

Domaine SNV : Biologie, Agronomie, Science Alimentaire, Ecologie

www.facebook.com/pg/DomaineSNV

BIOCHIMIE MICROBIENNE :

Catabolisme des glucides et lipides

Domaine SNV : Biologie, Agronomie, Science Alimentaire, Ecologie

www.facebook.com/pg/DomaineSNV

Master 1

- INTRODUCTION

- Pour assurer sa croissance ou sa survie, une bactérie doit trouver dans son environnement de quoi satisfaire ses besoins nutritifs: sources d'énergie, de carbone, d'azote, etc...
- Ces éléments doivent être apportés dans un milieu où règnent des conditions physico-chimiques favorables (température, pH, pression osmotique, etc...).
- Ceux-ci vont subir diverses réactions métaboliques par la bactérie pour assurer son fonctionnement.



- Le métabolisme est l'ensemble des réactions biochimiques mises en jeu par un organisme pour permettre sa croissance
-
- Les réactions métaboliques peuvent être classées en deux catégories:
-
- - celles qui produisent de l'énergie: catabolisme.
-
- - celles qui consomment de l'énergie: anabolisme ou biosynthèse.
-

Définition métabolisme

Ensemble des réactions biochimiques mises en jeu par un organisme vivant =

anabolisme + catabolisme

Les diverses réactions métaboliques

- Réactions permettant la synthèse des molécules utiles : enzymes, coenzymes, molécules structurales

Réactions consommant de l'énergie : **réactions endergoniques**

- Réactions permettant la fourniture de l'énergie nécessaire : métabolisme énergétique

Réactions productrices d'énergie : **réactions exergoniques**

Médiateur énergétique entre réaction exergonique et réaction endergonique

Réaction productrice
d'énergie

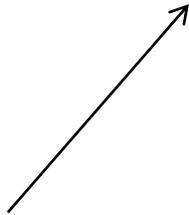
The diagram consists of a central title at the top. Below it, two yellow rectangular boxes are positioned. The left box contains the text 'Réaction productrice d'énergie' and has an arrow pointing from its top-right corner towards the word 'exergonique' in the title. The right box contains the text 'Réaction consommatrice d'énergie' and has an arrow pointing from its top-left corner towards the word 'endergonique' in the title.

Réaction
consommatrice
d'énergie

Principal médiateur : **ATP**

Intérêt de la connaissance des métabolismes

- Intérêt industriel
- Intérêt taxonomique



Connaissance de la réalisation de l'aptitude à réaliser certaines réactions biochimiques précises permet la classification et l'identification

- Connaissance des molécules produites par le microorganisme et utiles à l'homme après extraction du milieu (antibiotiques, acides, éthanol...)

- Conservation de certaines denrées par acidification et fabrication d'aliments (fromages, vin, bière, pain.....)

1- Le métabolisme énergétique

2- Les principes des réactions de biosynthèse

1- Le métabolisme énergétique : production d'ATP

- Une bactérie, pour qu'elle puisse synthétiser ses constituants et se déplacer, doit dépenser de l'énergie.
- Cette énergie est procurée soit par photosynthèse (cas des bactéries photosynthétiques) soit par des réactions biochimiques d'oxydoréduction.
-
- On définit alors deux types trophiques:

Les deux grandes voies de production d'énergie

- La phototrophie

Caractéristique des organismes vivants qui tirent leur énergie à partir de la lumière par photosynthèse.

- La chimiotrophie

Caractéristique des organismes vivants qui tirent leur énergie de l'oxydation de certains composés chimiques sans utilisation de l'énergie lumineuse :

- par respiration
- par fermentation

Vont être envisagés :

- un aperçu de la photosynthèse
- les grandes voies de la chimiotrophie

1-1- Aperçu de la photosynthèse

Concerne les plantes et algues vertes, les Cyanophycées et certaines bactéries comme les Thiorhodaceae et Athiorhodaceae

- **1-1-1- Bilan global de la photosynthèse**



1-1-2- Origine du dioxygène produit lors de la photosynthèse



Bilan : Les atomes d'oxygène d'O₂ :

- proviennent des molécules d'eau
- ne proviennent pas des molécules de dioxyde de carbone.

1-1-3- Réactions ayant lieu lors de la photosynthèse

Les deux phases de la photosynthèse

- Phase **lumineuse** (phase nécessitant des photons)

Phase au cours de laquelle :

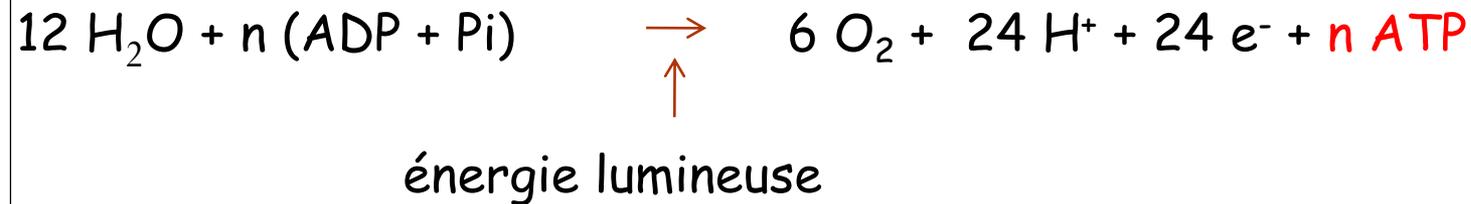
- l'énergie lumineuse est captée et transformée en énergie chimique
- il y a production d' O₂

- Phase **obscur** (phase ne nécessitant pas de photons)

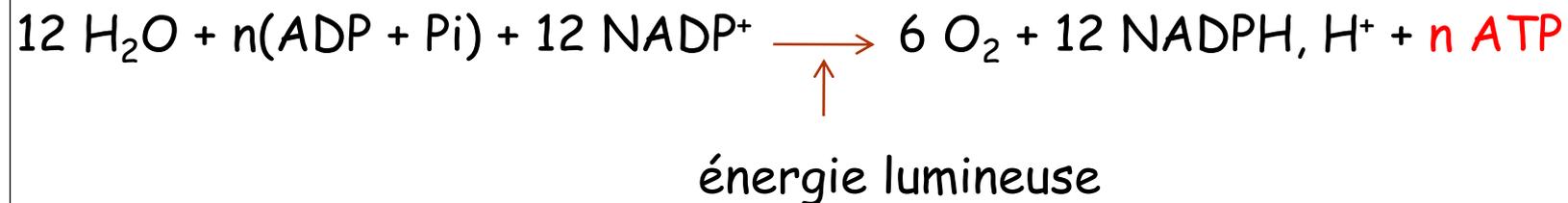
Phase au cours de laquelle :

- l'énergie chimique est utilisée pour réduire le CO₂
- il y a synthèse des constituants cellulaires

Phase lumineuse : phase au cours de laquelle il y a production d'O₂ et d'ATP



Bilan :



Phase lumineuse : phase au cours de laquelle il y a production d'O₂ et d'ATP

Constituants indispensables pour qu'il y ait absorption de l'énergie lumineuse et transformation en énergie chimique :

- **pigments** situés dans la membrane bactérienne ou dans les chloroplastes des algues
- essentiellement **chlorophylles**
- éventuellement **caroténoïdes**.

Phase **obscure** : phase au cours de laquelle le NADPH, H⁺ et l'ATP produits sont utilisés pour la réduction du CO₂ en molécules organiques (glucose, amidon...)



- **Chez les bactéries photosynthétiques, il n'existe pas de chloroplastes; la bactériochlorophylle est dispersée dans le cytoplasme sous forme de chromatophores.**
- **On peut résumer leur photosynthèse comme suit:**
- **Lumière**
- **$CO_2 + 2RH_2 \rightarrow (CH_2O) + 2R + H_2O$**
- **RH_2 est le donneur d'électrons.**

- Chez les bactéries, le donneur d'électrons n'est jamais H₂O ; sa nature chimique permet de distinguer deux types trophiques. Il peut être:
 - - minéral → **photolithotrophie**
 -
 - - organique → **photoorganotrophie**

- Pendant la photosynthèse, deux types de réactions ont lieu (schéma ci-après):
- - l'énergie lumineuse est absorbée par les pigments chlorophylliens, puis transformée en énergie de liaison (ATP) grâce à un système de transfert des électrons (light reaction).
-
- - réactions de biosynthèse (dark reaction) pendant lesquelles l'énergie stockée sous forme d'ATP est utilisée pour les biosynthèses bactériennes effectuées à partir du CO₂ (ou de composés organiques).

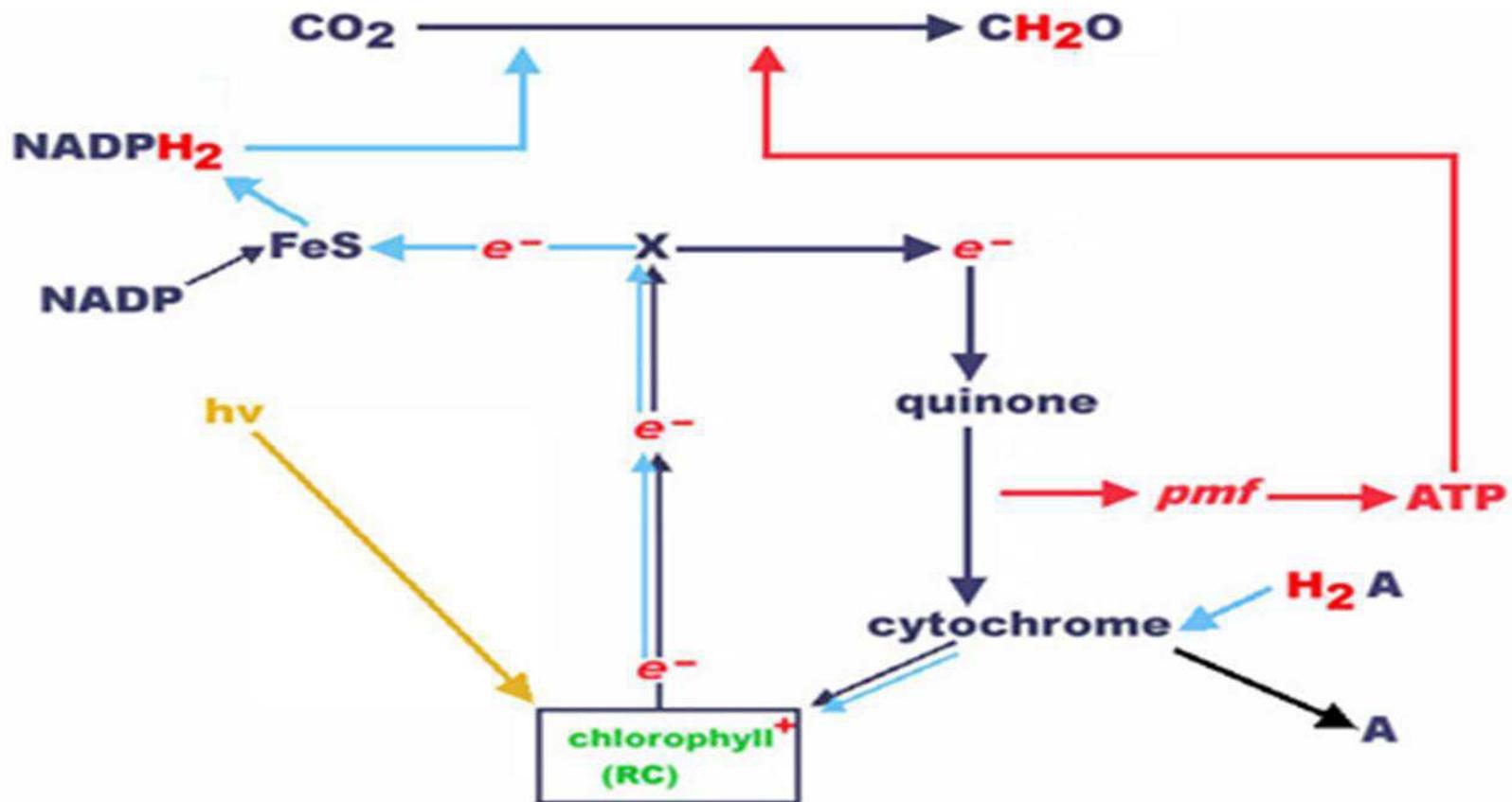


Schéma montrant le couplage des réactions de photosynthèse

pmf: proton motive force; H₂A: donneur externe d'électrons; X: ferredoxine

- **Photolithotrophes**



- Elles sont anaérobies strictes et utilisent les sulfures ou H_2 comme donneurs d'électrons. L'oxydation des sulfures produit des grains de soufre qu'on trouve dans le cytoplasme bactérien. On rencontre deux familles:



- - *Chlorobacteriaceae* (bactéries vertes sulfureuses)



- - *Thiorodaceae* (bactéries pourpres sulfureuses).

- **Photoorganotrophes**
-
- - *Athiorodaceae* (bactéries pourpres non sulfureuses).
-
- Elles utilisent, comme leur nom l'indique, des substrats organiques comme donneurs d'électrons.
-
- Dans la plupart des cas, la photosynthèse n'est pas obligatoire; à l'obscurité, les bactéries deviennent chimioorganotrophes.

1-2- Les grandes voies de la chimiotrophie

Concerne les Levures, les Moisissures et la grande majorité des Bactéries

- **1-2-1- Principe général**
- La majorité des bactéries rencontrées dans la nature sont dépourvues de pigments chlorophylliens et sont par conséquent incapables de faire la photosynthèse. Elles doivent donc se procurer de l'énergie à partir de réactions chimiques d'oxydoréduction.
- L'ATP est produit lors de deux types de réactions de phosphorylation.



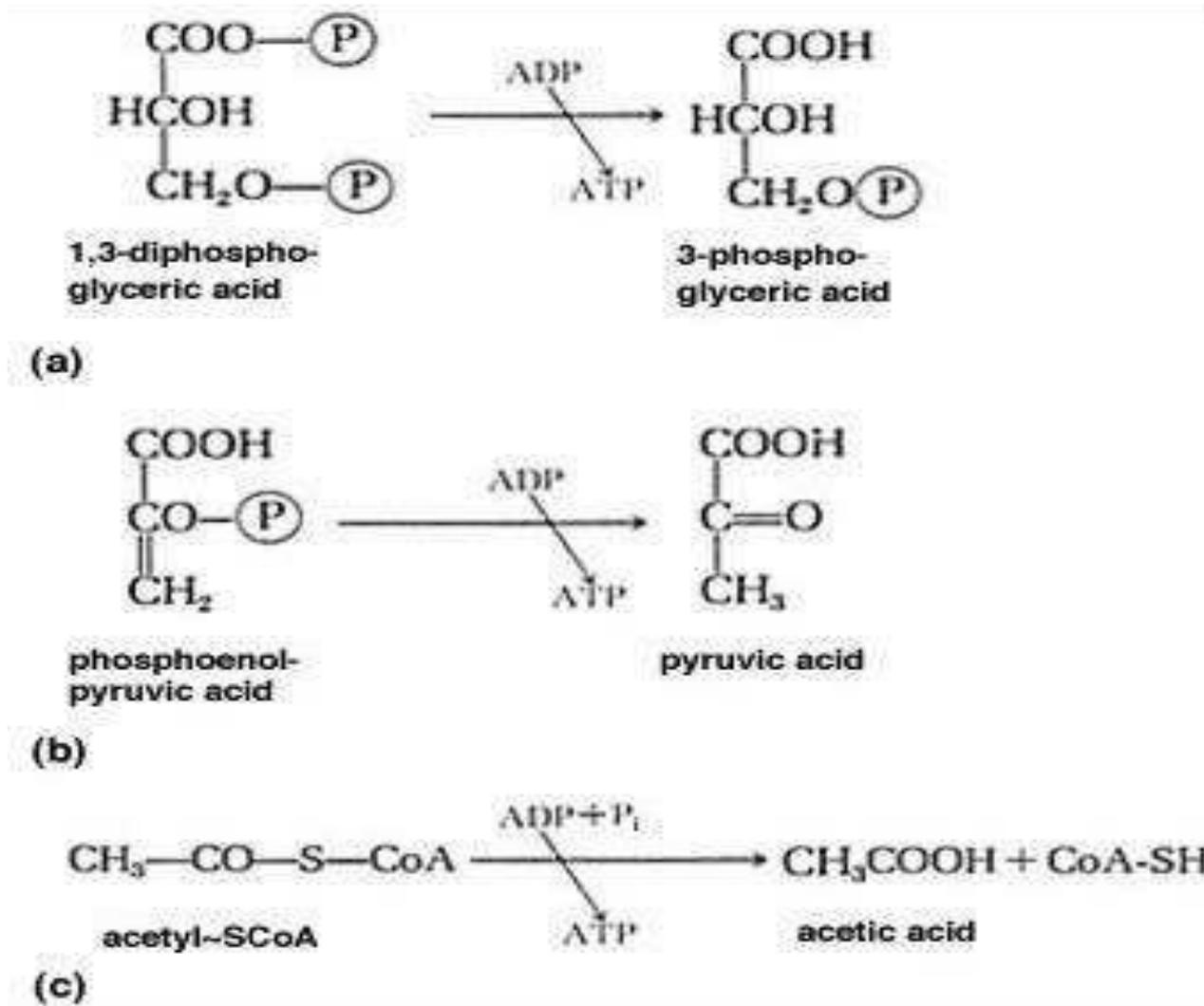
XH_2 : molécule réduite :

- glucide
- AA
- NH_4^+

Captation des H^+ et des e^- + libérés par l'oxydation par un coenzyme :

- NAD^+ transformé en NADH, H^+
- NADP^+ transformé en NADPH, H^+
- FAD transformé en FADH_2

Coenzymes présents en quantité limitée, donc nécessité de les réoxyder pour qu'ils puissent être réutilisés.



- Figure 4 : Exemples de réactions de phosphorylation au niveau du substrat rencontrées chez les bactéries

Mécanismes de réoxydation des coenzymes :

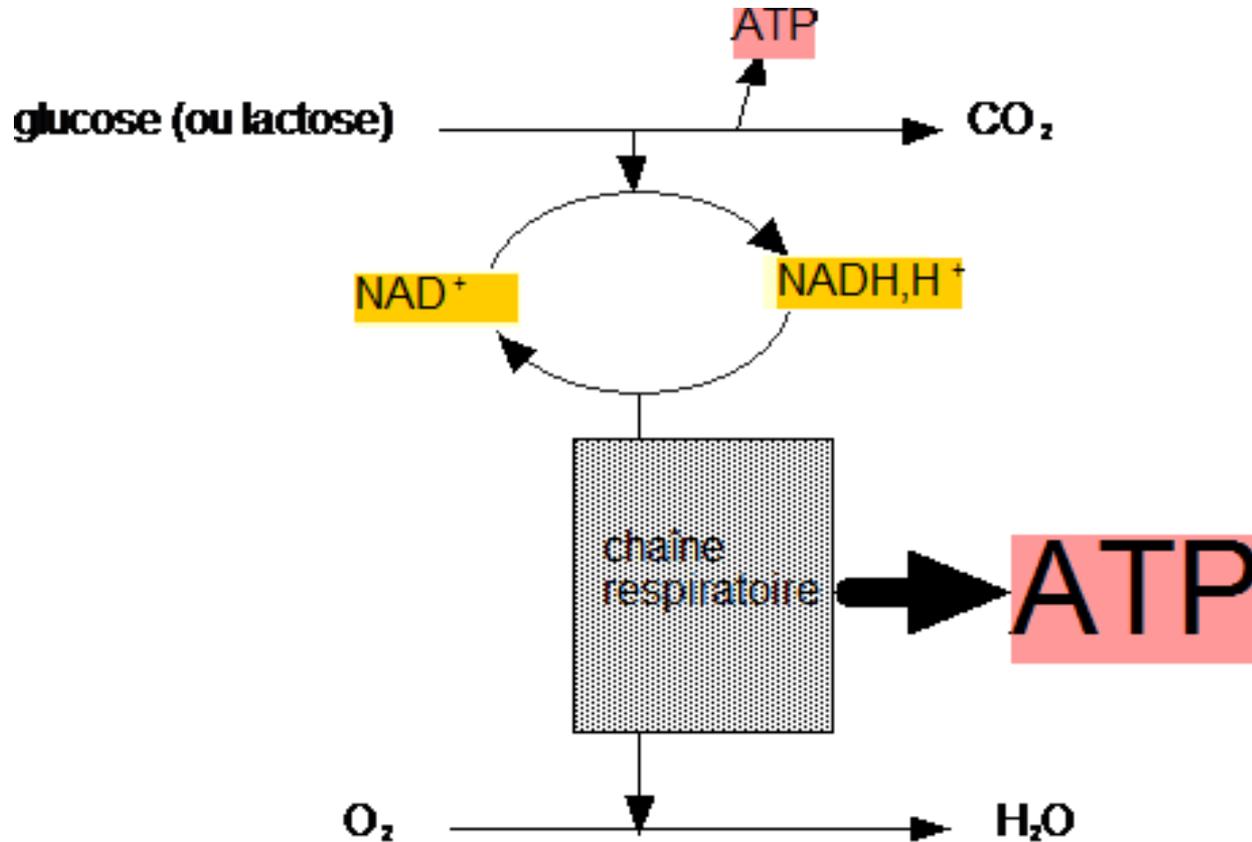
- transfert des électrons jusqu'à un accepteur terminal avec passage par une chaîne de transporteurs

Mécanisme de respiration

- pas de transfert par une chaîne de transporteurs, mais réduction immédiate d'une molécule organique interne (présente dans la cellule).

Mécanisme de fermentation

Schéma général de la respiration



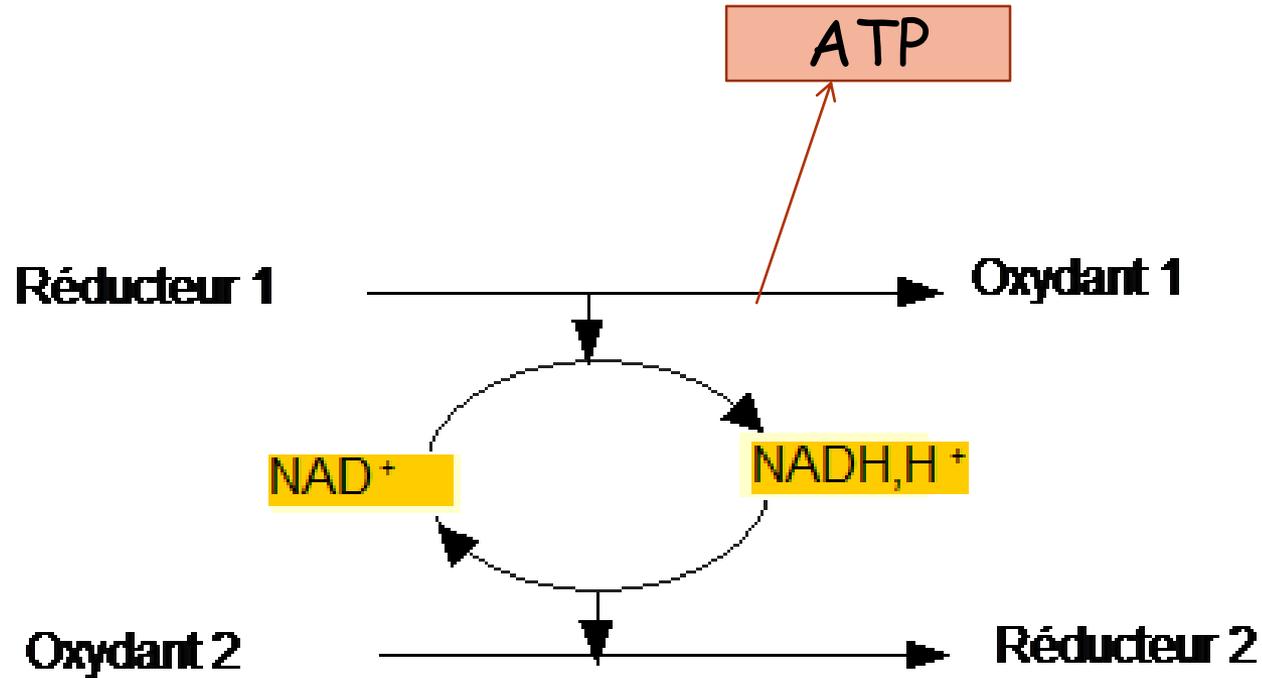
Définition de la respiration

Processus énergétique :

- dont le point de départ est l'oxydation d'une molécule ce qui libère des électrons pris en charge par un coenzyme qui se trouve ainsi réduit,
- et au cours duquel **la réoxydation des coenzymes réduits met en jeu une chaîne de transporteurs** avant la réduction d'un accepteur final, le plus souvent minéral, ce qui permet la production d'une grande quantité d'ATP.

- Accepteur final (oxydant 2) =
 - O_2 : respiration aérobie
 - autre composé minéral (NO_3^- , NO_2^- , SO_4^{2-} , CO_2 ...) : respiration anaérobie
 - Parfois molécule organique comme fumarate

Schéma général de la fermentation



Définition de la fermentation

Processus énergétique :

- dont le point de départ est l'oxydation d'une molécule ce qui libère des électrons pris en charge par un coenzyme qui se trouve ainsi réduit,
- et au cours duquel la réoxydation des coenzymes réduits s'effectue directement sans passage par une chaîne de transporteurs, l'accepteur des électrons étant une molécule organique.

1-2-2- Quelques voies d'oxydation de XH_2
si XH_2 est le glucose

Principale voie métabolique utilisée par les microorganismes pour oxyder le glucose : **la glycolyse** (ou voie d'Embden Meyerhof Parnas)

Le devenir des produits (acide pyruvique et coenzymes réduits) de cette voie catabolique diffère selon que le métabolisme est respiratoire ou fermentatif.

Autres voies possibles :

- Le cycle des pentoses phosphates (ou voie des hexoses monophosphates)
- La voie d'Entner Doudoroff.

1-2-3- Etude détaillée de la respiration

Réducteur 1

ATP

Oxydant 1

e^-

Deux mécanismes possibles de synthèse de l'ATP :

- au niveau des réactions,
- par la chaîne respiratoire

NAD^+

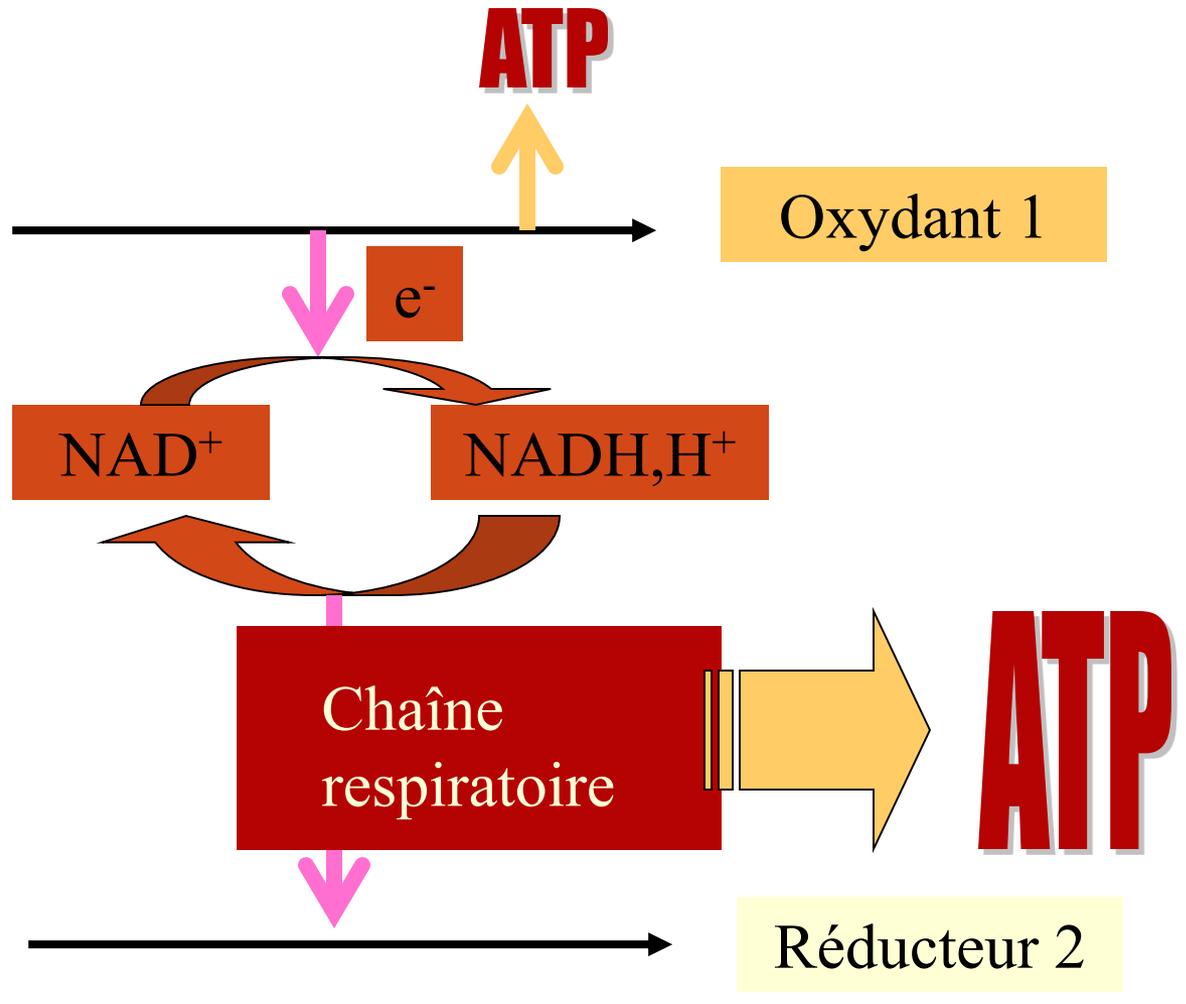
$NADH, H^+$

Chaîne respiratoire

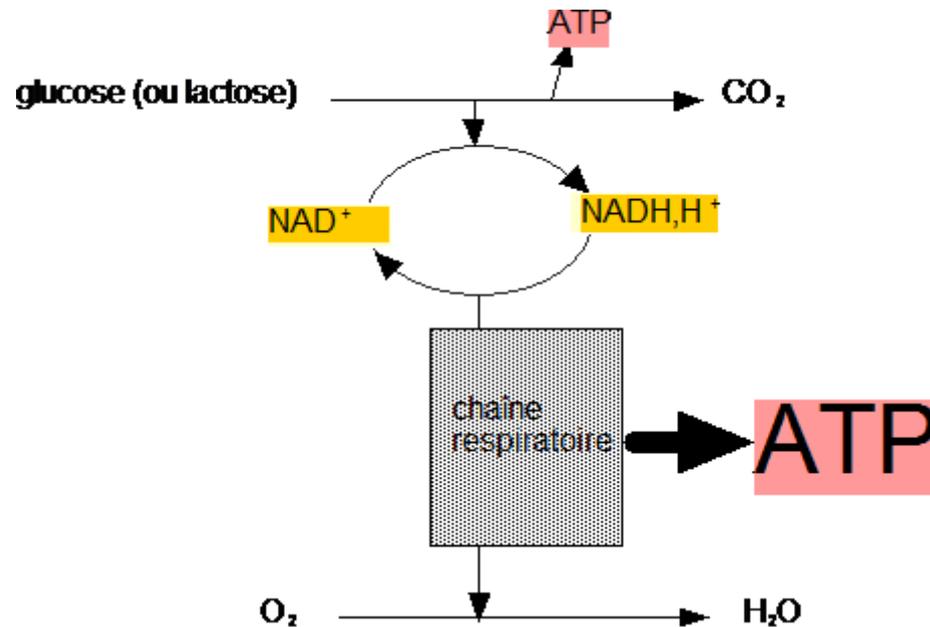
ATP

Oxydant 2

Réducteur 2



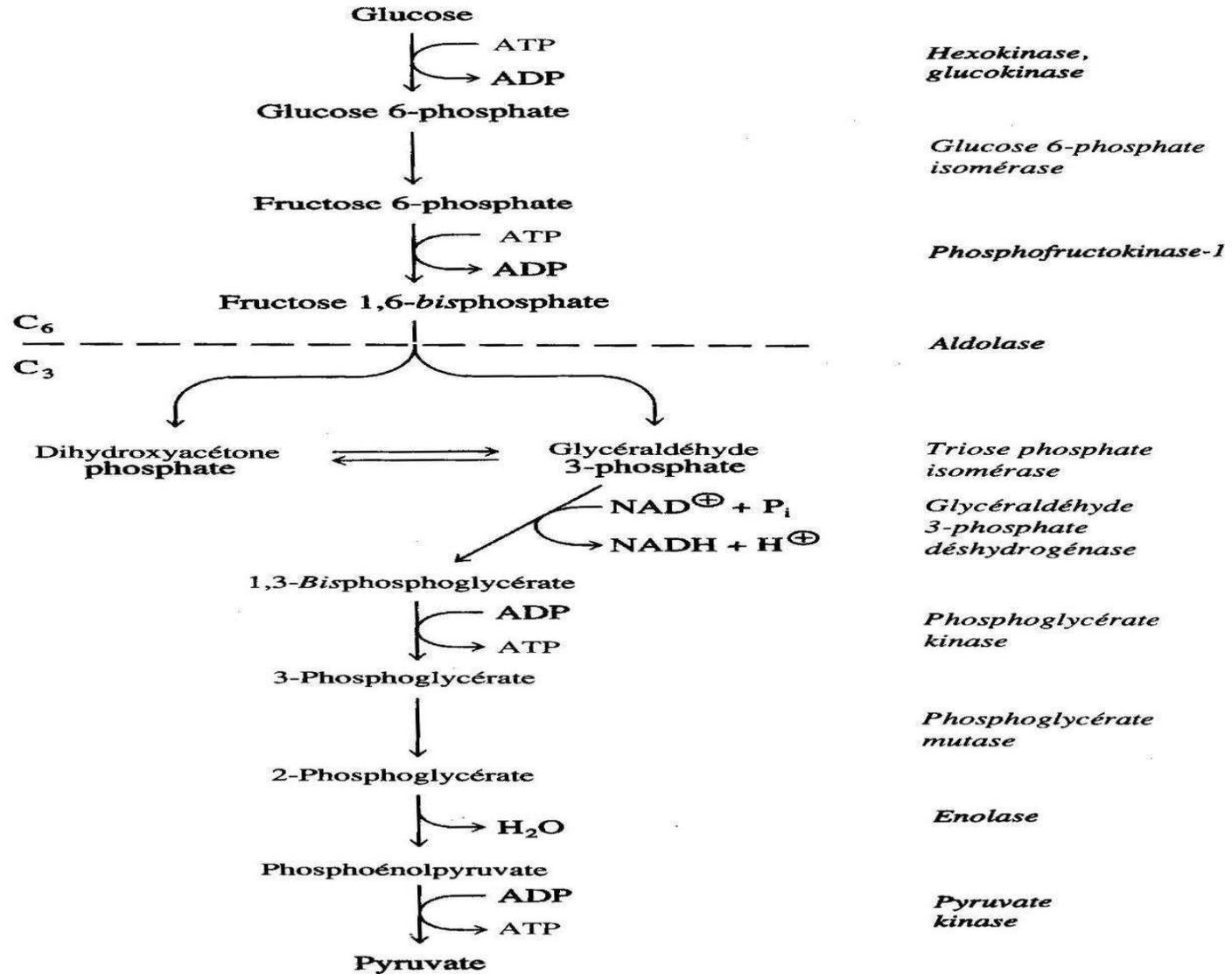
Rappel du schéma général



Les trois grands temps

- Oxydation du glucose par **la glycolyse**
- Oxydation complète du pyruvate formé **par décarboxylation puis cycle de Krebs**
- Réoxydation des coenzymes réduits (par les électrons libérés lors des 2 temps précédents) par transfert au niveau d'une **chaîne respiratoire.**

1-2-3-1- Rappel concernant la glycolyse



Bilan de la glycolyse :



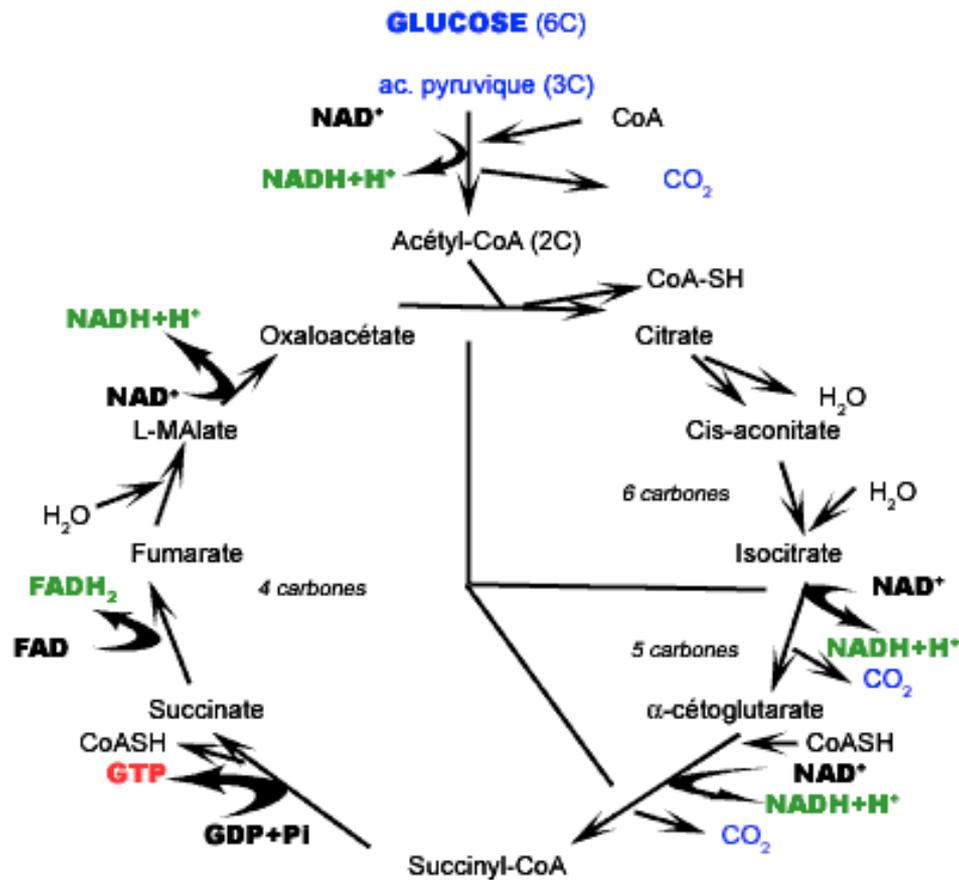
Glycolyse : séquence de 10 réactions ne nécessitant pas d'O₂

- qui transforme le glucose en 2 pyruvate
- produit 2 ATP et réduit 2 NAD +
- produit des éléments de construction pour la synthèse des composés cellulaires.

Devenir du pyruvate ou décarboxylation du pyruvate

appelée aussi voie de EMBDEN-MEYERHOF, elle s'effectue dans le cytoplasme.

1-2-3-2- Rappel concernant la décarboxylation du pyruvate et le cycle de Krebs



Les enzymes catalysant les réactions de cette voie d'oxydation complète de l'acide pyruvique sont situées essentiellement dans le cytoplasme.

L'acide pyruvique est finalement oxydé jusqu'au stade CO_2 (dioxyde de carbone) :

- une molécule d'ATP par molécule d'acide pyruvique oxydée
- et des coenzymes réduits supplémentaires sont produits (4 $\text{NADH}+\text{H}^+$ et 1 FADH_2).

Tous les coenzymes réduits produits pour oxyder le glucose jusqu'au stade CO_2 sont alors réoxydés au niveau d'une chaîne respiratoire **permettant une production supplémentaire d'ATP par phosphorylation oxydative** :

- utilisation d'une chaîne membranaire de transporteurs d'électrons
- et d'une ATP synthétase.

1-2-3-3- La respiration aérobie

Permet :

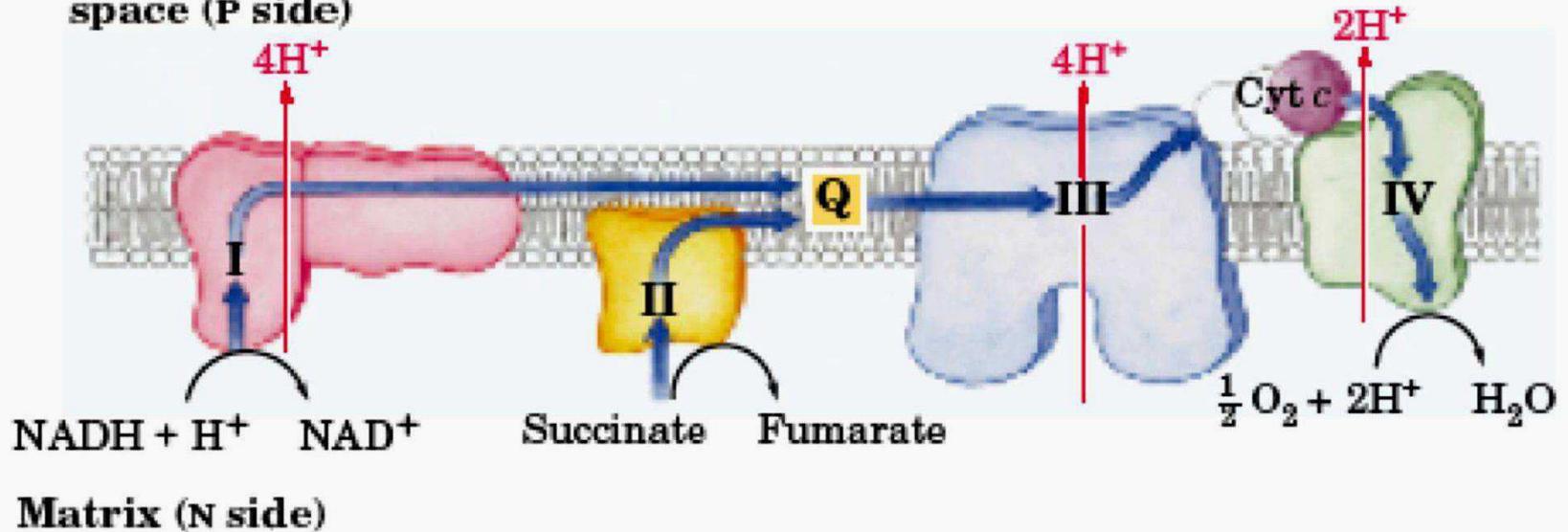
- la **réoxydation des coenzymes réduits** par le transfert des électrons au niveau d'une chaîne respiratoire vers le dioxygène
- la **production d'une grande quantité d'ATP.**

Les chaînes de transport des électrons sont :

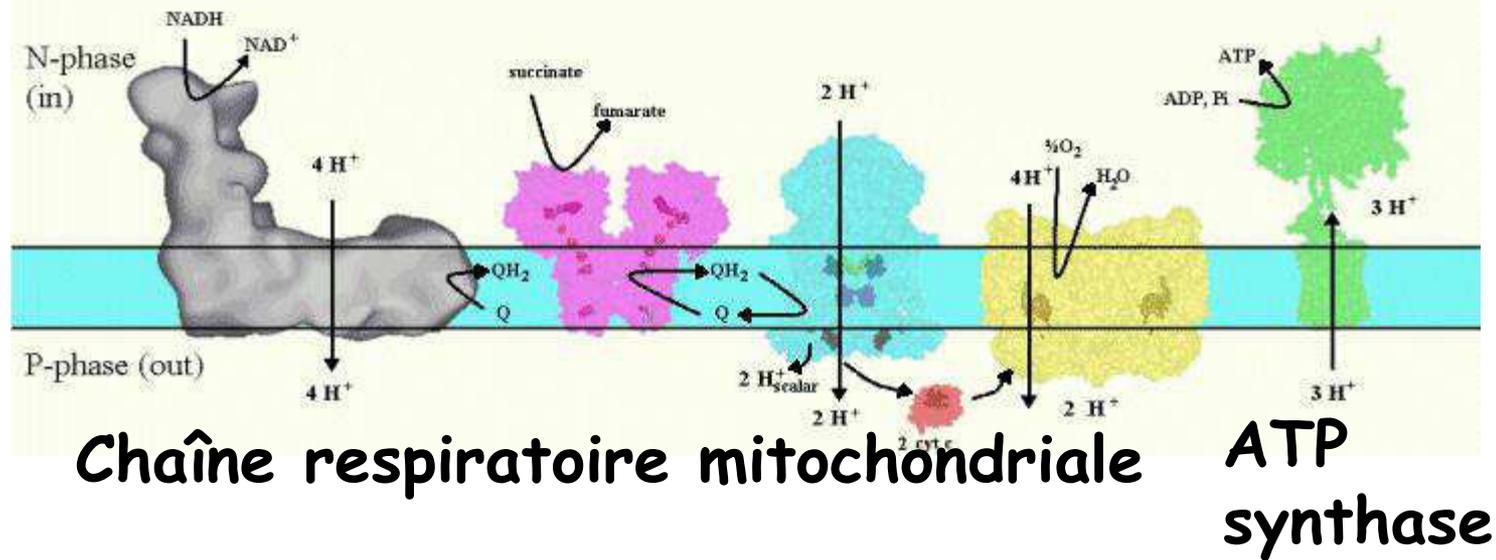
- situées dans la **membrane plasmique des bactéries** et dans les **mitochondries des levures et des moisissures**
- constitués de composés dont les potentiels d'oxydo réduction sont tels que chaque membre peut être réduit par la forme réduite du composé précédent
- constitués de composés qui, certains, transportent des électrons et des protons et d'autres qui ne transportent que des électrons

Chaîne respiratoire mitochondriale des eucaryotes

Intermembrane space (P side)



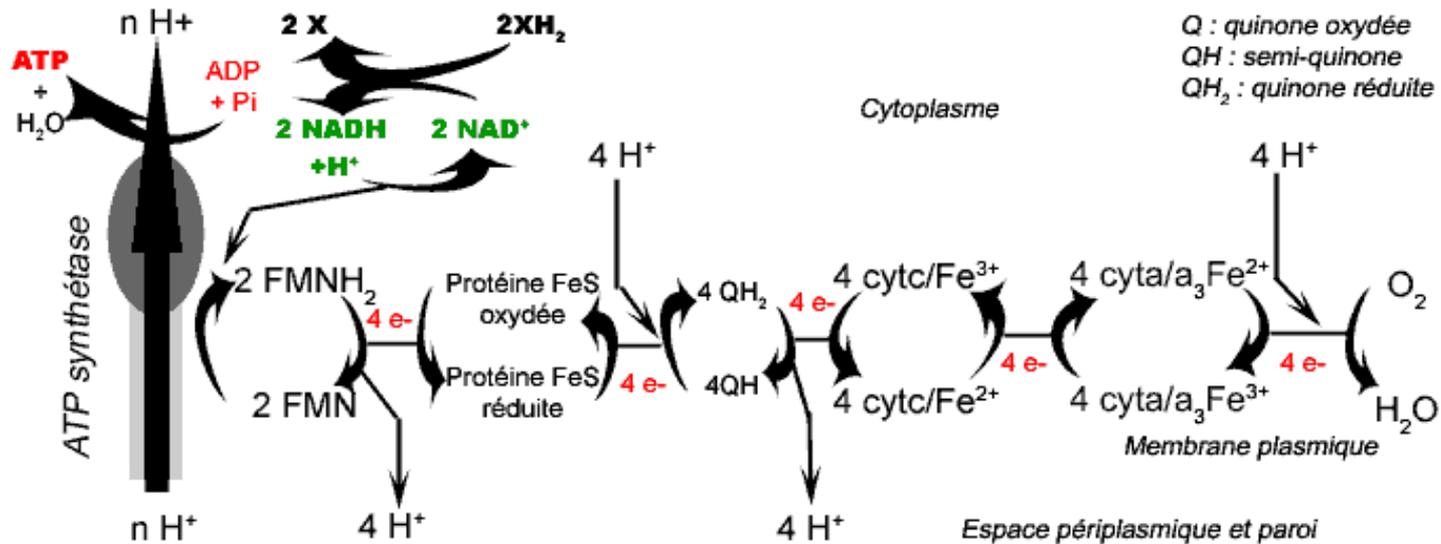
A titre indicatif



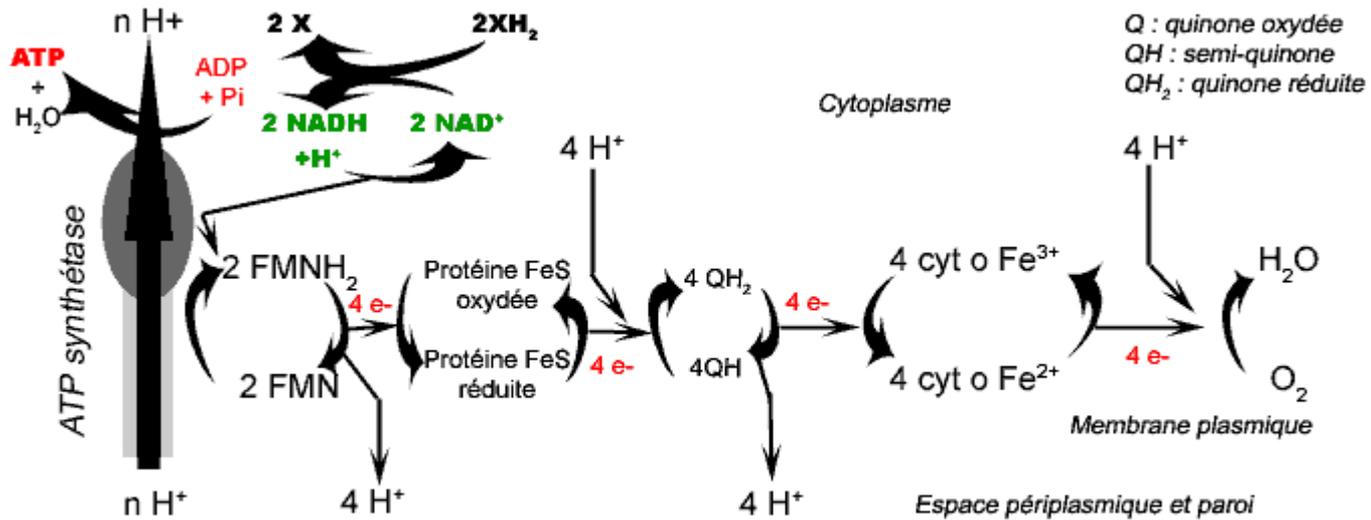
Chaîne respiratoire membranaire des bactéries

Chez les bactéries la composition en cytochromes de la chaîne respiratoire est très différente de celle des eucaryotes et varie en fonction de l'espèce et même pour une espèce donnée en fonction des conditions de culture.

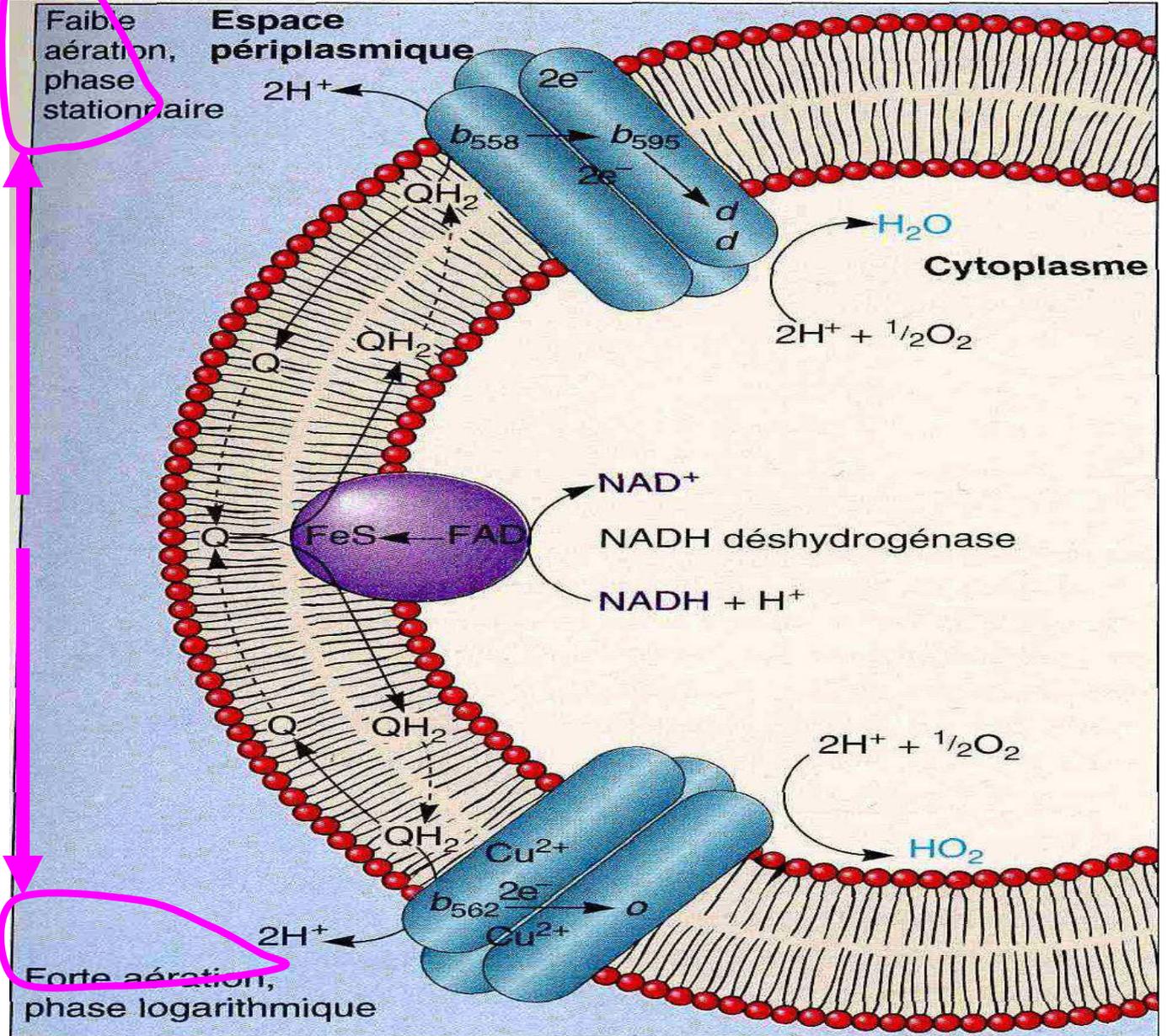
Exemple de chaîne respiratoire des bactéries oxydase +



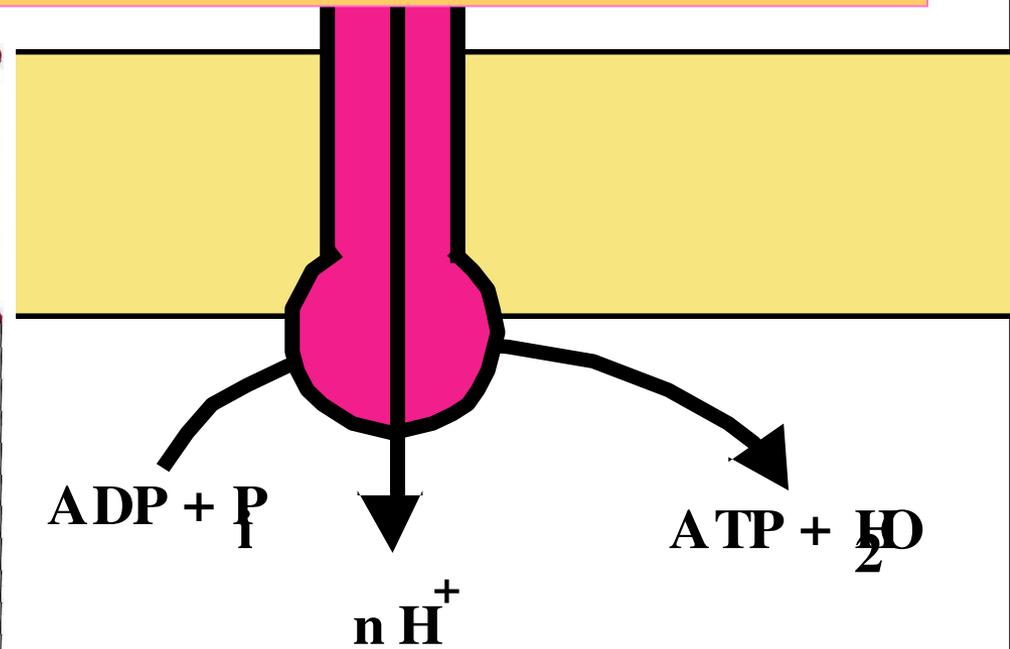
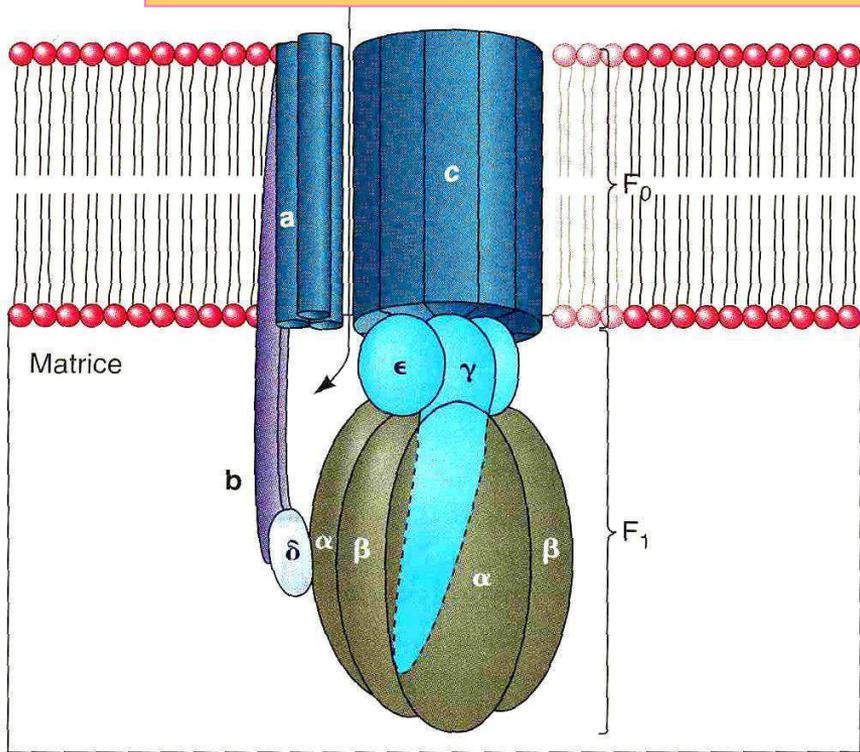
Exemple de chaîne respiratoire des bactéries oxydase -



E. coli



ATP Synthase



Structure et fonction de l'ATP synthase. (a)

L'ATP synthase

- Est située sur la face interne de la membrane plasmique
- A une structure complexe
- Divers mécanismes d'action sont proposés pour expliquer la formation d'ATP :
 - Exemple : les protons en passant par le canal activeraient le groupement phosphate et permettrait la fixation du phosphore à l'ADP pour former l'ATP.

1-2-3-4- La respiration anaérobie

1-2-3-4-1- Définition

Processus **producteur d'énergie en anaérobiose** dans lequel la réoxydation des coenzymes réduits met en jeu une **chaîne de transporteurs d'électrons** où l'accepteur terminal d'électrons est une **molécule minérale autre que O_2** (ou éventuellement le fumarate).

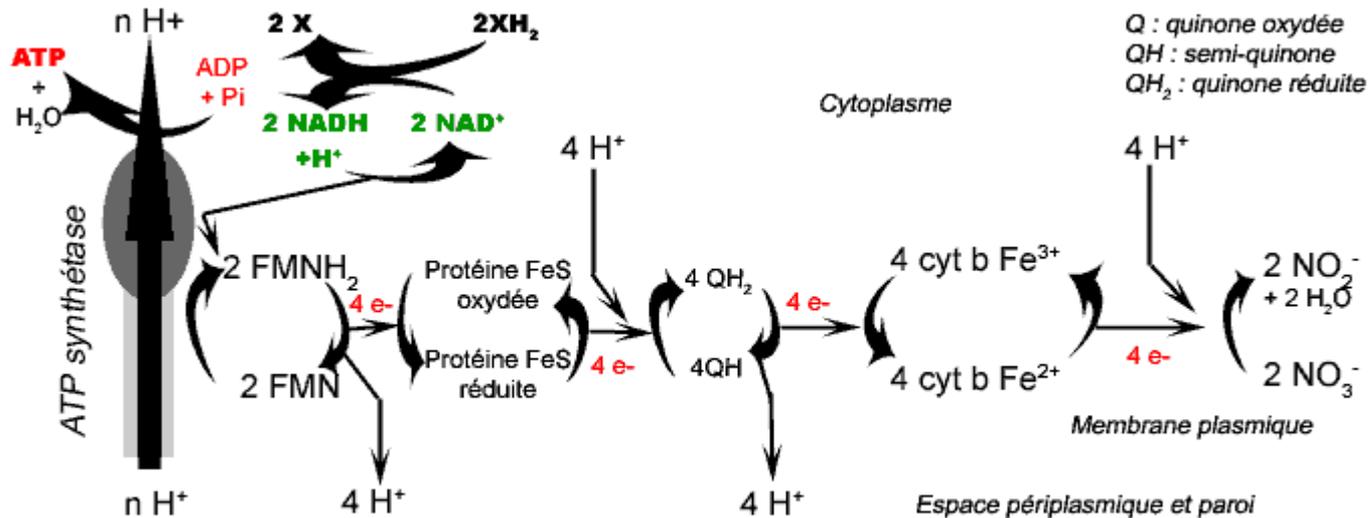
1-2-3-3- La respiration aérobie

1-2-3-4-2- Les divers accepteurs terminaux d'électrons

	Produits réduits	Exemples de microorganismes
NO_3^- NO_3^- SO_4^{2-} Fe^{3+}	NO_2^- NO_2^- , N_2 S^{2-} Fe^{2+}	Entérobactéries <i>Pseudomonas</i> <i>Desulfovibrio</i> <i>Pseudomonas</i> <i>Bacillus</i>

1-2-3-4- La respiration anaérobie

1-2-3-4-3- Exemple de la respiration nitrate



- Les nitrates sont réduits en nitrites par la nitrate réductase A qui remplace la cytochrome oxydase de la respiration aérobie.
- Remarque : les nitrites formés sont toxiques et donc plus souvent réduits en diazote.
Comme par les *Pseudomonas* par exemple qui :
 - - en présence d'O₂ réalisent une respiration aérobie
 - - en absence d'O₂ se procurent leur énergie par respiration nitrate.

1-2-3-5- Bilan énergétique de la respiration

1-2-3-5-1- La respiration aérobie

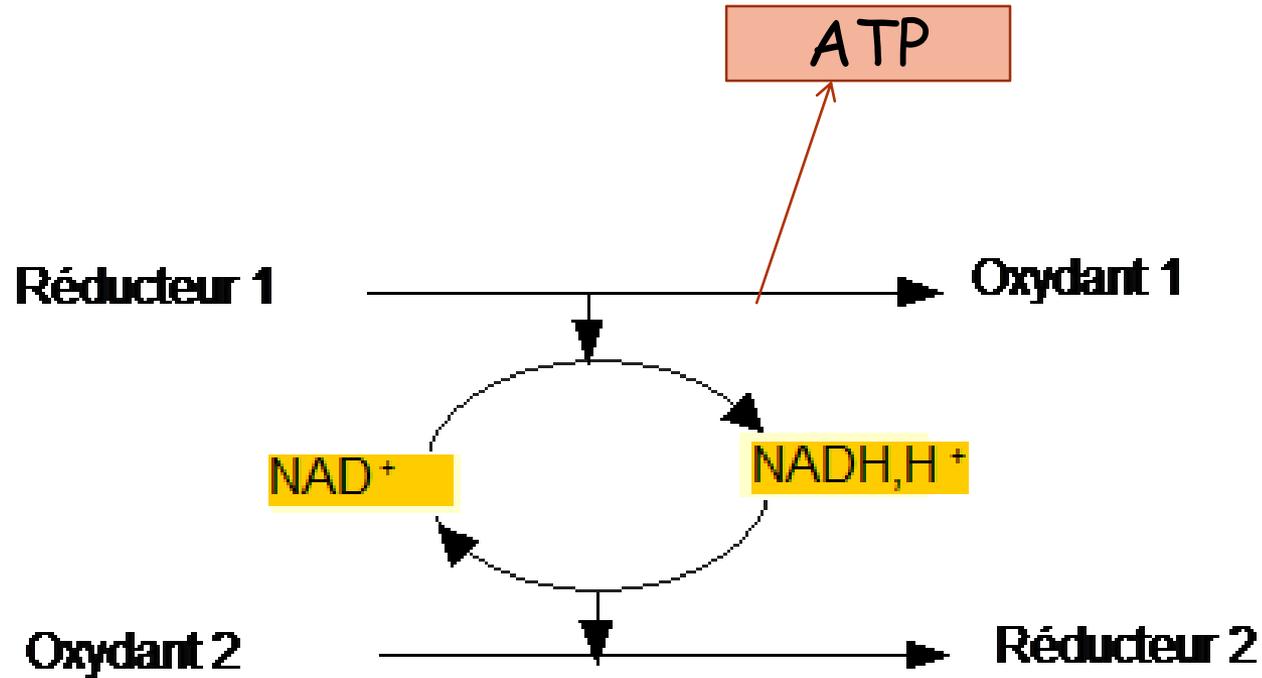
-Chez les eucaryotes : 38 ATP par mole de glucose

-Chez les bactéries : un peu plus faible que 38 ATP par mole de glucose, mais de toute façon plus que par fermentation

Conséquence : lorsqu'il y a passage d'anaérobiose en aérobie, les microorganismes passent d'un mécanisme fermentatif à un mécanisme respiratoire, ce qui leur permet de moins dégrader de glucides = **effet Pasteur**

1-2-4- Etude des fermentations

Schéma général de la fermentation

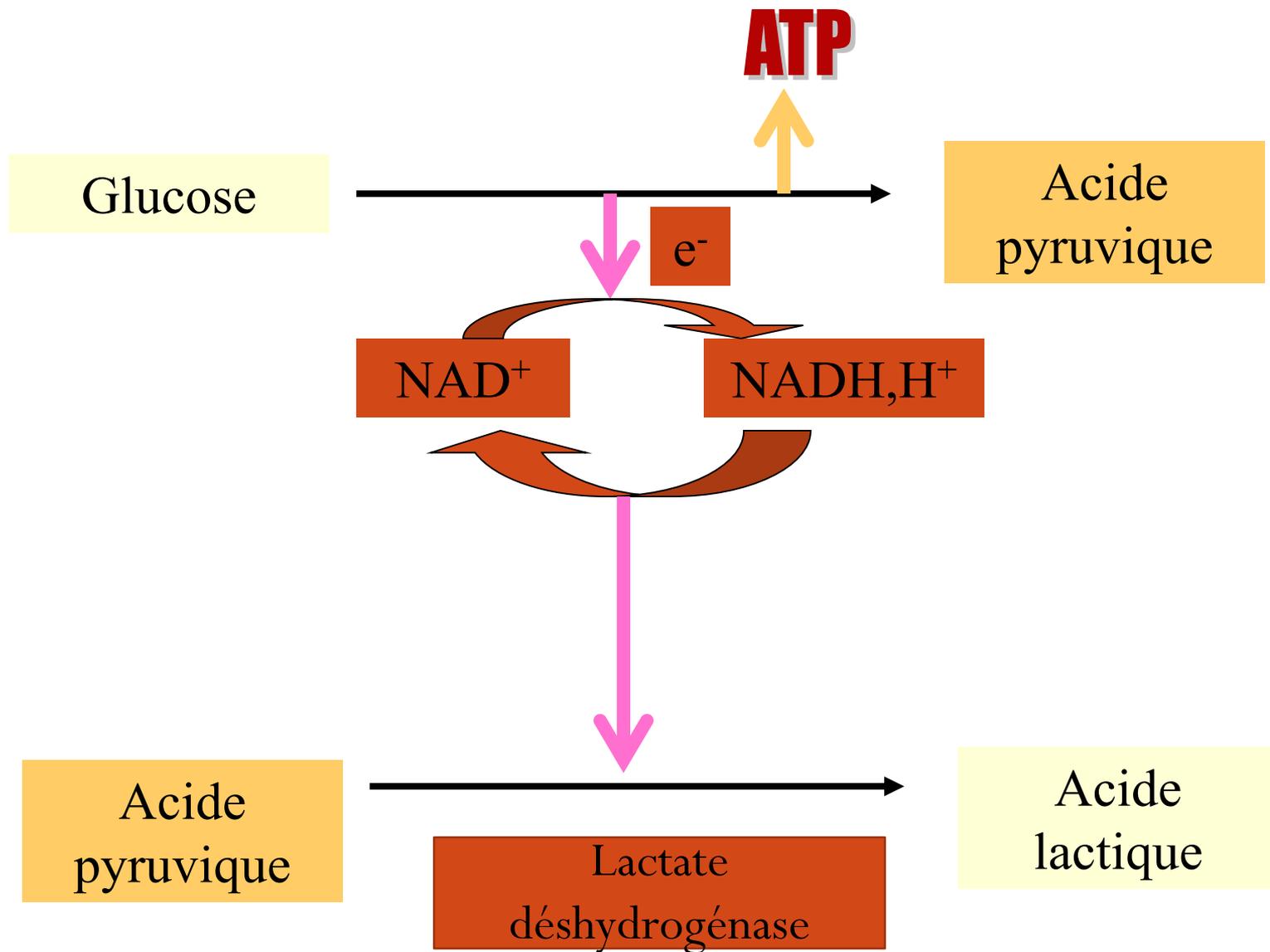


Rappel de la définition de la fermentation

Processus énergétique :

- dont le point de départ est l'oxydation d'une molécule ce qui libère des électrons pris en charge par un coenzyme qui se trouve ainsi réduit,
- et au cours duquel la réoxydation des coenzymes réduits s'effectue directement sans passage par une chaîne de transporteurs, l'accepteur des électrons étant une molécule organique.

1-2-4-1- La fermentation lactique a/ schéma



Réalisation de la fermentation lactique par

- de nombreuses bactéries
 - * bactéries lactiques (*Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus*)
 - * *Bacillus*
- des algues
- quelques moisissures

Applications :

- fabrication de yaourt
- fabrication de fromage
- fabrication de choucroute

1-2-4-1- La fermentation lactique

b/ les 2 groupes de bactéries réalisant des fermentations lactiques

- les bactéries **homolactiques** (homofermentaires)
- les bactéries **hétérolactiques** (hétérofermentaires)

- Bactéries **homolactiques** (homofermentaires)



Bactéries ne réoxydant ses coenzymes qu'en réduisant tout le pyruvate en lactate, donc ne réalisant aucune autre fermentation et ne formant donc aucun produit de fermentation autre que le lactate

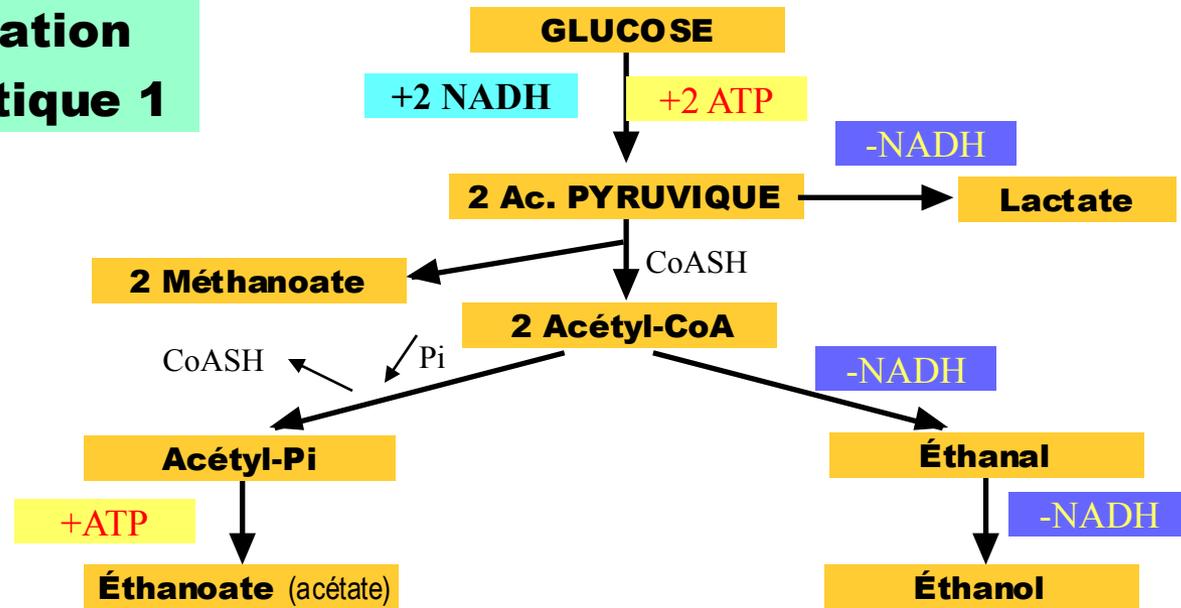
- Bactéries **hétérolactiques** (hétérofermentaires)



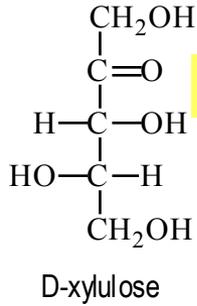
Bactéries réoxydant ses coenzymes en réduisant une partie du pyruvate en lactate, et le reste selon d'autres voies de fermentation, formant donc du lactate ainsi que d'autres produits de fermentation (éthanol, CO_2 , butane diol...)

Hétérolactique 1

Fermentation hétérolactique 1



Fermentation hétérolactique 2



Pentoses

GLUCOSE

-ATP
Glucose-6-P

+NADH
Gluconate-6-P

+NADH **CO₂**

Ribulose-5-P

Xylulose-5-P

Pi

Glycéraldéhyde 3-P

Acétyl-Pi

Phosphocétolase (TPP)

+NADH
1-3 diP-glycérate

+ATP
3-P-glycérate

2-P-glycérate

PEP

+ATP
Pyruvate

-NADH

Lactate

-NADH

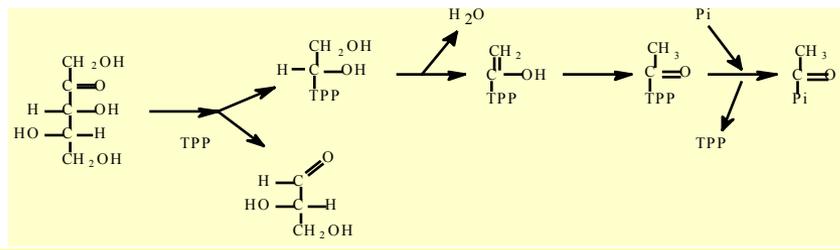
Éthanal

-NADH

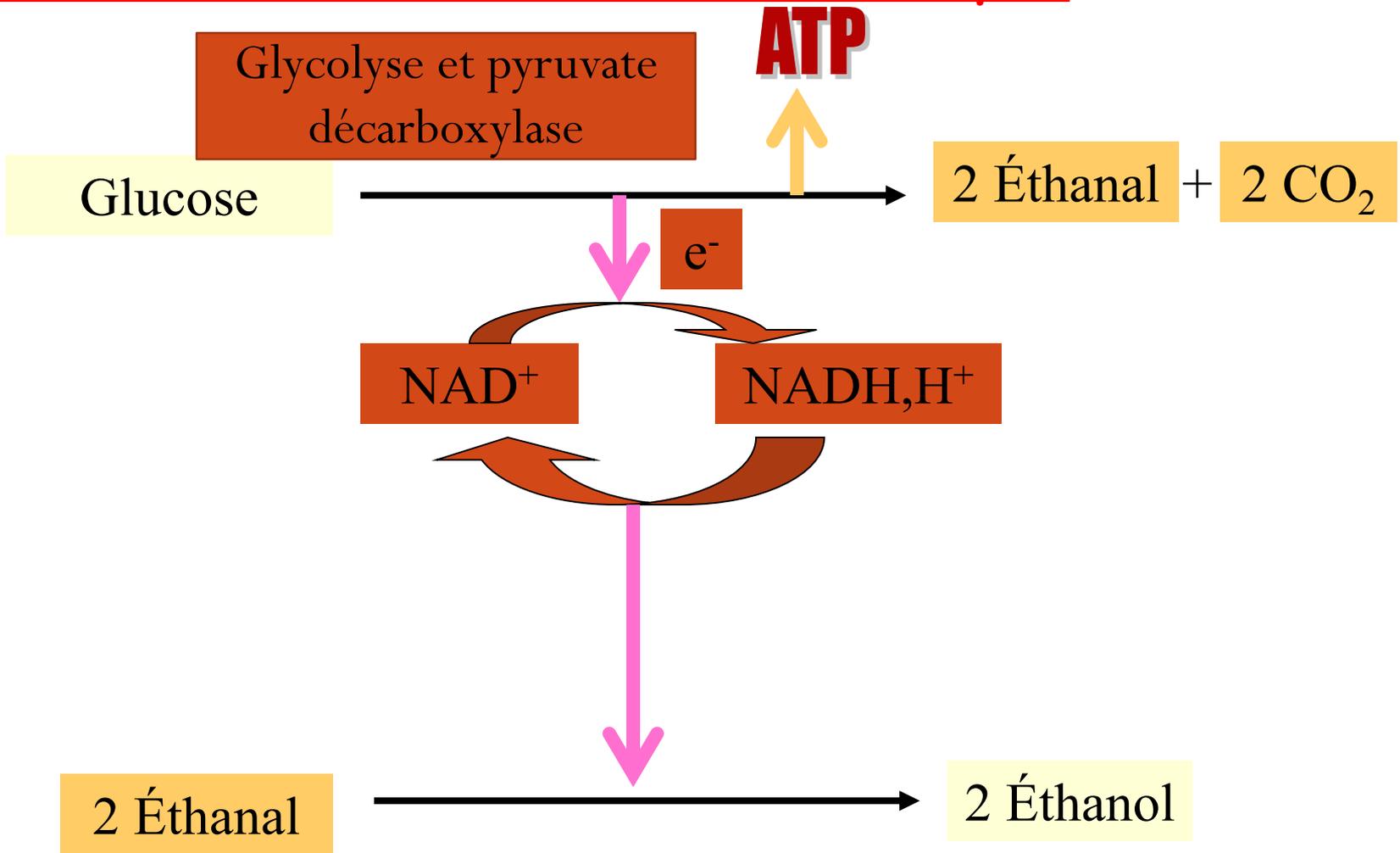
Éthanol

+ATP

Éthanoate (acétate)



1-2-4-2- La fermentation éthanolique



Réalisation de la fermentation éthanolique par :

- de nombreux mycètes (*Saccharomyces cerevisiae* dans le pain, *Saccharomyces* dans la bière, levures dans le vin)
- quelques bactéries

1-2-4-3- Quelques autres fermentations complexes a/ la fermentation propionique

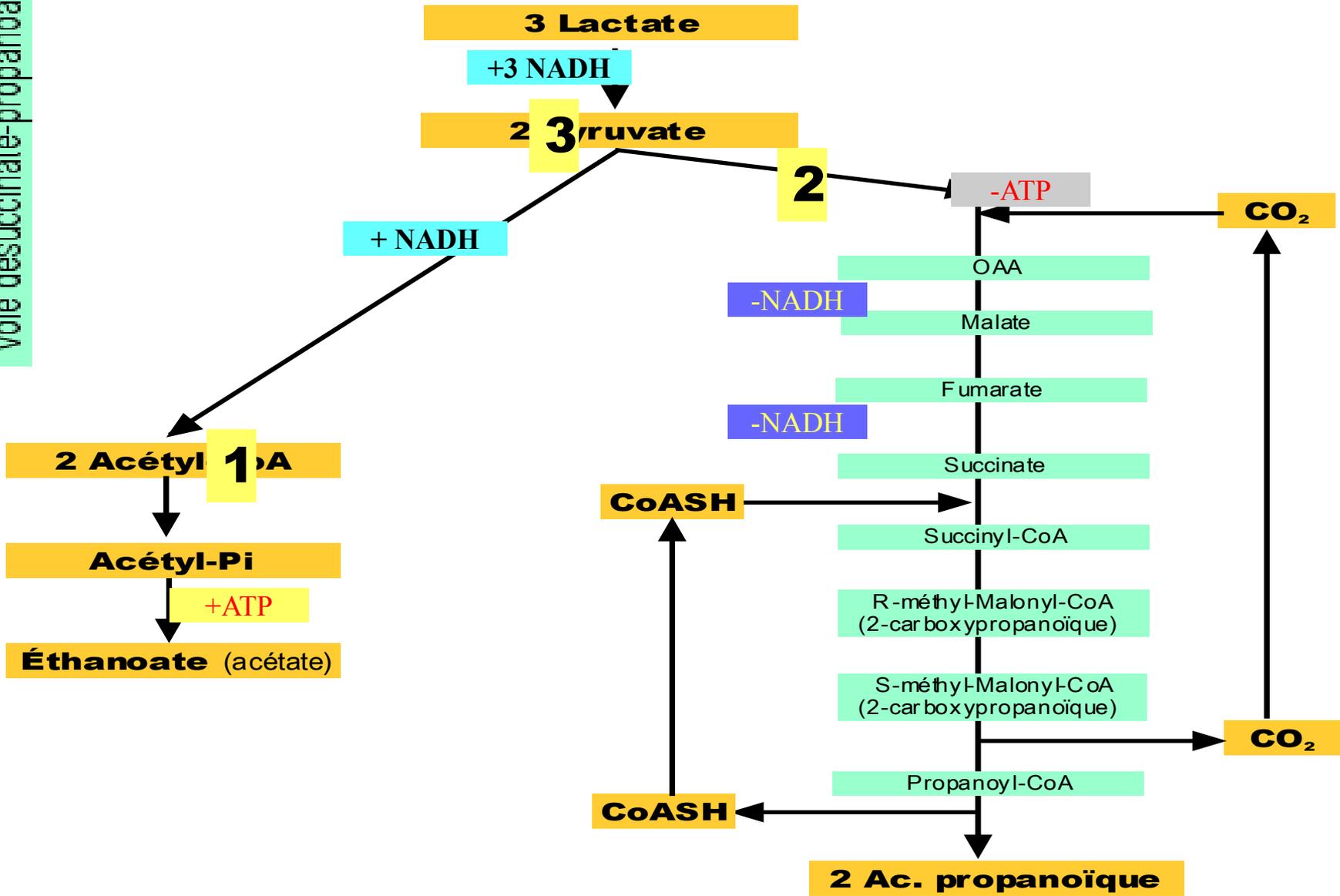
Permet, outre la production d'énergie, la production d'un mélange d'acétate, de propionate et de CO_2 .

Bactérie réalisatrice : *Propionibacterium*

Fermentation prenant le relais de la fermentation lactique dans les fromages tels Comté, Beaufort, Emmenthal, gruyères :

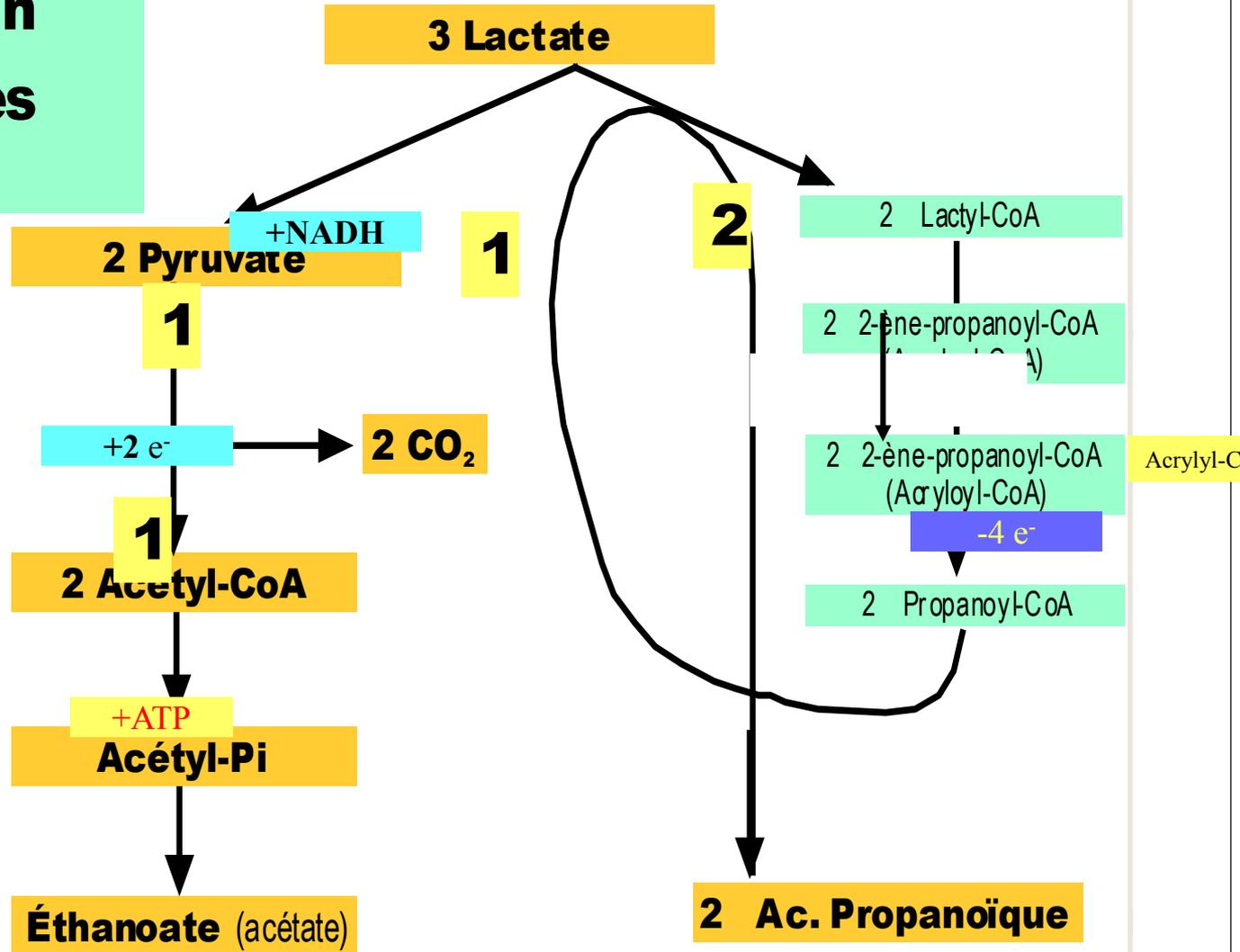
- les « trous » dans l'emmenthal et le gruyère proviennent d'un dégagement de CO_2 dans la pâte pressée et durcie
- le goût particulier de ces fromages est dû à l'accumulation d'acide propionique.

voie desuccinate-propanoate



Fermentation propanoïques (propioniques)

voie de l'acrylate

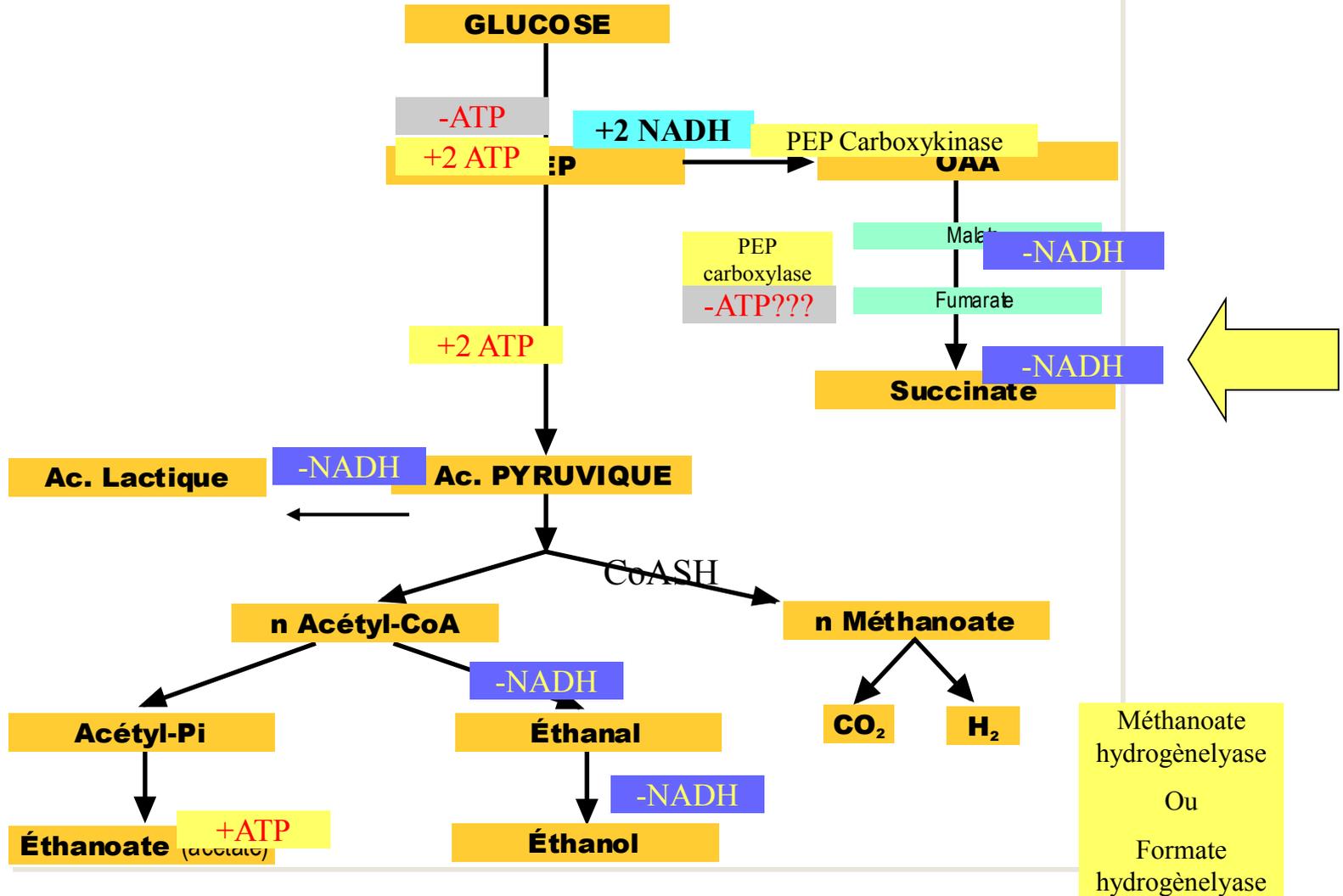


1-2-4-3- Quelques autres fermentations complexes b/ la fermentation acides mixtes

Appelée ainsi en raison de la grande diversité des composées organiques en partie acides, produits à partir du pyruvate, notamment selon les conditions physico-chimiques du milieu (acides : formique, acétique, lactique, succinique, et éthanol).

Cette voie fermentaire (en réalité ces voies fermentaires) concerne(nt) les bactéries VP-.

Fermentation "acides mixtes"



1-2-4-3- Quelques autres fermentations complexes c/ la fermentation butanediolique

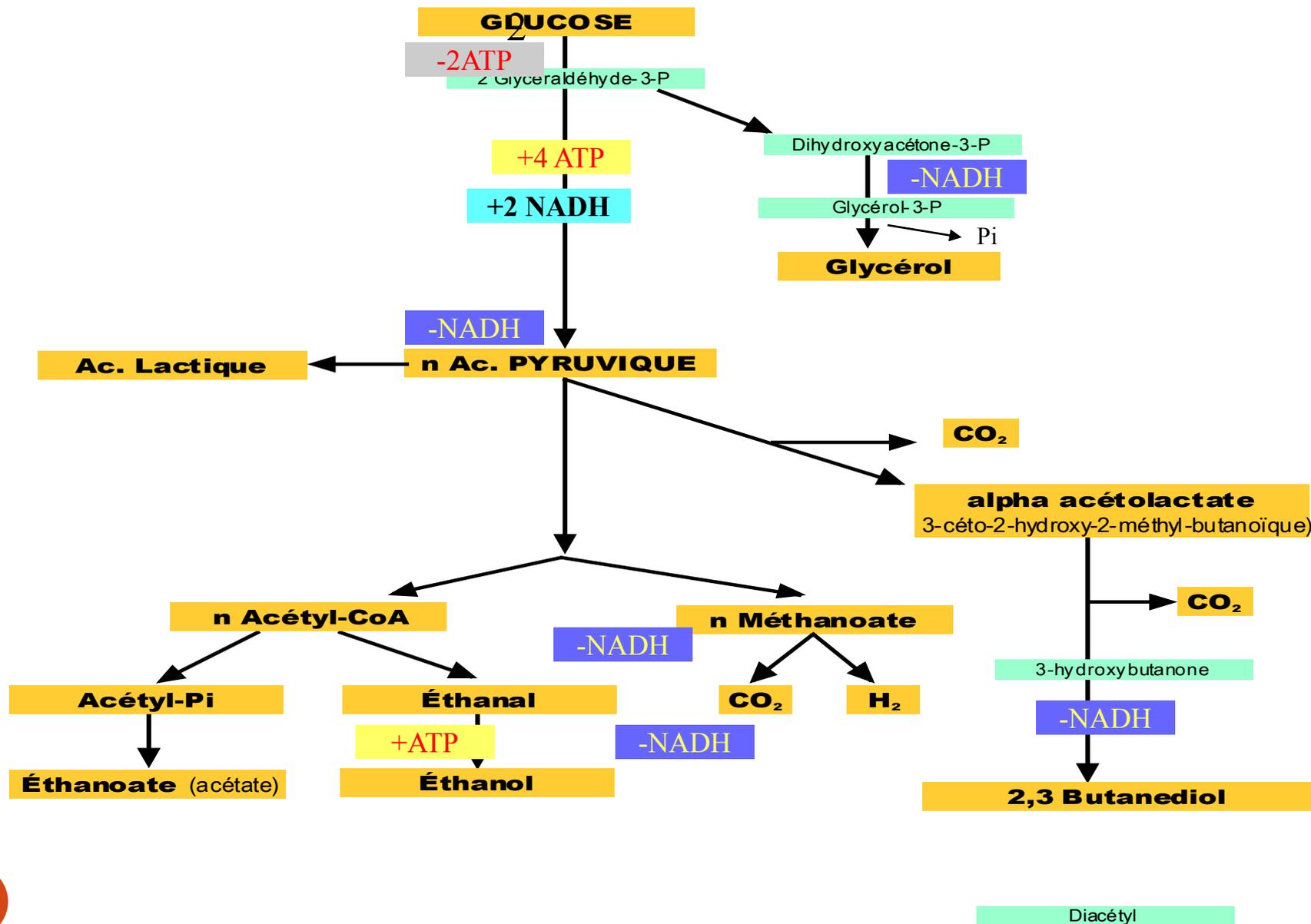
Au cours de cette fermentation deux acides pyruviques sont décarboxylés en acétoïne (3-hydroxy-butanone) qui est réduite en butanediol.

L'acétoïne participe au goût du beurre.

Le test du VP (VP1 : naph-1-ol, ou α -naph-1-ol, et VP2 : KOH) met en évidence la production d'acétoïne et de butanediol.

Cette voie fermentaire concerne les bactéries VP+.

Fermentation butanediolique



1-2-4-3- Quelques autres fermentations complexes c/ la fermentation malo-lactique

Au cours de cette fermentation il y a transformation du malate en lactate

malate : $\text{COO}^- - \text{CHOH} - \text{CH}_2 - \text{COO}^-$

lactate : $\text{COO}^- - \text{CHOH} - \text{CH}_3$

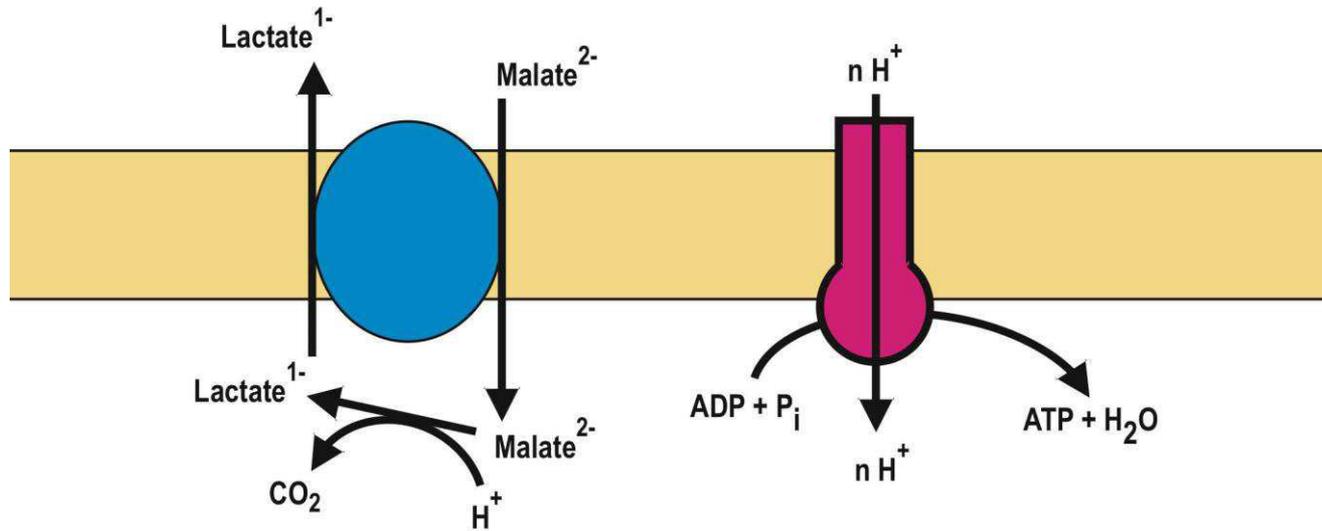
malate + (ADP+Pi) + $\frac{1}{2}\text{NADH}, \text{H}^+$



lactate + CO_2 + ATP + $\frac{1}{2}\text{NAD}^+$

Cette voie fermentaire se déroule après la fermentation éthanolique lors de la fabrication du vin et intervient dans les caractéristiques organoleptiques des vins.

« Fermentation » malolactique



Le malate qui entre dans la cellule grâce à une perméase a 2 charges -
Le lactate produit ne possédant qu'une charge - sort de la cellule
Ce déséquilibre ionique équivaut à la sortie d'un proton qui engendre une force protomotrice génératrice de la synthèse d'1 ATP

Bilan de fermentation anaérobie

Produits formés en mmol par mol de glucose fermenté

	<i>E coli</i>		<i>Enterobacter aerogenes</i>	<i>Serratia marcescens</i>	<i>Bacillus subtilis</i>
	^ pH 6,2	^ pH 7,8	^ pH > 6,3	^ pH > 6,3	550
2,3-butenediol	3	3	192	640	16
3-hydroxybutanone	1	2	0	19	
glycérol	14	3	42	13	570
éthanol	498	505	515	460	80
acide méthanoïque	24	860	684	482	10
acide formique	365	387	519	38	2
acide lactique (acide 2-cétopropanoïque)	795	700	101	101	180
acide succinique (butanedioïque)	107	148	131	82	10
CO ₂	880	18	796	1168	1180
H ₂	750	3	0	0	2

Bilan de fermentation anaérobie d'anaérobies strictes

Produits formés en mmol par mol de glucose fermenté

	<i>Clostridium perfringens</i>	<i>Clostridium acetobutylicum</i>	<i>Propionobacterium ara.</i>	<i>Propionobacterium pent.</i>	<i>Clostridium butyricum</i>
2,3-butanediol					
3-hydroxybutanone		64			
glycérol					
éthanol	260	72			
butan-1-ol		560			
propanone (acétone)		224			
acide méthanoïque					
acide éthanoïque	600	142	100	412	420
acide lactique	330				
acide succinique			78	216	
acide propanoïque			1488	1520	
acide butanoïque	340	43			760
acide succinique					
CO ₂	1760	2210	636	392	1880
H ₂	2140	1350			2350

Conclusion : comparaison fermentation / respiration

- Respiration et fermentation = processus producteurs d'énergie
- Bilan énergétique : respiration aérobie plus efficace que la respiration anaérobie, elle-même plus efficace que la fermentation
- La respiration met en jeu une chaîne de transporteurs d'électrons comportant généralement :
 - une déshydrogénase chargée d'oxyder le NADH
 - des quinones, comme transporteurs d'électrons
 - des oxydoréductases terminales (cytochromes) chargées de réduire l'accepteur terminal d'électrons.

Pas de chaîne de transporteurs dans la fermentation, les coenzymes réduits sont directement oxydés par une molécule organique endogène

1-2-5- Effet Pasteur et effet Crabtree chez les levures.

1-2-5-1- L'effet Crabtree

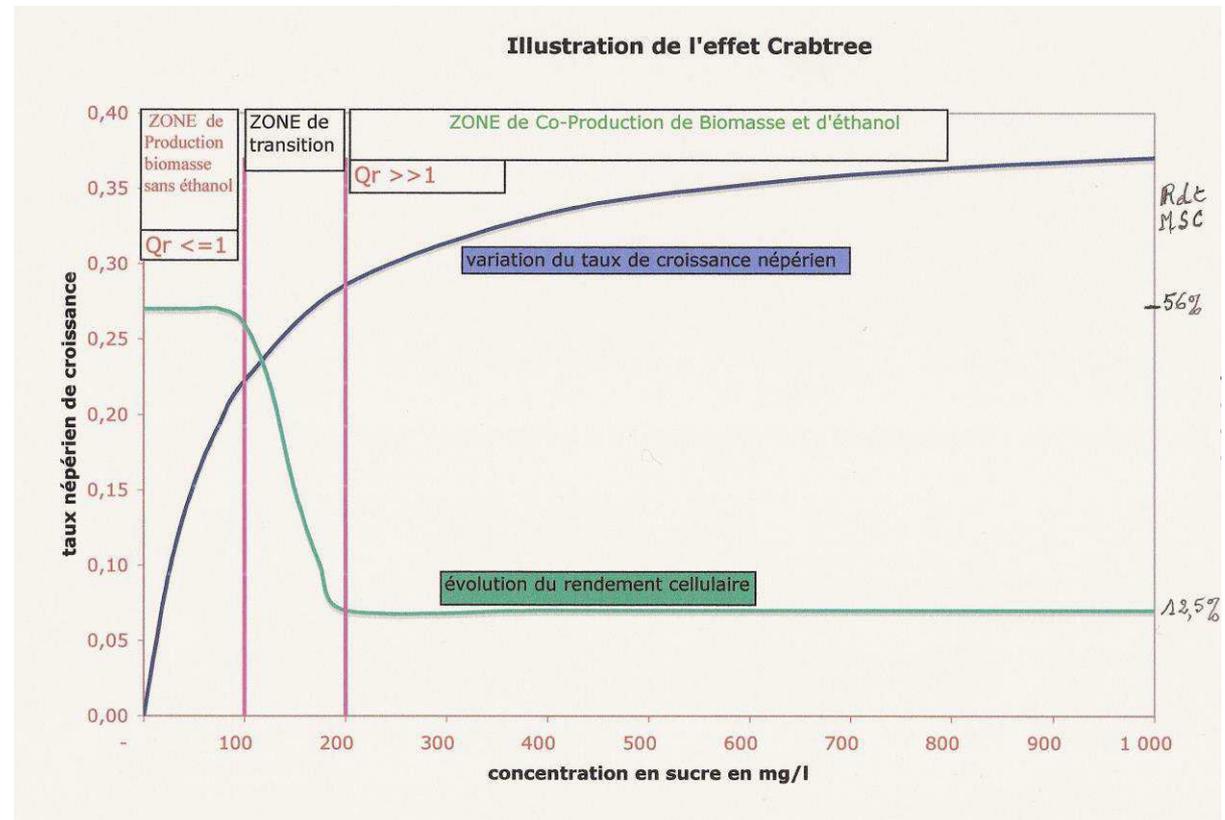
a/ Etude expérimentale

Les conditions nutritives du milieu, ainsi que l'aération et l'homogénéisation du milieu sont en excès par rapport aux besoins de la levure.

En ordonnées rouges à gauche : le taux de croissance de la levure

En ordonnées noires à droite : le rendement cellulaire exprimé en matière sèche par gramme de substrat consommé

En abscisses les concentrations en sucre exprimées en mg/litre de culture.



1-2-5-1- L'effet Crabtree

a/ Etude expérimentale

Analyse des résultats

- Quand la concentration en substrat est voisine de 100 mg/litre, le taux de croissance est de 0.25, dans ces conditions il n'y a pas de production d'éthanol, donc le mécanisme énergétique correspond à la respiration.
- En se déplaçant vers la droite du graphique, le métabolisme énergétique devient de plus en plus fermentatif même en présence d'oxygène en excès puisqu'il y a production d'éthanol par les levures. Le taux de croissance diminue, donc le temps de génération est plus long, ce qui implique un rendement cellulaire nettement moindre (courbe tracée en vert) !

1-2-5-1- L'effet Crabtree a/ Etude expérimentale

Analyse des résultats (suite)

- Le rendement cellulaire s'abaisse vers 12% en présence d'une forte concentration en sucre, c'est-à-dire que sont produits 12 mg de cellules pour 100 mg de sucre consommés
- En présence de moins de 100 mg / L de sucre, le rendement cellulaire est nettement plus élevé et 55 mg de cellules sont fabriquées avec toujours 100 mg de sucre.

Bilan :

En présence de fortes concentrations de glucose, la respiration est inhibée par rapport à la fermentation. C'est l'effet Crabtree.

1-2-5-1- L'effet Crabtree

b/ Définition de l'effet Crabtree

Effet Crabtree : inhibition de la respiration par de fortes concentrations en glucose.

Conséquence : cet effet exprime une tendance au gaspillage du substrat carboné (glucose par exemple) quand ce substrat est présent en grandes quantités

1-2-5-2- L'effet Pasteur a/ Etude expérimentale

- Résultats expérimentaux :

Louis Pasteur a constaté qu'en aérant un bouillon de levure, on provoque

- une augmentation de la multiplication des levures,
- et une diminution de la production d'alcool

- Analyse :

- Diminution de la production d'éthanol : diminution de la fermentation
- Augmentation de la multiplication des levures : les bactéries se procurent leur énergie par respiration.

1-2-5-1- L'effet Pasteur

b/ Définition

Effet Pasteur = passage d'un mécanisme de production d'énergie par fermentation à un mécanisme de respiration lorsqu'il y a passage d'anaérobiose en aérobie.

2- Le catabolisme des nutriments utiles pour les réactions de biosynthèse

2-1- Catabolisme des glucides

2-1-1- Nature des glucides utilisés

- Oses : glucose ou autre ose (fructose, arabinose....)
- Diholosides : lactose, saccharose...
- Polyosides : amidon, glycogène.....

2-1-2- Pénétration des glucides du milieu dans la cellule

- **Diffusion facilitée** ou **transport actif** avec perméase membranaire (exemple : pénétration du lactose seulement si la bactérie a une galactoside perméase)
- Système **phosphotransférase**

Remarque : pour les polyosides , nécessité que le microorganisme secrète des enzymes hydrolytiques qui vont hydrolyser les polyosides en molécules plus petites assimilables.

2-1-3- Dégradation des glucides

2-1-3-1- Dégradation des oses

- Glucose, fructose, mannose

* sont phosphorylés grâce à l'ATP

* puis entrent dans les voies métaboliques :
glycolyse, voie des pentoses ou voie d'Enter-
Doudoroff.

- Galactose est

* d'abord converti en uridine diphosphate
galactose après la phosphorylation initiale

* ensuite transformé en glucose 6 phosphate qui
entre dans la glycolyse.

2-1-3-2- Dégradation des diholosides

Libération des oses constitutifs :

- soit par hydrolyse directe



- soit par phosphoroylse



2-1-3-3- Dégradation des polyosides

Libération des oses constitutifs comme pour les diholosides :

- soit par hydrolyse directe
- soit par phosphorolyse

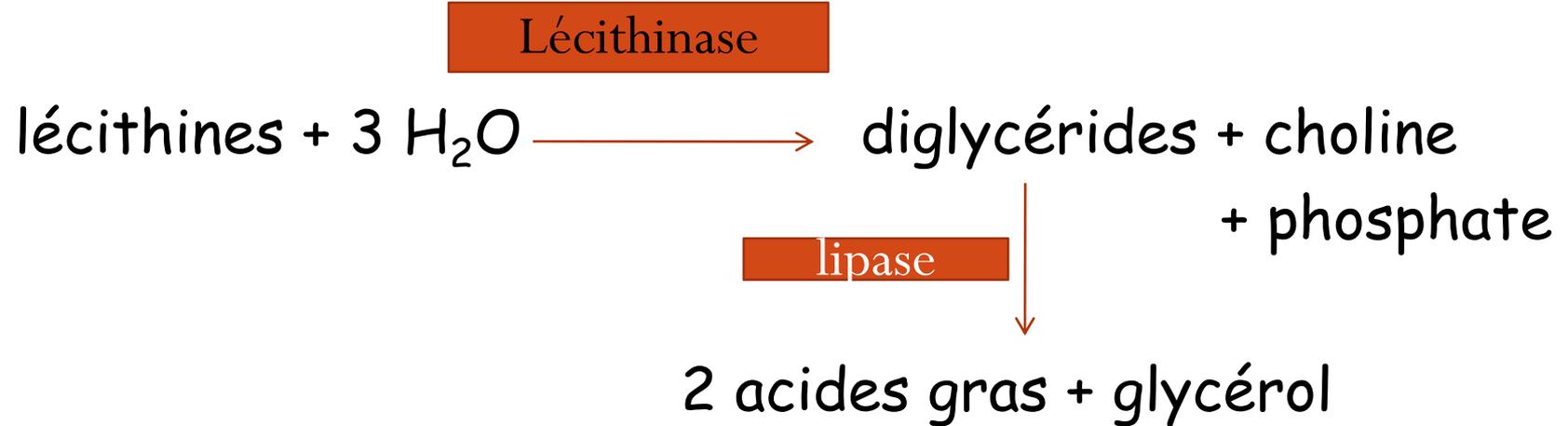
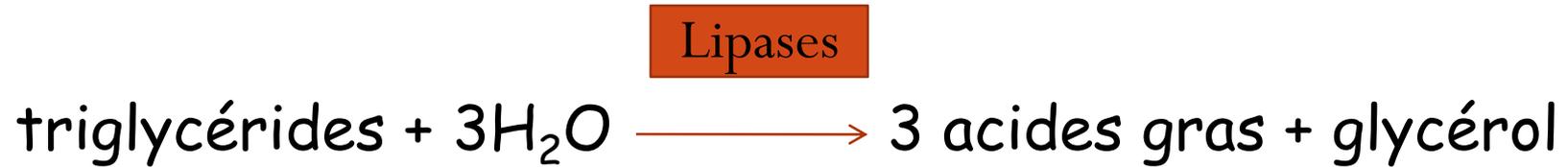
Remarque

En absence d'éléments nutritifs exogènes, certains microorganismes survivent en dégradant leurs réserves intracellulaires : glycogène, amidon.

2-2- Catabolisme des lipides

Lipides = source d'énergie fréquente pour les
microorganismes

2-2-1- 1^{ère} étape



2-2-2- 2^{ème} étape

- Phosphorylation et oxydation du glycérol en dihydroxyacétone phosphate dégradé par la glycolyse
- Oxydation des acides gras par la voie de la β oxydation qui libère de l'acétyl COA :
 - soit entrant dans le cycle de Krebs
 - soit être utilisé pour diverses biosynthèses.

Remarque : le catabolisme des acides gras représentent donc :

- une source énergétique riche pour la croissance des microorganismes
- une source de flaveur pour les fromages affinés (grâce aux molécules synthétisées à partir des lipides dégradés)