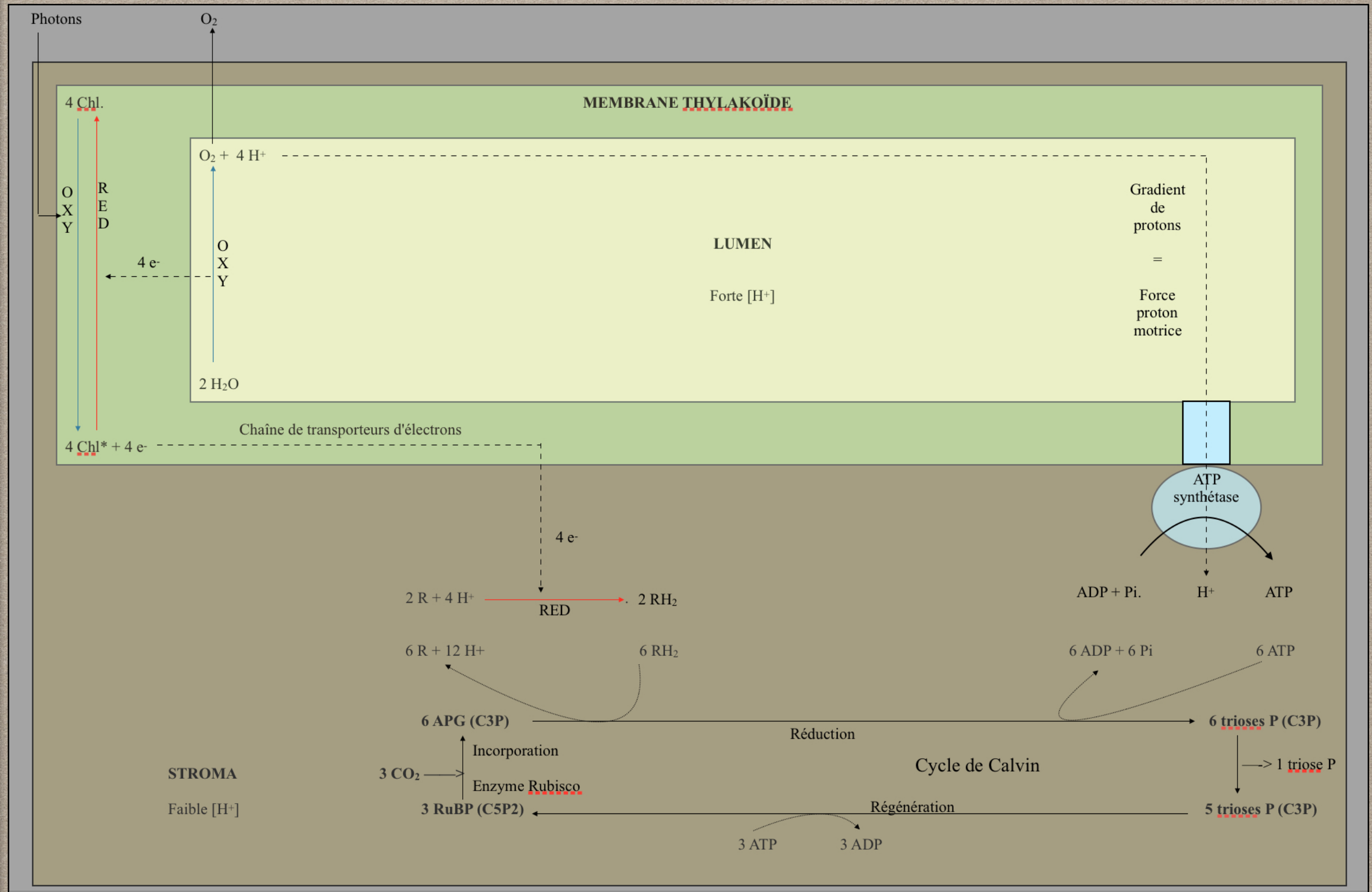


Schéma bilan de la photosynthèse



Mémo: Photosynthèse

Phases	Couplages		Commentaires
	Oxydation	Réduction	
<u>Photochimique</u>	4 chlorophylles (Membrane thylakoides)	2 R (Stroma)	<u>Photo-excitation de la chlorophylle A</u> Il faut 1 photon pour exciter 1 molécule de chlorophylle A Conversion énergie lumineuse en énergie chimique : RH_2 = « pouvoir réducteur » Électrons pris en charge par une chaîne de transporteurs dans la membrane des thylakoides jusqu'au stroma.
	2 H₂O (Lumen)	4 chlorophylles * (Membrane thylakoides)	<u>Photolyse de l'eau</u> Concentration H^+ augmente dans lumen -> gradient H^+ : lumen fortement concentré / stroma faiblement concentré. Gradient H^+ -> force proto motrice -> énergie permettant phosphorylation ADP ($ADP + P_i \rightarrow ATP$) grâce à ATP synthétase située dans la membrane des thylakoides. Les chlorophylles retournent à leur état fondamental (réduites)
<u>Chimique</u>	12 RH_2 (Stroma)	6 CO₂ (Stroma)	<u>Cycle de Calvin: réduction du carbone</u> Nécessite RuBP et enzyme: Rubisco Nécessite un apport d'énergie: hydrolyse de 18 ATP pour 1 glucose produit. Conversion énergie chimique issue de la phase photochimique (RH_2 et ATP) en énergie chimique (glucose: $C_6H_{12}O_6$). Régénération ADP et R nécessaires à la phase photochimique.

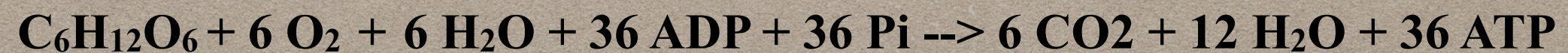
Bilan:



Mémo: respiration cellulaire

Phases	Couplages		Commentaires
	Oxydation	Réduction	
Glycolyse	1 glucose $C_6H_{12}O_6$	2 R'	Localisation: cytoplasme Production de 2 pyruvates ($CH_3 CO COOH$) et 2 ATP et 2 R'H ₂
Cycle de Krebs	2 pyruvates 2 $CH_3 CO COOH$ + 6 H ₂ O	10 R'	Oxydation complète du pyruvate dans la matrice des mitochondries Localisation: matrice mitochondriale Production de 6 CO ₂ , 10 R'H ₂ et 2 ATP
Ré oxydation des composés réduits	12 R'H ₂	6 O ₂	Localisation: matrice mitochondriale / membrane interne des crêtes mitochondriales Production de 32 ATP, 12 R', 12 H ₂ O

Bilan:



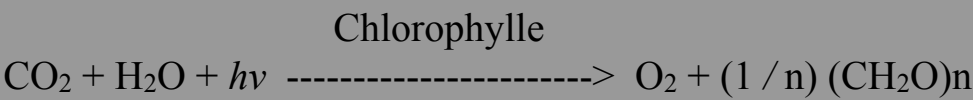
Sachant qu'une oxydation est une perte d'électrons et que une réduction est un gain d'électrons, et qu'il y'a autant de proton H^+ échangés que d'électrons, vous pouvez à partir des mémos précédents retrouver les équations de tous les couplages des réactions d'oxydo-réduction ainsi que les équations bilans.

**DES EXPÉRIENCES
HISTORIQUES À CONNAÎTRE**

...

L'expérience de Ruben et Kamen (1941)

Il est généralement admis que le bilan de la photosynthèse chez les plantes vertes peut être représenté par cette équation :



... et également que nous savons peu de choses du mécanisme-même. Il serait intéressant de savoir comment et à partir de quelle substance l'oxygène est produit. [...]. L'eau à oxygène lourd (H_2^{18}O) utilisée dans ces expériences a été préparée [...]. La quantité d'oxygène isotopique (^{18}O) a été déterminée par la méthode de Cohn et Urey [...] Du carbonate à oxygène lourd (C^{18}O) a été préparé [...]. L'analyse isotopique de ce carbonate seul ou en solution a été effectuée [...]

De jeunes cellules vivantes de *Chlorelles* sont mises en suspension dans l'eau à oxygène lourd (0,85 % de ^{18}O), contenant du bicarbonate de potassium (source de CO_2 : $2 \text{KHCO}_3 \rightarrow \text{K}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$) ordinaire. Le pourcentage isotopique de l'oxygène dégagé est mesuré avec un spectromètre de masse. (—> 2 premiers résultats du tableau)

Dans d'autres expériences les algues sont amenées à effectuer la photosynthèse dans de l'eau ordinaire contenant du bicarbonate de potassium à oxygène lourd (source de C^{18}O_2). Les résultats de ces expériences sont résumés dans le tableau I. (—> 2 derniers résultats du tableau)

O ₂ présent dans l'espace gazeux au début (ml)	O ₂ produit lors de la photosynthèse par 200 mm ³ d'algues (ml)
2.29 (¹⁸ O = 0,20 %)	1.55 (¹⁸ O = 0,85 %)
3.64 (¹⁸ O = 0,20 %)	1.18 (¹⁸ O = 0,85 %)
1.44 (¹⁸ O = 0,85 %)	0.73 (¹⁸ O = 0,20 %)
4.81 (¹⁸ O = 0,85 %)	1.22 (¹⁸ O = 0,20 %)

TABLEAU I: Pourcentage d'isotope dans l'oxygène produit lors de la photosynthèse par *Chlorella*

Modifié, d'après SAMUEL RUBEN. MERLE RANDALL. MARTIN KAMEN ET JAMES LOGAN HYDE
Traduction de l'article paru dans le *Journal of the American chemical society* (mars 1941), pp. 877-879

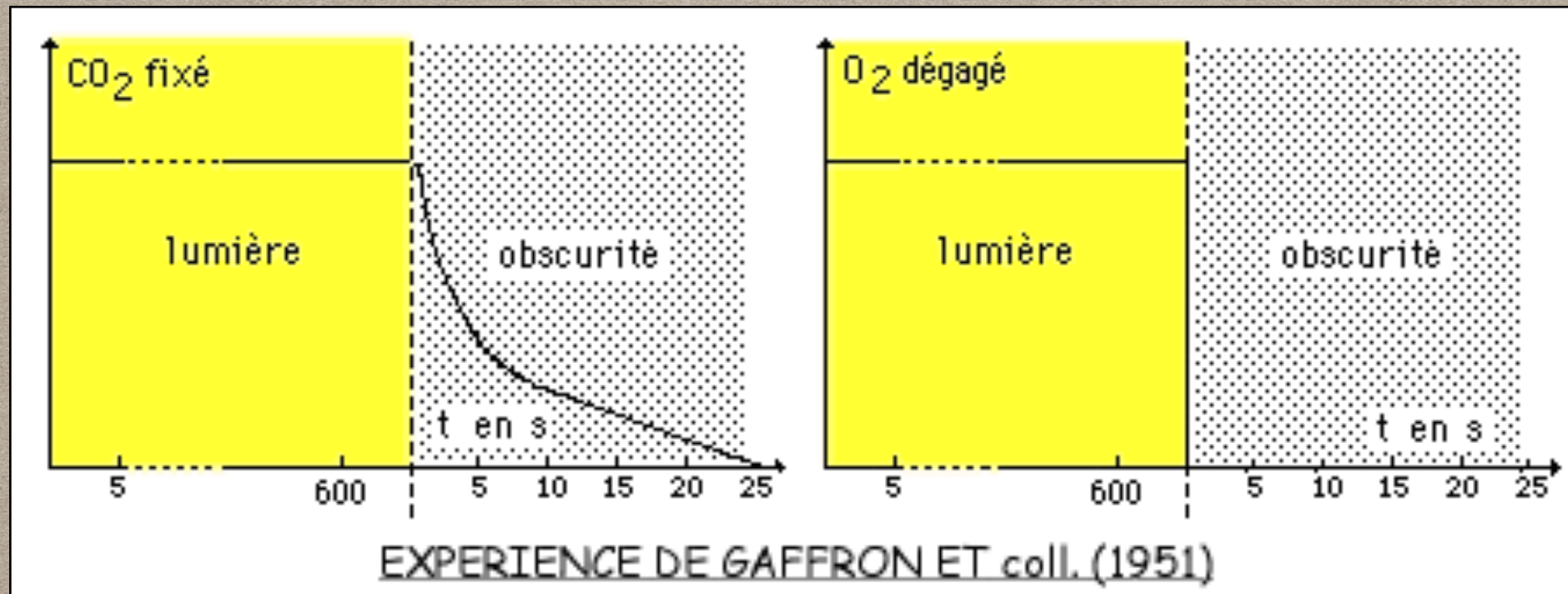
Le di-oxygène libéré lors de la photosynthèse pourrait provenir de l'oxygène de l'eau H_2O ou de l'oxygène du CO_2 .

Les expériences de Ruben et Kamen montrent que:

- En présence de H_2^{18}O (0,85 % ^{18}O), le O_2 libéré par les chlorelles a une concentration en ^{18}O (0,85%) identique à celle de l'eau H_2^{18}O consommée.
- En présence de C^{18}O_2 (0,85 % ^{18}O), le O_2 libéré par les chlorelles a une concentration en ^{18}O (0,20%) différente de celle du C^{18}O_2 consommé.

On en déduit que l' O_2 libéré proviendrait de l'eau. Il y a eu oxydation de l'eau: $2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$

Expérience de Gaffron & coll. (1951)



Du dioxyde de carbone radioactif ($^{14}\text{CO}_2$) est fourni à une suspension d'algues unicellulaires (chlorelles) fortement éclairée pendant 10 minutes puis placée à l'obscurité.

Dans un premier temps, on dose le $^{14}\text{CO}_2$ fixé (graphe de gauche), dans un second temps, on dose le dioxygène dégagé (graphe de droite).

Les expériences de Gaffron & col. montrent que:

- A l'obscurité, la production de O_2 cesse instantanément, la lumière est indispensable pour l'oxydation de l'eau; on parle de photolyse de l'eau ou phase photochimique
- A l'obscurité la fixation (réduction) du CO_2 diminue progressivement. La réduction du carbone ne dépend donc pas directement de la lumière mais requiert la participation d'intermédiaires produits au cours de la phase photochimique. A l'obscurité, ces intermédiaires sont progressivement utilisés (diminution) jusqu'à épuisement.

La réduction du carbone (ou phase non photochimique ou thermochimique) dépend de la phase photochimique (oxydation de l'eau); les deux phases et les deux réactions sont donc couplées.

Expériences d'Arnon (1958)

Arnon sépare des chloroplastes en une fraction composée uniquement de thylakoïdes et une fraction liquide correspondant au stroma. Il associe ensuite l'une ou l'autre des fractions à différentes molécules présentes dans le chloroplaste en présence de $^{14}\text{CO}_2$. Il mesure l'assimilation du dioxyde de carbone à partir de la radioactivité des molécules organiques produites.

Les conditions expérimentales et les résultats sont consignés dans le tableau ci-dessous.

	Conditions expérimentales	Quantité de $^{14}\text{CO}_2$ fixé dans les molécules organiques (en coups par minute)
1	Stroma laissé à l'obscurité	4000
2	Stroma laissé à l'obscurité + thylakoides préalablement éclairés	96 000
3	Stroma laissé à l'obscurité + ATP + RH_2	97 000

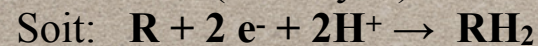
On observe que la quantité de $^{14}\text{CO}_2$ fixé (réduction du carbone) est maximale en présence de thylakoides préalablement éclairés ou en présence des produits de la phase photochimique: ATP et RH_2 (phase ayant lieu dans les thylakoides éclairés).

On en déduit que les deux phases de la photosynthèse sont couplées: les produits de la phase photochimique sont nécessaires à la réduction du carbone (phase chimique).

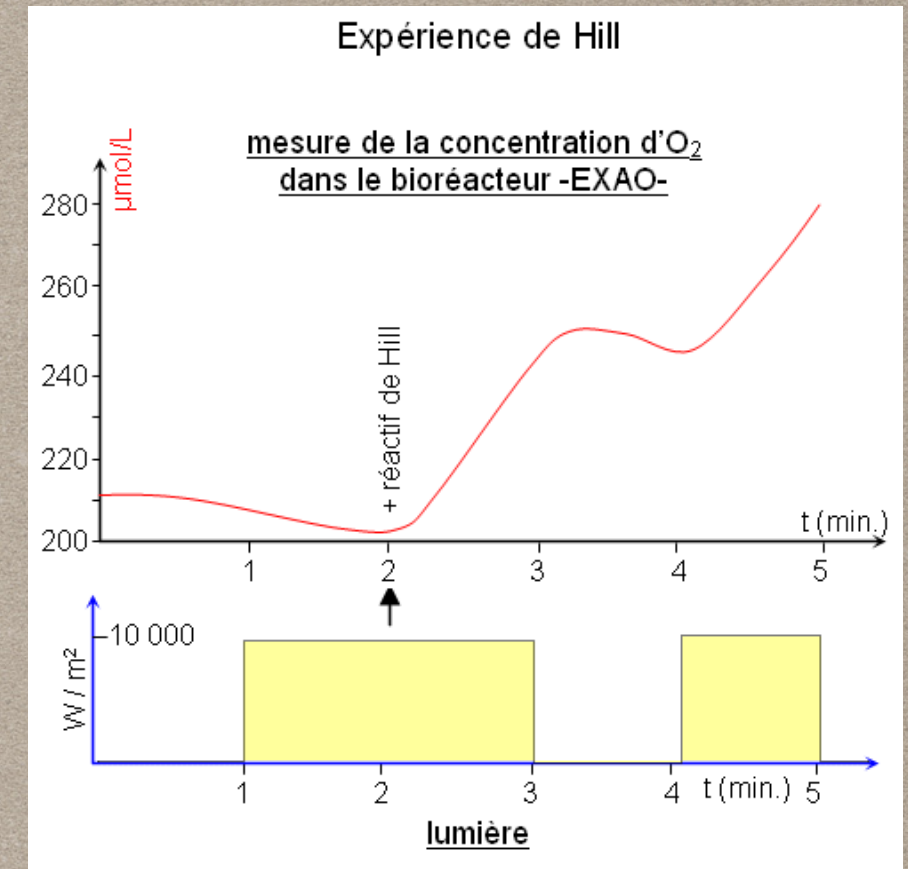
L'expérience de Hill (1937)

Dans la réaction de photosynthèse, l'eau apparaît comme un donneur d'hydrogène et d'électrons alors que le dioxyde de carbone apparaît comme un accepteur d'hydrogène et d'électrons.

En 1937, Hill envisagea l'existence d'un intermédiaire (R) qui accepterait les électrons provenant de l'eau pour les transférer au dioxyde de carbone. Il entreprit de vérifier cette hypothèse en remplaçant cet intermédiaire inconnu par un oxydant artificiel ou accepteur d'électrons (le réactif de Hill) qui serait réduit à la lumière par les électrons provenant de l'eau: Fe^{3+} (Fer oxydé) + $e^- \rightarrow \text{Fe}^{2+}$ (Fer réduit)



Hill utilise une suspension de chloroplastes lésés, l'enveloppe des chloroplastes est altérée de telle sorte que les thylakoïdes restent intacts mais que les constituants du stroma (dont l'hypothétique intermédiaire) se retrouvent largement dilués dans le milieu ayant servi à l'extraction.

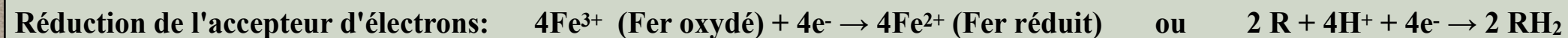


On observe que:

- En l'absence de l'accepteur d'électron, la teneur en O₂ diminue à l'obscurité mais aussi à la lumière.
- En présence de l'accepteur d'électrons et de lumière, les chloroplastes lésés produisent de l'O₂ (oxydation de l'eau). Cette production cesse à l'obscurité et reprend à la lumière.

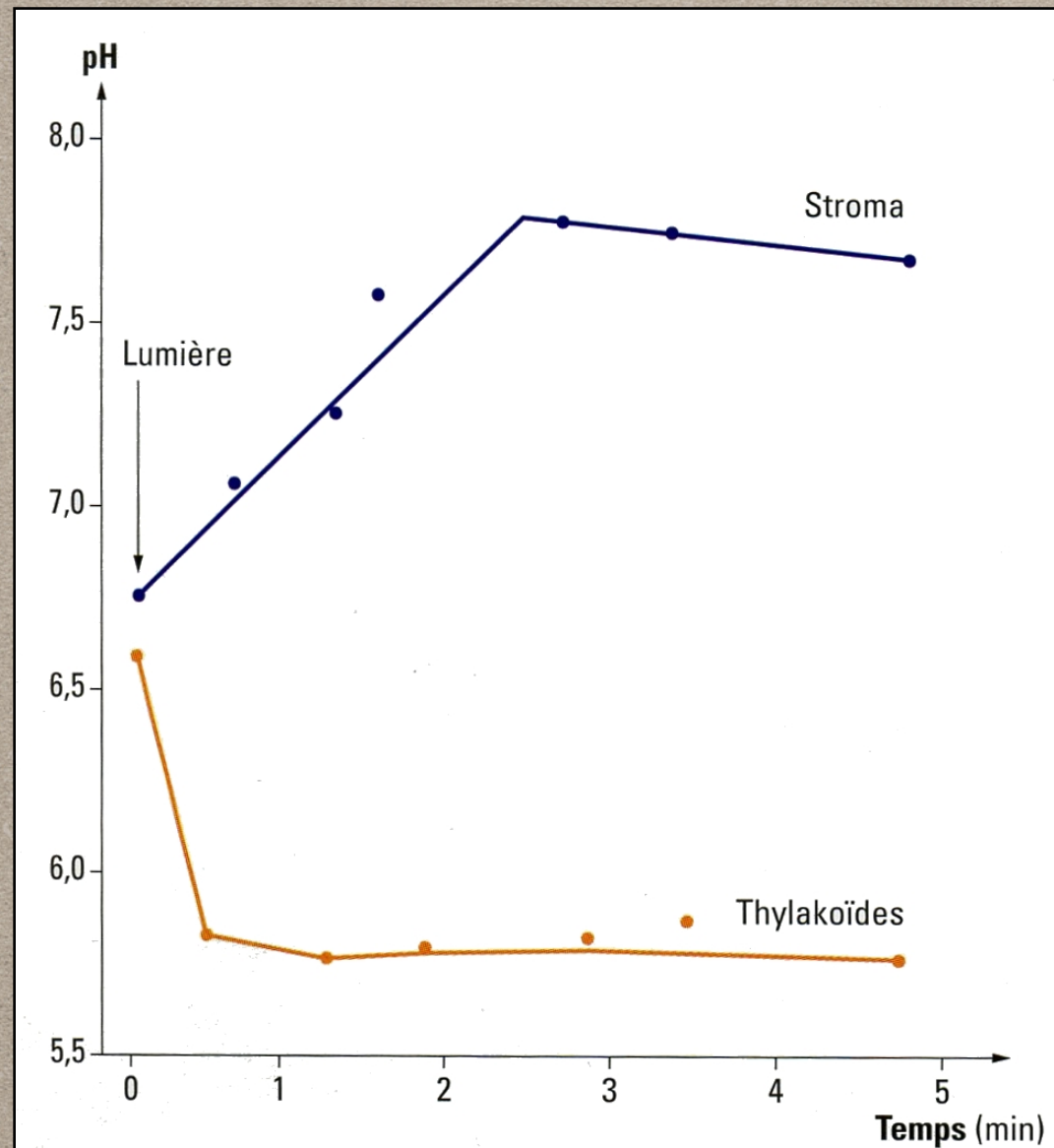
La présence d'un accepteur d'électron et de lumière est indispensable pour l'oxydation de l'eau. La présence de CO₂ n'est pas forcément nécessaire; n'importe quel accepteur d'électrons peut accepter les électrons de l'eau. Cela suggère que les électrons arrachés à l'eau lors de son oxydation ne seraient pas directement acceptés par le CO₂; il pourrait exister un ou des intermédiaires qui jouent le rôle d'accepteurs d'électrons, et qui seraient présents dans le stroma.

L'oxydation de l'eau semble couplée à la réduction d'un accepteur d'électrons jouant le rôle d'intermédiaire entre l'oxydation de l'eau et la réduction du carbone. En présence de lumière, R est réduit en RH₂ tandis que l'eau est oxydée. Ces deux réactions seraient donc couplées:



L'équation bilan de cet ensemble de réactions d'oxydoréductions peut alors s'écrire: $2\text{R} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{RH}_2 + \text{O}_2$

L'oxydation de l'eau dans le lumen crée un gradient de protons entre le lumen et le stroma



L'oxydation de l'eau par la lumière s'accompagne d'une libération de protons H^+ .

On suit les variations de la concentration en protons par des mesures du pH, dans le stroma et dans le lumen (à l'intérieur des thylakoïdes) de chloroplastes isolés et éclairés fortement pendant quelques minutes

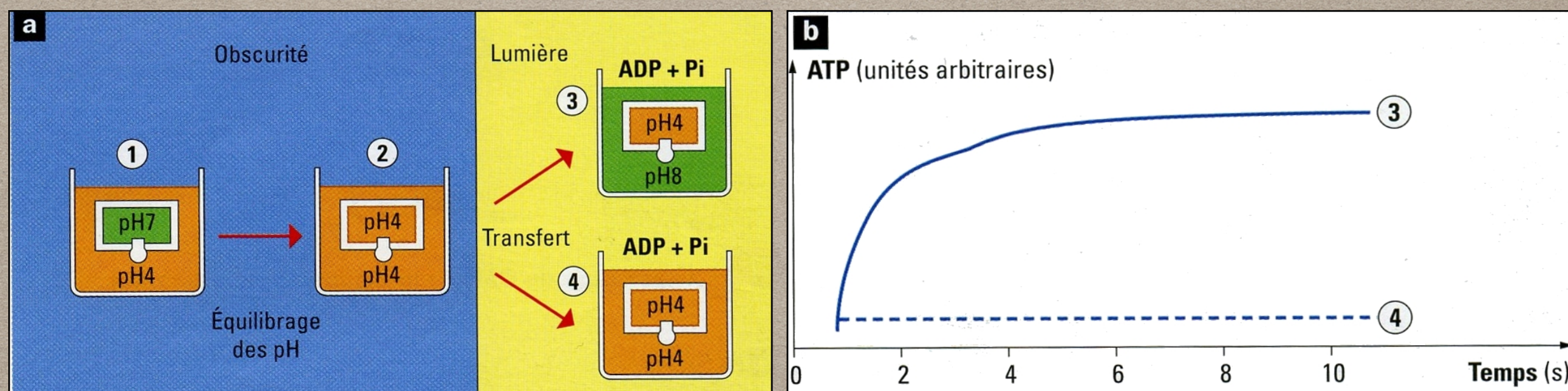
On observe que à la lumière:

- Le pH augmente dans le stroma, donc la concentration en protons diminue, ce qui s'interprète comme la réduction de R
- Le pH diminue dans le lumen, donc la concentration en protons augmente, ce qui s'interprète comme l'oxydation de l'eau (qui serait donc localisée dans le lumen !)

La libération de protons dans le lumen (oxydation de l'eau) et la consommation de protons dans le stroma (réduction de R) créent un gradient de protons entre le lumen fortement concentré et le stroma faiblement concentré.

On observe que après trois minutes, la différence de concentration en protons entre le lumen et le stroma devient constante (puis décroît légèrement). Il s'instaurerait donc après ce délai d'environ trois minutes, un système de transport des protons du lumen vers le stroma qui tendrait à maintenir constante la différence de concentration en protons.

Le gradient de protons entre le lumen et le stroma génère une force proton motrice activant des ATP synthétases situées dans la membrane des thylakoïdes.



On observe que la synthèse d'ATP est conditionnée par l'existence d'un gradient de protons entre le lumen fortement concentré (pH 4) et le stroma faiblement concentré (pH 8). Le gradient de proton ou force proton-motrice apporte l'énergie nécessaire à la phosphorylation de l'ADP en ATP au sein des ATP synthétases de la membrane thylakoidienne.

LA SUITE PLUS TARD....