

# Plan de cours Micro-organismes S3

Cours 1. Microbiologie générale

Cours 2. Nutrition bactéries

Cours 3. Croissance bactérienne

**Cours 4. Métabolismes**

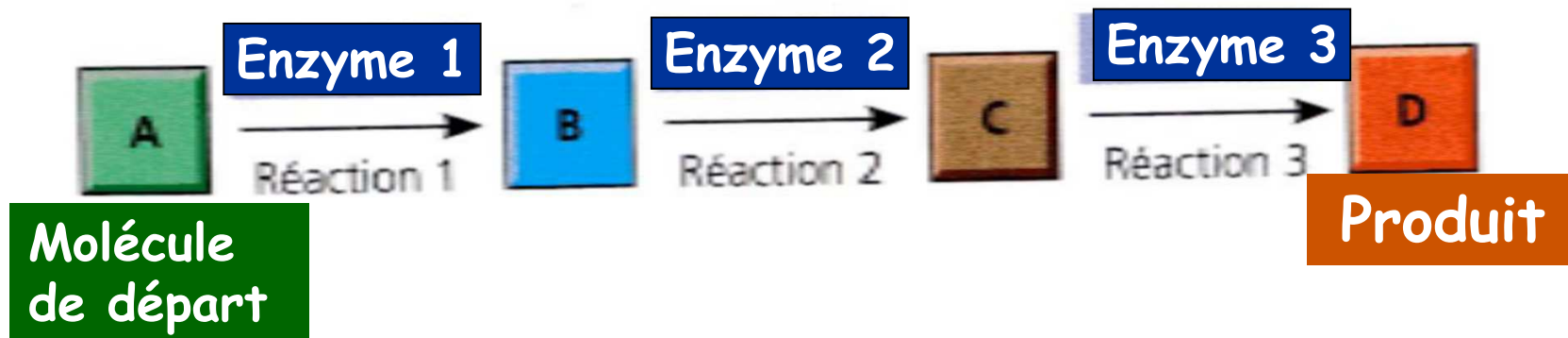
Cours 5. Taxonomie

# Cours 4 - Métabolisme

- Rappels des notions des métabolisme
- Métabolisme de glucides
  - ☞ Fermentation
  - ☞ Respiration
- Métabolisme de lipides
- Métabolisme protéines

# Métabolisme : Quelques rappels

**Métabolisme** = ensemble des réactions biochimiques d'un organisme



**Catabolisme**

**Anabolisme**

## Thermodynamique

$$H = G + TS$$

H : énergie totale (**enthalpie**)

G : énergie libre ou utilisable

S : énergie non utilisable (**entropie**)

T : température absolue (Kelvin :  $K = ^\circ C + 273$ )

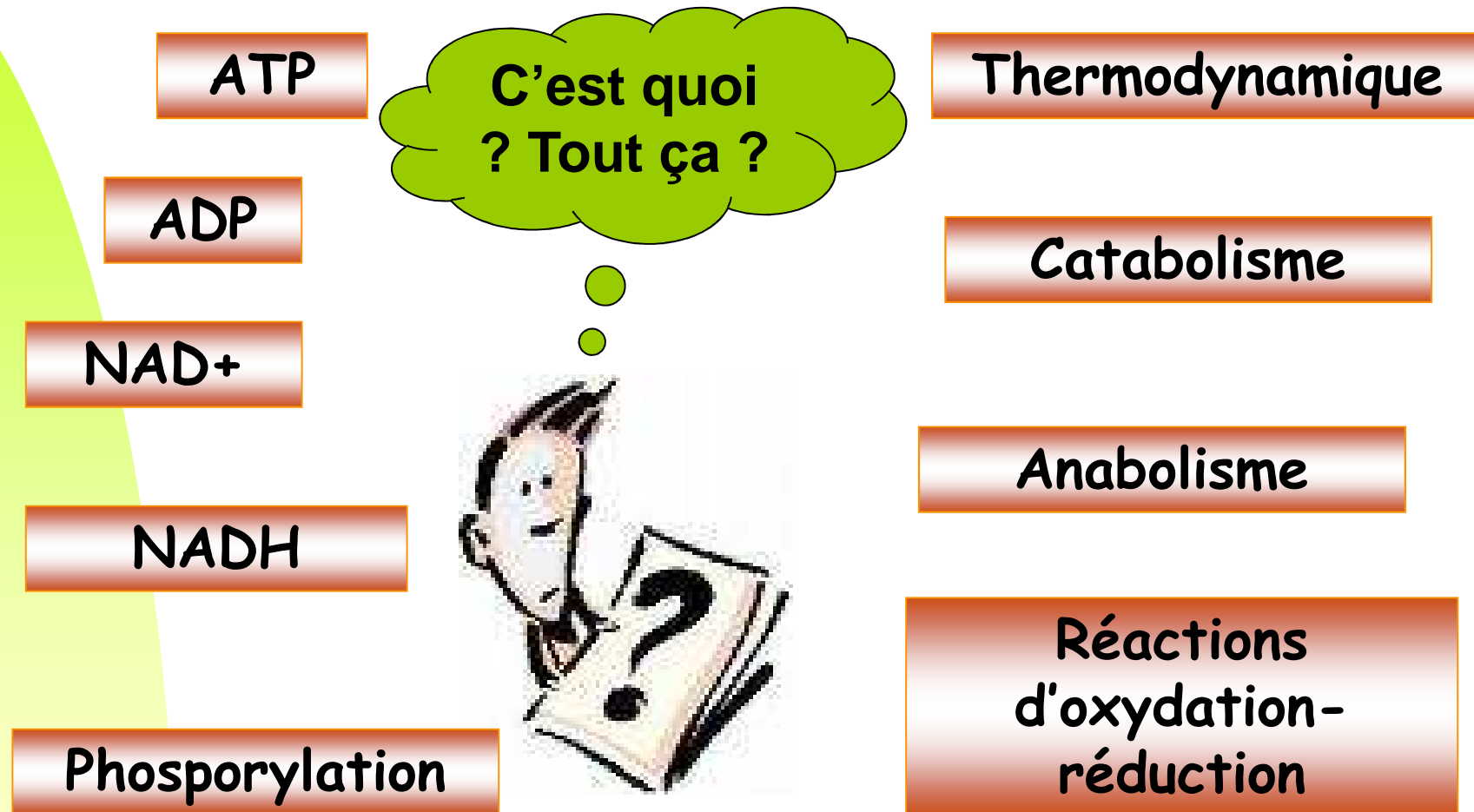
*Dans une réaction chimique :*

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

# Introduction au métabolisme

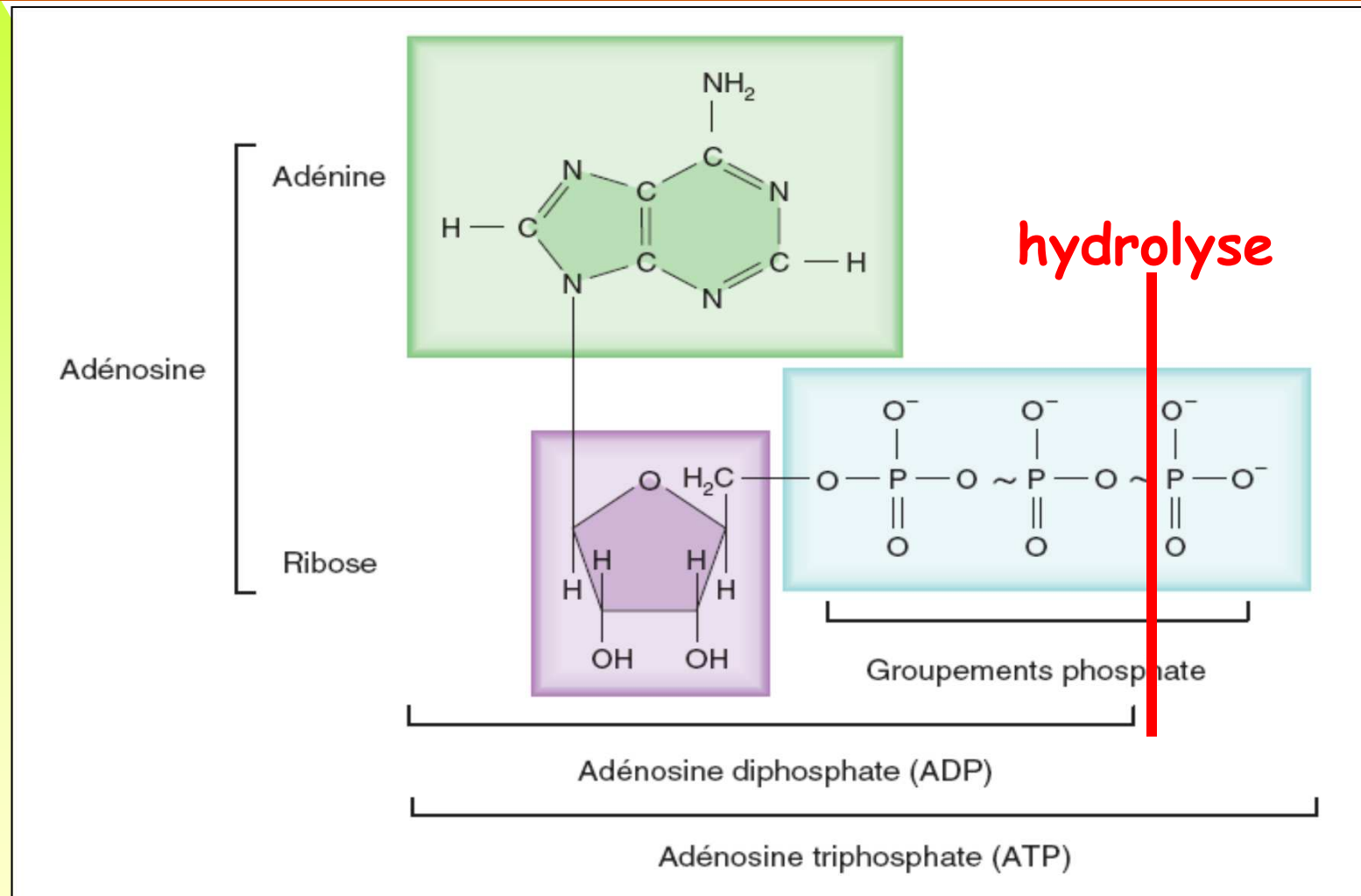
- $\Delta G < 0$  : libération l'énergie : réaction **exergonique**  
**Catabolisme** (est l'ensemble des réactions de dégradations moléculaires de l'organisme considéré)
- $\Delta G > 0$  : besoin d'énergie : réaction **endergonique**  
**Anabolisme** (l'ensemble des réactions chimiques des organismes vivants permettant la synthèse de métabolites essentiels)

# Métabolisme : Vocabulaires



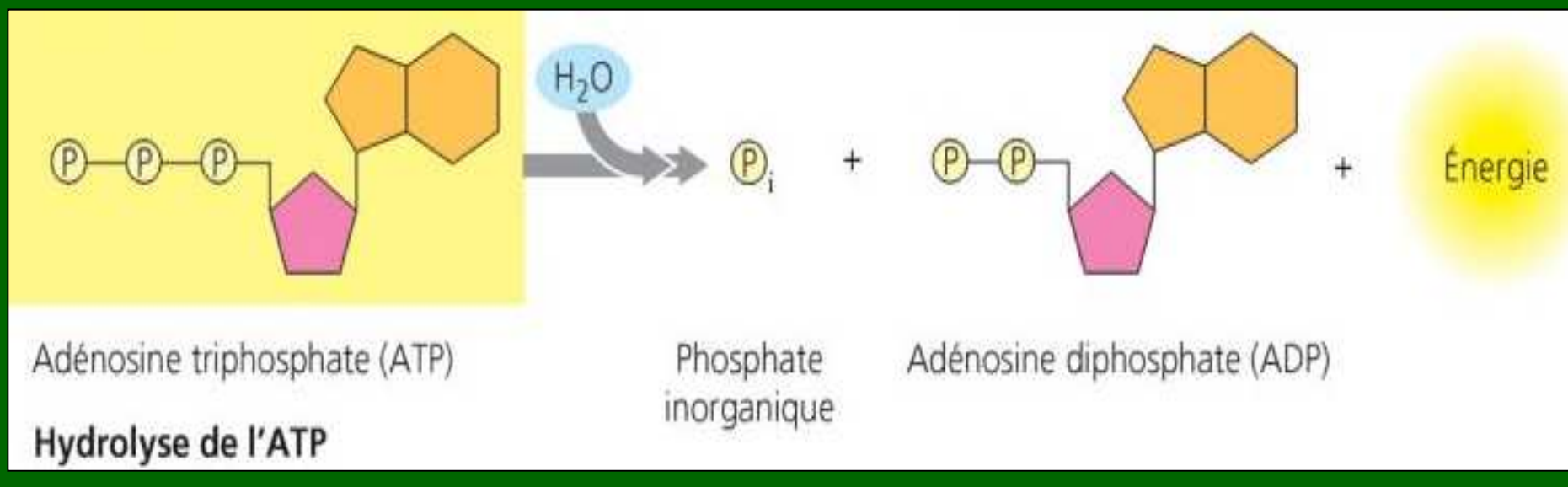
# Introduction au métabolisme

**ATP (Adénosine triphosphate) = monnaie énergétique**



# Métabolisme : Quelques rappels

L'hydrolyse des liaisons phosphate de l'ATP libère de l'énergie.



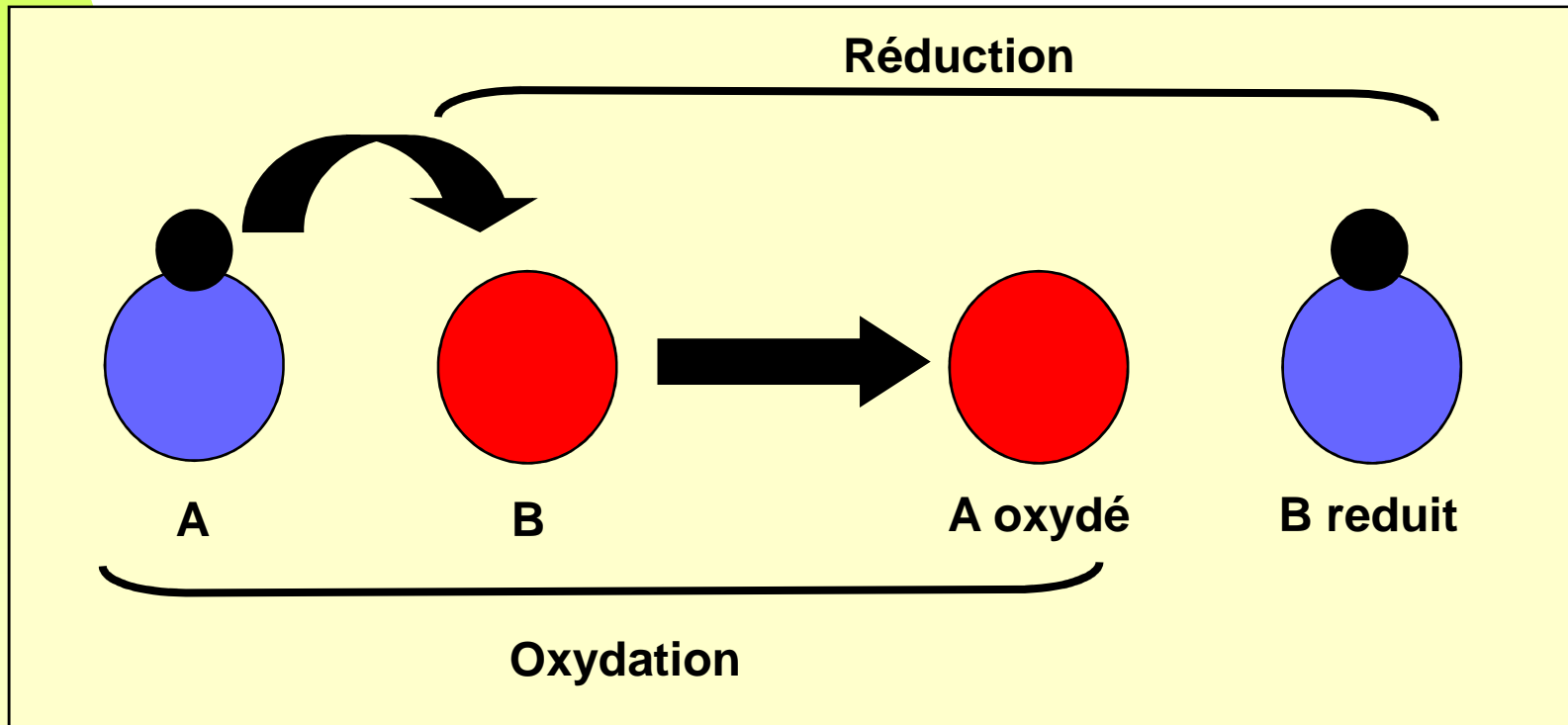
## Phosphorylation

l'addition d'un groupe **phosphate** ( $-PO_4$ ) à une **protéine**



# Métabolisme : Quelques rappels

Réactions d'oxydation-réduction :  
un substrat donne des électrons (oxydation)  
un substrat reçoit des électrons (réduction)

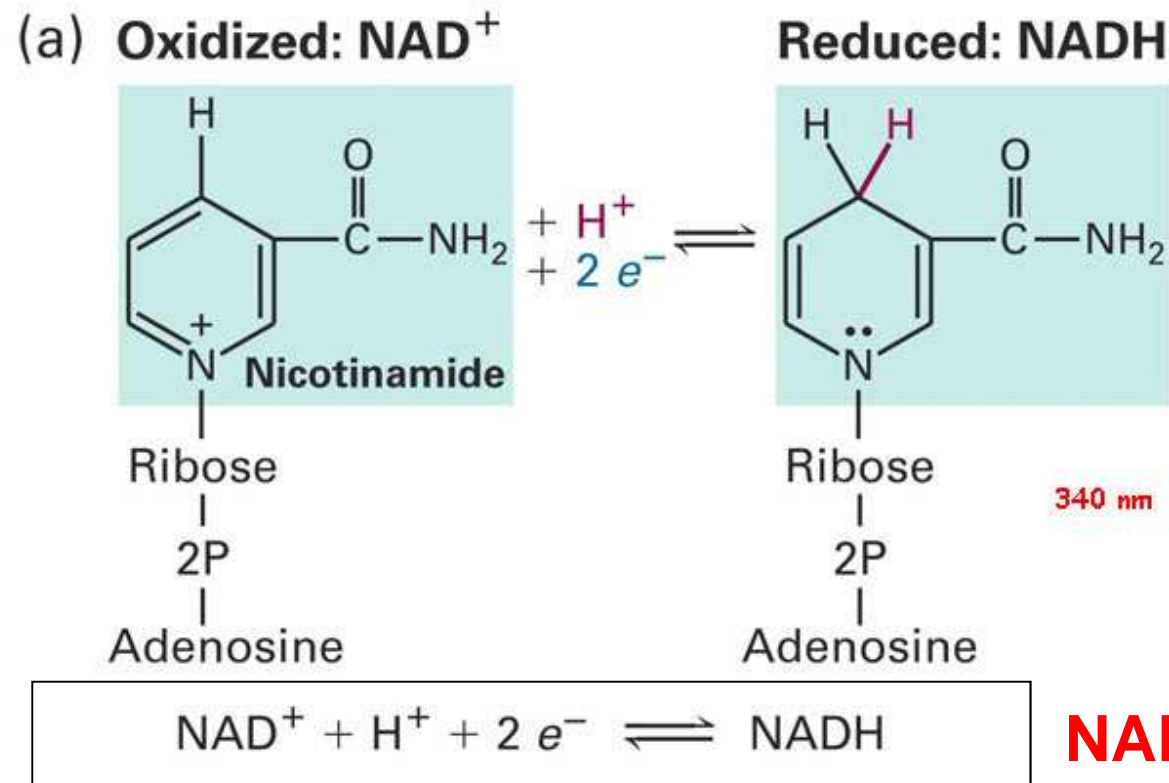


# Métabolisme : Quelques rappels

## Réactions d'oxydation-réduction :

NAD : Nicotinamide Adénine Dinucléotide

NADPH : Nicotinamide Adénine Dinucléotide Phosphate



**NADH = 3 ATP**

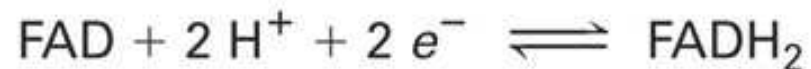
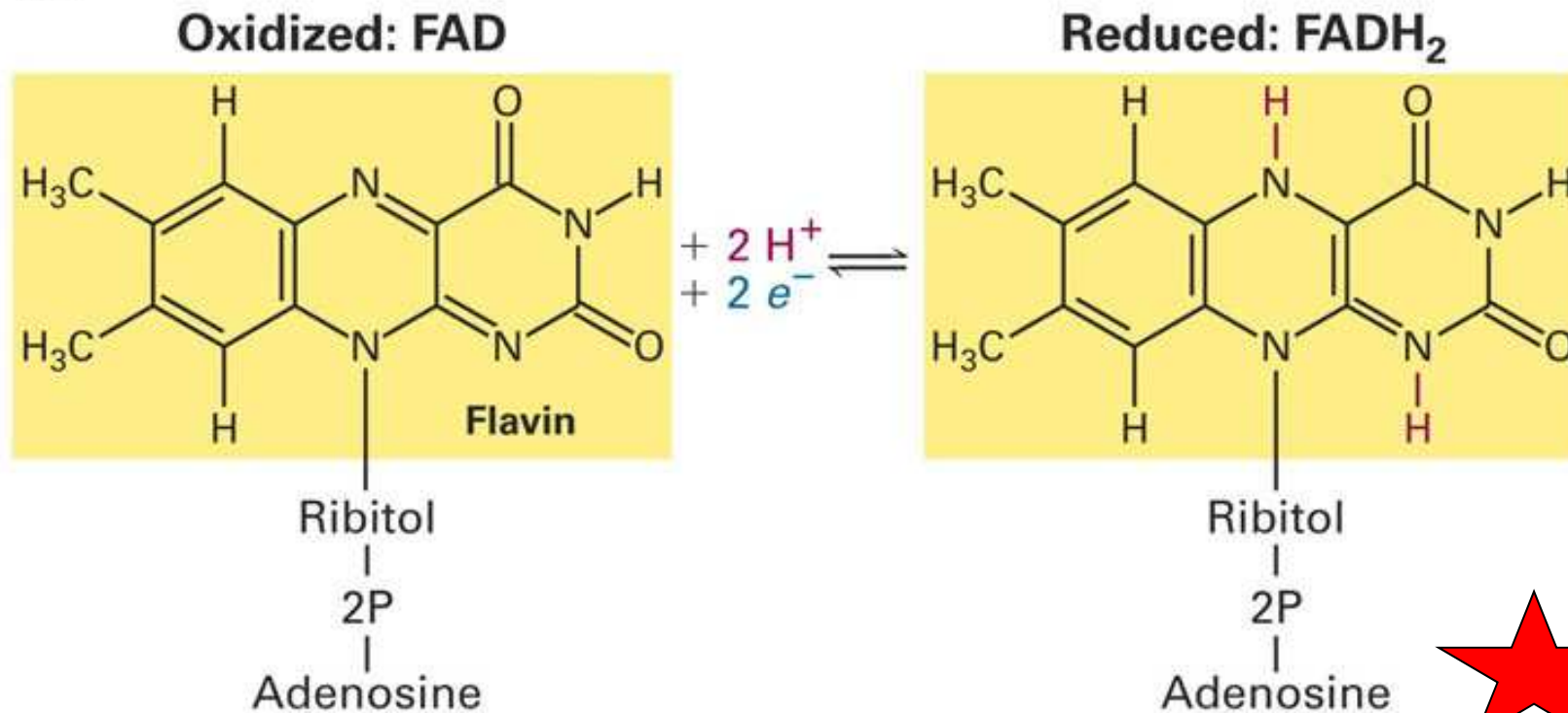
Oxydo-réduction : Déshydrogénation

# Métabolisme : Quelques rappels

## Réactions d'oxydation-réduction :

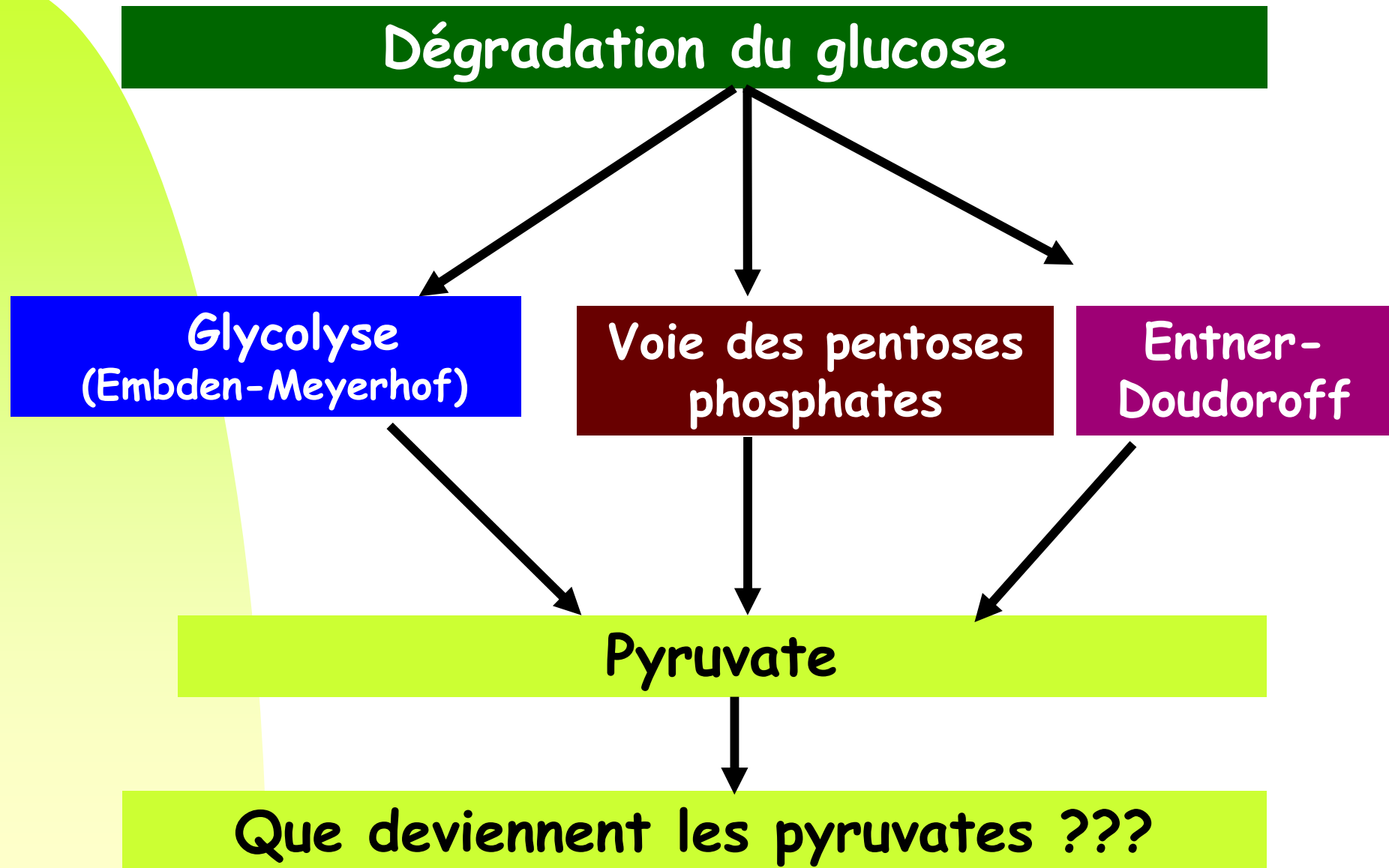
FAD : Flavine Adénine Dinucléotide

(b)



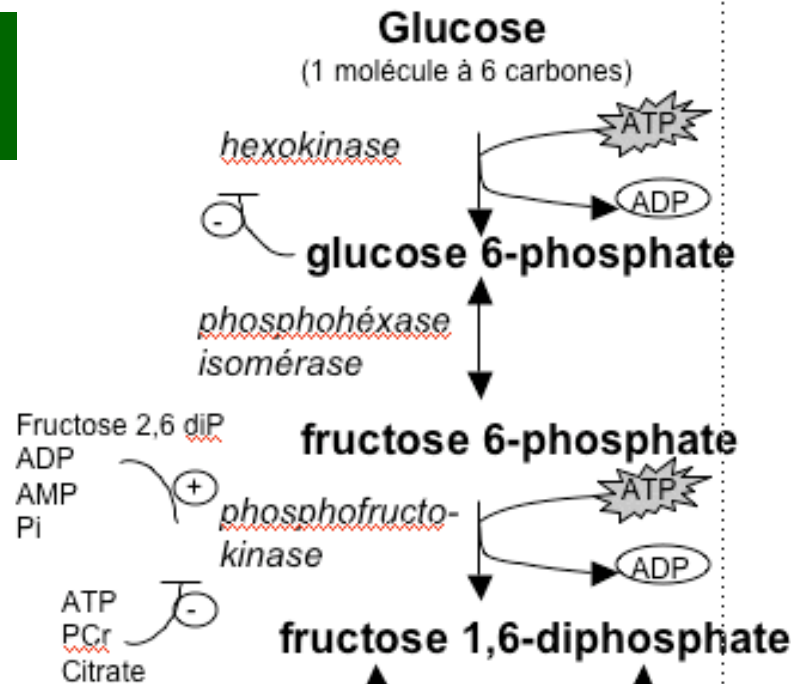
**FADH<sub>2</sub> = 2 ATP**

# Métabolisme : Quelques rappels



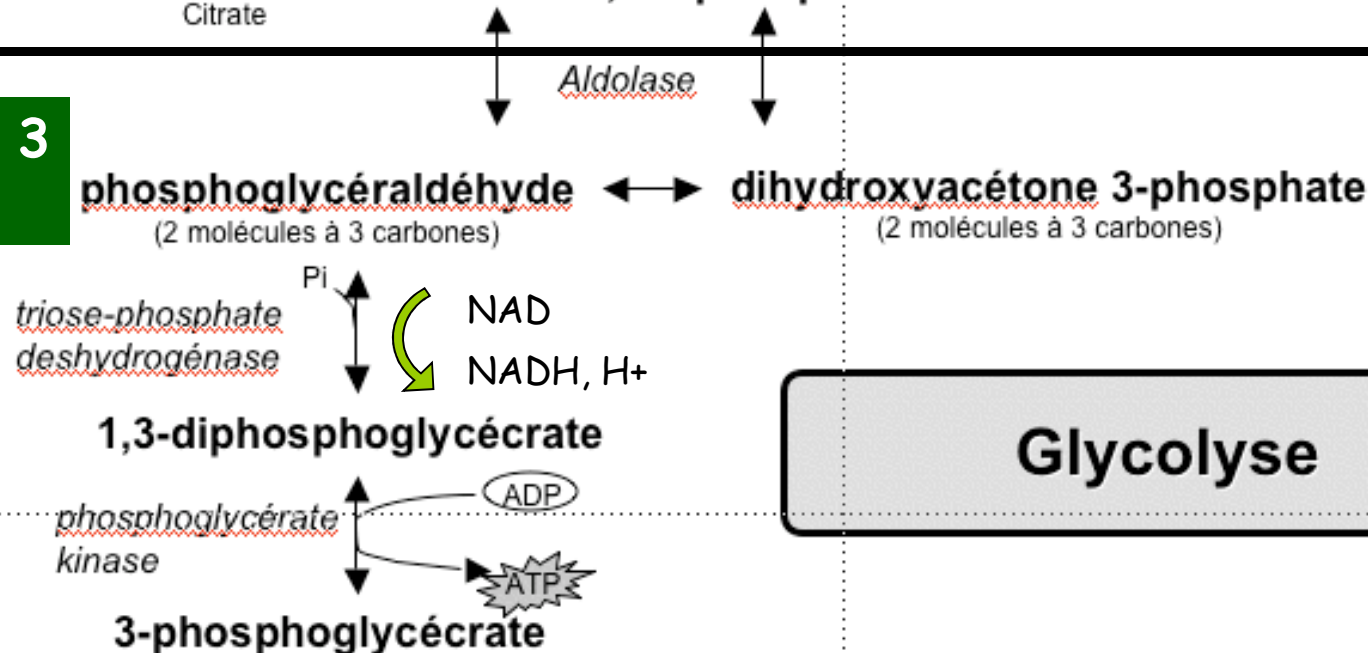
# Glycolyse (Embden-Meyerhof)

## Étape de 6 carbones



isomérisation

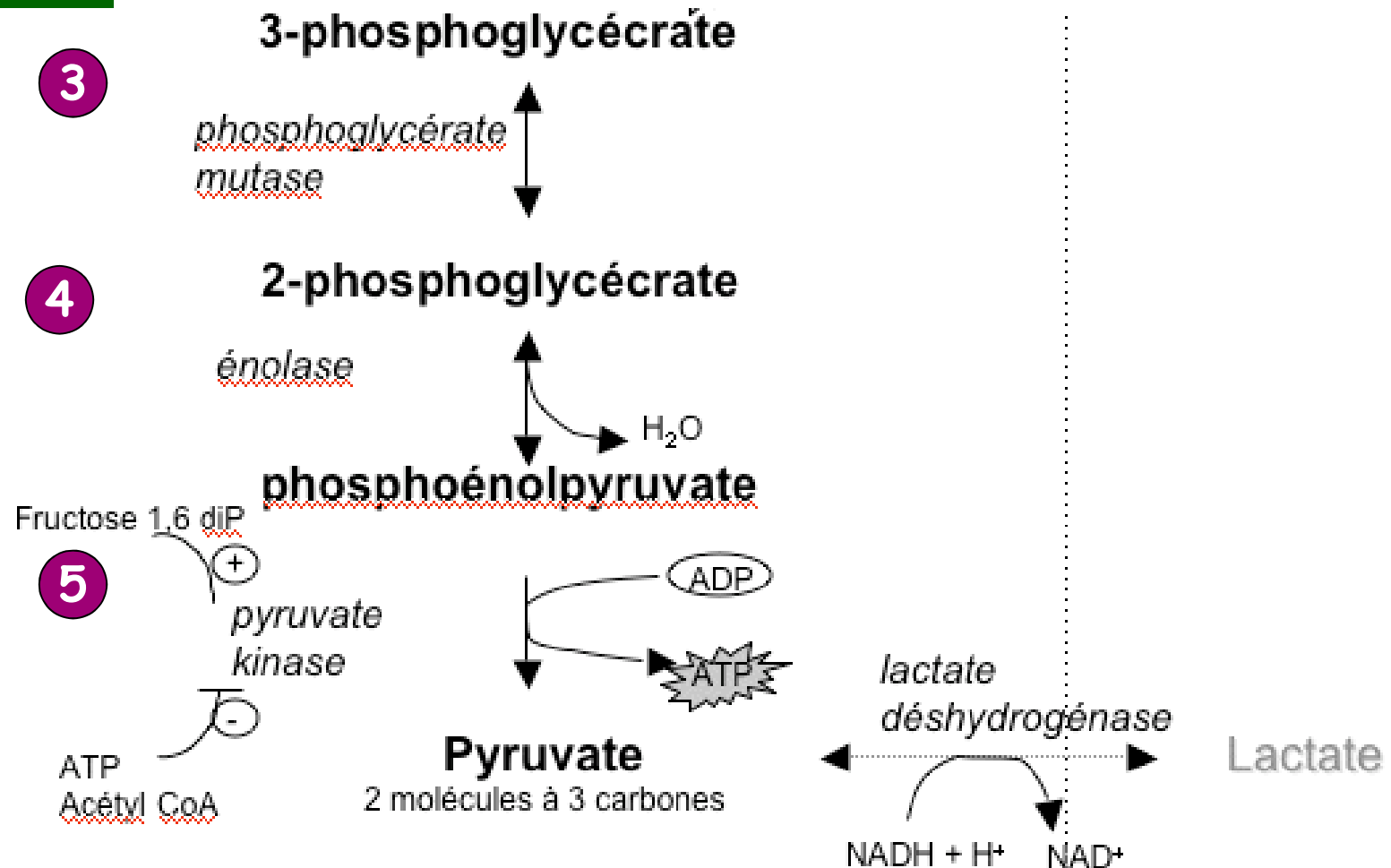
## Étape de 3 carbones



Glycolyse

# Glycolyse (Embden-Meyerhof) suite...

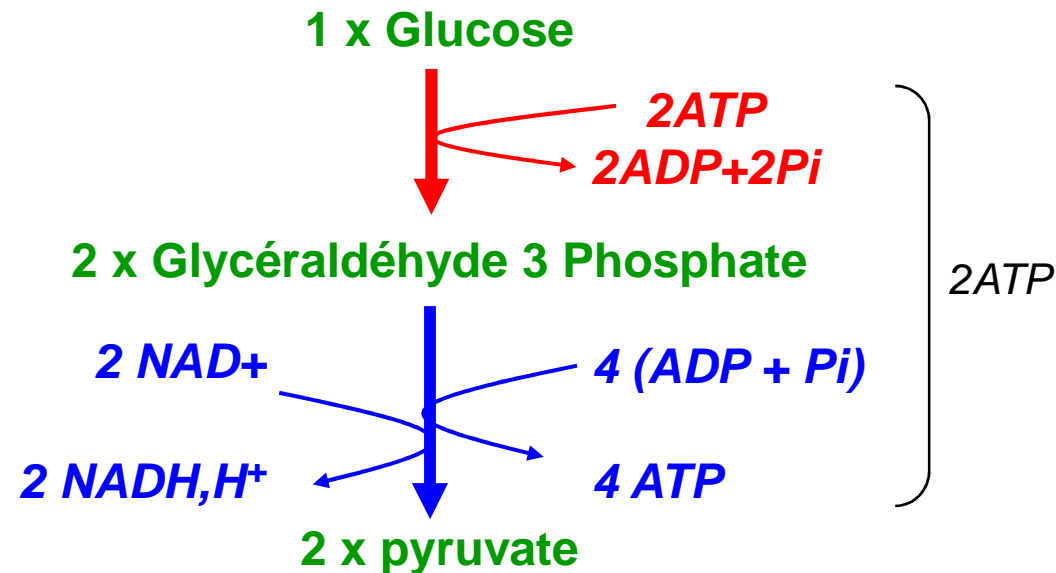
Étape de 3  
carbones  
(suite...)



# Glycolyse: bilan

Étape de 6  
carbones

Étape de 3  
carbones



*Bilan ATP pour un glucose*

*Amorçage et consommation* = - 2ATP

*Remboursement* = + 4ATP

*2NAD/NADH, H<sup>+</sup> ( 2x3ATP)* = + 6ATP

*Total* = 8ATP

*Bilan*

**1 Glucose + 2ADP + 2NAD<sup>+</sup> -----> 2 pyruvates + 2ATP + 2/NADH, H<sup>+</sup>**

**1 Glucose + 2ADP + 2NAD<sup>+</sup> -----> 2 pyruvates + 8ATP**

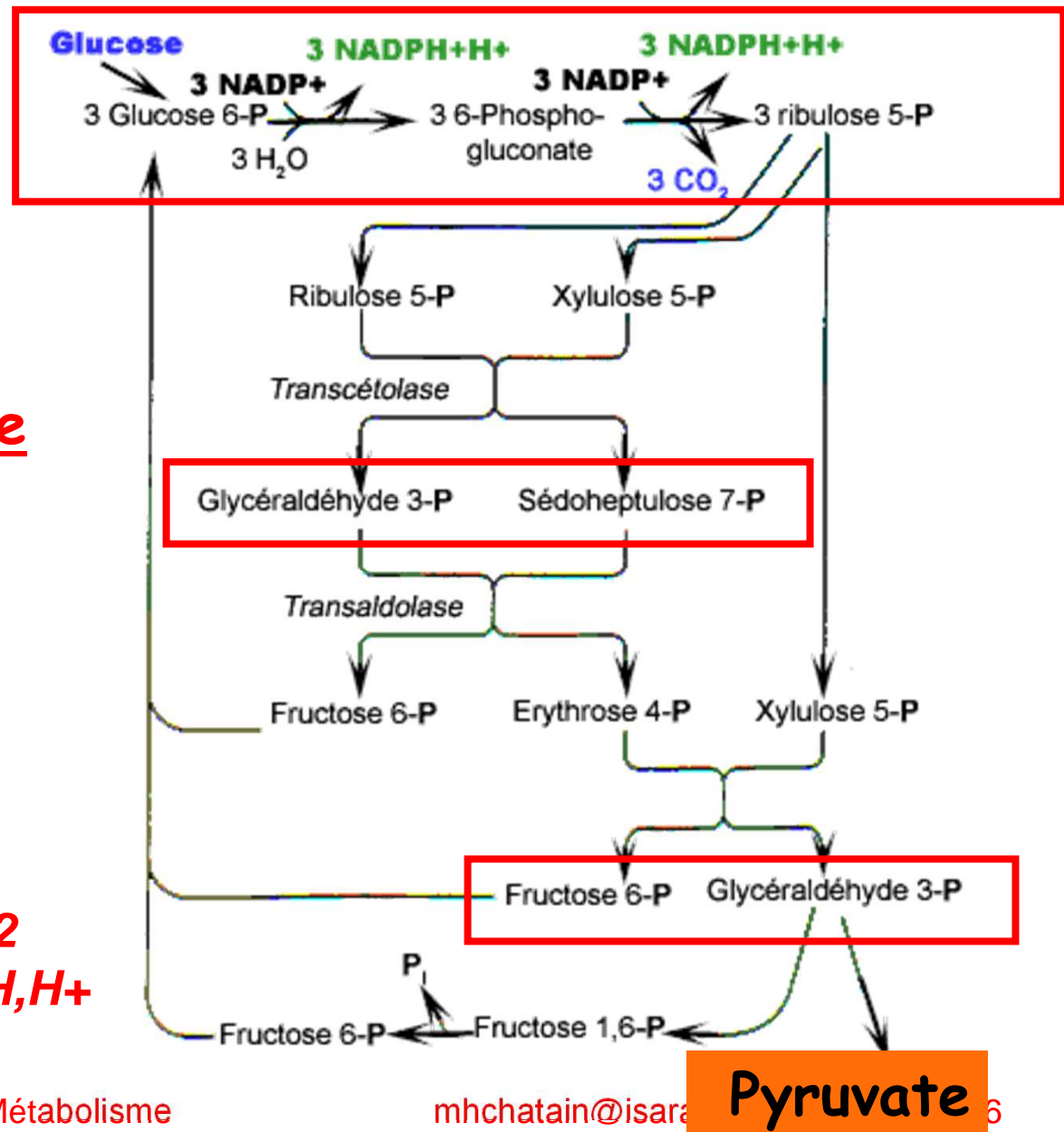
# Voie des pentoses phosphates

## 1. Phase oxydative

## 2. Phase non oxydative (réversible)

## 3. Rôle du Shunt des Pentoses

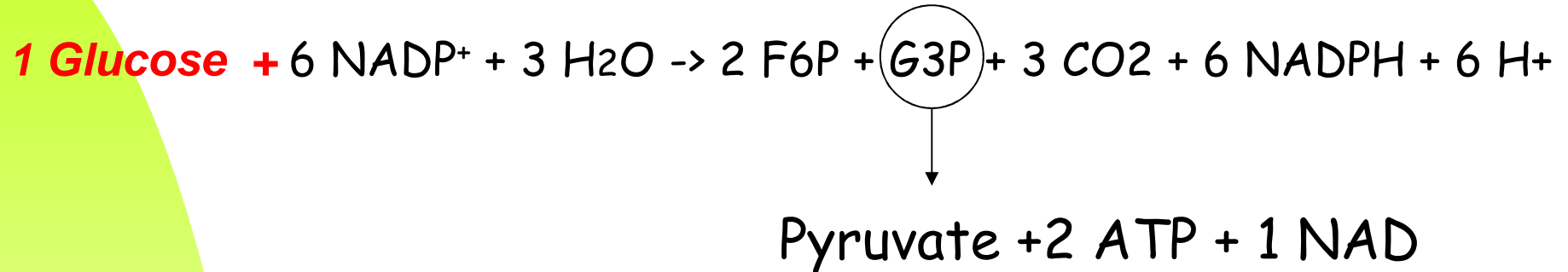
$+ 2ADP + 2NAD^+ \longrightarrow 2$   
 $\text{pyruvates} + 2ATP + 2/NADH, H^+$





# Voie des pentoses phosphates

## Bilan



Rappel :

NADPH : Nicotinamide Adénine Dinucléotide Phosphate

NAD : Nicotinamide Adénine Dinucléotide

# Voie Entner-Doudoroff

1. Phosphorylation du glucose

2. Oxydation du glucose-6-phosphate

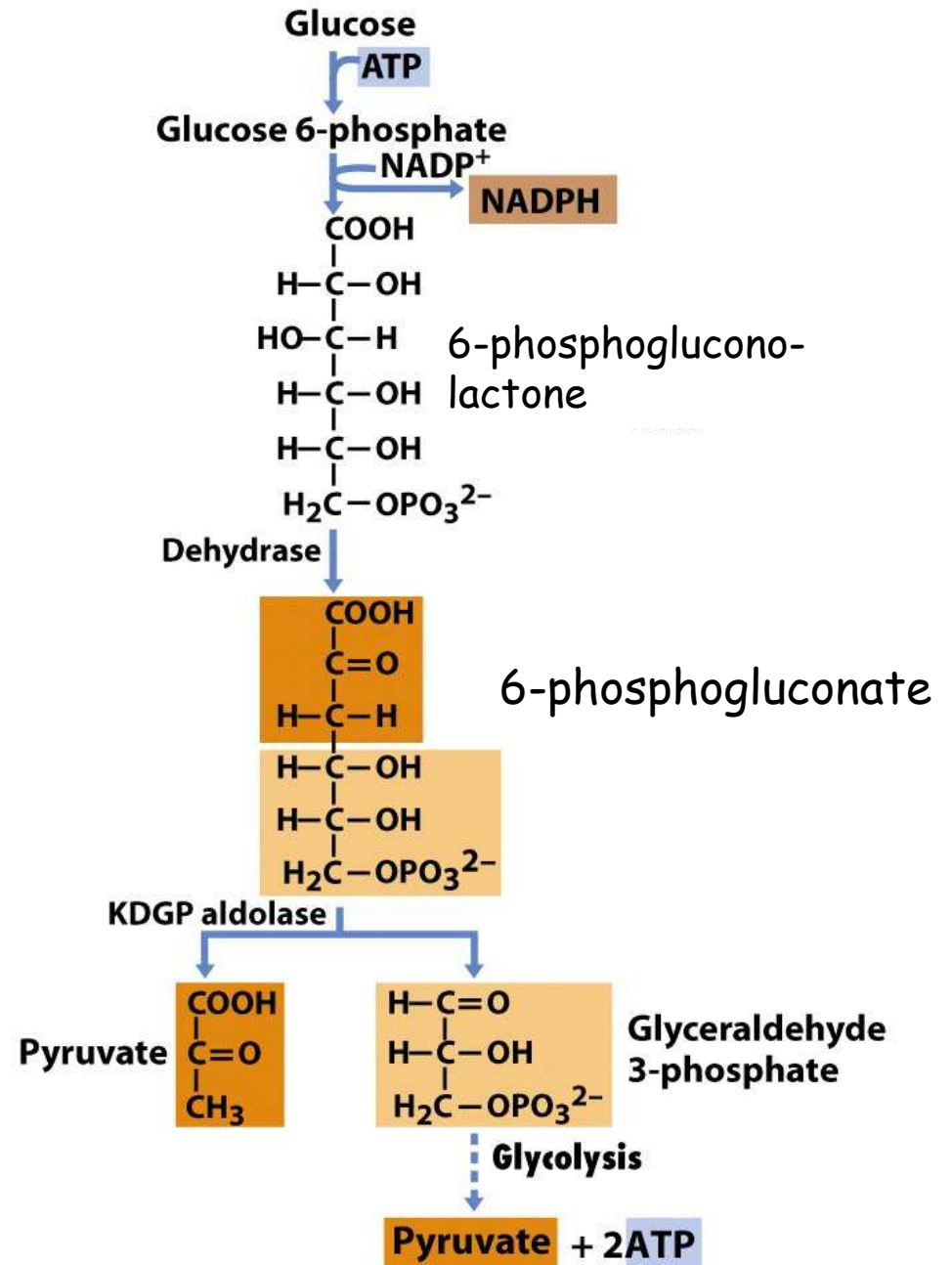
3. Hydratation du 6-phosphogluconolactone

4. Déshydratation du 6-phosphogluconate

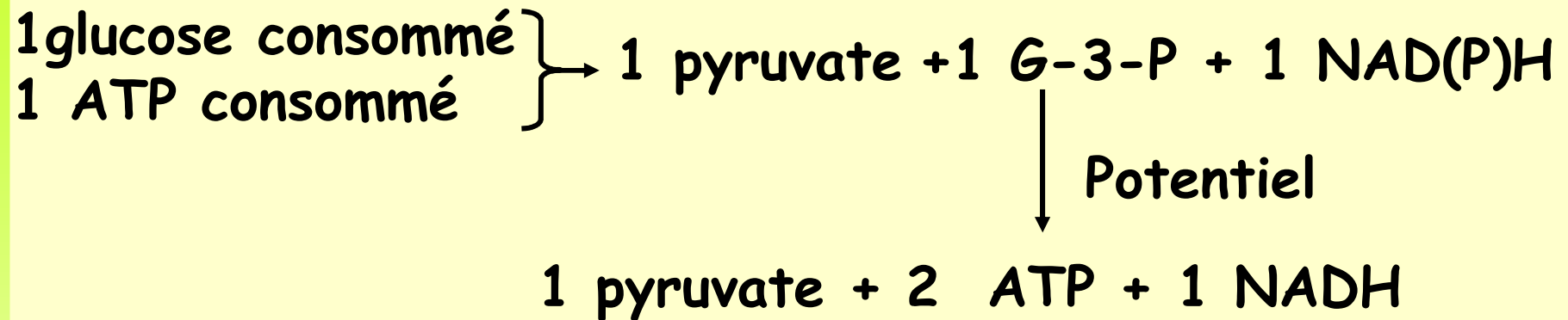
5. Synthèse du premier pyruvate

6. Synthèse du second pyruvate

Cours 4 : Métabolisme



## Bilan : Voie Entner-Doudoroff



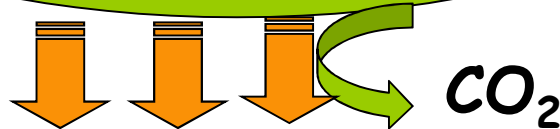
# Métabolisme chez les micro-organismes

Nutriments/Sources d'énergie/O<sub>2</sub>



Métabolismes des Glucides  
Fermentation/Respiration  
Métabolismes des Protéines  
Métabolismes des Lipides

Enzymes



CO<sub>2</sub>

Divers produits

# Métabolisme des glucides

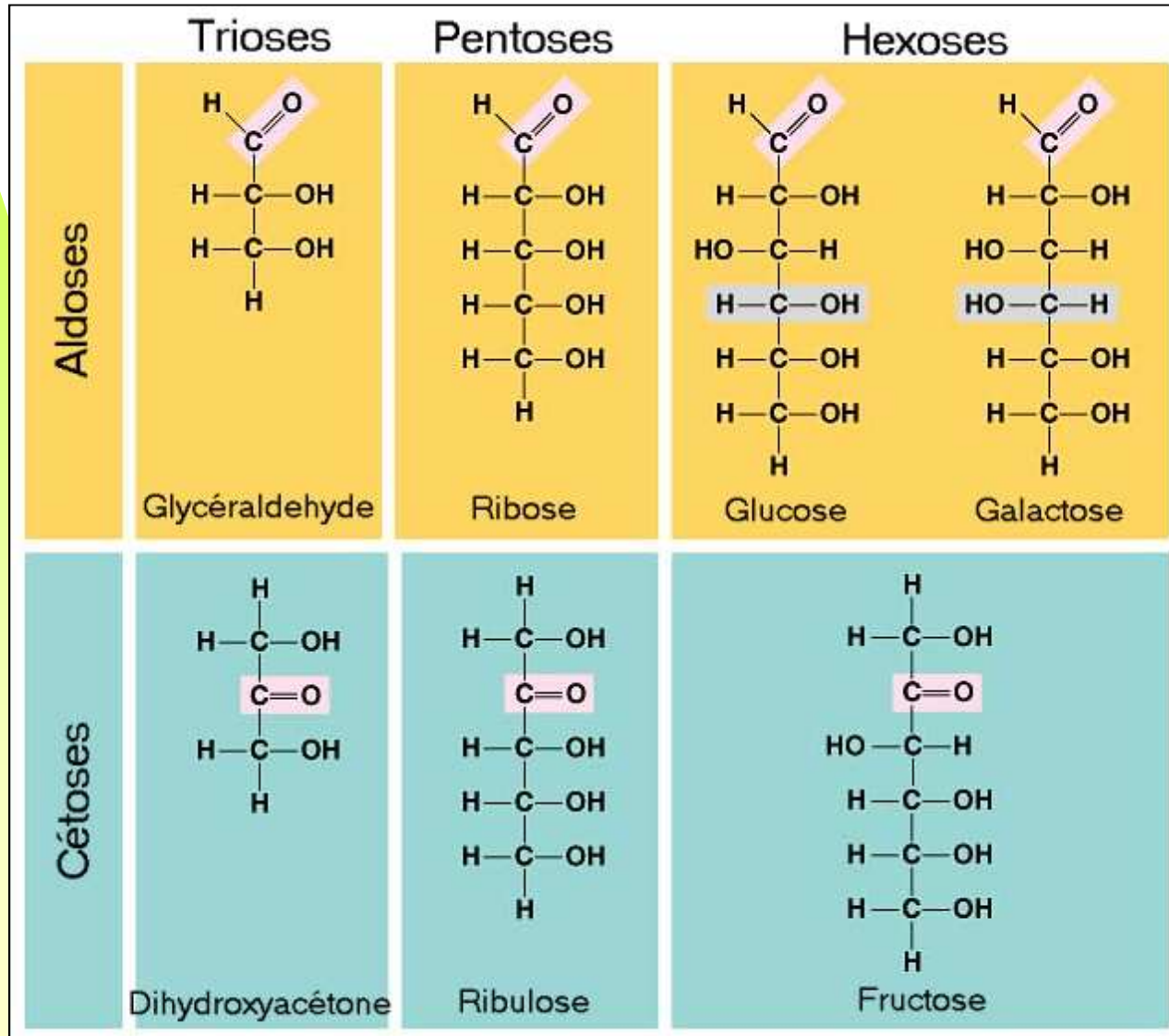
# LES GLUCIDES (POLYSACCHARIDE)

## La classe des glucides comprend:

- Les monosaccharides
- Les disaccharides
- Les polysaccharides (de réserve ou structuraux)

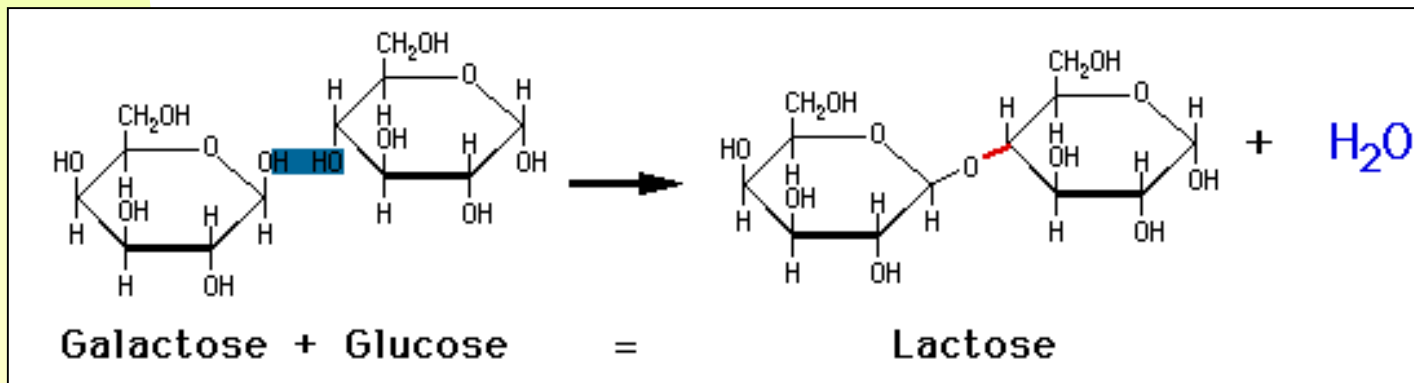
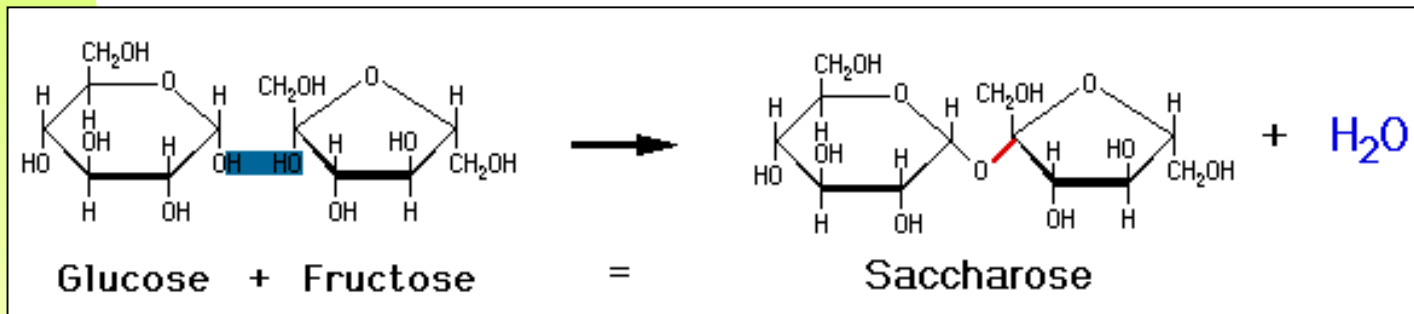
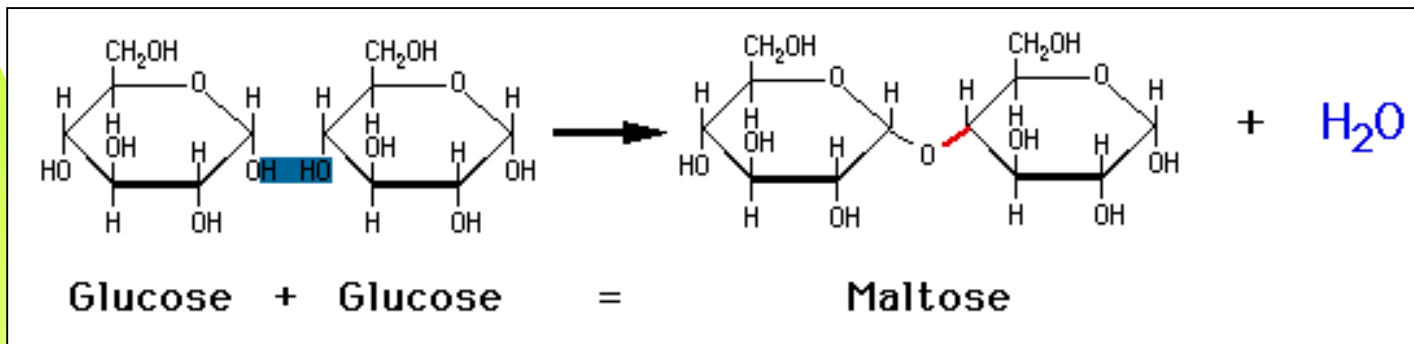
# LES POLYSACCHARIDE (GLUCIDES)

## Monosaccharides



# LES POLYSACCHARIDES (GLUCIDES)

## Disaccharides



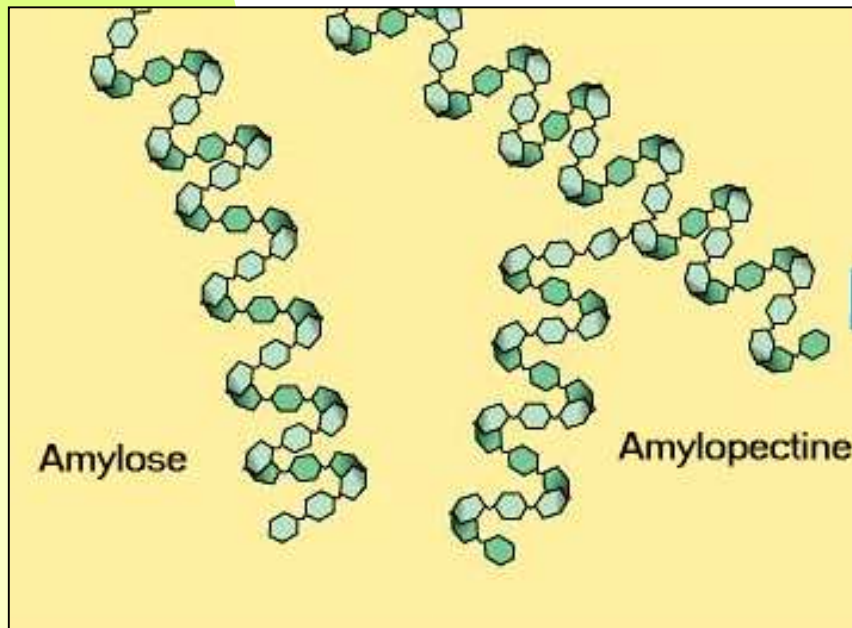


# LES POLYSACCHARIDES (GLUCIDES)

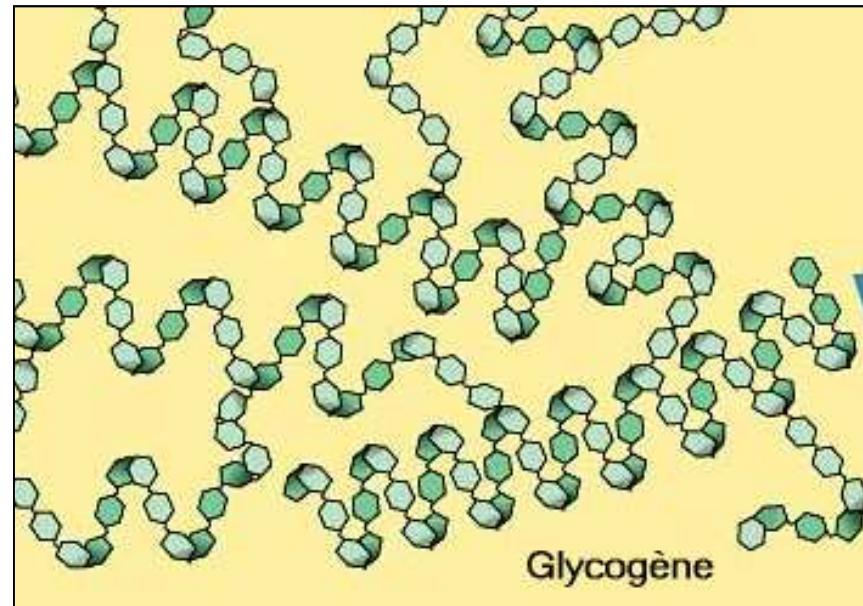
## Polysaccharides de réserve

Ils sont hydrolysés en fonction des besoins de la cellule en monosaccharides.

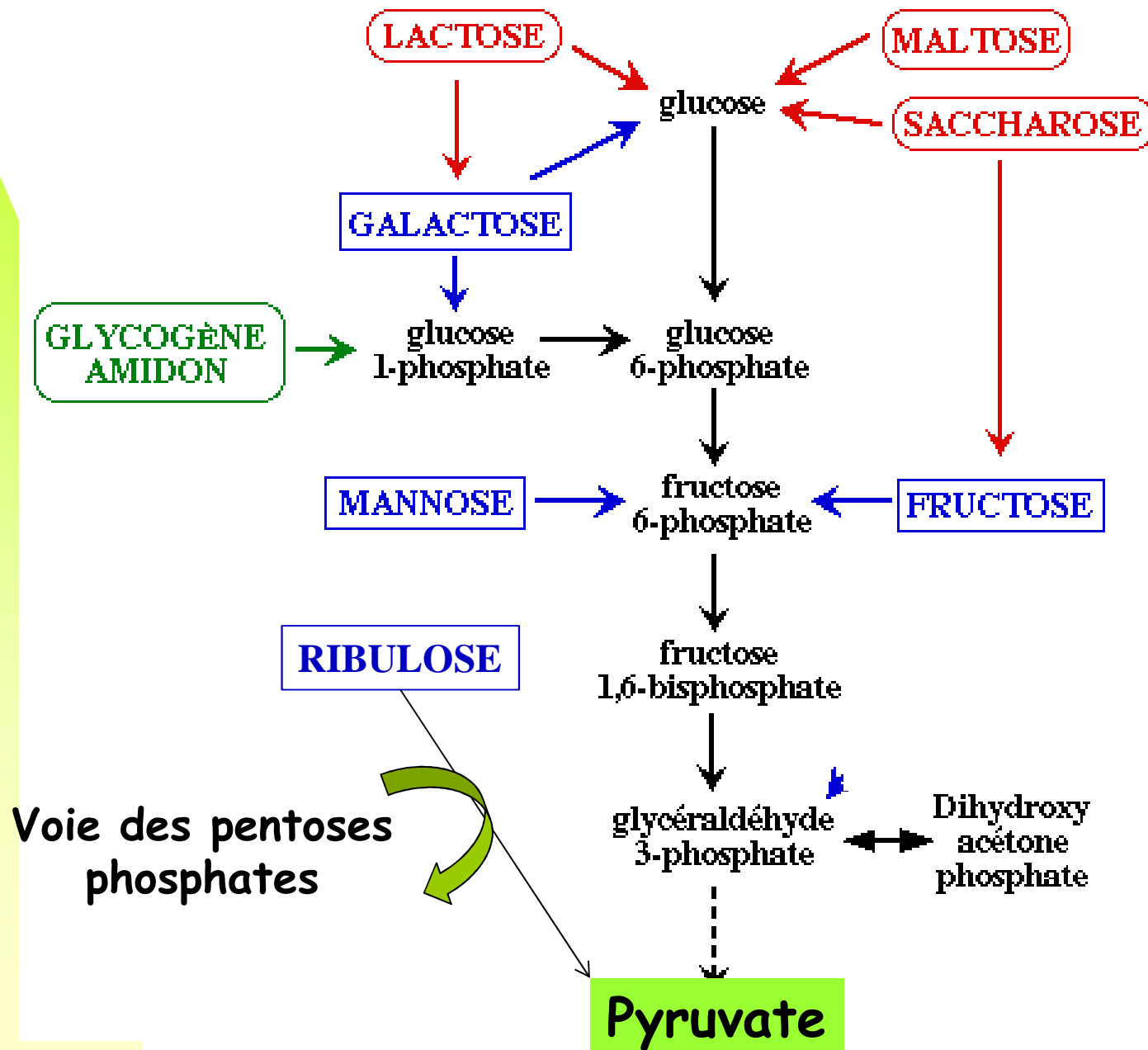
### Amidon



### Glycogène



# Métabolisme de glucides



# Fermentation et Respiration

Substrats : Glucides >>> Glucose

Pyruvate

En absence  
d'O<sub>2</sub>

En Présence  
d'O<sub>2</sub>

1

Fermentation

2

Respiration

3

Anaérobie

Anaérobie

2 x Acétyl CoA

Fermentation  
Alcoolique

Fermentation  
Lactique

Décarboxylation  
Oxydative

2 x éthanol + 2 CO<sub>2</sub>

6CO<sub>2</sub> + 6 H<sub>2</sub>O

Homofermentaire

Hétérofermentaire

Cou Fermentation mixte

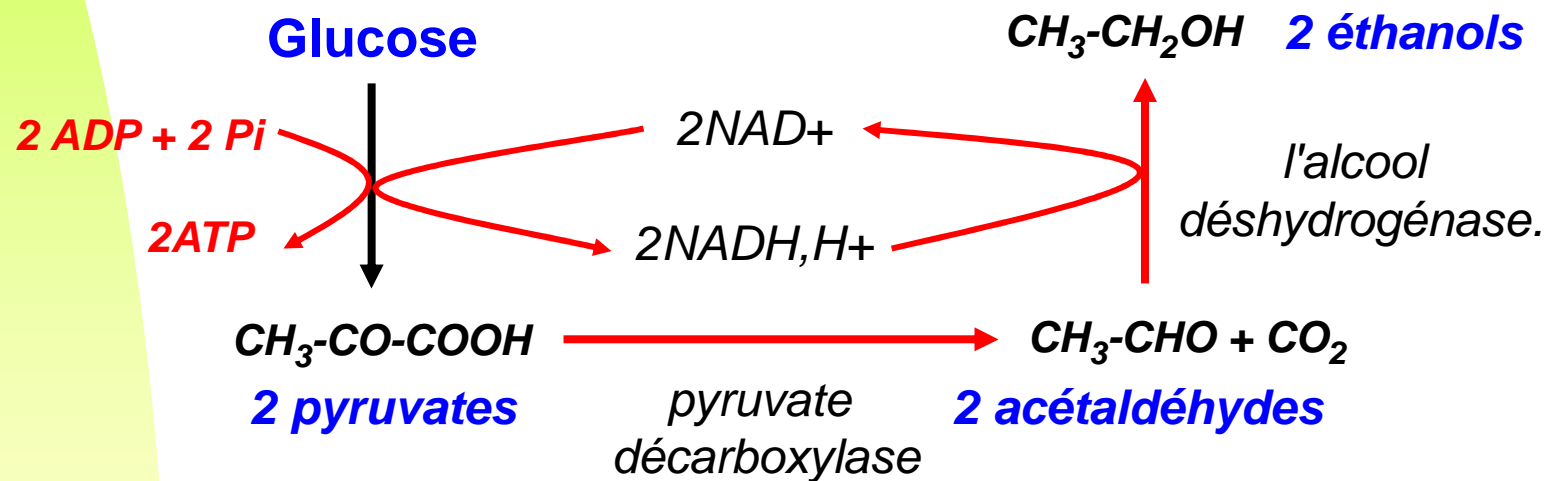
mhchatain@isara.fr

# Fermentation

## 1 Fermentation alcoolique :

En absence d'O<sub>2</sub>

- Conversion l'acide pyruvique en éthanol et CO<sub>2</sub>
- Régénération de 2NAD<sup>+</sup> et production de 2ATP



**Bilan: Glucose + 2ADP + 2Pi > 2 ethanol + 2CO<sub>2</sub> + 2ATP**

## Exemple de Fermentation alcoolique

### Les boissons alcoolisées

principale réaction de fermentation

Exemple : le vin

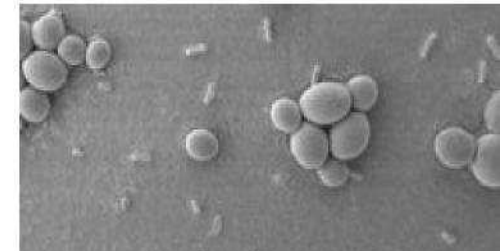
Fermentation alcoolique par Levures *Saccharomyces* :

Fructose et glucose  $\longrightarrow$  2 éthanol + CO<sub>2</sub>

100 à 250 g/L

60 à 170 g/L

(6 à 17%)



# Exemple de Fermentation alcoolique

## Exemple : la bière

### ■ 1 ère étape :

**Amidon**  $\longrightarrow$  **sucres simples**

- hydrolyse enzymatique de l'amidon jus sucré : le brassage
- fermentation alcoolique du jus sucré

*Saccharomyces*

### ■ 2 ère étape : **sucres simples** $\longrightarrow$ **alcool + CO<sub>2</sub>**

**Ajout nécessaire des micro-organismes** après le brassage

*Saccharomyces cerevisiae* : levure de bière

*Saccharomyces carlsbergensis*

Production très importante de CO<sub>2</sub> : mousse abondante



## Exemple : le pain

Levain ajouté à la pâte pendant le pétrissage :

*Lactobacillus*

*Saccharomyces*

Amidon  $\longrightarrow$  sucres simples  $\longrightarrow$  alcool + CO<sub>2</sub>

- Fait lever la pâte grâce au CO<sub>2</sub>
- Modification également du gluten et ainsi de la texture de la pâte

Cuisson : l'alcool s'évapore  
les bulles de CO<sub>2</sub> persistent



# Fermentation

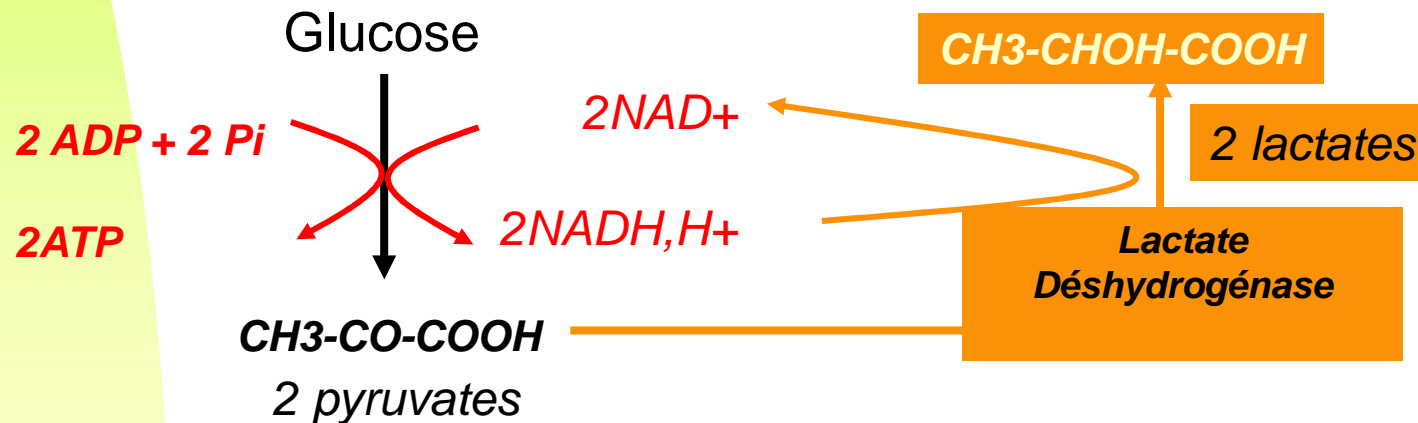
2

## Fermentation lactique :

En absence d'O<sub>2</sub>

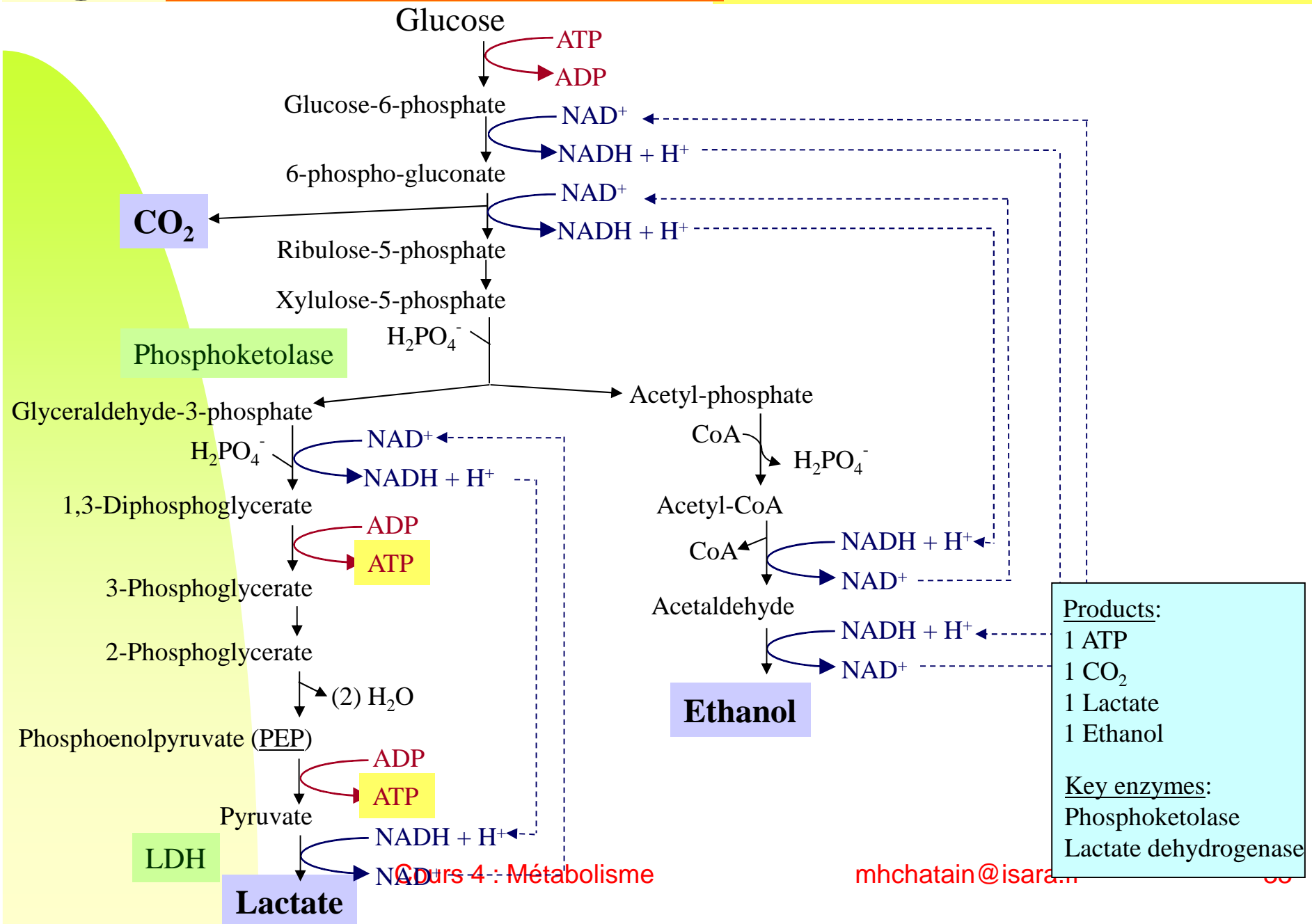
### 2.1. Homofermentaire

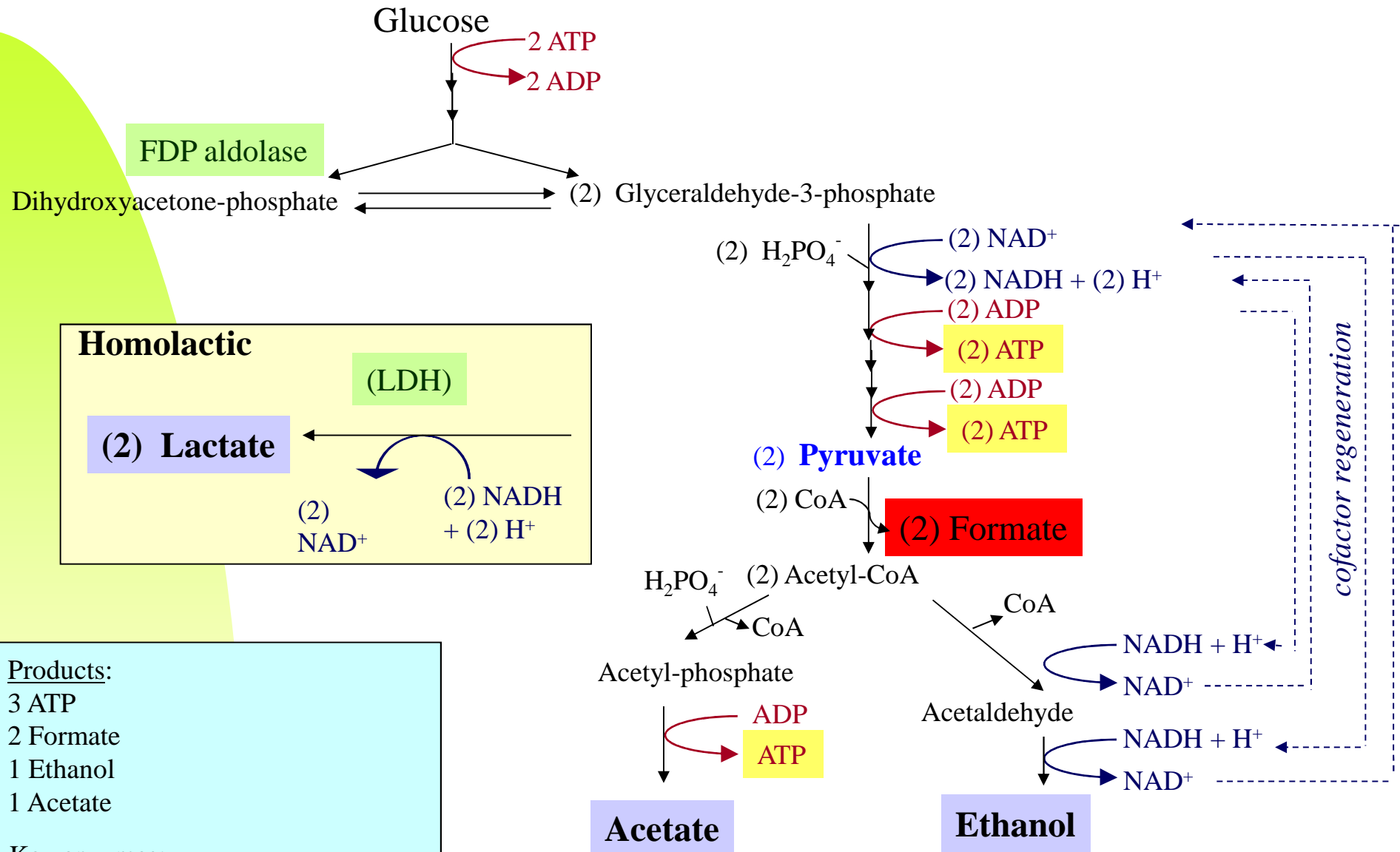
- Conversion de l'acide pyruvique en acide lactique
- Régénération de 2NAD<sup>+</sup> et production de 2ATP



**Bilan: Glucose + 2ADP + 2Pi > 2 Lactates + 2ATP**







# Exemples de Fermentation lactique



# Autres applications de fermentation alcoolique

## L'industrie chimique

### Production des solvants

#### Fermentation acétone-butylique

→ acétone + butanol + éthanol ou isopropanol

**Substrats végétaux : maïs et autres céréales, pommes de terre, mélasse de canne à sucre, cellulose**

**Bactéries : *Clostridium* dont *C. acetobutylicum*  
autres bacilles Gram+ et Gram –**



# L'industrie chimique

## Biocarburants :

**Production d'éthanol par des levures (*Saccharomyces*) et/ou des bactéries**

**« Filière sucre » : substrats végétaux contenant des (poly)saccharides : jus de betterave, mélasse de canne à sucre , amidons de blé, maïs ..., paille, bois**

## Biogaz

**Fermentation méthanique → production de méthane (65%) + CO<sub>2</sub> (34%)**

**Fermentation industrielle en « digesteur » par addition de bactéries**

**Substrats végétaux et animaux riches en glucides (amidon, cellulose) : fumiers, lisiers, boues d'épuration, déchets agricoles, ordures ménagères**

# Respiration

Glucose

2 x pyruvate

En absence  
d'O<sub>2</sub>

En Présence  
d'O<sub>2</sub>

1

Anaérobie

Fermentation  
Alcoolique

2 x éthanol + 2 CO<sub>2</sub>

2

Anaérobie

Fermentation  
Lactique

homofermentaire

hétérofermentaire

Fermentation mixte

Respiration

3

2 x Acétyl CoA

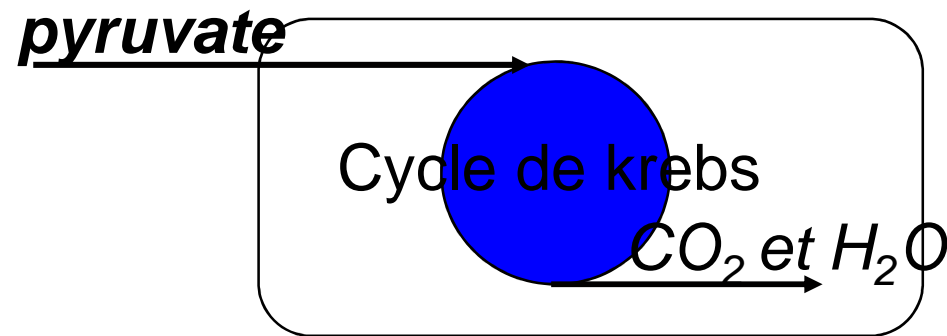
Décarboxylation  
Oxydative

6CO<sub>2</sub> + 6 H<sub>2</sub>O

# Respiration

3

- Cycle de l'acide citrique (Krebs) l'acétyl CoA sous forme de  $CO_2$

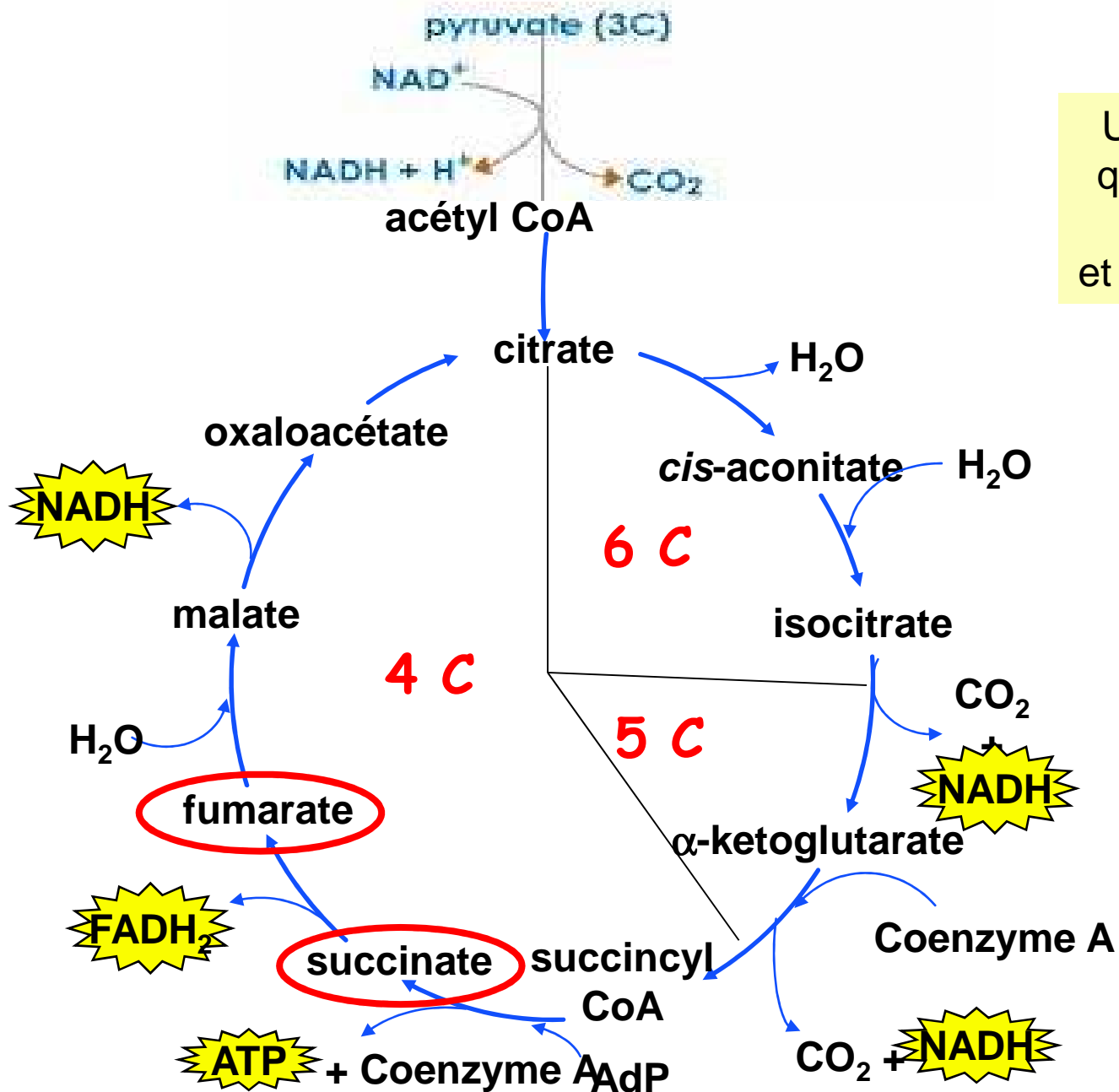


- Chaîne respiratoire : chez eucaryotes - max ATP
  - Respiratoire aérobie
  - Respiratoire anaérobie
- } Chez bactéries

# Cycle de Krebs

3

Un cycle en 9 étapes qui utilise l'acetate de acetyl-CoA et le transforme en  $\text{CO}_2$





# Bilan ATP complet du catabolisme d'un glucose

1 glucose > 2 pyruvates

Consommation

- 2 ATP

Production

+ 4 ATP

2 NADH,H<sup>+</sup>

+ 6 ATP

+ 8 ATP

2 pyruvates > 2 acétylCoA

Production

2 x NADH,H<sup>+</sup>

+ 6 ATP

+ 6 ATP

2 acétylCoA > 2 Oxaloacétates

Production

2 x GTP

+ 2 ATP

2 x 3NADH,H<sup>+</sup>

+ 18 ATP

2 x FADH<sub>2</sub>

+ 4 ATP

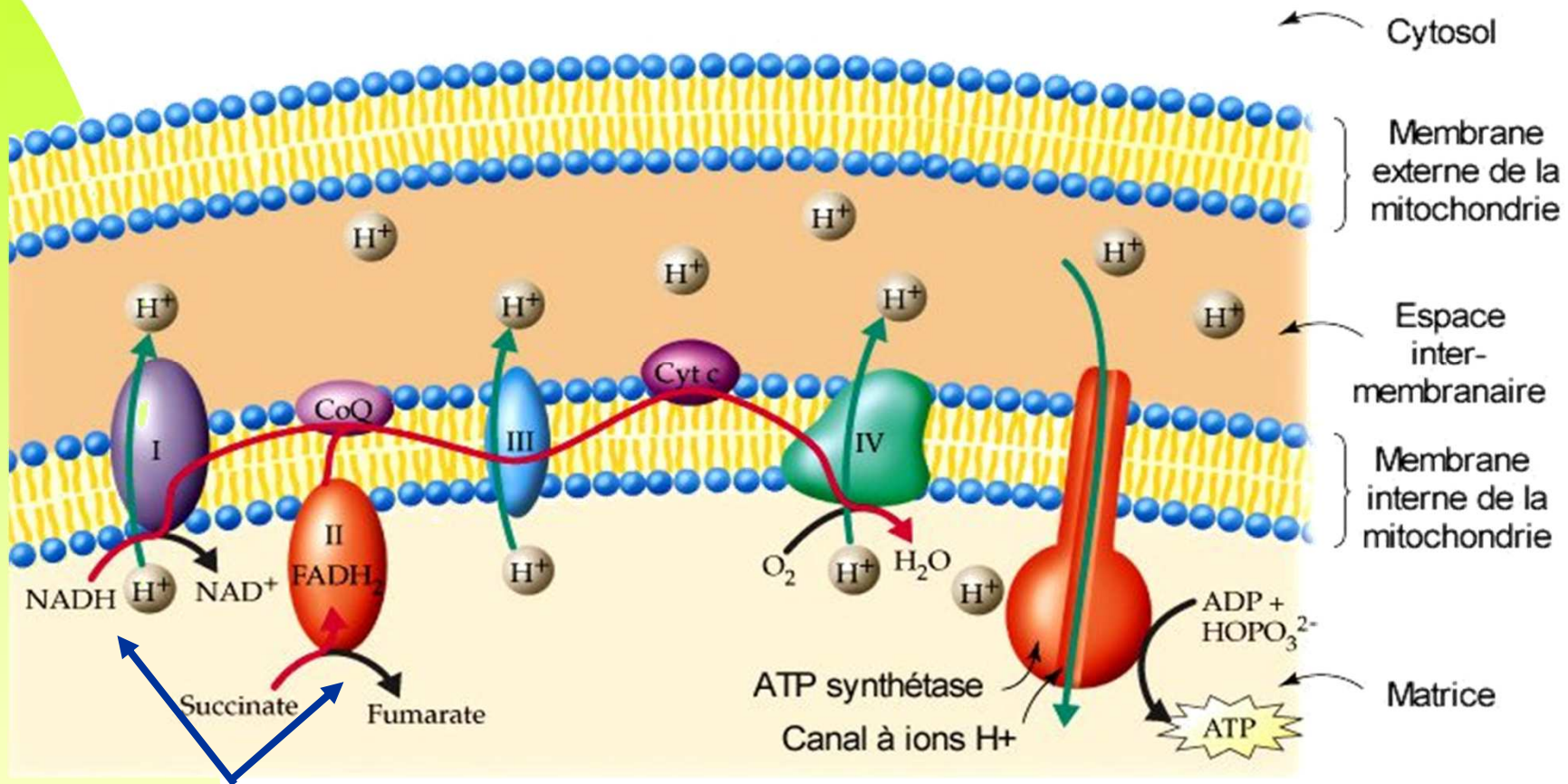
+ 22 ATP

Bilan global

---

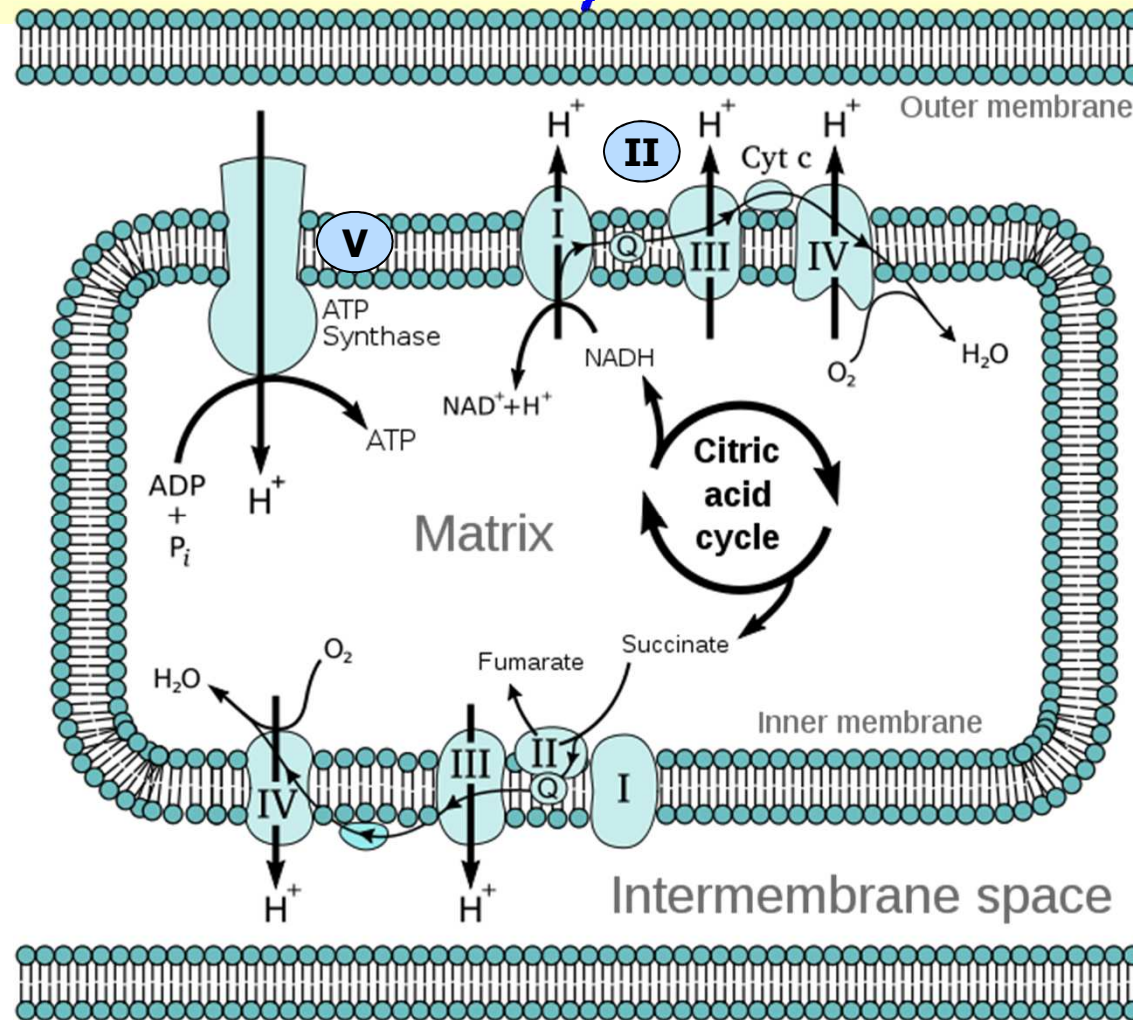
**+ 38 ATP**

# Chaîne respiratoire (transport d'électrons) chez eucaryotes



**Complexe I :** NADH-ubiquinone réductase ;  
**Complexe II :** Succinate-ubiquinone réductase ;  
**Complexe III :** Ubiquinone-cytochrome C réductase ;  
**Complexe IV :** Cytochrome oxydase ;  
**Complexe V :** ATP synthase.

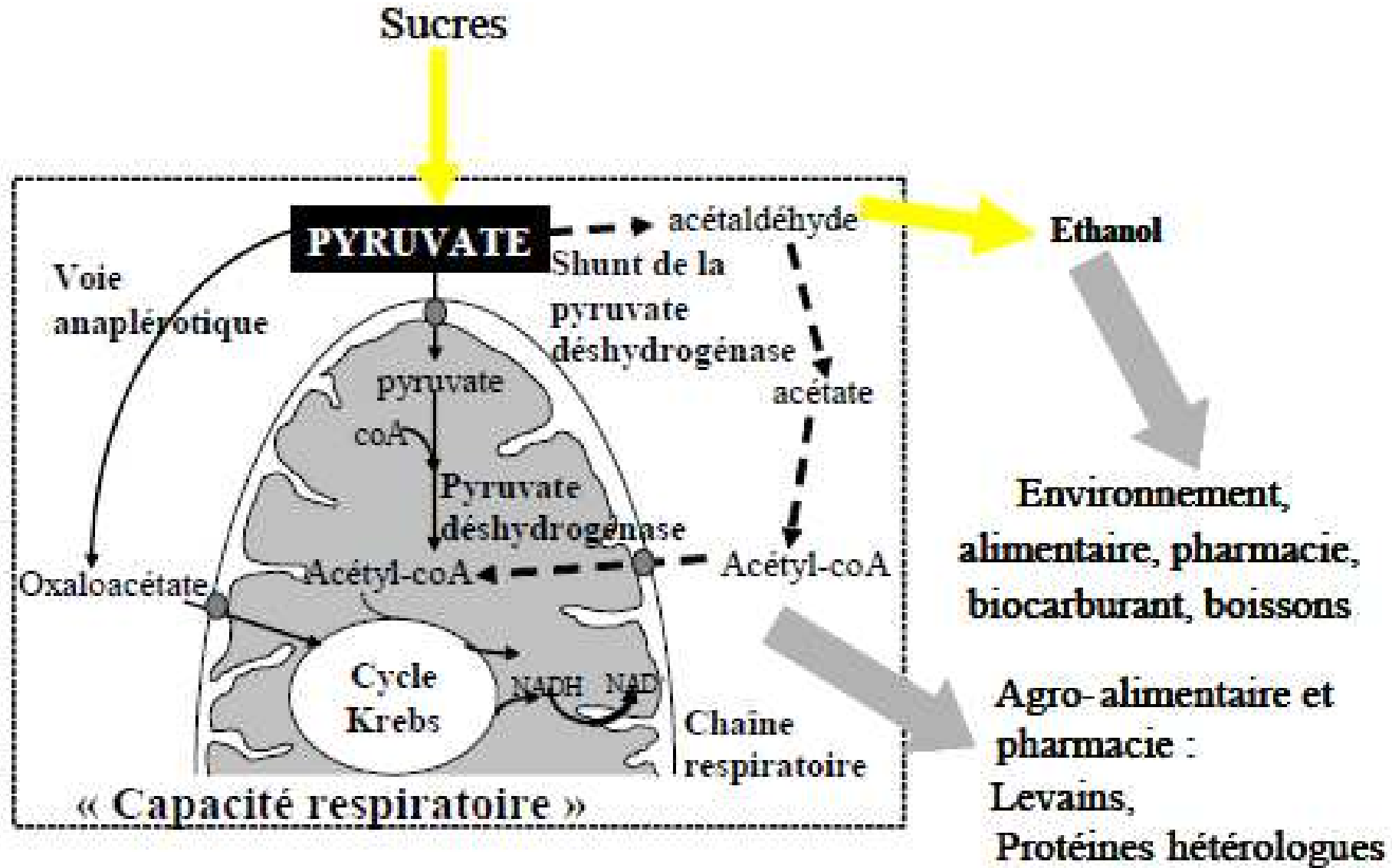
# Chaîne respiratoire (transport d'électrons) chez eucaryotes



Animation :

<http://highered.mcgraw-hill.com/olcweb/cgi/pluginpop.cgi?it=swf::535::535::/sites/dl/free/0072437316/120071/bio11.swf:Electron%20Transport%20System%20and%20ATP%20Synthesis>

## Exemple de *Saccharomyces cerevisiae*



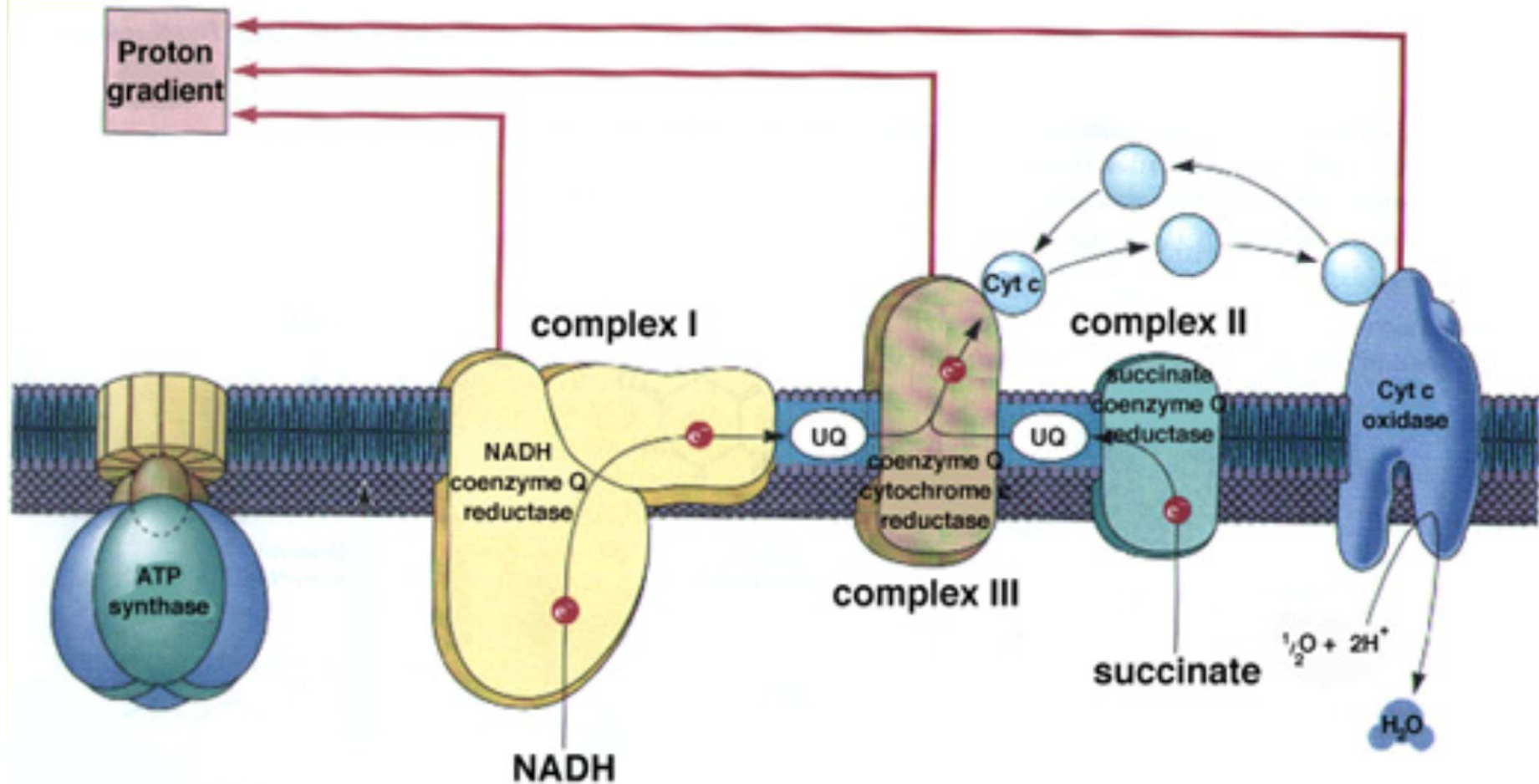
# Respiration chez Procaryotes (bactéries)

## Chaînes respiratoires : séquences d'enzymes

- Localisation chez les bactéries : enzymes pour la plupart fixées sur la membrane cytoplasmique
- Composition différente selon :
  - ◆ le nombre et la nature des enzymes et coenzymes
  - ◆ l'accepteur final d'électrons : oxygène ou autre oxydant
- 4 chaînes principales chez les bactéries
  - ◆ 1 chaîne aérobie avec cyt. O
  - ◆ 1 chaîne aérobie avec cyt c + cyt aa<sub>3</sub>
  - ◆ 1 chaîne anaérobie avec nitrate réductase A
  - ◆ 1 chaîne anaérobie avec sulfate réductase

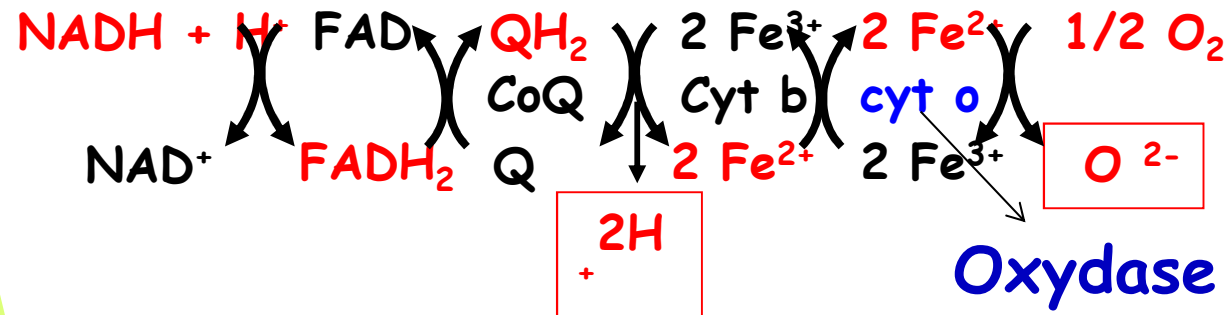


# Enzymes Respiratoires

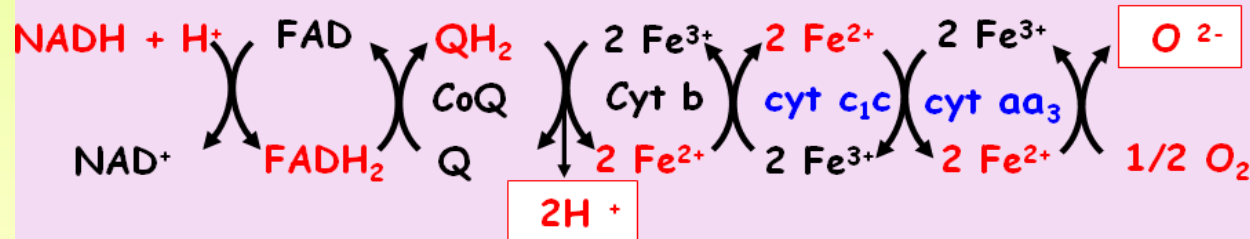


# Respiration en aérobie chez bactéries

## 1<sup>er</sup> cas: Coenzymes : FAD/CoQ/cyt b/cyt o



## 2<sup>ème</sup> cas: Coenzymes FAD/CoQ/cyt b/ cyt c / cyt aa<sub>3</sub>



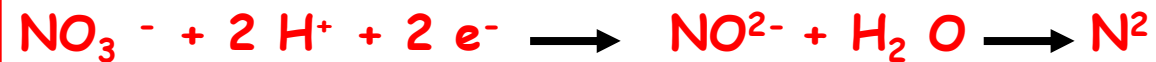
$\text{O}_2$  accepteur final d'électrons



# Respiration en anaérobie chez bactéries

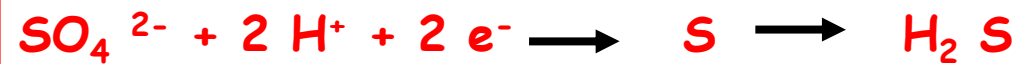
## ■ Respiration nitrate :

Coenzymes : FAD/CoQ/cyt b/Nitrate réductase



## ■ Respiration sulfate :

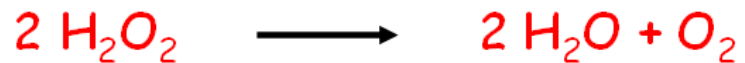
Coenzymes : FAD/CoQ/cyt b/Sulfate réductase





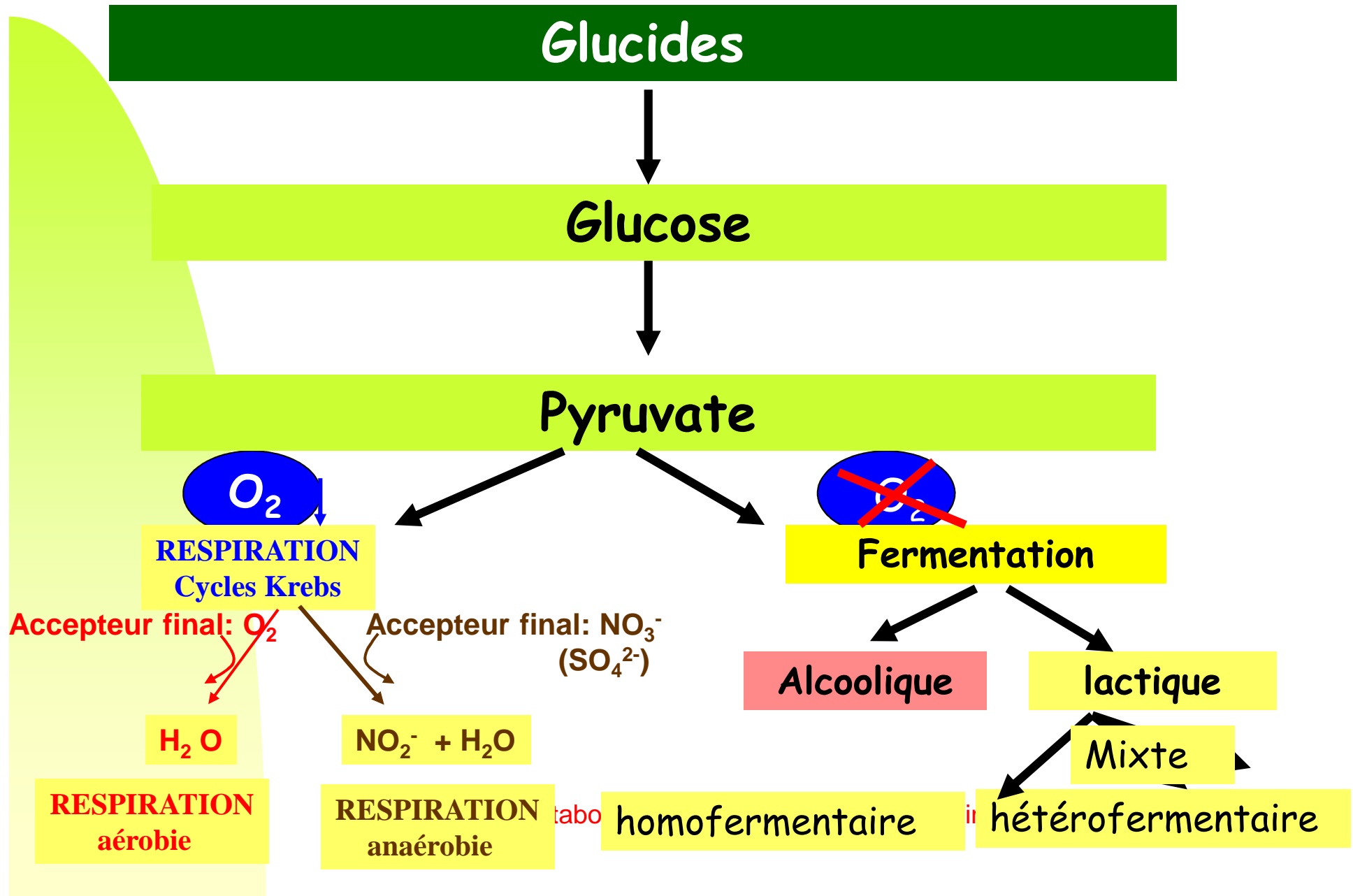
# MISE EN EVIDENCE DU METABOLISME ENERGETIQUE

- Oxydase
- Nitrate réductase
- Catalase



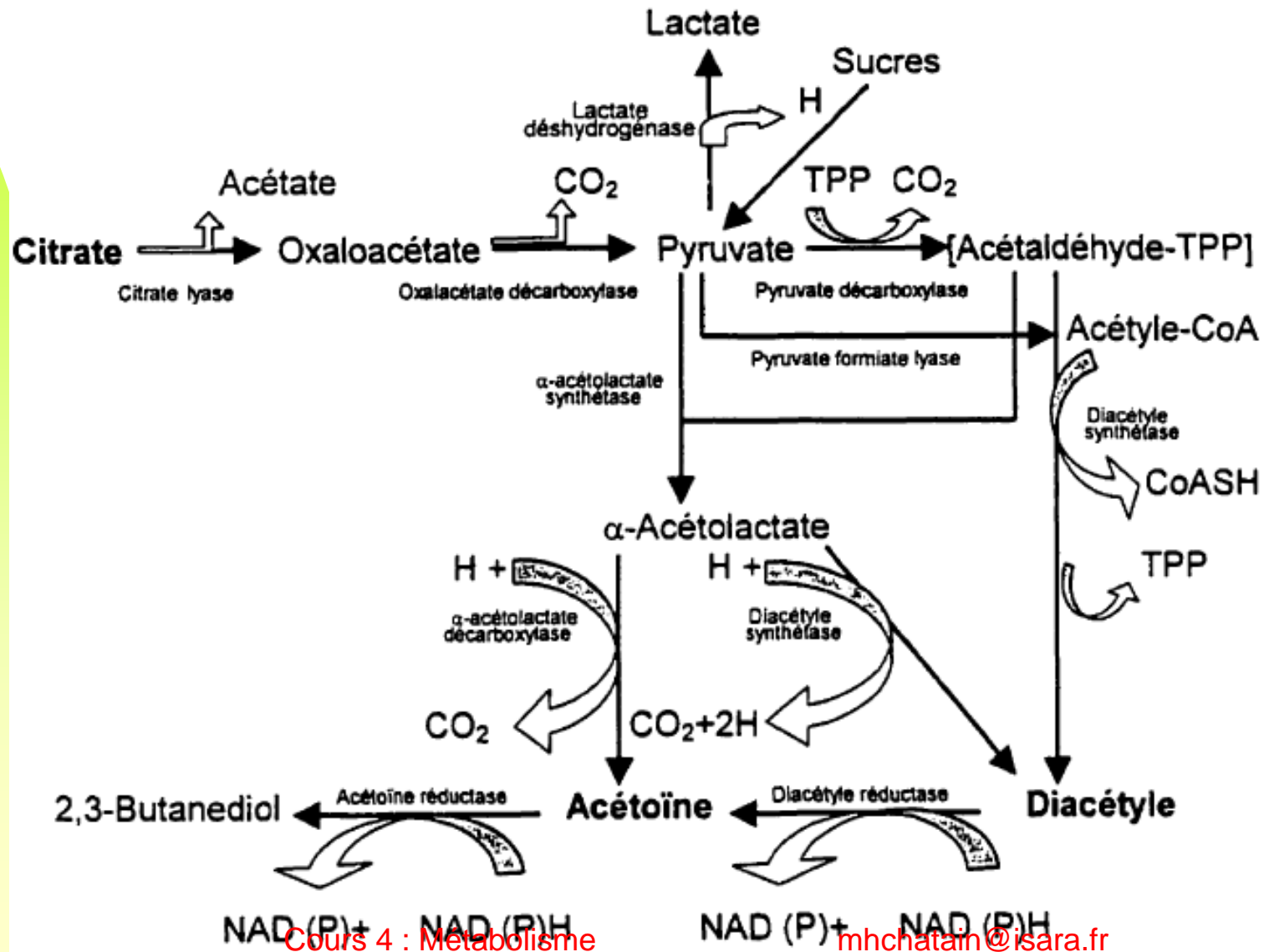
Catalase (décomposition rapide)

# Résumé de Métabolisme des Glucides



# Autre source de carbone

## Métabolisme de Citrate



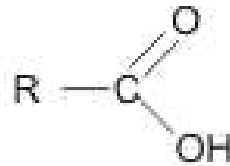
# Catabolisme des lipides

# Catabolisme des lipides

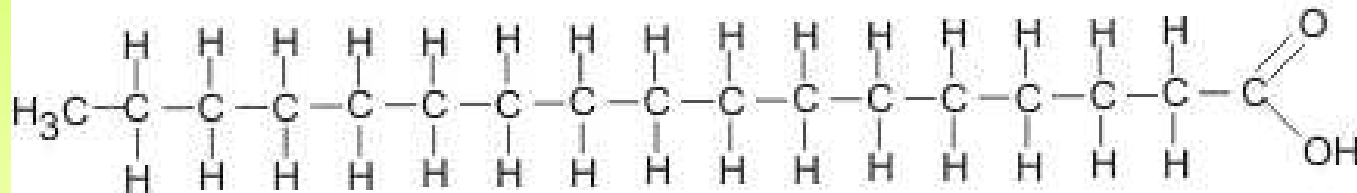
- **Source courante de lipides**
  - ◆ Acides gras
  - ◆ Triglycérides (Triacyglycérole)
  - ◆ Esters

# Catabolisme des lipides

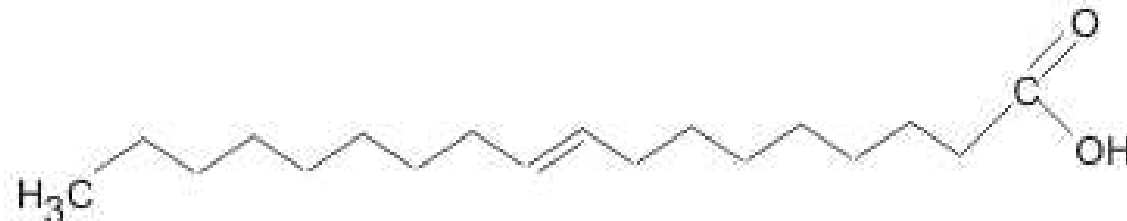
- Source courante de lipides
  - ◆ Acides gras



### Formule générale des acides carboxyliques



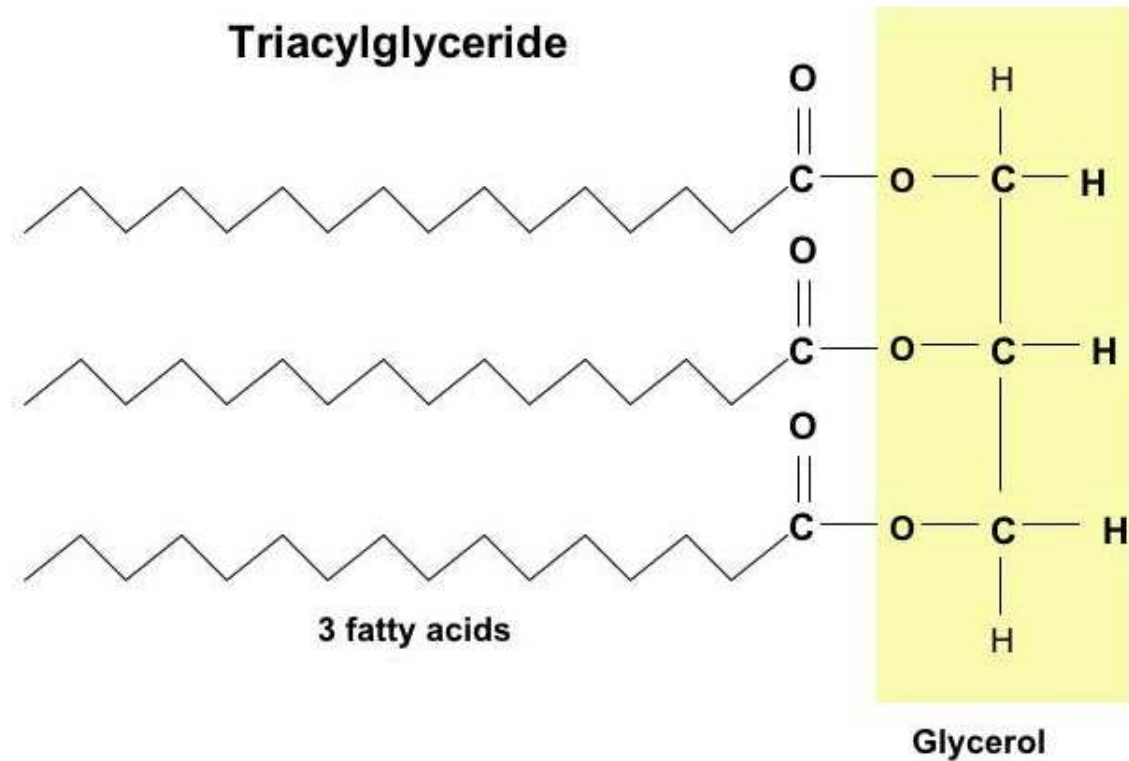
Formule développée d'un acide gras saturé (acide palmitique)



Formule topologique d'un acide gras insaturé (acide oléique)

# Catabolisme des lipides

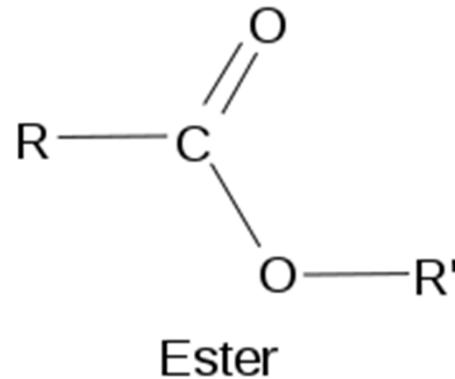
- Source courante de lipides
  - ◆ Triglycérides (Triacyglycérole)



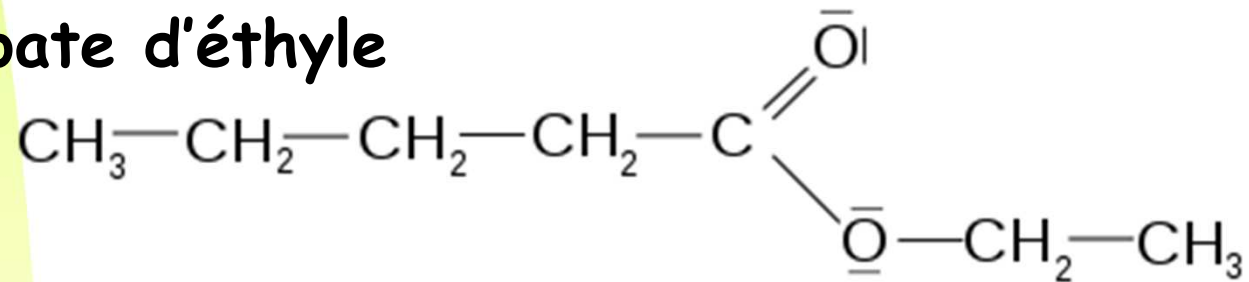
# Catabolisme des lipides

- Source courante de lipides

- ◆ Esters



pentanoate d'éthyle





# Catabolisme des lipides

## Source courante de lipides

- Acides gras

- Triglycérides  $\xrightarrow{\text{lipase hydrolyse}}$  Acides gras + Glycérol

- Esters  $\xrightarrow{\text{estérase hydrolyse}}$  Acides gras

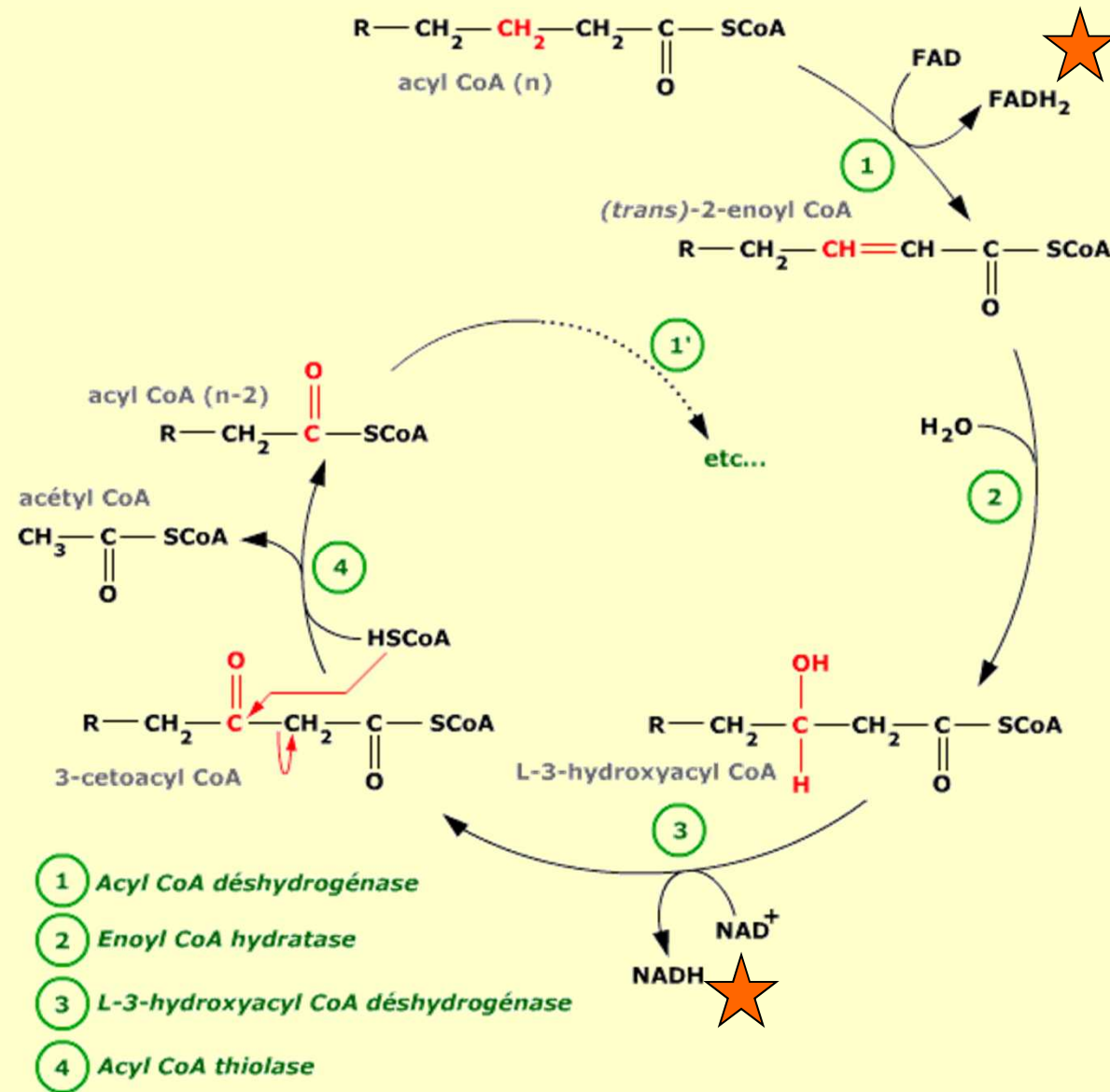
Dihydroxyacétones  
phosphate

Voie  $\beta$ -oxydation

Voie glycolyse

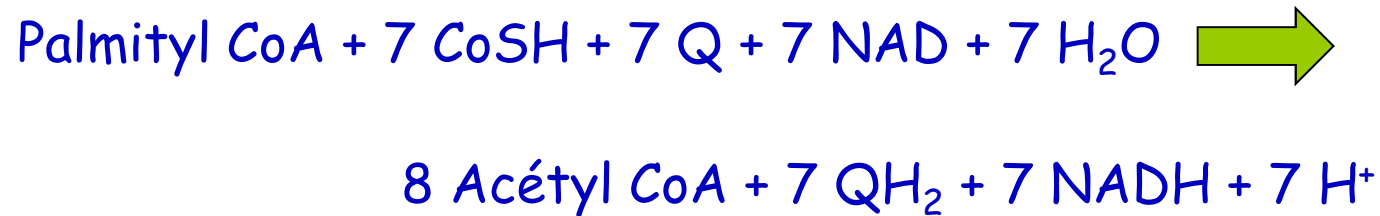
# Catabolisme des lipides

## La $\beta$ -oxydation des acides gras



# Catabolisme des lipides

## Résultat en ATP

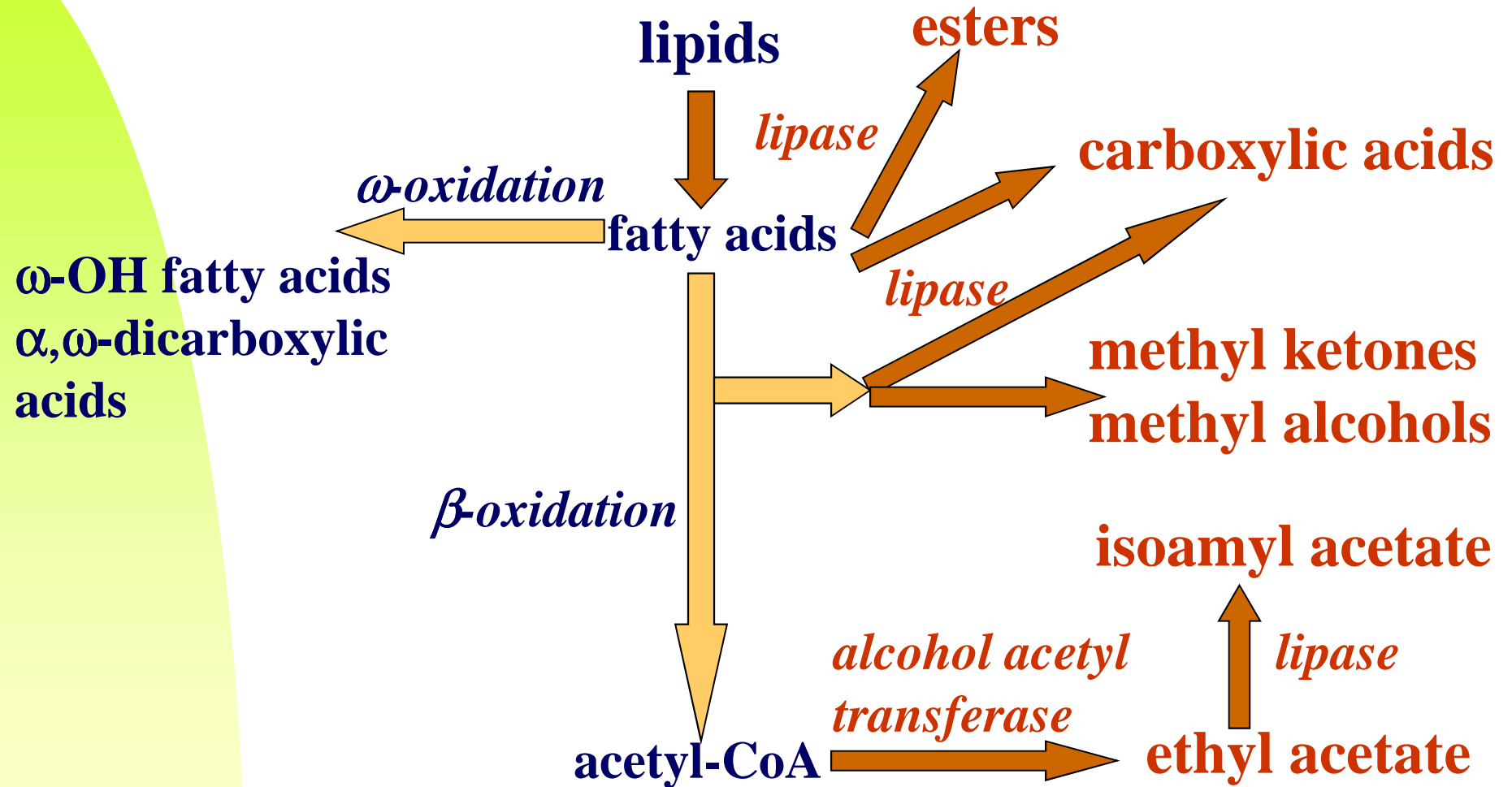


8 acétylCoA	96 ATP
7 QH <sub>2</sub>	14 ATP
7 NADH	<u>21 ATP</u>
	131 ATP
Activation d'un palmitate	<u>- 2 ATP</u>
Total	129 ATP

# exemples

- Production d'arômes
- Dégradation des déchets
- Nettoyage

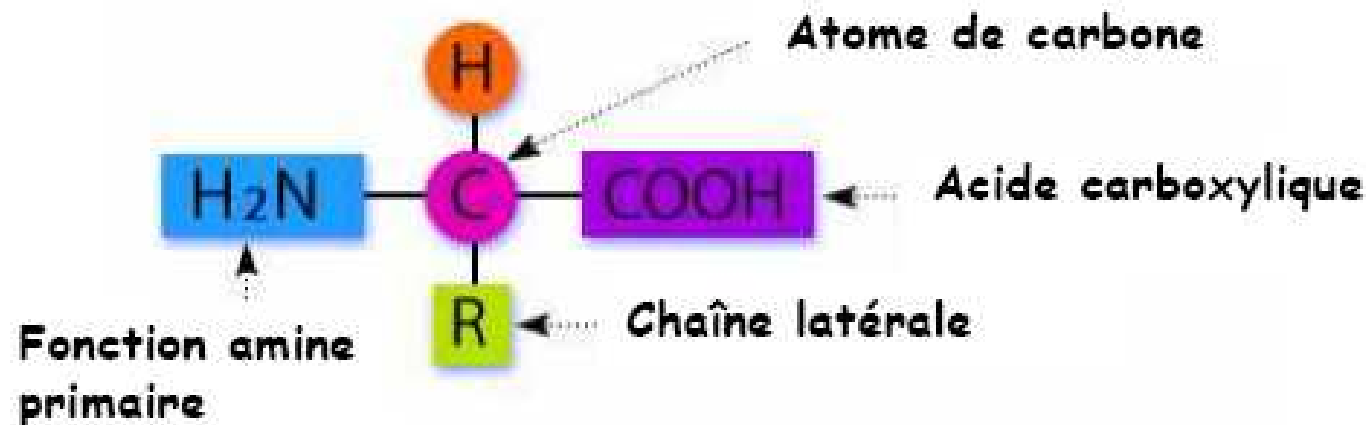
# Exemple de production d'arômes



# Catabolisme des protéines et des acides aminés

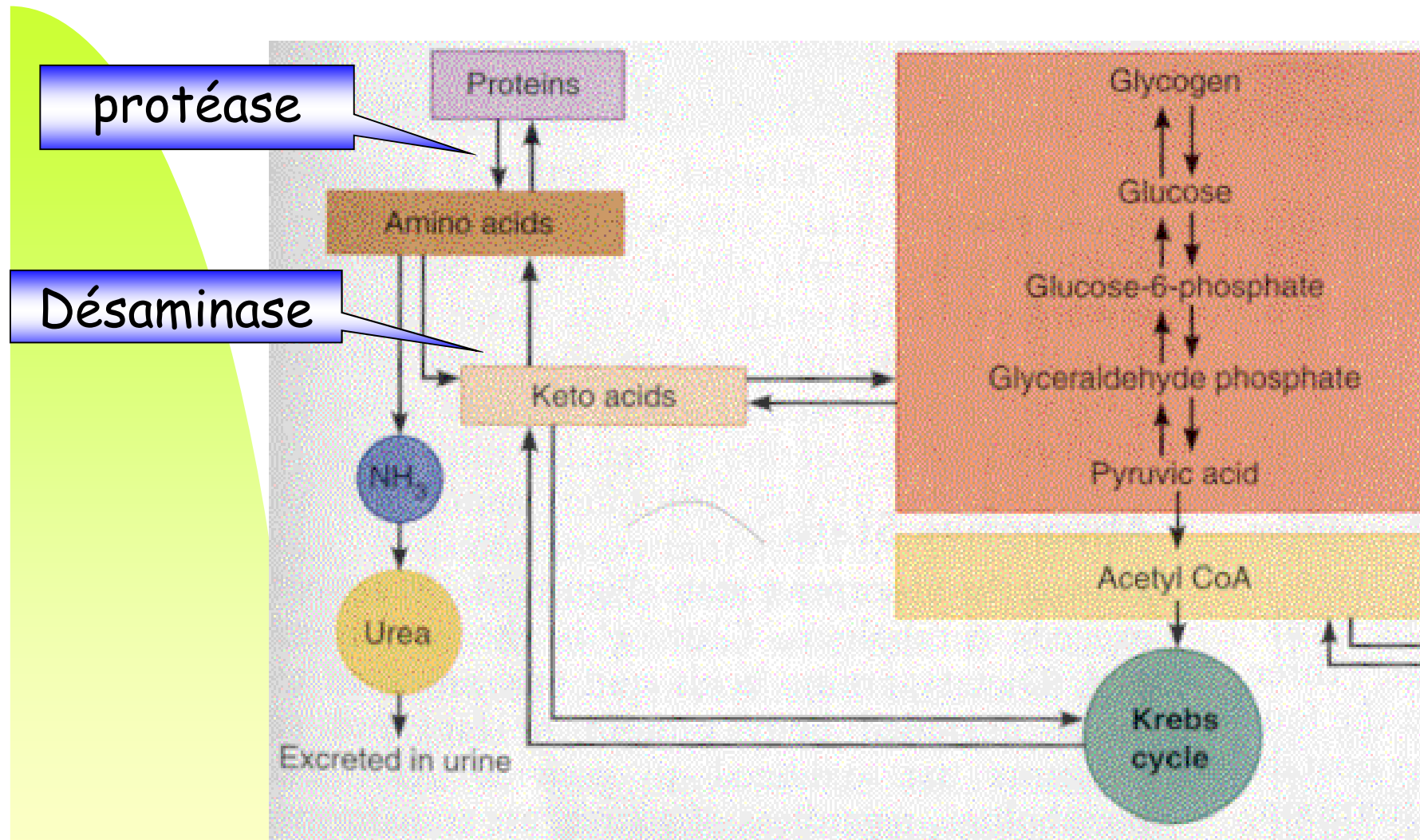
# Catabolisme des protéines et des acides aminés

## acides aminés



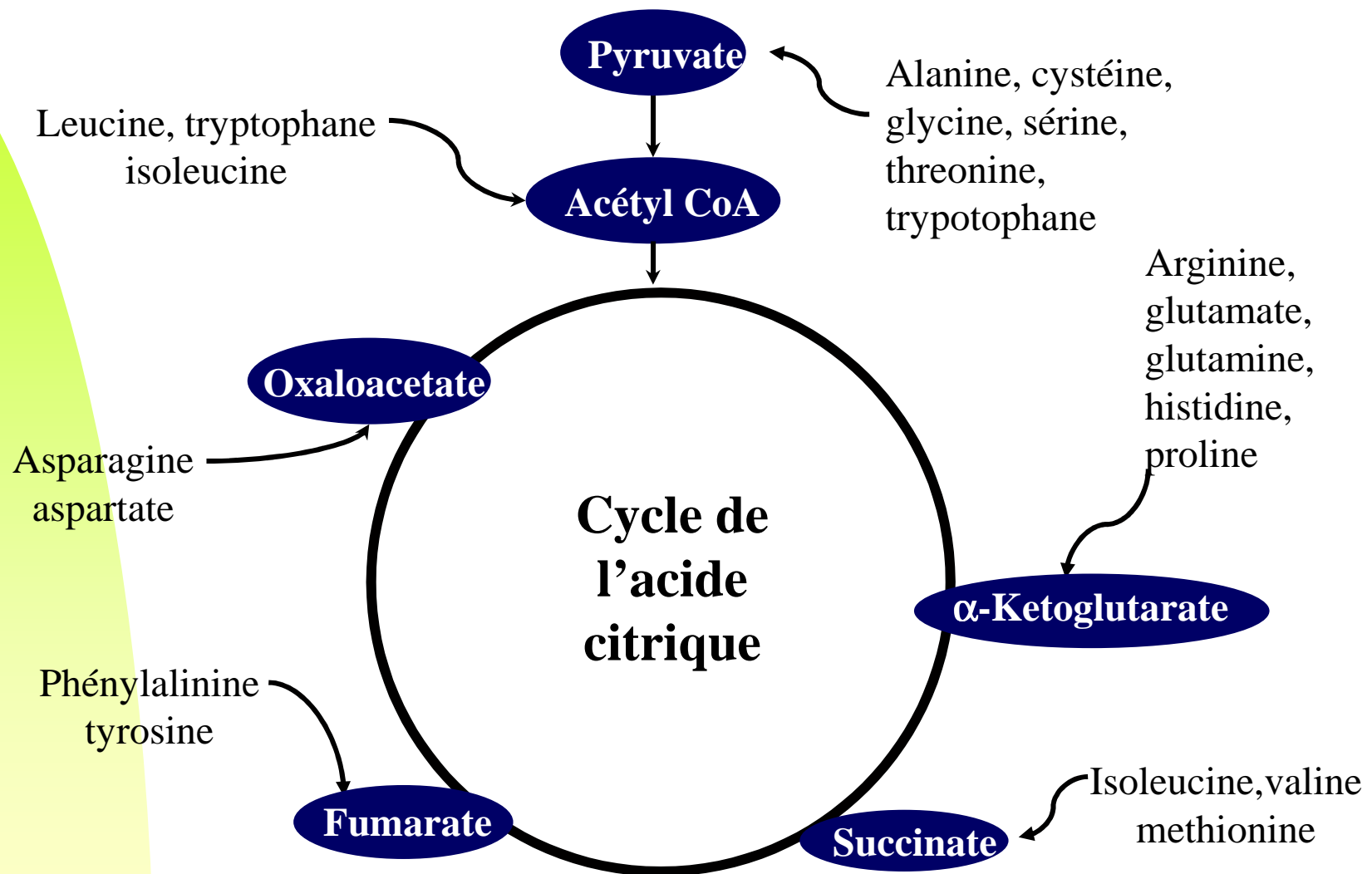
Une protéine est une macromolécule biologique composée par une ou plusieurs chaîne(s) d'acides aminés liés entre eux par des liaisons peptidiques

# Catabolisme des protéines et des acides aminés





# Métabolisme des acides aminés



# exemples

- Fermentation
- Production des antimicrobiens
- Nettoyage

# III - BIOTECHNOLOGIES

- Antibiotiques
- Vaccins
- Vitamines

# Résumé :

- Métabolisme de glucides
  - Devenir du pyruvate
    - ☞ Fermentation : bilan
      - alcoolique
      - lactiques
        - Homofermentaire
        - Hétéfermentaire
    - ☞ Respiration
      - en aérobie
      - en anaérobie
- Métabolisme de lipides
- Métabolisme de protéines