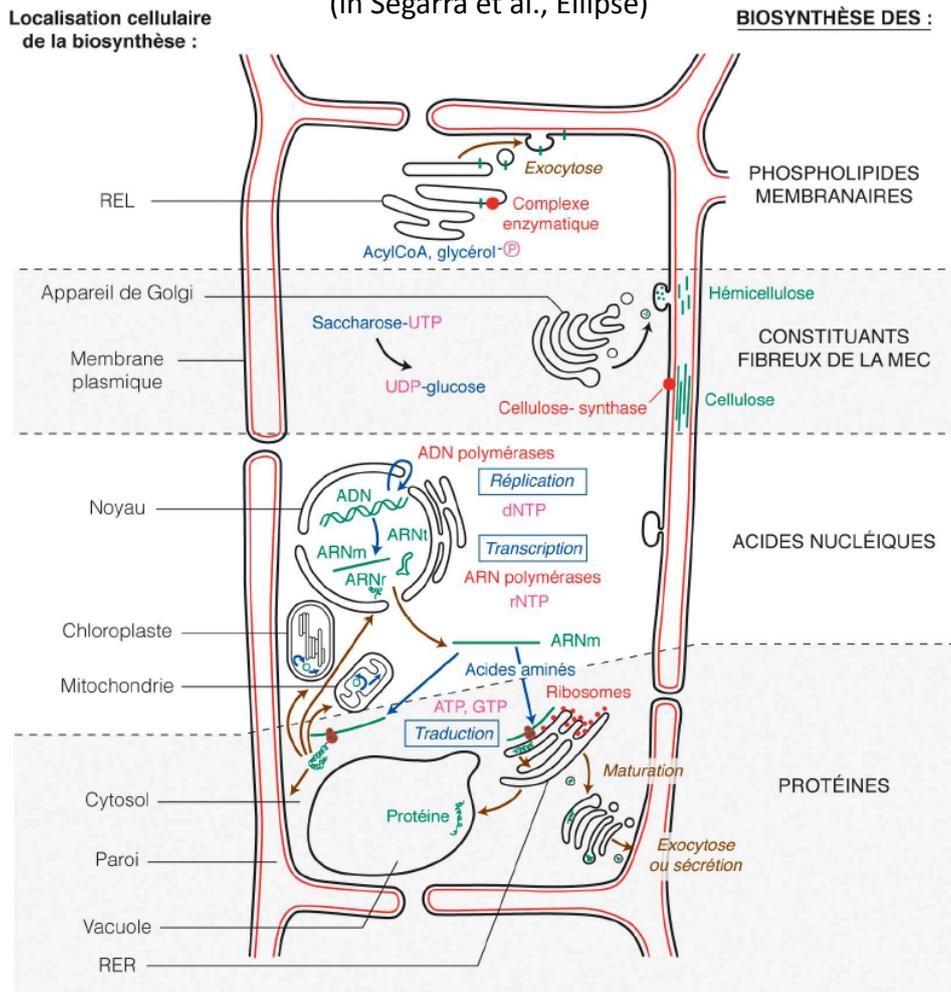


**Figure 1 : Panorama des principales biosynthèses dans la cellule eucaryote (exemple d'une cellule végétale chlorophyllienne)**  
(in Segarra et al., Ellipse)



**Figure 2 : Voies catabolique principale et produits du catabolisme**  
(in Segarra et al., Ellipse)

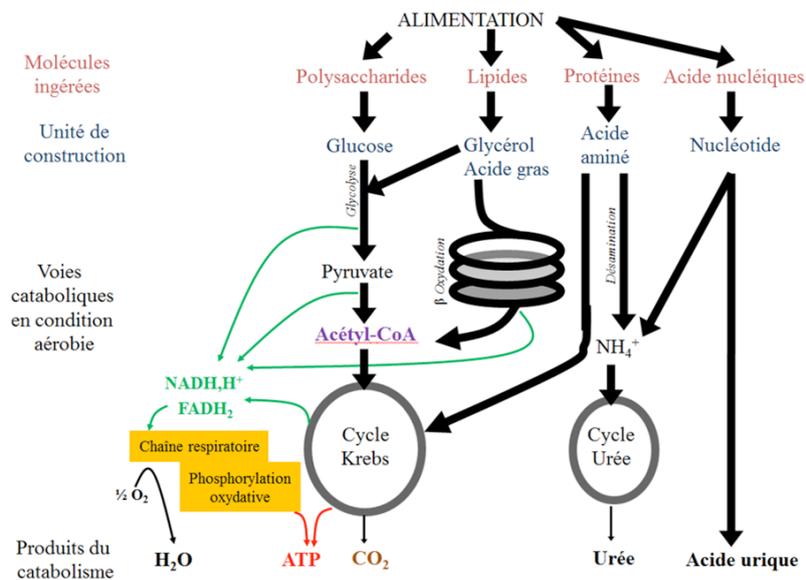


Figure 3 : appareil circulatoire de la vache et échanges au niveau de l'entérocyte

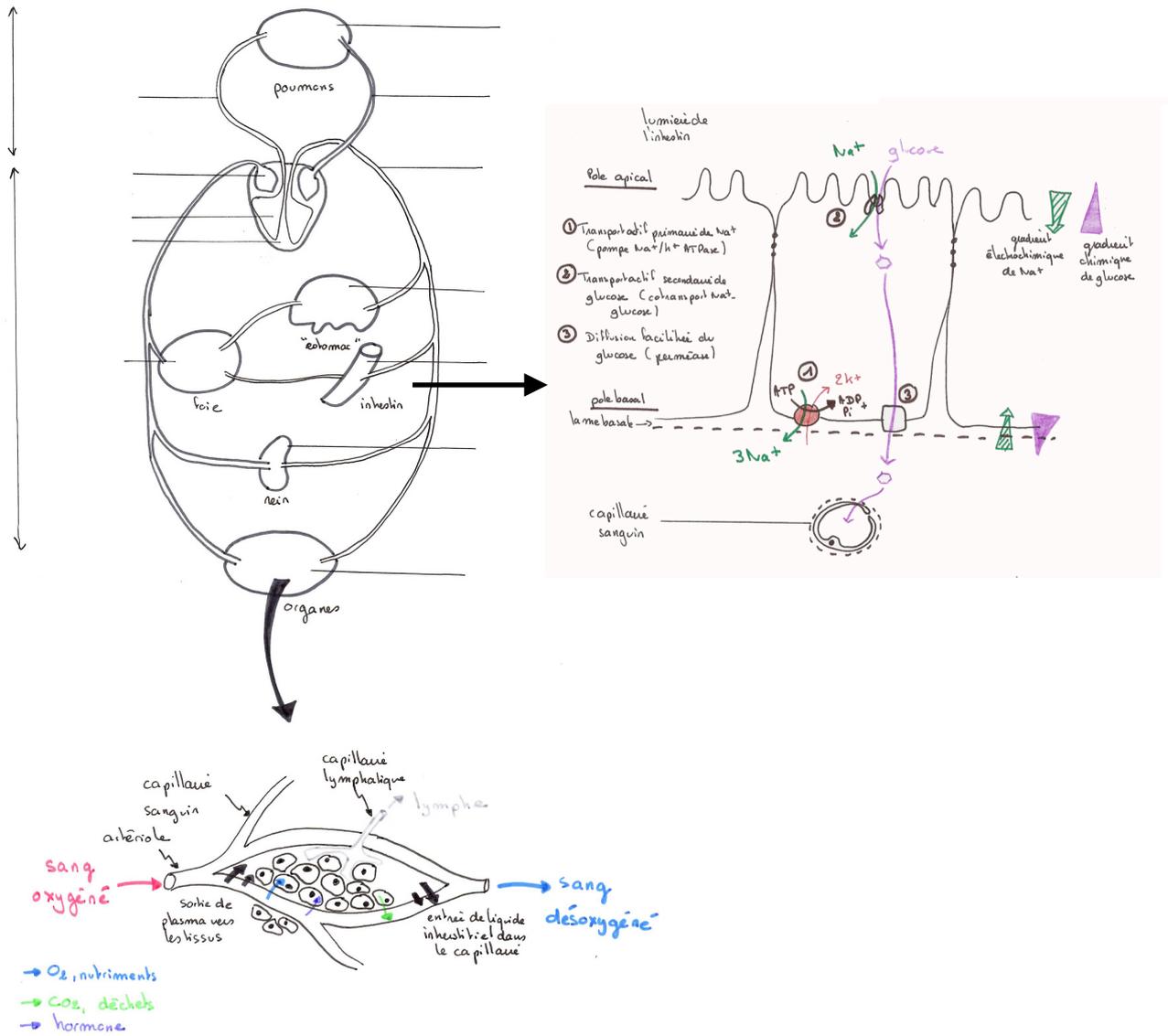


Figure 4 : Photosynthèse à l'échelle de l'organisme

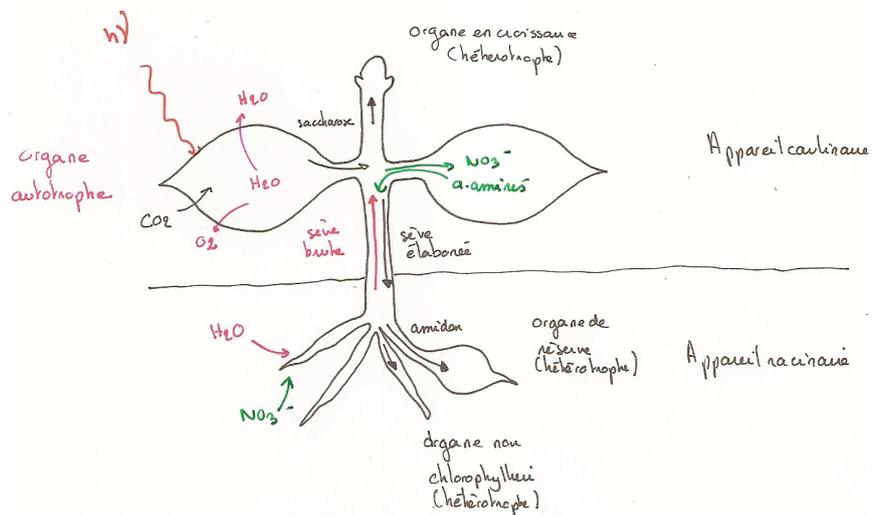
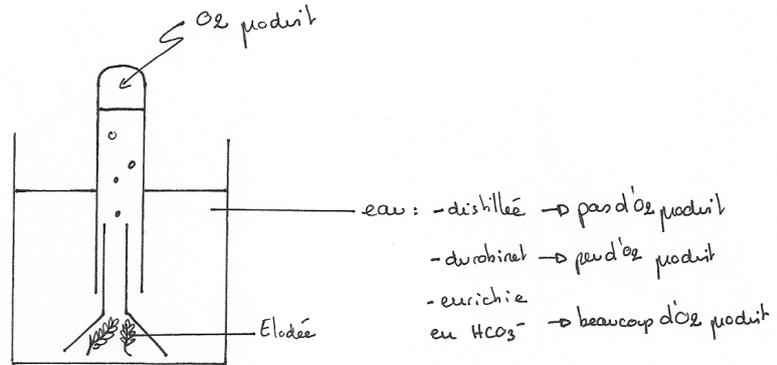
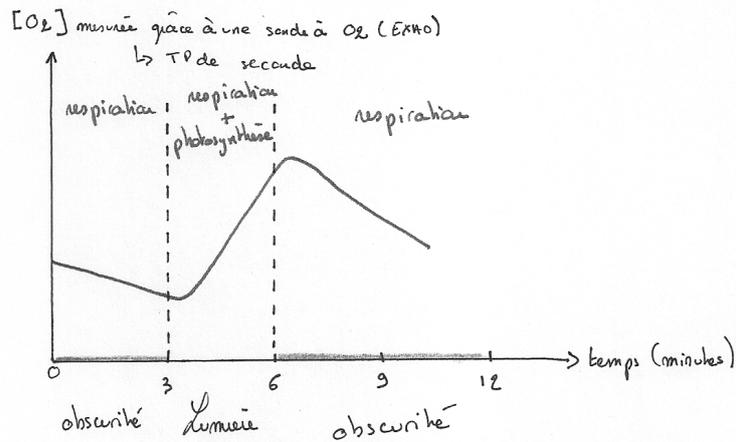


Figure 5 : rappels du lycée sur la photosynthèse

Équation-bilan de la photosynthèse :



Expérience montrant le dégagement d'O<sub>2</sub>  
en présence de CO<sub>2</sub>



Effet de la lumière sur le dégagement d'O<sub>2</sub>

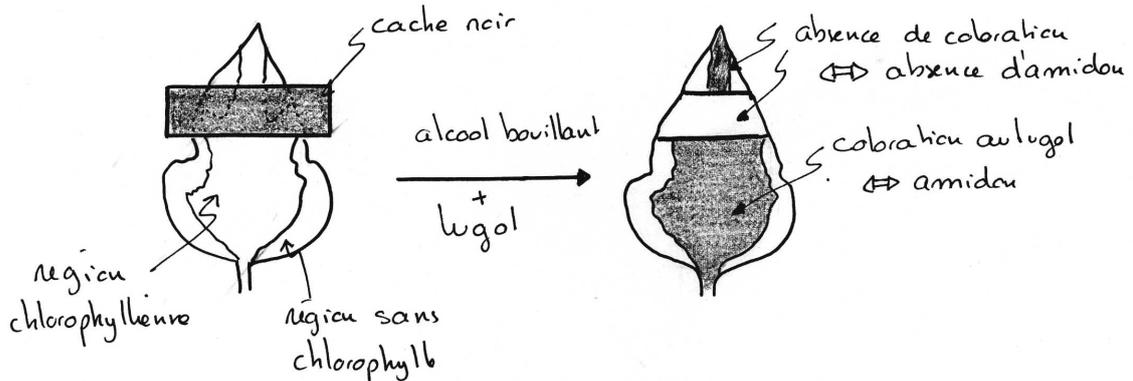


Figure 6 : schéma (TROP) simplifié du fonctionnement du chloroplaste

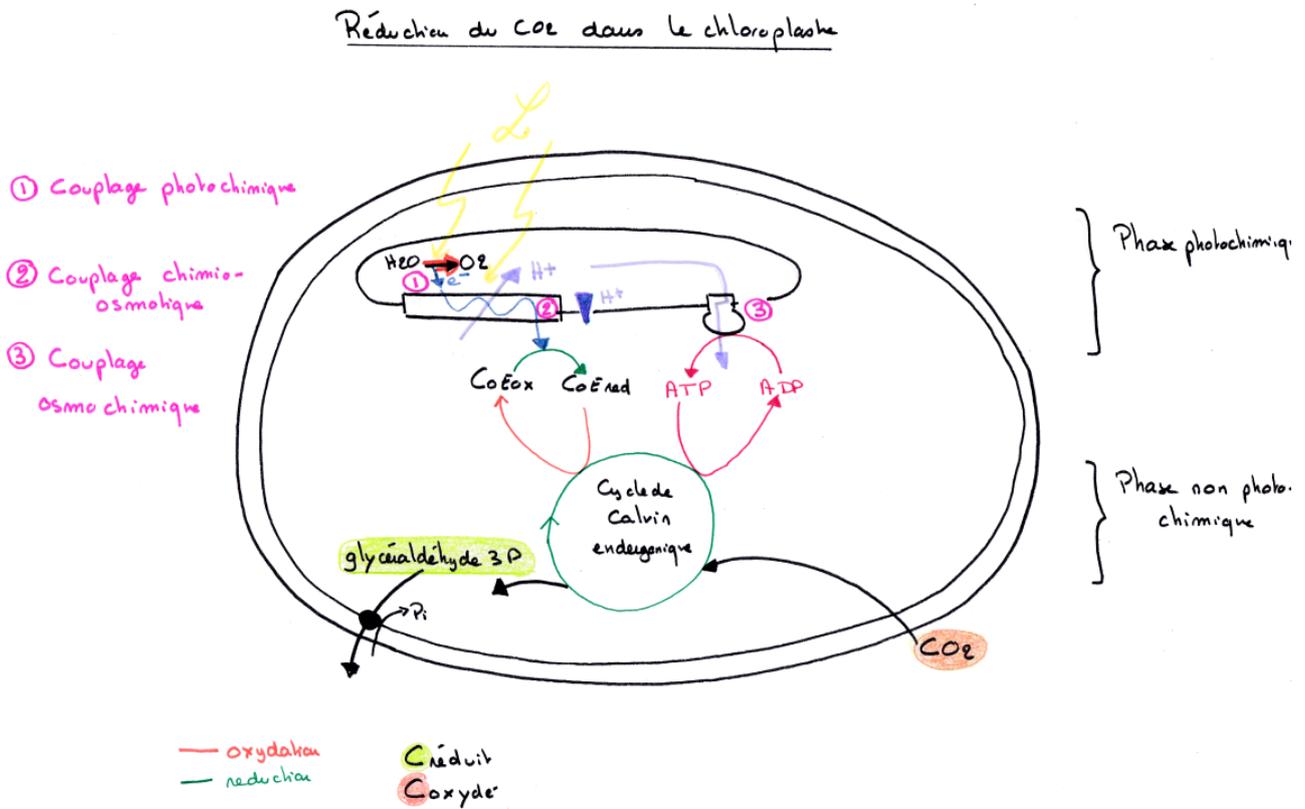
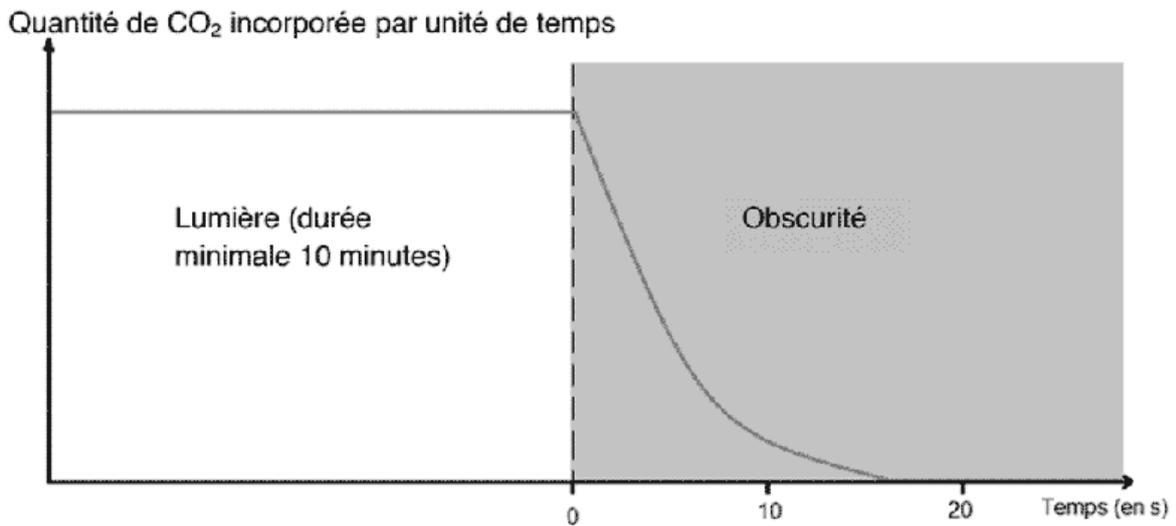
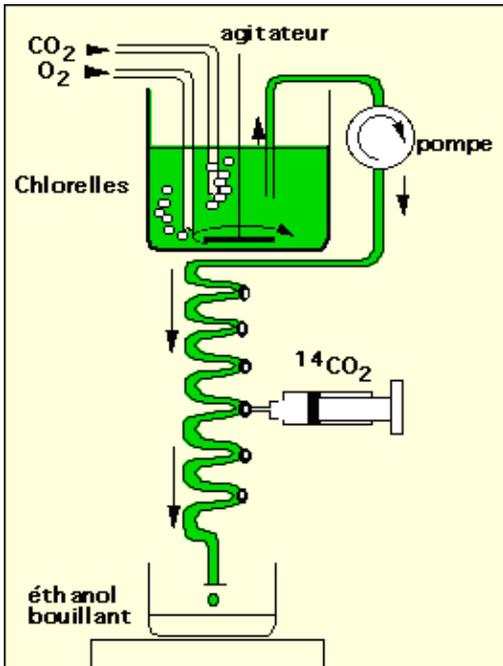


Figure 7 : mise en évidence de deux phases au cours de la photosynthèse d'après Gaffron et al. 1951.

Sur des suspensions de chlorelles, Gaffron mesure la quantité de <sup>14</sup>CO<sub>2</sub> incorporée à l'échelle de la seconde dans des molécules organiques, lors du passage entre lumière et obscurité.



**Figure 8 : 1<sup>ère</sup> expérience de Calvin à connaître !!  
Molécules formées par les réactions de la phase chimiochimique**



Dans une suspension de chlorelles barbote de l'air enrichi en CO<sub>2</sub>. Les chlorelles sont refoulées par une pompe dans une tubulure transparente.

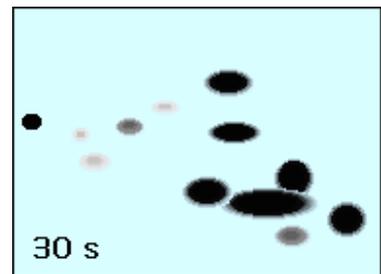
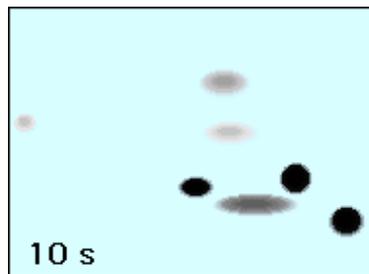
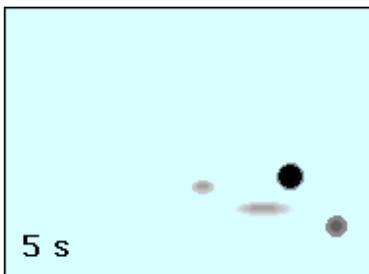
Du <sup>14</sup>CO<sub>2</sub> radioactif est injecté en un point variable du serpentin, les chlorelles sont donc incubées durant un temps variable avec le <sup>14</sup>CO<sub>2</sub> marqué.

Puis les chlorelles sont tuées dans l'alcool bouillant qui bloque instantanément les réactions chimiques.

Grâce au débit de la pompe, on calcule très précisément le temps pendant lequel les chlorelles situées dans le serpentin ont été en contact avec le <sup>14</sup>CO<sub>2</sub> radioactif avant d'être fixées par le méthanol bouillant.

L'expérience est réalisée pour **différents points d'injection du <sup>14</sup>CO<sub>2</sub> radiomarqué** dans la tubulure, donc **différents temps d'incubation avec le <sup>14</sup>CO<sub>2</sub> radiomarqué**.

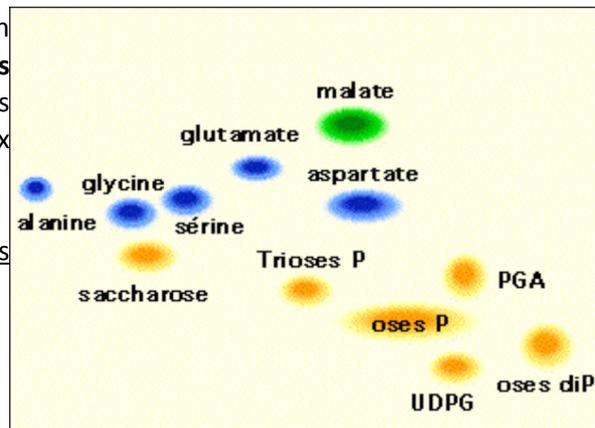
Pour chaque expérience, on sépare les composés formés par **chromatographie bidimensionnelle** à l'aide de deux solvants successifs (1 = mélange eau/phénol puis 2 = mélange butanol/acide propionique). Puis **les chromatogrammes sont révélés par autoradiographie**. Trois autoradiographies de chromatogrammes sont réalisées sur des extraits de chlorelles mises en contact avec le <sup>14</sup>CO<sub>2</sub> radioactif pendant 5 secondes, 10 secondes et 30 secondes



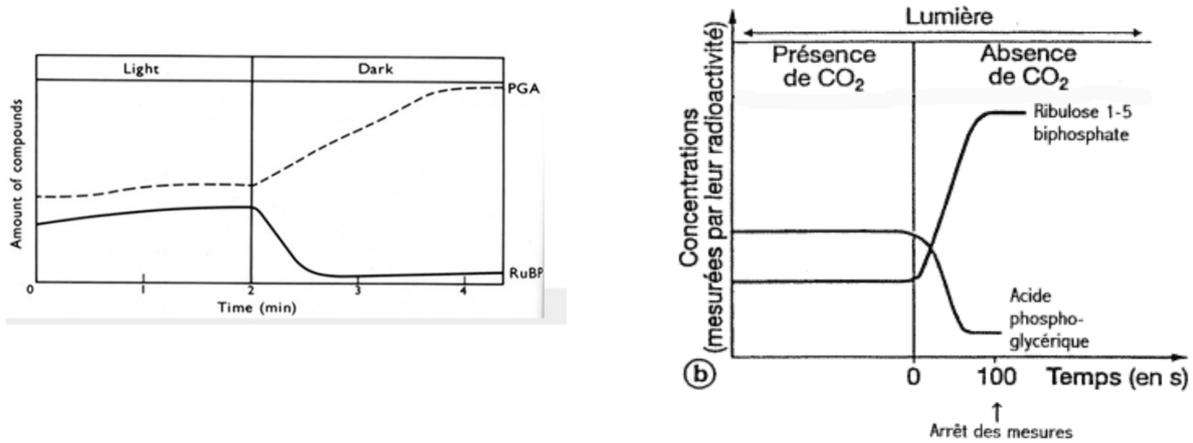
Chromatographies bidimensionnelles des molécules formées : révélation par autoradiographie

Pour identifier les composés formés, on réalise en parallèle un **chromatogramme révélé par différents colorants spécifiques**. On compare alors les chromatogrammes révélés par autoradiographie aux chromatogrammes colorés.

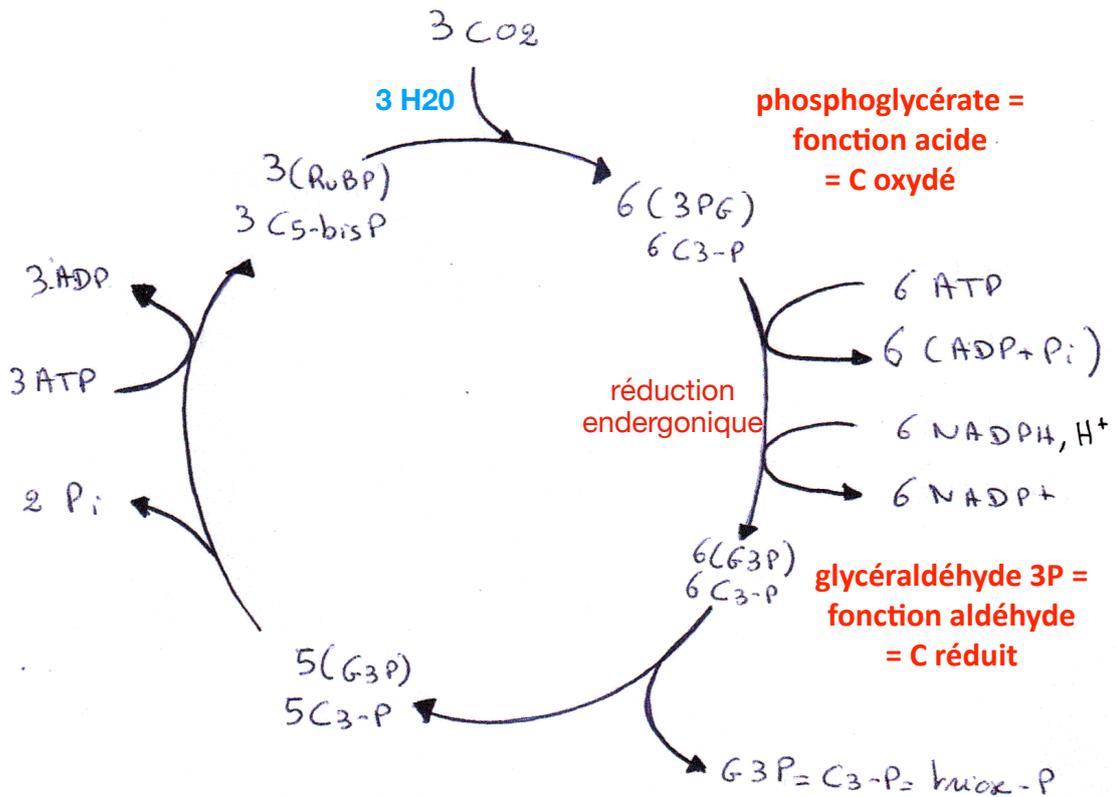
Chromatographie bidimensionnelle des molécules formées, révélation par des colorants spécifiques



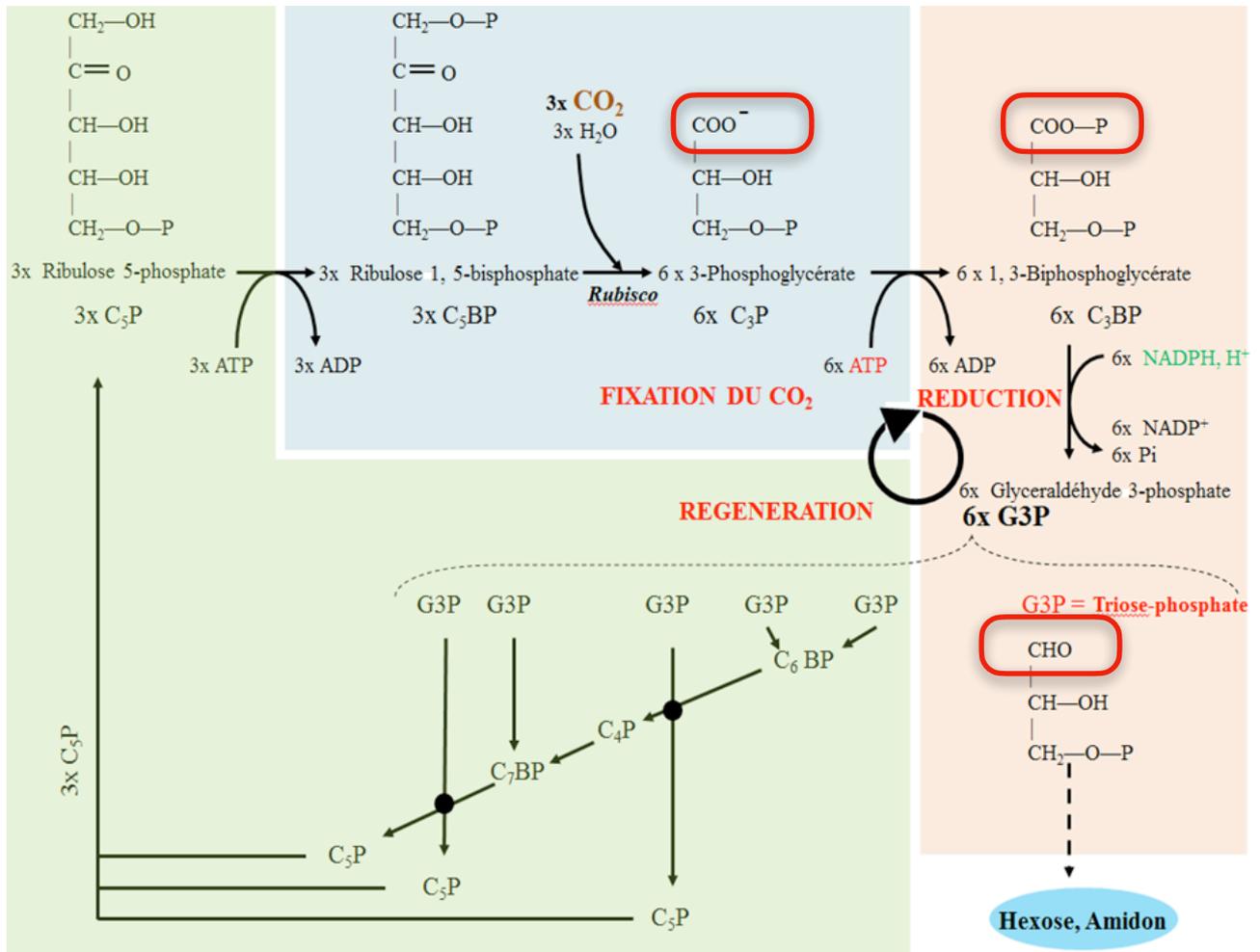
**Figure 9 : Deuxième expérience de Calvin**  
**Mise en évidence d'un cycle de carboxylation**



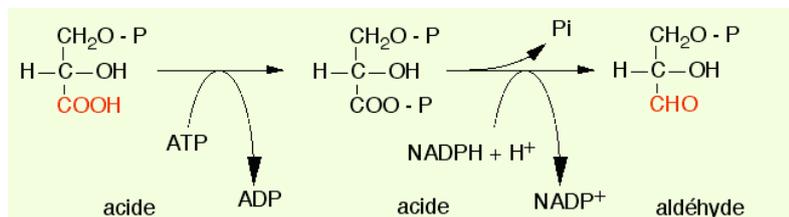
**Figure 10 : le cycle de Calvin simplifié (à savoir par coeur!!!)**



**Le cycle de Calvin (à titre de document)**



**Réduction du phosphoglycérate en glyceraldéhyde 3-phosphate**



Phosphoglycérate (PG)

Biphosphoglycérate (BPG)

Glyceraldéhyde 3-phosphate

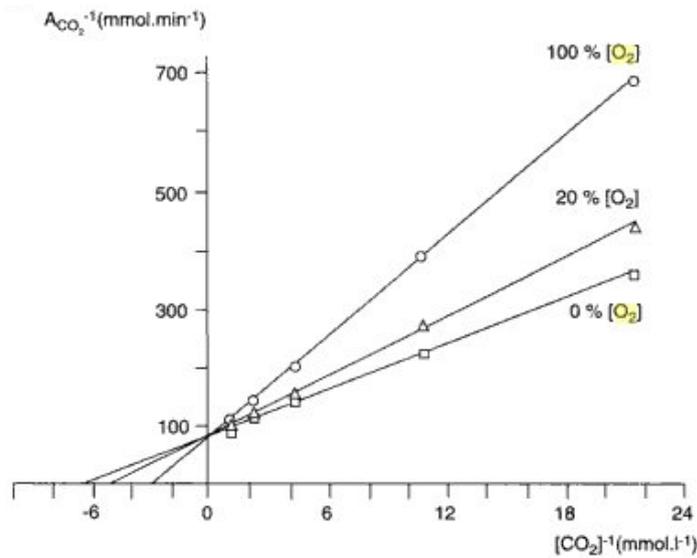
**Figure 11 : Effet de O<sub>2</sub> sur l'activité carboxylase de la RubisCO**

(Expérience de Ogren et Bowes, 1971, sur une préparation de RubisCO en présence de 0,1 mM de RuBP).

In : Farineau J. et Morot-Gaudry F., 2006, *La photosynthèse : Processus physiques, moléculaires et physiologiques.*

Représentation en double-inverse de Lineweaver Burk

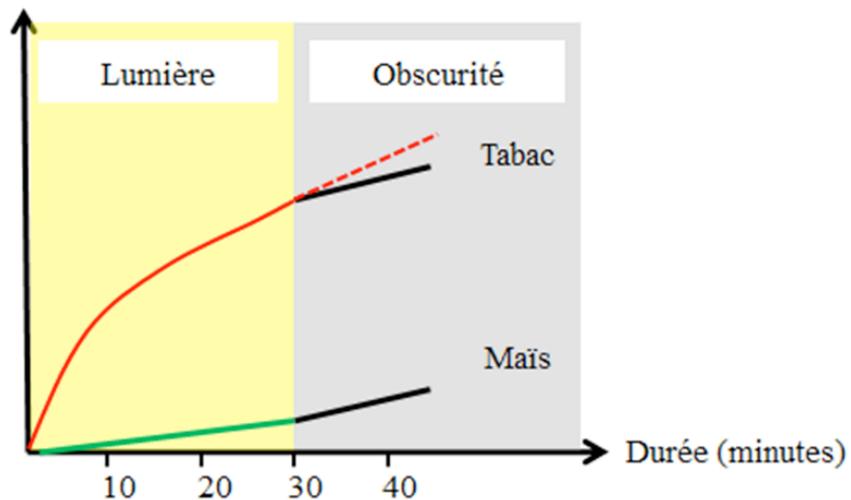
→ De quel type d'inhibiteur s'agit-il ?



**Figure 12 : Mise en évidence expérimentale de la photorespiration**  
(in Segarra et al., Ellipses)

Des fragments de feuilles de tabac (plante en C<sub>3</sub>) et de maïs (plantes en C<sub>4</sub>) sont d'abord placés, sous éclairage, en présence de <sup>14</sup>CO<sub>2</sub> pendant un certain temps. Le matériel biologique est ensuite transféré dans un environnement sans CO<sub>2</sub>, à la lumière puis à l'obscurité, l'on compare alors le rejet de <sup>14</sup>CO<sub>2</sub>.

Dégagement de <sup>14</sup>CO<sub>2</sub>  
(coups/min)



**Figure 13 : La RubisCO catalyse 2 réactions : carboxylation et oxygénation**

Teneur en gaz	Activité de la RubisCO	Réaction catalysée	⇒ Voie métabolique
P CO <sub>2</sub> forte	Activité <b>C</b> arboxylase	<b>Carboxylation</b> : RuBP + CO <sub>2</sub> → phosphoglycérate	⇒ Photosynthèse
P O <sub>2</sub> forte	Activité <b>O</b> xygénase	<b>Oxygénation</b> : RuBP + O <sub>2</sub> → phosphoglycérate + glycolate = molécule à 2 carbones + libération de CO <sub>2</sub>	⇒ Photorespiration

**Figure 14 : la photorespiration nécessite une coopération entre 3 organites (à titre de document)**

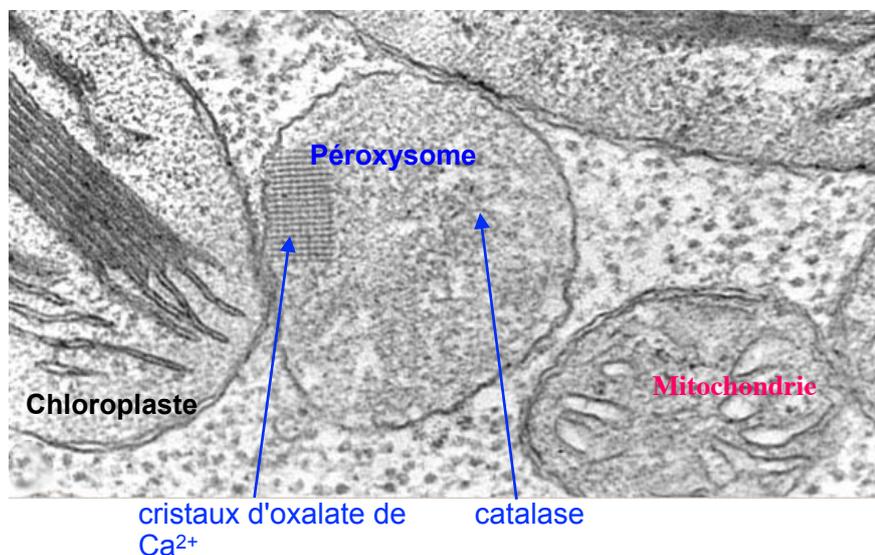
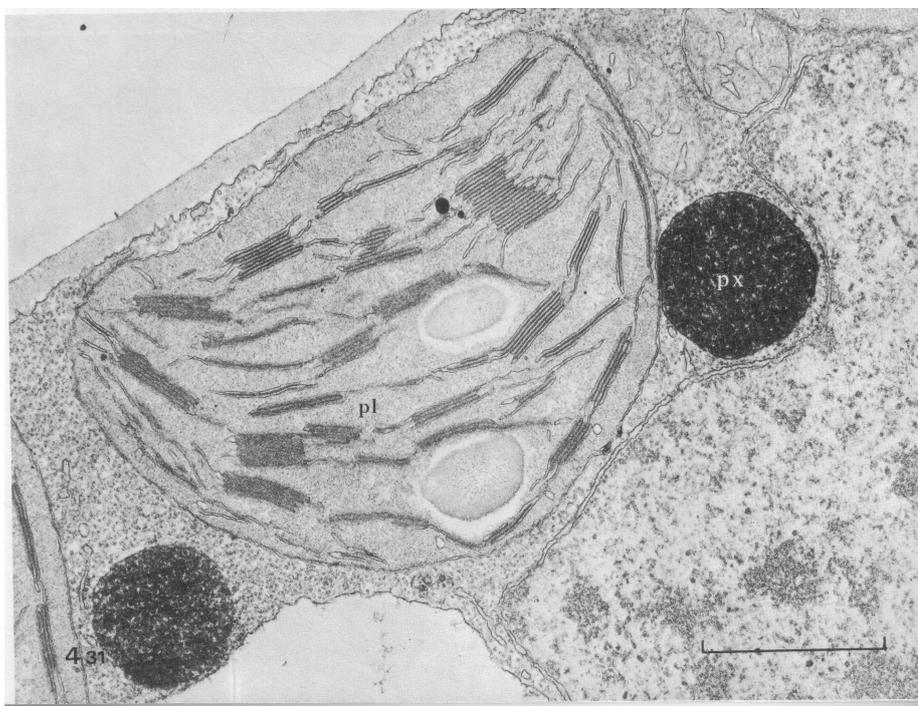


Figure 15 : la photorespiration : schéma bilan

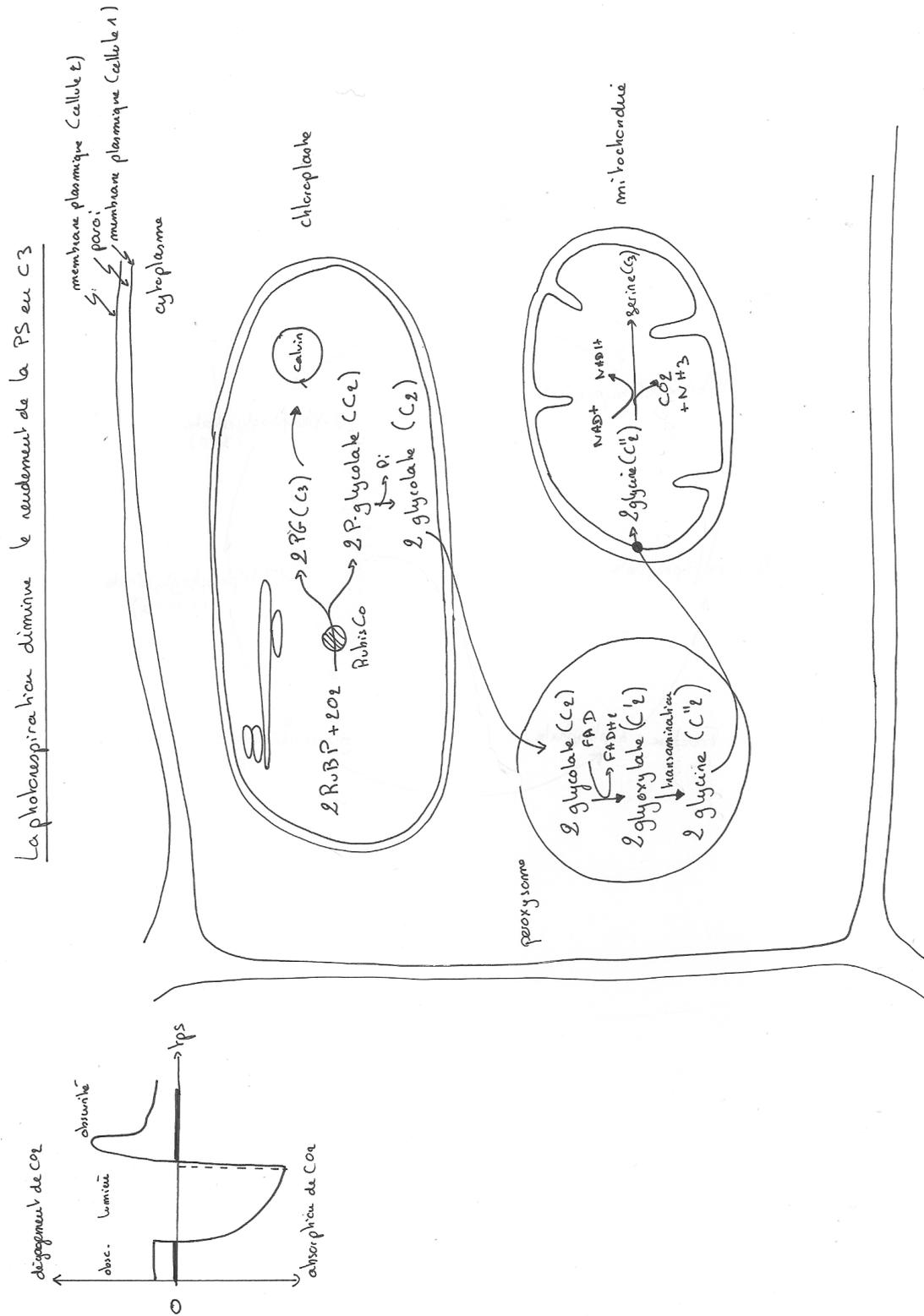
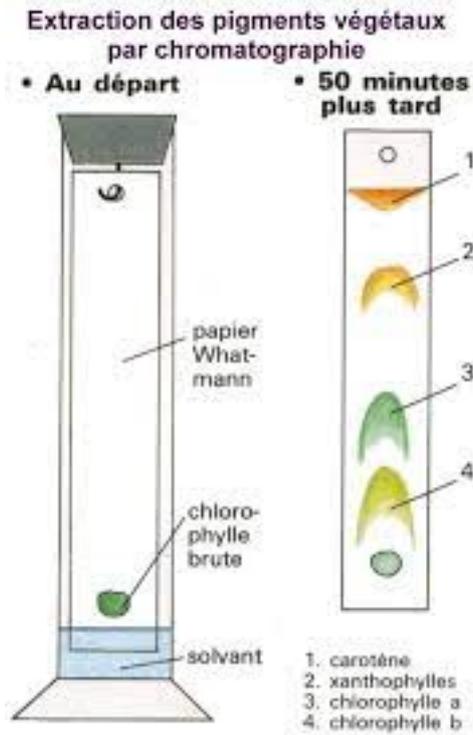
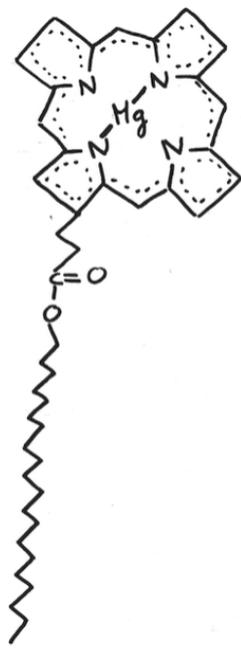


Figure 16 : Séparation des pigments par chromatographie sur papier



Structure simplifiée des pigments : chlorophylle et caroténoïdes

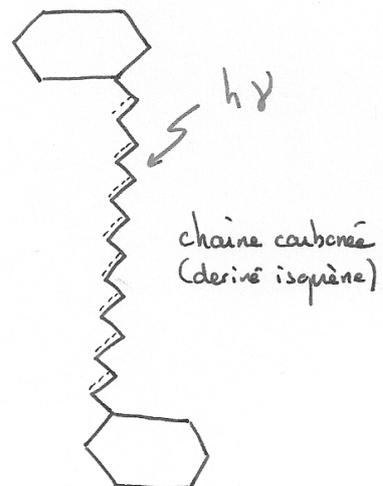


noyau tétrapyrolique :  
doubles liaisons conjuguées

chaîne carbonée  
hydrophobe

Pigments caroténoïdes

$\beta$  carotène et xanthophylles



**Figure 17 : Structure des pigments**  
(in Taiz et Zeiger)

(A) Chlorophylls

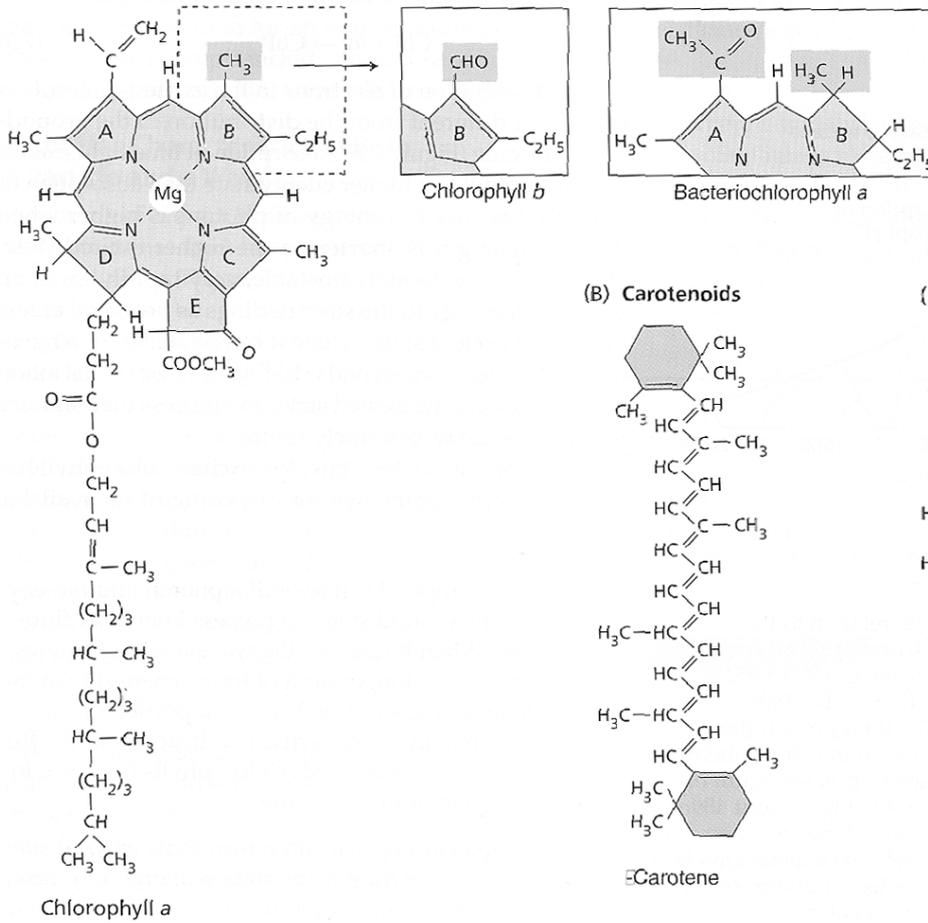


Figure 18 : spectre d'action de la lumière blanche sur la photosynthèse/ spectre d'absorption

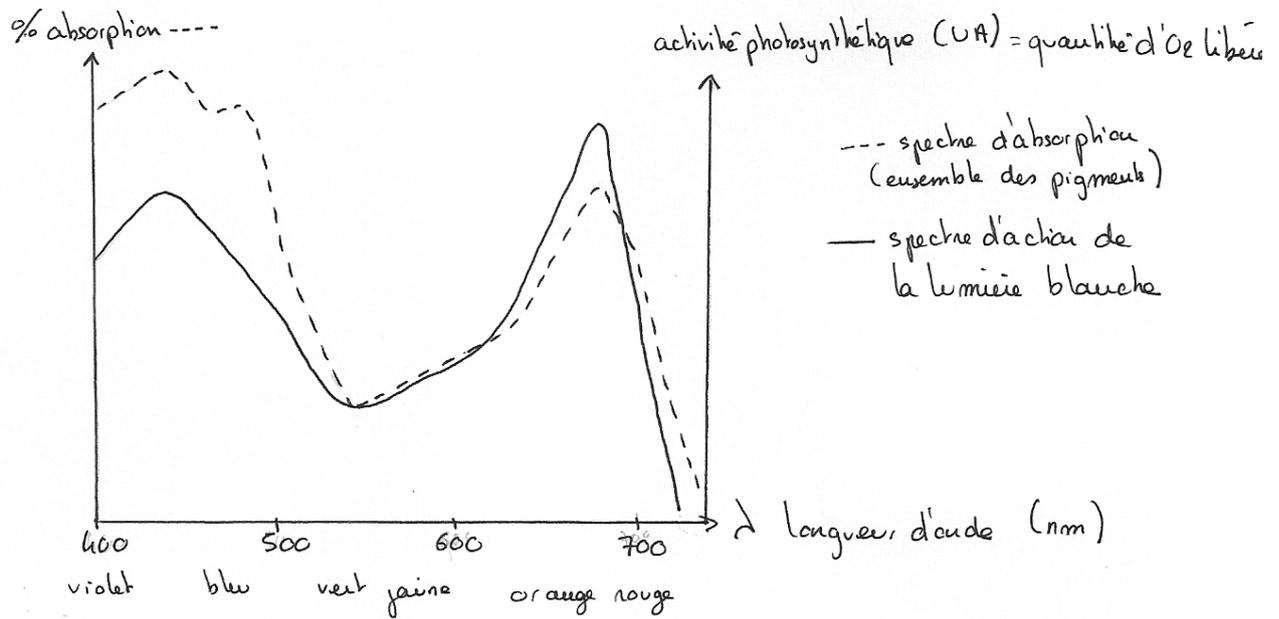
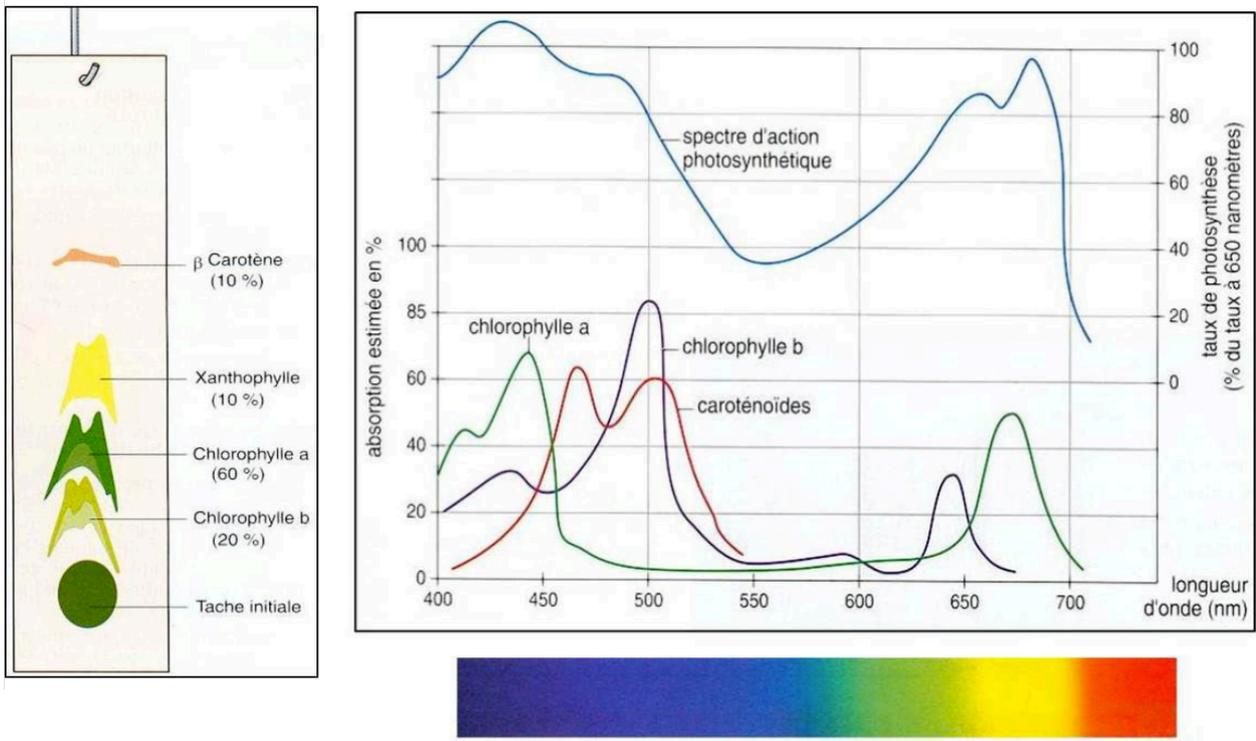
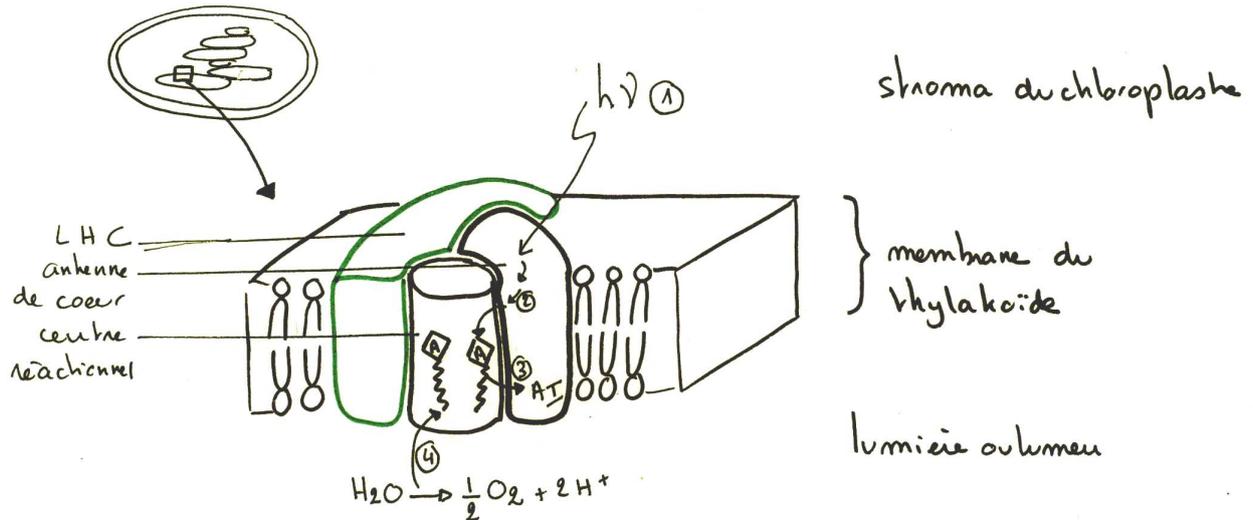


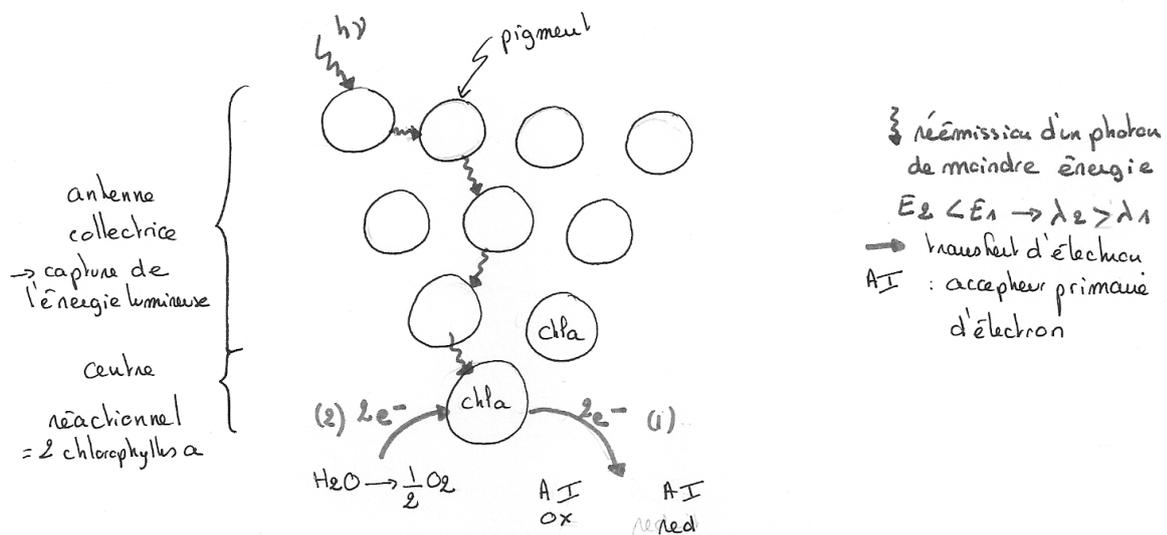
Figure 19 : organisation d'un photosystème

Chez les plantes supérieures, PSI est un complexe multiprotéique qui forme (figure ci-dessous) :

- **un centre photochimique** constitué de 14 protéines distinctes : associées à une centaine de molécules de Chl a qui forment l'« antenne coeur »
- **une antenne collectrice supplémentaire appelée LHC**. Elle est constituée de 4 protéines distinctes associées à des pigments.



- ① capture d'un photon par des pigments
- ② transmission de l'excitation de pigment en pigment par résonance
- ③ changement de pot redox de la chloro a du coeur réactionnel  
→ perte d'un  $e^-$  ( $\rightarrow A I$ ) et retour à l'état fondamental = ox. fort
- ④ réduction de la chlorophylle a par l'eau.



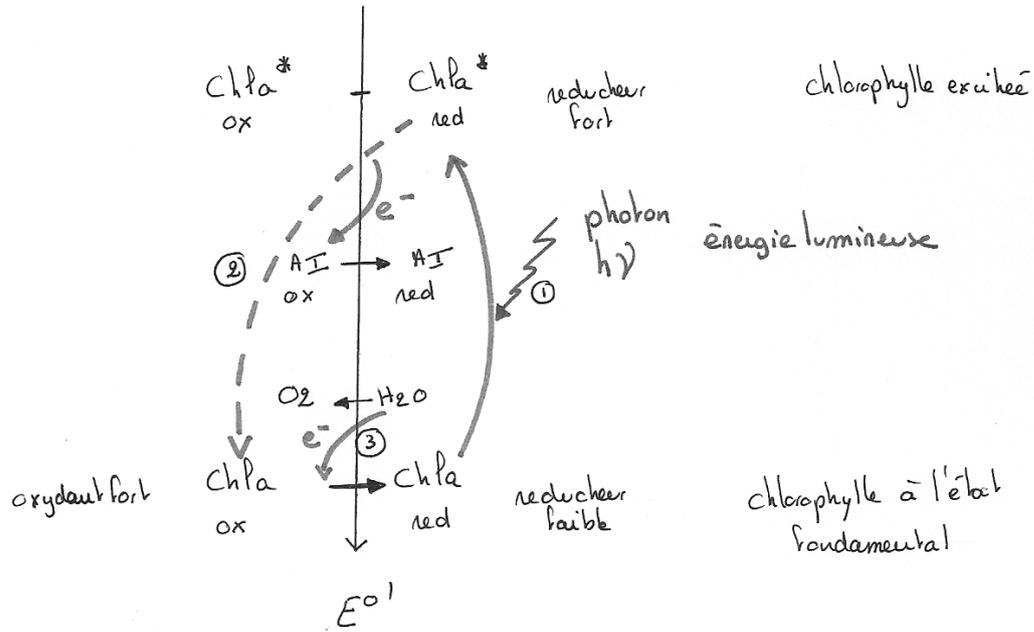
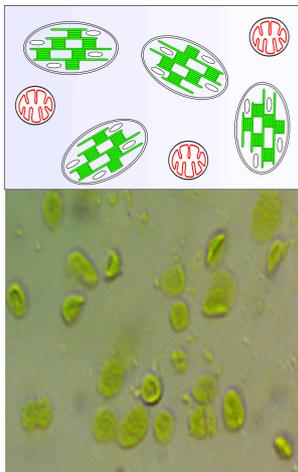


Figure 20 : Expérience de Hill

<https://www.svt-lycee-elorn.ovh/photosynthese.php>

## EXPERIENCE DE HILL

Enregistrer la concentration d' $O_2$  dans une suspension de chloroplastes isolés dans un tampon sans  $CO_2$  lors d'une séquence : obscurité - lumière - obscurité avec injection d'ions  $Fe^{3+}$  à la lumière



15 mL de suspension de chloroplastes et de mitochondries dans un milieu tamponné sans  $CO_2$

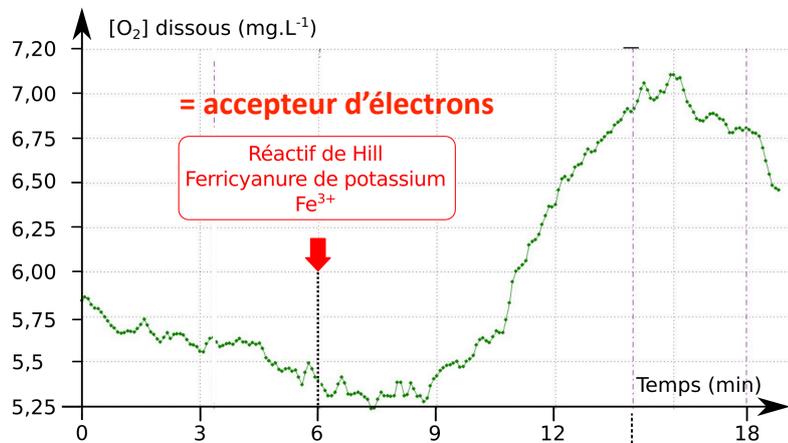
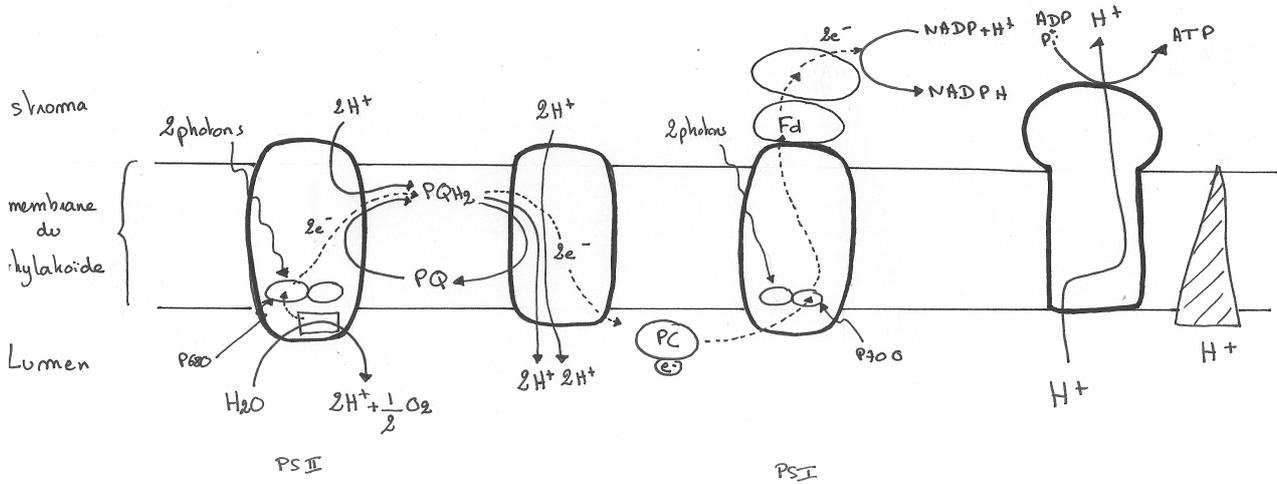
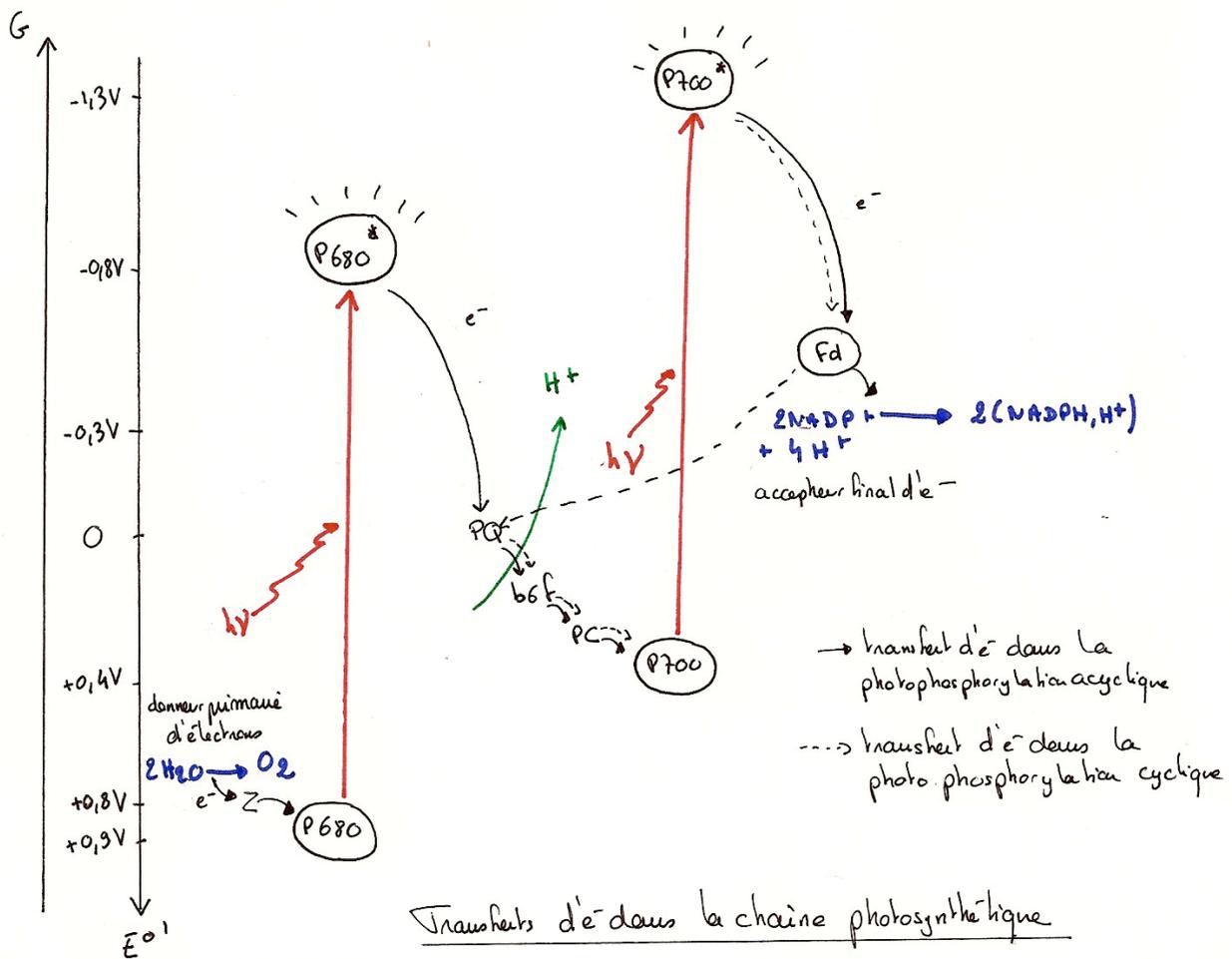


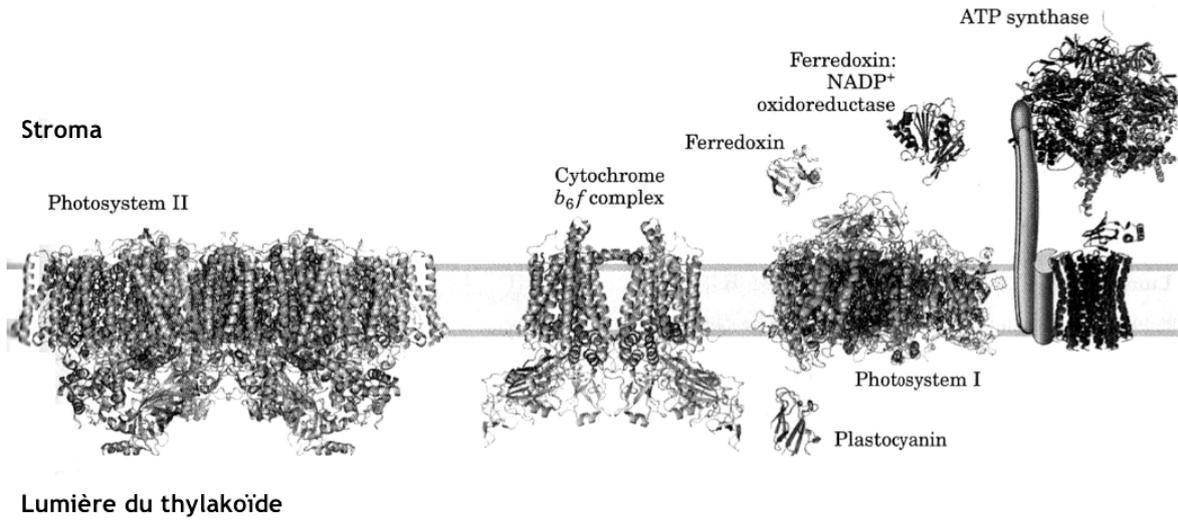
Figure 21 : modèle de la chaîne photosynthétique



Transferts d'électrons le long de la chaîne photosynthétique : schéma en Z



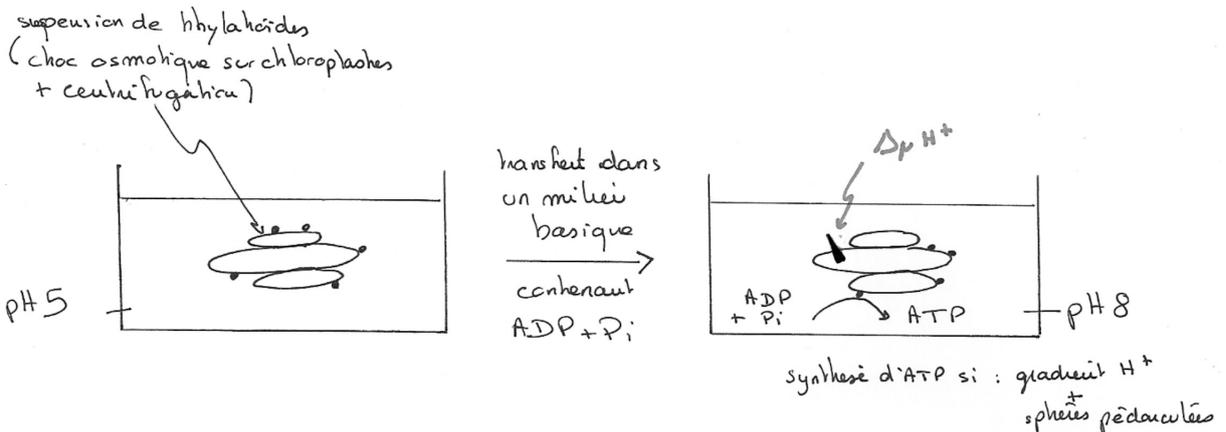
**Insertion dans la membrane du thylakoïde**  
(in Lehninger et al., WH Freeman and Company, 2008)



**Potentiel rédox standard apparent des couples oxydant –réducteur de la chaîne photosynthétique**

Couple redox	E°' (V)
O <sub>2</sub> / H <sub>2</sub> O	+ 0,82
P <sub>680</sub> <sup>+</sup> / P <sub>680</sub>	+ 0,9
P <sub>680</sub> <sup>+</sup> * / P <sub>680</sub> <sup>*</sup>	-0,8
Plastoquinone (ox/red )	0
Complexe b6-f (ox/red )	+ 0,2
P <sub>700</sub> <sup>+</sup> / P <sub>700</sub>	+ 0,4
P <sub>700</sub> <sup>+</sup> * / P <sub>700</sub> <sup>*</sup>	-1,3
Ferredoxine (ox/red )	-0,42
NADP <sup>+</sup> / NADPH, H <sup>+</sup>	-0,32

**Figure 22 : mise en évidence d'un couplage osmo-chimique au niveau du chloroplaste**



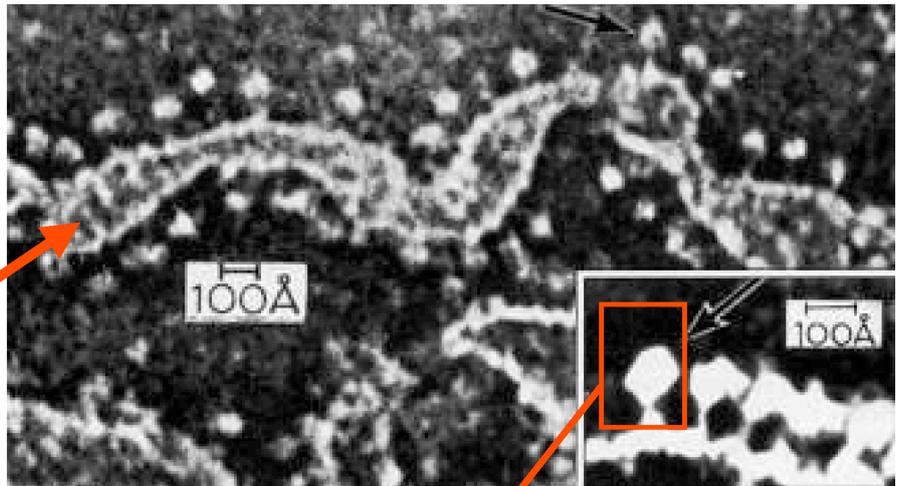
**Figure 23 : organisation fonctionnelle de l'ATP synthase**

**Observation des sphères pédonculées (= ATP synthases) au MET sur la membrane interne de mitochondrie**

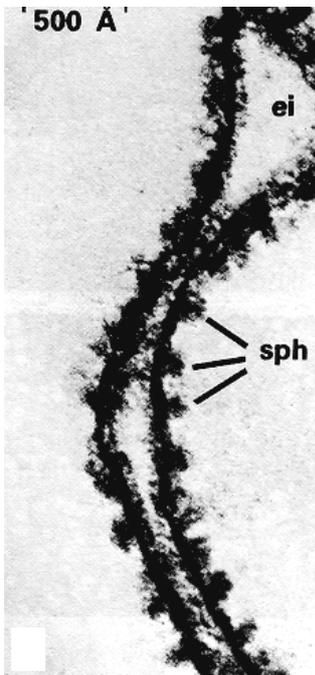
Crête mitochondriale  
= repli de la membrane interne



Mitochondrie au MET

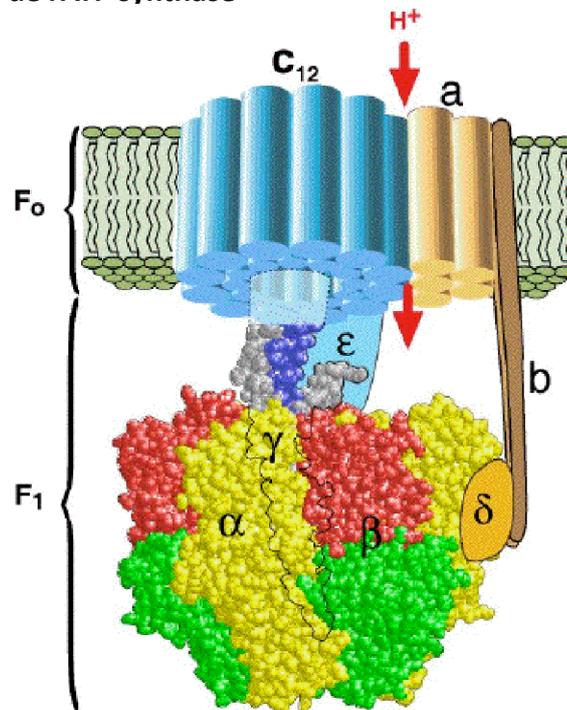


Sphère pédonculée



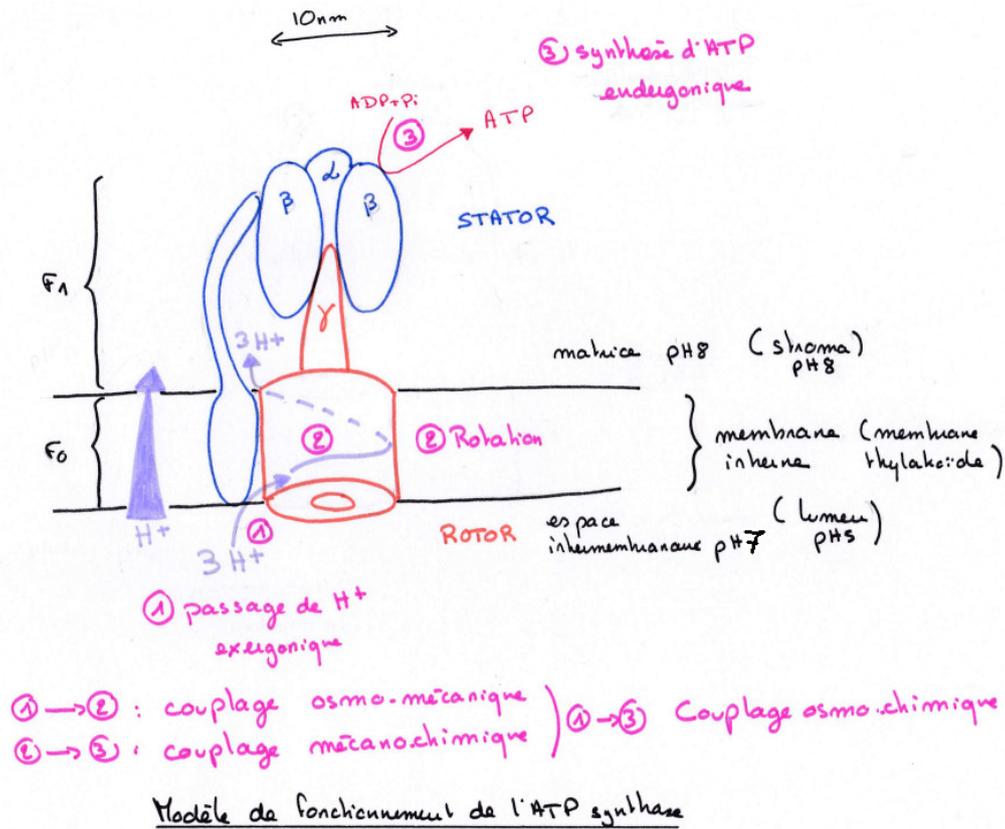
Membrane interne de la mitochondrie au MET

**Structure de l'ATP synthase**



H. Wang and G. Oster (1998). Nature 396:279-282.

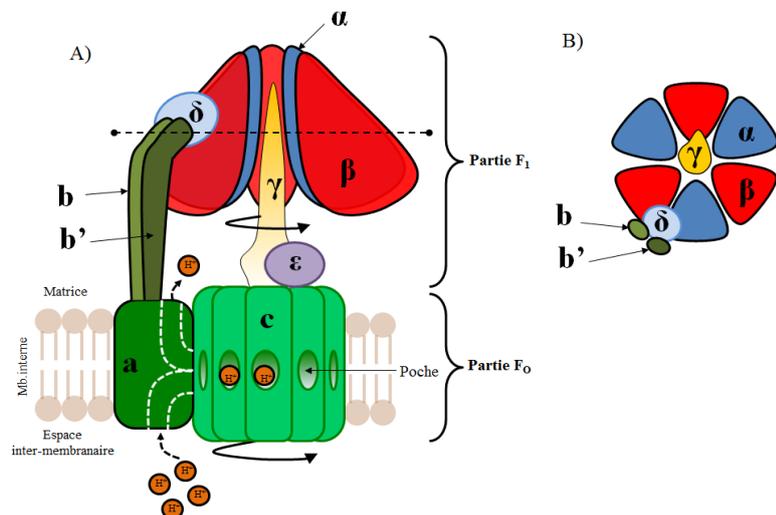
Structure déduite de la cristallographie et diffraction aux rayons X



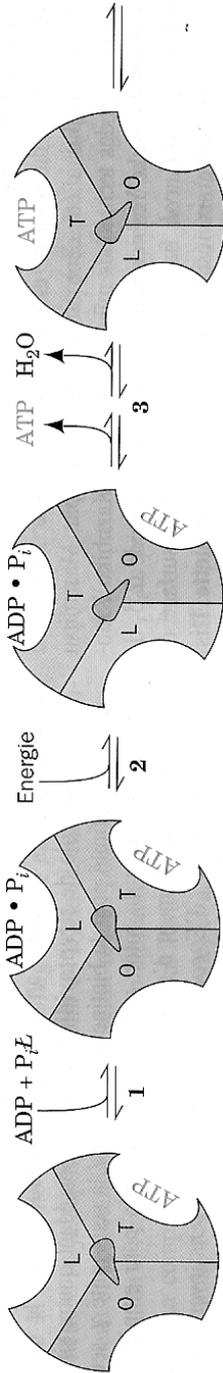
**Origine de la rotation de l'anneau c :**

La sous unité a possède 2 demi canaux à protons :

- un demi canal qui va de l'espace intermembranaire vers le milieu de la membrane interne
- un demi canal qui va du milieu de la membrane interne vers la matrice
- ① Les protons entrent au niveau du premier demi canal : ils se fixent sur un acide aminé de la sous unité c
- ② La fixation des protons entraîne une rotation de l'anneau (presque un tour complet grâce au déplacement des protons le long des différentes sous unités c)
- ③ La rotation a 2 conséquences :
  - elle permet aux protons d'atteindre le 2<sup>ème</sup> demi canal qui s'ouvre vers la matrice, et donc de rejoindre la matrice
  - elle entraîne un changement de conformation de la sphère formée par les sous-unités alpha et bêta. Ce changement de conformation est responsable de la catalyse.

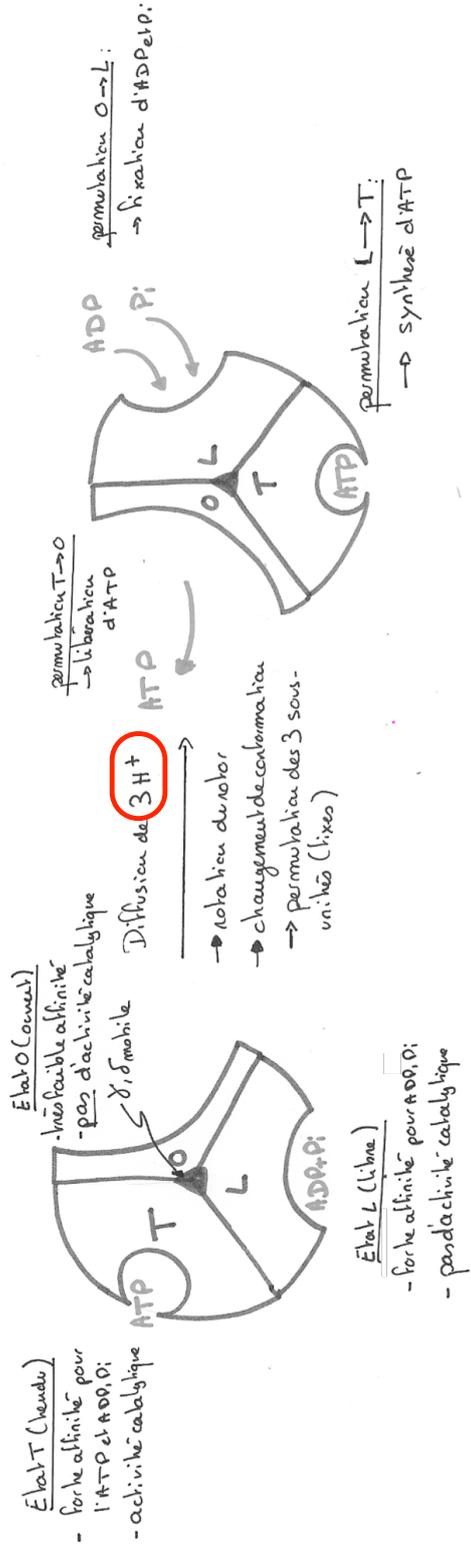


**Figure 24 : Modèle de fonctionnement de l'ATP synthase**  
(in Voet et Voet, De Boeck 2005)



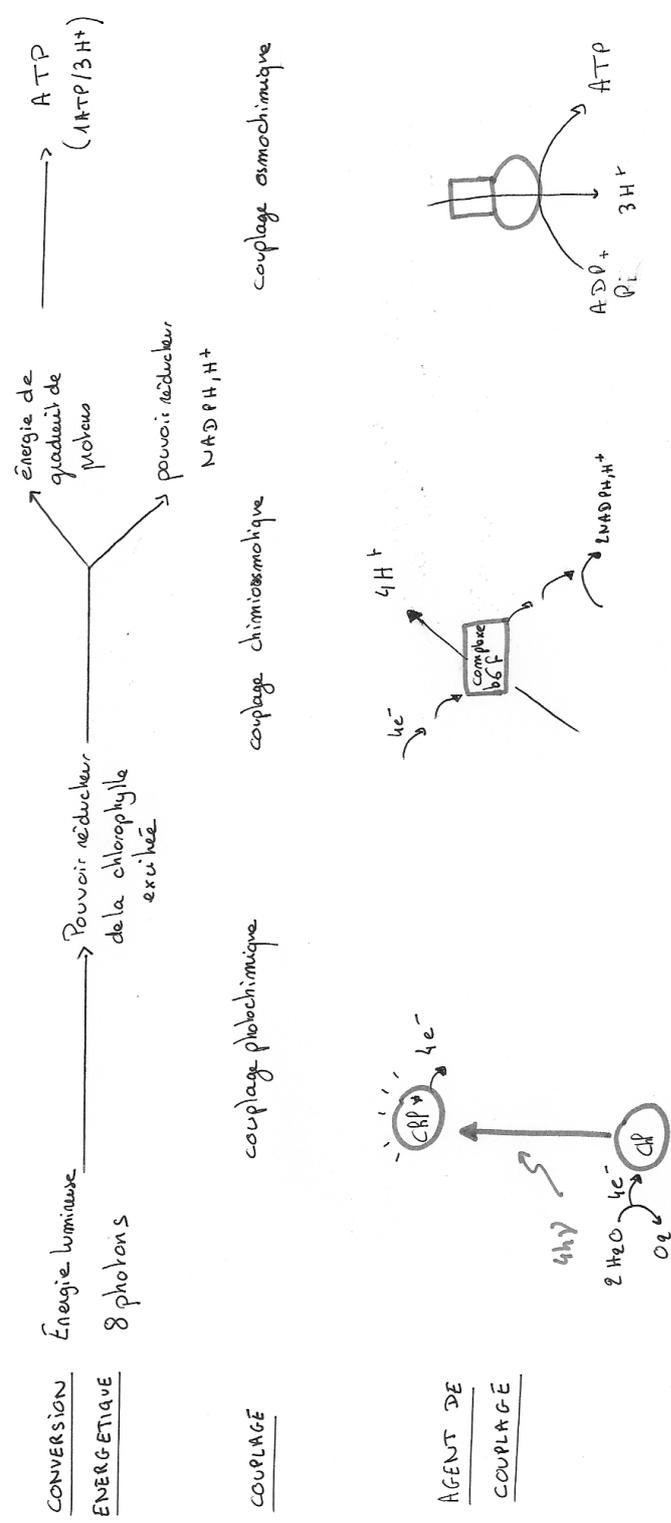
conformationnel énergie-dépendant qui transforme les sites de liaison L en T, T en O, et O en L. (3) Synthèse de l'ATP au site T et libération d'ATP au site O. L'enzyme reprend son état initial après deux autres séries de cette séquence de réactions. L'énergie qui provoque les changements conformationnels semble transmise à l'assemblage catalytique α<sub>3</sub>β<sub>3</sub> par la rotation de l'assemblage γε (chez *E. coli* ; γδ dans les mitochondries), représentée ici par l'objet asymétrique (*vert*) situé au centre. [D'après Cross, R.L., *Annu. Rev. Biochem.* 50, 687 (1980).]

**Mécanisme du changement d'affinité énergie-dépendant de la synthèse d'ATP par l'ATP synthase-pompe à protons.** F<sub>1</sub> présente trois protomères interactifs αβ chimiquement identiques mais de conformation différente : O, la conformation ouverte, a très peu d'affinité pour les ligands et est catalytiquement inactive ; L lie faiblement les ligands et est catalytiquement inactive ; T a une forte affinité pour les ligands et est catalytiquement active. La synthèse de l'ATP se fait en trois étapes : (1) Liaison de l'ADP et de P<sub>i</sub> au site L. (2) Changement

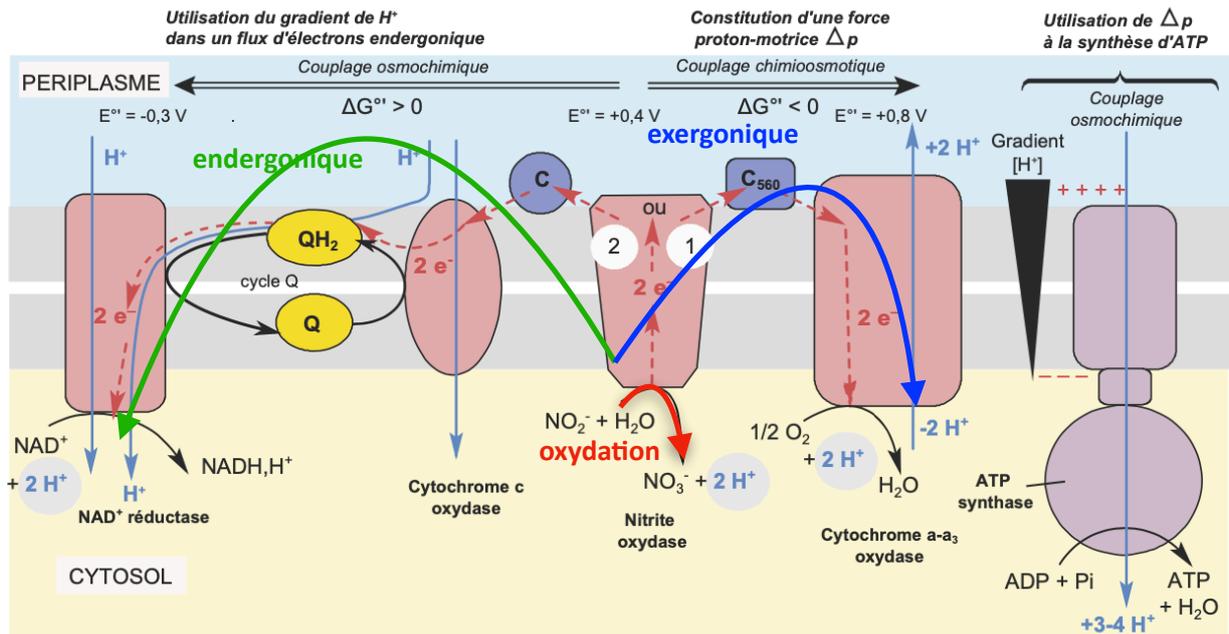


**3H<sup>+</sup> -> rotation de 120° de gamma**  
**= une permutation SANS rotation de la sphère**

Figure 25 : Bilan des conversions énergétiques dans le thylakoïde

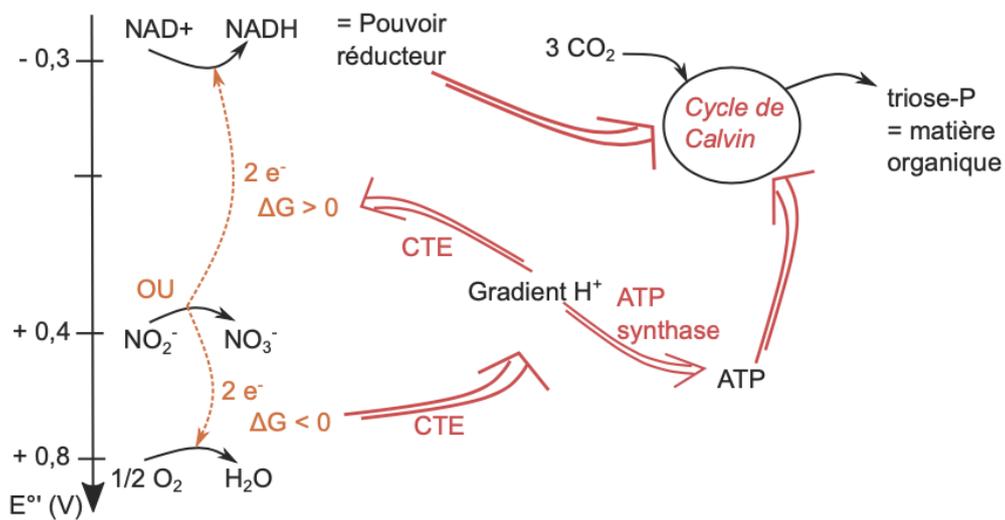


**Figure 26 : chaîne de transfert d'électrons chez la bactérie *Nitrobacter***  
(in Dunod)



**Figure 10.10** Chaîne de transport d'électrons de *Nitrobacter*.

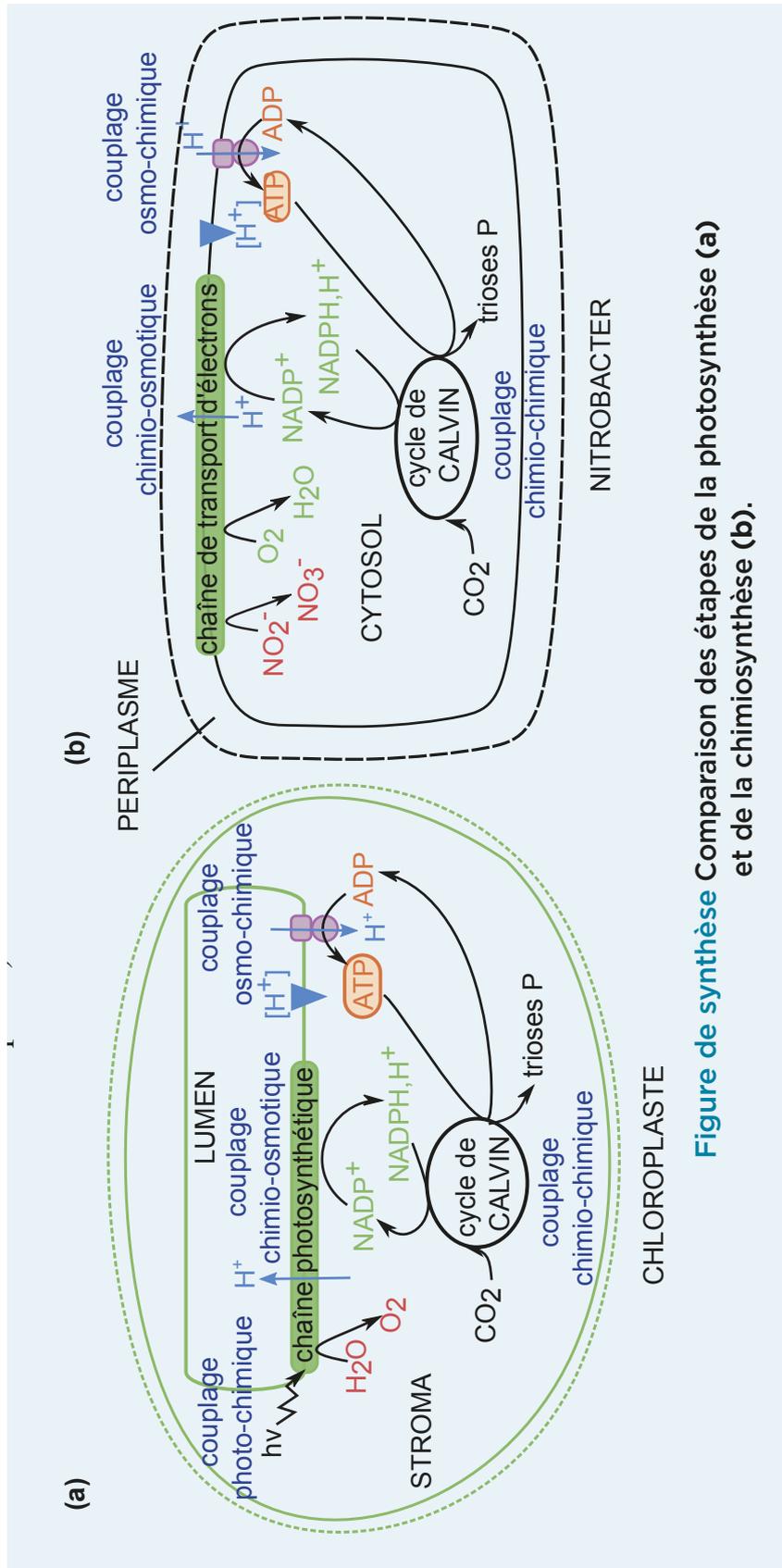
Q : ubiquinone ; C : cytochrome ; C<sub>560</sub> : cytochrome 560. Les protons réactionnels sont sur fond gris.



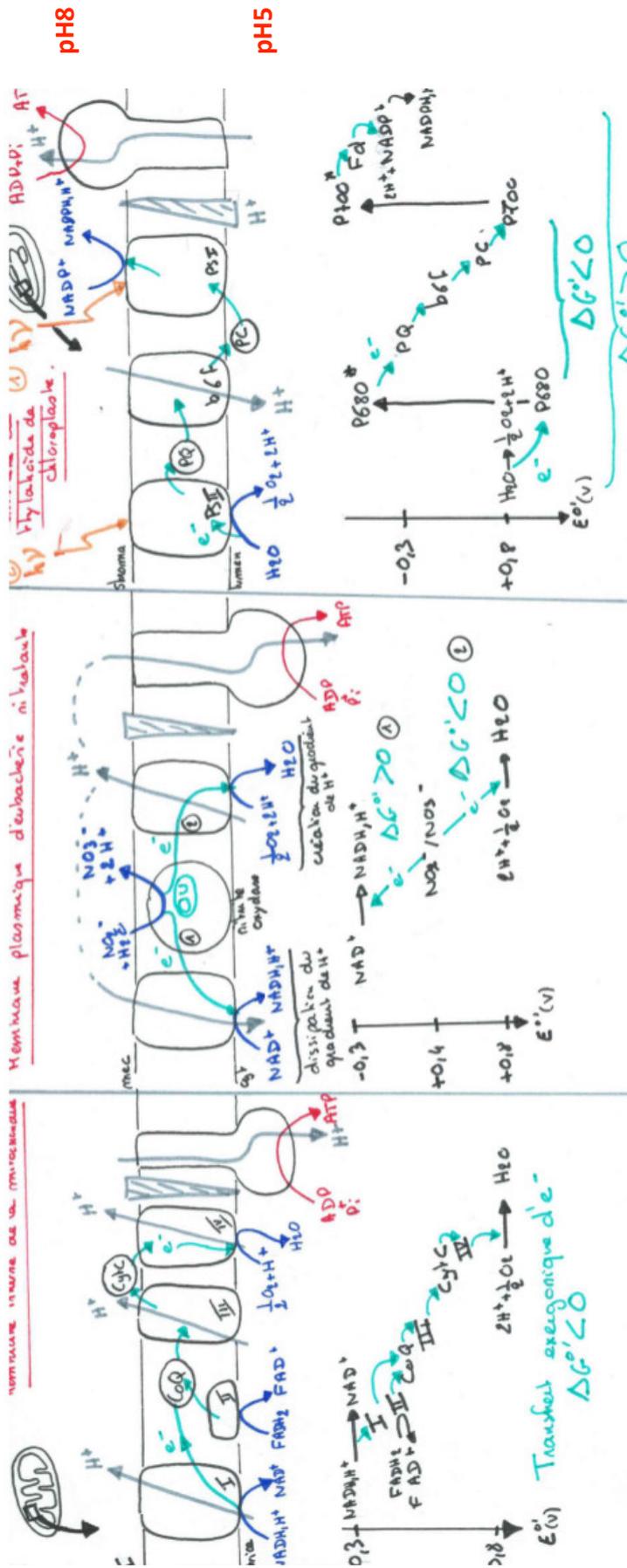
**Figure 10.11** Couplages énergétiques chez *Nitrobacter*.

CTE : chaîne de transport d'électrons. Les flèches rouges représentent les couplages.

**Figure 27 : comparaison photosynthèse / chimiosynthèse**  
(in Dunod)



**Figure de synthèse** Comparaison des étapes de la photosynthèse (a) et de la chimiosynthèse (b).



**BILAN**

Transfert H<sup>+</sup>

$\Delta G^{\circ} < 0$

Donneur réducteur oxydé

Accepteur réducteur

$\Delta G^{\circ} < 0$

couplage chimio osmotique

couplage osmotique

chaîne membranale d'oxydo réducteurs exergoniques au sein d'une membrane fluide = conversion chimiochimique ou photochimique

formation d'un gradient de H<sup>+</sup> de part et d'autre de la bicouche imperméable = couplage chimio osmotique

utilisation de la force motrice acheminée = ATP synthase = couplage osmo chimique

CHIMIO ORGANOTROPHE	CHIMIO LITOTROPHE	PHOTOLITOTROPHE
<p>Source e<sup>-</sup> :                      Source énergie :                      Source matière :                      ATP → utilisation par la cellule</p>	<p>Source e<sup>-</sup> :                      Source énergie :                      Source matière :                      ATP → synthèse de MO par réduction de CO<sub>2</sub></p>	<p>Source e<sup>-</sup> :                      Source énergie :                      Source matière :                      ATP → synthèse de MO par réduction de CO<sub>2</sub></p>