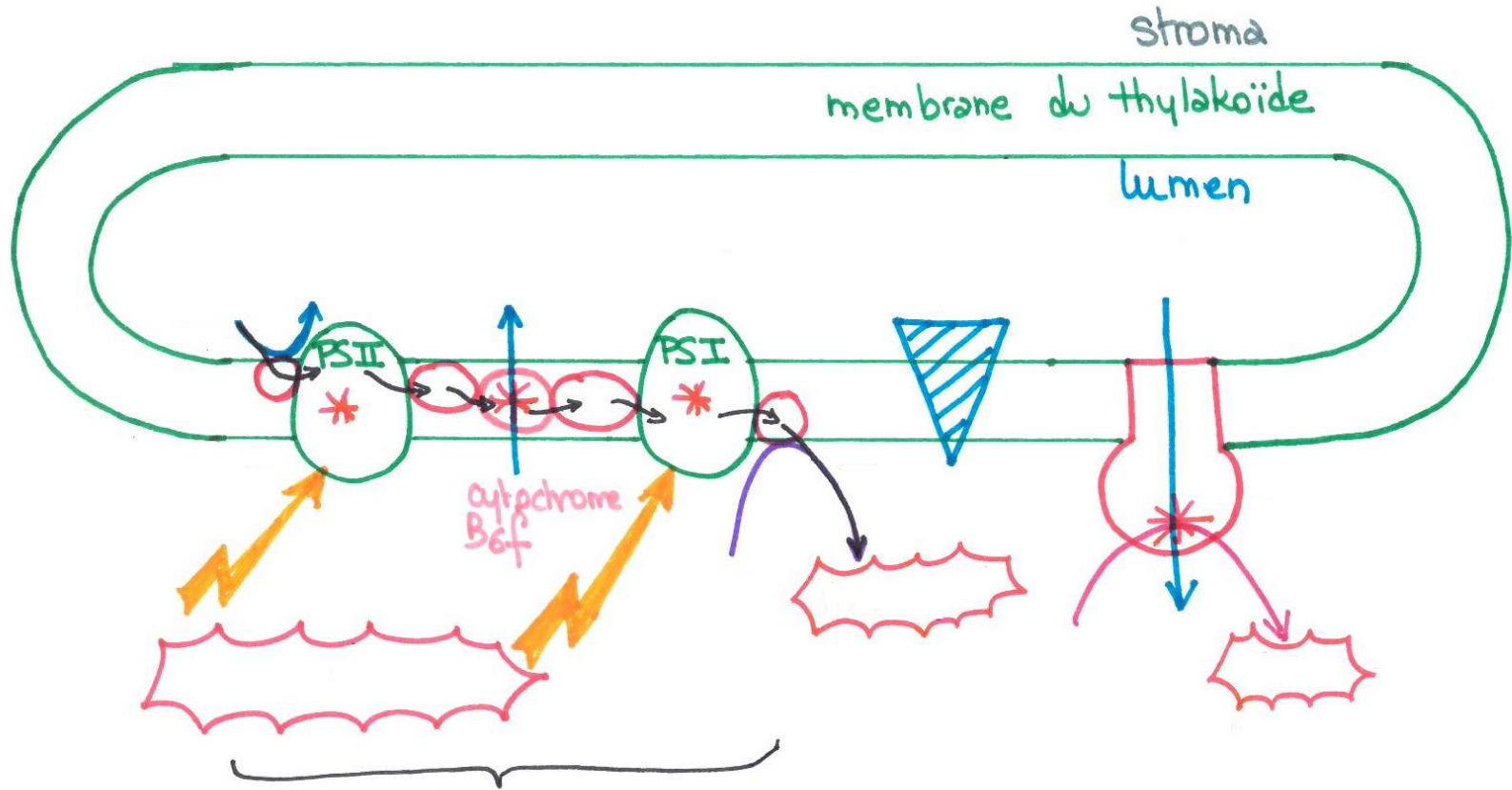
<https://youtu.be/kXpzp4RDGJI>



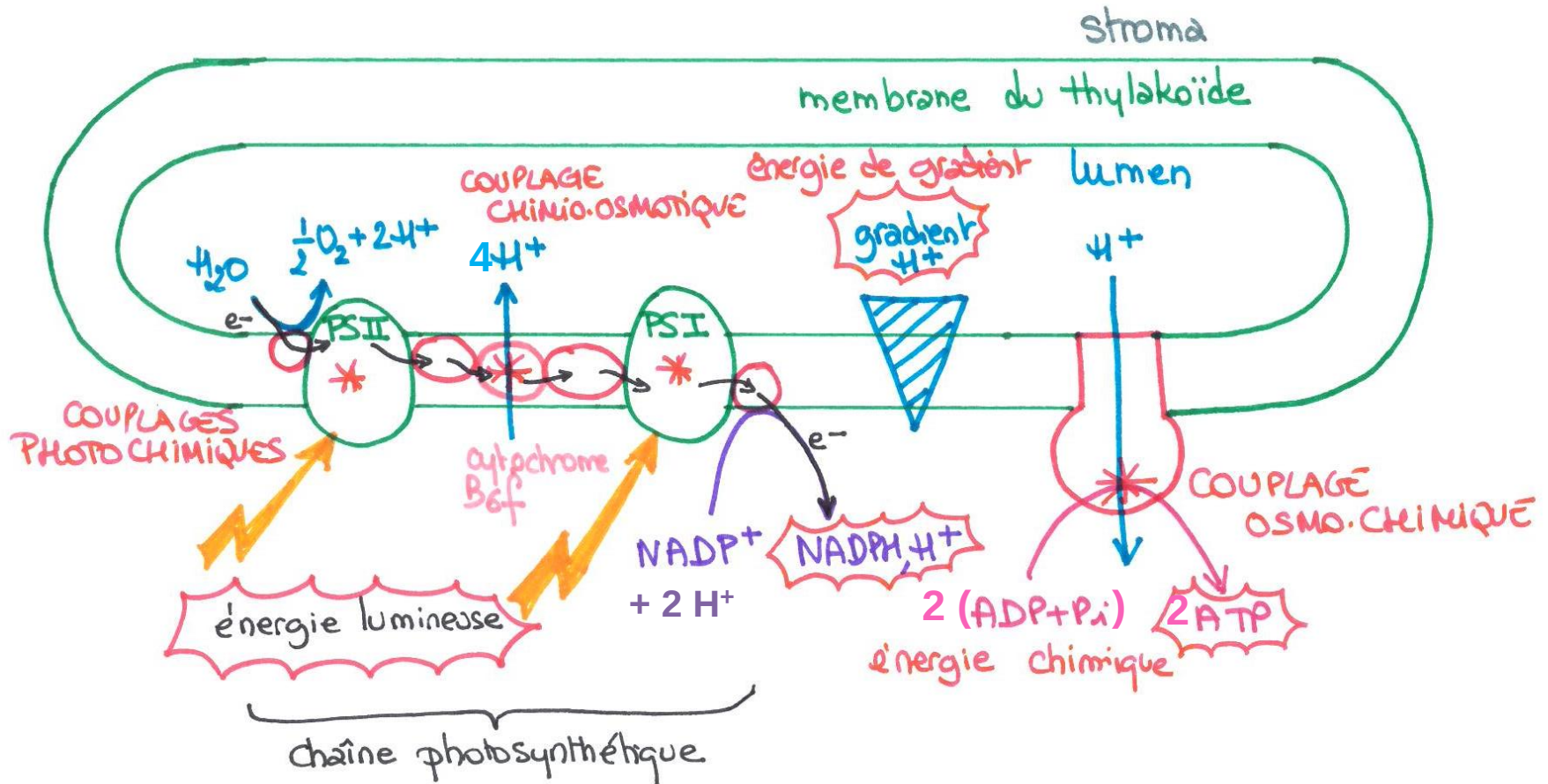
Document 24. Modèle de fonctionnement de l'ATP synthase.

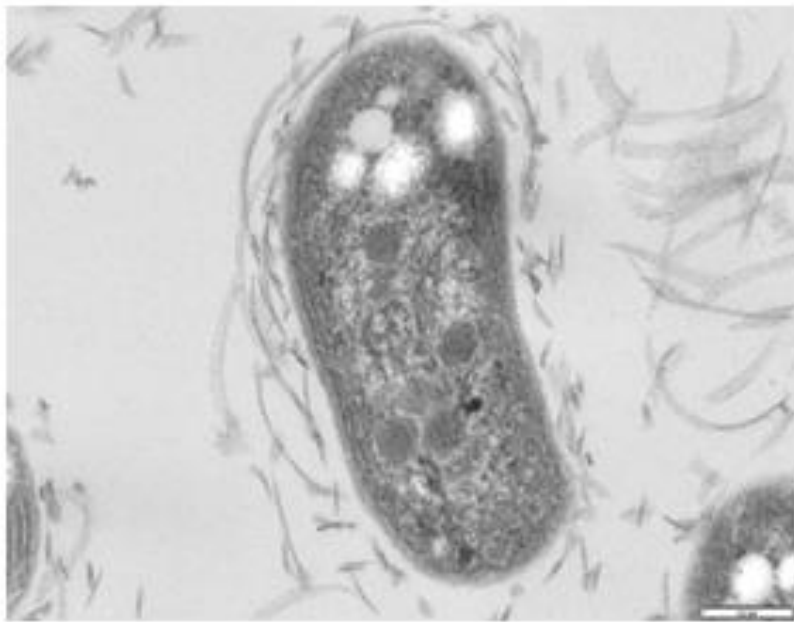
(d'après STRYER L., « La biochimie » Flammarion Médecine – Sciences Ed. ; 1997).

Couplages et conversions d'énergie dans la phase photochimique de la photosynthèse



Couplages et conversions d'énergie dans la phase photochimique de la photosynthèse





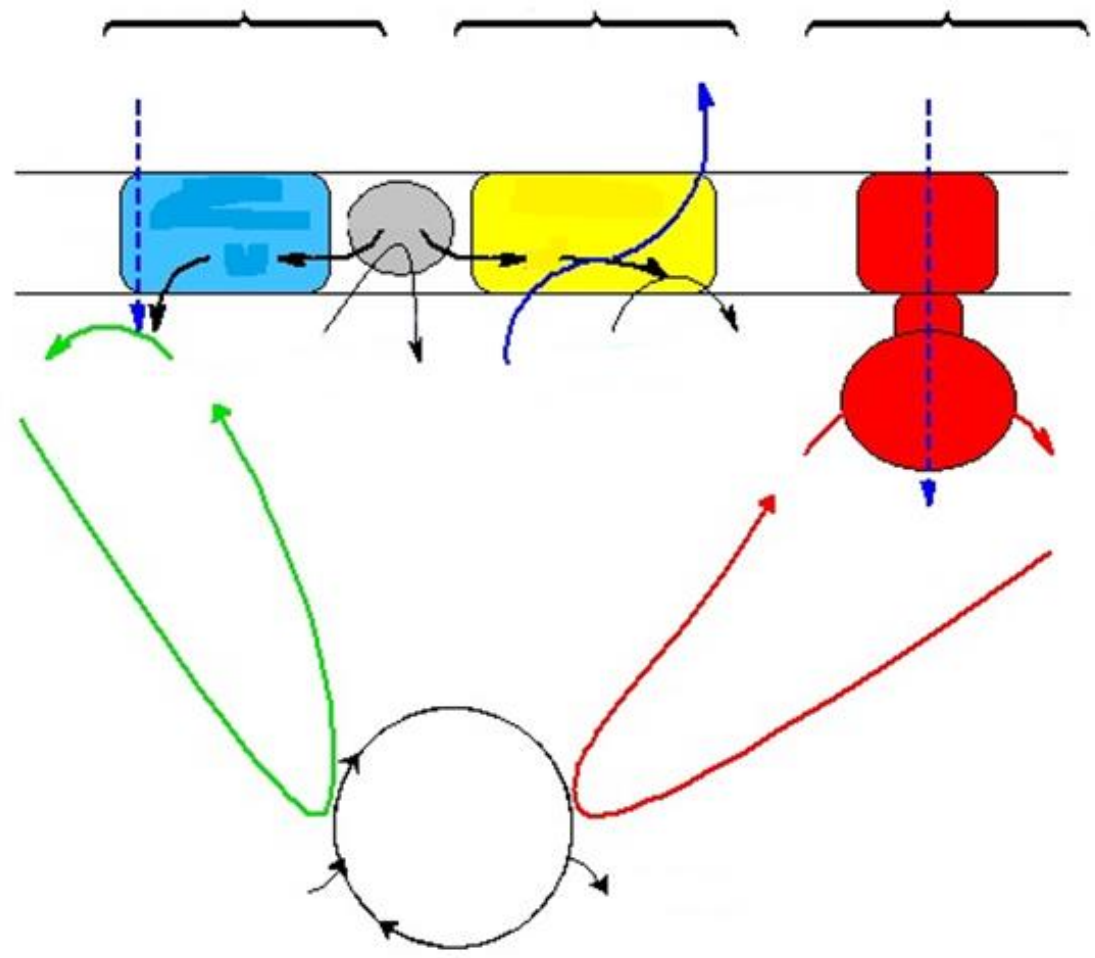
Nitrobacter se rencontre principalement dans les sols, l'eau douce et les eaux usées.

Nitrobacter (MET)

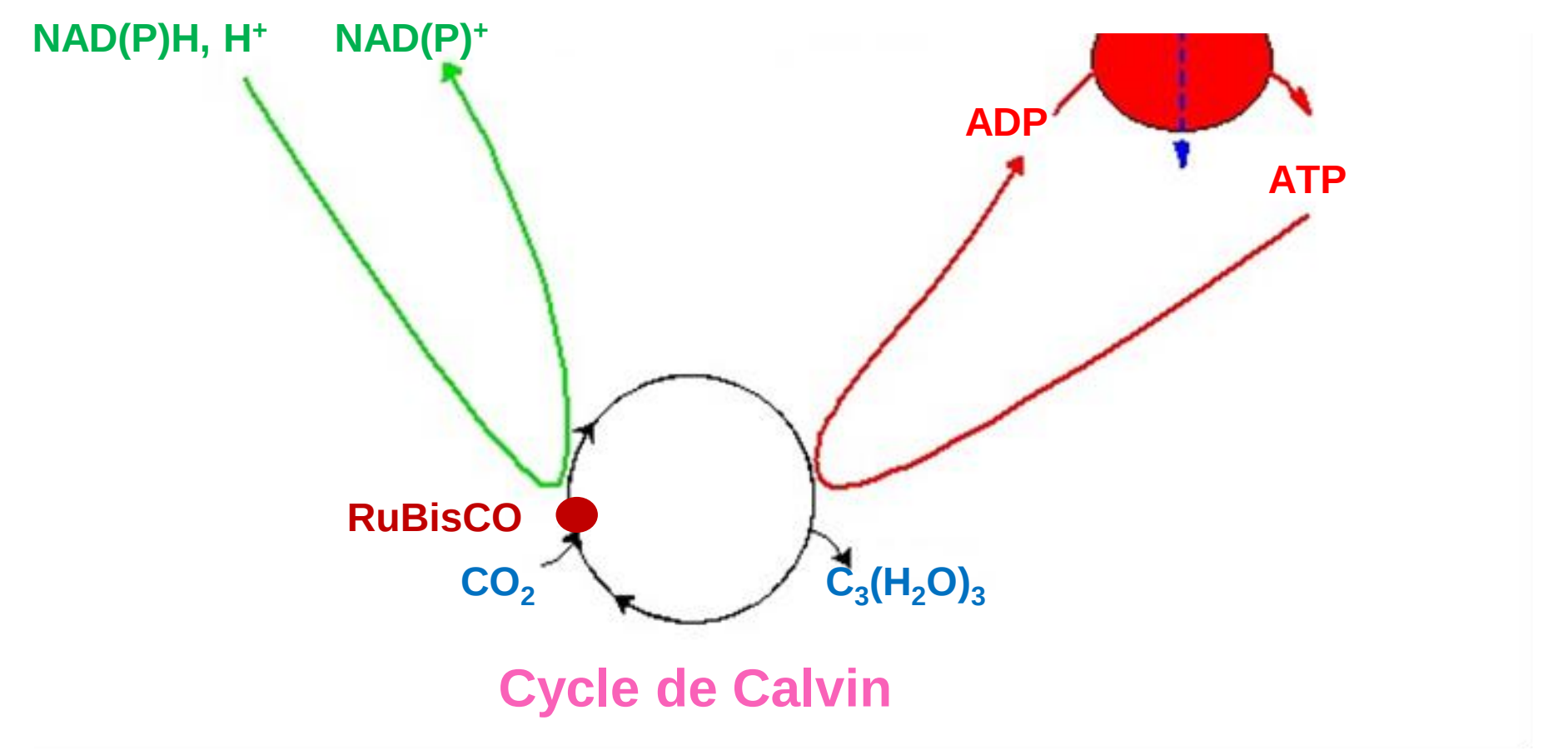
(W.J. Hickey, University of Wisconsin-Madison, 2006)

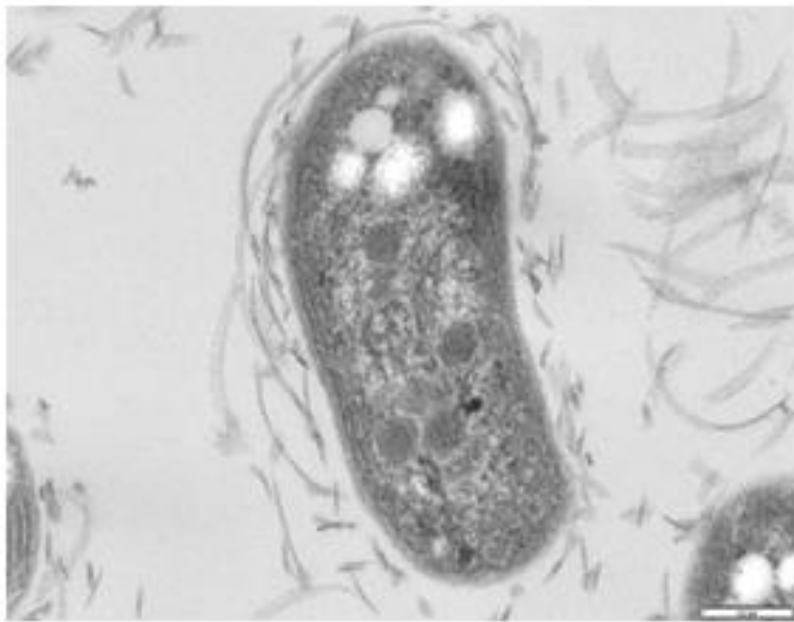
- **Peut être cultivée sur milieu exclusivement minéral**
- **Utilise le CO_2**
- **Si on fournit $^{14}\text{CO}_2 \rightarrow 1^{\text{ère}}$ molécule marquée = un composé en C3**
- **Immunodétection : mise en évidence de RuBisCO**

Document 25. Autotrophie au carbone (et à l'azote) d'une eubactérie nitratante.



Document 25. Autotrophie au carbone (et à l'azote) d'une eubactérie nitratante.



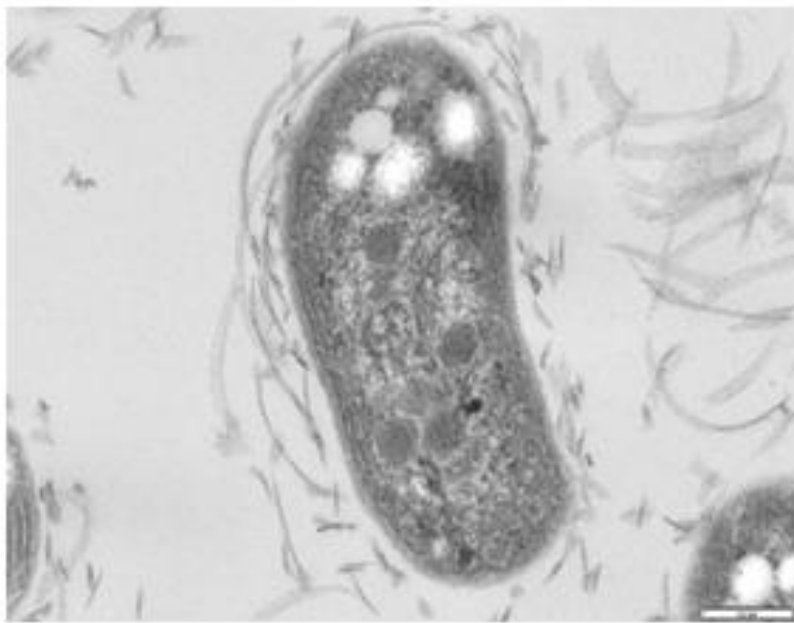


- Consomme de l' O_2
- Consomme des nitrites NO_2^-
- Produit des nitrates NO_3^-

Nitrobacter (MET)

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

De quelle réaction chimique s'agit-il ???



- Consomme de l' O_2
- Consomme des nitrites NO_2^-
- Produit des nitrates NO_3^-

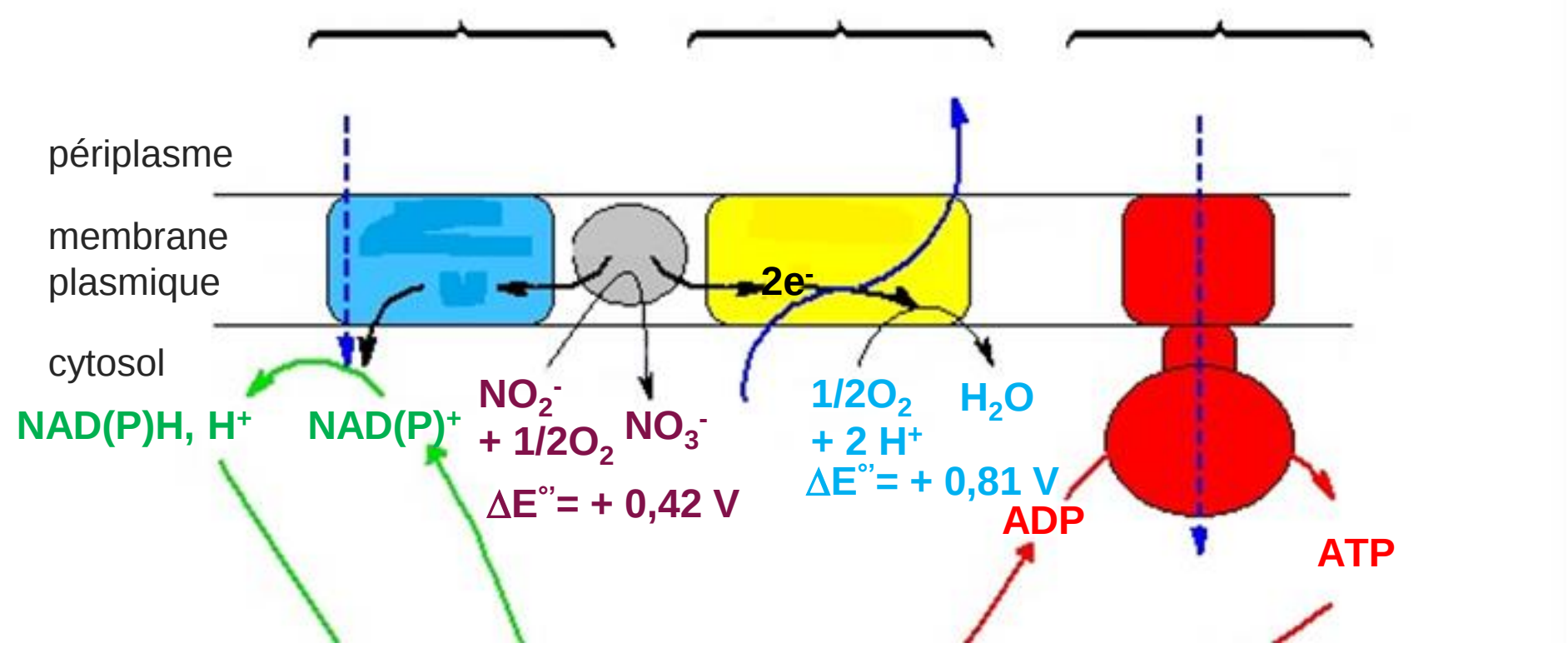
Nitrobacter (MET)

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

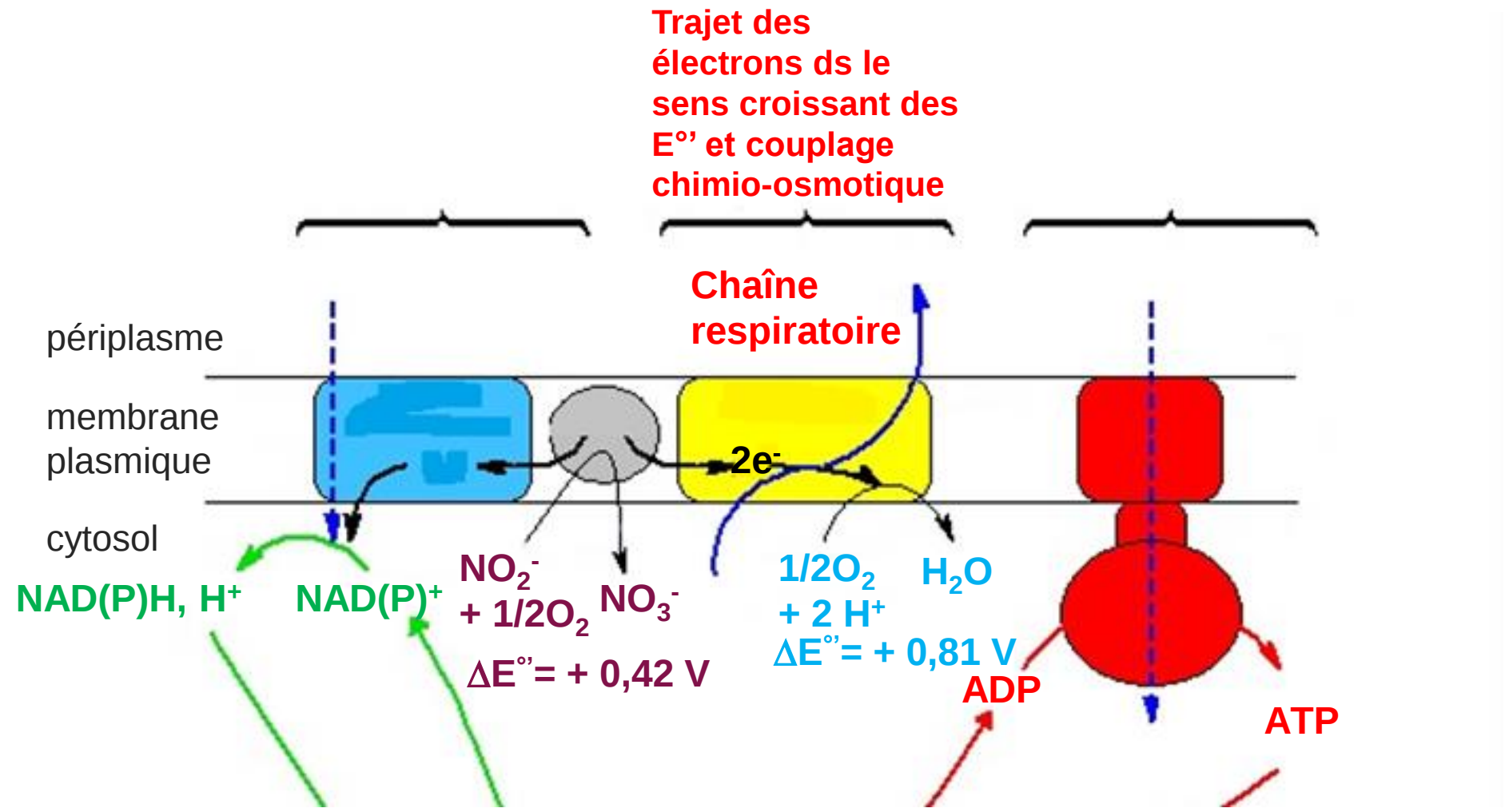


Réaction de nitratation

Document 25. Autotrophie au carbone (et à l'azote) d'une eubactérie nitratante.

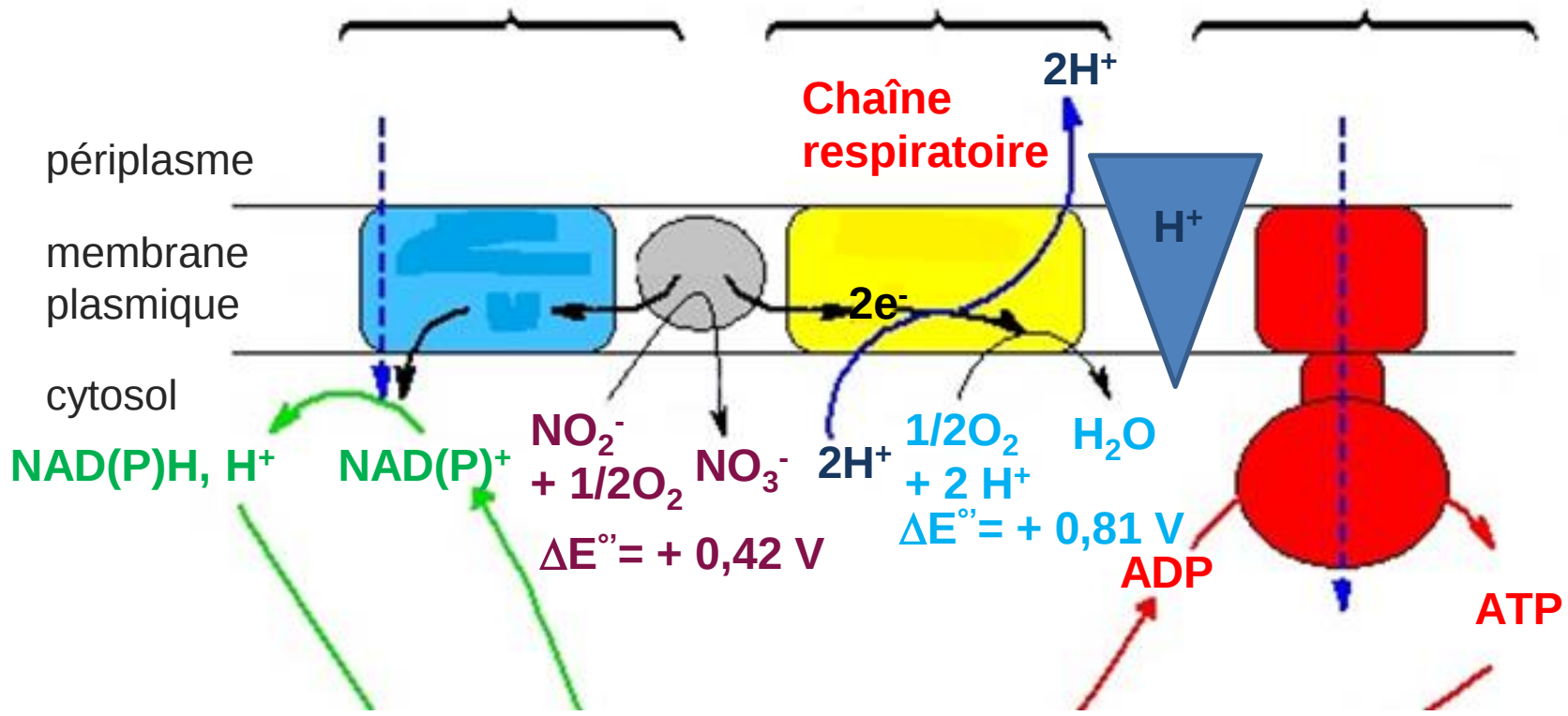


Document 25. Autotrophie au carbone (et à l'azote) d'une eubactérie nitratante.

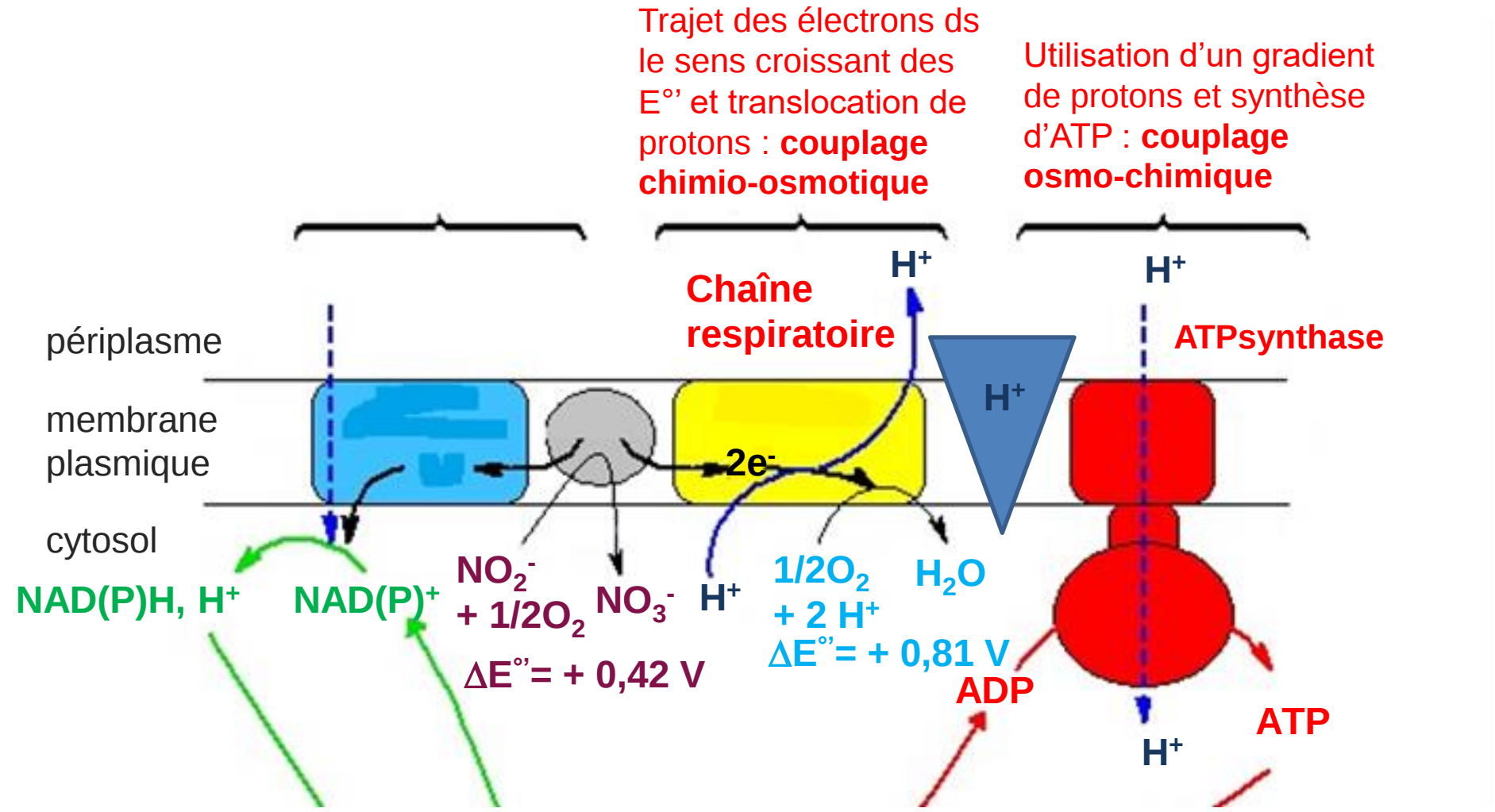


Document 25. Autotrophie au carbone (et à l'azote) d'une eubactérie nitratante.

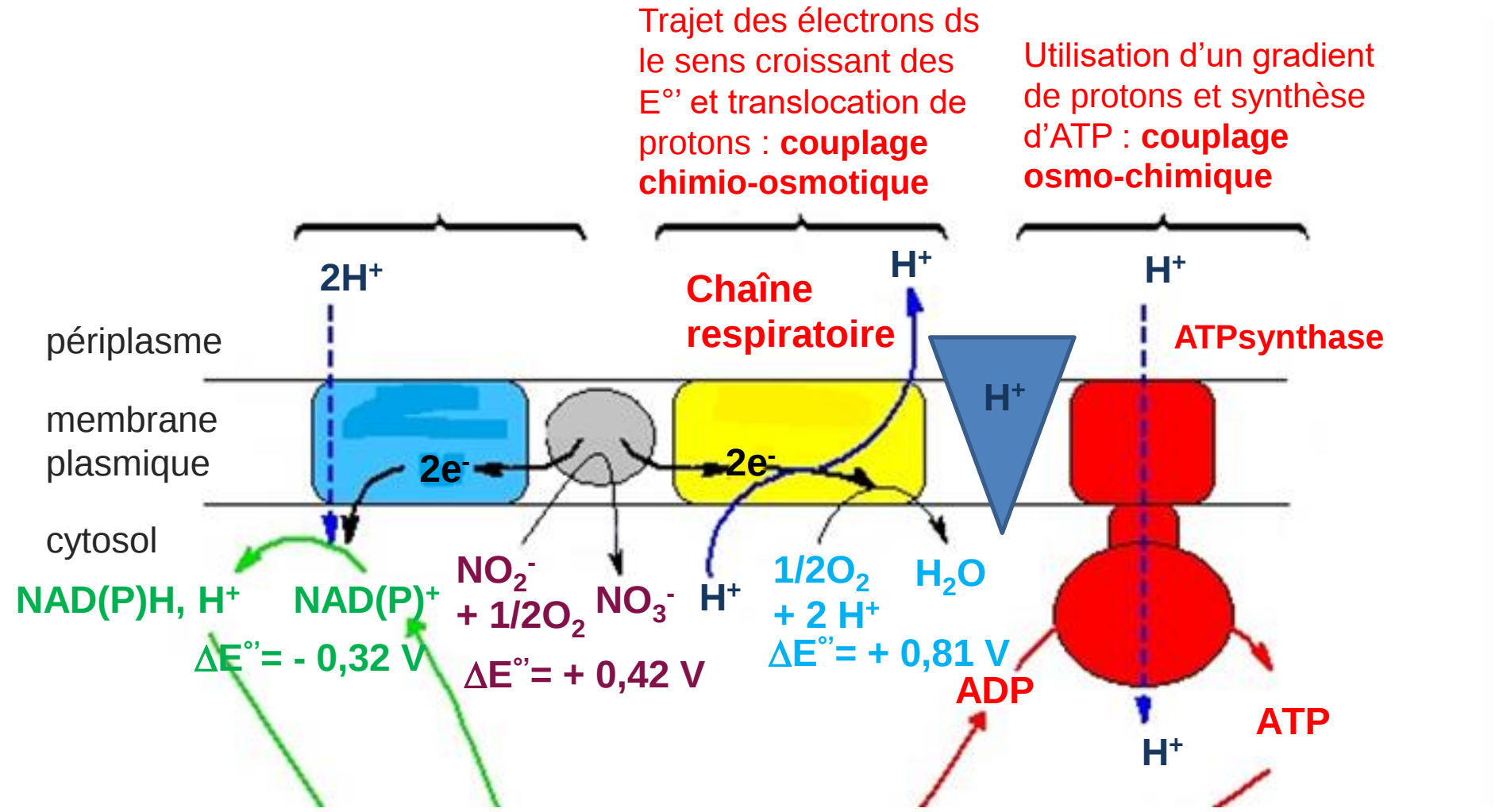
Trajet des électrons ds
le sens croissant des
 E° et translocation de
protons : **couplage
chimio-osmotique**



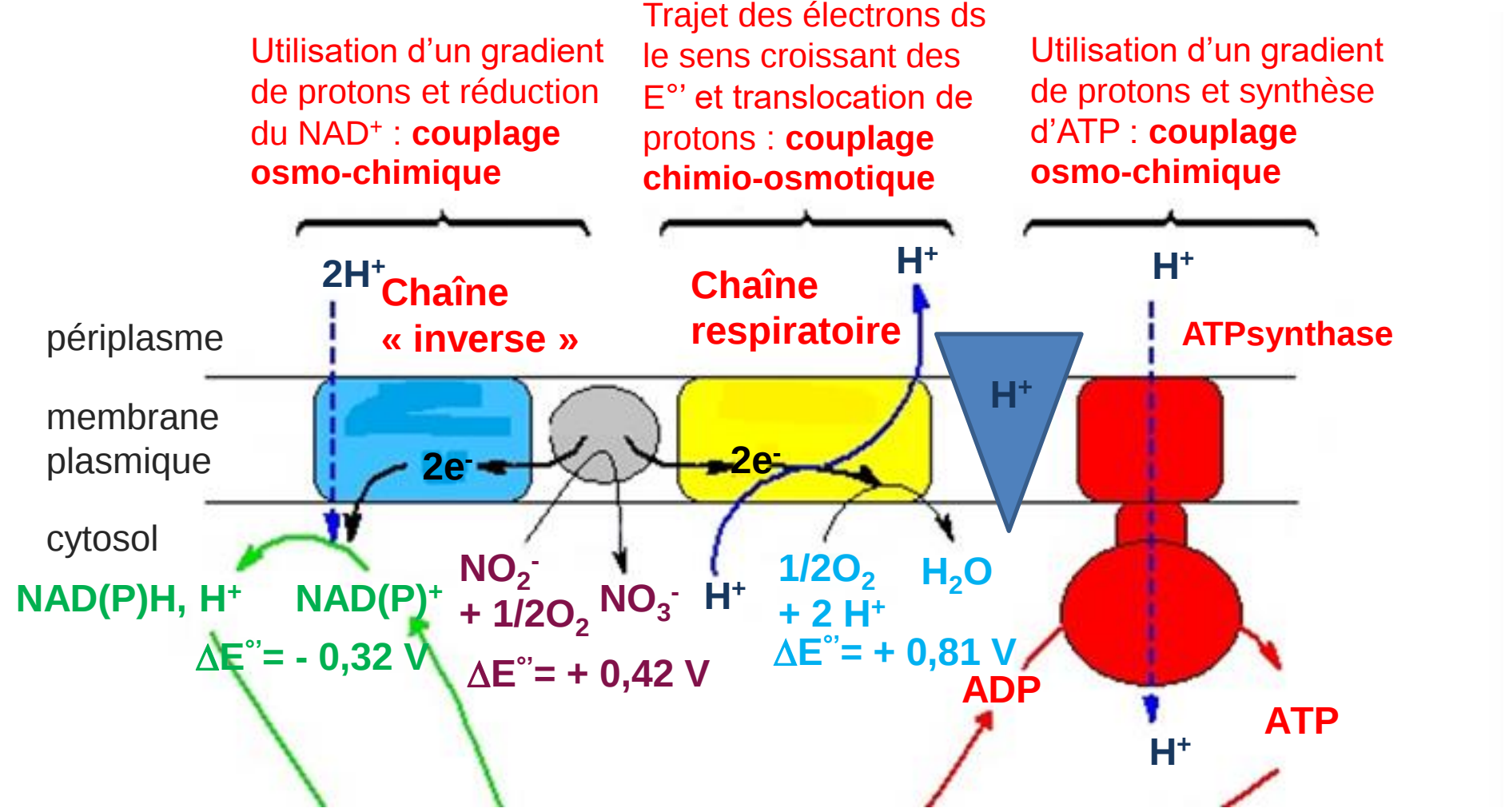
Document 25. Autotrophie au carbone (et à l'azote) d'une eubactérie nitratante.



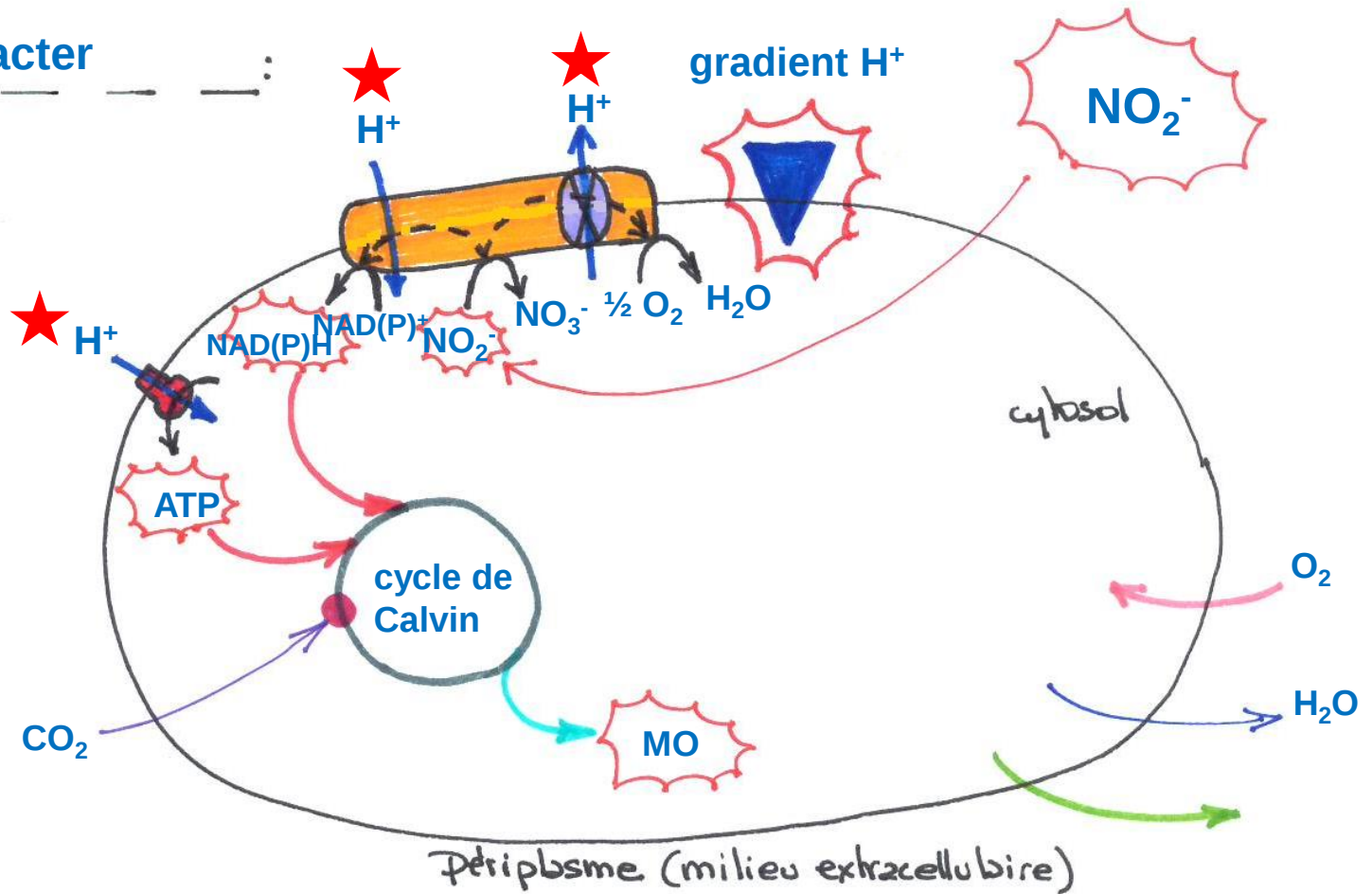
Document 25. Autotrophie au carbone (et à l'azote) d'une eubactérie nitratante.



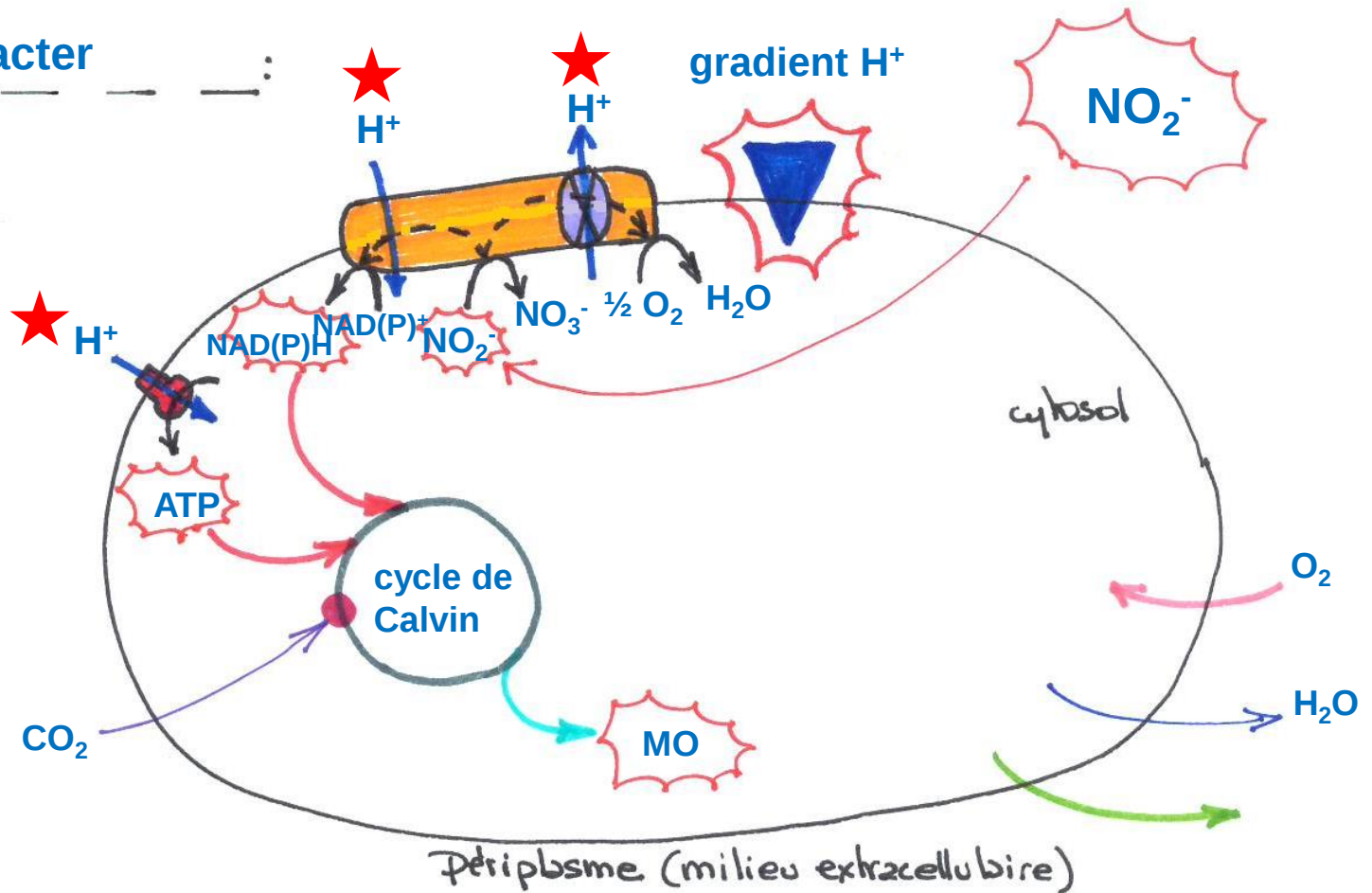
Document 25. Autotrophie au carbone (et à l'azote) d'une eubactérie nitratante.



Chez Nitrobacter

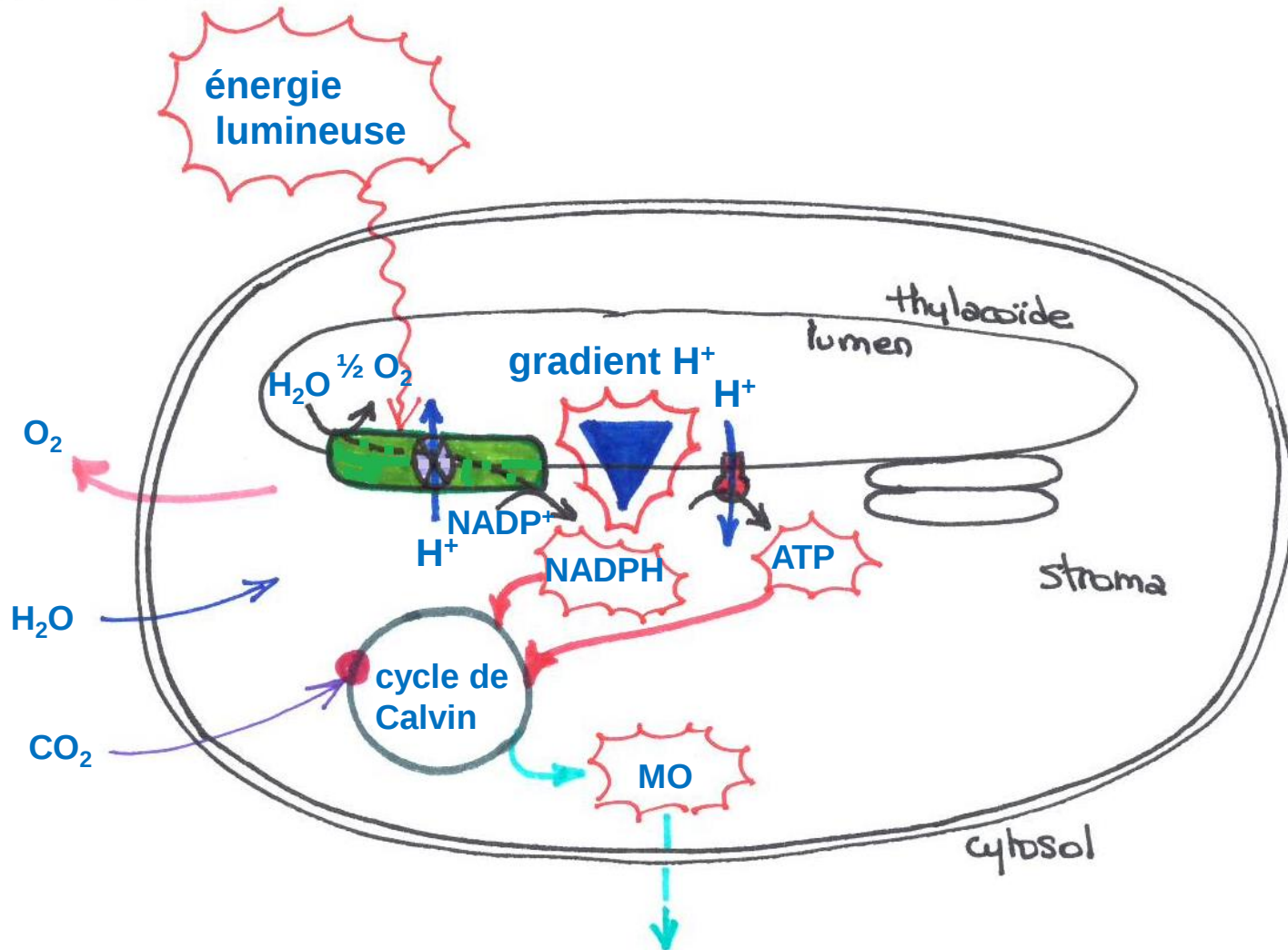


Chez Nitrobacter

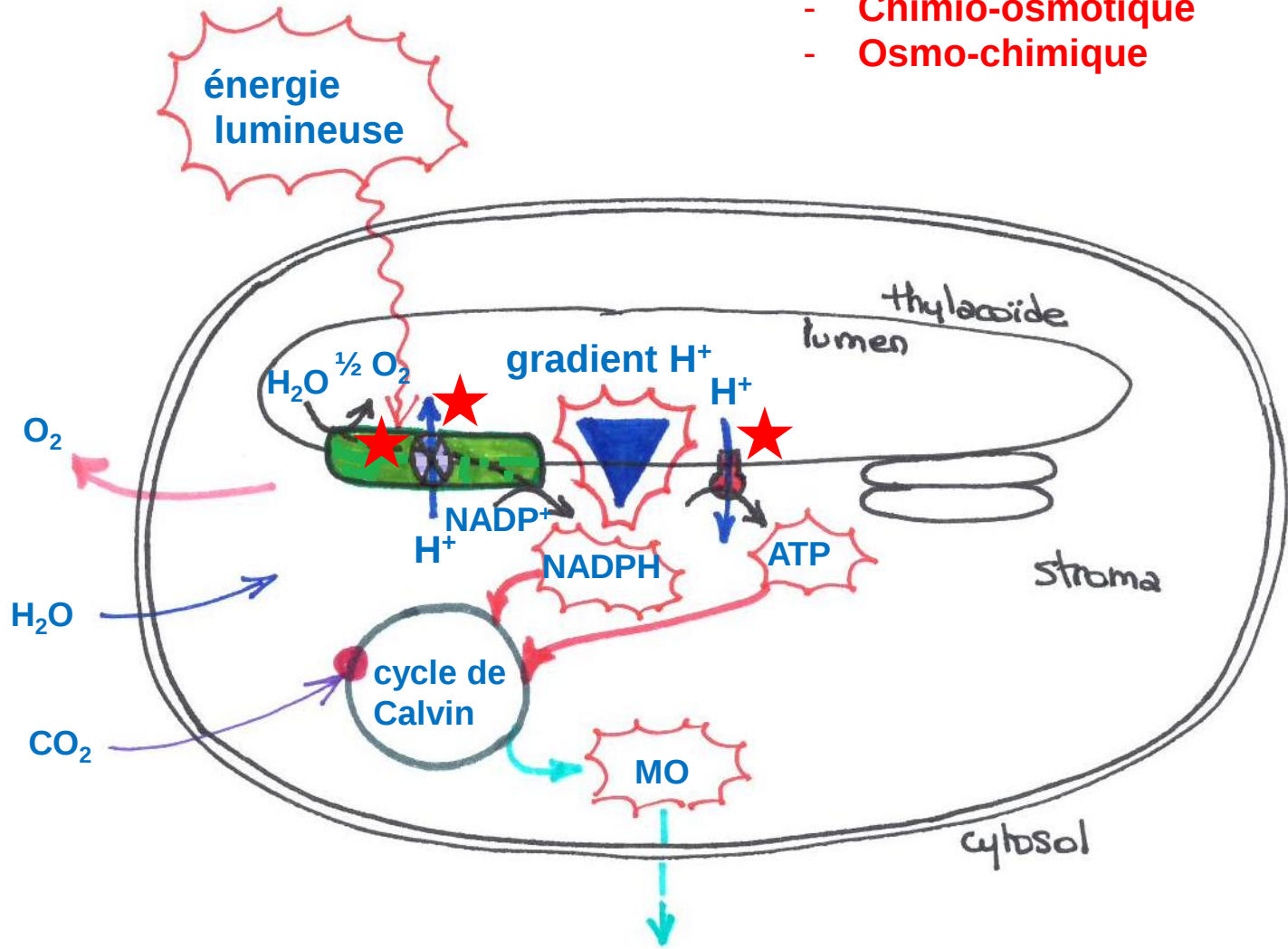


- ★ Conversions d'énergie :
- Chimio-osmotique
 - Osmo-chimique (x2)

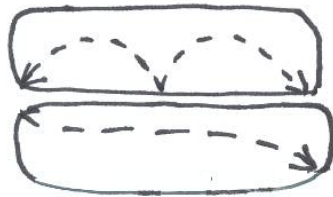
Dans le chloroplaste :



Dans le chloroplaste :



- ★ **Conversions d'énergie :**
- Photochimique
 - Chimio-osmotique
 - Osmo-chimique



Double chaîne de transfert d'électrons (Nitrobacter)

Chaîne photosynthétique (chloroplaste)



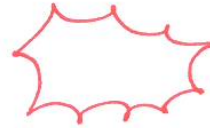
Translocation de protons financée par le trajet des électrons



ATP synthase



RuBisCO



Forme d'énergie



Conversion d'énergie

Document 27. L'hétérotrophie au carbone, exemple des Mammifères.

Argumenter l'approvisionnement des cellules en matière en prenant l'exemple du glucose chez les Mammifères

- Les cellules hétérotrophes prélèvent directement leur matière organique dans leur environnement.
- Ce prélèvement implique des échanges transmembranaires que ce soit au niveau des cellules constituant les surfaces d'échanges avec le milieu (cf absorption du glucose par l'entérocyte) ou au niveau de cellules consommatrices (GLUT des différentes cellules animales). **[Chapitre SV – C – 3]**
- Au sein d'un organisme pluricellulaire, un fluide circulant assure généralement le transport des molécules entre les différentes cellules (cf circulation sanguine et rôle de la lymphe interstitielle vus chez la vache). **[Chapitre SV – A – 1]**

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

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