

Plan de cours Micro-organismes S3

Cours 1. Microbiologie générale

Cours 2. Nutrition bactéries

Cours 3. Croissance bactérienne

Cours 4. Métabolismes

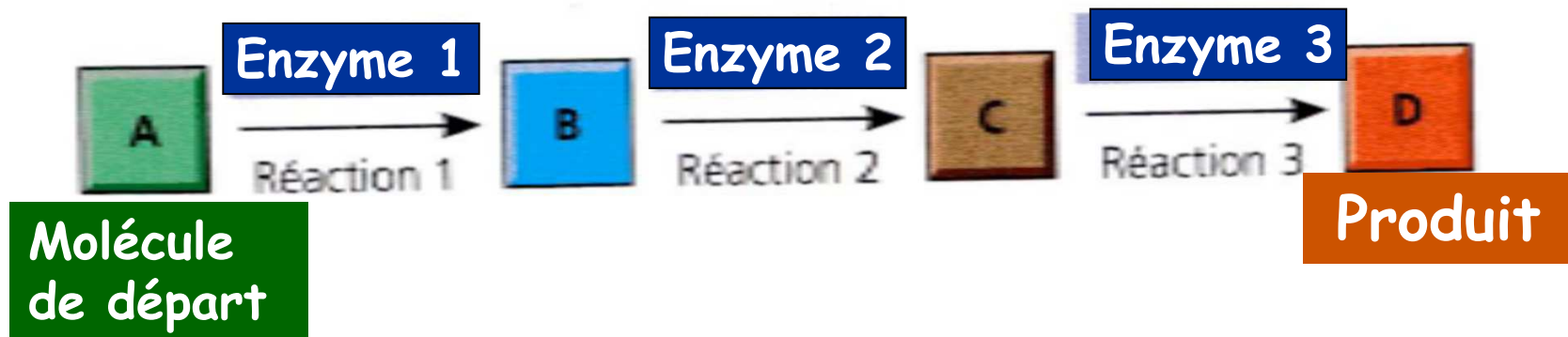
Cours 5. Taxonomie

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 \neq Anabolisme

Thermodynamique

$$H = G + TS$$

H : énergie totale (enthalpie)

G : énergie libre ou utilisable

S : énergie non utilisable (entropie)

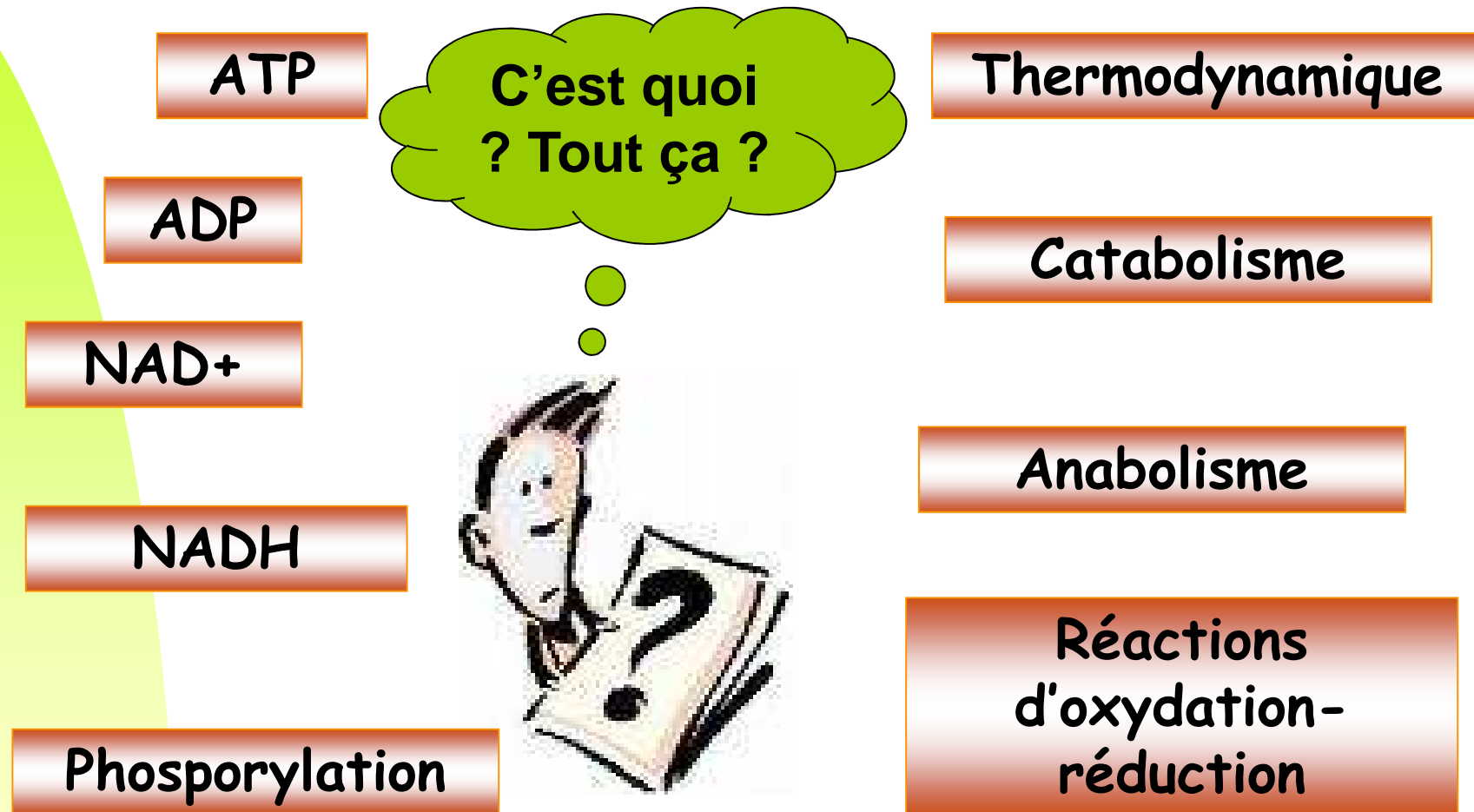
T : température absolue (Kelvin : $K = ^\circ C + 273$)

Dans une réaction chimique :
 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$

Introduction au métabolisme

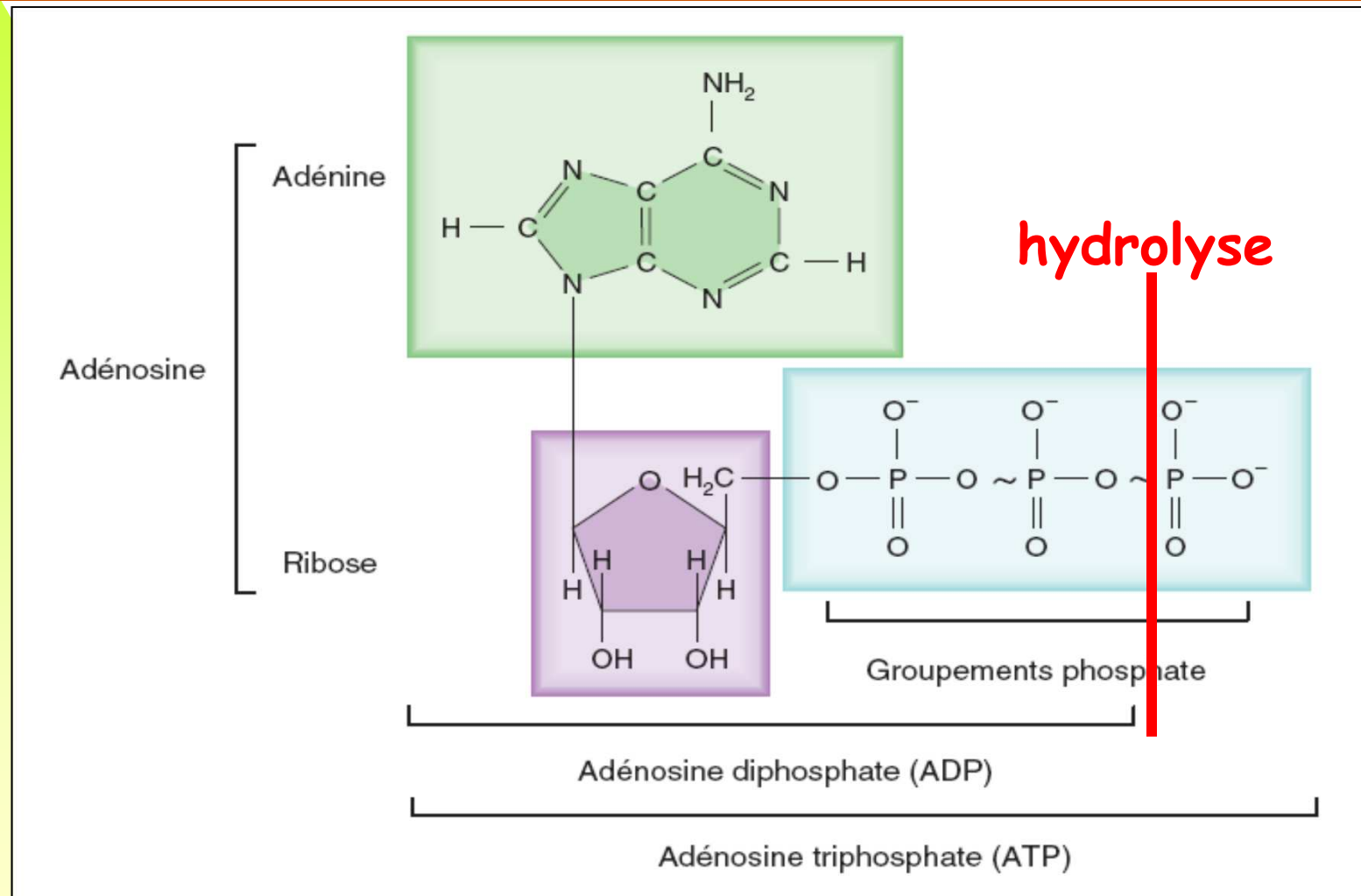
- $\Delta G < 0$: libération l'énergie : réaction **exergonique**
Catabolisme (est l'ensemble des réactions de dégradations moléculaires de l'organisme considéré)
- $\Delta G > 0$: besoin d'énergie : réaction **endergonique**
Anabolisme (l'ensemble des réactions chimiques des organismes vivants permettant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

Métabolisme : Vocabulaires



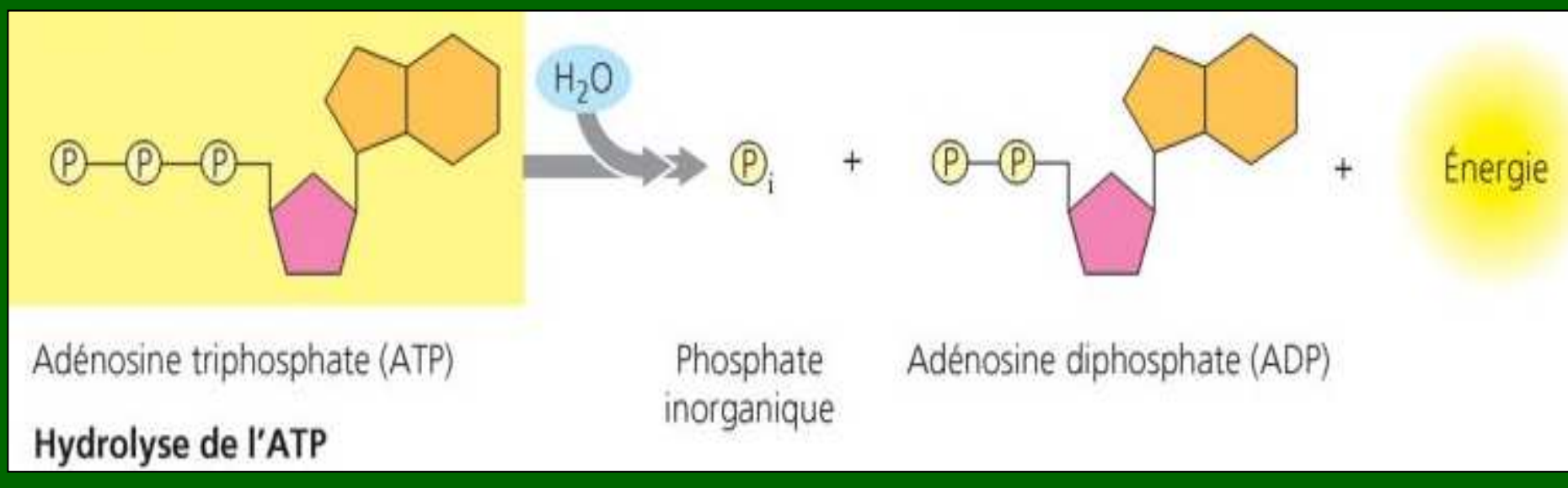
Introduction au métabolisme

ATP (Adénosine triphosphate) = monnaie énergétique



Métabolisme : Quelques rappels

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

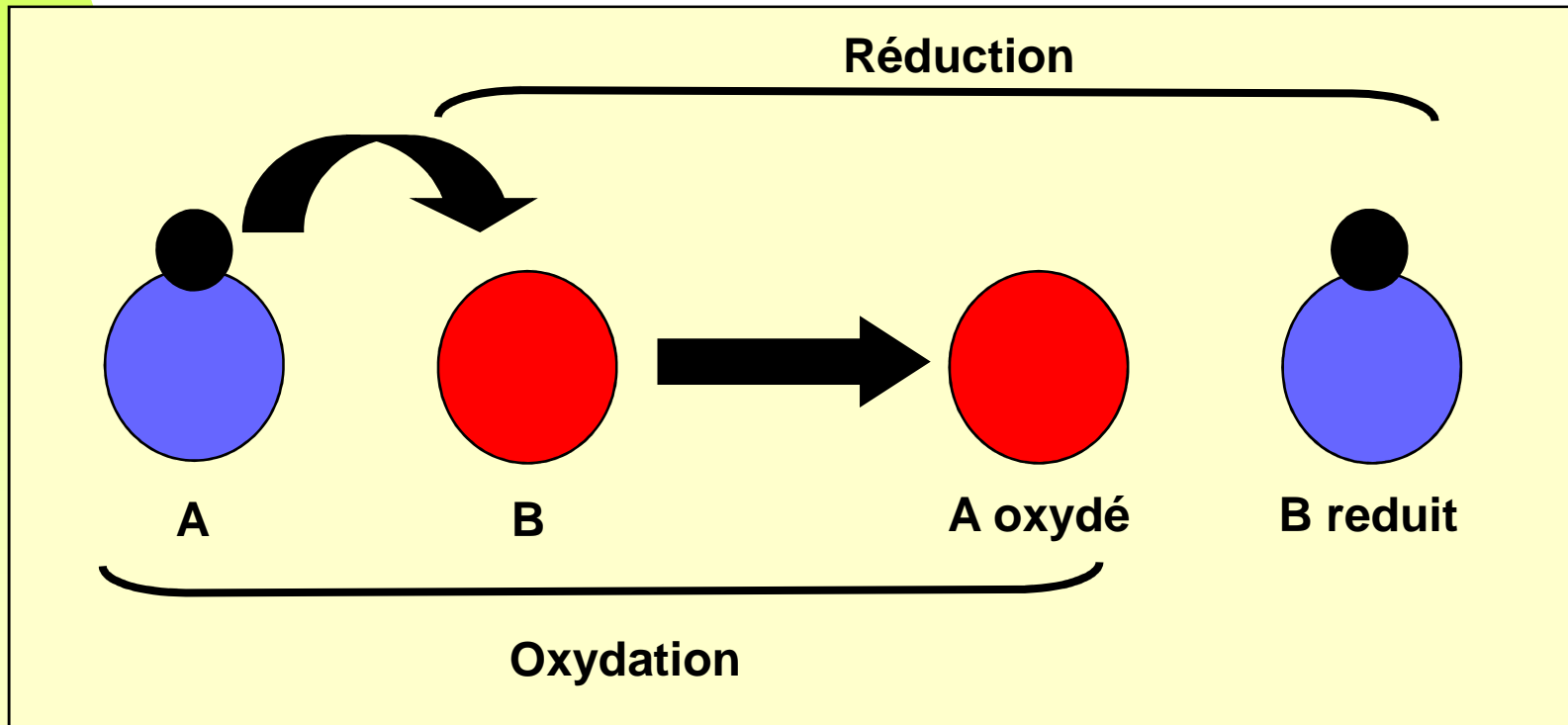


Phosphorylation

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)

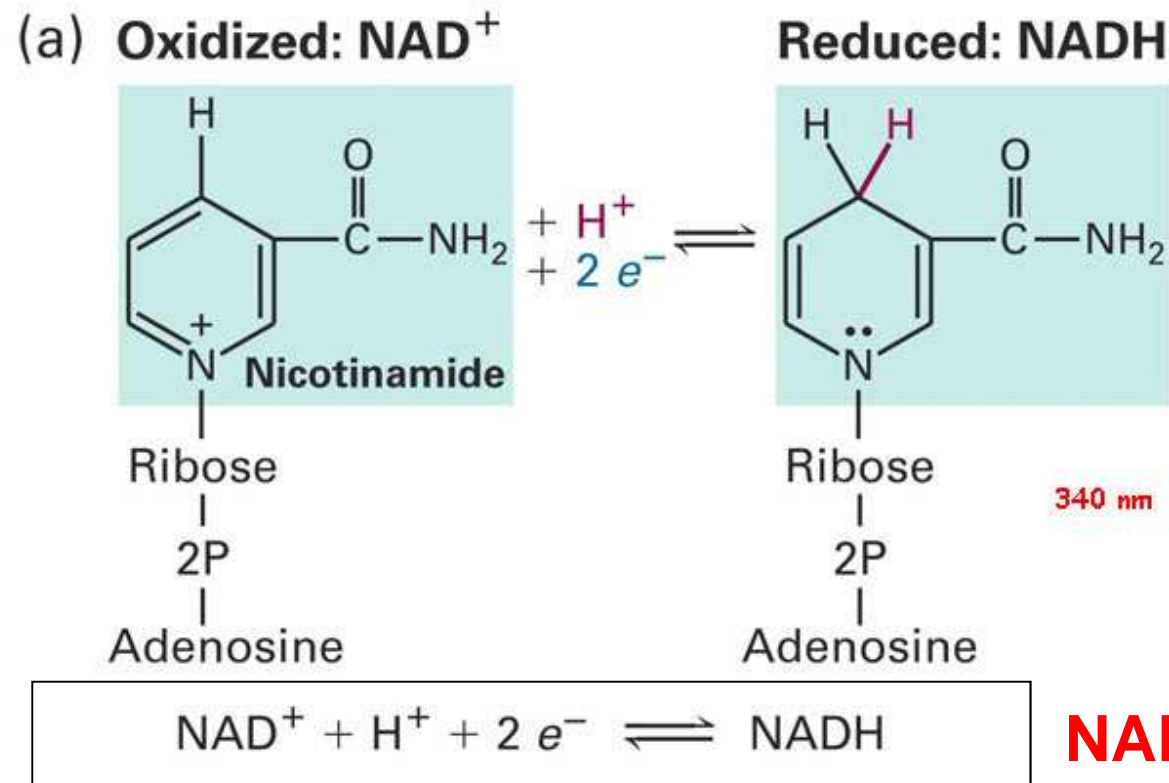


Métabolisme : Quelques rappels

Réactions d'oxydation-réduction :

NAD : Nicotinamide Adénine Dinucléotide

NADPH : Nicotinamide Adénine Dinucléotide Phosphate



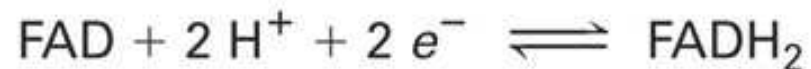
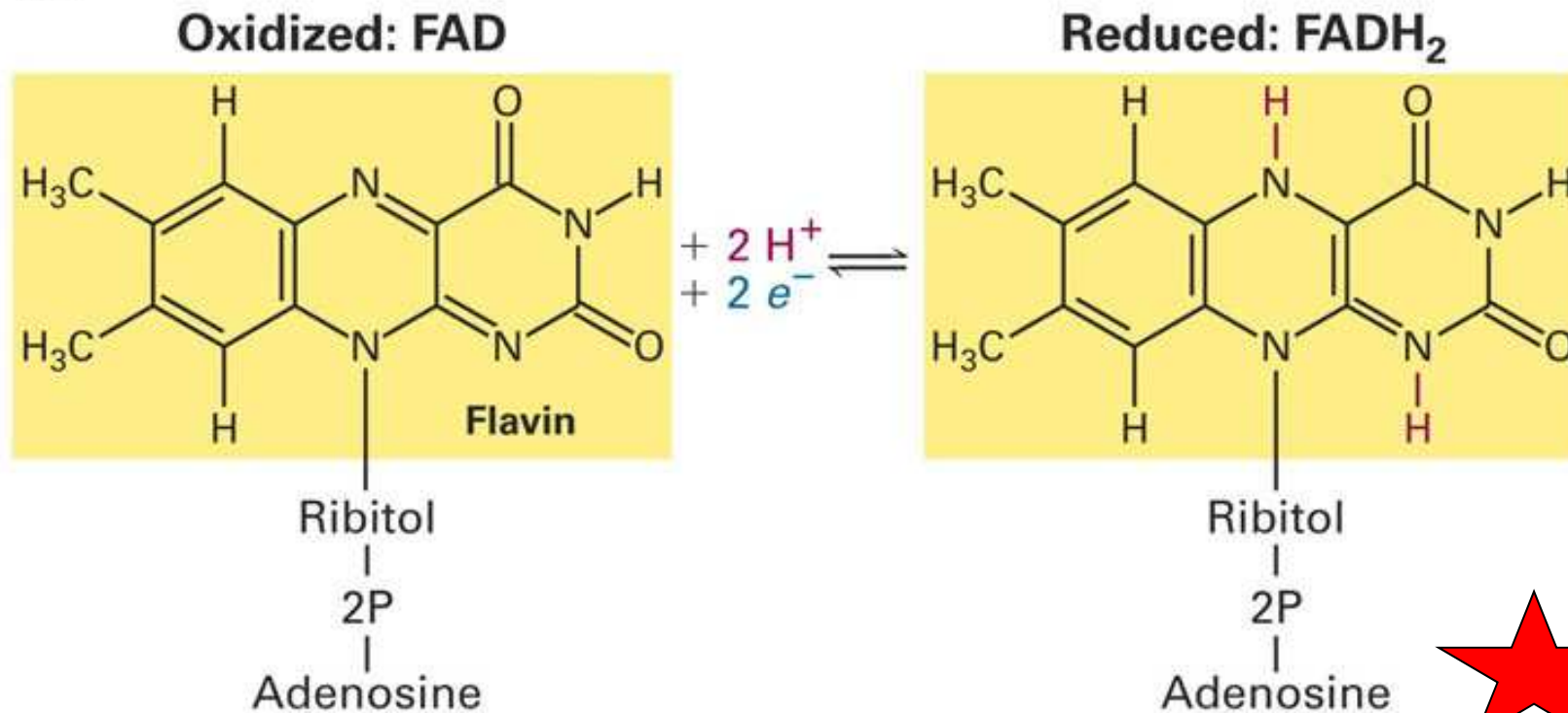
Oxydo-réduction : Déshydrogénation

Métabolisme : Quelques rappels

Réactions d'oxydation-réduction :

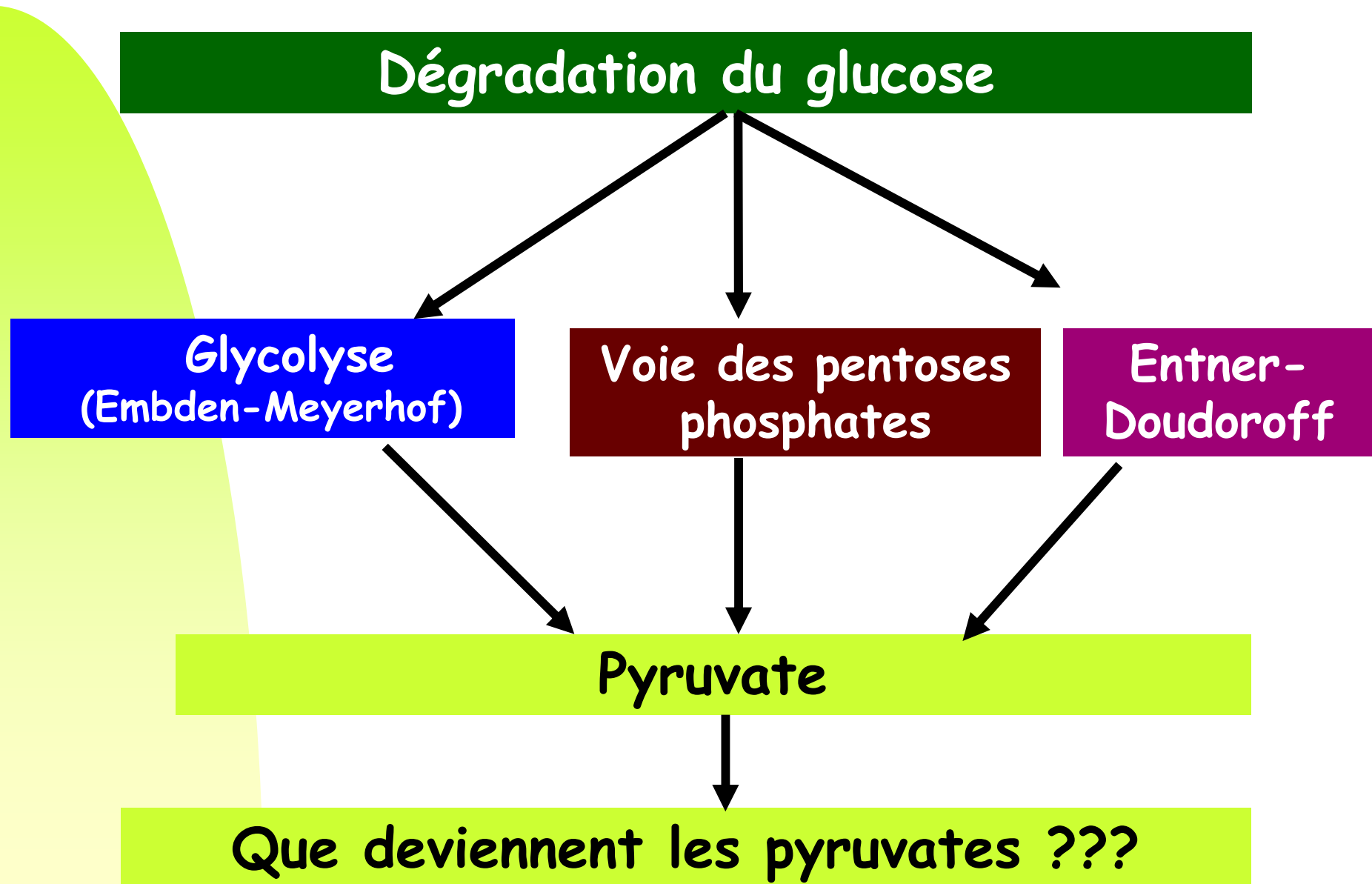
FAD : Flavine Adénine Dinucléotide

(b)



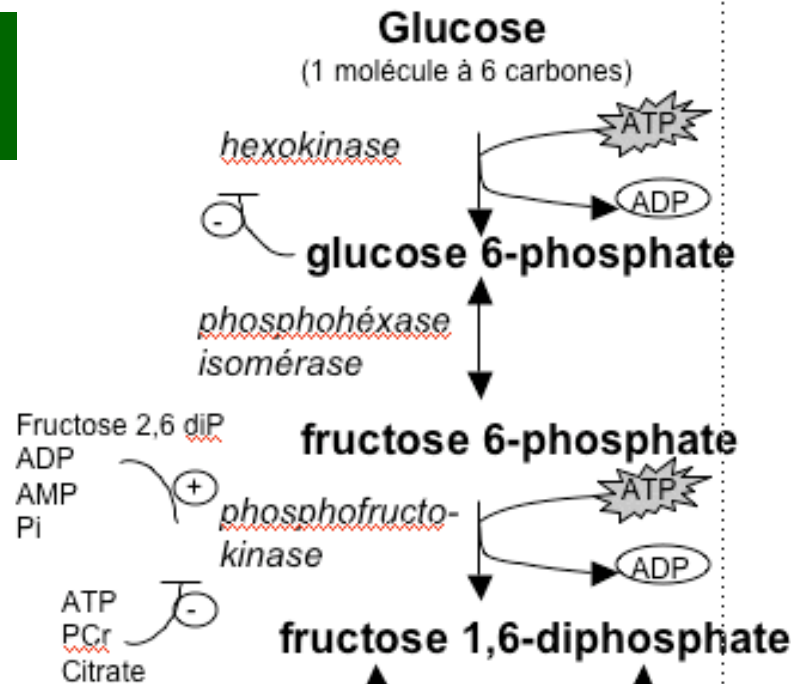
FADH₂ = 2 ATP

Métabolisme : Quelques rappels



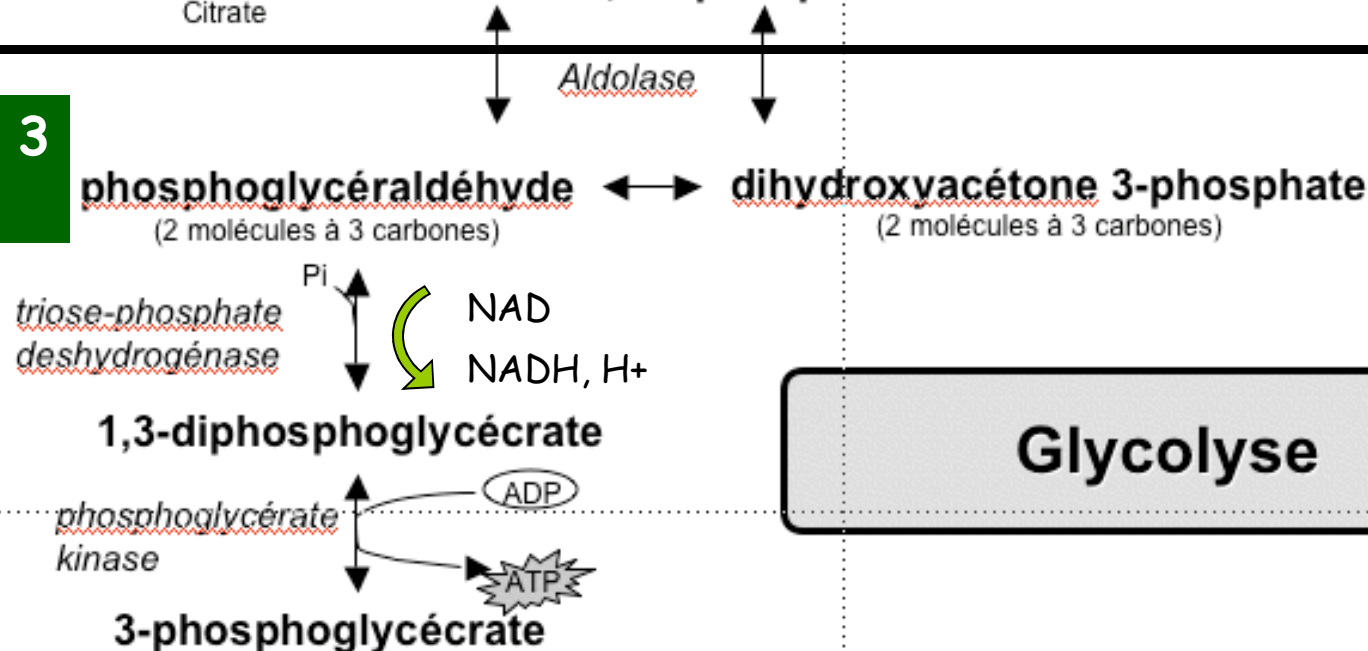
Glycolyse (Embden-Meyerhof)

Étape de 6 carbones



isomérisation

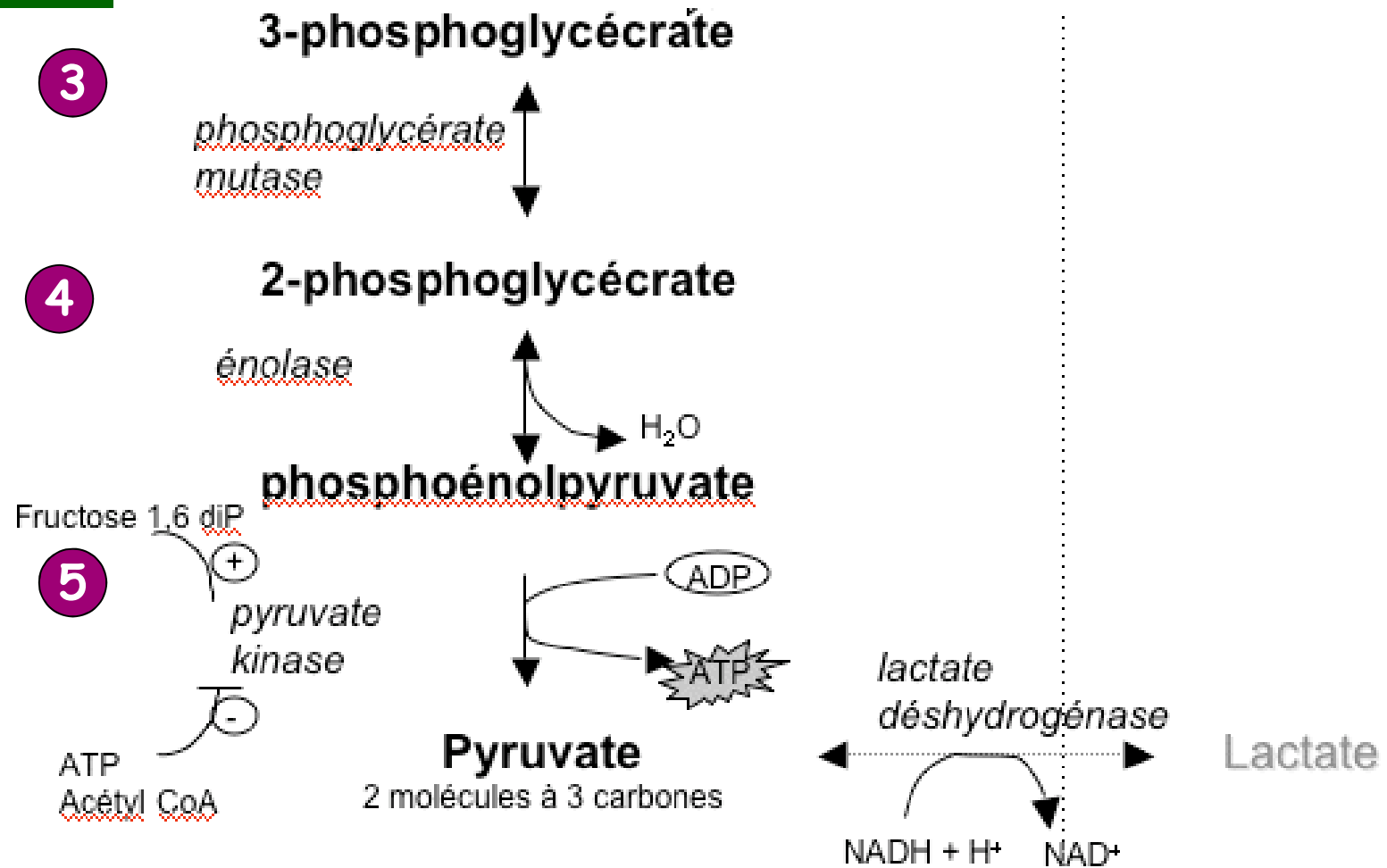
Étape de 3 carbones



Glycolyse

Glycolyse (Embden-Meyerhof) suite...

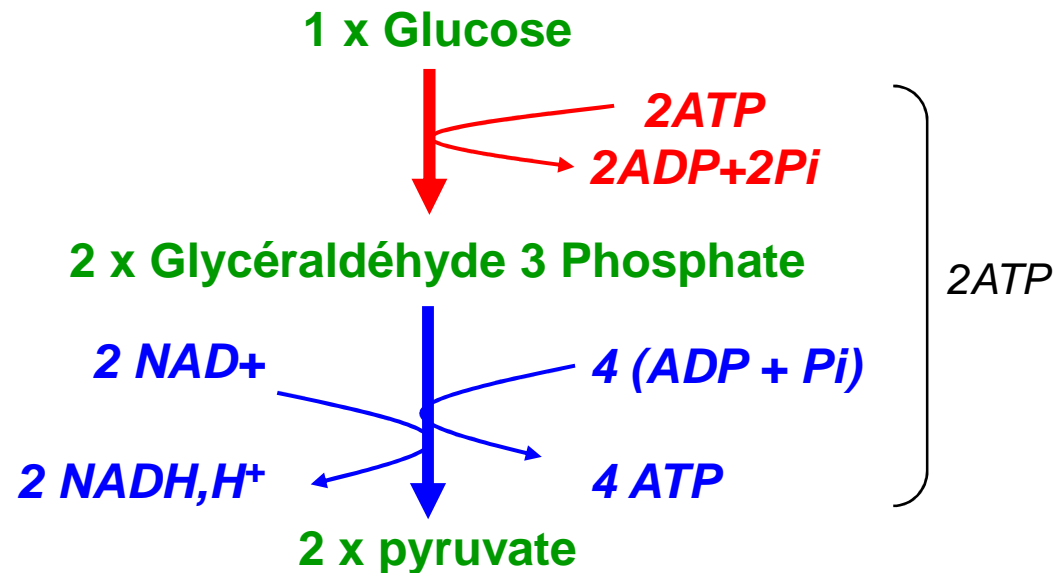
Étape de 3
carbones
(suite...)



Glycolyse: bilan

Étape de 6
carbones

Étape de 3
carbones



Bilan ATP pour un glucose

Amorçage et consommation = - 2ATP

Remboursement = + 4ATP

2NAD/NADH, H⁺ (2x3ATP) = + 6ATP

Total = 8ATP

Bilan

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

1 Glucose + 2ADP + 2NAD⁺ -----> 2 pyruvates + 8ATP

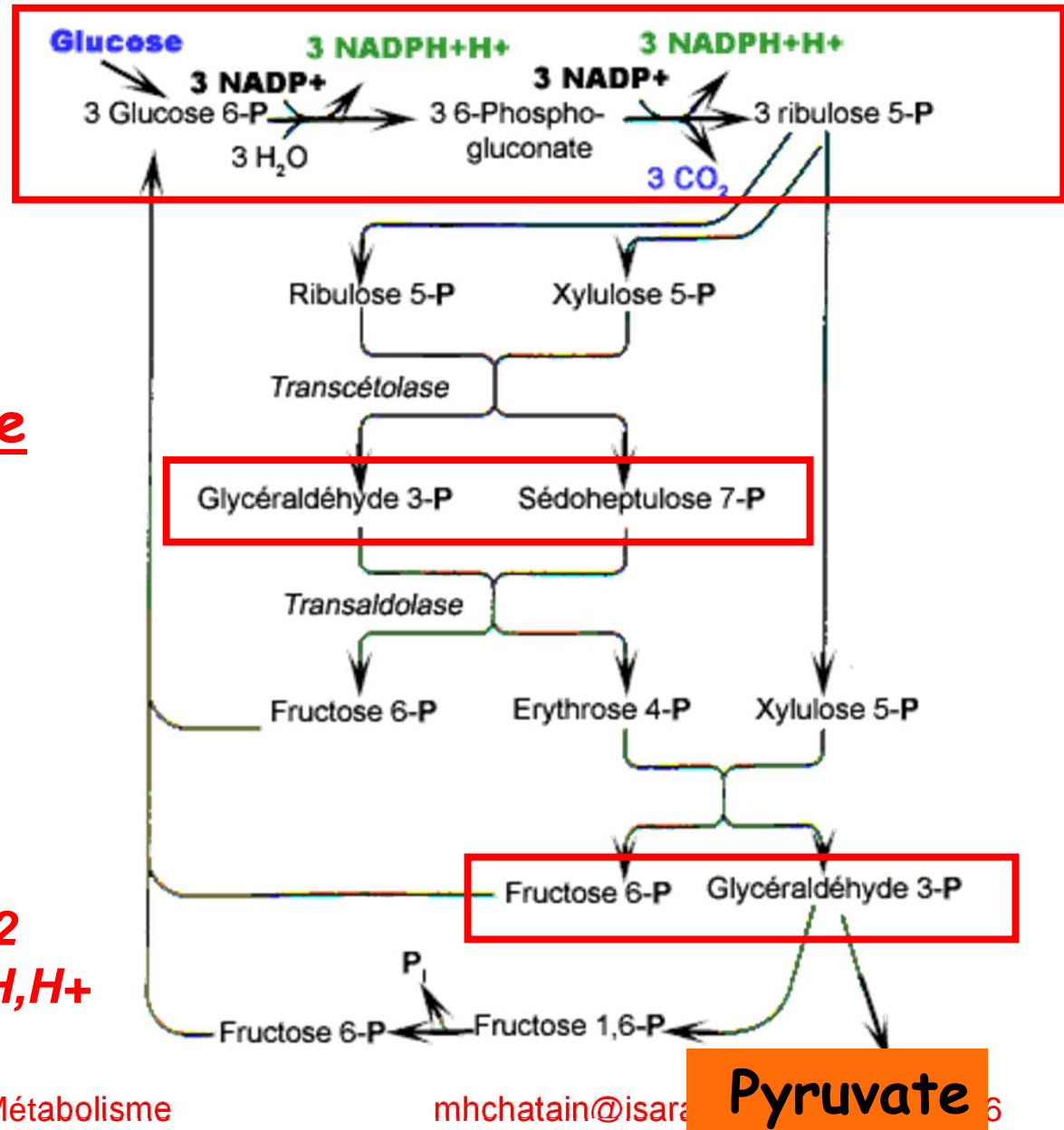
Voie des pentoses phosphates

1. Phase oxydative

2. Phase non oxydative (réversible)

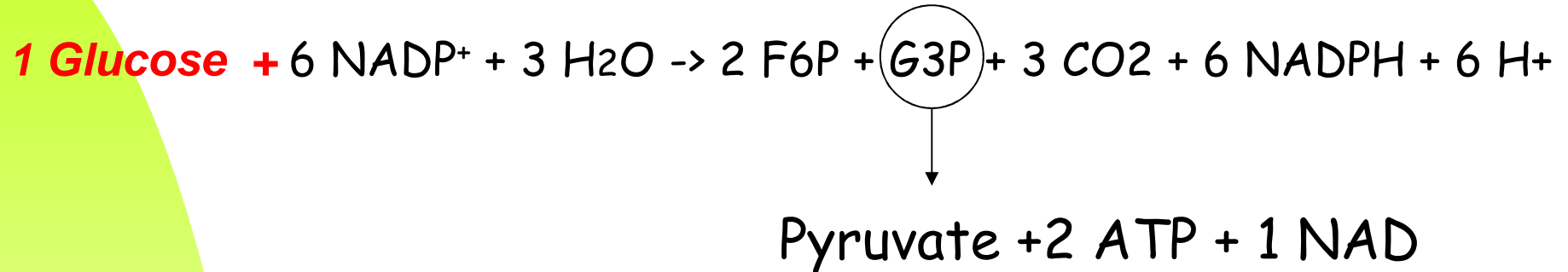
3. Rôle du Shunt des Pentoses

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



Voie des pentoses phosphates

Bilan



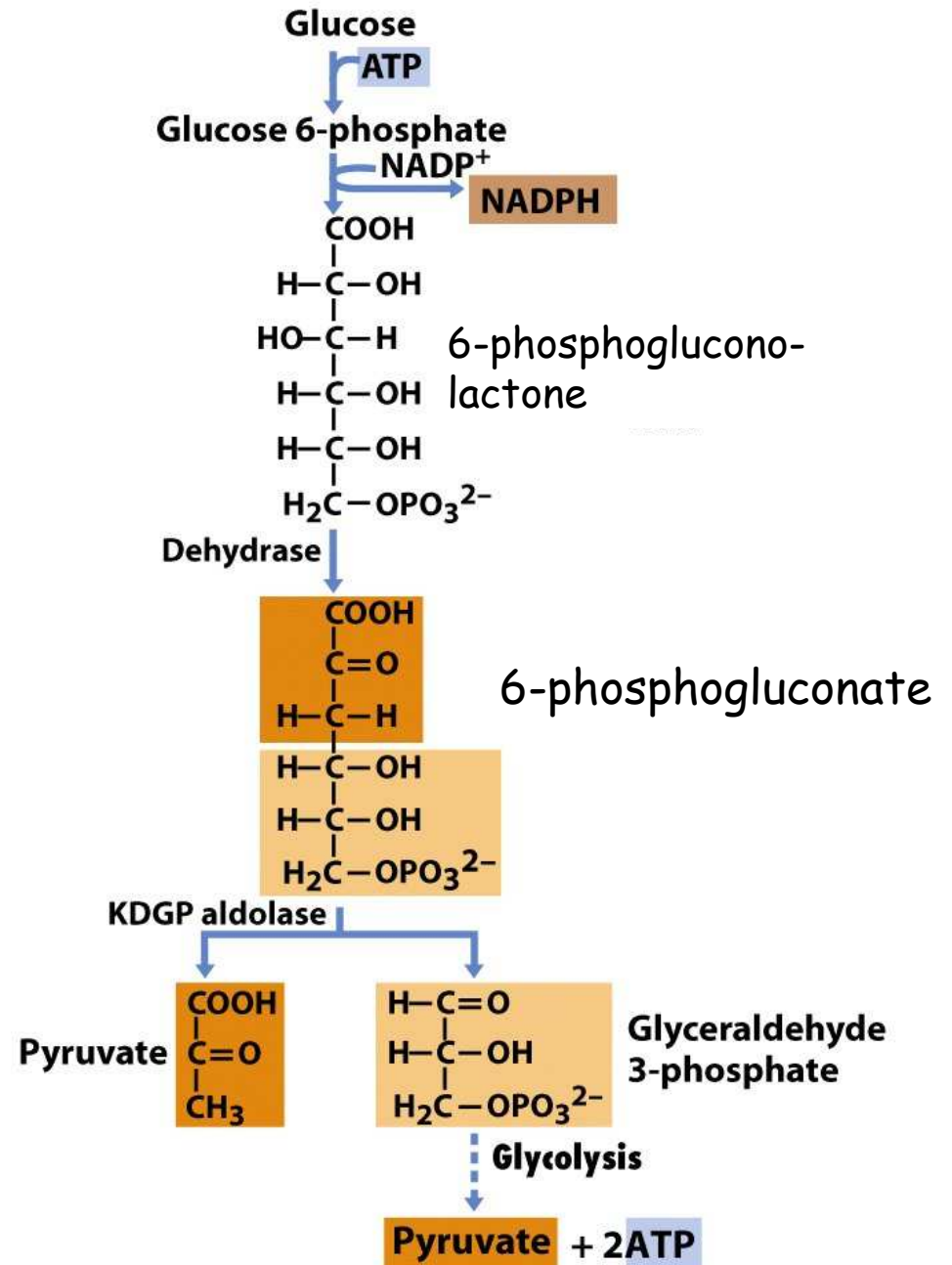
Rappel :

NADPH : Nicotinamide Adénine Dinucléotide Phosphate

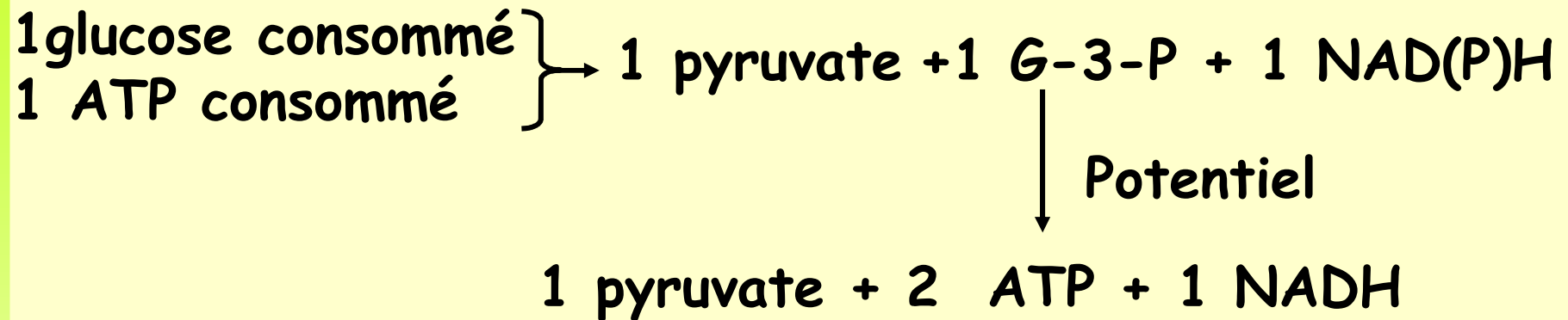
NAD : Nicotinamide Adénine Dinucléotide

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



Bilan : Voie Entner-Doudoroff



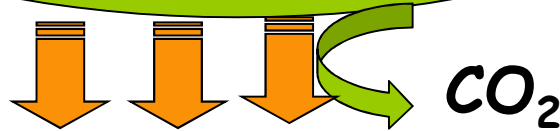
Métabolisme chez les micro-organismes

Nutriments/Sources d'énergie/O₂



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

Enzymes



Divers produits

Métabolisme des glucides

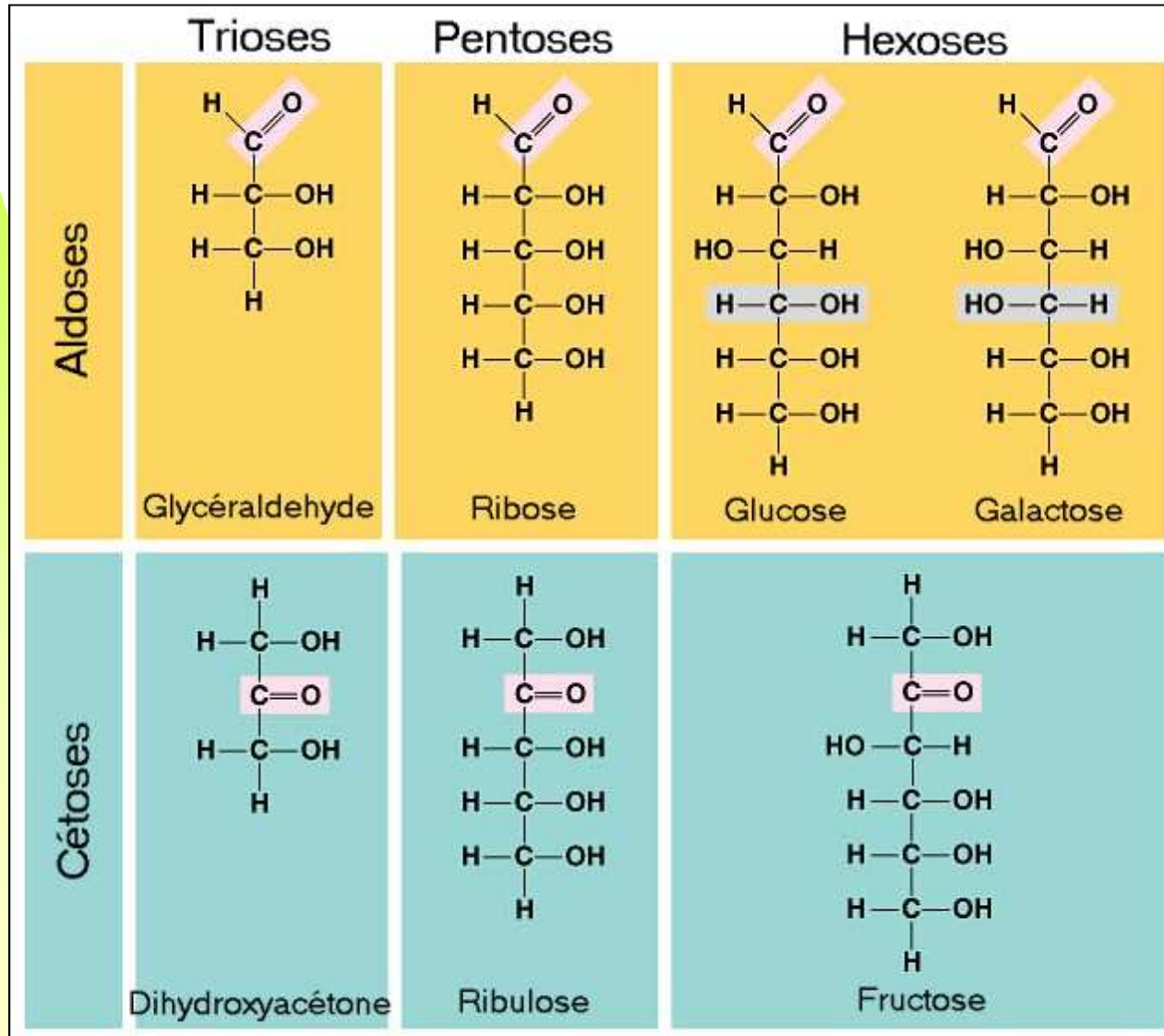
LES GLUCIDES (POLYSACCHARIDE)

La classe des glucides comprend:

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

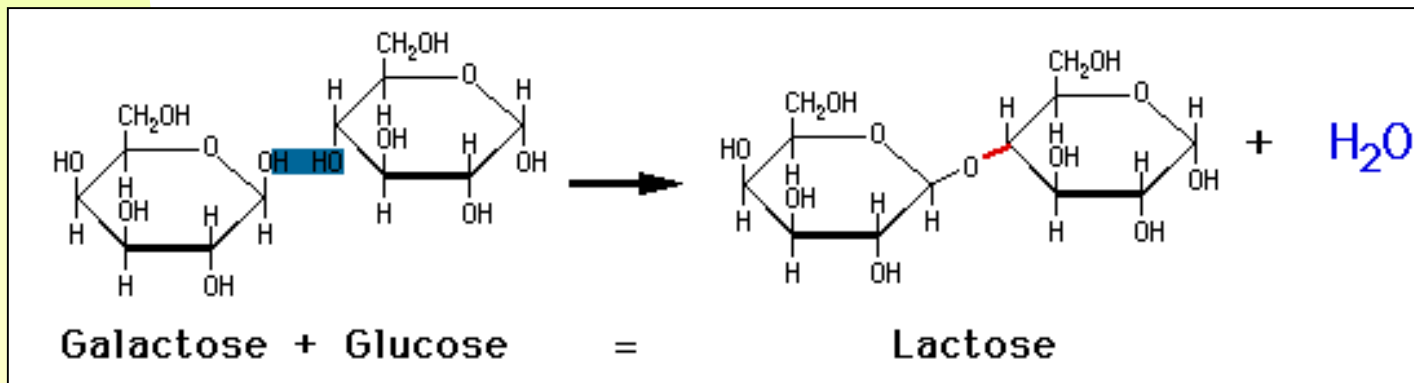
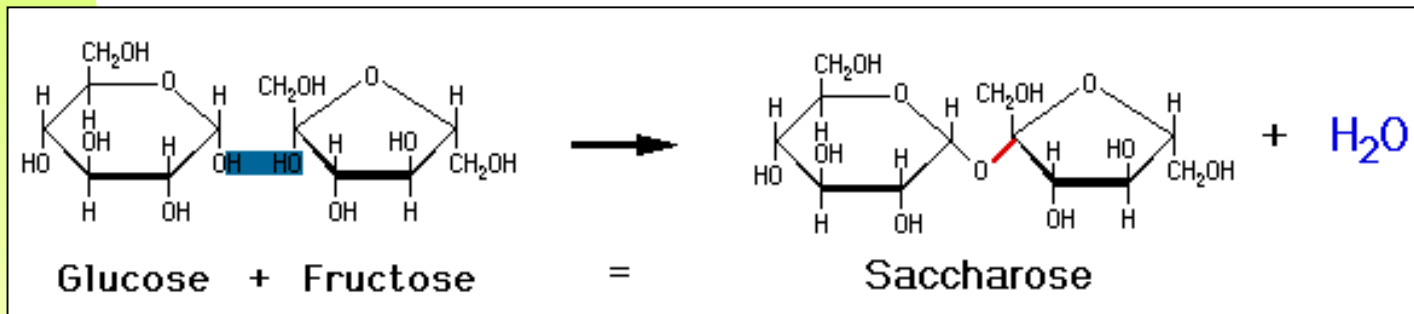
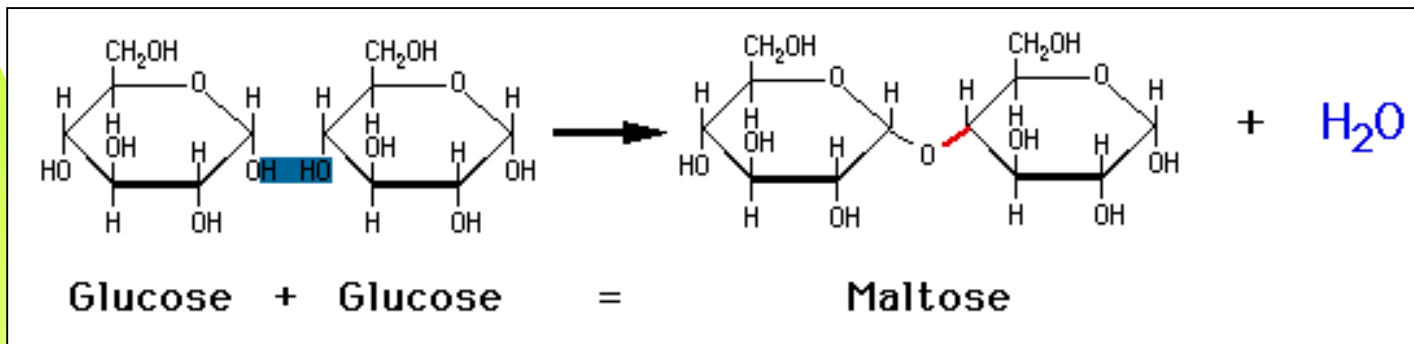
LES POLYSACCHARIDE (GLUCIDES)

Monosaccharides



LES POLYSACCHARIDES (GLUCIDES)

Disaccharides

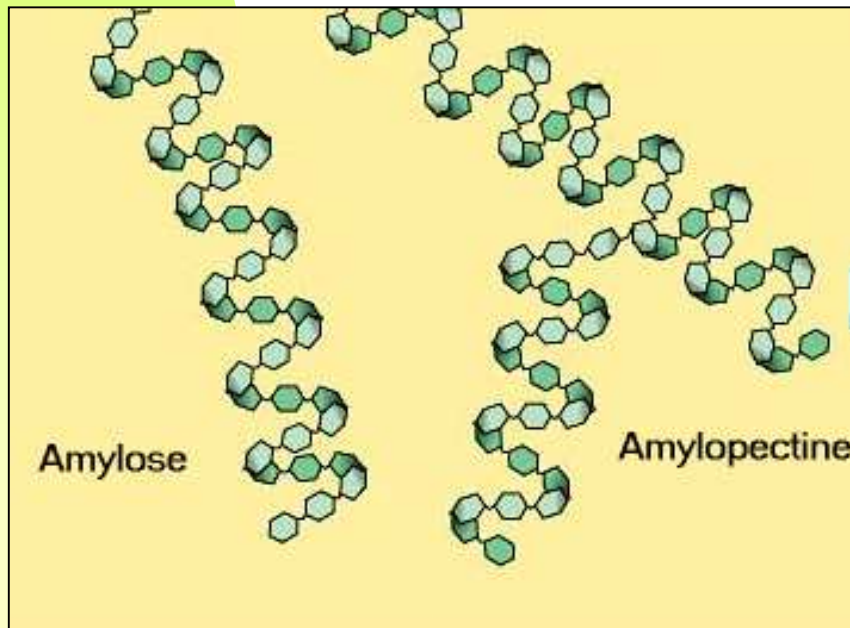


LES POLYSACCHARIDES (GLUCIDES)

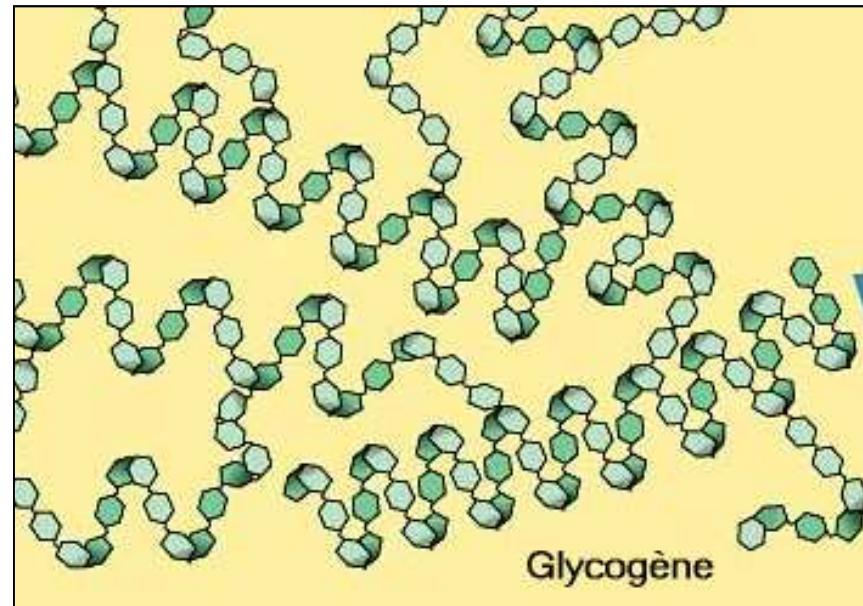
Polysaccharides de réserve

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

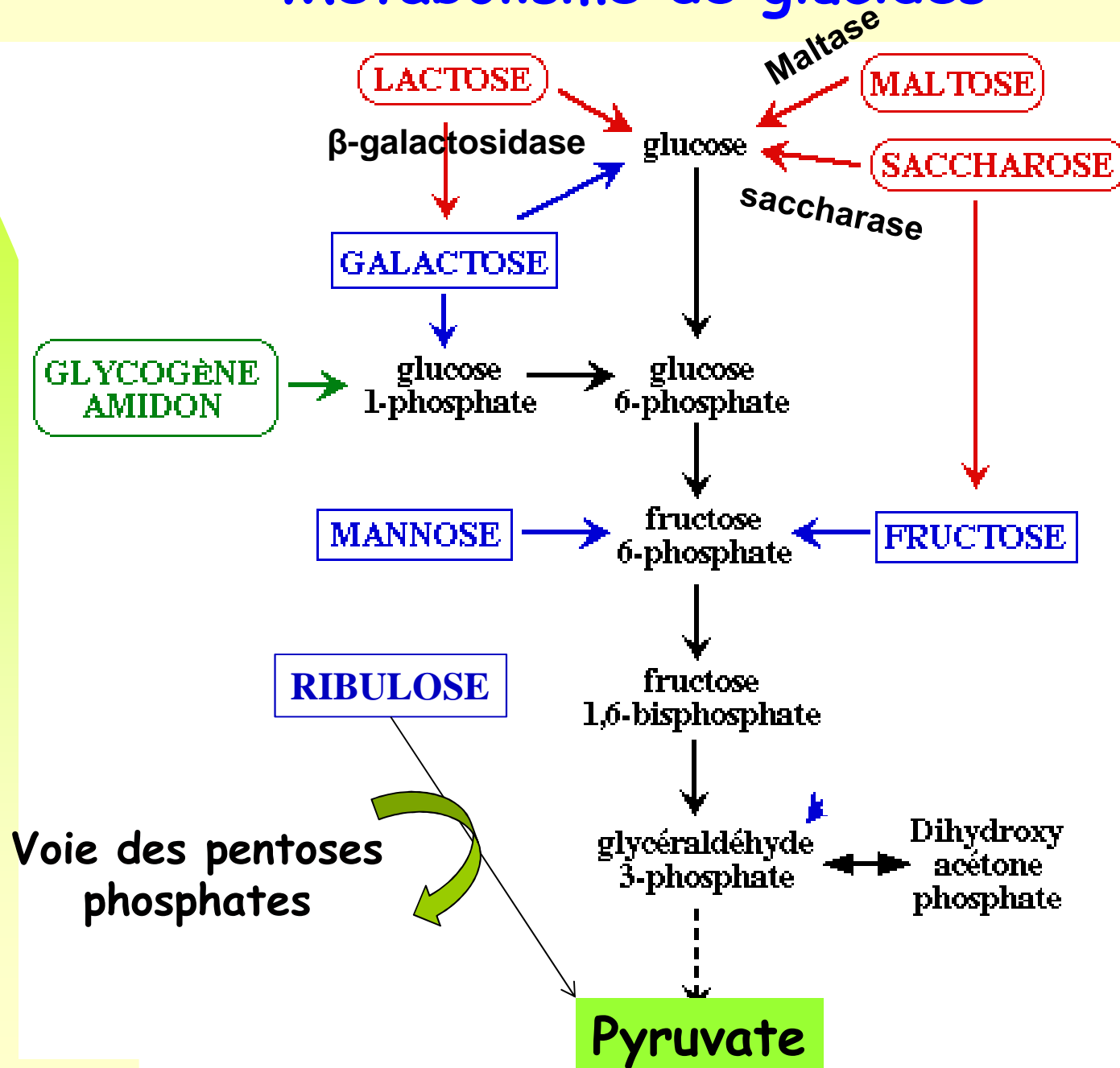
Amidon



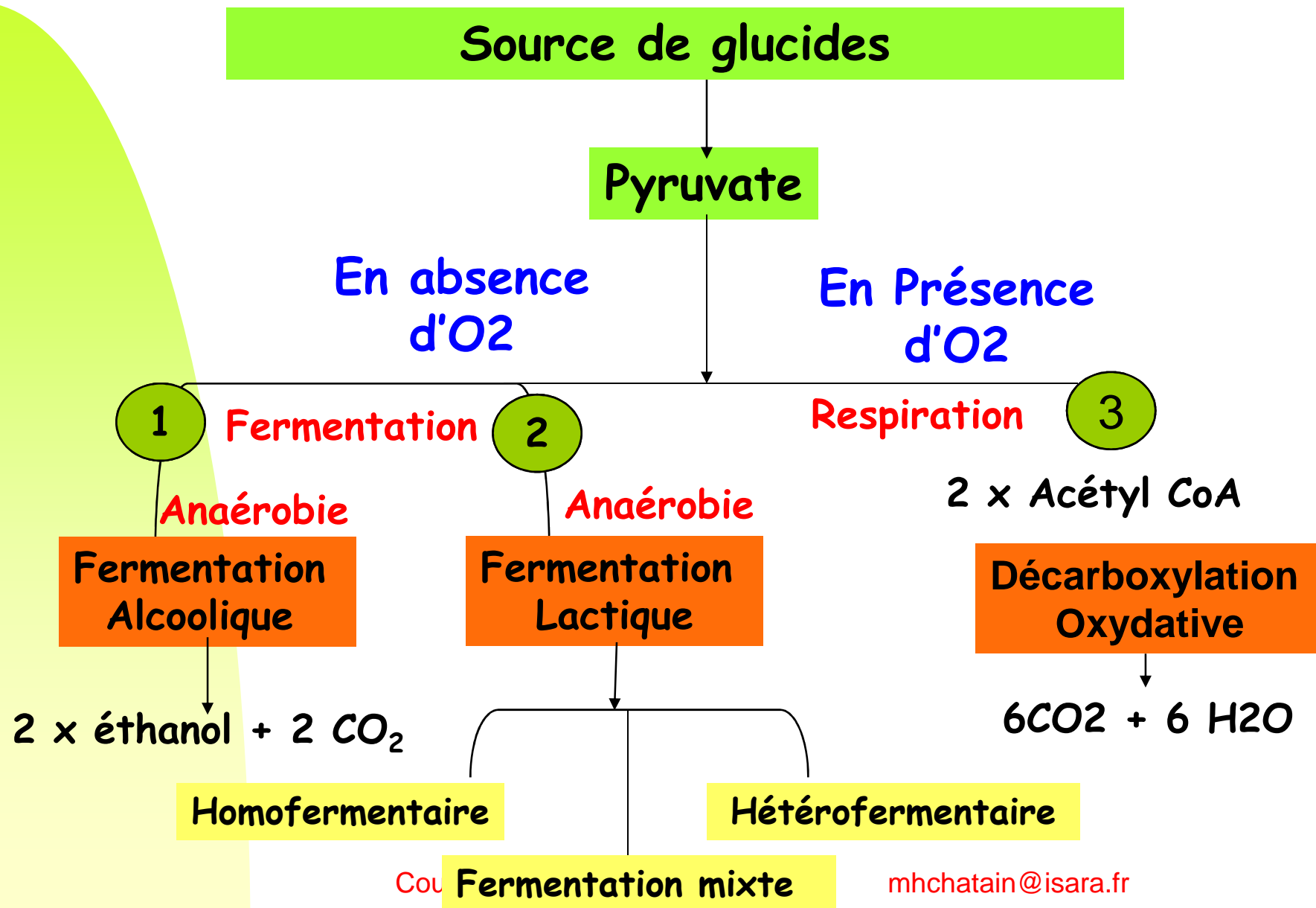
Glycogène



Métabolisme de glucides



Fermentation et Respiration

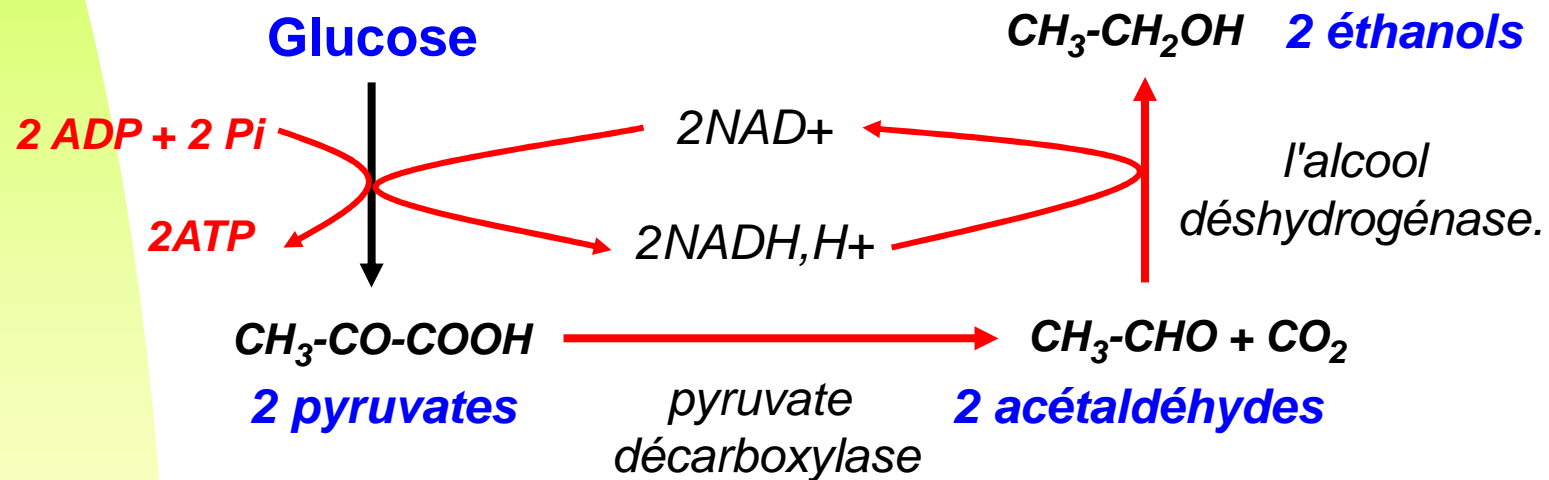


Fermentation

1 Fermentation alcoolique :

En absence d'O₂

- Conversion l'acide pyruvique en éthanol et CO₂
- Régénération de 2NAD⁺ et production de 2ATP



Bilan: Glucose + 2ADP + 2Pi > 2 ethanol + 2CO₂ + 2ATP

Exemple de Fermentation alcoolique

Les boissons alcoolisées

principale réaction de fermentation

Exemple : le vin

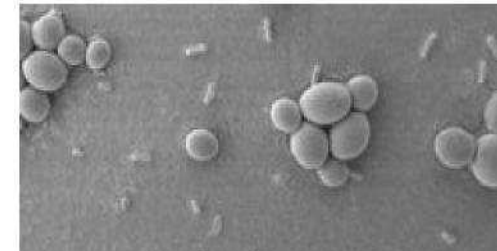
Fermentation alcoolique par Levures *Saccharomyces* :

Fructose et glucose \longrightarrow 2 éthanol + CO₂

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 + CO₂**

Ajout nécessaire des micro-organismes après le brassage

Saccharomyces cerevisiae : levure de bière

Saccharomyces carlsbergensis

Production très importante de CO₂ : mousse abondante



Exemple : le pain

Levain ajouté à la pâte pendant le pétrissage :

Lactobacillus

Saccharomyces

Amidon \longrightarrow sucres simples \longrightarrow alcool + CO₂

Amylase

- Fait lever la pâte grâce au CO₂
- Modification également du gluten et ainsi de la texture de la pâte

Cuisson : l'alcool s'évapore
les bulles de CO₂ persistent



Fermentation

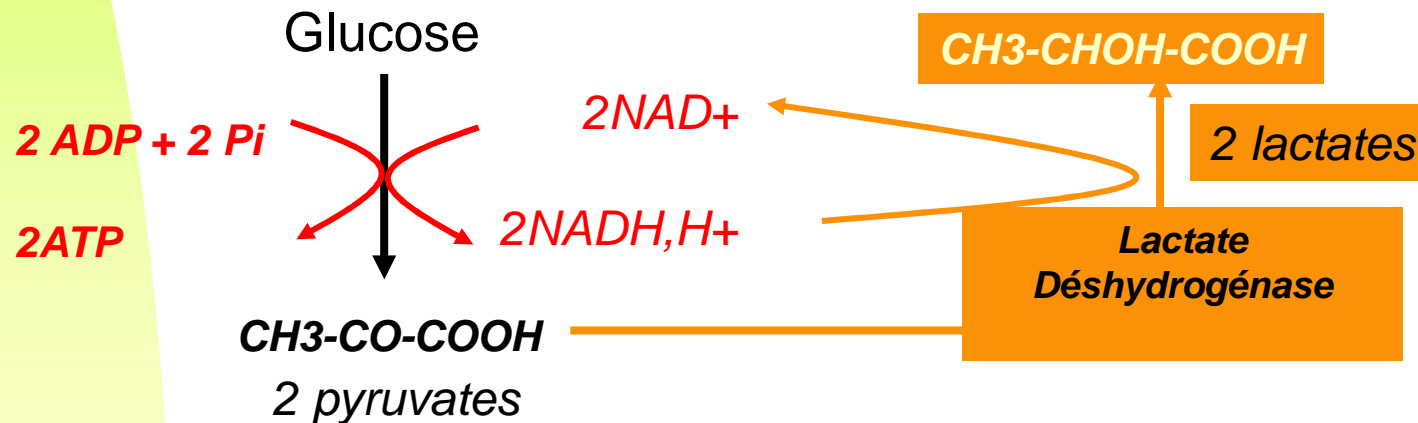
2

Fermentation lactique :

En absence d'O₂

2.1. Homofermentaire

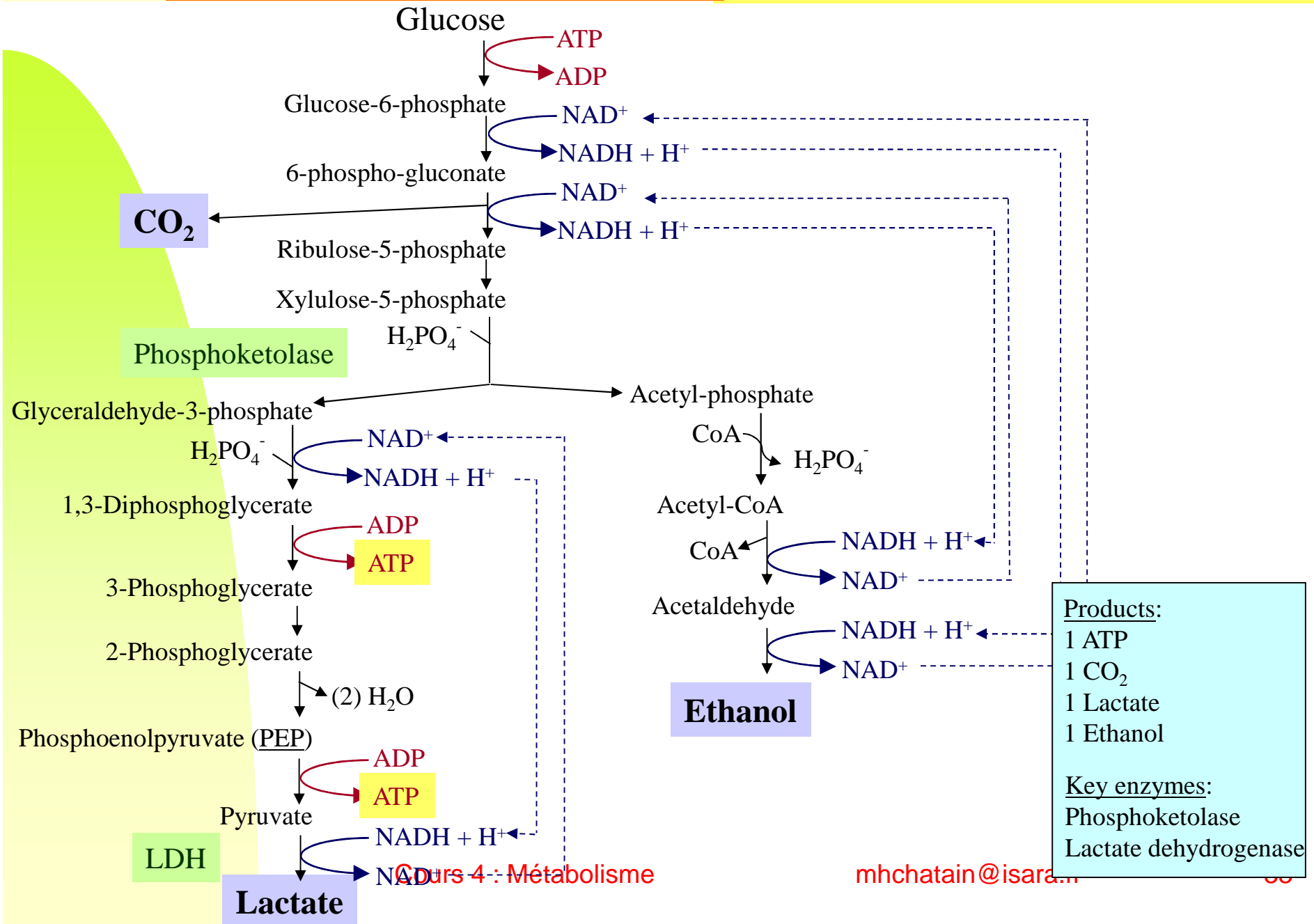
- Conversion de l'acide pyruvique en acide lactique
- Régénération de 2NAD⁺ et production de 2ATP

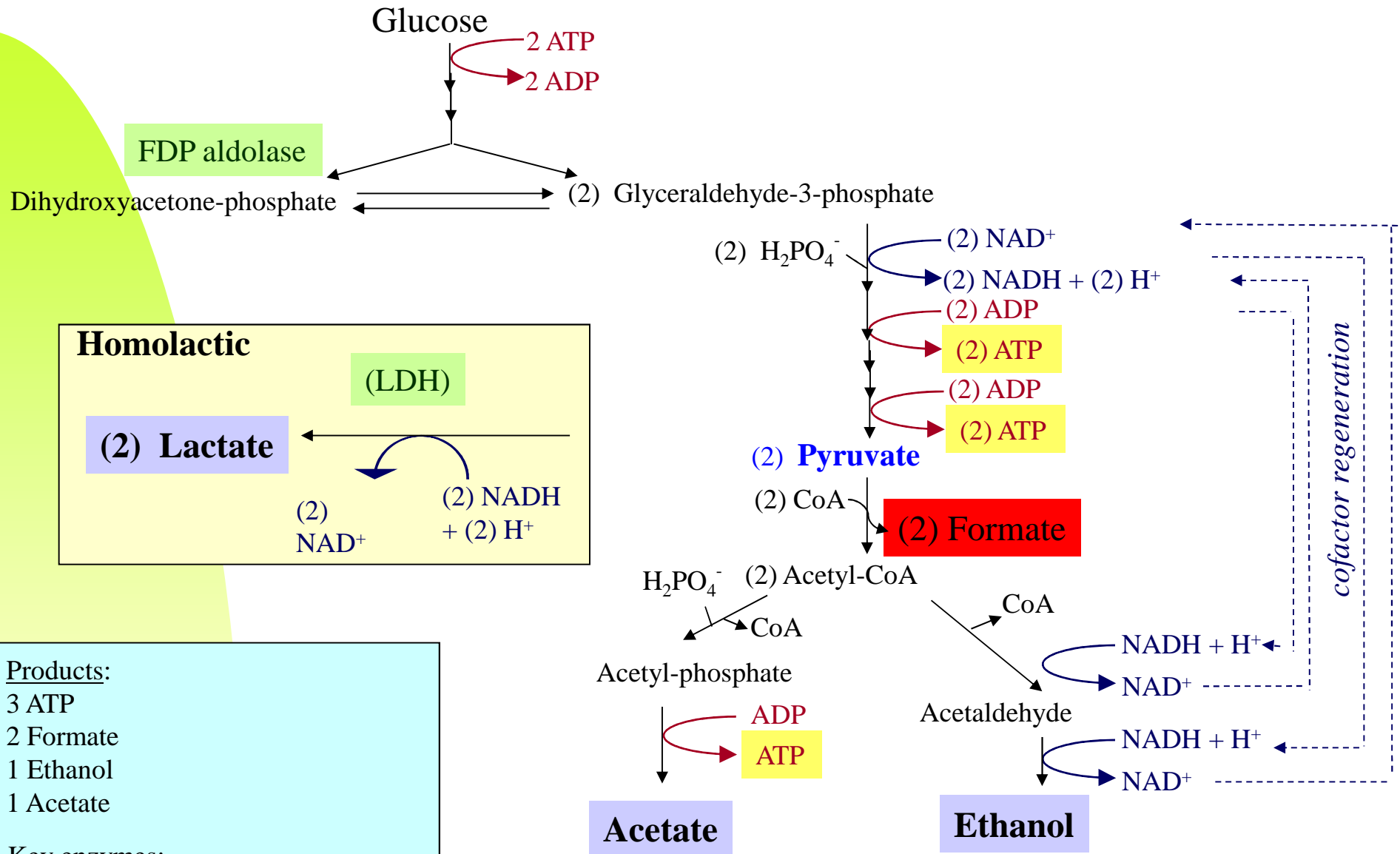


Bilan: Glucose + 2ADP + 2Pi > 2 Lactates + 2ATP

Fermentation lactique :

2.2. Hétérofermentaire





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%) + CO₂ (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'O₂

En Présence
d'O₂

1

Anaérobie

Fermentation
Alcoolique

2 x éthanol + 2 CO₂

2

Anaérobie

Fermentation
Lactique

homofermentaire

hétérofermentaire

Fermentation mixte

Respiration

3

2 x Acétyl CoA

Décarboxylation
Oxydative

6CO₂ + 6 H₂O

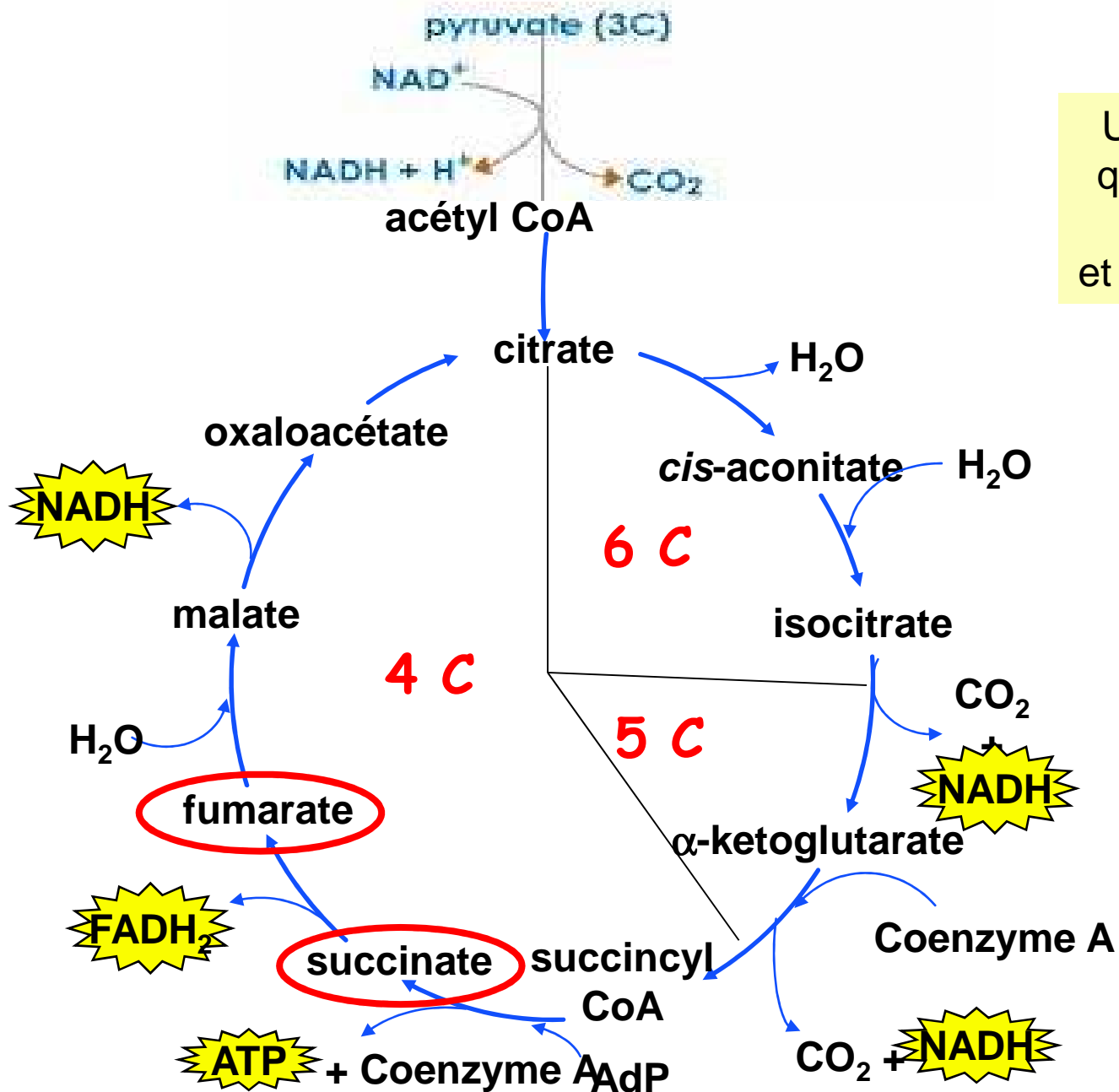
Cinq étapes :

1. **Glycolyse:** production de pyruvate
2. **Oxydation du pyruvate** produit de l'acétyl-CoA et du CO_2 .
3. **Cycle de Krebs :** L'énergie libérée est stockée sous forme d'ATP, de NADH et de FADH_2 .
4. **Chaîne de transport d'électrons.**
5. **Synthèse d'ATP par l'ATP synthétase.**

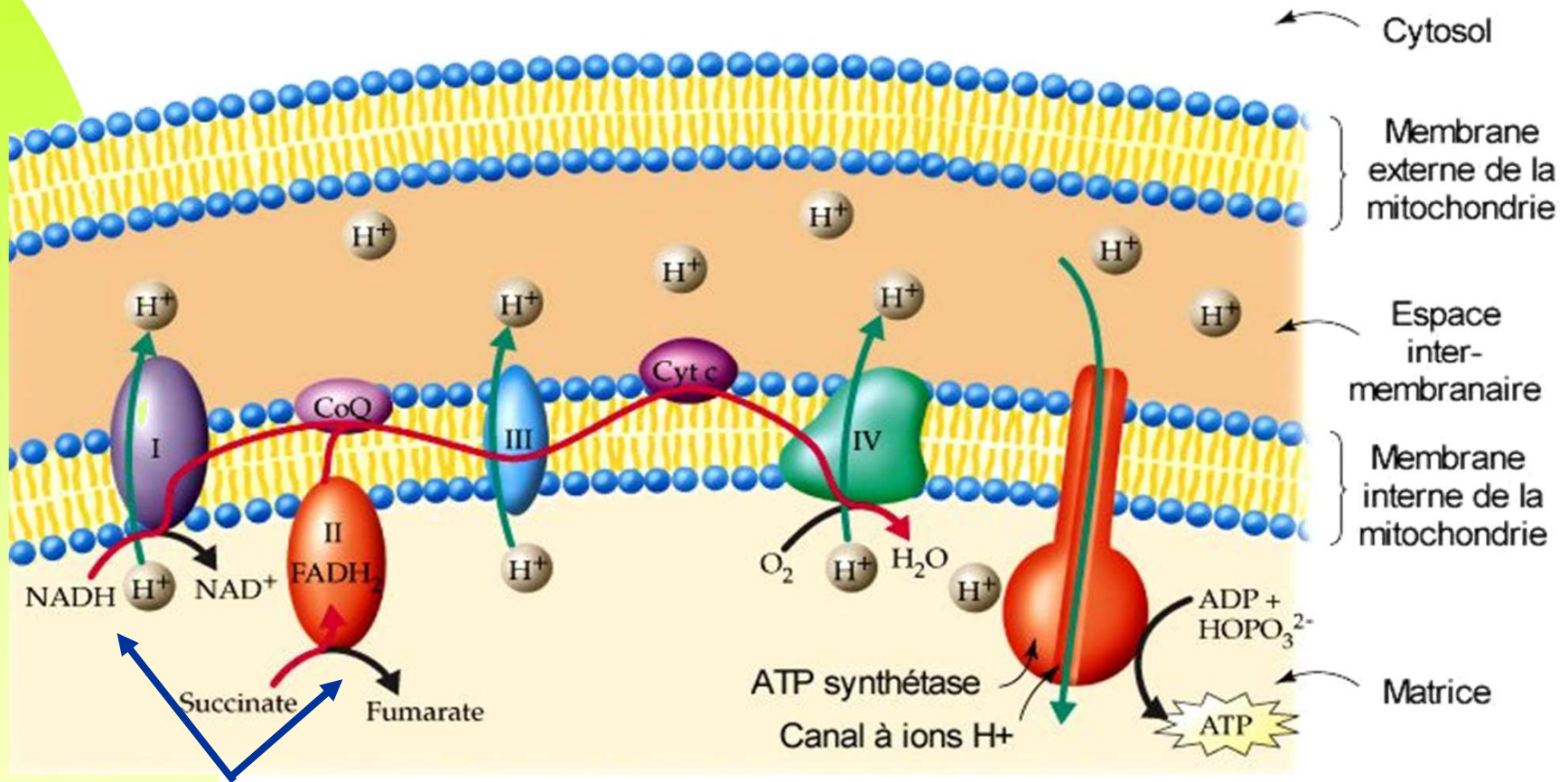
Cycle de Krebs

3

Un cycle en 9 étapes qui utilise l'acetate de acetyl-CoA et le transforme en CO_2



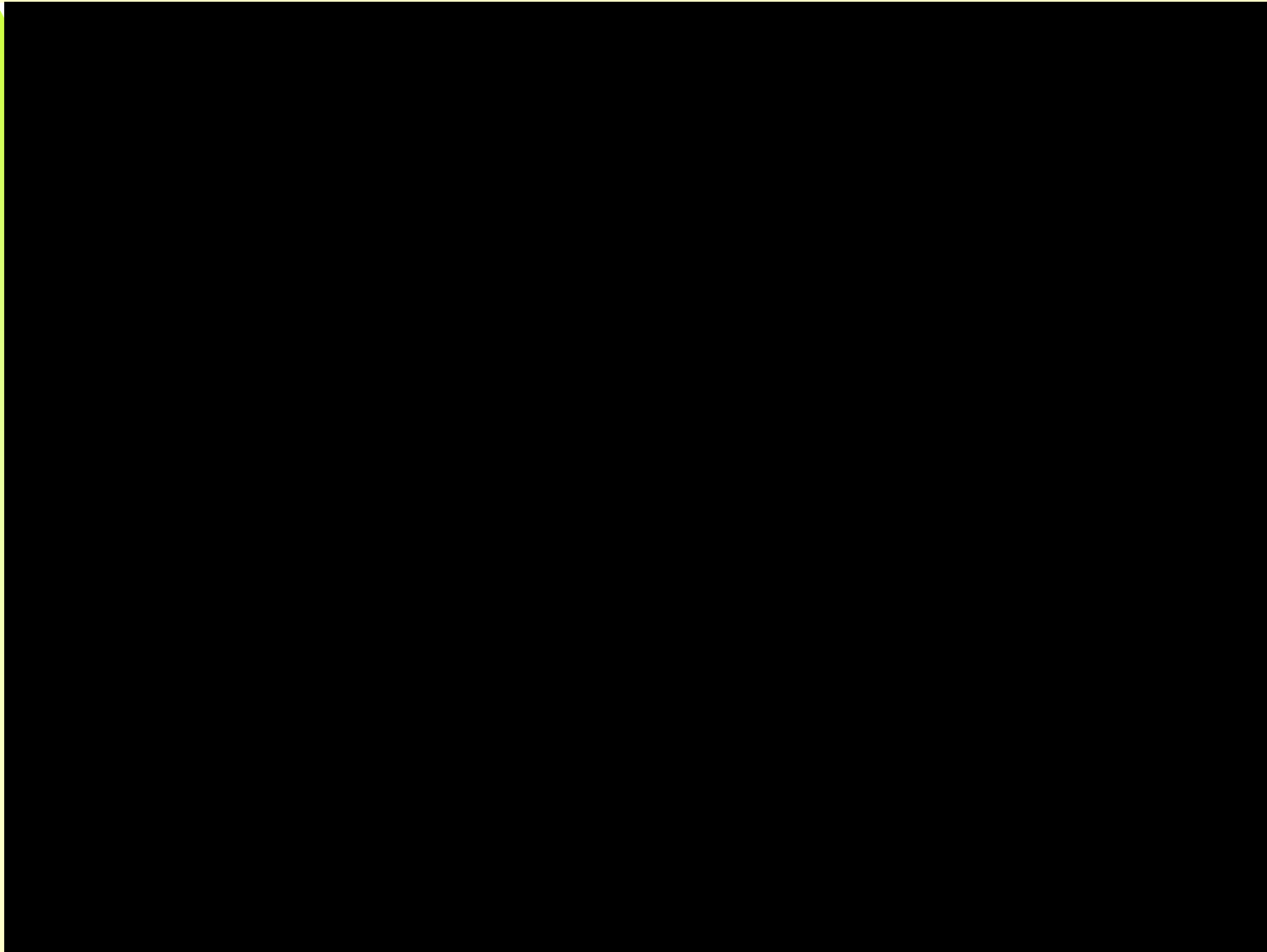
Chaîne respiratoire (transport d'électrons) chez procaryotes



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

Animation :

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



Bilan ATP complet du catabolisme d'un glucose

1 glucose > 2 pyruvates

Consommation

- 2 ATP

Production

+ 4 ATP

2 NADH,H⁺

+ 6 ATP

+ 8 ATP

2 pyruvates > 2 acétylCoA

Production

2 x NADH,H⁺

+ 6 ATP

+ 6 ATP

2 acétylCoA > 2 Oxaloacétates

Production

2 x GTP

+ 2 ATP

2 x 3NADH,H⁺

+ 18 ATP

2 x FADH₂

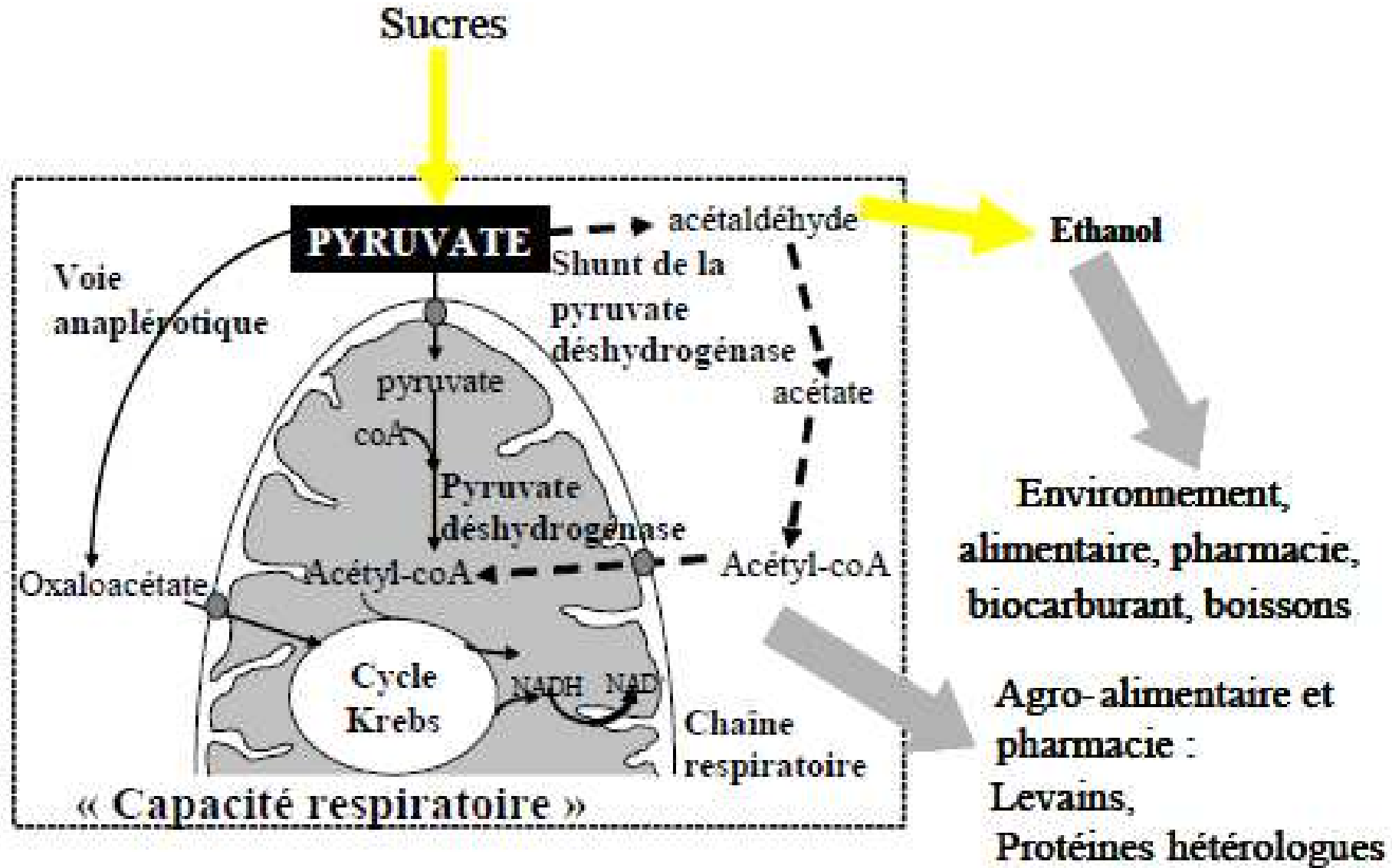
+ 4 ATP

+ 22 ATP

Bilan global

+ 38 ATP

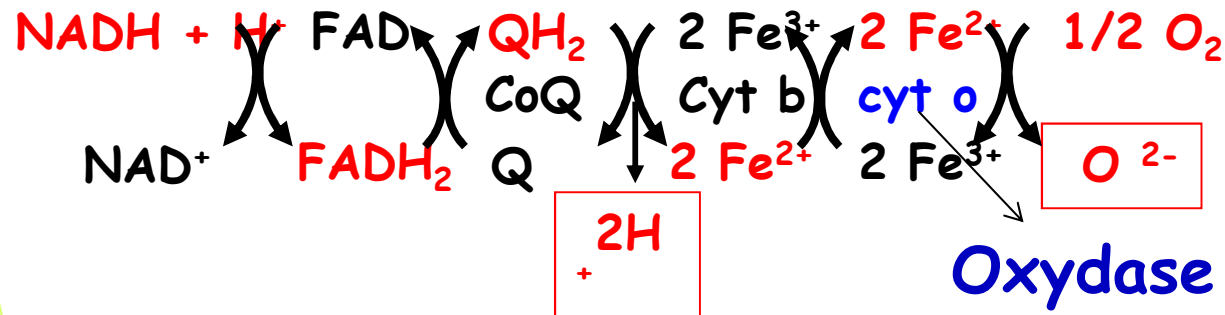
Exemple de *Saccharomyces cerevisiae*



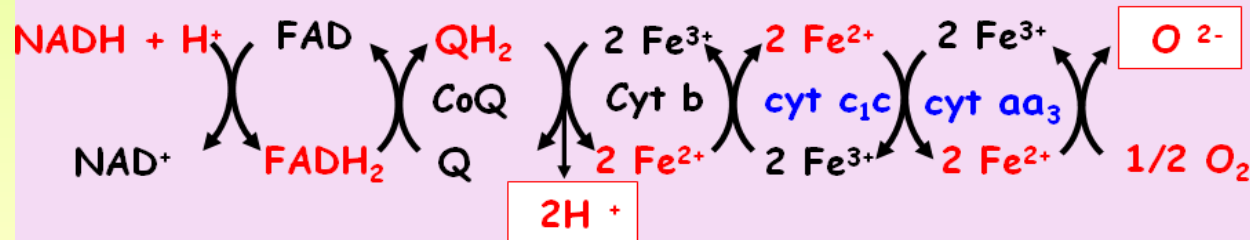
Respiration en aérobie chez bactéries

O_2 accepteur final d'électrons

■ 1^{er} cas: Coenzymes : FAD/CoQ/cyt b/cyt o



■ 2^{ème} cas: Coenzymes FAD/CoQ/cyt b/ cyt c / cyt aa₃



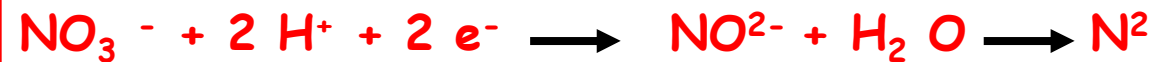
O_2 accepteur final d'électrons



Respiration en anaérobie chez bactéries

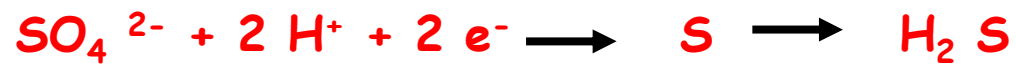
■ Respiration nitrate :

Coenzymes : FAD/CoQ/cyt b/Nitrate réductase



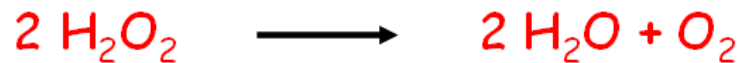
■ Respiration sulfate :

Coenzymes : FAD/CoQ/cyt b/Sulfate réductase



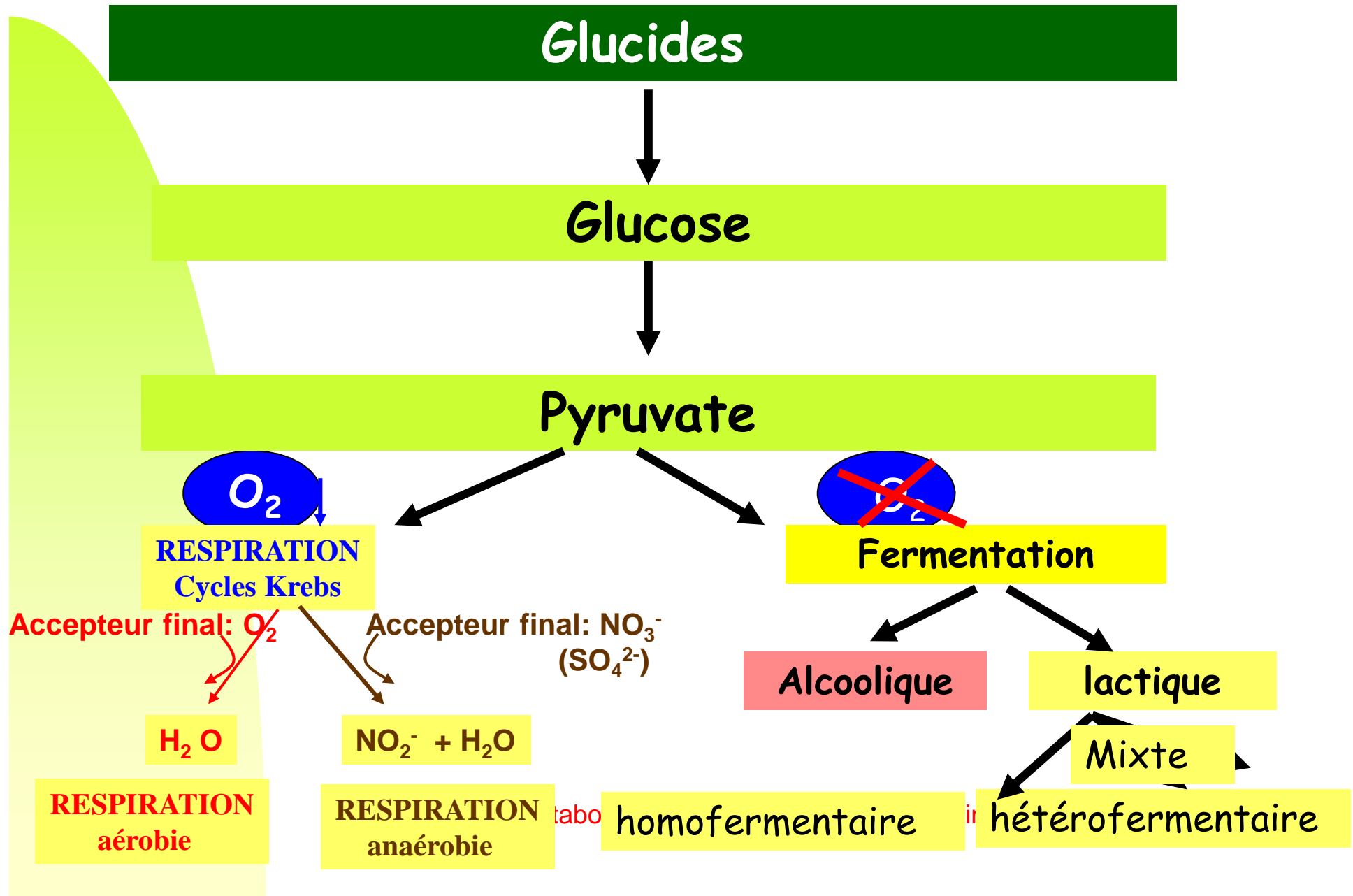
MISE EN EVIDENCE DU METABOLISME ENERGETIQUE

- Oxydase
- Nitrate réductase
- Catalase



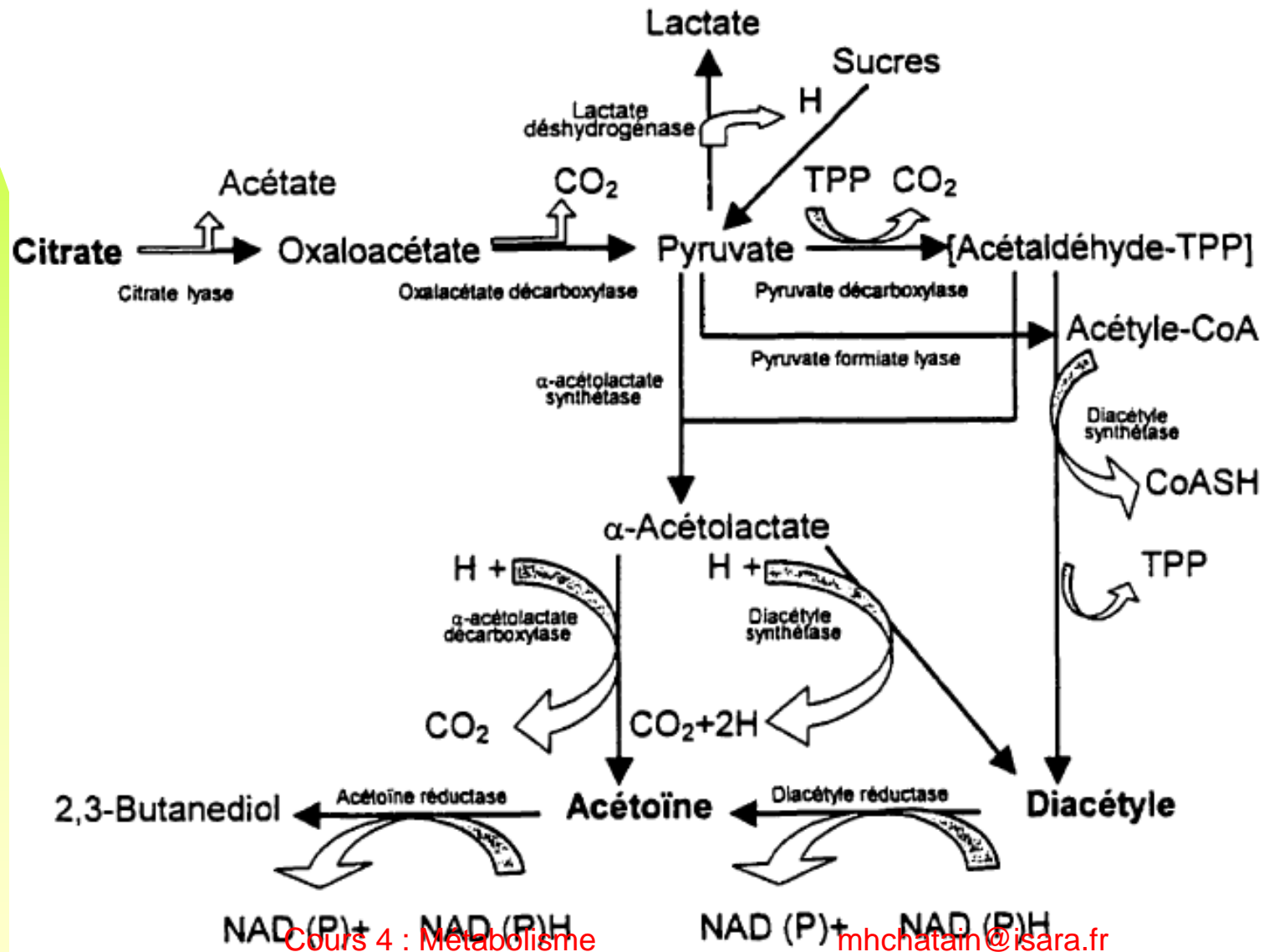
Catalase (décomposition rapide)

Résumé de Métabolisme des Glucides



Autre source de carbone

Métabolisme de Citrate



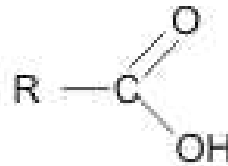
Catabolisme des lipides

Catabolisme des lipides

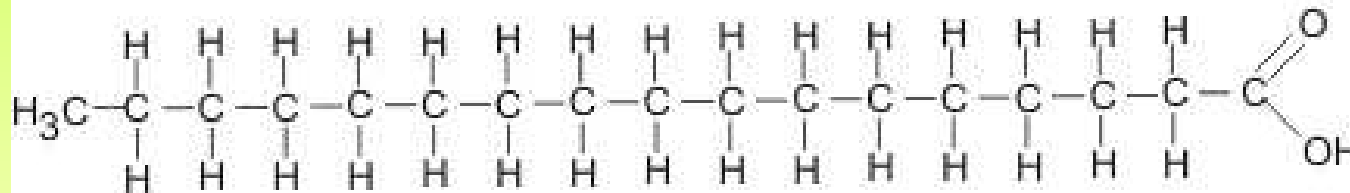
- **Source courante de lipides**
 - ◆ Acides gras
 - ◆ Triglycérides (Triacyglycérole)
 - ◆ Esters

Catabolisme des lipides

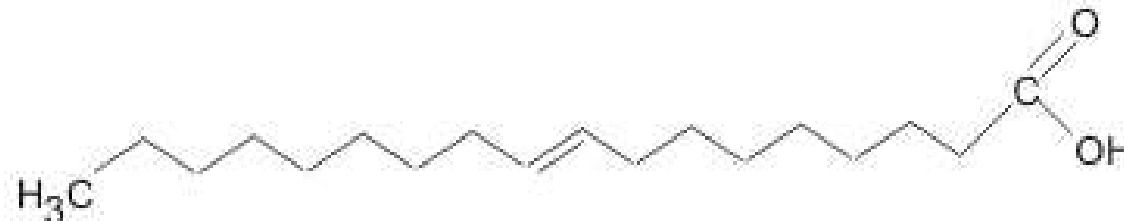
- Source courante de lipides
 - ◆ Acides gras



Formule générale des acides carboxyliques



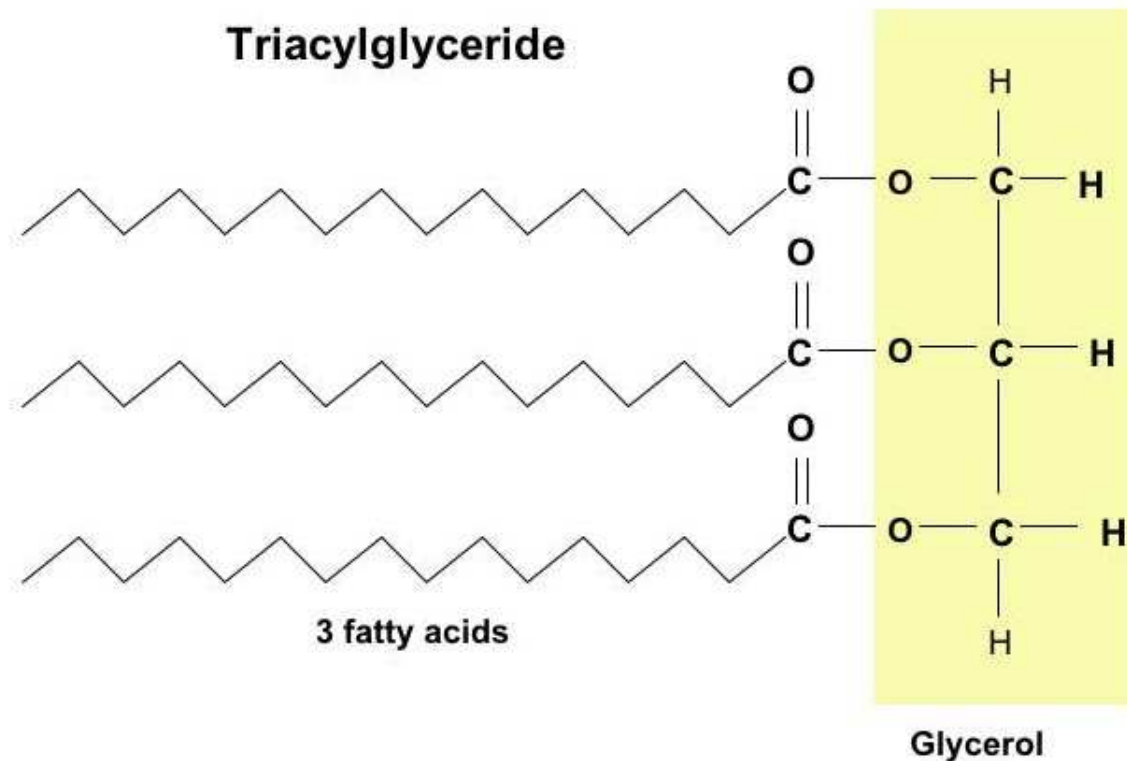
Formule développée d'un acide gras saturé (acide palmitique)



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

Catabolisme des lipides

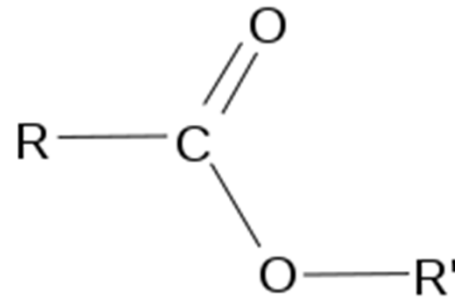
- Source courante de lipides
 - ◆ Triglycérides (Triacyglycérole)



Catabolisme des lipides

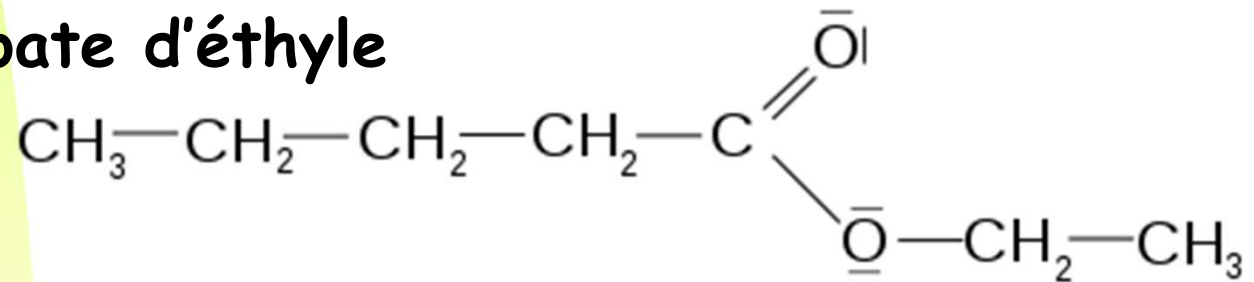
- Source courante de lipides

- ◆ Esters



Ester

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

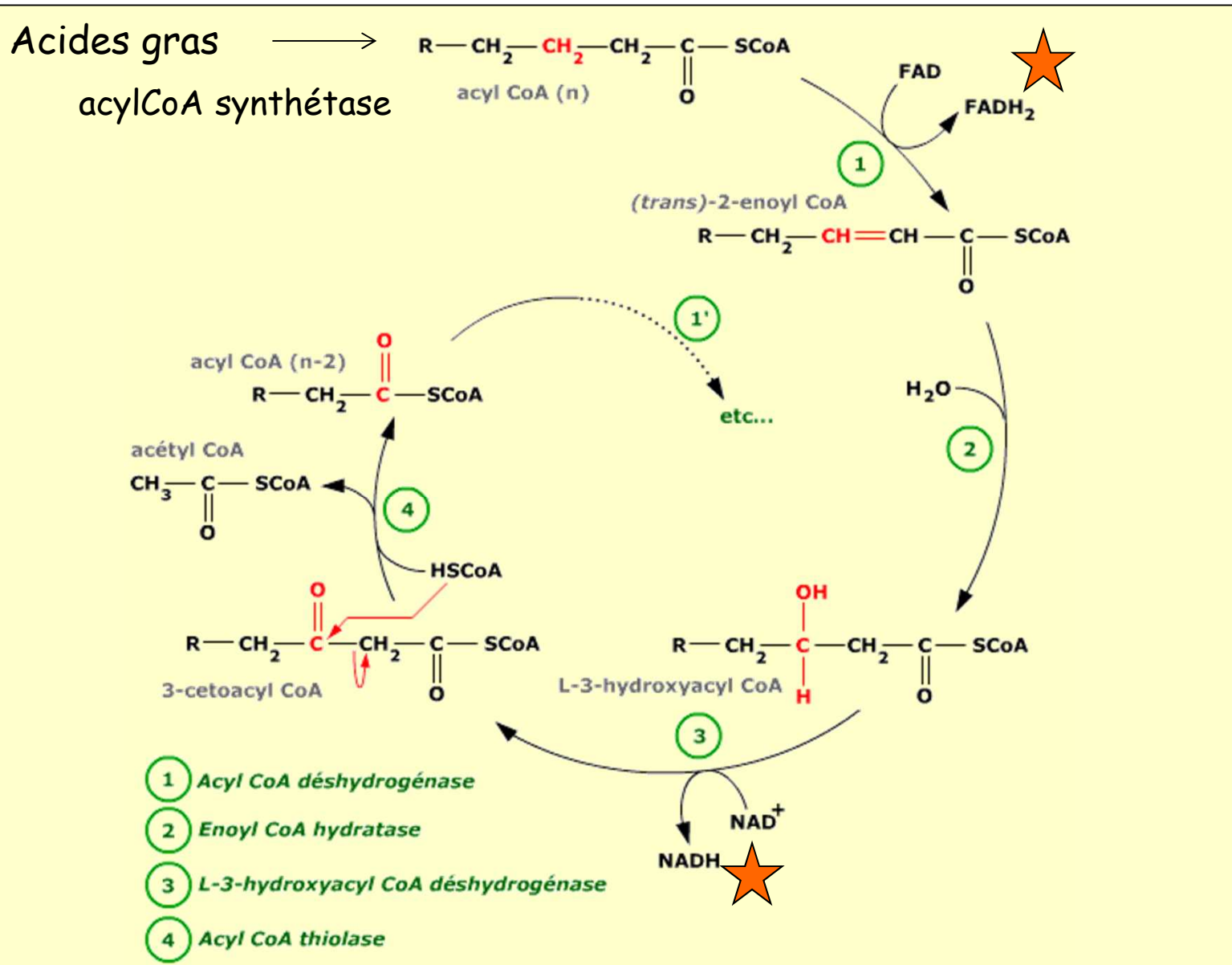
Dihydroxyacétones
phosphate

Voie β -oxydation

Voie glycolyse

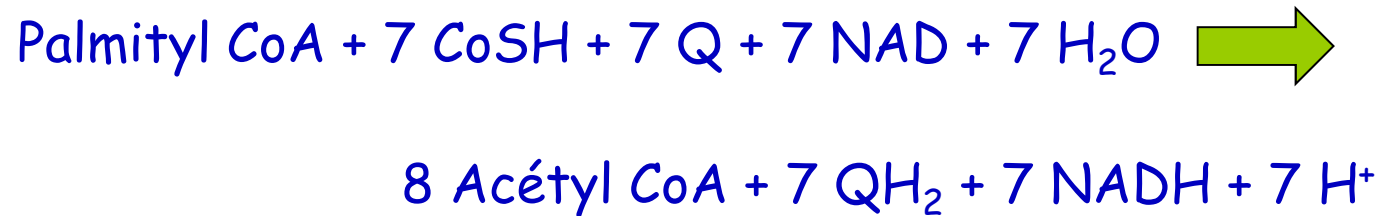
Catabolisme des lipides

La β -oxydation des acides gras



Catabolisme des lipides

Résultat en ATP

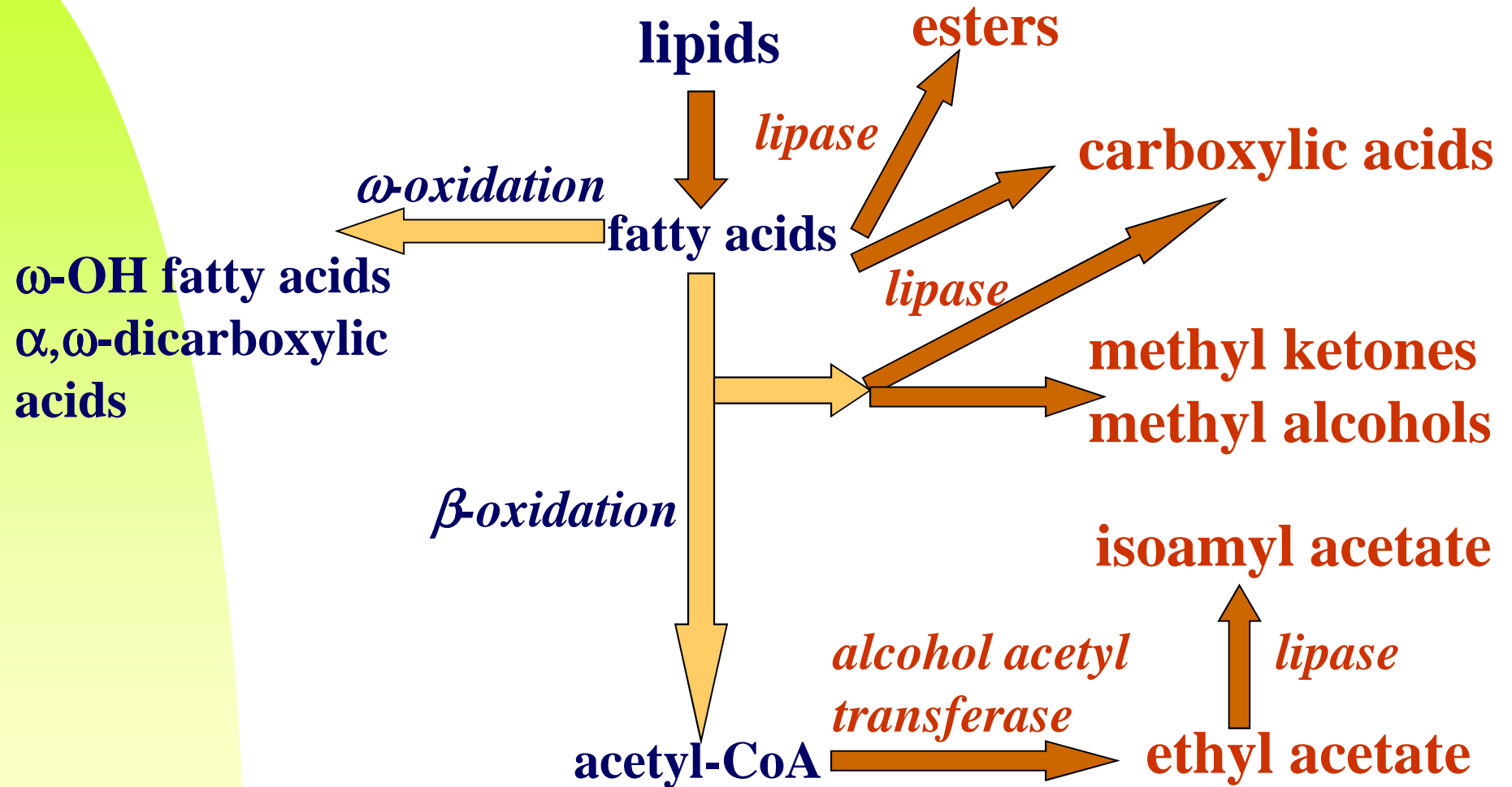


8 acétylCoA	96 ATP
7 QH ₂	14 ATP
7 NADH	<u>21 ATP</u>
	131 ATP
Activation d'un palmitate	<u>- 2 ATP</u>
Total	129 ATP

exemples

- Production d'arômes
- Dégradation des déchets
- Nettoyage

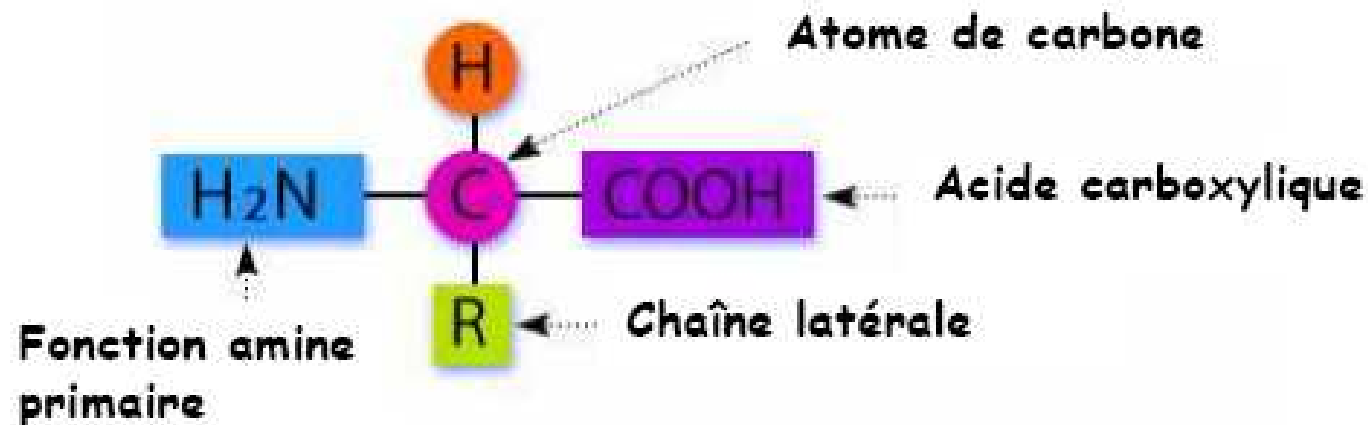
Exemple de production d'arômes



Catabolisme des protéines et des acides aminés

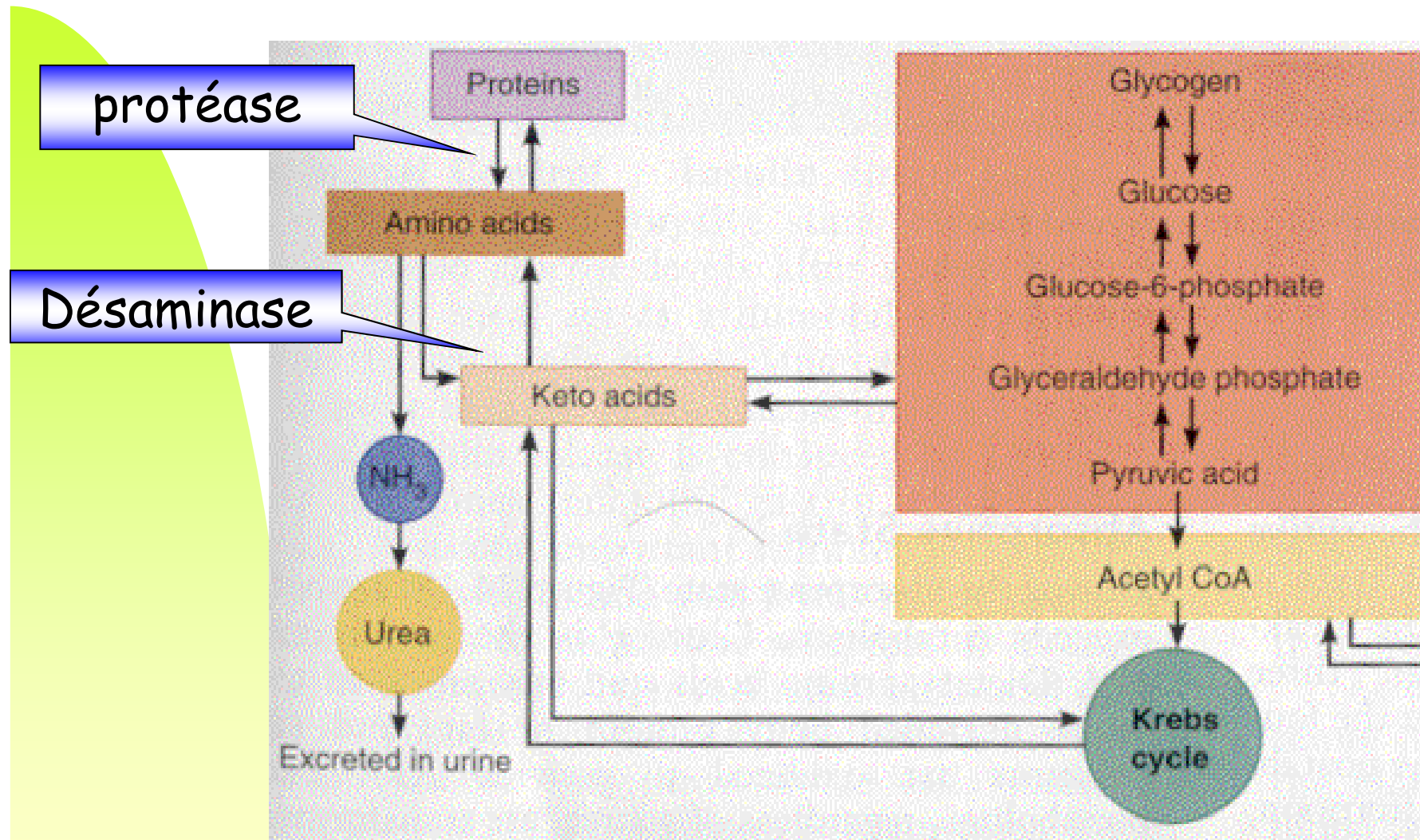
Catabolisme des protéines et des acides aminés

acides aminés

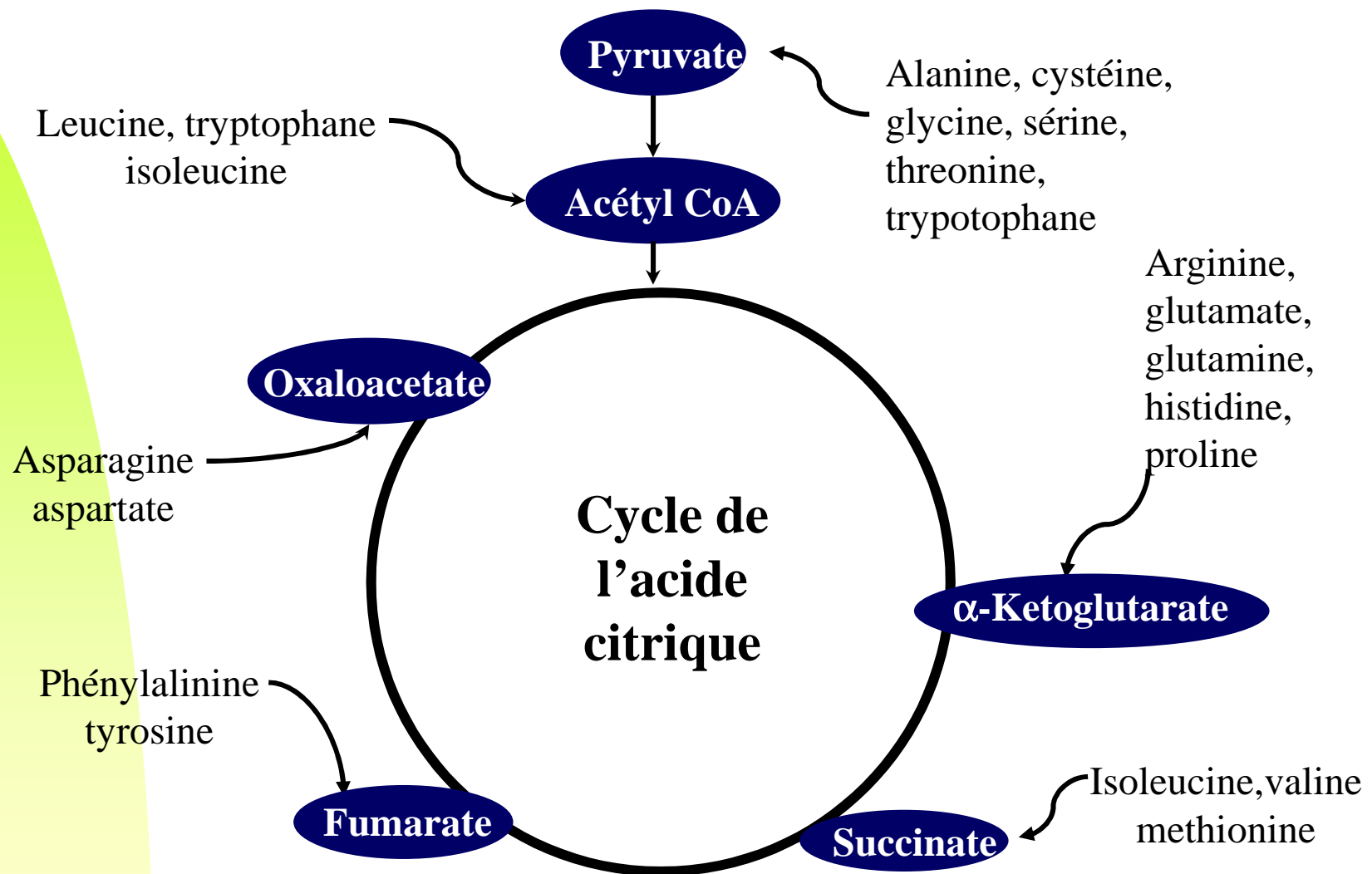


Une protéine est une macromolécule biologique composée par une ou plusieurs chaîne(s) d'acides aminés liés entre eux par des liaisons peptidiques

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