

## Les jeudis médicaux d'Hippocrate

3. La cellule : mitochondries, chloroplastes et énergie



## 3 - L'énergie et la cellule

### **1 Les aliments apportent matière et énergie**

*Aliments et nutriments*

*La digestion*

*La monnaie d'échange de l'énergie est l'ATP*

### **2 En l'absence d'oxygène : fermentation (anaérobie)**

*Catabolisme jusqu'au stade acide lactique*

### **3 En présence d'oxygène : respiration (aérobie)**

*Catabolisme jusqu'au stade  $CO_2$*

*Utilisation des molécules intermédiaires NADH et FADH<sub>2</sub>*

*Bilan énergétique*

### **4 Végétaux : la photosynthèse apporte énergie et matière**

*Où ? chloroplastes, thylakoïdes et chlorophylle*

*Phase claire et phase sombre*

### **5 Dysfonctionnements**

### **6 Gestion des déchets**

*Exemple du recyclage des érythrocytes*





## 1 Animaux : les aliments apportent matière et énergie

**Aliments** : ce qu'on mange

**Nutriment** : les éléments nécessaires au maintien du métabolisme. Ce sont donc presque toujours des constituants des aliments.

glucides  
protéines  
lipides

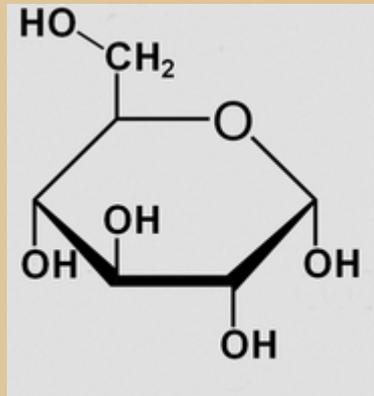
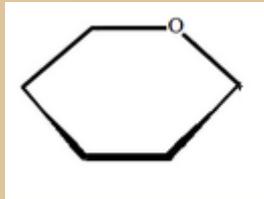
vitamines  
sels minéraux  
eau

# La cellule, unité de base de l'organisme

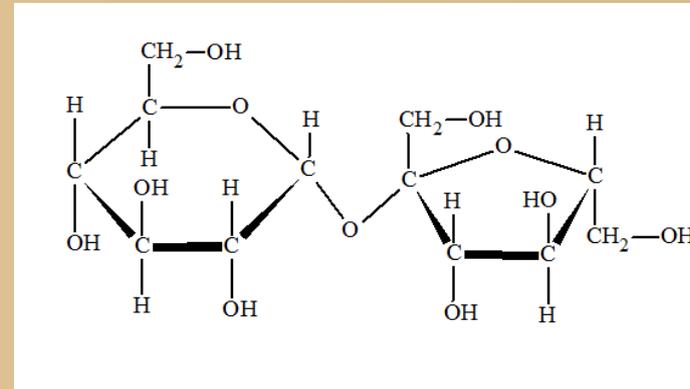
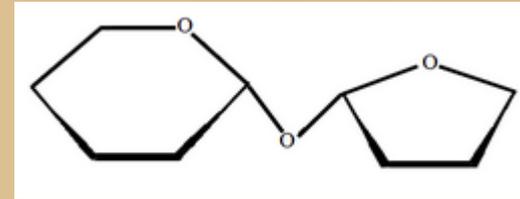
## 1 L'énergie provient des aliments

### Les glucides ou « sucres »

#### Le glucose



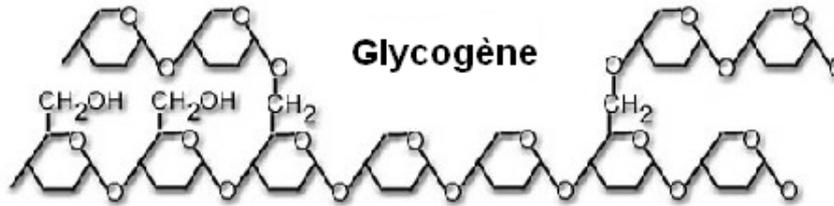
#### Le saccharose



# La cellule, unité de base de l'organisme

## 1 L'énergie provient des aliments

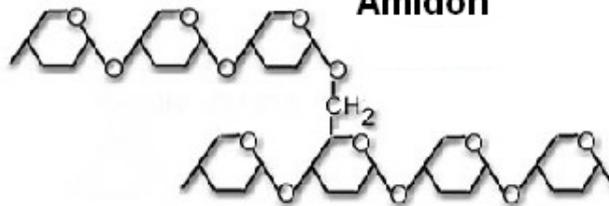
### Les sucres complexes



**Cellulose**



**Amidon**



*cycles à 5 ou 6 côtés  
formant des chaînes*

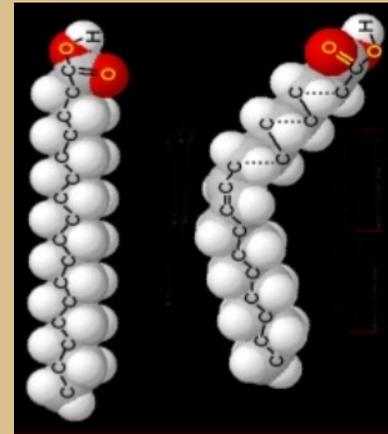
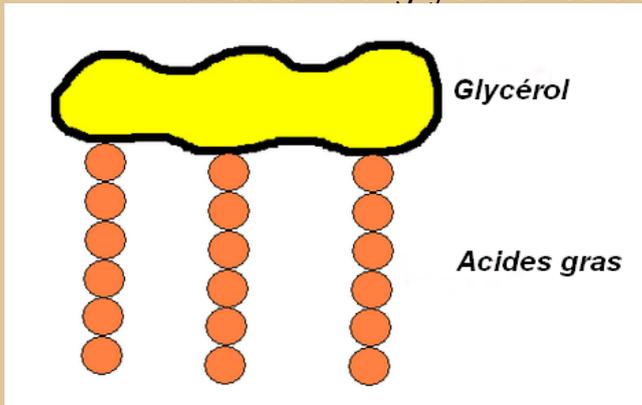


# La cellule, unité de base de l'organisme

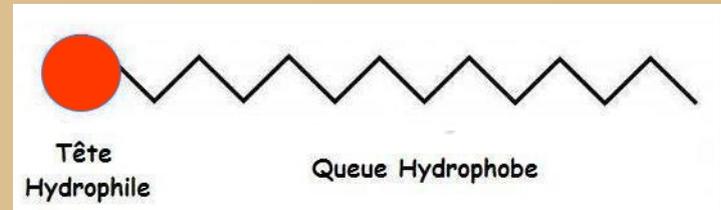
## 1 L'énergie provient des aliments

### Les lipides

Ce sont des association de glycérol et d'acides gras  
« triester du glycérol et des acides gras »



*longues chaînes carbonées  
une extrémité hydrophile, le reste hydrophobe*

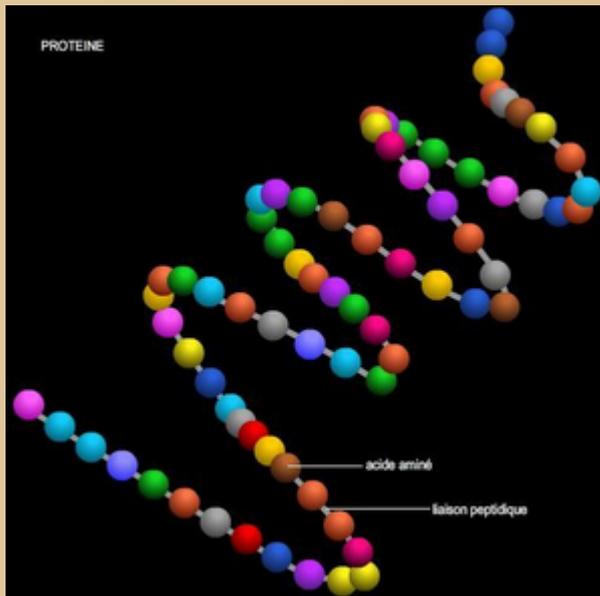


# La cellule, unité de base de l'organisme

## 1 L'énergie provient des aliments

### *Les protéines*

Elles sont fabriquées à partir des acides aminés



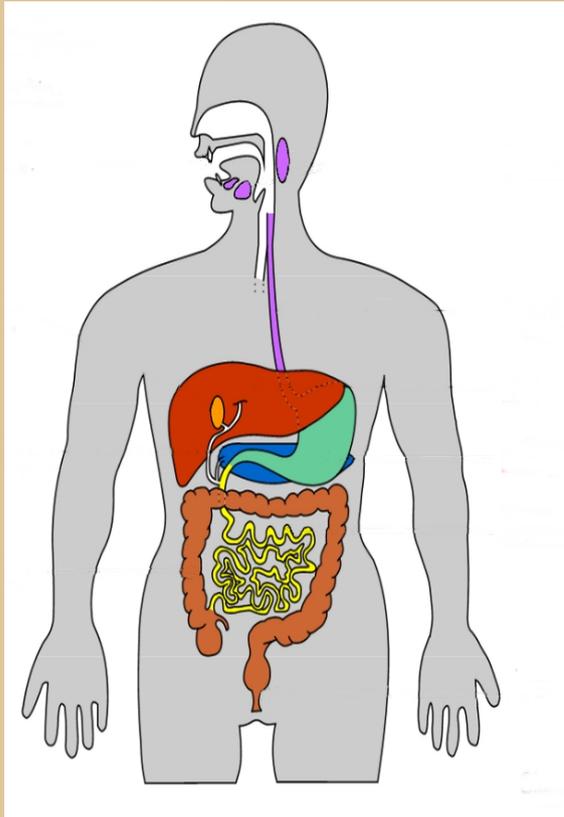
- 20 acides aminés
- une infinité de possibilités d'association
- contiennent de l'azote



# La cellule, unité de base de l'organisme

## 1 L'énergie provient des aliments

### Des aliments aux nutriments : la digestion



Glandes salivaires

Œsophage

Estomac

Foie

Pancréas

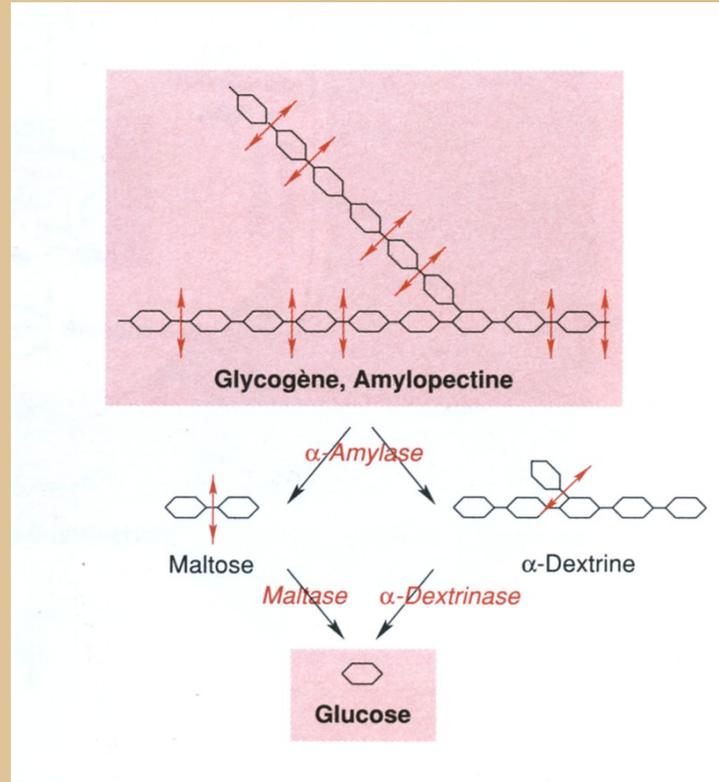
Intestin grêle

Côlon

# La cellule, unité de base de l'organisme

## 1 L'énergie provient des aliments

### La digestion des glucides donne le glucose



La digestion des glucides est une hydrolyse

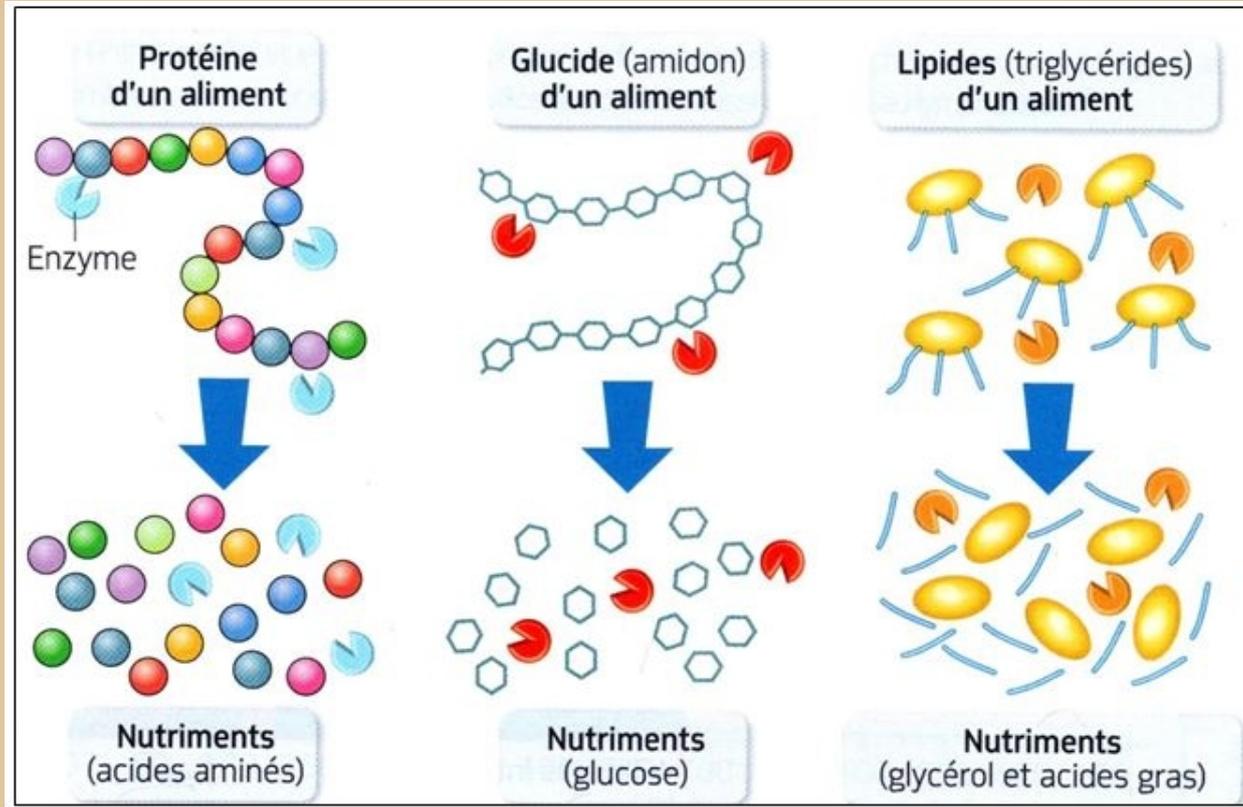
On peut obtenir d'autres petites molécules (fructose, galactose...)



# La cellule, unité de base de l'organisme

## 1 L'énergie provient des aliments

### Le bilan matière de la digestion des glucides, lipides et protéines



L'eau et les sels minéraux ne sont pas transformés lors de la digestion mais absorbés par les parois de l'intestin.

On obtient des acides aminés, du glucose, des acides gras.



## 1 L'énergie provient des aliments

### *Le bilan énergie de la digestion*

**Protéines** : 20 à 45 % de l'énergie contenue dans l'aliment sont utilisés à le " digérer ".

*intérêt* : les AA sont les briques servant à la (re)construction des protéines aux multiples usages

**Sucres** : le coût énergétique est de 15 % environ

*intérêt* : le glucose est la principale source d'énergie, fournie par son catabolisme (voir cycle de Krebs et oxydation mitochondriale).

**Graisses** : 2 à 4 % seulement

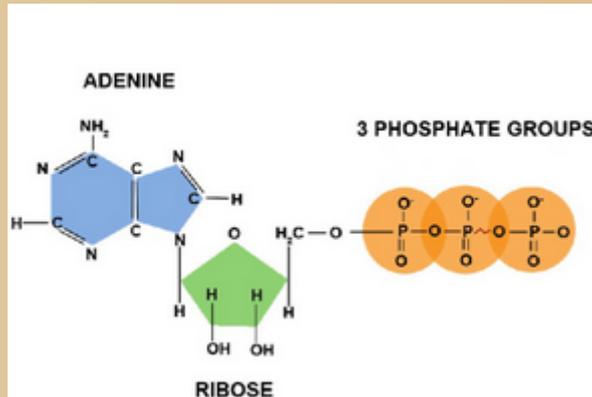
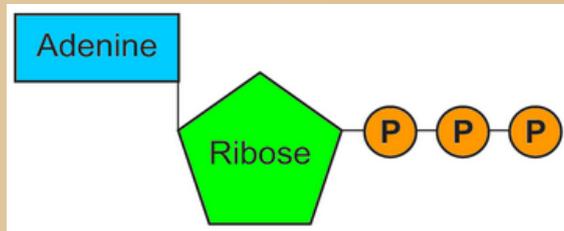
*intérêt* : les lipides sont stockés (isolation) ou utilisés par l'organisme. Leur stock en fait une réserve d'énergie importante (voir hélice de Lynen) bien que peu utilisée.



# La cellule, unité de base de l'organisme

## 2 l'ATP représente la monnaie d'échange de l'énergie

C'est une molécule riche en énergie **échangeable**



énergie de la réaction  
 $\Delta G^0$  (kJ/mol)

Phopyr	→	Pyruvate	+	Pi	- 62
CrP	→	Cr	+	Pi	- 43
<b>ATP</b>	→	<b>ADP</b>	+	<b>Pi</b>	<b>- 31</b>
Glu-1P	→	Glucose	+	Pi	- 21
Gly-3P	→	Glycérol	+	Pi	- 9

L'ATP :

- moins stable que l'ADP
- énergie d'activation faible

# La cellule, unité de base de l'organisme

## 2 L'ATP, monnaie d'échange de l'énergie

### ***Pourquoi ne pas brûler directement les nutriments ?***

#### **La combustion :**

- elle n'engendre que de la chaleur
- la chaleur est difficile à transformer par la suite

#### **La dégradation progressive :**

- elle aboutit à la fabrication d'ATP : gain d'énergie (gain d'énergie) stockable
- elle permet de récupérer des énergies faibles : gain de rendement
- elle est facile à utiliser car l'hydrolyse de l'ATP est facile

#### ***Mais le stock d'ATP est faible***

- on dispose d'environ 250 g d'ATP dans tout le corps humain.

#### ***Les autres molécules de stockage :***

- elles donnent toutes de l'ATP en fin de compte :
- Glucose et glycogène
- Phosphocréatine
- Acides gras...



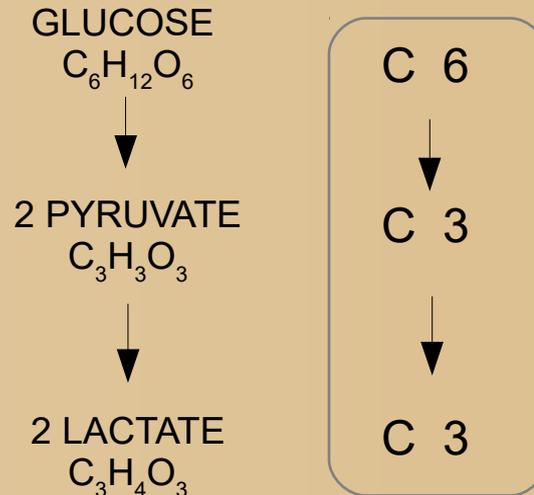


## La dégradation des nutriments dans les cellules

### 3 En l'absence d'oxygène (anaérobiose) : fermentation

Elle s'effectue dans les cellules (dans le cytosol)

Le glucose (6 carbones) est coupé en 2 et transformé en acide lactique (3 carbones).

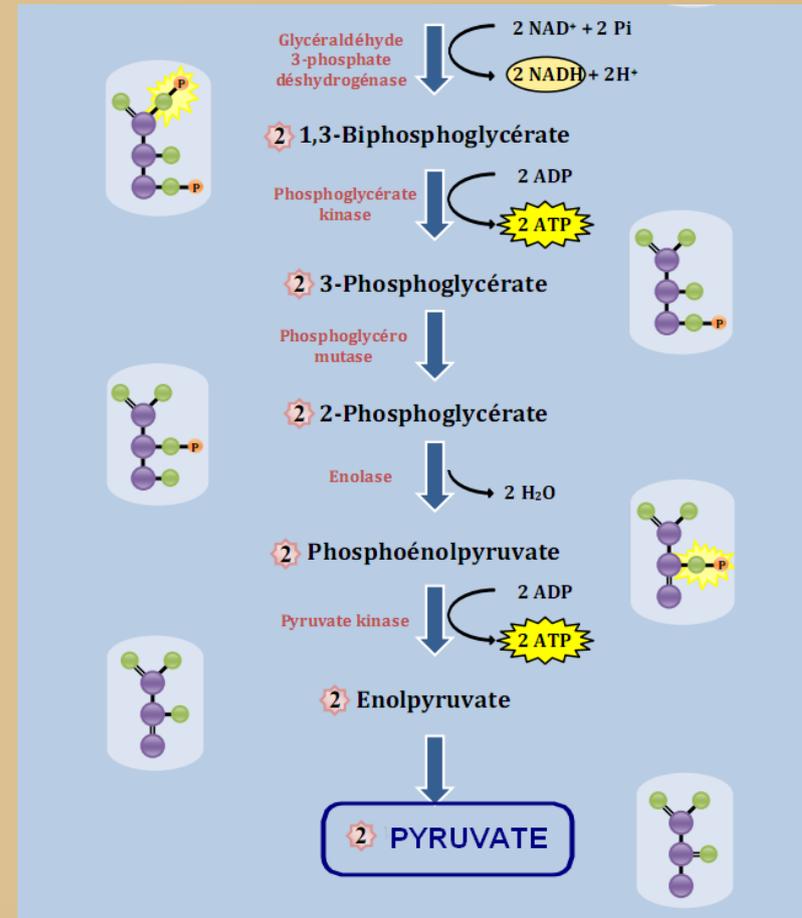
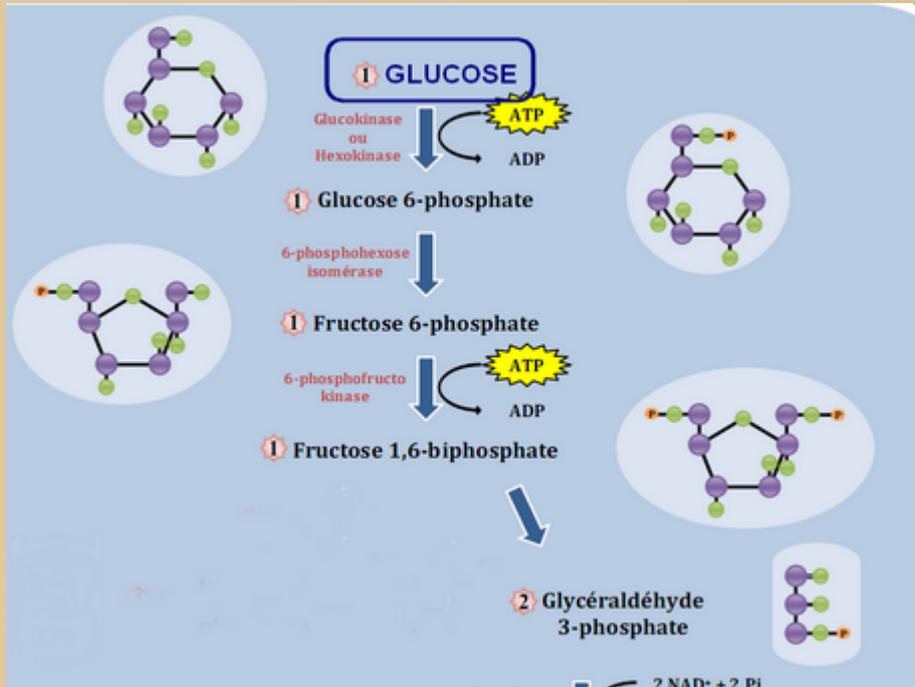


Gain d'énergie : 2 ATP

*Ces 2 molécules sont immédiatement disponibles (car dans le cytosol)*

# La cellule, unité de base de l'organisme

Le détail !



beaucoup d'étapes  
beaucoup d'enzymes  
un bon rendement !

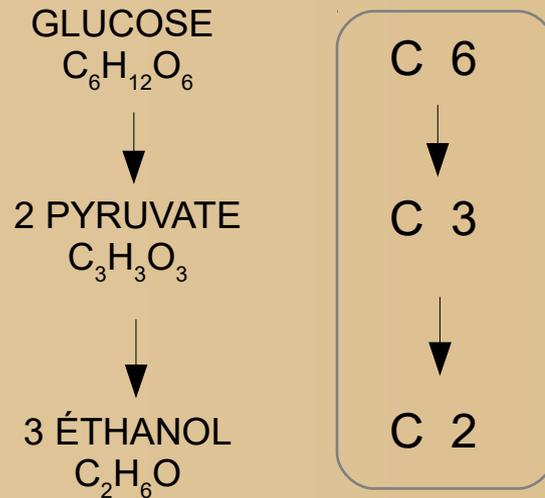
# La cellule, unité de base de l'organisme

## 3 En l'absence d'oxygène : la fermentation (anaérobie)

### La fermentation des végétaux

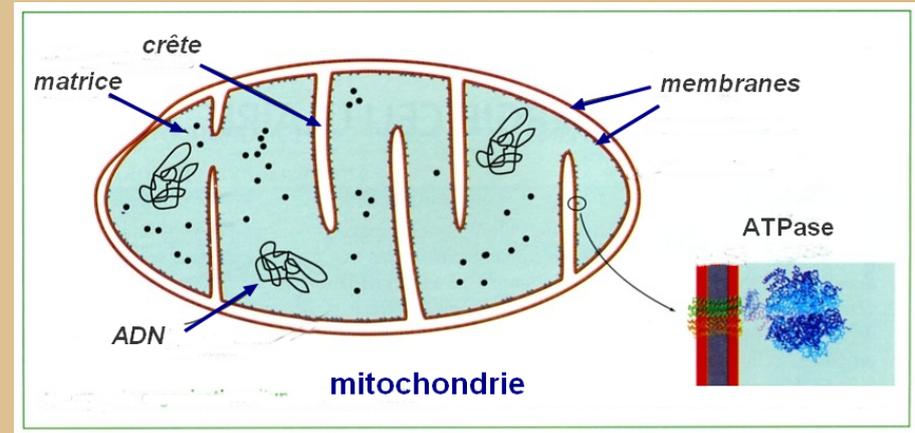
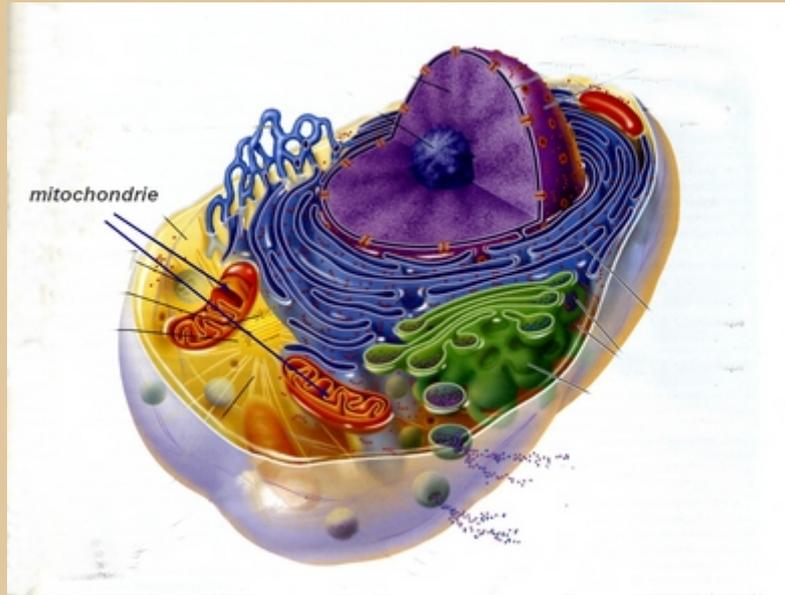
Elle mène jusqu'au stade alcool (éthanol). On passe donc aussi de C6 à C2

*mais ce n'est pas l'alcool qui donne son goût aux spiritueux...*



## 4 En présence d'oxygène : la respiration (aérobie)

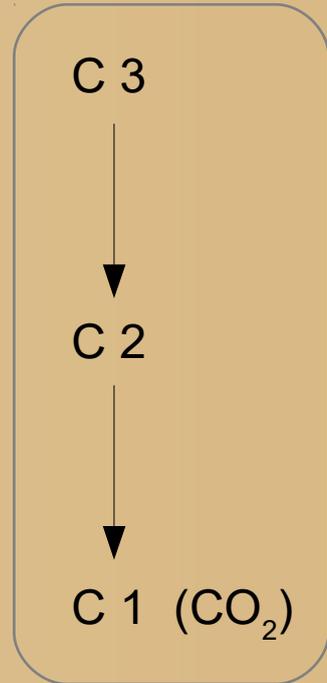
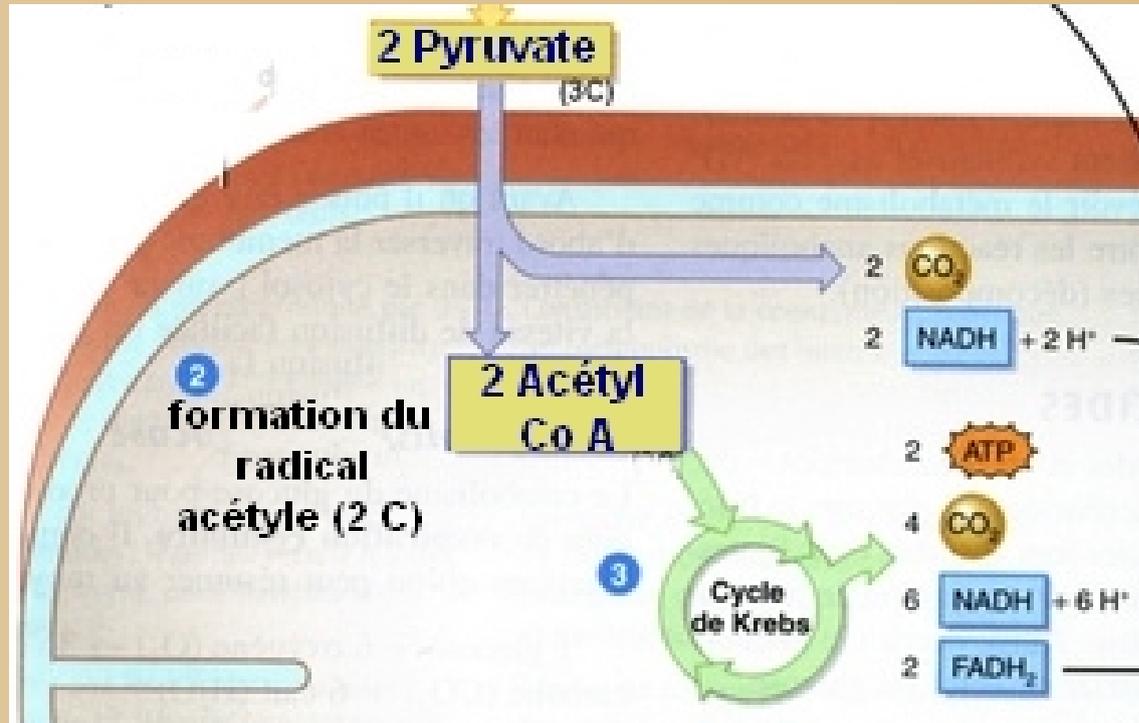
*La production d'énergie continue dans les mitochondries*



# La cellule, unité de base de l'organisme

3 En présence d'oxygène : la respiration (aérobie)

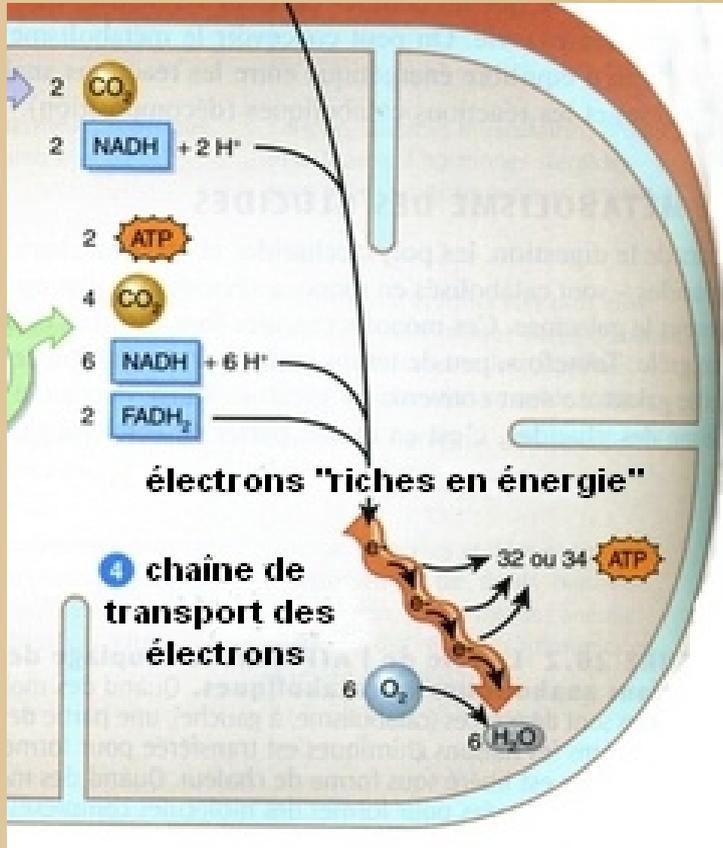
*A → Oxydation jusqu'au stade  $CO_2$*



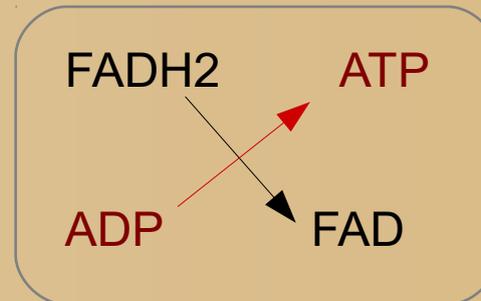
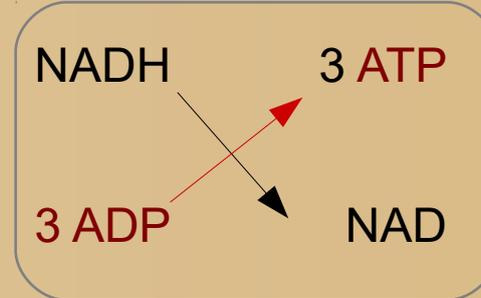
# La cellule, unité de base de l'organisme

## 3 En présence d'oxygène : la respiration (aérobie)

### B → Utilisation des intermédiaires NADH et FADH<sub>2</sub>



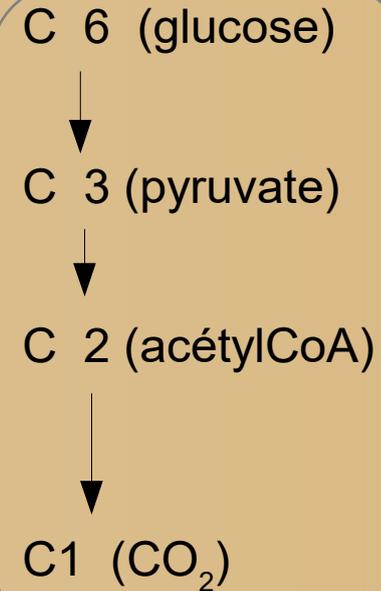
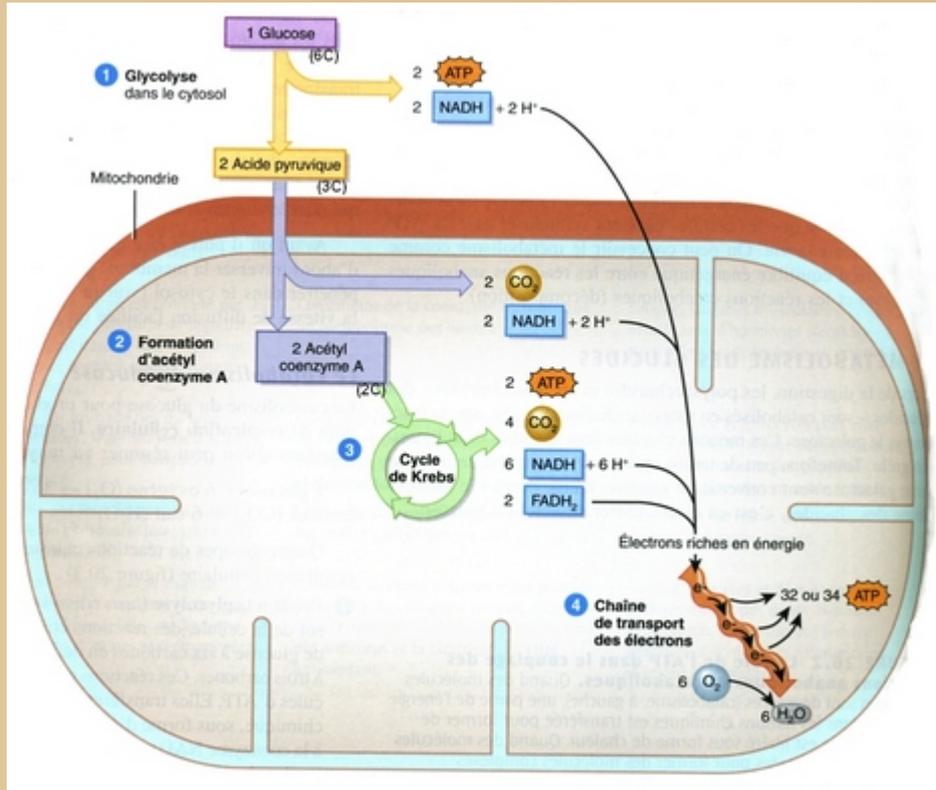
L'énergie libérée par l'oxydation du NADH et du FADH<sub>2</sub> est utilisée pour fabriquer de l'ATP



# La cellule, unité de base de l'organisme

## 3 En présence d'oxygène : la respiration (aérobie)

### Le sort du glucose en aérobiose



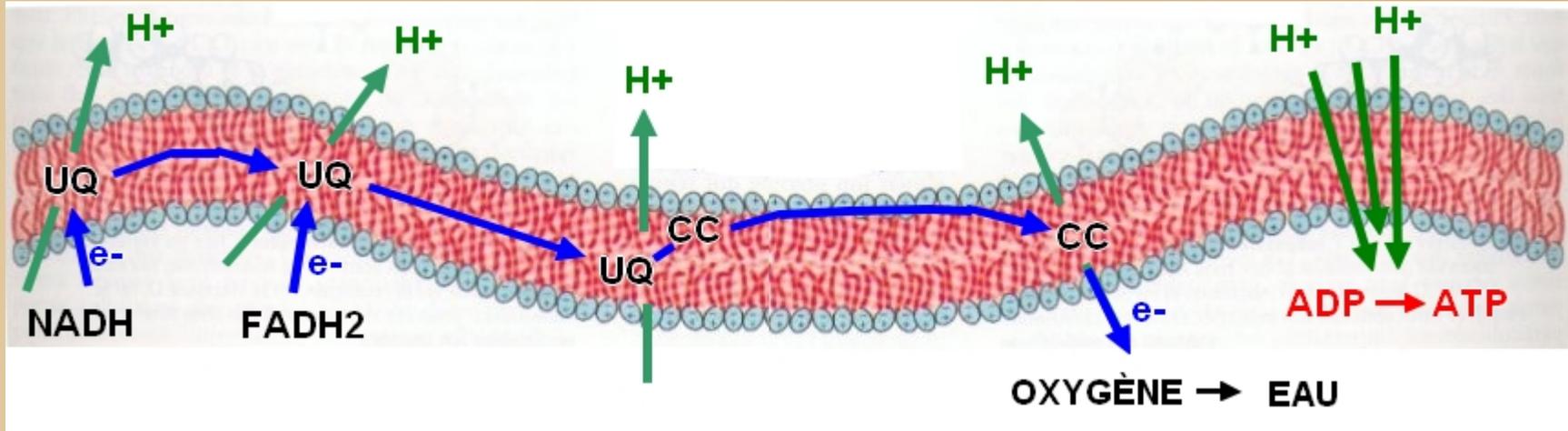
**... et 38 ATP**

*dont une bonne partie doit ressortir des mitochondries pour être utilisable*

# La cellule, unité de base de l'organisme

## 3 En présence d'oxygène : la respiration (aérobie)

### Détail de la chaîne respiratoire



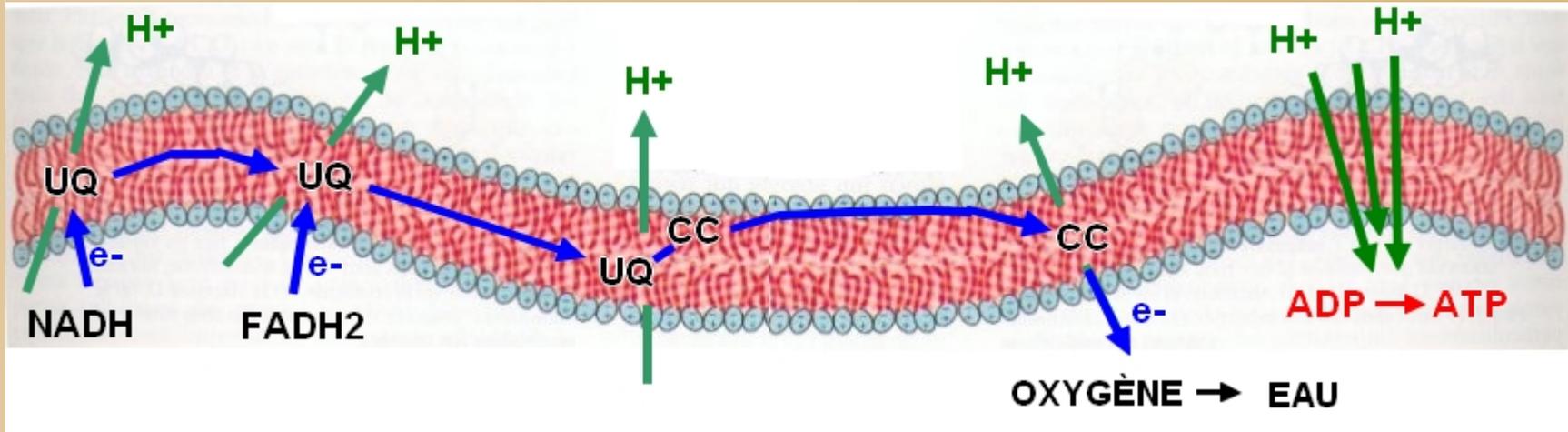
NADH et FADH2 cèdent des électrons qui vont passer d'une molécule à l'autre en libérant à chaque fois de l'énergie. Cette énergie est utilisée pour expulser des protons dans l'espace intermembranaire. Les protons en « redescendant » permettent la synthèse d'ATP via l'ATPase (voir diapo suivante)



# La cellule, unité de base de l'organisme

## 3 En présence d'oxygène : la respiration (aérobie)

### Détail de la chaîne respiratoire



**NADH,  $H^+$**   $\rightarrow$  UQ  $\rightarrow$  Cytochrome c  $\rightarrow$  **Oxygène**

$\downarrow$   
**NAD<sup>+</sup>**

$\downarrow$   
**H<sub>2</sub>O**

ADP +  $P_i$

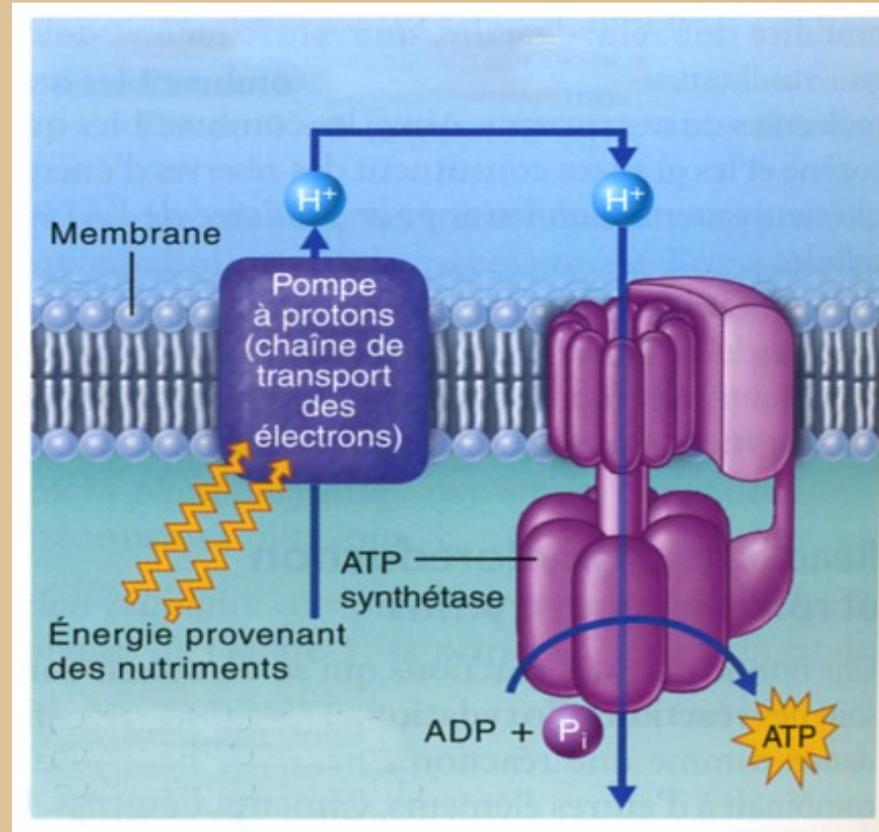
$\downarrow$   
**ATP**

Oxydation ..... Phosphorylante

# La cellule, unité de base de l'organisme

## 3 En présence d'oxygène : la respiration (aérobie)

### Résumé

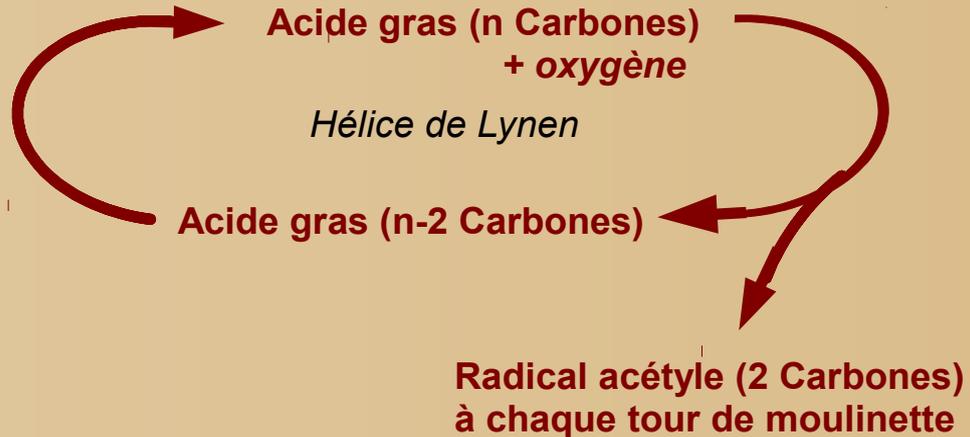


# La cellule, unité de base de l'organisme

## 3 En présence d'oxygène : la respiration (aérobie)

### Le cas de l'oxydation des acides gras

Les acides gras sont découpés en tranches de 2 carbones (radical acétyle)  
Il faut donc 9 tours d'hélice pour décomposer un acide gras en C18

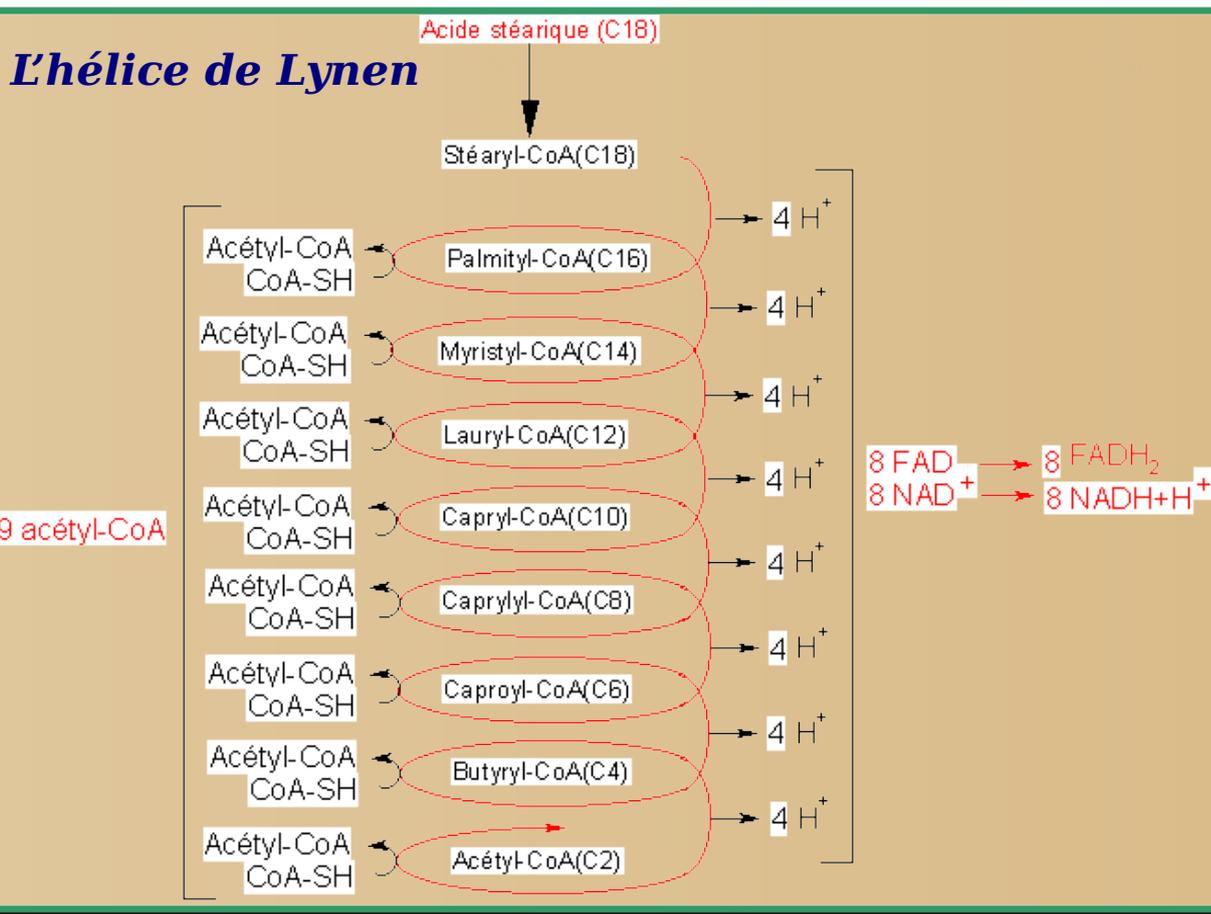


Le radical acétyle s'unit au coenzyme A → acétyl-CoA  
Grosse production d'énergie à la clé



# La cellule, unité de base de l'organisme

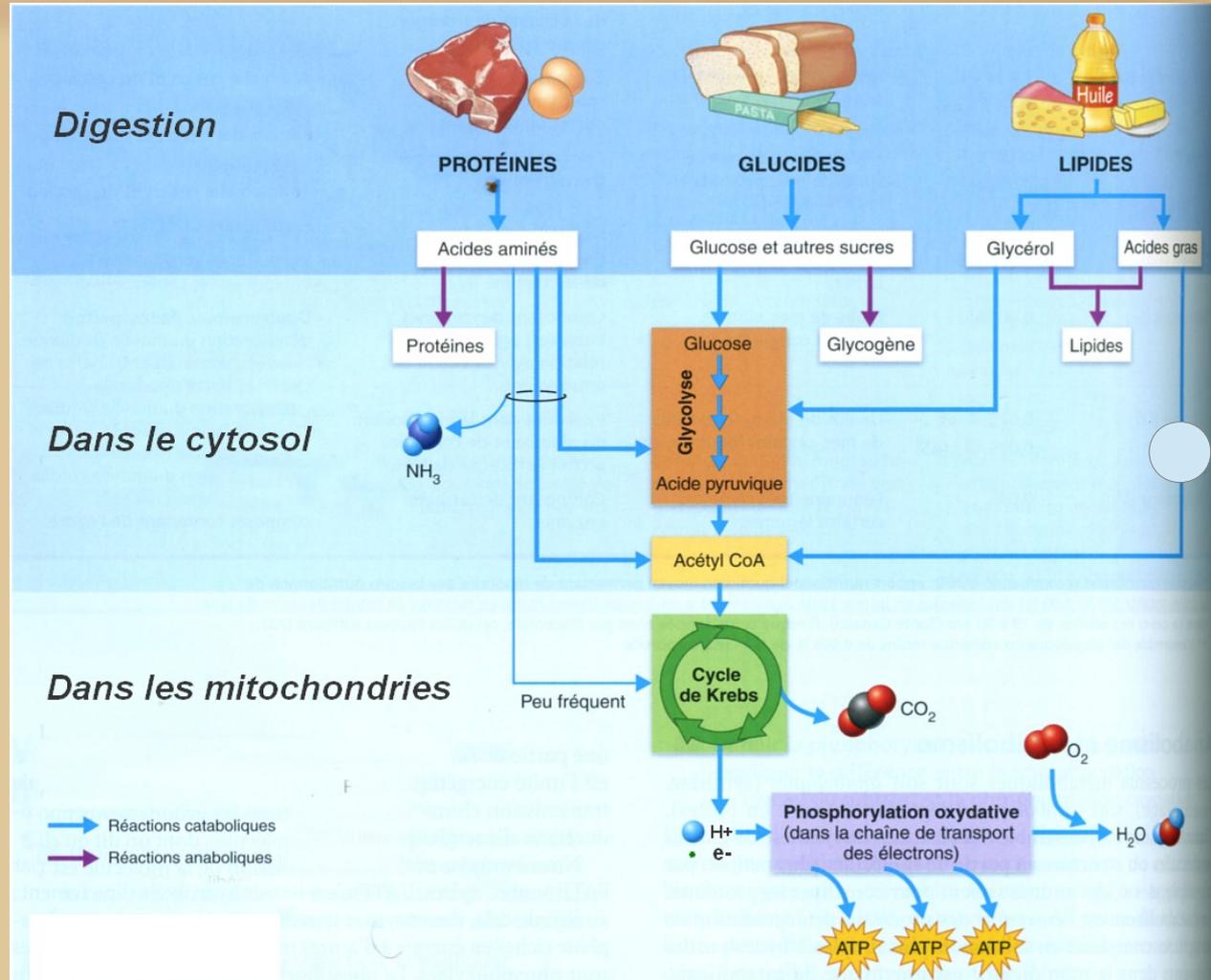
## 3 En présence d'oxygène : la respiration (aérobie)



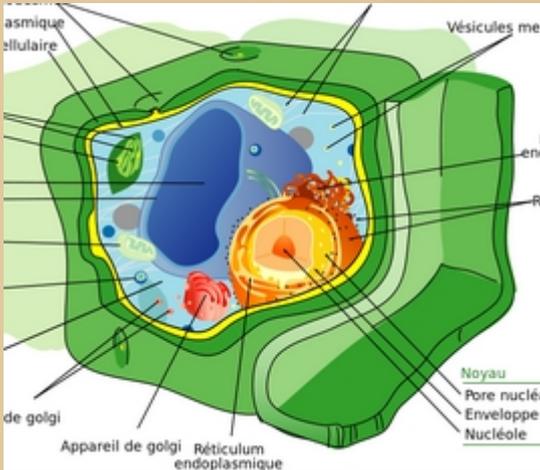
# La cellule, unité de base de l'organisme



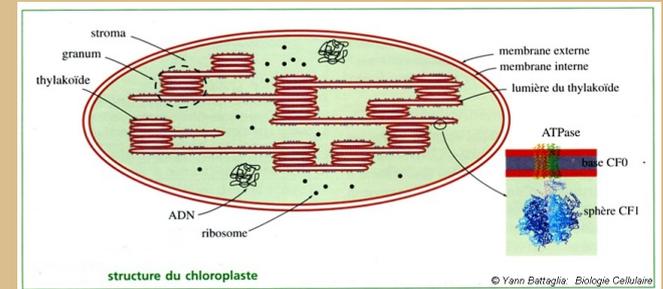
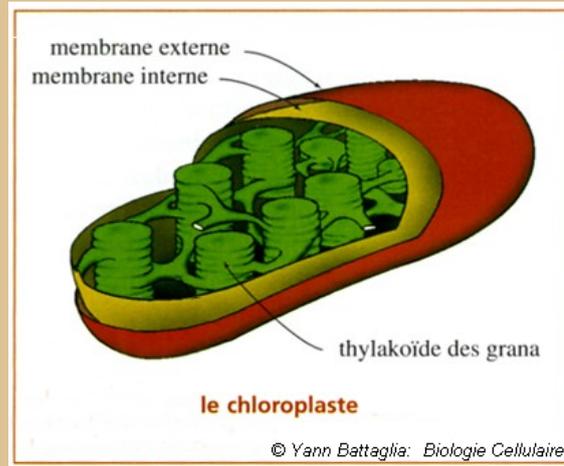
*En résumé*



## 4. Végétaux : la photosynthèse apporte énergie et matière

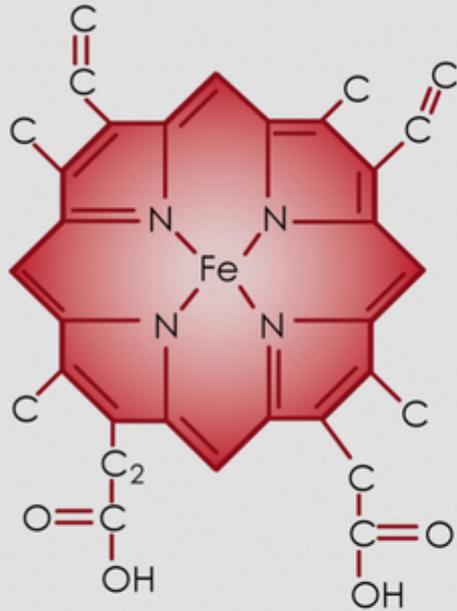


Ça se passe dans les chloroplastes des cellules végétales

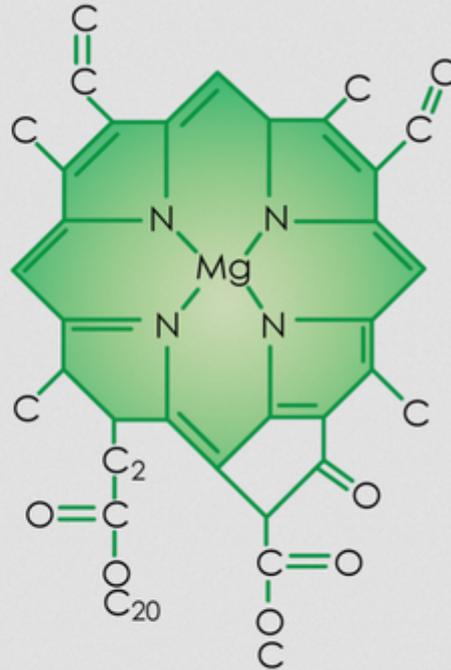


## 4 La photosynthèse

### Hémoglobine et chlorophylle



Human Blood  
Hemoglobin



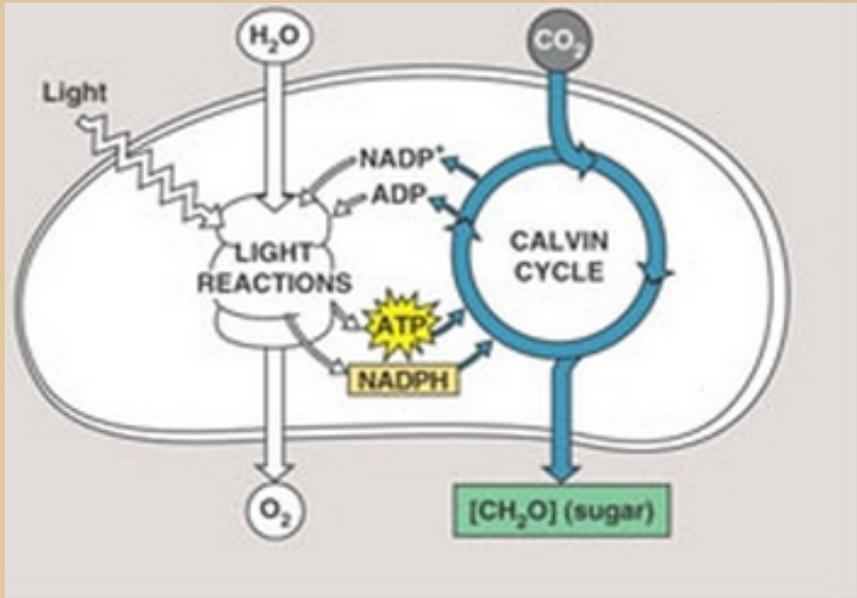
Plant Chlorophyll



# La cellule, unité de base de l'organisme

## 4 La photosynthèse

### Phase claire et phase sombre



#### Phase claire :

L'énergie des photons permet l'oxydation de l'eau en oxygène.  
Production d'ATP et de NADPH

#### Phase sombre :

L'énergie de ces deux molécules permet la fabrication de sucre à partir de  $CO_2$

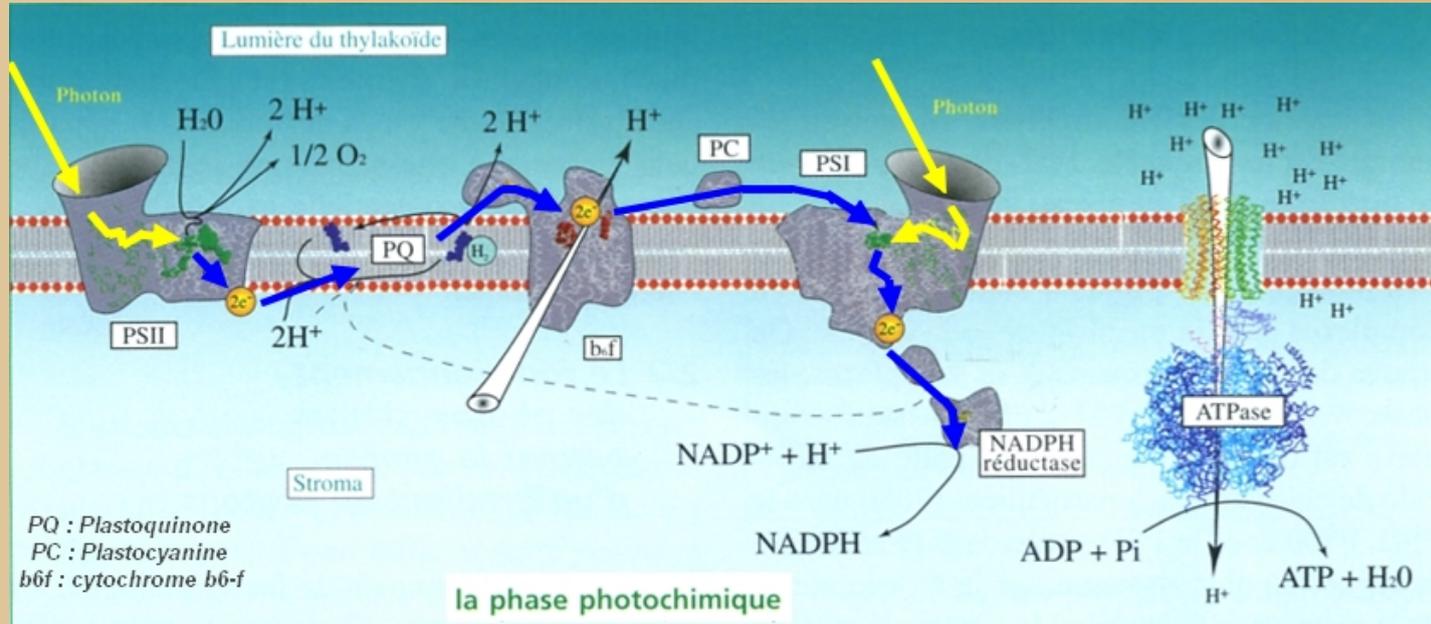
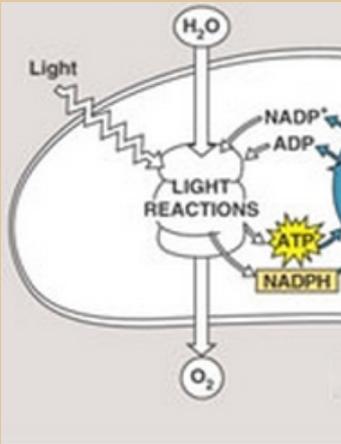


# La cellule, unité de base de l'organisme

## 4 La photosynthèse

### La phase claire

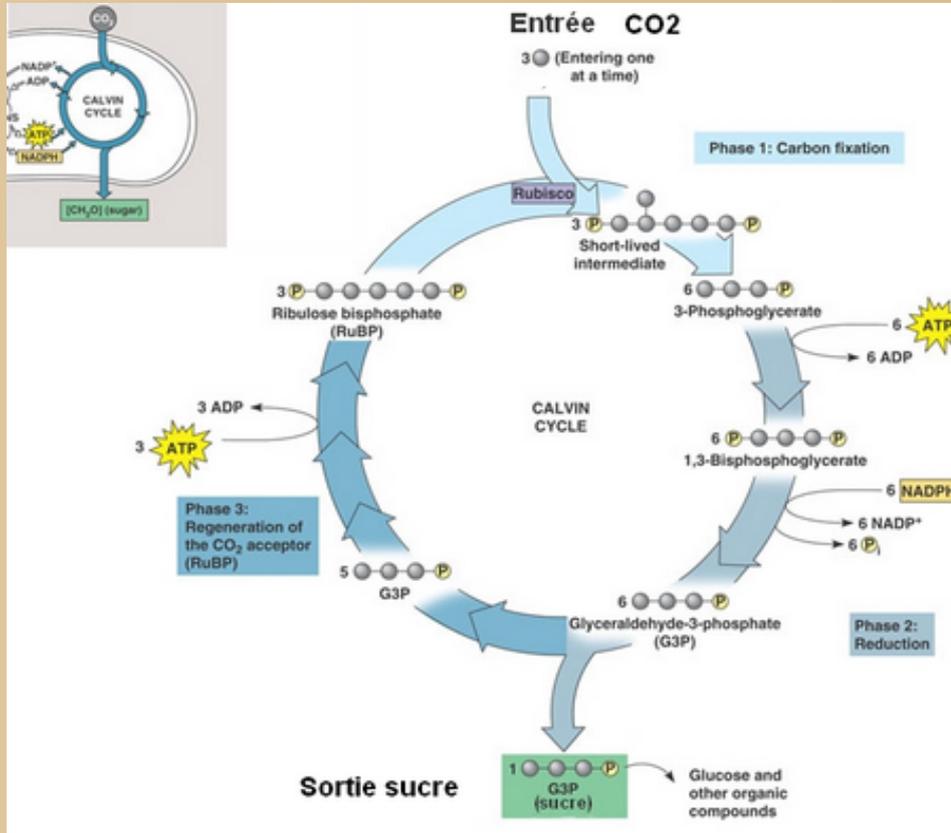
Ressemble à la chaîne respiratoire, mais la source d'énergie est différente



# La cellule, unité de base de l'organisme

## 4 La photosynthèse

### La phase sombre

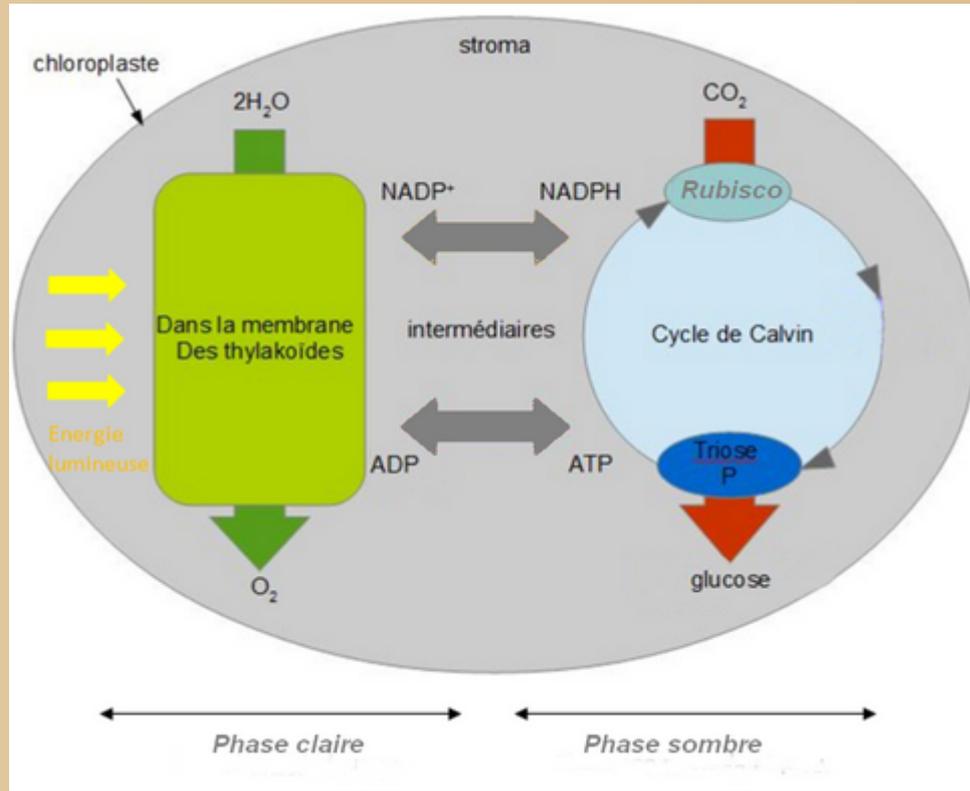


Production simultanée d'énergie et de matière

# La cellule, unité de base de l'organisme

## 4 La photosynthèse

### Bilan global



*C'est l'inverse de la respiration*



## 5 Dysfonctionnements

→ **les inhibiteurs de la chaîne respiratoire** bloquent l'action d'une des enzymes.

*La roténone (pesticide) bloque le site de liaison à l'ubiquinone.*

*Les cyanures, CO ou H<sub>2</sub>S empêchent la réduction de l'oxygène car ils se lient plus fortement que l'oxygène à la cytochrome c oxydase.*

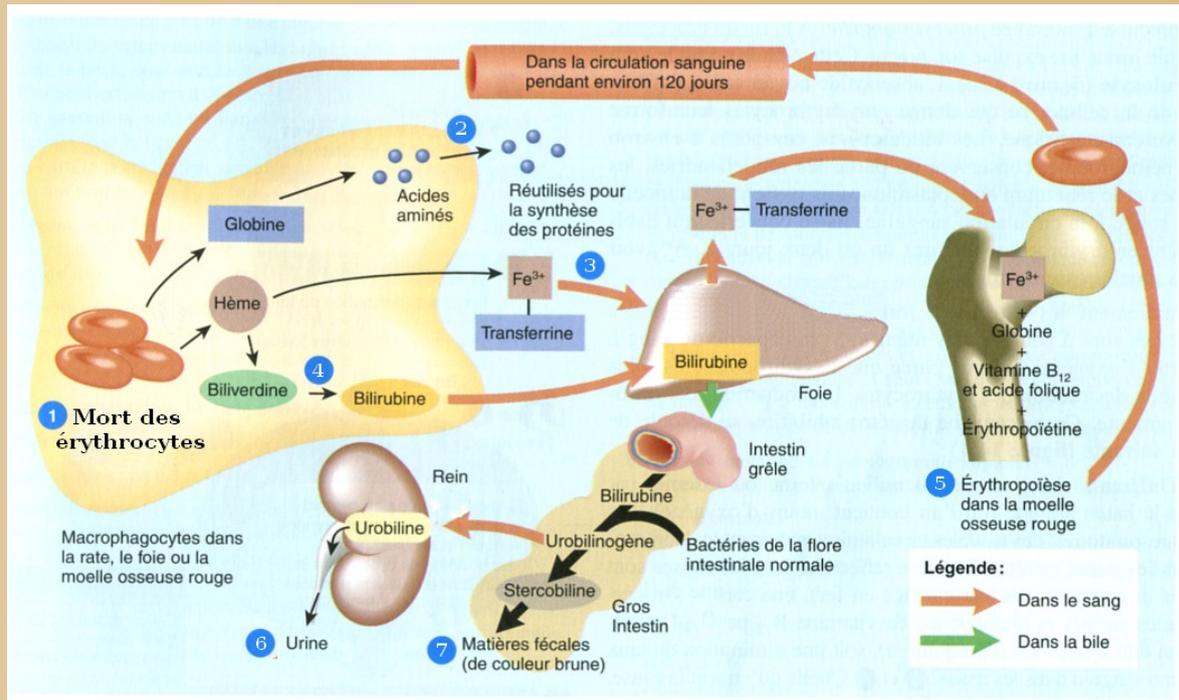
→ *des dérivés de la streptomycine (oligomycines) (antibiotique) bloquent le canal de retour des protons à travers la membrane mitochondriale, ce qui bloque tout le procédé, y compris le cycle de Krebs*

→ *des **radicaux libres** et des peroxydes (OH° ou O<sub>2</sub><sup>2-</sup>) peuvent prendre naissance lors de la réduction de l'oxygène. Ils oxydent les protéines et altèrent l'ADN.*

→ *Rem : dans le tissu adipeux brun l'énergie est **directement transformée en chaleur** en découplant les transferts d'électrons de la production d'ATP. C'est une inhibition voulue et non toxique (ex. hibernation des animaux).*

## 6 Gestion des déchets

Exemple du recyclage des globules rouges



La protéine (globine) est scindée en acides aminés réutilisables

Le fer est recyclé dans la moelle osseuse pour la fabrication de nouveaux globules rouges