

# Bioénergétique et métabolisme

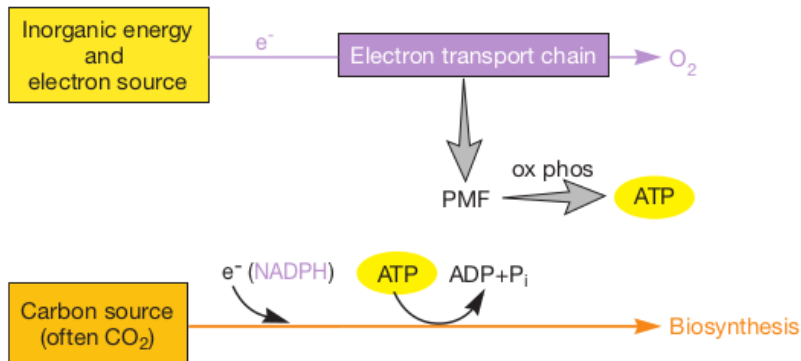
## Chapitre 2

### L'obtention d'énergie cellulaire par chimiotrophie

V. Garlatti  
virginie.garlatti@univ-tln.fr  
Bureau U 025

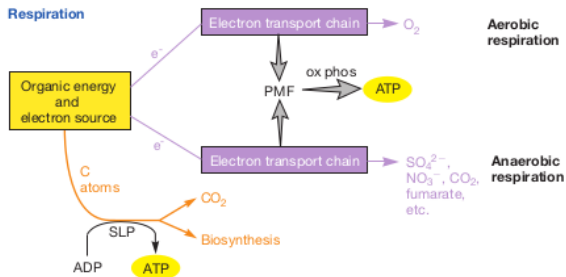
2023

# Introduction la chimiolithotrophie

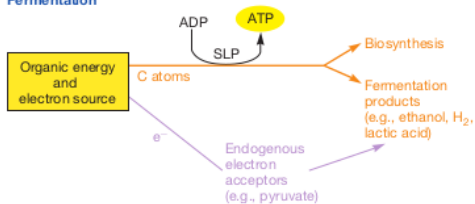


# Introduction la chimioorganotrophie

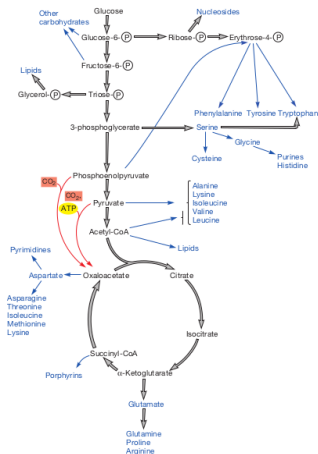
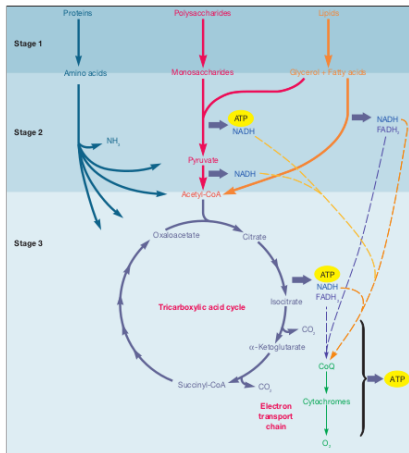
## Chemoorganotrophic Fueling Processes



## Fermentation



# Introduction la chimioorganotrophie



(WILLEY et al., 2008)

## Trois voies de dégradation des sucres

- ◇ La voie d'Embden-Meyerhof ou glycolyse
- ◇ La voie des pentoses phosphates
- ◇ La voie d'Entner-Doudoroff : micro-organismes du sol

(WILLEY et al., 2008)

## La voie d'Embden-Meyerhof ou glycolyse : deux phases

- ◇ Une phase d'activation : utilisation d'ATP
- ◇ phase de production d'énergie

(WILLEY et al., 2008)

# La voie d'Embden-Meyerhof ou glycolyse : deux phases

Glucose is phosphorylated at the expense of one ATP, creating glucose 6-phosphate, a precursor metabolite and the starting molecule for the pentose phosphate pathway.

Isomerization of glucose 6-phosphate (an aldehyde) to fructose 6-phosphate (a ketone and a precursor metabolite).

ATP is consumed to phosphorylate C1 of fructose. The cell is spending some of its energy currency in order to earn more in the next part of glycolysis.

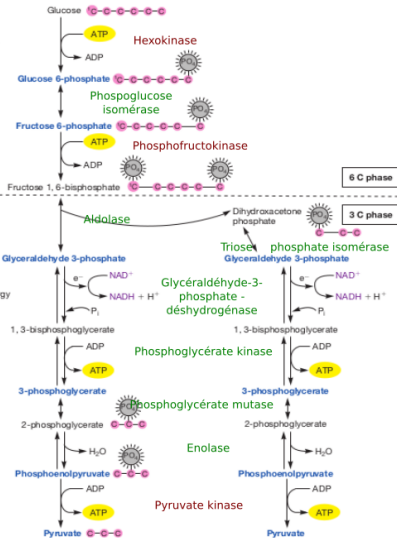
Fructose 1, 6-bisphosphate is split into two 3-carbon molecules, one of which is a precursor metabolite.

Glyceraldehyde 3-phosphate is oxidized and simultaneously phosphorylated, creating a high-energy molecule. The electrons released reduce  $NAD^+$  to NADH.

ATP is made by substrate-level phosphorylation. Another precursor metabolite is made.

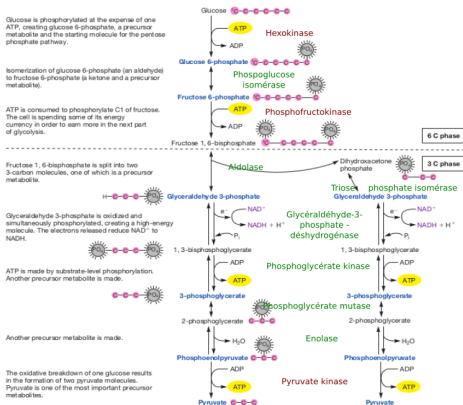
Another precursor metabolite is made.

The oxidative breakdown of one glucose results in the formation of two pyruvate molecules. Pyruvate is one of the most important precursor metabolites.



## La voie d'Embden-Meyerhof ou glycolyse : bilan

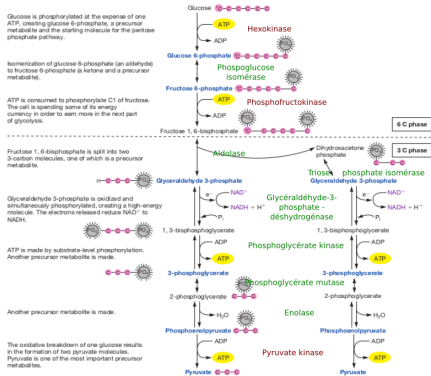
## Faites le bilan énergétique



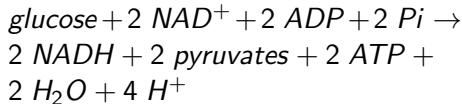
(WILLEY et al., 2008)



# La voie d'Embden-Meyerhof ou glycolyse : bilan



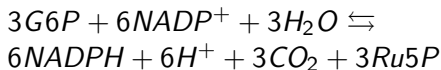
## bilan énergétique



(WILLEY et al., 2008)

## La voie des pentoses phosphate : trois phases

- ◇ Des réactions d'oxydation qui donnent du NADPH et du Ru5P
- ◇ Des réactions d'isomérisation et d'épimérisation : sucres 5C
- ◇ Une série de formations et de ruptures de liaisons : F6P et G3P

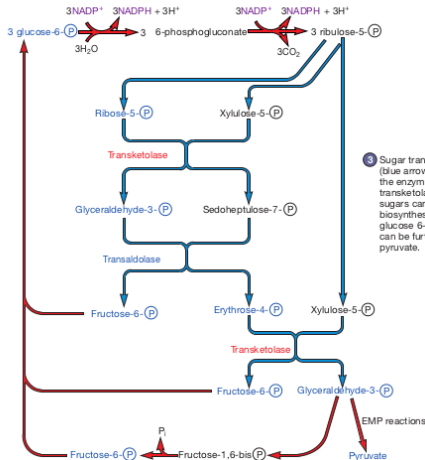


(WILLEY et al., 2008)

## La voie des pentoses phosphate : trois phases

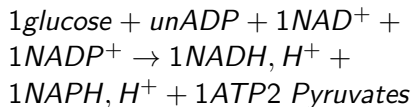
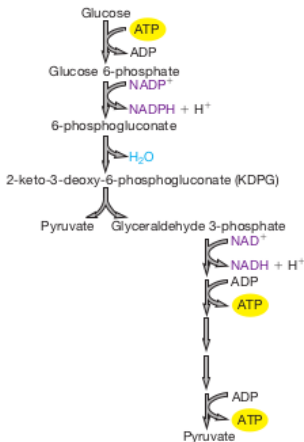
1 Glucose 6-phosphate, an intermediate of the Embden-Meyerhof pathway and a precursor metabolite, is oxidized. The reaction provides reducing power in the form of NADPH.

2 6-Phosphogluconate is oxidized and decarboxylated. This produces  $\text{CO}_2$  and more reducing power in the form of NADPH.



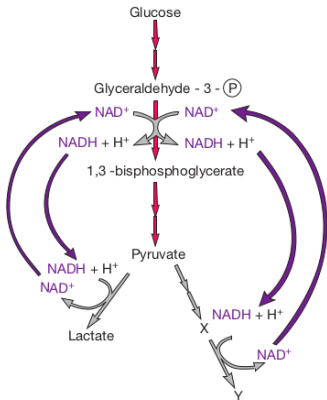
3 Sugar transformation reactions (blue arrows) are catalyzed by the enzymes transaldolase and transketolase. Some of the sugars can be used in biosynthesis or to regenerate glucose 6-phosphate. They also can be further catabolized to pyruvate.

# La voie d'Entner-Doudoroff : limitée à quelques micro-organismes

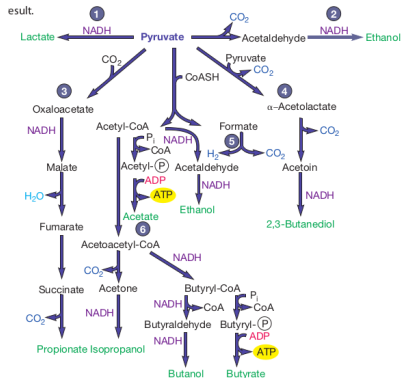


# La fermentation : accepteur final d'électron interne

## Glycolysis



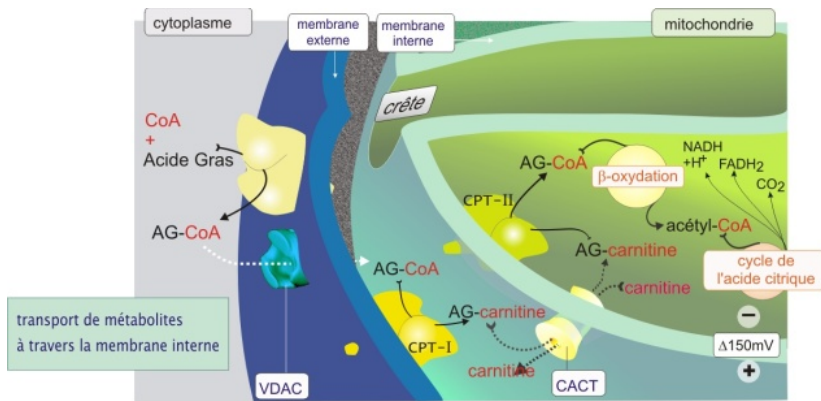
## Fermentation pathways



1. Lactic acid bacteria (*Streptococcus*, *Lactobacillus*), *Bacillus*
2. Yeast, *Zymomonas*
3. Propionic acid bacteria (*Propionibacterium*)
4. *Enterobacter*, *Serratia*, *Bacillus*
5. Enteric bacteria (*Escherichia*, *Enterobacter*, *Salmonella*, *Proteus*)
6. *Clostridium*

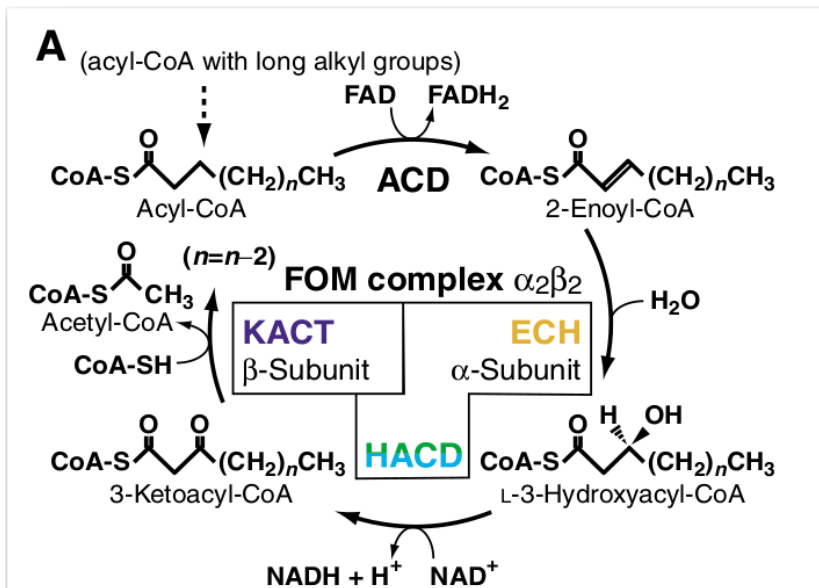
(WILLEY et al., 2008)

## Activation et transport des AG

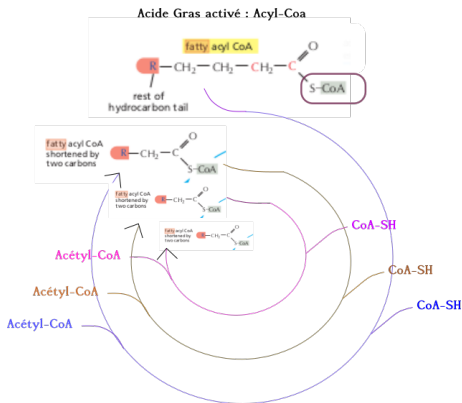


CPT: carnitine-palmitoyl transférase, CACT: carnitine-acylcarnitine translocase

(ALBERTS, 2017), (ISHIKAWA et al., 2004) (TRAMU et KRAMER, s. d.)

La  $\beta$ -oxydation des AG , un procédé cyclique

# La $\beta$ -oxydation des AG , 4 réactions par cycle, un acétyl-coa produit

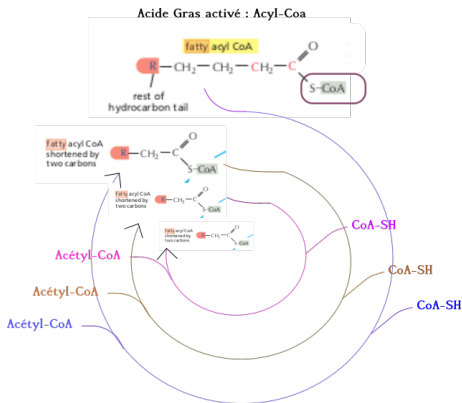


Réaction 1 : Déshydrogénation  
 Réaction 2 : Hydratation  
 Réaction 3 : Déshydrogénation et un NADH. Les trois premières réactions rappellent les réactions de l'acide citrique qui transforme le succinate en oxaloacétate.  
 Réaction 4 : Thiolyse

(ALBERTS, 2017),(ISHIKAWA et al., 2004),(VOET et VOET, 2021)



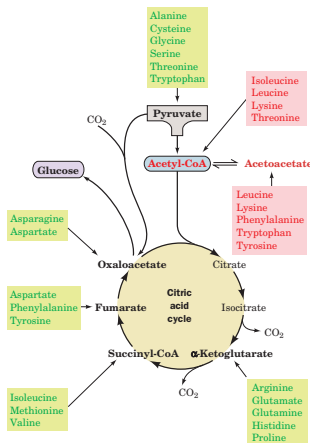
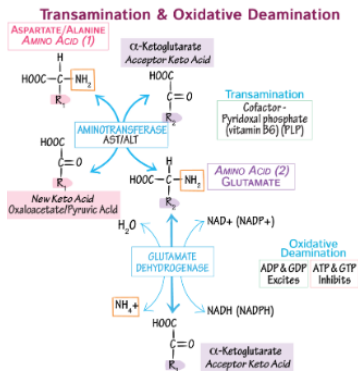
# La $\beta$ -oxydation des AG , 4 réactions par cycle, un acétyl-coa produit



Faites de la bilan énergétique pour un palmitate

(ALBERTS, 2017),(ISHIKAWA et al., 2004),(VOET et VOET, 2021)

# Protéines : transamination, désamination, CK



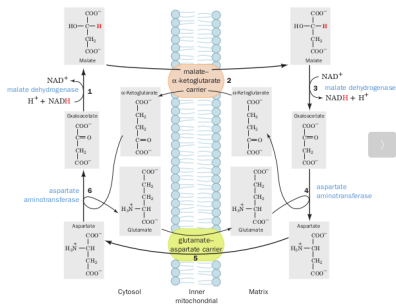
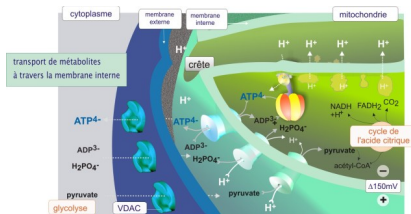
(VOET et VOET, 2021)

# Bilan

## **Schéma bilan 1 : Voies de dégradations spécifiques des sucres et des lipides et obtention d'énergie**

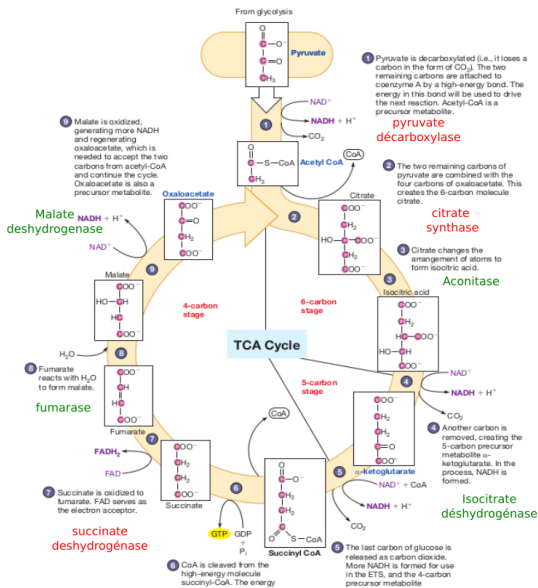
Réaliser un schéma bilan sur les voies de dégradation spécifique des sucres et des lipides en détaillant la voie de la glycolyse et de la *beta*-oxydation et en réalisant le bilan énergétique de chaque voie.

# Transport des molécules dans la mitochondrie

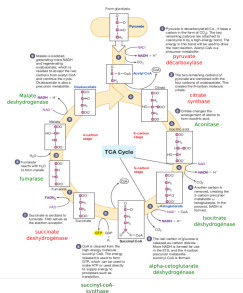


↳ Le cycle de Krebs p : fin de l'oxydation et formation de pouvoir réducteur

# Les réactions du cycle ((WILLEY et al., 2008),(VOET et VOET, 2021))



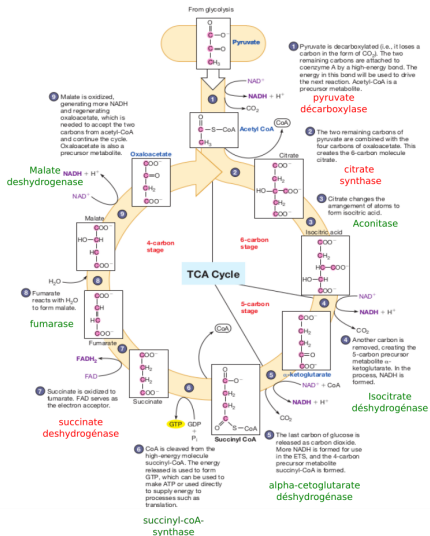
## Les réactions du cycle



LE CYCLE DE L'ACIDE CITRIQUE FONCTIONNE DE FAÇON CATALYTIQUE : L'OXALOACÉTATE EST RÉGÉNÉRÉ EN FIN DE CYCLE, UN NOMBRE INFINI DE GROUPES ACÉTYLS PEUVENT DONC ÊTRE OXYDÉS PAR UNE SEULE MOLÉCULE D'OXALOACÉTATE

(WILLEY et al., 2008),(VOET et VOET, 2021)

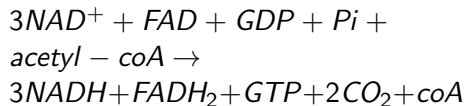
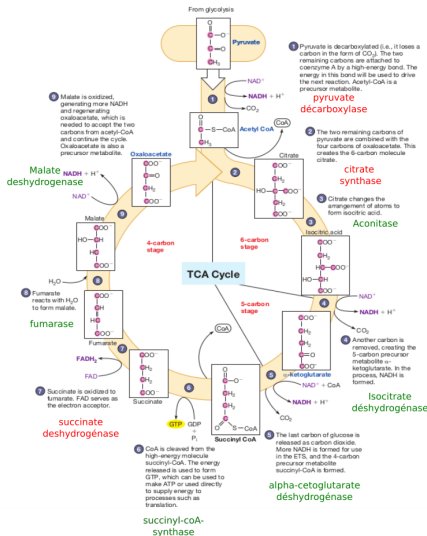
# Le bilan du cycle



## Faites le bilan énergétique

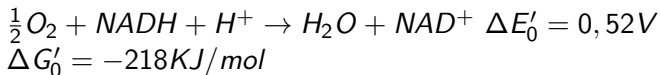
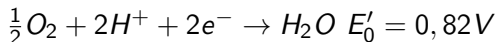
Le cycle de Krebs p : fin de l'oxydation et formation de pouvoir réducteur

# Le bilan du cycle

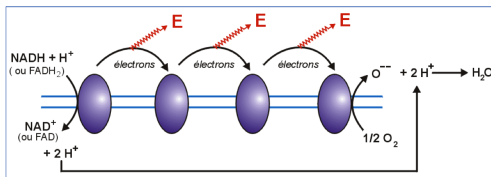
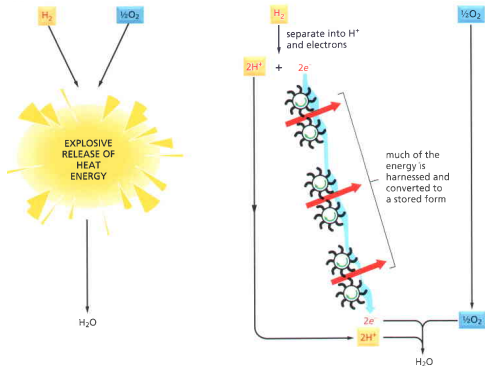




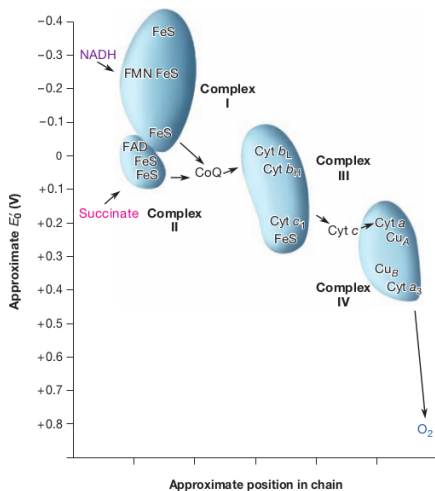
# Énergie libérée par le transport des électrons



# Énergie libérée : explosion ou récupération énergie

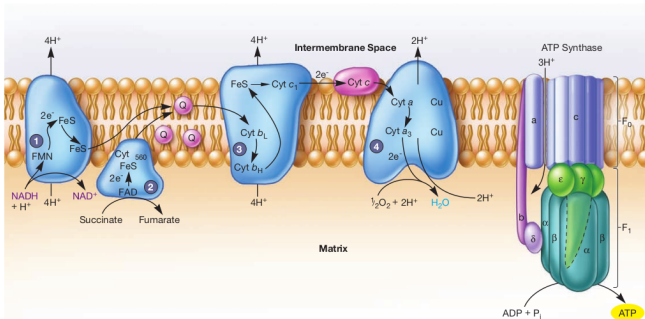


## Transport des électrons entre couples de E0 proche



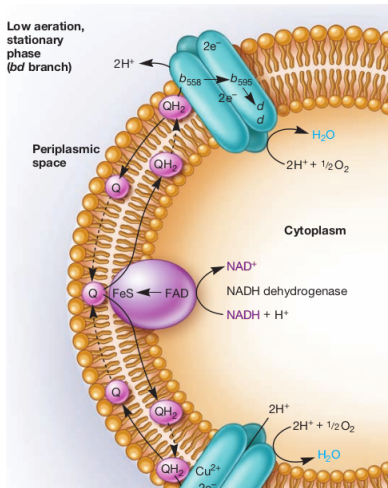
# Transport des électrons entre couples physiquement proches (10-24Å)

## Dans la mitochondrie



# Transport des électrons entre couples physiquement proches (10-24A)

## Dans la membrane plasmique de E.coli



# Deux méthodes de conversion énergie redox et gradient de proton

Le transfert de protons se fait par deux phénomènes chimiques bien distincts (VOET et VOET, 2021) :

- ◇ **le transfert des électrons entraîne un changement de conformation** du complexe et l'ouverture d'un canal à proton
- ◇ **le transfert des électrons est dû à l'alternance entre des couples redox qui ne prennent en charge que des électrons et ceux qui prennent en charge électron et protons.**

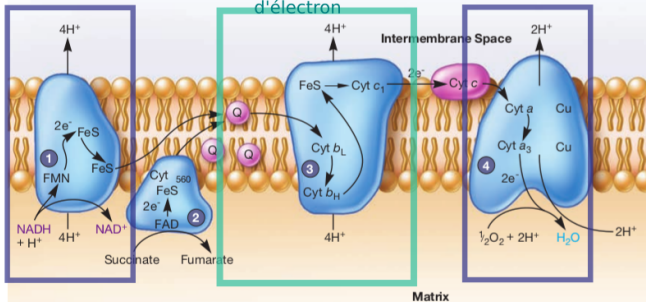
# Deux méthodes de conversion énergie redox et gradient de proton

## Dans la mitochondrie

Changement conformation, canal à proton

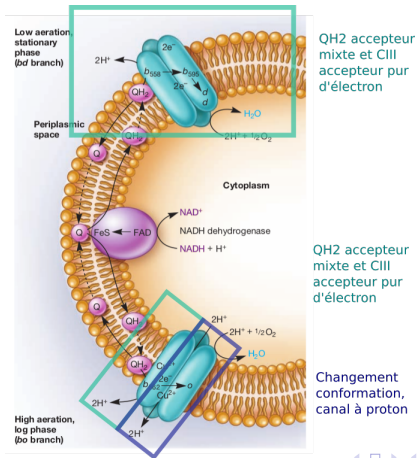
QH2 accepteur mixte et CIII accepteur pur d'électron

Changement conformation, canal à proton



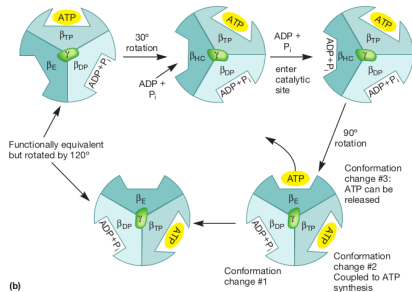
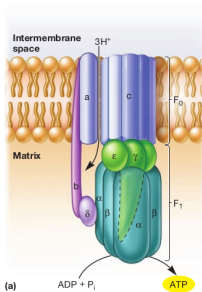
# Deux méthodes de conversion énergie redox et gradient de proton

## Dans la membrane plasmique de E.coli





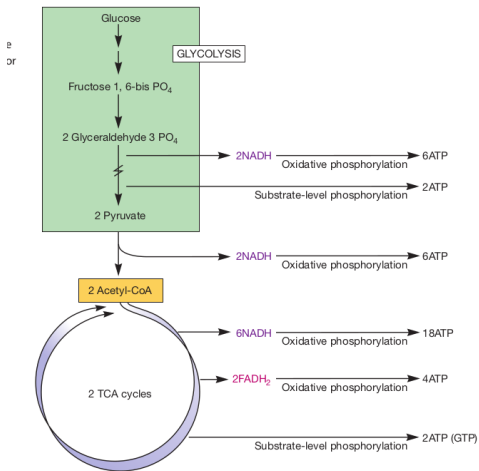
# ATP synthase



# bilan respiration aérobie

Faites le bilan de la respiration aérobie d'un glucose et d'un palmitate

# bilan respiration aérobie

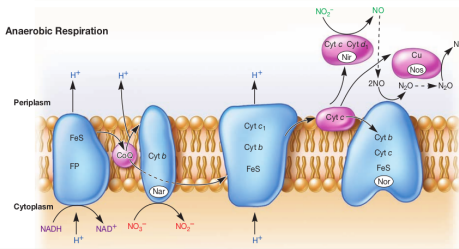
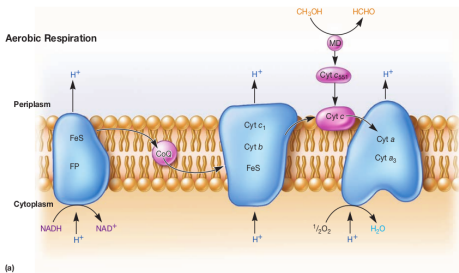


# schéma

## Schéma bilan 2 : Voies mitochondriales communes

Réaliser un schéma bilan sur les voies mitochondriales et leurs bilan énergétique en détaillant le cycle de krebs et la respiration cellulaire chez les eucaryotes.

# Les respirations anaérobies

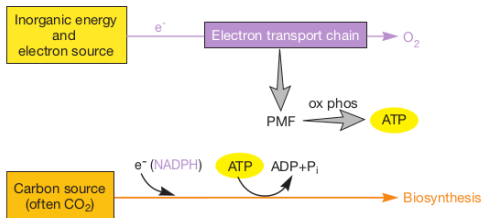


# schéma

## **Schéma bilan 3 : Respiration aérobie versus respiration anaérobie**

Réaliser un schéma bilan comparant les voies respiratoires aérobies et anaérobies

## Vue générale



# Énergie libérée par la chimiolithotrophie

**Table 9.4** Energy Yields from Oxidations Used by Chemolithotrophs

| Reaction   | $\Delta G^\circ$<br>(kcal/mole) <sup>a</sup> |
|--|--|
| $\text{H}_2 + 1/2 \text{O}_2 \longrightarrow \text{H}_2\text{O}$   | -56.6  |
| $\text{NO}_2^- + 1/2 \text{O}_2 \longrightarrow \text{NO}_3^-$   | -17.4  |
| $\text{NH}_4^+ + 1 1/2 \text{O}_2 \longrightarrow \text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O} + 2\text{H}^+$            | -65.0  |
| $\text{S}^0 + 1 1/2 \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$                     | -118.5                                       |
| $\text{S}_2\text{O}_3^{2-} + 2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2\text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}^+$ | -223.7                                       |
| $2\text{Fe}^{2+} + 2\text{H}^+ + 1/2 \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{Fe}^{3+} + \text{H}_2\text{O}$          | -11.2  |

<sup>a</sup>The  $\Delta G^\circ$  for complete oxidation of glucose to  $\text{CO}_2$  is -686 kcal/mole. A kcal is equivalent to 4.184 kJ.

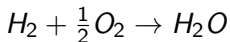
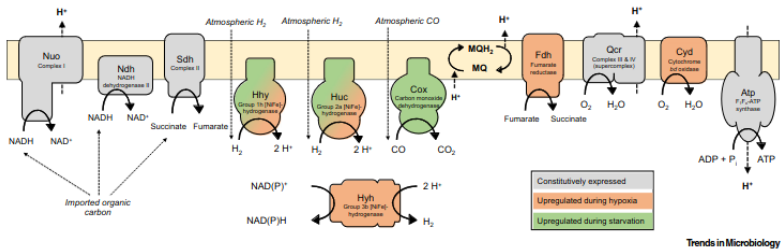


# Diversité des chimiolithotrophes

**Table 9.3** Representative Chemolithotrophs and Their Energy Sources

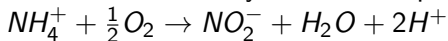
| Bacteria   | Electron Donor             | Electron Acceptor | Products                       |
|--|----------------------------|-------------------|--------------------------------|
| <i>Alcaligenes</i> , <i>Hydrogenophaga</i> , and <i>Pseudomonas</i> spp. | $H_2$                      | $O_2$             | $H_2O$                         |
| <i>Nitrobacter</i>   | $NO_2^-$                   | $O_2$             | $NO_3^-$ , $H_2O$              |
| <i>Nitrosomonas</i>  | $NH_4^+$                   | $O_2$             | $NO_2^-$ , $H_2O$              |
| <i>Thiobacillus denitrificans</i>  | $S^0$ , $H_2S$             | $NO_3^-$          | $SO_4^{2-}$ , $N_2$            |
| <i>Thiobacillus ferrooxidans</i>   | $Fe^{2+}$ , $S^0$ , $H_2S$ | $O_2$             | $Fe^{3+}$ , $H_2O$ , $H_2SO_4$ |

## Oxydation de l'hydrogène : le plus énergétique et disponible

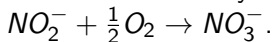


## Deux types de bactéries

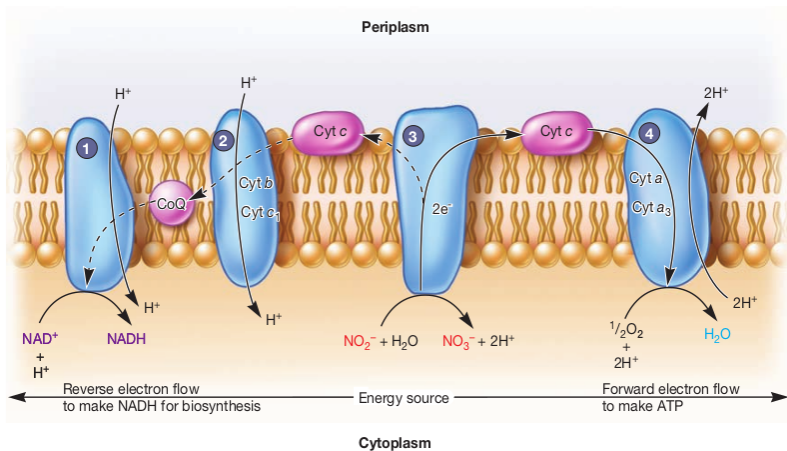
L'ammonium est oxydé en nitrite par les *Nitrosomonas* :



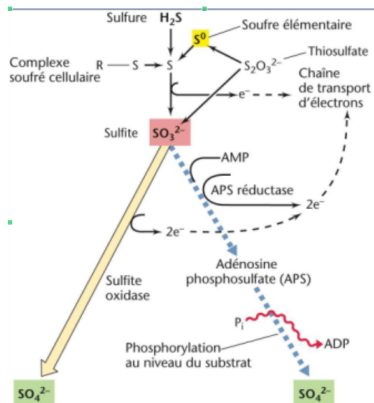
Les nitrites sont oxydés en nitrate par le genre *Nitrobacter* :



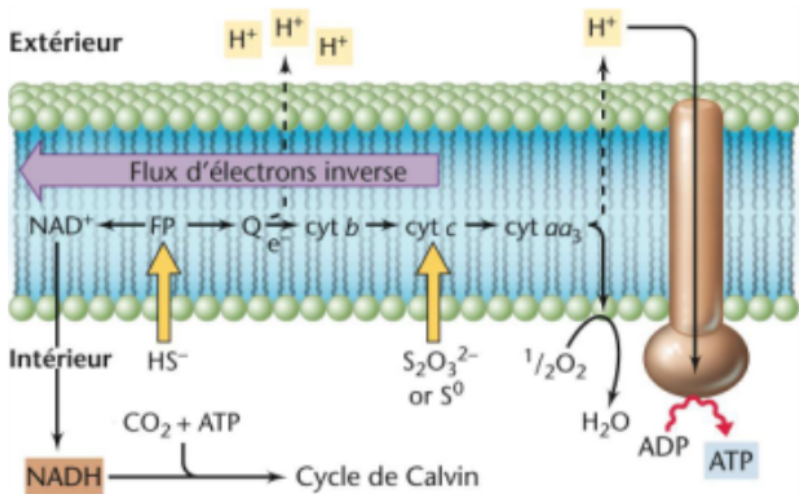
## Un exemple de chaîne



## Un exemple de chaîne



## Un exemple de chaîne








# Schéma

## Schéma bilan 4 : Chimiolitotrophie versus chimioorganotrophie

Réaliser un schéma bilan comparant l'obtention d'énergie à travers une chaîne de transport des électrons chez les chimiolithotrophes et chez les chimioorganotrophes. Des schémas détaillés de ces voies sont attendus.

## Références

-  ALBERTS, Bruce (2017). *Molecular biology of the cell*. eng. Sixth edition. OCLC : 1082214404. Boca Raton, FL : CRC Press, an imprint of Garland Science. ISBN : 978-1-315-73536-8.
-  ISHIKAWA, Momoyo et al. (juill. 2004). "Structural basis for channelling mechanism of a fatty acid beta-oxidation multienzyme complex". eng. In : *The EMBO journal* 23.14, p. 2745-2754. ISSN : 0261-4189. DOI : 10.1038/sj.emboj.7600298.
-  TRAMU, Gérard et IJsbrand KRAMER (s. d.). *Biologie Cellulaire université de bordeaux, 2013*. Unisciel.
-  VOET, Donald et Judith G. VOET (2021). *Biochemistry : international adaption*. eng. Fourth edition. New York, NY : Wiley. ISBN : 978-1-119-77064-0.
-  WILLEY, Joanne M. et al. (2008). *Prescott, Harley, and Klein's microbiology*. 7th ed. OCLC : ocm71044581. New York : McGraw-Hill Higher Education. ISBN :