

**UNIVERSITE BATNA -2-Mostefa Ben Boulaïd  
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE  
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE DES ORGANISMES**

**Biochimie métabolique**

**L3 BPA**

**Dr. LAANAN. I**

**2021-2022**

## Table des matières

INTRODUCTION .....	3
<b>I. La phosphorylation oxydative :.....</b>	<b>3</b>
<b>A. L'oxydation respiratoire : .....</b>	<b>4</b>
1. Formation d'acétyl-CoA : .....	5
2. Le cycle de Krebs : .....	5
3. La chaîne respiratoire et la phosphorylation oxydative .....	5
<b>II. La photophosphorylation.....</b>	<b>9</b>
1. Définition et localisation : .....	9
2. Les phases de la photosynthèse : .....	10
A. La phase claire : .....	10
B. La phase sombre : .....	10
3. La structure des photosystèmes : .....	10
4. La fonction des photosystèmes : .....	11
A. Le photosystème II (PSII) : .....	11
B. Le photosystème I (PSI) : .....	11
C. Autres complexes : .....	12
5. Transport des électrons dans la phase claire : .....	13
A. La photolyse de l'eau et le transport non cyclique des électrons.....	13
B. Le transport cyclique des électrons : .....	13
6. Le cycle de Calvin et les mécanismes de la phase sombre : .....	13
<b>III. Énergétique musculaire, fermentation lactique et cycle de Cori.....</b>	<b>15</b>
1. La glycolyse musculaire : .....	15
A. La glycolyse anaérobie ou fermentation lactique : .....	15
B. La glycolyse aérobie : .....	16
2. Coopération entre le muscle strié et le foie (cycle des CORI) : .....	16

## INTRODUCTION

La seule source universelle d'énergie pour la cellule est l'ATP. Pour former l'ATP la cellule dispose de deux sources :

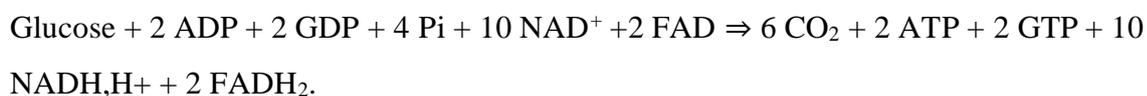
- le catabolisme des glucides, des lipides et accessoirement des acides aminés et des protéines. La cellule va récupérer une partie de l'énergie des liaisons entre les différents atomes des composés dégradés.
- la lumière. Seuls les organismes **chlorophylliens** sont capables d'exploiter cette source d'énergie et de la convertir en ATP.

Les organismes vivants sont le siège de réactions chimiques au cours desquelles varie l'énergie libre susceptible d'être utilisée pour la formation de l'ATP. En fait il existe trois modalités de formation d'ATP dans la cellule :

- L'ATP est formé par transfert de groupement phosphate et d'énergie à partir d'un **phosphodérivé** riche en énergie.
- L'ATP est formé à l'issue d'un ensemble de processus de dégradations pendant lesquels les glucides, lipides (parfois les protéines) sont oxydés en CO<sub>2</sub> avec production de cofacteurs réduits riches en énergie (NADH,H<sup>+</sup> et FADH<sub>2</sub>). Ces derniers alimentent le transport des électrons dans **la chaîne respiratoire**, à laquelle est couplée la formation de l'ATP. Il s'agit de la **phosphorylation oxydative**.
- L'ATP peut être formé chez les végétaux chlorophylliens, couplé au transport des électrons dans **la photosynthèse**. Les électrons transportés proviennent de la photolyse de l'eau. Ce processus est appelé conversion de l'énergie lumineuse en énergie chimique (ATP). Il s'agit de la **photophosphorylation** ou **phosphorylation photosynthétique**.

### I. La phosphorylation oxydative :

En suivant la logique de la production de l'énergie à partir du glucose en présence d'oxygène nous arrivons après l'oxydation des 6 carbones au bilan suivant :



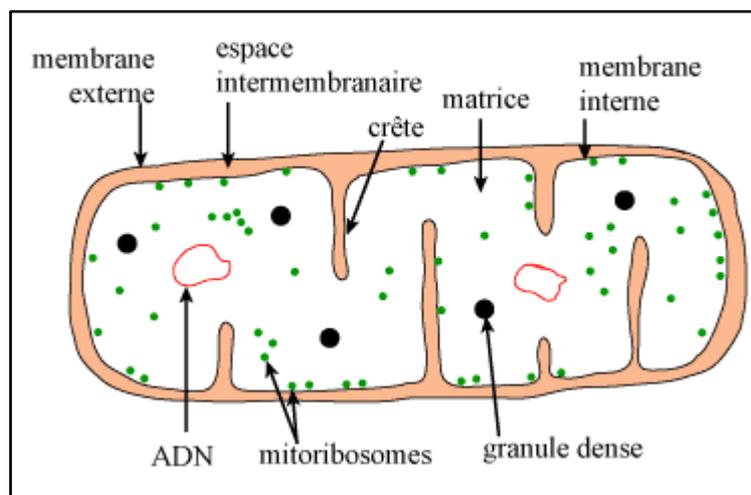
Comme nous pouvons le constater, seules 4 liaisons phosphates (2 ATP et 2 GTP), riches en énergie, sont directement formées, ce qui représente seulement 10,5 % de l'énergie totale susceptible d'être libérée par le glucose. Mais son oxydation complète en CO<sub>2</sub>, dans la cellule, s'accompagne de la formation de 10 NADH,H<sup>+</sup> et de 2 FADH<sub>2</sub>. Ces derniers alimentent le transport d'électrons dans les mitochondries, à travers des séquences de réactions d'oxydoréductions respiratoires, jusqu'à l'oxygène, accepteur final. Ce processus est

responsable de la formation de la majeure partie de l'ATP. La synthèse d'ATP, couplée à ce transport d'électrons, est appelée **Phosphorylation oxydative**. Tous les êtres vivants, pouvant vivre en présence d'oxygène, possèdent la capacité de produire de l'ATP par **phosphorylation oxydative**.

La phosphorylation oxydative se déroule dans les mitochondries possédantes :

- **Une membrane externe**, semi-perméable
- **Une membrane interne**, présentant des invaginations appelées **crêtes**, intrinsèquement imperméable aux ions et aux petites molécules. Ces derniers ne peuvent la traverser que s'ils disposent de transporteur spécifique. Elle renferme les différents **complexes** impliqués dans le transport d'électrons et la synthèse de l'ATP.
- **Un espace intermembranaire**
- **Un milieu intérieur**, appelé matrice, entouré par la membrane interne.

Chaque membrane ou compartiment possède ses enzymes ou ses complexes spécifiques (voir tableau 1, résumant la distribution des enzymes dans la mitochondrie).



**Figure 1** : structure de la mitochondrie

### A. L'oxydation respiratoire :

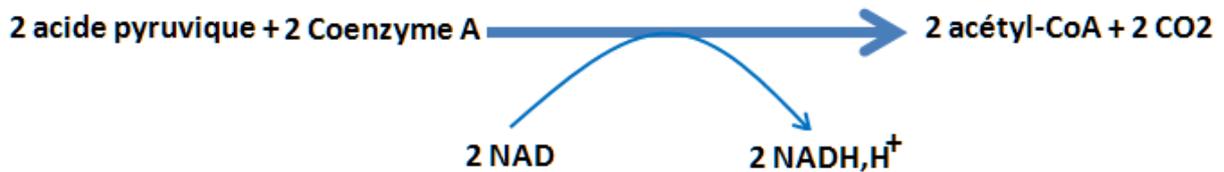
Les mitochondries ont des fonctions multiples qui dépendent du type cellulaire considéré. La particularité de la mitochondrie est de pouvoir convertir une partie de l'énergie des oxydations en une forme chimique : l'ATP.

Schématiquement, trois étapes importantes sont nécessaires à cette conversion :

1. Formation d'**acétyl-CoA** à partir de la dégradation des glucides et des lipides ;
2. Intégration de l'acétyl-CoA dans **le cycle de Krebs** ;
3. Couplage du cycle de Krebs à **la chaîne respiratoire** et synthèse d'ATP.

### 1. Formation d'acétyl-CoA :

Dans le **cytosol**, la **glycolyse** transforme une molécule de glucose en deux molécules de **pyruvate** et fournit 2ATP, 2NADH. Chaque molécule de pyruvate transformée en acétyl-CoA fournit 1NADH.



### 2. Le cycle de Krebs :

Deux tours de cycle de Krebs permis par les deux molécules de pyruvate disponibles fournissent 6NADH, 2FADH<sub>2</sub> et 2ATP. Le CO<sub>2</sub> produit est un « déchet » du cycle de Krebs. Au total, l'oxydation d'une molécule de glucose permet la production de 4ATP, 10NADH et 2FADH<sub>2</sub>.

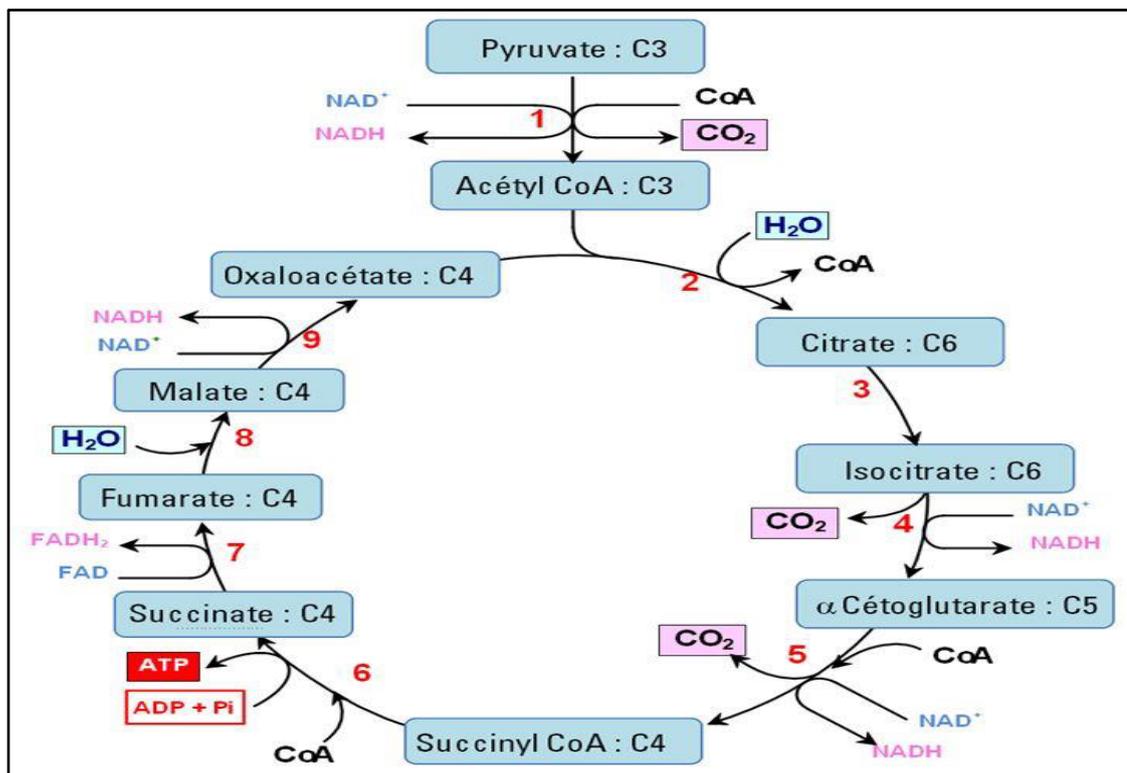


Figure2 : Cycle de Krebs

### 3. La chaîne respiratoire et la phosphorylation oxydative :

La **chaîne respiratoire** est constituée d'une suite de réactions **d'oxydoréduction** associant l'oxydation du NADH et du FADH<sub>2</sub> à la réduction de l'oxygène et formation d'eau. Elle est composée de quatre complexes hétéropolymériques localisés dans la membrane interne

mitochondriale et chacun de ces complexes est constitué de plusieurs sous-unités protéiques (Fig. 3). Dans la chaîne respiratoire, les potentiels d'oxydoréduction des composants ont été mesurés, ce qui permet de comprendre que les électrons vont se déplacer du NADH (potentiel d'oxydoréduction :  $-320$  mV) vers l'oxygène (potentiel d'oxydoréduction :  $+816$  mV). Le transfert des électrons est couplé à des modifications allostériques des protéines des complexes I, III et IV associées à l'expulsion de protons de la matrice mitochondriale vers l'espace intermembranaire. Ce mouvement de protons a deux conséquences majeures :

- Création d'un gradient de pH ( $\Delta$  pH) à travers la membrane mitochondriale interne avec une concentration matricielle de protons plus faible que celle de l'espace intermembranaire ;
- Génération d'un potentiel de membrane à travers la membrane mitochondriale interne, de  $-180$  mV environ. L'énergie emmagasinée dans le gradient électrochimique de protons est utilisée pour assurer la **phosphorylation** de l'ADP en ATP grâce à l'ATP-synthase (complexe V).

#### **Complexe I - NADH,H<sup>+</sup> - CoQ Réductase (FP1) :**

C'est un complexe multi-enzymatique qui transporte les électrons de NADH,H<sup>+</sup> au coenzyme Q appelé encore Ubiquinone à travers une séquence où apparaissent des protéines Fer-Soufre (FeS): La circulation des électrons est spontanée et se fait dans le sens d'une augmentation du potentiel.



Cette réaction s'accompagne d'un transfert de 4 protons de l'intérieur de la matrice vers l'extérieur. Chez l'homme, le complexe I est composé d'une quarantaine de sous-unités dont une flavine mononucléotide, 7 à 8 centres Fer/Souffre et trois molécules de quinol liées. La flavoprotéine contient une molécule FMN qui reçoit les électrons et les protons venant du NADH,H<sup>+</sup>.

L'enzyme principale de ce complexe I est la *NADH,H<sup>+</sup> déshydrogénase* à FMN. C'est une flavoprotéine appelée FP1, de masse moléculaire de 250 000 daltons.

#### **Le complexe II Complexe II - Succinate - CoQ réductase (FP2).**

Ce complexe enzymatique transporte les électrons du succinate jusqu'au coenzyme Q. L'enzyme principale du complexe est la *succinate déshydrogénase* à FAD. C'est la flavoprotéine FP2. Ici encore les protéines FeS interviennent pour donner la séquence suivante :

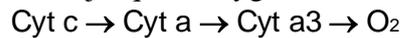


**Le complexe III Complexe III - CoQH<sub>2</sub> - Cytochrome c réductase**

Ce complexe multi-enzymatique transporte les électrons entre le coenzyme Q réduit (CoQH<sub>2</sub>) et le cytochrome c suivant la séquence suivante :

**Le complexe IV ou Cytochrome c oxydase**

Il transporte les électrons jusqu'à l'oxygène. On obtient :

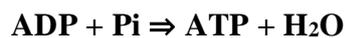


Le cytochrome c'est une hème-protéine soluble qui va se déplacer sur la membrane interne pour transporter les électrons au complexe IV. Les centres Fer/Cuivre sont utilisés pour réduire la molécule d'oxygène, l'accepteur terminal d'électrons, en 2 molécules d'eau. Aux protons nécessaires à la réaction s'ajoutent 4 protons eux aussi pompés dans la matrice par le complexe et libérés dans la membrane externe mitochondrial.

**L'ATP synthase (complexe V) et la phosphorylation oxydative**

Le complexe V, ou ATP synthase, localisé dans la membrane interne mitochondriale est responsable de la phosphorylation de l'ADP en ATP. L'ATP synthase est une enzyme fonctionnellement réversible puisqu'elle est capable de synthétiser l'ATP en utilisant la force proto-motrice et d'hydrolyser l'ATP pour pomper les protons contre le gradient électrochimique.

Le complexe V catalyse la réaction de synthèse d'ATP à partir d'ADP et de phosphate inorganique :



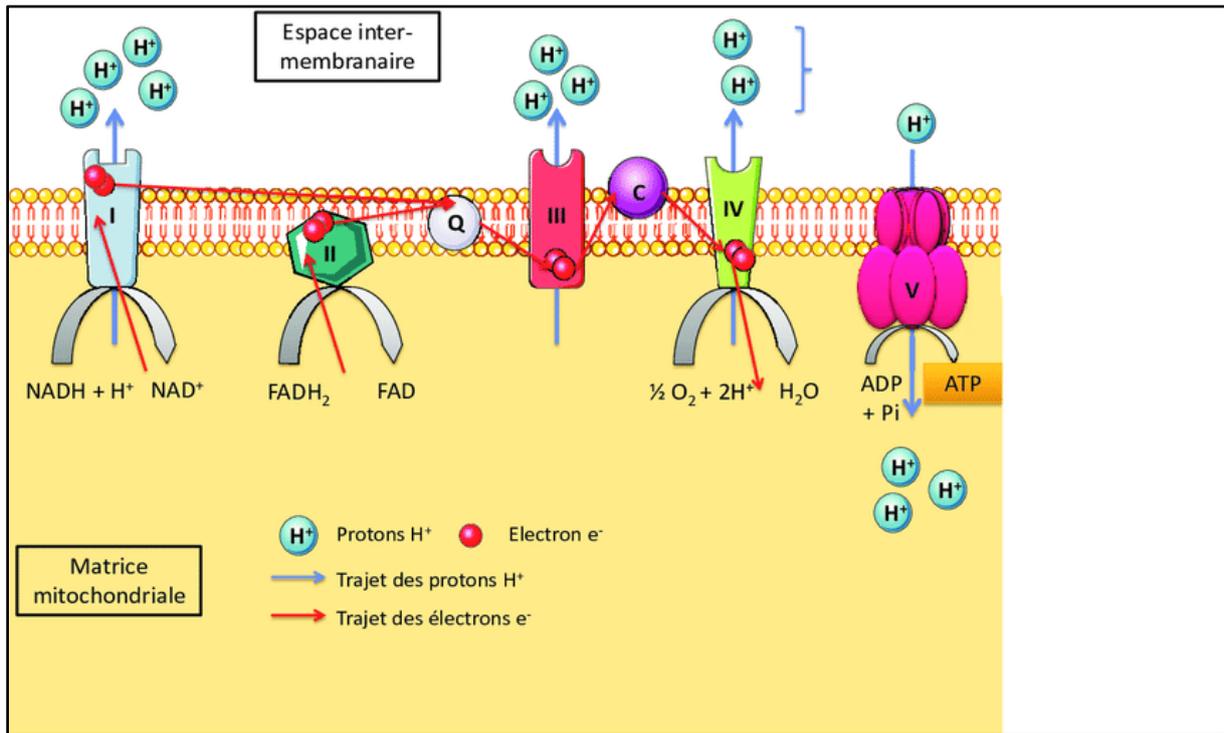


Figure 3 : La chaîne respiratoire

Vue d'ensemble sur la respiration cellulaire

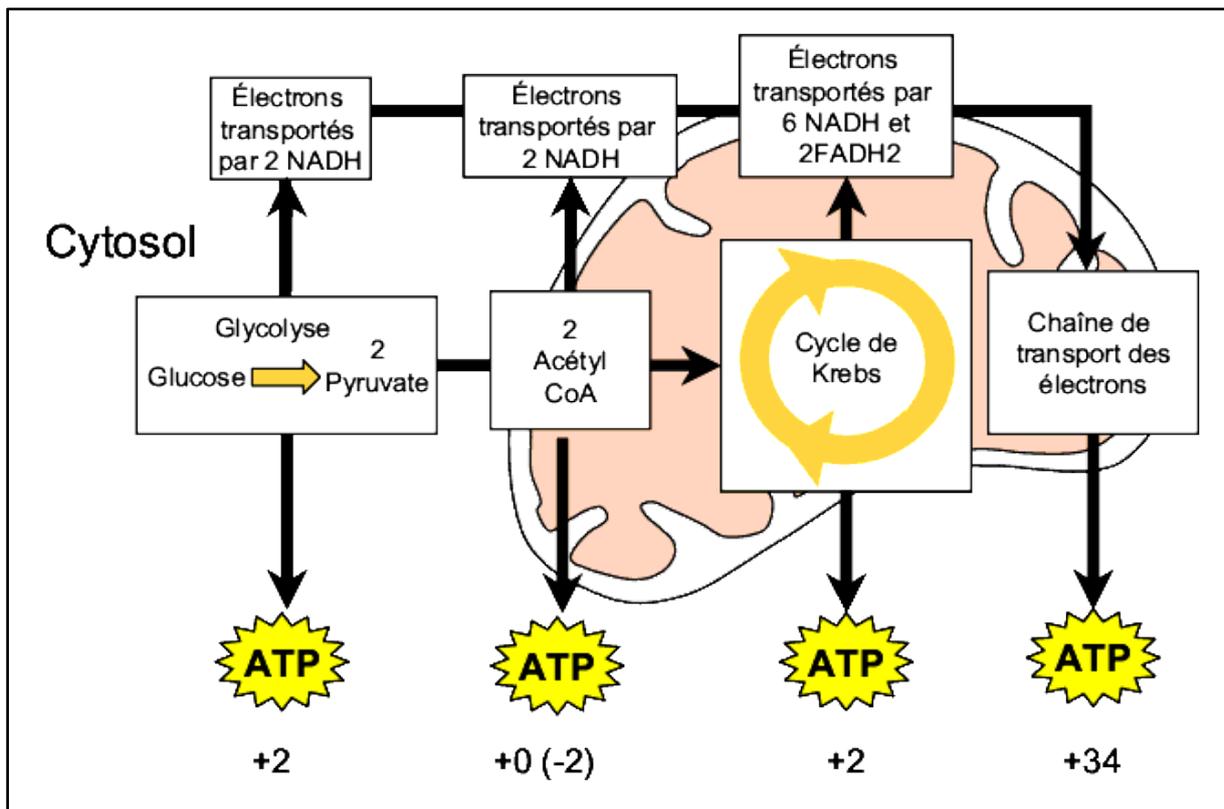


Figure4 : Vue d'ensemble sur la respiration cellulaire

## II. La photophosphorylation :

La phosphorylation oxydative permet à tous les êtres vivants, hétérotrophes et autotrophes, pouvant vivre en présence d'oxygène, de fabriquer de l'ATP à partir de composés énergétiques, essentiellement glucides et lipides. Chez les **autotrophes**, végétaux et microorganismes chlorophylliens, il existe une voie importante de production de l'ATP à la lumière, par conversion de l'énergie lumineuse. Dans ces conditions la synthèse d'ATP à partir d'ADP et de Pi est indépendante de toute oxydation liée à l'oxygène. Sur le plan biochimique, les réactions de la phase lumineuse conduisent à la formation de l'énergie sous forme d'ATP et de pouvoir réducteur sous forme de NADPH, H<sup>+</sup>.

Ces deux composés ATP et NADPH, H<sup>+</sup> sont essentiellement consommés au cours de l'assimilation du CO<sub>2</sub> en présence de H<sub>2</sub>O pour la synthèse des glucides (**Cycle de Calvin**).

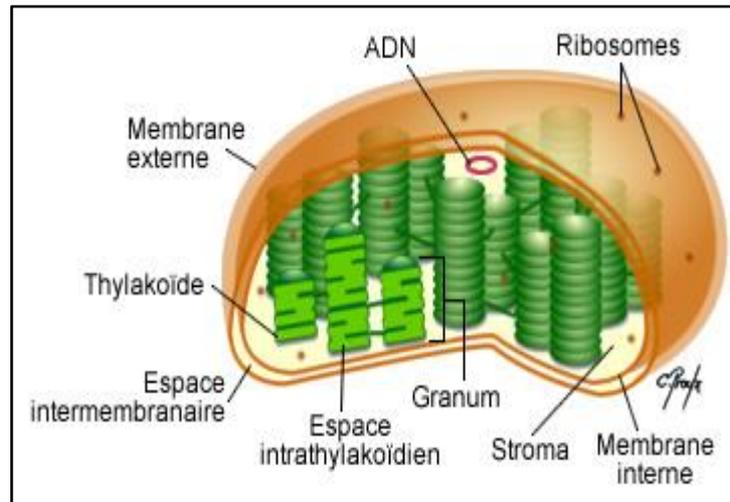
Le processus de production d'ATP couplée au transport des électrons dans la chaîne photosynthétique est la **photophosphorylation** ou **phosphorylation photosynthétique**.

### 1. Définition et localisation :

La **photophosphorylation** est la synthèse de l'ATP à partir de l'ADP et du Pi, couplée au transport des électrons au cours de la photosynthèse. Elle est sous la dépendance de la **lumière**. Les électrons sont fournis par la **photolyse** de l'eau. Elle est aussi définie comme la **conversion de l'énergie lumineuse en énergie chimique sous forme d'ATP**.

La **photophosphorylation** se déroule dans les **chloroplastes** des végétaux et des algues. Le chloroplaste a une structure comparable à celle de la mitochondrie mais avec une taille plus grande variant de 1 à 10 nm. Comme la mitochondrie il possède son propre ADN. On distingue:

- **Une membrane externe**, unique et continue très fragile, hautement perméable aux petites molécules et aux ions.
- La **membrane interne**, contrairement à la précédente, la propriété d'être peu perméable et de présenter des replis appelés des **thylakoïdes**. Ces replis sont soit empilés et forment des granas (un **granum** = thylakoïde granaire), soit isolés (= thylakoïde somatique). La membrane interne est la plus intéressante pour la photosynthèse et délimite la partie interne du chloroplaste, le **stroma**. La membrane présente des acides gras insaturés qui assurent la fluidité membranaire, et des **pigments (chlorophylle et caroténoïde)** souvent associés à des protéines. Des structures transmembranaires permettent la formation de **complexes protéiques** associés à la chlorophylle que l'on appelle des **photosystèmes (PSI et PSII)**.
- **Un espace intermembranaire** séparant les deux membranes.



**Figure5** : Structure de chloroplaste

## 2. Les phases de la photosynthèse :

La photosynthèse est le processus responsable de la transformation de l'énergie lumineuse en énergie chimique au niveau de la plante, autrement dit au processus permettant de synthétiser de la matière organique (**sucres**) à partir de la lumière du soleil. Elle se réalise au niveau des chloroplastes qui sont des organites cellulaires spécialisés, et permet une consommation de dioxyde de carbone  $\text{CO}_2$  et d'eau afin de produire du dioxygène  $\text{O}_2$  et des molécules organiques telles que **le glucose**. Pour se faire la photosynthèse se réalise en deux grandes phases, **la phase claire** et **la phase sombre**.

### A. La phase claire :

Est un ensemble de réactions **photochimiques**, qui **dépendent de la lumière**, et au cours desquels les électrons sont transportés à travers les deux **photosystèmes** (PSI et PSII) afin de produire de l'ATP (molécule riche en énergie) et du  $\text{NADPH} + \text{H}^+$  (potentiel réducteur). La phase claire permet donc directement **la transformation de l'énergie lumineuse en énergie chimique**.

### B. La phase sombre :

Correspond au cycle de **Calvin**, **entièrement enzymatique et indépendante de la lumière**, au cours duquel l'ATP et le  $\text{NADPH} + \text{H}^+$  sont utilisés pour la conversion du dioxyde de carbone et de l'eau en glucides. Cette seconde partie permet l'assimilation du gaz carbonique.

## 3. La structure des photosystèmes :

Les **photosystèmes** sont les centres photorécepteurs de la membrane des thylakoïdes contenus dans les chloroplastes. Ils sont constitués d'une **antenne collectrice** et d'un **centre réactionnel** situé au centre de l'antenne. L'antenne collectrice permet de capter l'énergie lumineuse grâce à des pigments de plusieurs types : chlorophylle a, b et caroténoïde.

L'énergie captée est transmise au centre réactionnel qui est un emplacement spécialisé constitué d'amas de pigments contenant seulement une paire de chlorophylle « a » capable de céder ses électrons à l'**accepteur primaire**, premier accepteur de la chaîne d'accepteurs d'électrons. L'accepteur primaire du photosystème I (PSI) est la **chlorophylle A0** (chlorophylle « a » modifiée) et du photosystème II (PSII) est la **phéophytine**. La chaîne d'accepteurs d'électrons permet le transport des électrons de molécule en molécule dans le sens de l'augmentation du potentiel.

La grande différence qui distinguera le photosystème I du photosystème II est la longueur d'onde d'absorption, pourtant les centres réactionnels des deux photosystèmes présentent tous les deux une paire de chlorophylle « a ». Ceci est expliqué par le fait que les protéines associées à la chlorophylle jouent un grand rôle dans ses propriétés physiques. De cette manière le photosystème II (PSII) présente un complexe moléculaire appelé **P680** et le photosystème I (PSI) présente un complexe moléculaire appelé **P700**.

Au cours de la phase claire, les électrons sont tout d'abord fournis par l'eau au photosystème II (PSII), puis par la suite ils sont transmis au photosystème I (PSI). En effet c'est bien le photosystème II qui démarre la photosynthèse.

#### **4. La fonction des photosystèmes :**

##### **A. Le photosystème II (PSII) :**

L'énergie lumineuse est tout d'abord absorbée par l'antenne collectrice qui transmet ensuite son énergie au complexe P680. La chlorophylle « a » présente dans le complexe P680 libère alors les électrons qui seront captés par l'accepteur primaire (chlorophylle A<sub>0</sub> = chlorophylle

« a » modifiée) et transportés par la chaîne d'accepteurs d'électrons.

Ces électrons passent ensuite par le **complexe de cytochromes** où ils induisent le passage de protons du stroma vers l'espace intra-thylakoïdien. Les protons ainsi accumulés forment ce que l'on appelle le **gradient de protons**, qui permettra à l'**ATP synthétase** de produire de l'ATP.

En quittant le complexe de cytochromes, les électrons sont transmis au photosystème I (PSI).

La chlorophylle « a » du P680 a donc perdu des électrons qu'elle doit récupérer pour continuer à fonctionner ; ils lui sont fournis via la photolyse de l'eau.

##### **B. Le photosystème I (PSI) :**

La poursuite de la photosynthèse nécessite encore de l'énergie lumineuse qui sera absorbée par l'antenne collectrice et qui sera transmise au complexe P700. Le rôle du complexe P700 sera de charger en énergie les électrons transmis par le complexe des cytochromes. Ces

électrons seront captés par l'accepteur primaire (**phéophytine**) et seront transportés par la chaîne d'accepteurs d'électrons jusqu'à la **ferrédoxine**. Elle-même les transportera jusqu'à la **NADP réductase** qui réduira le  $\text{NADP}^+$  en  $\text{NADPH} + \text{H}^+$ . La chlorophylle « a » du P700 a donc perdu deux électrons qu'elle doit récupérer pour que le système fonctionne ; ces électrons lui sont fournis par le PSII.

### C. Autres complexes :

D'autres complexes interviennent dans les réactions de la photosynthèse.

#### Le complexe cytochromique

Ce complexe renferme principalement divers cytochromes (f, b6) et d'autres composants (fer non hémique, phospholipides, caroténoïdes). Ce complexe assure le passage des électrons de la plastoquinone vers la plastocyanine et le photosystème I.

#### Le complexe de la NADP réductase

Il permet grâce aux électrons à haute énergie provenant du PS I et transmis par la ferrédoxine, la réduction du  $\text{NADP}^+$  en  $\text{NADPH}$ .

#### Le complexe de l'ATP synthétase

Il est analogue à celui des mitochondries, avec une partie intra-membranaire hydrophobe et une autre, en saillie dans le stroma. Il existe aussi un facteur de couplage, sur la face externe de la membrane du thylakoïde, essentiellement dans les régions intergranaires. Le complexe assure également le passage transmembranaire des protons.

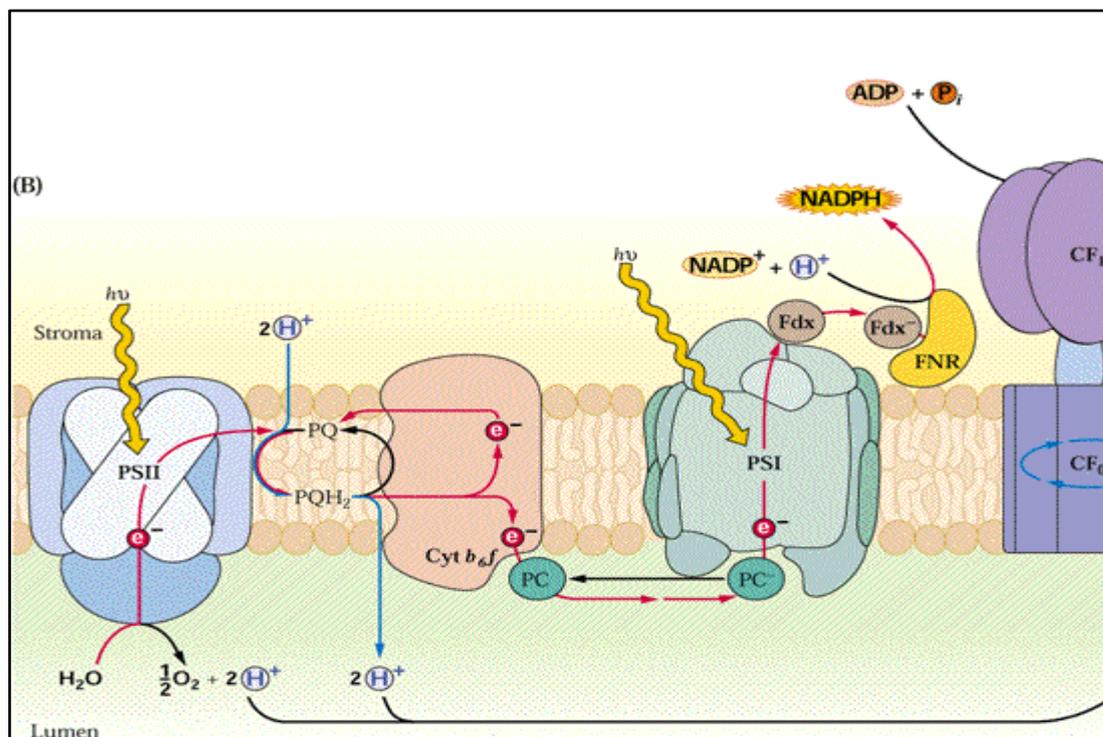


Figure6 : Transport des électrons dans la phase claire

## 5. Transport des électrons dans la phase claire :

### A. La photolyse de l'eau et le transport non cyclique des électrons :

Au niveau du PSII va s'opérer une étape majeure de la photosynthèse : la **photolyse de l'eau**. A chaque fois que PSII est photo-oxydé, l'eau lui fournit un électron pour compenser la perte qu'il vient de subir et permettre sa régénération. L'eau est donc le donneur d'électrons primaire de la photosynthèse.

La molécule d'eau doit ainsi subir une réaction d'oxydation sous l'action de la lumière. Cette réaction sera à l'origine de la libération d'électrons de protons et d'oxygène. Les électrons seront capturés par le PSII, les protons produits iront s'accumuler dans l'espace intrathylakoïdien pour participer au gradient de proton, et l'oxygène sera libéré dans l'atmosphère.

L'oxygène est donc un déchet de la photosynthèse.

L'électron au cours de ces différents transferts perd un peu d'énergie. Cette énergie est utilisée par certains transporteurs pour amener des protons  $H^+$  du stroma (espace extrathylakoïdien) vers l'espace intra-thylakoïdien.

### B. Le transport cyclique des électrons :

Les électrons peuvent suivre un trajet cyclique qui n'implique que le photosystème I. La ferrédoxine, au lieu de fournir les électrons à la NADP réductase, va les transmettre à la plastoquinone (PQ) par l'intermédiaire d'un cytochrome. Les électrons suivent alors la première chaîne de transporteurs qui les fait revenir au photosystème I, où ils vont combler les vides qu'ils avaient laissés. Ce trajet cyclique permet d'accumuler des protons supplémentaires dans l'espace intra-thylakoïdien sans réduire de  $NADP^+$  mais en favorisant la production d'ATP (relargué au niveau du stroma).

## 6. Le cycle de Calvin et les mécanismes de la phase sombre :

**Le cycle de Calvin** se fait dans le stroma des chloroplastes chez les eucaryotes. C'est la dernière étape de la photosynthèse où l'**ATP** et le **NADPH**, produits pendant les réactions photochimiques, sont utilisés. Ce cycle est une succession de réactions biochimiques, régulées par différentes enzymes pour permettre la réduction et l'incorporation du  $CO_2$  atmosphérique dans des molécules organiques. Ce cycle se répète 6 fois (donc 6 incorporations de  $CO_2$ ) pour former une molécule de glucose par exemple. Le cycle de Calvin nécessite l'intervention d'une enzyme : la **RubisCO** (Ribulose 1,5 bis-phosphate Carboxylase Oxygénase).

**1<sup>ère</sup> étape :** fixation du carbone : 1  $\text{CO}_2$  est attaché à un sucre à 5C (RuDP) par une enzyme appelée (RuDP carboxylase/oxygénase = Rubisco) ---> un sucre à 6C instable qui se scinde en 2 sucres à 3C (=3P-glycérate)

**2<sup>ème</sup> étape :** réduction : le 3P-glycérate reçoit un groupement phosphate de l'ATP et est ensuite réduit en recevant 2 e<sup>-</sup> du NADPH (un groupement carboxylique est réduit en aldéhyde). Une molécule de PGAL sort du cycle.

**3<sup>ème</sup> étape :** régénération de l'accepteur du  $\text{CO}_2$  (RuDP) : 5 PGAL (à 3C) sont réarrangés pour donner 3 RuDP (à 5C), nécessite 3 ATP ---> il faut 3  $\text{CO}_2$  + 9 ATP + 6 NADPH pour faire 1 PGAL.

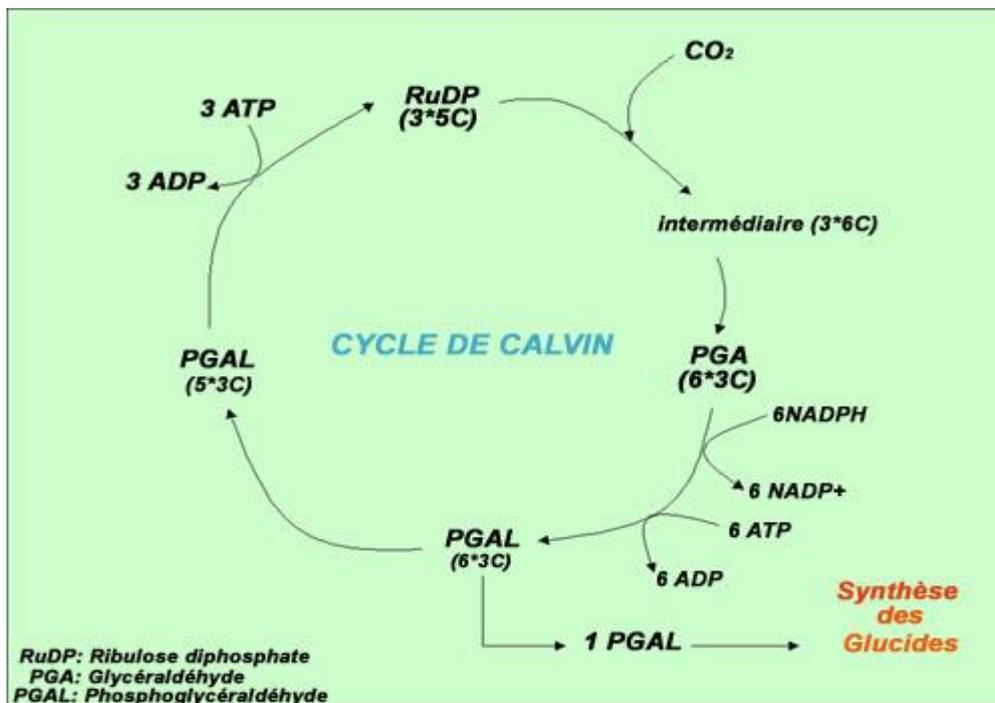


Figure7: Cycle de Calvin

### III. Énergétique musculaire, fermentation lactique et cycle de Cori :

La capacité de contraction et de relâchement des fibres musculaires est fortement liée aux fonctions métaboliques des myocytes. En effet, le substrat nécessaire à l'effort physique provient majoritairement des voies métaboliques du tissu musculaire.

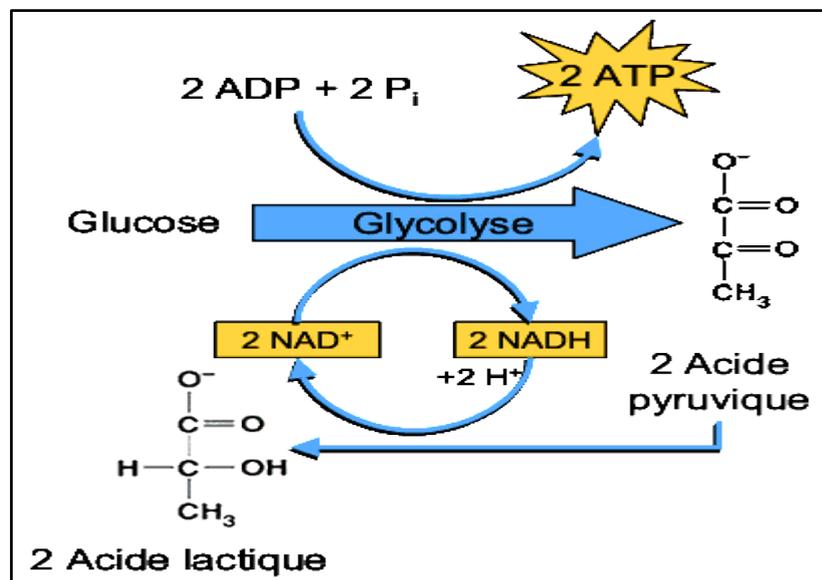
#### 1. La glycolyse musculaire :

La glycolyse permet la production d'ATP, la source d'énergie nécessaire à la contraction musculaire. Cette voie dépend de la disponibilité en glucose, que ce soit par la glycogénolyse musculaire ou par le glucose plasmatique.

#### A. La glycolyse anaérobie ou fermentation lactique :

Au début de l'activité physique, la glycolyse est anaérobie, avec la production de lactates et un rendement faible.

Les cellules musculaires sont capables de dégrader le glucose sans consommer d'O<sub>2</sub> (en anaérobiose) par **fermentation lactique**. Celle-ci fait suite à la glycolyse et consiste en la dégradation incomplète du pyruvate, qui est réduit en **lactate** dans le cytoplasme. La fermentation lactique produit **2 molécules d'ATP** par molécule de glucose, soit un rendement énergétique de **2 %**, bien inférieur à celui de la respiration cellulaire. L'équation-bilan de la glycolyse et de la fermentation lactique est la suivante :



La génération de l'ATP dans les muscles dépend de la **nature**, de la **durée de l'effort**, ainsi que du type des **fibres musculaires** sollicitées. De manière générale, en tout début d'effort, la cellule musculaire utilise sa faible réserve d'ATP pendant quelques secondes. Puis ont lieu des réactions de transfert de groupements phosphates de la **phosphocréatine**, molécule présente dans la cellule musculaire, à l'ADP, formant ainsi de l'ATP et de la créatine. Un peu plus tard, la **fermentation lactique** anaérobie permet la production d'ATP. Si l'effort se

poursuit, la **respiration cellulaire** permet la synthèse d'ATP. Cette réaction est couplée à la synthèse d'ATP à partir d'ADP. Elle ne permet une contraction musculaire que pendant quelques dizaines de secondes.

**La fermentation lactique fournit dès les premières secondes des molécules d'ATP dans les fibres musculaires. Ceci permet des efforts brefs et intenses, mais entraîne l'accumulation, dans les fibres musculaires et dans le sang, d'acide lactique qui serait à l'origine de la fatigue musculaire.** Cette fermentation correspond à une dégradation anaérobie du glycogène musculaire et d'une partie du glucose sanguin arrivant dans les muscles. **Le faible rendement de la fermentation lactique ne permet pas de poursuivre un effort à long terme.**

### **B. La glycolyse aérobie :**

**Subvenir aux besoins à long terme**, après un délai de quelques secondes, la dégradation des glucides a lieu par voie aérobie. **La respiration permet de produire davantage d'ATP que la fermentation lactique. Cette voie métabolique est à l'origine des contractions de plus longue durée et permet également de régénérer l'ATP après un effort.**

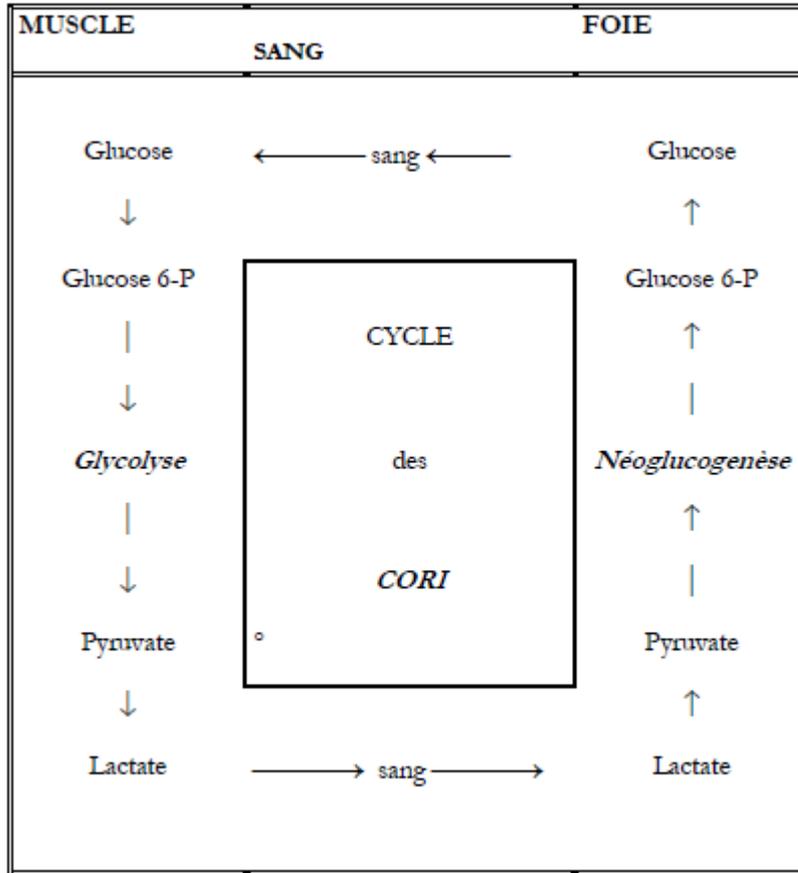
**Ainsi, selon l'intensité et la durée de l'effort, la fermentation lactique et la respiration vont fournir l'ATP nécessaire à la contraction musculaire**

La contraction musculaire favorisant l'apport d'oxygène, la glycolyse aérobie peut être effectuée. L'ATP est produit en grande quantité à partir du pyruvate et la  $\beta$ -oxydation mitochondriale est activée dans le même temps.

### **2. Coopération entre le muscle strié et le foie (cycle des CORI) :**

Le muscle squelettique, en contraction rapide, fonctionne presque exclusivement avec l'ATP issu de la glycolyse, soit 2 ATP par molécule de glucose avec formation de deux lactates. Ceci suppose la dégradation d'une énorme quantité de glucose pour satisfaire les besoins du muscle. Le stock du glycogène musculaire étant limité, un approvisionnement en glucose extérieur s'avère indispensable. Il fait intervenir le processus connu sous le nom de cycle des **CORI**.

Le lactate, formé à l'issue de la glycolyse dans la cellule musculaire, est repris par le sang et conduit jusqu'au foie où il est transformé en pyruvate, puis en glucose. Ce glucose est rapporté au muscle par le sang pour y être utilisé. La transformation du pyruvate en glucose est appelée la *néoglucogenèse* et le processus du stockage du glucose excédentaire dans le foie ou dans le muscle est la *glycogénogénèse*.



**Figure 8** : Coopération entre le muscle squelettique et le foie ou Cycle des CORI. Le lactate formé dans le muscle est rejeté dans le sang qui le transporte jusqu'au foie. Une fois retransformé en glucose (néoglucogenèse), ce dernier est retourné au muscle.

PHOSPHORYLATIONS CELLULAIRES *CE QU'IL FAUT RETENIR*

Caractéristiques	Phosphorylation oxydative	Photophosphorylation
Localisation	Mitochondries	Chloroplastes
Energétique des processus	Séquences de réactions spontanées (exergoniques)	- Activation photo-dépendante de PSI et PSII (réactions endergoniques). - Autres séquences de réactions spontanées
<b>Transport d'électrons</b>		
- Localisation.	Membrane interne	Membrane thylakoïde
- Donneur d'électrons et de protons	NADH, H <sup>+</sup> , FADH <sub>2</sub> ou autres composés	H <sub>2</sub> O (photolyse)
-	- CI : NADH, H <sup>+</sup> -CoQ Réductase	- PS II : organisé autour du P <sub>680</sub>
Composition des Complexes transporteur	-CII : Succinate-CoQ Réductase	- PS I : organisé autour du P <sub>700</sub>
	- CIII : CoQH <sub>2</sub> -Cyt c Réductase	- Complexe bf
	- CIV : Cyt c Oxydase	
Organisation	Les électrons circulent linéairement de NADH, H <sup>+</sup> ou de FADH <sub>2</sub> jusqu'à l'oxygène	- Transport acyclique : Les électrons circulent de H <sub>2</sub> O jusqu'au NADP <sup>+</sup> (Coopération de PSII, PSI et complexe bf) - Transport cyclique : Les électrons partent de P <sub>700</sub> et retournent à P <sub>700</sub>
<b>Synthèse de l'ATP</b>		
- Création de gradient de densité de protons	1 pompe à protons au niveau des complexes CI, CII et CIII. Les protons sont pompés de la matrice vers l'espace intermembranaire à travers la membrane mitochondriale interne	1 pompe à protons au niveau du complexe bf. Les protons sont pompés du stroma vers l'intérieur du thylakoïde à travers la membrane thylakoïde
- Complexes protéiques	- Fo (Canal protonique) assure le reflux des protons de l'espace intermembranaire vers la matrice.	- Cfo (Canal protonique) assure le reflux des protons de l'intérieur du thylakoïde vers le stroma.
	- Complexe F1 (ATP synthétase)	Complexe CFI (ATP synthétase)
Produits du processus	- 3 ATP à partir de NADH, H <sup>+</sup> - 2 ATP à partir de FADH <sub>2</sub>	- transport acyclique : 1 ATP, NADPH, H <sup>+</sup> et ½ O <sub>2</sub> . - Transport cyclique : 1 ATP
Devenir de l'ATP formé	ATP transporté hors de la mitochondrie par l'ADP-ATP translocase pour couvrir les besoins de la cellule	ATP et NADPH, H <sup>+</sup> sont consommés dans le stroma : Voies de carboxylation, Cycle de Calvin et autres biogenèses.
Organismes vivants	Hétérotrophes et Autotrophes (organismes chlorophylliens)	Autotrophes (végétaux, algues et microorganismes chlorophylliens)