

SV-E-1 poly 01

Approvisionnement en matière organique

Fig. 1. Enthalpies libres ★★★ (les ordres de grandeur des ΔrG donnés en exemple sont à savoir)

Réaction chimique	$A+B \rightarrow C+D$	$\Delta rG = \Delta rG'_0 + RT \cdot \ln \frac{[C][D]}{[A][B]}$
	<i>Exemple : hydrolyse de l'ATP dans un érythrocyte humain à 37°C</i> $pH=7,0$ $[ATP] = 2,25 \text{ mM}$ $[ADP] = 0,25 \text{ mM}$ $[Pi] = 1,65 \text{ mM}$ $T = 37^\circ C = 310 \text{ K}$ $\Delta rG'_0 = -30,5 \text{ kJ/mol}$ $\Delta rG = -30,5 + 8,31 \times 310 \times 0,25 \cdot 10^{-3} \times 1,65 \cdot 10^{-3} / (2,25 \cdot 10^{-3}) = -52 \text{ kJ/mol}$	
Réaction d'oxydoréduction	$\text{Réd1} + \text{Ox2} \rightarrow \text{Ox1} + \text{Réd2}$	$\Delta rG = -nF\Delta E'_0$
Gradient transmembranaire	Compartiment 1 : concentration C_1 Compartiment 2 : concentration C_2	$\Delta rG_{1 \rightarrow 2} = zF(E_2 - E_1) - RT \ln \frac{C_1}{C_2} = zF(DDP) - RT \ln \frac{C_1}{C_2}$
	Gradient de protons H^+	$\Delta rG(H^+)_{1 \rightarrow 2} = zF(DDP) - 2,3RT\Delta pH$
	<i>Exemple : passage d'une mole de protons à travers la membrane interne de la mitochondrie à 25°C, de l'espace intermembranaire vers la matrice</i> $DDP = -0,15 \text{ à } -0,20 \text{ V}$ (face matricielle = chargée négativement). $\Delta pH = 0,75$ (matrice plus basique) $\Delta rG = F \cdot (-0,15) - 2,3RT \cdot (0,75) = -96500 \times 0,15 - 2,3 \times 8,31 \times 298 \times 0,75 = -19 \text{ kJ/mol}$	

★★★ Fig. 2. Rappel : structure de l'ATP. →

★★ Fig. 3. La liaison phospho-anhydre présente une hydrolyse thermodynamiquement favorable : quelques éléments d'explication.
A comprendre, et savoir redonner une des explications.

a- les résonances en compétition

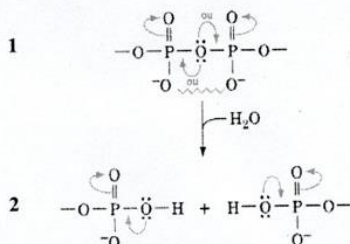
Les produits d'hydrolyse de l'ATP **2** ont une plus grande stabilité de résonance que l'ATP **1**. La stabilisation par résonances d'une liaison pyrophosphate est inférieure à celle de ses produits d'hydrolyse.

b - la répulsion électrostatique

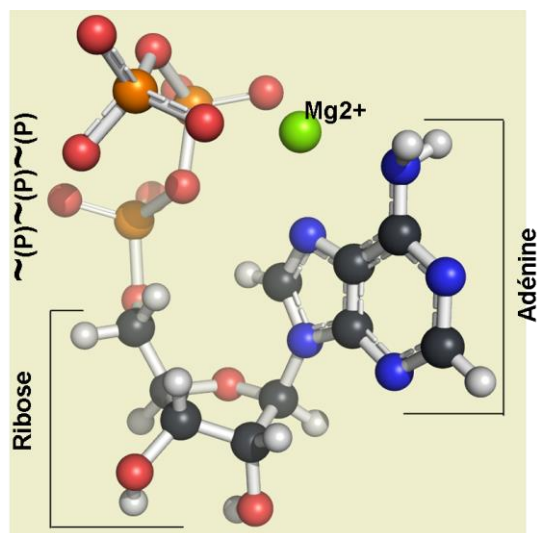
La molécule d'ATP **1** porte 3 à 4 charges négatives qui se repoussent les unes les autres. La répulsion diminue lorsque l'ATP est hydrolysé **2**. L'effet déstabilisateur plus important des forces de répulsion électrostatiques des groupes chargés d'un pyrophosphate comparé à celui des produits d'hydrolyse.

c - la solvation défavorable

L'énergie de solvation d'un pyrophosphate est inférieure à celle des produits d'hydrolyse. D'après de certains calculs, ceci représente le facteur le plus important.



De plus, l'ATP est particulièrement stable par rapport à l'hydrolyse dans un milieu aqueux. Son énergie d'activation est particulièrement élevée. Par conséquent, l'ATP est stable dans les conditions physiologiques, alors qu'il est rapidement hydrolysé dans les réactions enzymatiques.

★ Fig. 4. Quelques exemples de $\Delta rG'^0$ d'hydrolyse.

Composés	$\Delta G'^0$ (kJ)
Phosphoénolpyruvate	- 62
Carbamoyl phosphate	- 51,5
Acétyl phosphate	- 43
Créatine phosphate	- 43
Pyrophosphate	- 33,5
ATP	- 30,5
Glucose 1-phosphate	- 21
Glucose 6-phosphate	- 13,8
Glycérol 3-phosphate	- 9,2

→ noter la position intermédiaire de l'hydrolyse de l'ATP

Fig. 5. Exemples de couples rédox « biologiques ». [1][2]

E' : potentiels standards (à 25°C et pH 7) ;
n : nombre d' électrons transférés.

Oxydant	Réducteur	n	E'_0 (V)
Succinate + CO ₂	α -Cétoglutarate	2	-0,67
Acétate	Acétaldéhyde	2	-0,60
Ferrédoxine (oxydée)	Ferrédoxine (réduite)	1	-0,43
2 H ⁺	H ₂	2	-0,42
NAD ⁺	NADH + H ⁺	2	-0,32
NADP ⁺	NADPH + H ⁺	2	-0,325
Lipoate (oxydé)	Lipoate (réduit)	2	-0,29
Glutathion (oxydé)	Glutathion (réduit)	2	-0,23
FAD	FADH ₂	2	-0,22
Acétaldéhyde	Éthanol	2	-0,20
Pyruvate	Lactate	2	-0,19
Fumarate	Succinate	2	0,03
Cytochrome b (+3)	Cytochrome b (+2)	1	0,07
Déhydroascorbate	Ascorbate	2	0,08
Ubiquinone (oxydée)	Ubiquinone (réduite)	2	0,10
Cytochrome c (+3)	Cytochrome c (+2)	1	0,22
Fe (+3)	Fe (+2)	1	0,77
$\frac{1}{2}$ O ₂ + 2 H ⁺	H ₂ O	2	0,82

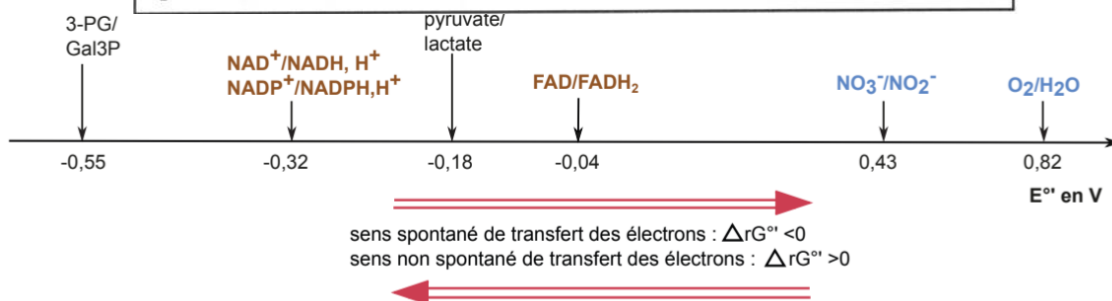
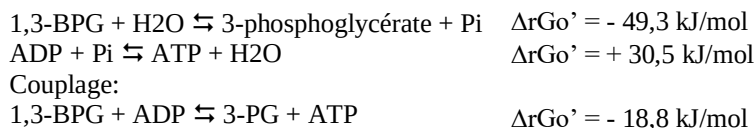
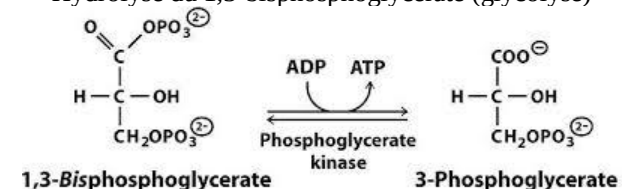


Fig. 6. Deux exemples de synthèse d'ATP par transphosphorylation. ★★

Hydrolyse du 1,3-bisphosphoglycérate (glycolyse)



Hydrolyse de la phospho-créatine (cellules musculaires)

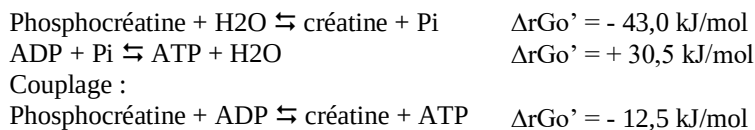
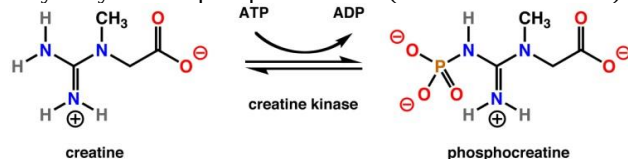
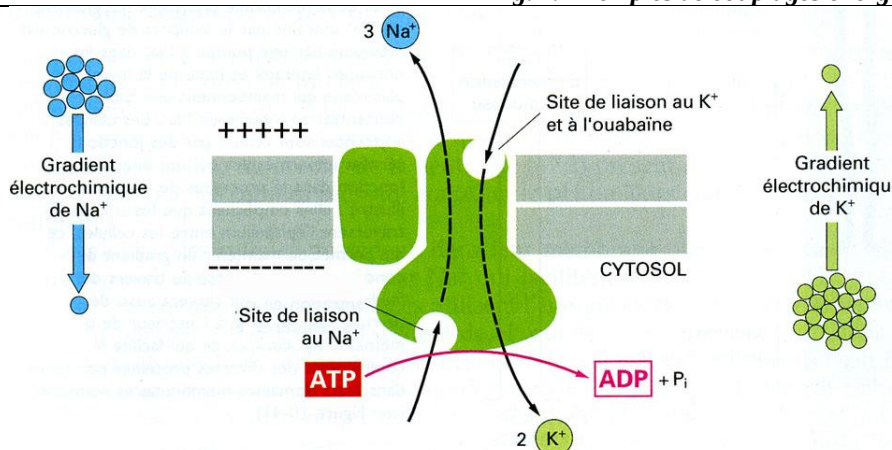
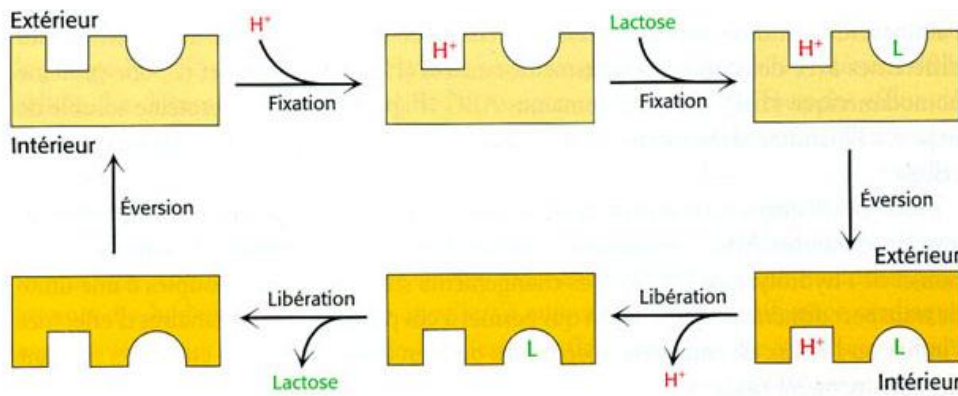


Fig. 7. Exemples de couplages énergétiques



★★★Fig. 7A. Un exemple de couplage chimio-osmotique : la pompe Na/K ATPase.

L'hydrolyse de l'ATP permet le transport de Na⁺ et K⁺ contre leur gradient électrochimique.



★★Fig. 7B. Un exemple de couplage osmo-osmotique : le cotransport du lactose et du H^+ (symport).

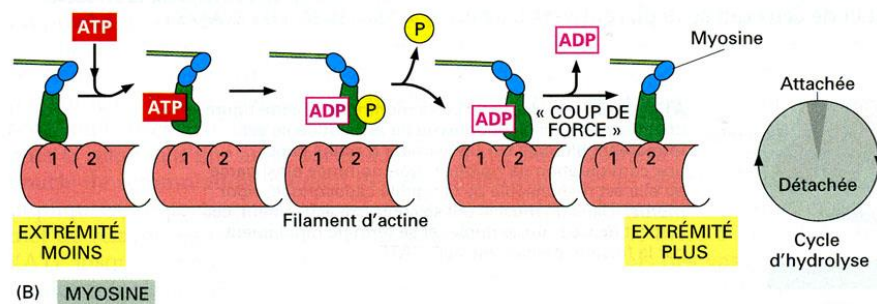
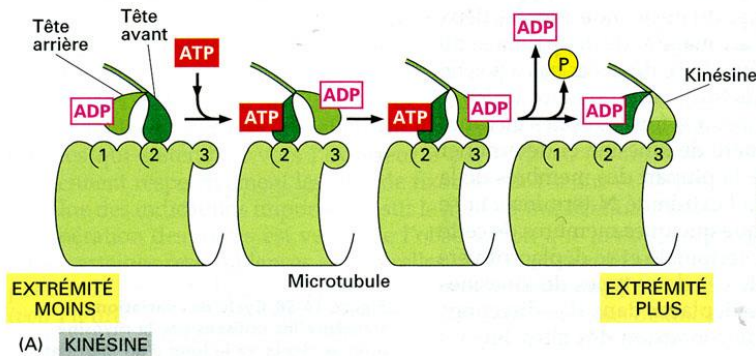
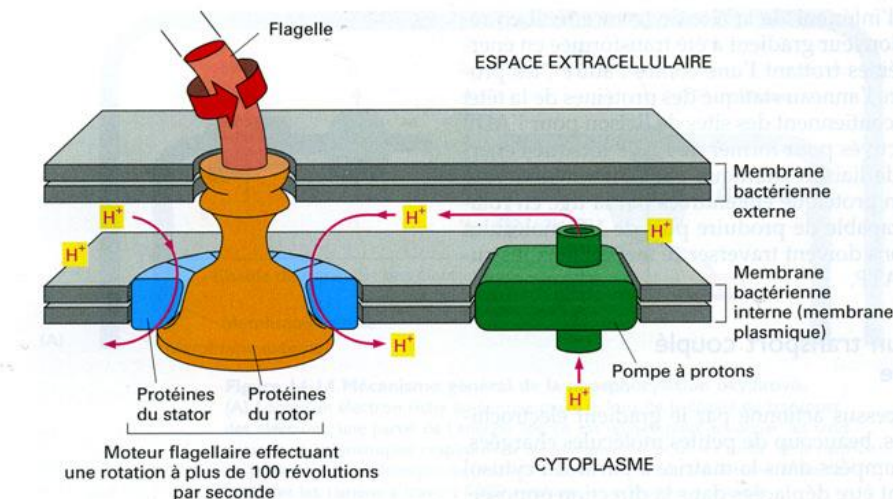
Les protons rentrent suivant leur gradient de concentration (réaction exergonique) et permettent l'entrée du lactose dans la bactérie contre son gradient de concentration.

Rotation du flagelle bactérien actionnée par le flux de H^+ .

Le flagelle est fixé sur une série d'anneaux protéiques (orange), qui sont inclus dans les membranes externe et interne et tournent avec le flagelle. La rotation est actionnée par un flux de protons à travers un anneau externe de protéines (le stator) selon des mécanismes qui pourraient ressembler à ceux utilisés par l'ATP synthase, même s'ils ne sont pas encore compris.

★Fig. 7C. Un exemple de couplage osmo-mécanique : le flagelle des bactéries.

L'entrée de protons suivant leur gradient de concentration (gradient formé par une pompe à proton) permet la rotation du flagelle.



★★Fig. 7D. Un exemple de couplage chimio-mécanique : quelques mouvements du cytosquelette.

L'hydrolyse de l'ATP est couplée au mouvement de la kinésine sur les microtubules ($\rightarrow$ mouvement des vésicules dans la cellule, etc.), ou aux mouvements des têtes de myosine sur les microfilaments d'actine ($\rightarrow$ contraction des cellules musculaires, etc.).

★★★Fig. 7E. Un exemple de couplage chimio-osmotique et osmo-chimique : la phosphorylation oxydative.

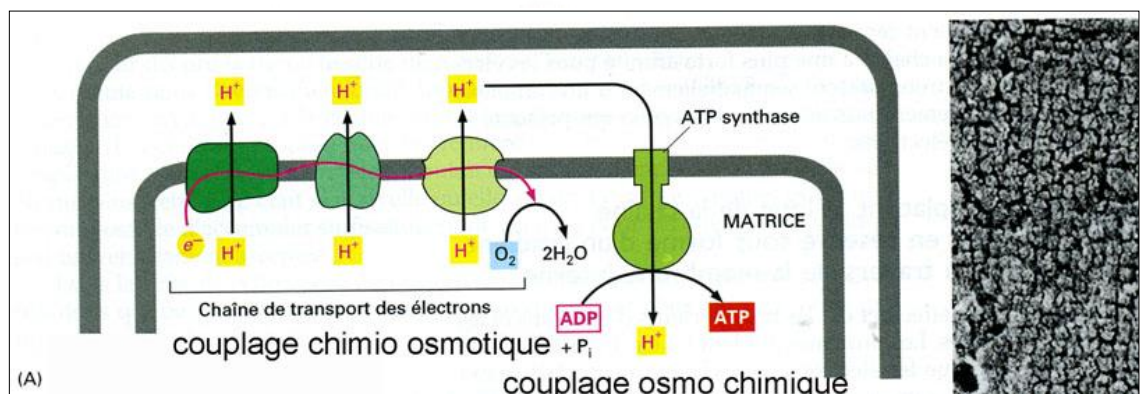


Fig. 8. Perméases et co-transporteurs au glucose dans un entérocyte. ★★★ [3]

Le gradient de glucose est indiqué (▲).
SGLT1 = co-transporteur Na⁺/Glucose.

La situation serait différente pour une cellule musculaire, avec un gradient de glucose orienté dans l'autre sens, conduisant à une entrée passive de glucose car à une perméase GluT4.

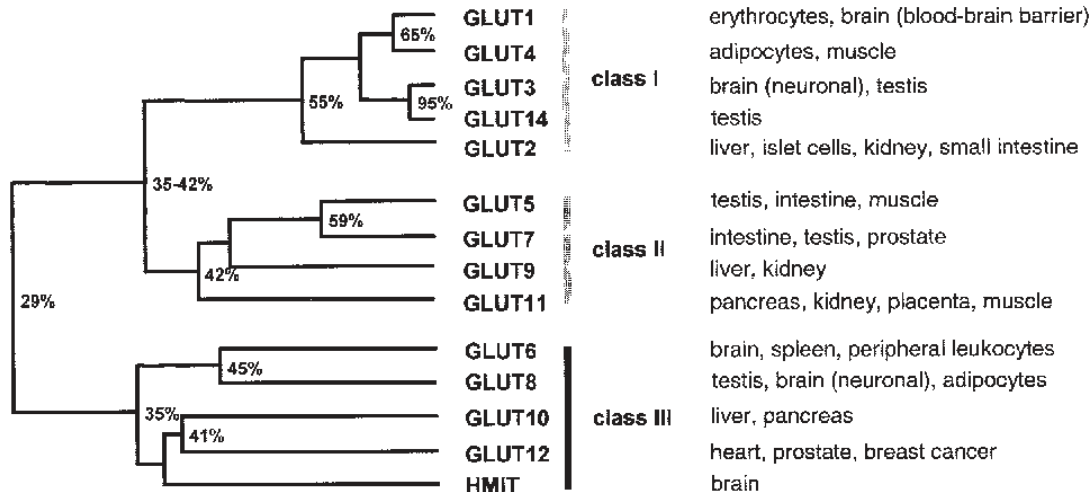
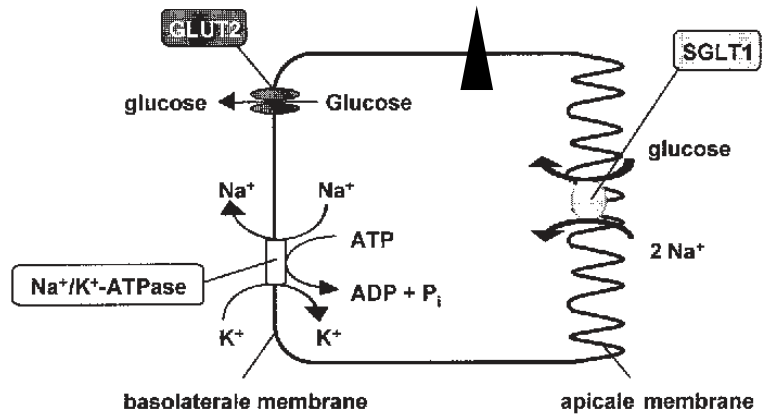
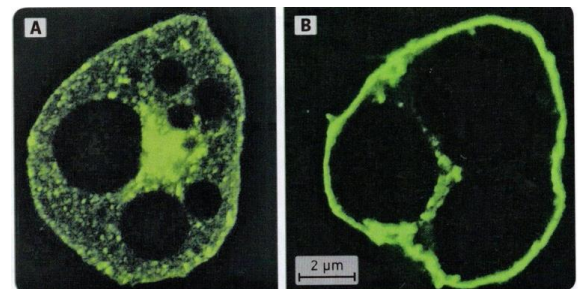
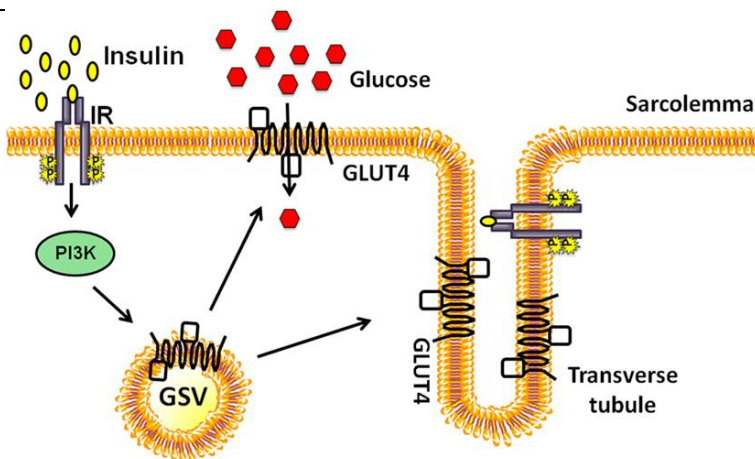
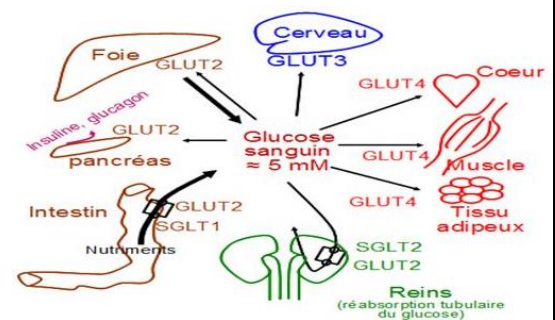


Fig. 9. Les perméases Glut forment une famille multigénique. ★ [3]

	Principale localisation cellulaire	Affinité pour glucose (inverse Km)	Dépendance de l'insuline
GLUT 1	Hématies	Forte	Non
GLUT 3	Cerveau	Forte	Non
GLUT 2	Foie, pancréas, rein, intestin	Faible	Non
GLUT 4	Muscle, adipocyte	Forte	oui

Fig. 10. Les principaux GluT : expression et sensibilité à l'insuline. ★★★



Observation en microscopie à fluorescence de cellules cibles de l'insuline en absence (A) ou en présence (B) d'insuline. Les cellules sont incubées en présence d'anticorps fluorescents verts anti-transporteurs au glucose (GluT 4).

A : GluT internalisé (vésicules). B : GluT à la membrane plasmique.

Fig. 11. Régulation du flux entrant de glucose par internalisation ou recrutement à la membrane des perméases GluT4. ★★★

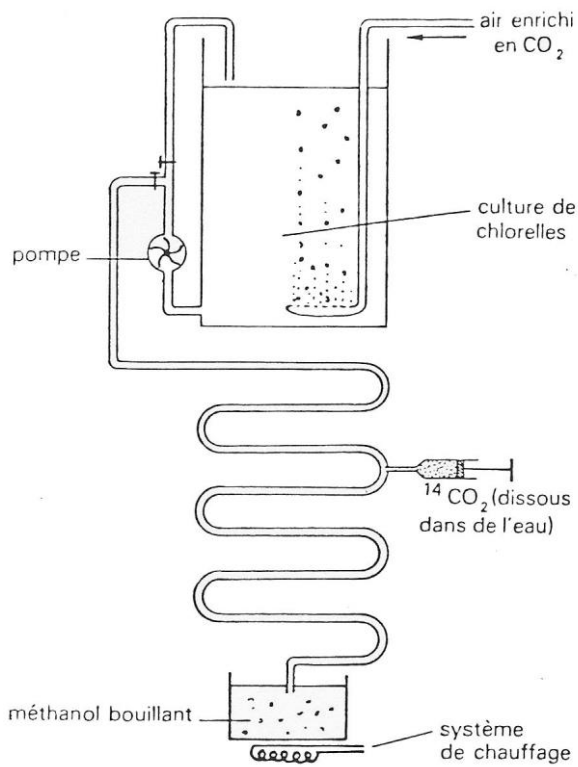


Fig. 12. Dispositif expérimental de Calvin & Benson.

★★

★★Fig. 13. Résultats obtenus par Calvin & Benson après chromatographie 2D et autoradiographie. →

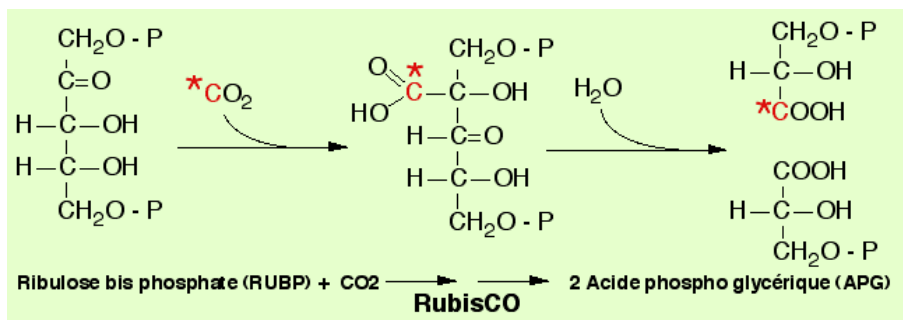
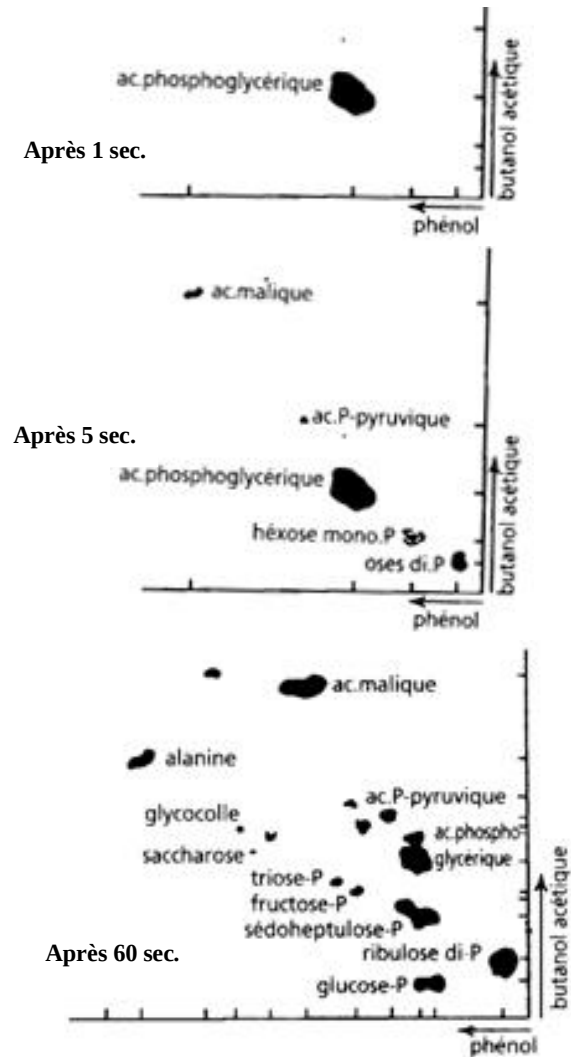


Fig. 13. La fixation du dioxyde de carbone sur le RubiP conduit à la formation de deux trios-phosphate (APG = acide phosphoglycérique)

★★★

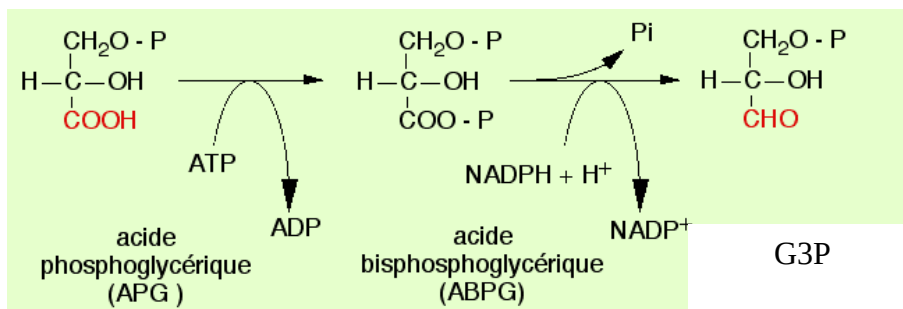


Fig. 14. La réduction de l'APG et la formation d'un trios-phosphate, le glycéraldéhyde-3-phosphate (G3P).

★★★

Fig. 15. Le cycle de Benson-Calvin et sa relation avec les réactions de la membrane du thylakoïde. ★★★

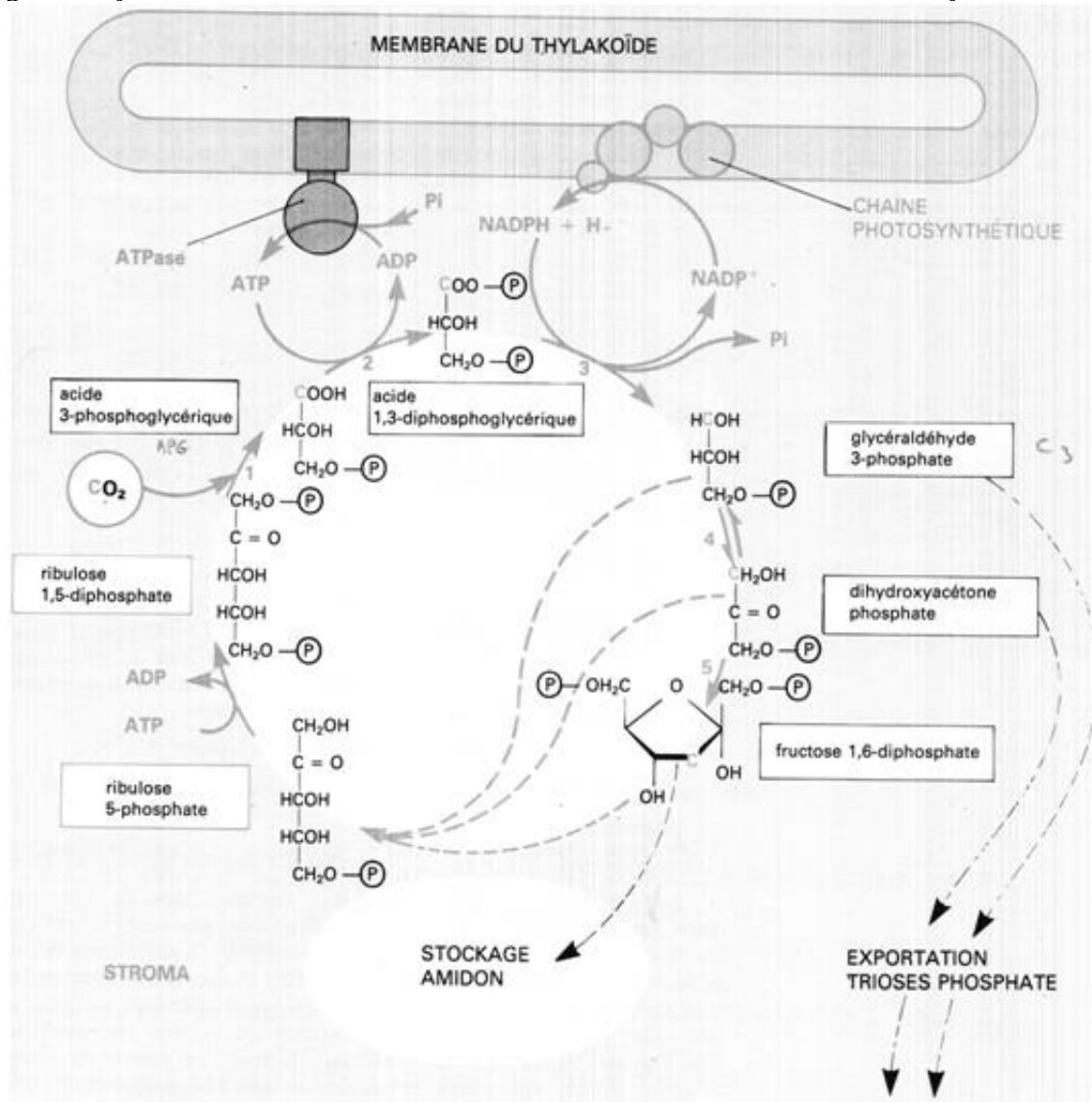


Fig. 16. Les trois étapes du cycle de Calvin. ★★★

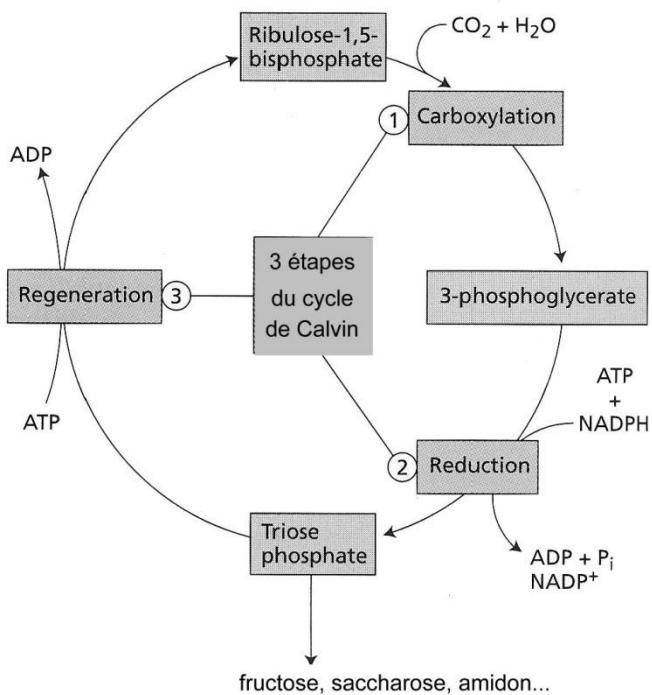


Fig. 17. la régénération de 3 ribulose-phosphate à partir de 5 triose-phosphate (pour information). ★

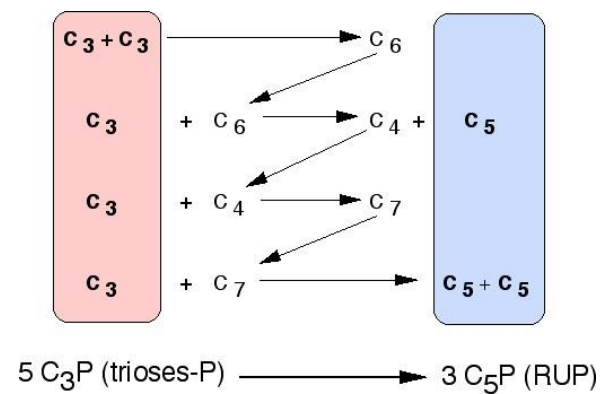


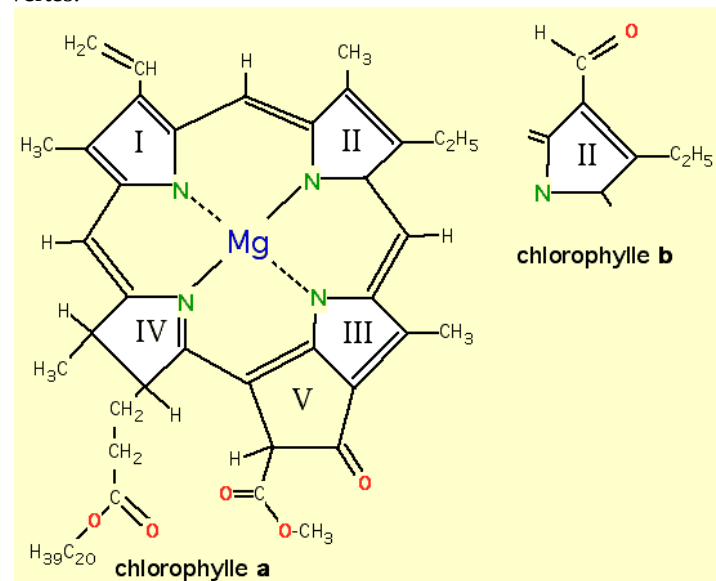
Fig. 18. Les pigments photosynthétiques : les chlorophylles a et b. ★★

Les chlorophylles représentent jusqu'à 10% de la masse des thylacoïdes

Il existe plusieurs sortes de chlorophylles :

La **chlorophylle a** est présente chez l'ensemble des plantes supérieures et des algues.

La **chlorophylle b** ne diffère que par un CH_3 remplacé par un CHO . Elle ne se trouve que chez les végétaux supérieurs et les algues vertes.



Le remplacement du CH_3 par le CHO entre les deux chlorophylles suffit pour modifier les propriétés spectroscopiques des deux chlorophylles vis à vis de la lumière.

Formule globale chlorophylle a : $\text{C}_{55} \text{H}_{72} \text{O}_5 \text{N}_4 \text{Mg}$

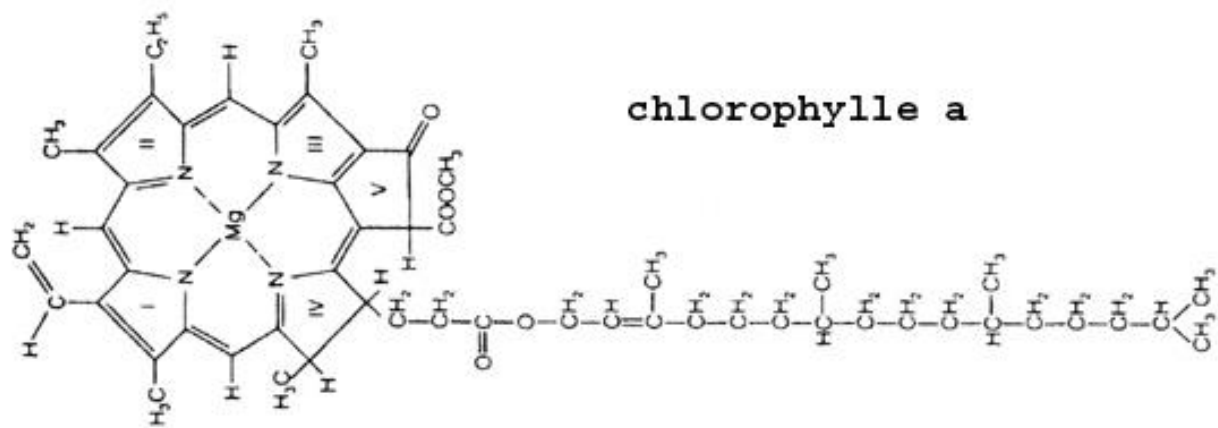
Chlorophylle b : $\text{C}_{55} \text{H}_{70} \text{O}_6 \text{N}_4 \text{Mg}$

Quant aux algues brunes et rouges, la chlorophylle est remplacée par des pigments voisins (chlorophylle c et d).

La chlorophylle (*figure ci-contre*) est constituée par :

- 4 noyaux pyrroles en cercle qui forment un plan fermé = **noyau tétrapyrrolique** : partie fonctionnelle de la chlorophylle ;
- un atome de **magnésium** au centre ;
- quelques substitutions en périphérie dont un alcool à longue chaîne : le **phytol** : "rostre" d'insertion dans la membrane.

Une molécule de chlorophylle est donc un noyau tétrapyrrolique, en partie hydrophile, greffé sur une chaîne latérale de phytol, hydrophobe → molécule **amphiphile**

**Fig. 19. Les pigments photosynthétiques : les caroténoïdes. ★★**

Ce sont des terpènes à 40 atomes de carbone. Certains sont cyclisés à leurs extrémités.

Ex : carotène, lycopène, xanthophylle.

➤ Carotène : $\text{C}_{40}\text{H}_{56}$ (polymère d'isoprène C_5H_8)

➤ Xanthophylle : $\text{C}_{40}\text{H}_{54}(\text{OH})_2$: dérivé oxygéné des carotènes

Ils représentent environ 2 % de la masse des thylacoïdes.

Les caroténoïdes sont des pigments assimilateurs mais ont également un rôle photoprotecteur des molécules de chlorophylle en cas d'éclairement intense. Les plantes qui ne possèdent pas de caroténoïdes sont rapidement détruites par exposition à la lumière et à l'oxygène.

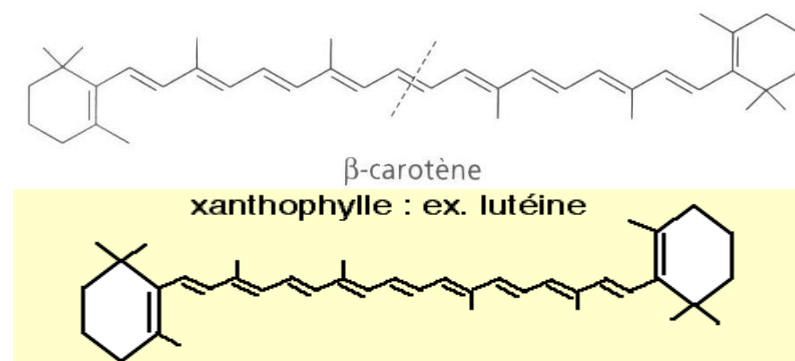


Fig. 20. Spectres d'absorption des pigments photosynthétiques. ★★

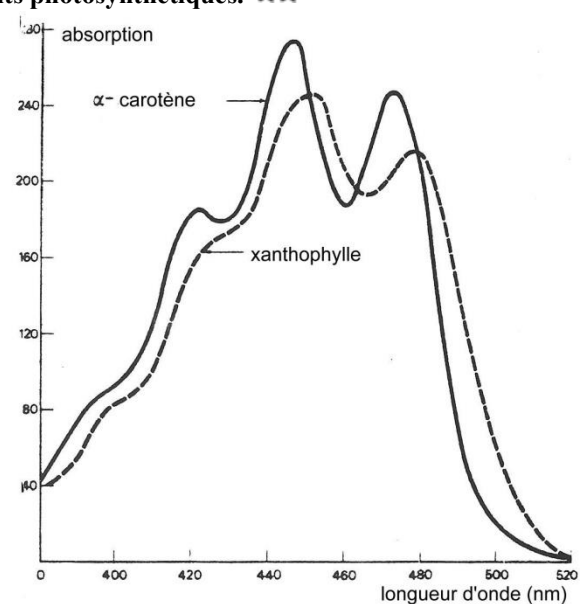
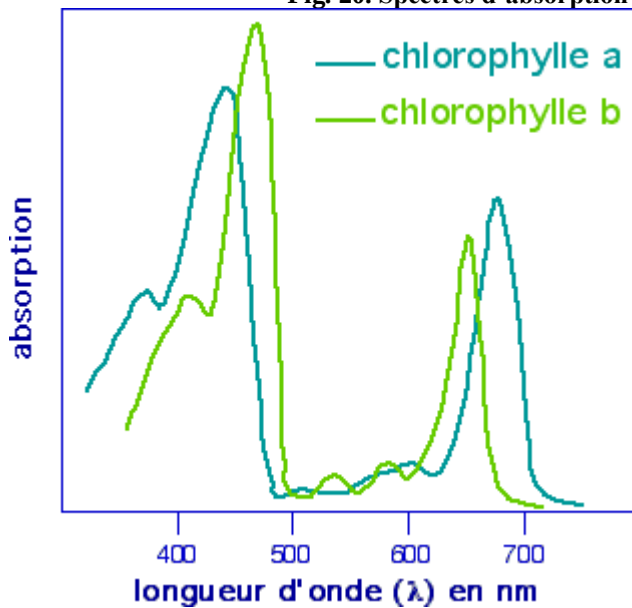
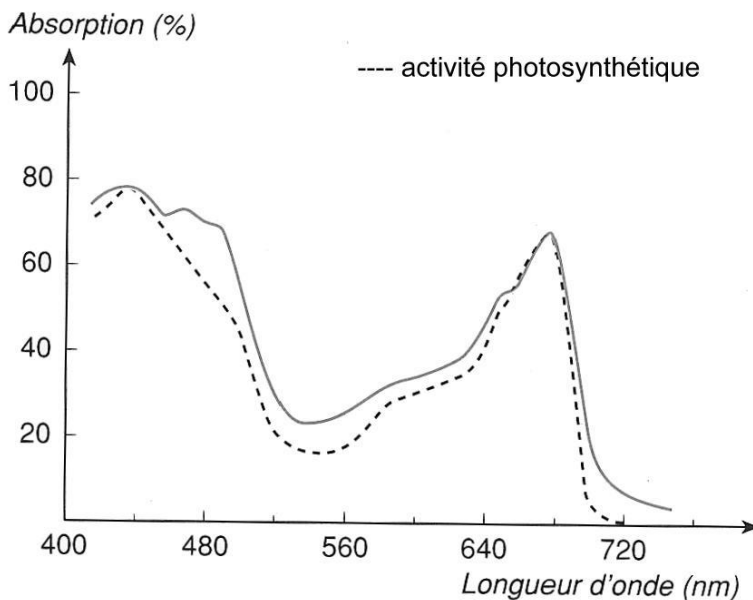


Fig. 21. Spectre d'action de la photosynthèse (comparé au spectre d'absorption total des végétaux chlorophylliens) ★★



Le **spectre d'action** est la variation de l'**intensité photosynthétique** en fonction de la longueur d'onde des radiations éclairantes (lumières monochromatiques).

Le **spectre d'absorption** est la variation de l'absorption de la lumière en fonction de la longueur d'onde des radiations lumineuses considérées. Un grand nombre de molécules possèdent un spectre d'absorption qui leur est spécifique. Pour établir un tel spectre, on mesure la quantité de lumière transmise après son passage dans une solution de pigment, on calcule pour chaque radiation, le pourcentage de lumière absorbée.

Fig. 22. L'excitabilité des pigments. ★★★

Rappel : les différents états d'énergie potentielle des électrons d'un atome s'appellent **niveaux énergétiques**. La première couche est la plus près du noyau et ses électrons possèdent l'énergie la plus faible. Les électrons de la deuxième et troisième couche possèdent plus d'énergie.

Un électron peut passer d'une couche à l'autre seulement en absorbant ou en perdant une quantité d'énergie.

L'arrivée de photons sur un pigment photosynthétique conduit donc au passage d'un électron de ce pigment de son état initial à un état activé (= à orbitale supérieure). Ce sont les électrons délocalisés, dus aux doubles liaisons conjuguées, qui sont ainsi excitables. Toutefois, l'état activé du pigment n'est pas un état stable : l'électron va spontanément retourner à son état énergétique initial, ce qui implique une perte énergétique de la part du pigment. Cette perte énergétique peut se traduire sous plusieurs formes :

- L'émission d'un nouveau photon : c'est la **fluorescence**. Ainsi, la chlorophylle en solution émet une fluorescence rouge (cf. figure ci-après). Il est important de noter que le pigment réémet obligatoirement moins d'énergie qu'il n'en a reçu (il y a une perte sous forme de chaleur, dans tous les devenir du pigment excité) : par conséquent (cf. formule ci-dessus), le photon émis par fluorescence a une longueur d'onde plus élevée que celle du photon exciteur.

Remarque : dans le cas de la chlorophylle, il y a en réalité deux états d'excitation, correspondant à une activation par la lumière bleue ou la lumière rouge. Toutefois, on ne note qu'une seule fluorescence, dans le rouge : ceci est dû au fait que l'état excité d'énergie la plus élevée (induit par le bleu) est très instable → l'électron redescend rapidement à l'état d'énergie plus bas (correspondant à l'activation par la lumière rouge), l'énergie étant perdue sous forme de chaleur. Cf. schéma ci-dessous.

- L'excitation d'un autre pigment, situé à proximité : c'est la **résonance**. Comme précédemment il y a perte énergétique, donc le deuxième pigment doit être excitable par des longueurs d'onde légèrement supérieures à celle ayant excité en premier lieu le premier pigment. *Ce phénomène se déroule au sein des antennes collectrices, aboutissant à l'excitation de la chlorophylle piège (une chlorophylle a).*
- **Séparation de charges photo-induite (photochimie)** : La troisième possibilité pour un pigment de retourner à son état fondamental est de céder son électron excité à une molécule (= accepteur d'électron). En effet, le pigment excité est un réducteur bien plus fort que le pigment non excité : le pigment excité est capable de réduire une autre molécule. On obtient alors un pigment portant une charge + (car ayant perdu un électron) ; le retour à la situation initiale nécessite donc qu'une molécule (= le donneur d'électron) cède un électron au pigment chargé positivement (qui est un oxydant). *Ce phénomène se déroule au niveau de la chlorophylle a piège, au centre réactif du photosystème : cf. schéma ci-contre →*

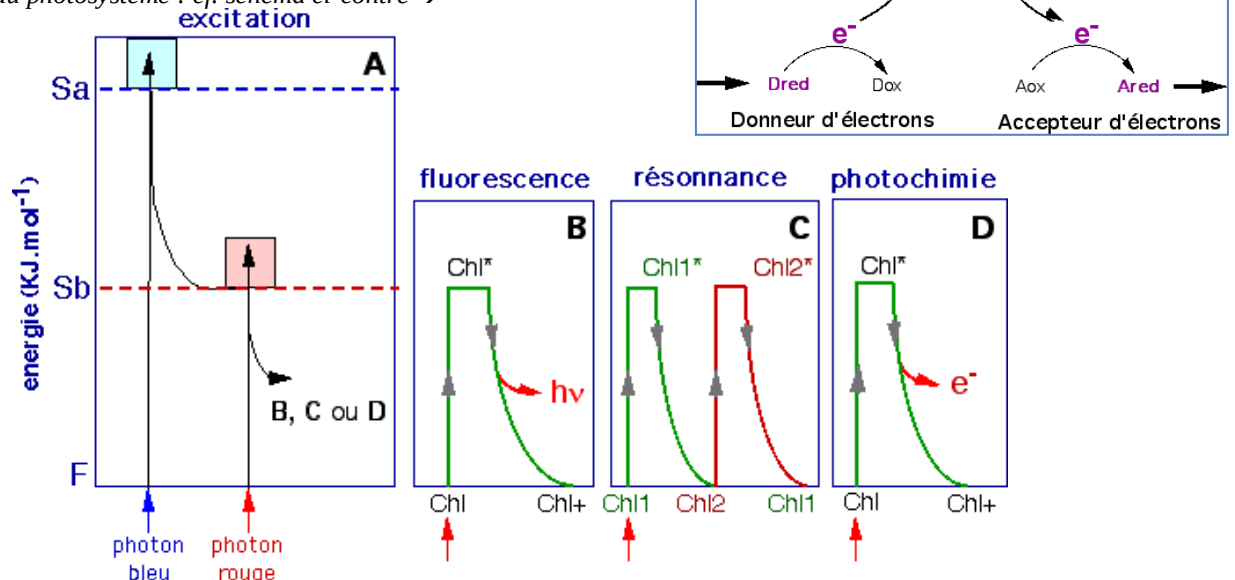


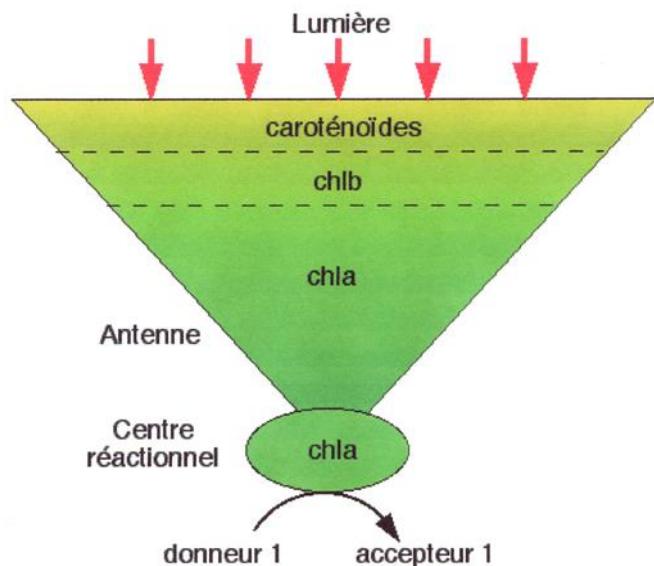
Fig. 23. Les photosystèmes des végétaux chlorophylliens. ★

Un photosystème est un complexe protéines/pigments (caroténoïdes, chlorophylles...) inséré dans la membrane des thylakoïdes. On distingue :

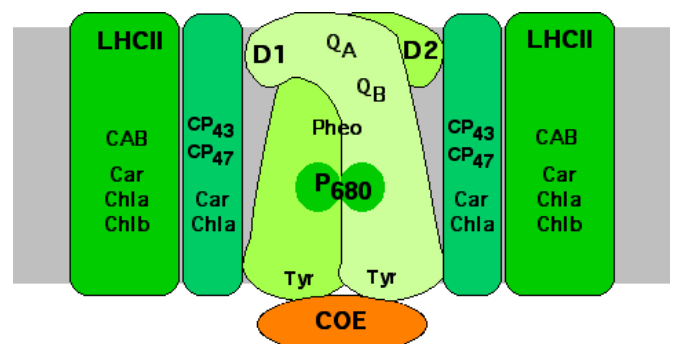
➤ **une antenne collectrice** qui reçoit l'énergie lumineuse, l'énergie y est transmise de pigment à pigment par résonance (transfert d'excitation par résonance). Pour que le transfert d'énergie par résonance se fasse il faut (1) que les pigments soient très proches (1 à 7 nm), ce qui est le cas dans un photosystème. (2) Il faut aussi que les niveaux d'énergie de l'état excité soient équivalents. Un peu d'énergie est perdue à chaque transfert : le transfert se fait globalement des caroténoïdes (excités par des faibles longueurs d'ondes) à des chlorophylles b, puis à des chlorophylles a, pour aboutir au final à la chlorophylle a du centre réactionnel.

Antenne collectrice = complexe d'antenne = complexe photocollecteur (CPC)

➤ **un centre réactionnel**, il est constitué d'une (ou 2) chlorophylle a qui est le dernier accepteur d'énergie. L'énergie reçue provoque une diminution du potentiel redox et un électron peut être cédé à un accepteur. La chlorophylle a du centre réactionnel, lorsqu'elle passe dans son état excité, a un potentiel redox abaissé, elle peut céder un électron (à un plus fort oxydant)



Structure générale d'un photosystème



(pour information) Structure détaillée du PS II.
P680 représente la chlorophylle a du centre réactionnel.

Fig. 24. Membrane thylakoïdienne et photophosphorylation. ★★★ [2]

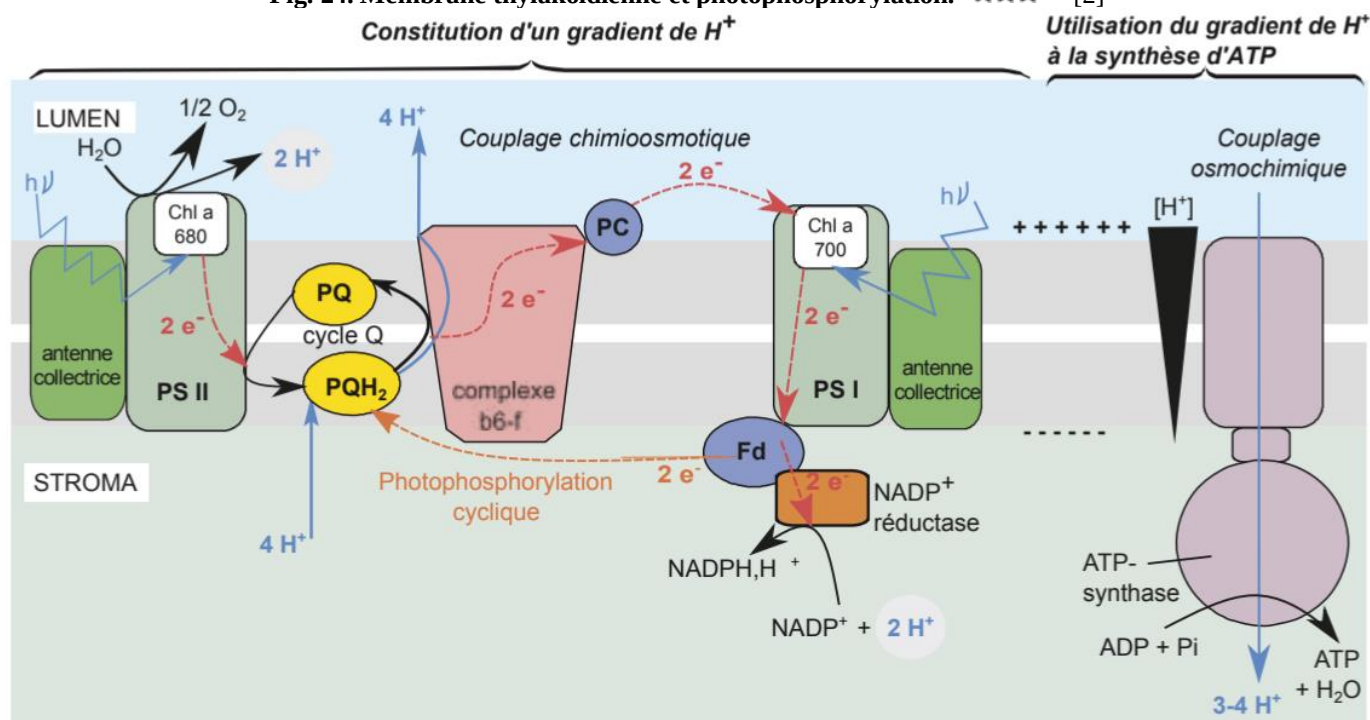
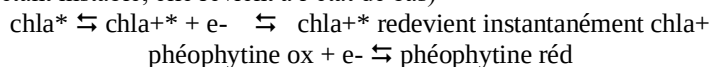


Fig. 25. Le fonctionnement de la chaîne photosynthétique. ★

PS II = Le photosystème II :

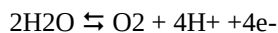
Il permet l'oxydation de l'eau, il agit donc comme un oxydant très puissant (plus fort que O₂ lui-même un oxydant très fort). Le centre réactionnel comprend une chlorophylle a, ainsi qu'une phéophytine (chlorophylle sans Mg²⁺ central) (en particulier).

Lorsque la chl a est excitée, son potentiel redox chute, elle peut céder un électron à la phéophytine (Accepteur d'électrons). Elle passe à l'état oxydé chl a⁺ (l'état excité étant instable, elle revient à l'état de bas)



Le PS II est associé à un centre de Mn (Manganèse), lieu précis de l'oxydation de l'eau, situé côté lumen.

La ½ réaction est :



La production de 1 O₂ libère 4 électrons, le centre de Mn a un fonctionnement cyclique à 5 états permettant de libérer les électrons 1 par 1. Et d'éviter par conséquent la formation d'intermédiaires toxiques. Le donneur d'électrons qui régénère la chl a à partir de chl a⁺ est donc ici l'eau via le centre de Mn.

PQ = Plastoquinone :

La phéophytine peut céder ses électrons (via la quinone A (QA), qui les cède immédiatement à la quinone B (QB)) à la plastoquinone (PQ) qui reçoit 2 électrons et 2 protons, elle passe à l'état réduit (PQH₂). A l'état réduit, elle peut se dissocier du complexe et elle devient mobile dans la membrane. Elle emporte ainsi les électrons vers le complexe b6f.

Remarque : la plastoquinone a une structure proche de la quinone mitochondriale, en particulier une queue hydrophobe les stabilise dans la membrane.

Le complexe b6f :

Il reçoit les électrons. Il s'agit d'un complexe protéique à 4 sous unités, avec plusieurs groupements prosthétiques : 2 hèmes de type c, 1 hème de type f, un groupement fer soufre. La structure et le fonctionnement ressemblent un peu à ceux du cytochrome c réductase (complexe III, bc1).

La plastoquinone (QH₂) cède 1 électron au groupement FeS. FeS transmet à l'hème c. Cyt c cède à la plastocyanine qui est un transporteur mobile. Au niveau du complexe b6f, les transferts d'électrons se font dans le sens des potentiels croissants, donc spontanément.

PC = La plastocyanine :

C'est une petite protéine avec un atome de Cu (Cu³⁺/Cu²⁺). Il s'agit d'une protéine majoritairement hydrophile, elle est dissoute côté lumen mais elle reste en contact avec la membrane thylakoïdienne. Elle cède ses électrons au complexe P700, le photosystème I.

PS I = Le photosystème I :

Il est à l'état excité un très fort réducteur, il permet la formation de NADPH, H⁺.

Le centre réactionnel contient un dimère de chlorophylles a piège (P700), une molécule (A) spécialisée dans la capture de l'électron du P700 ainsi que différents centres fer-soufre, qui jouent le rôle de transporteurs d'électrons jusqu'à l'accepteur final du PSI constitué par la ferredoxine (Fd).

Fd = La ferredoxine :

C'est une petite protéine plutôt hydrophile, située sur la face stroma de la membrane. Elle cède ses électrons à l'accepteur final, un NADP⁺. La réduction du NADP⁺ en NADPH, H⁺ se fait au niveau d'un complexe enzymatique ferredoxine NADP réductase.

Fig. 29. Transferts d'électrons et potentiels rédox des chlorophylles a des photosystèmes. ★★ [2]

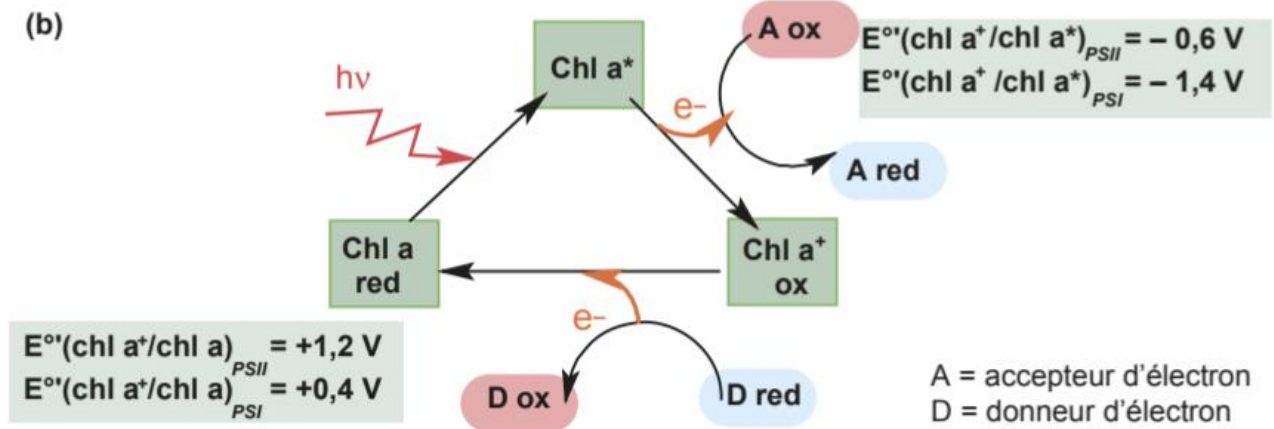


Fig. 30. Structure de l'ATP synthase. ★★

Les ATP synthases des différents organismes étudiés ont une structure similaire. On peut distinguer un domaine transmembranaire F_0 et un domaine hydrophile F_1 (dans le stroma des chloroplastes, la matrice des mitochondries, le cytosol des eubactéries).

➤ **Le domaine F_0** est un complexe protéique intégré à la membrane. La stoechiométrie des sous-unités est $1a, bb', 10c$. Elle est transmembranaire.

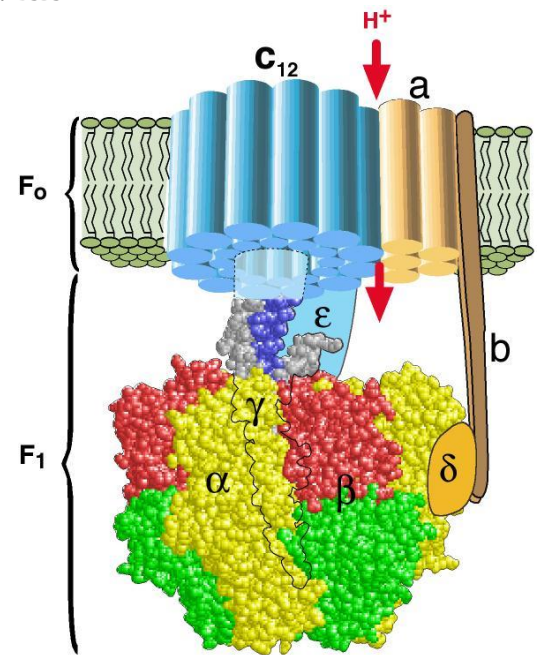
- les sous unités c (très hydrophobes), sont formées de 2 hélices α transmembranaires. Les sous unités c forment une "couronne" au sein de la membrane.

- la sous unité a forme 2 demi-canaux à protons permettant le passage des protons entre les deux faces de la membrane à l'intérieur de la bicouche. Le passage d'un demi canal à l'autre s'effectuant via les sous unités c

- les 2 sous unités bb' incluent une partie transmembranaire et un domaine très polaire, qui s'étend à l'extérieur de la membrane et établissent une liaison avec la partie F_1 de l'enzyme via la sous unité δ .

➤ **Le domaine F_1** , hydrophile, (qui fait saillie dans le stroma) comprend 5 polypeptides (sous-unités $\alpha, \beta, \delta, \gamma, \epsilon$). La stoechiométrie des sous-unités est $3\alpha, 3\beta, 1\delta, 1\gamma, 1\epsilon$. Les ATP synthases sont localisées majoritairement dans les thylakoïdes intergranaires. Ainsi, la partie cF_0 (encombrante à l'échelle moléculaire) est toujours au contact du stroma. De plus, ATP, ADP, P_i sont des molécules présentes dans le stroma, ainsi elles peuvent rencontrer les ATP synthases.

Les sous unités α et β forment un anneau. Les β portent les sites catalytiques.



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

Fig. 31. Modèle de fonctionnement des sous-unités β .

★★★

Le passage des protons à l'interface entre rotor (sous-unité c) et stator (sous-unité a) dans le domaine membranaire (F_0) cause la rotation.

C'est la rotation de la tige (γ) qui déforme les sous-unités β du domaine extra-membranaire F_1 et fournit à celles-ci l'énergie nécessaire à la synthèse d'ATP : La rotation de la tige γ du rotor déforme les 3 sous-unités β du stator qui contiennent les sites actifs de synthèse d'ATP. Ces sites passent par les états :

- O (ouvert ; *open*) : faible affinité pour l'ATP, qui est relâché
- L (lâche ; *loose*) : fixation d'ADP et de P_i ; faible activité catalytique
- T (tendu ; *tense*) : forte activité catalytique ($\text{ADP} + P_i \rightarrow \text{ATP} + \text{H}_2\text{O}$) ; forte affinité pour l'ATP

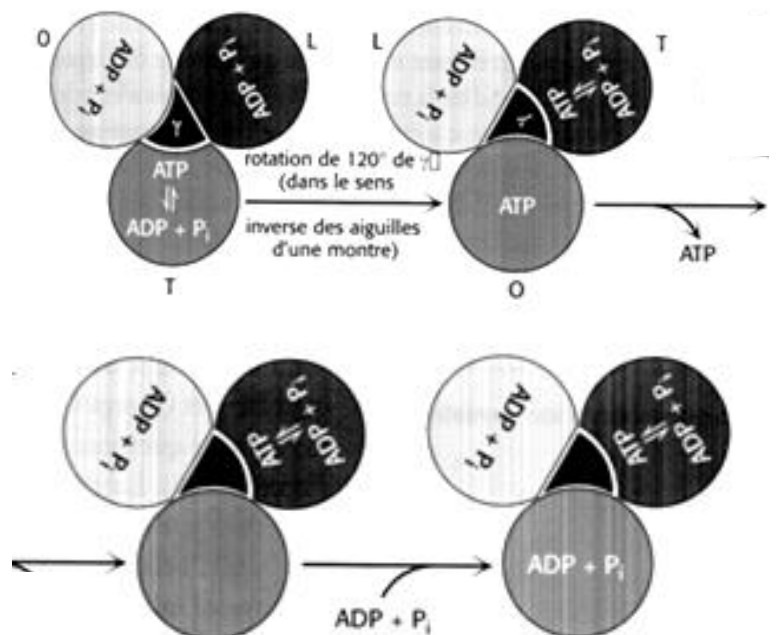


Fig. 32. Explication moléculaire : le couple rotor – stator.

★★★ [2]

L'ATP synthase comporte une **partie fixe (le stator)** et une **partie mobile (le rotor)** :

➤ **Le stator** est composé des sous-unités **a** intégrées à la membrane mitochondriale interne, de la tige de maintien (sous-unités **b** et **δ**) et de la tête catalytique (sous-unités **α** et **β**).

➤ **Le rotor** est composé des sous-unités **c** membranaires, de **ε**, et de la tige mobile **γ**.

Chaque sous-unité **c** possède un acide aminé Aspartate : lorsque la sous-unité **c** se trouve face à une sous-unité **a**, il peut soit capter un proton (dans un demi-canal, en provenance de l'espace intermembranaire), soit libérer un proton (dans un autre demi-canal, communiquant avec la matrice). Les sous-unités **c** positionnées face à la zone hydrophobe de la membrane sont protonnées (aspartate non chargé), alors que les sous-unités **c** positionnées face aux sous-unités **a** sont dans un environnement hydrophile : leur aspartate est déprotonné (chargé négativement). Le flux de protons à travers le stator entraîne donc une rotation de l'anneau de sous-unités **c** du rotor, grâce aux protonnations – déprotonnations des Aspartates (ASP 61) : la rotation de l'anneau, induite par le flux exergonique des protons suivant leur gradient électrochimique, entraîne la rotation de la tige **γ**. Une rotation de 120° de la tige **γ** induit un changement de conformation des sous-unités du stator : **β** passe par trois conformations successives, ce qui permet la fixation d'ADP+Pi, la formation d'ATP, et enfin le relargage de l'ATP synthétisé.

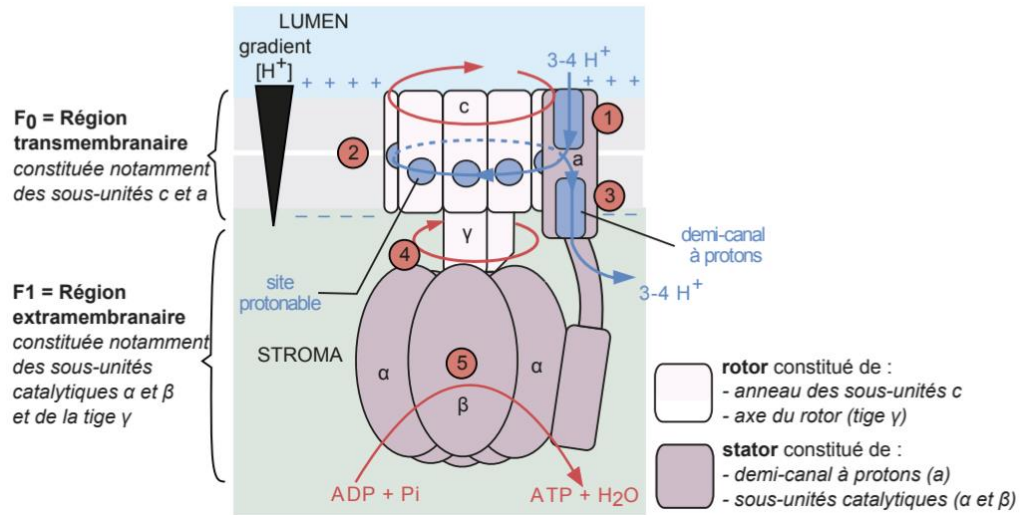


Fig. 33. Activités de la RUBISCO. ★★

RUBISCO = RibUlose-BISphosphate-Carboxylase-Oxygénase.

L'enzyme peut catalyser l'addition de **CO₂** sur le RubiP (formation de deux corps en C3), mais aussi de **O₂** (formation d'un corps en C3 et d'un corps en C2).

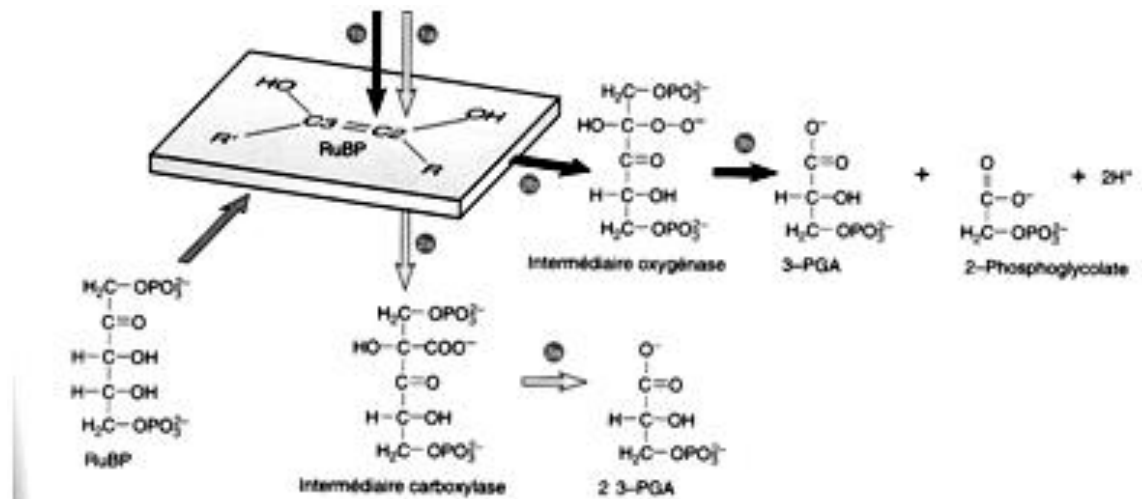


Fig. 34. Les réactions de la photorespiration font intervenir une coopération entre trois organites.

★

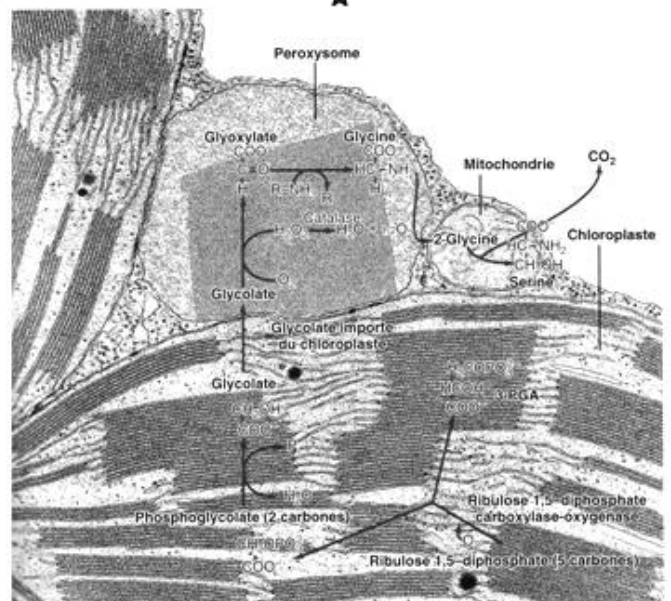
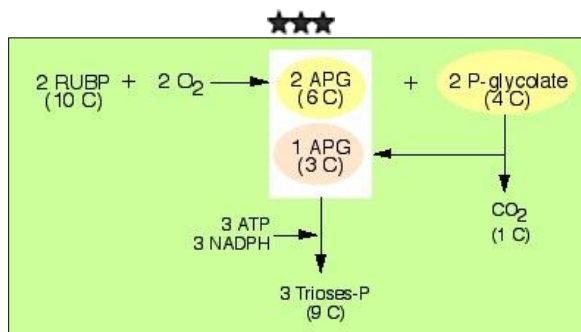
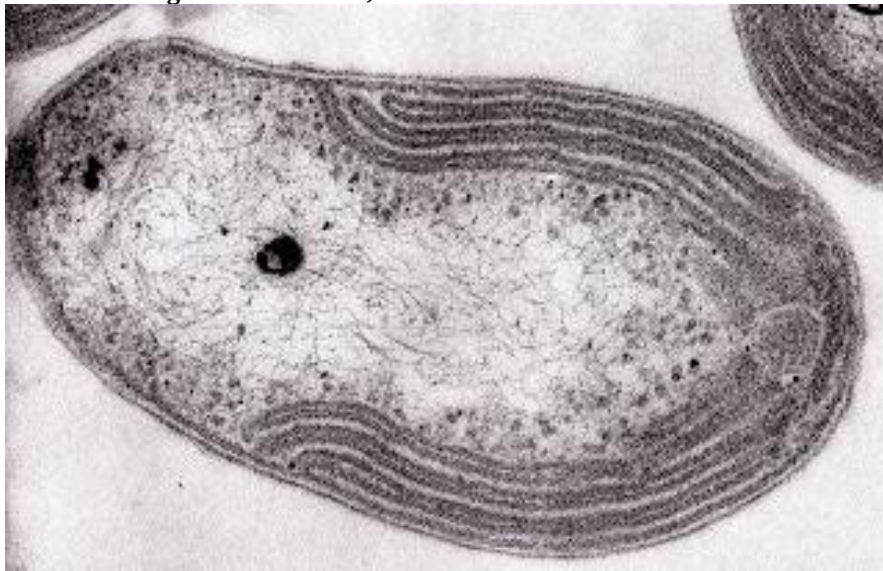
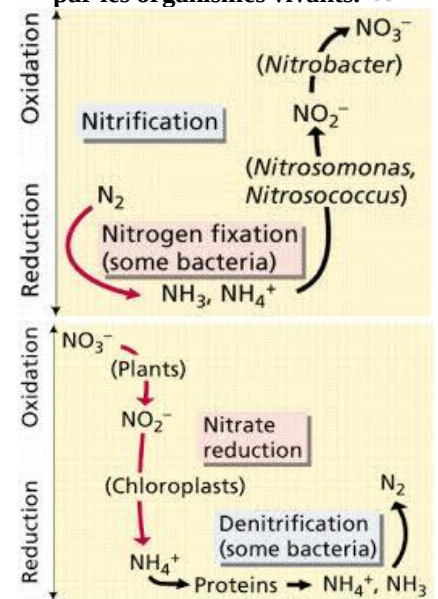


Fig. 35. *Nitrobacter*, une eubactérie nitratante. ★★★

Nitrobacter est un genre bactérien capable de nitratation, c'est-à-dire d'oxyder les nitrites (NO_2^-) en nitrates (NO_3^-).

Ces nitrates, libérés en partie dans le milieu, peuvent être fixés par les plantes, qui possèdent un métabolisme leur permettant de réduire les nitrates et ainsi de réaliser la synthèse de leurs molécules azotées.

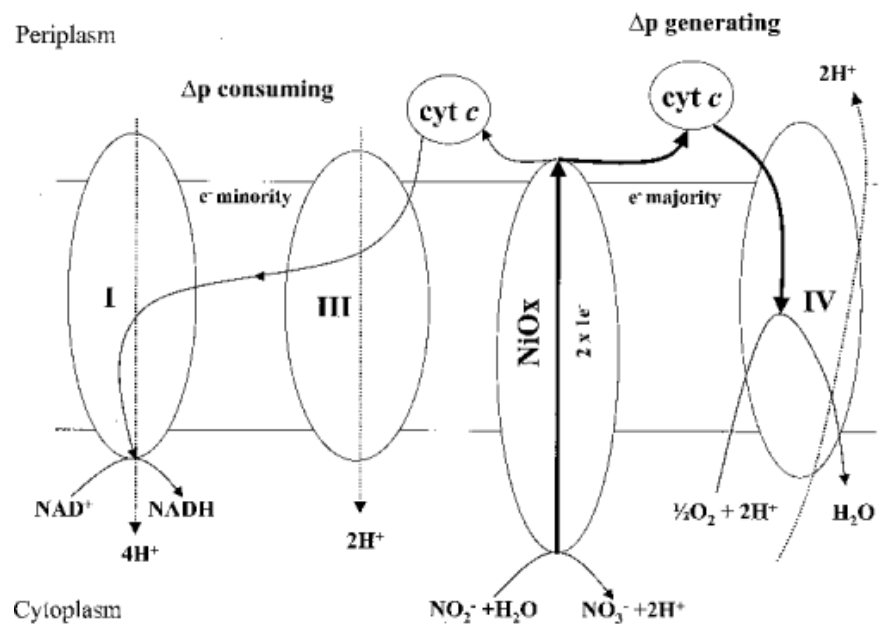
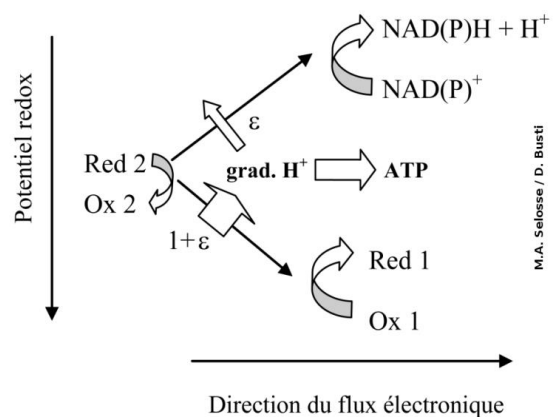
Fig. 36. Oxydation ou réduction de l'Azote par les organismes vivants. ★

Fig. 37. Chaînes d'oxydoréduction de la membrane plasmique de *Nitrobacter*. ★★★

L'oxydation du NO_2^- en NO_3^- permet d'initier un flux d'électrons.

La majorité de ces électrons suit une voie exergonique, aboutissant à un complexe IV similaire à celui de la chaîne respiratoire : on génère ainsi un gradient de protons au niveau de ce complexe IV.

Ce gradient de protons permet, par couplage, la réalisation d'une voie endergonique, aboutissant à la réduction du NAD^+ en NADH, H^+ .

Fig. 38. Chaînes d'oxydoréduction de la membrane de *Nitrobacter* (bactérie nitratante) et potentiels d'oxydoréduction. ★★

Références

- [1] ou absence de numéro : Ouvrage ou page Internet non précisé
- [2] C. Perrier *et al.* Biologie BCPST1 tout-en-un. Dunod
- [3] A. Scheepers *et al.* The glucose transporter families SGLT and GLUT: molecular basis of normal and aberrant function. JPEN 28 (5) : 364-371 (2004)