

# Métabolisme des micro-organismes

1

Réalisé par : Hélène Botella

Université Toulouse III -Paul Sabatier

Laboratoire: IPBS, Equipe Pathogénie moléculaire des mycobactéries

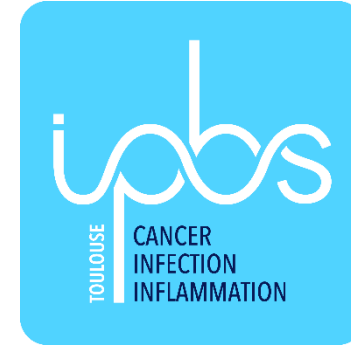




UNIVERSITÉ  
TOULOUSE III  
PAUL SABATIER



Université  
de Toulouse



# Microbiologie

# Métabolisme des micro-organismes

Hélène Botella

[helene.botella@univ-tlse3.fr](mailto:helene.botella@univ-tlse3.fr)  
[helene.botella@ipbs.fr](mailto:helene.botella@ipbs.fr)

# Métabolisme des micro-organismes


Somme des réactions chimiques qui se déroulent dans un être vivant

Maintien de l'équilibre énergétique

# Diversité métabolique des micro-organismes

---

## A. Chaîne alimentaire et niveau trophique

- Les producteurs  Matière organique
- Les consommateurs
  - primaires (se nourrissent des producteurs)
  - secondaires (se nourrissent des primaires)
- Les décomposeurs
  - Dégradent matière organique (Bactéries/champignons)

### Notion de type trophique :

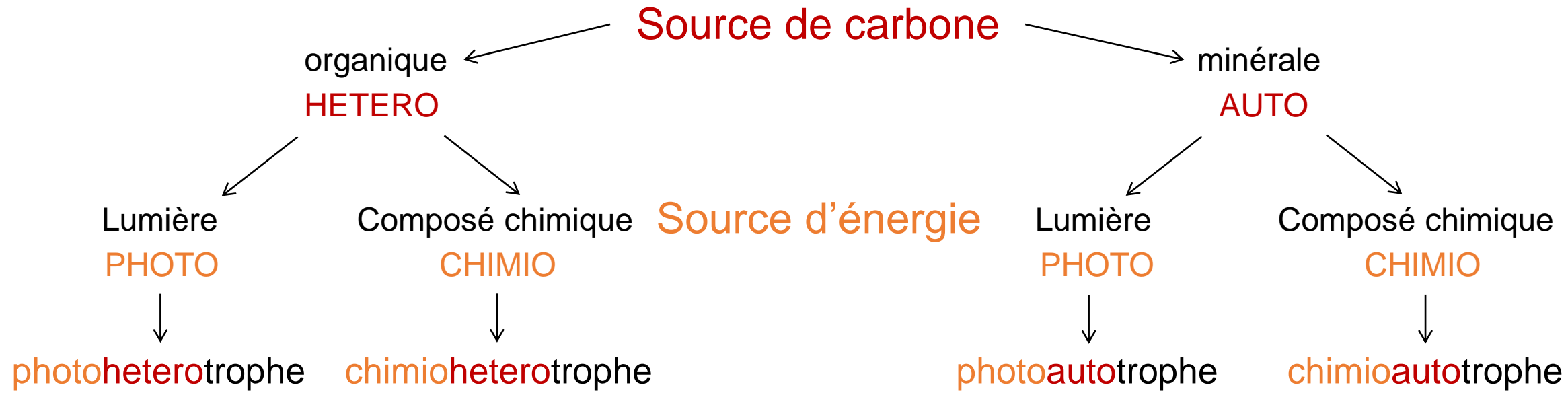
Le terme type trophique spécifie la manière dont un organisme constitue sa propre matière organique.  
(trophique dérive du verbe grec τροφή, «action de nourrir»).

# Diversité métabolique des micro-organismes

- **Source de carbone :**
  - organique (molécule contenant C et H)
  - minérale ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , ...)

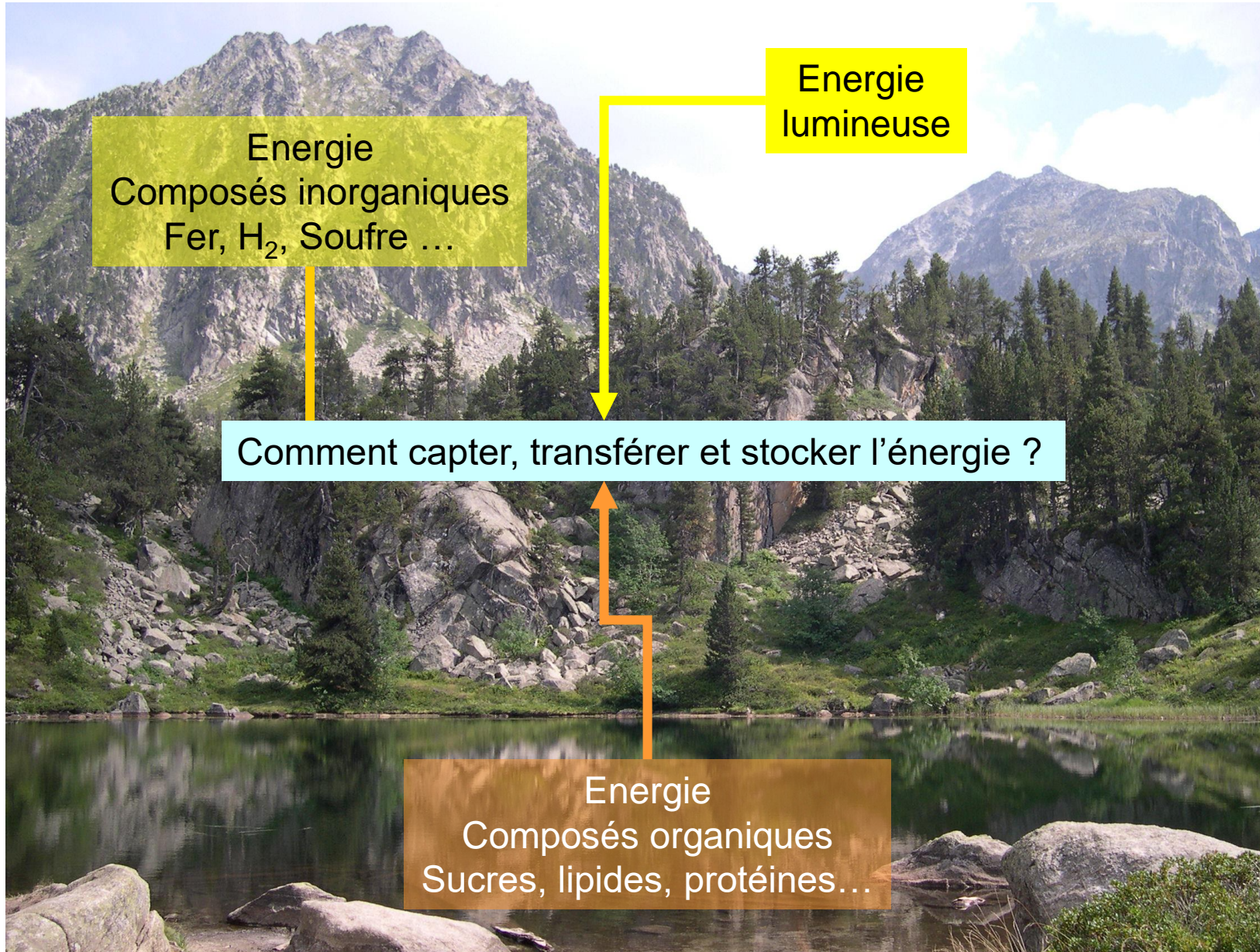
- **Source d'énergie :**
  - lumière
  - composé chimique

4 types trophiques





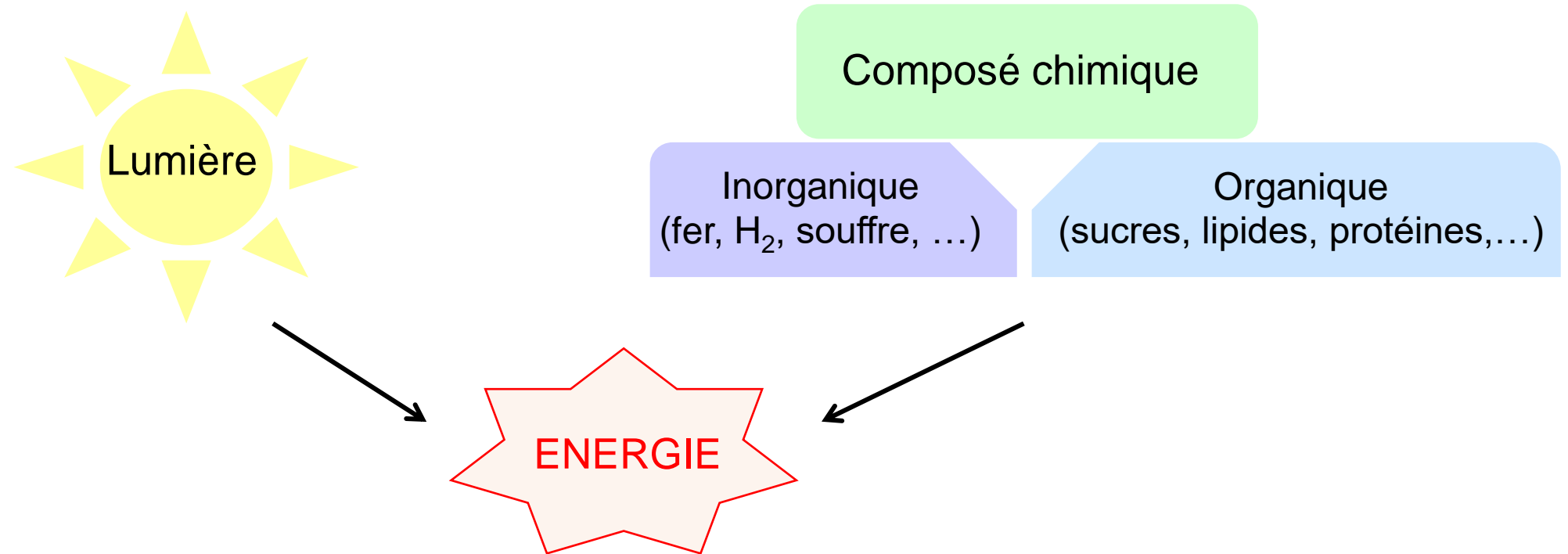
# Diversité métabolique des micro-organismes



# Diversité métabolique des micro-organismes

---

## B. Source d'énergie



Comment capter, transférer et stocker cette énergie ?

# Diversité métabolique des micro-organismes

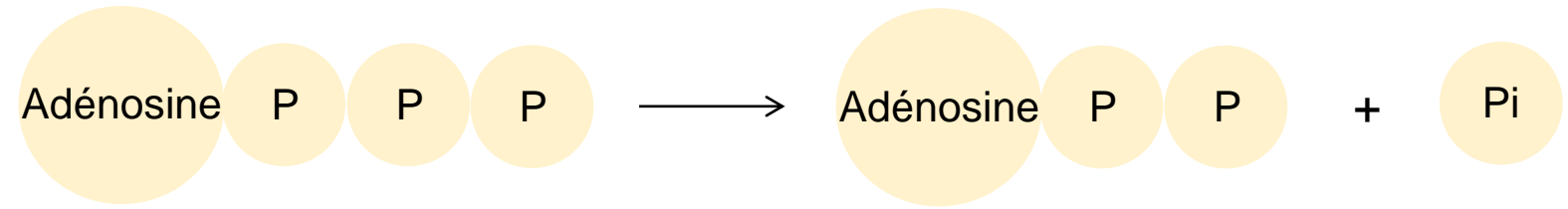
## C. Stocker l'énergie

### 1. l'ATP

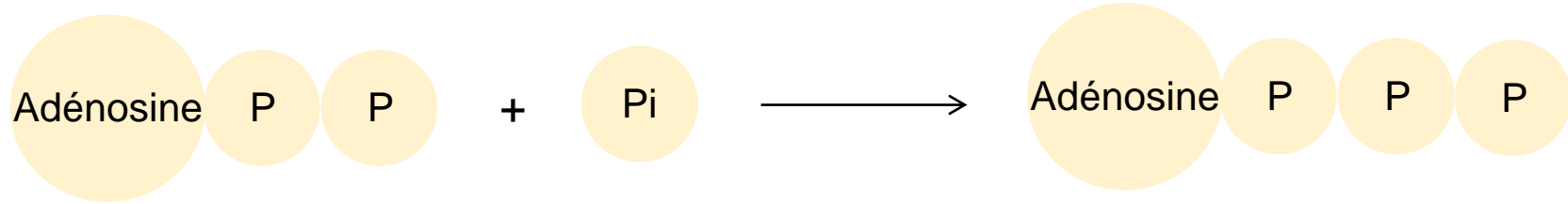
Adénosine triphosphate  
Principale molécule porteuse d'énergie = stockage

Réactions anaboliques  
endergoniques

Libération  
d'énergie



Réactions cataboliques  
exergoniques



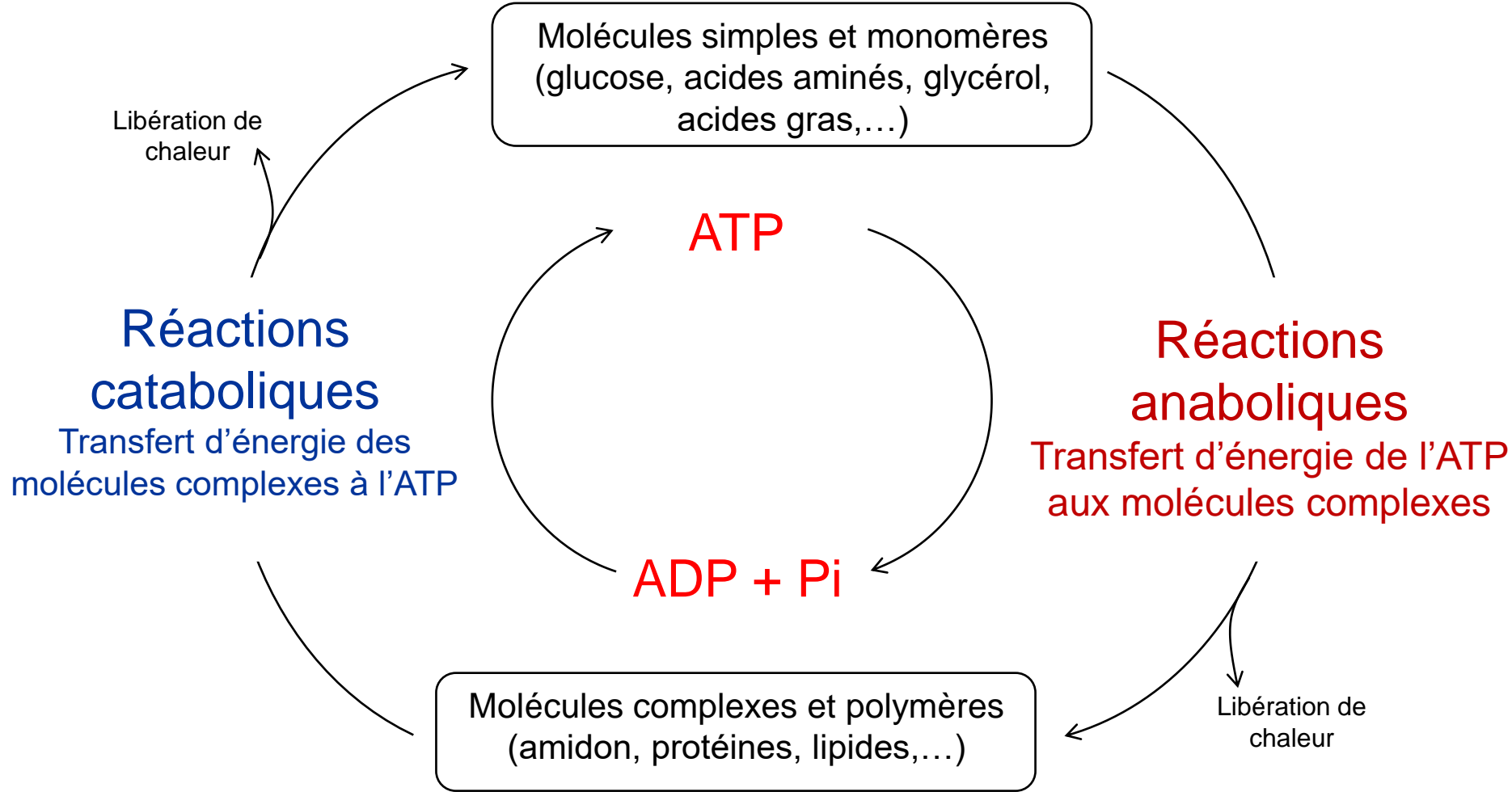
Régénération  
des stocks



# Diversité métabolique des micro-organismes

## C. Stocker l'énergie

### 1. l'ATP



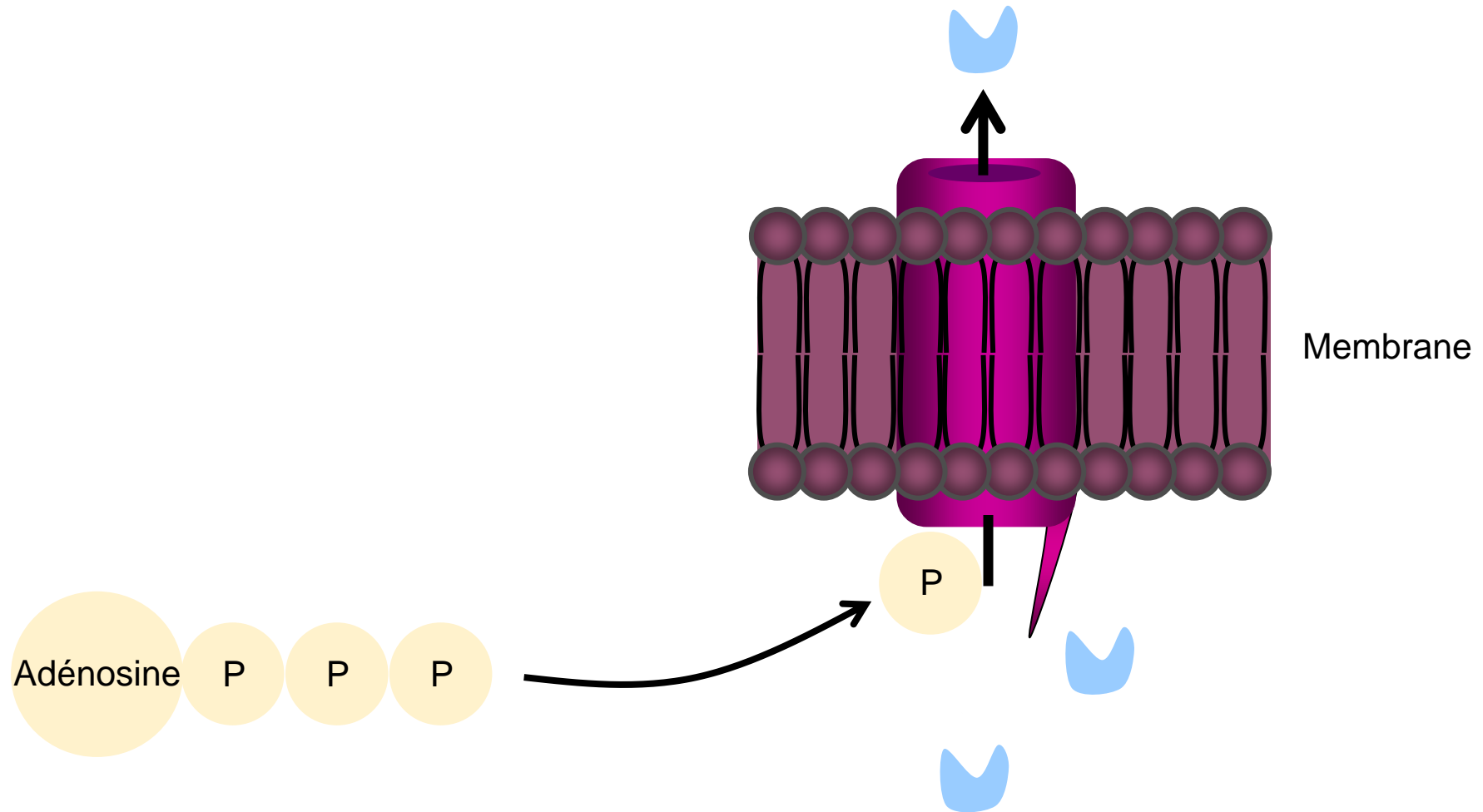
# Diversité métabolique des micro-organismes

---

## C. Stocker l'énergie

### 2. Les fonctions de l'ATP

#### Le transport



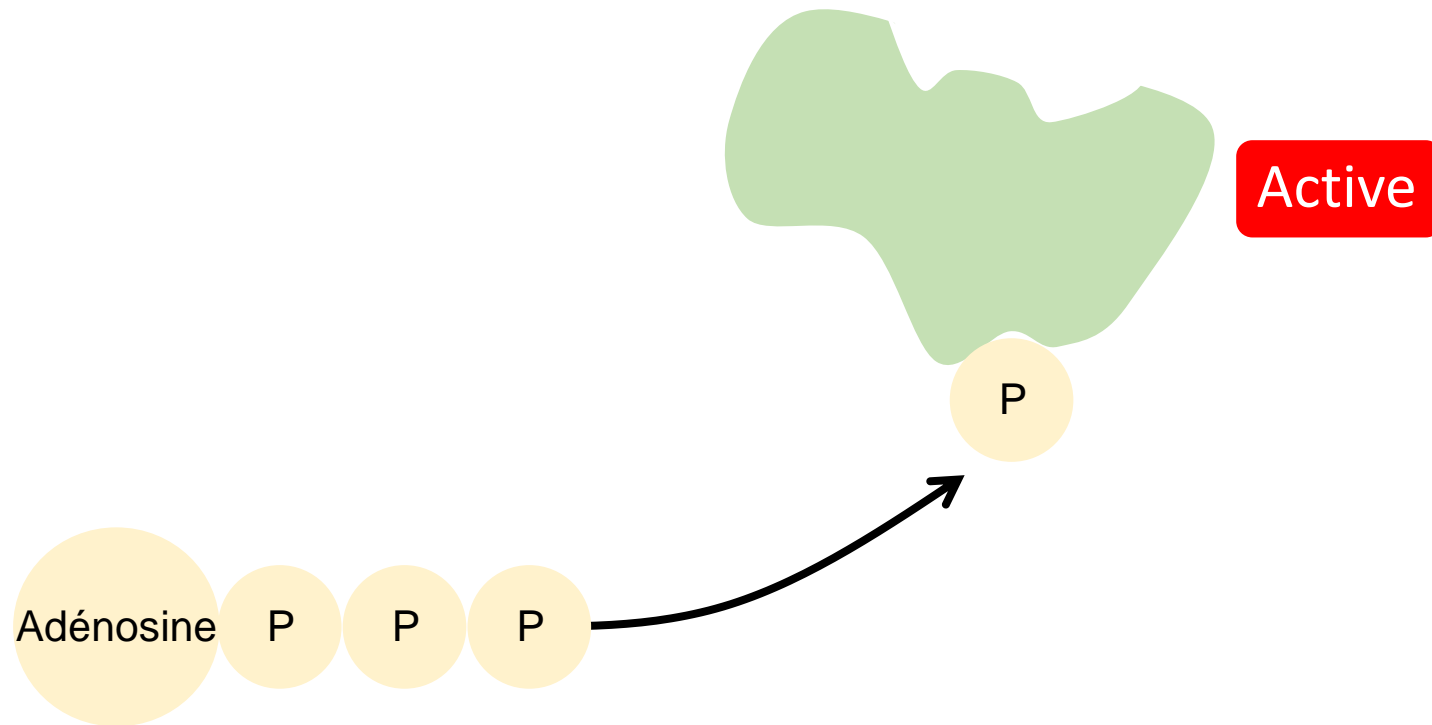
# Diversité métabolique des micro-organismes

---

## C. Stocker l'énergie

### 2. Les fonctions de l'ATP

#### L'activation de protéines



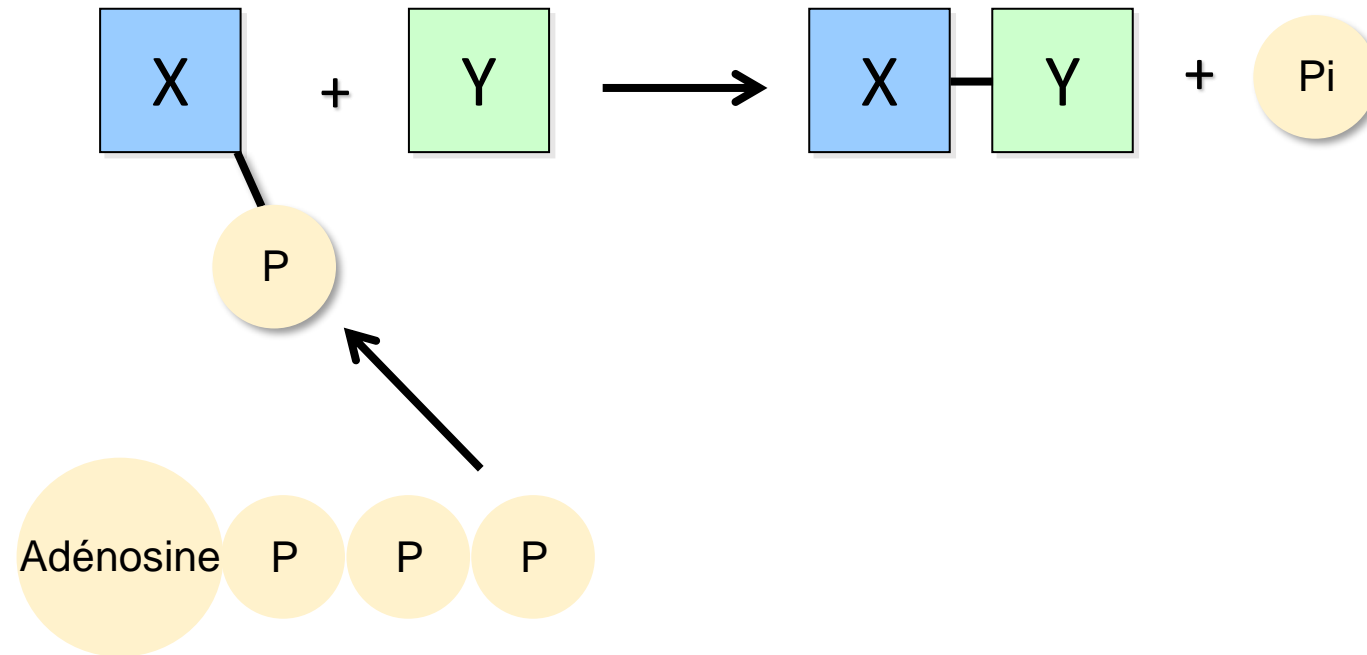
# Diversité métabolique des micro-organismes

---

## C. Stocker l'énergie

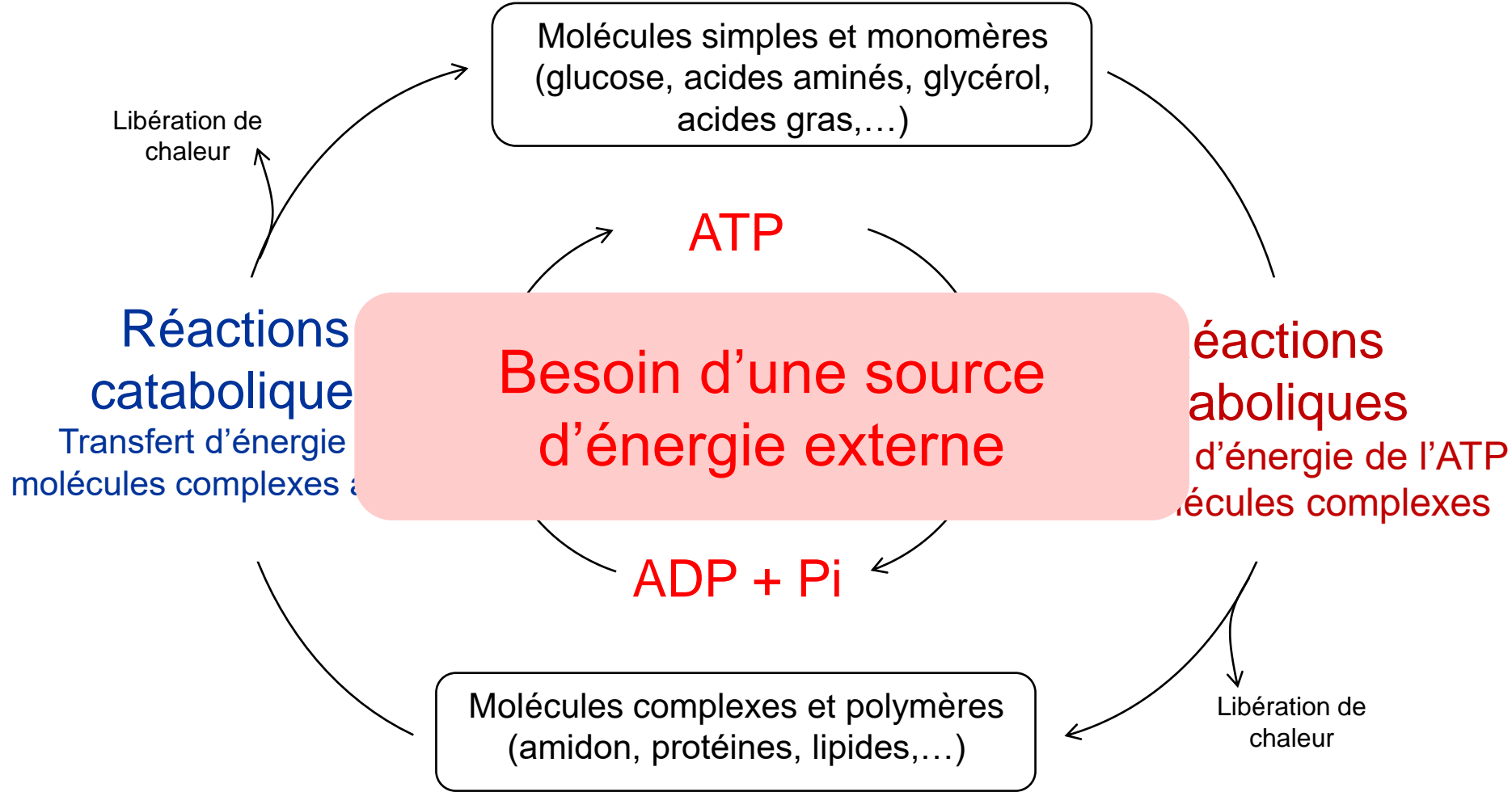
### 2. Les fonctions de l'ATP

#### La phosphorylation de réactifs clés



# Diversité métabolique des micro-organismes

## C. Stocker l'énergie



# Diversité métabolique des micro-organismes

---

## C. Stocker l'énergie

### 3. La production d'ATP



- Liaison riche en énergie (= facilement rompue)
- Addition d'un P à un composé chimique = phosphorylation
  - 3 mécanismes de phosphorylation pour produire de l'ATP
    - Phosphorylation au niveau du substrat
    - Phosphorylation oxydative
    - Photophosphorylation (= photosynthèse)



# Diversité métabolique des micro-organismes

---

## C. Stocker l'énergie

### 3. La production d'ATP

#### Phosphorylation au niveau du substrat

Transfert d'un P riche en énergie directement d'un composé phosphorylé à une molécule d'ADP

A lieu dans le cytoplasme



# Diversité métabolique des micro-organismes

---

## C. Stocker l'énergie

### 3. La production d'ATP

#### Phosphorylation oxydative

- Transfert d'électrons d'un composé organique à des transporteurs d'électrons (NAD<sup>+</sup>, FAD, ...)



- Les électrons passent par des transporteurs d'électrons pour aboutir à l'accepteur final d'électrons (O<sub>2</sub>, molécule inorganique ou molécule organique)
- Le transfert des électrons d'un transporteur à l'autre libère de l'énergie qui sert à produire de l'ATP (= chimiosmose)

# Diversité métabolique des micro-organismes

---

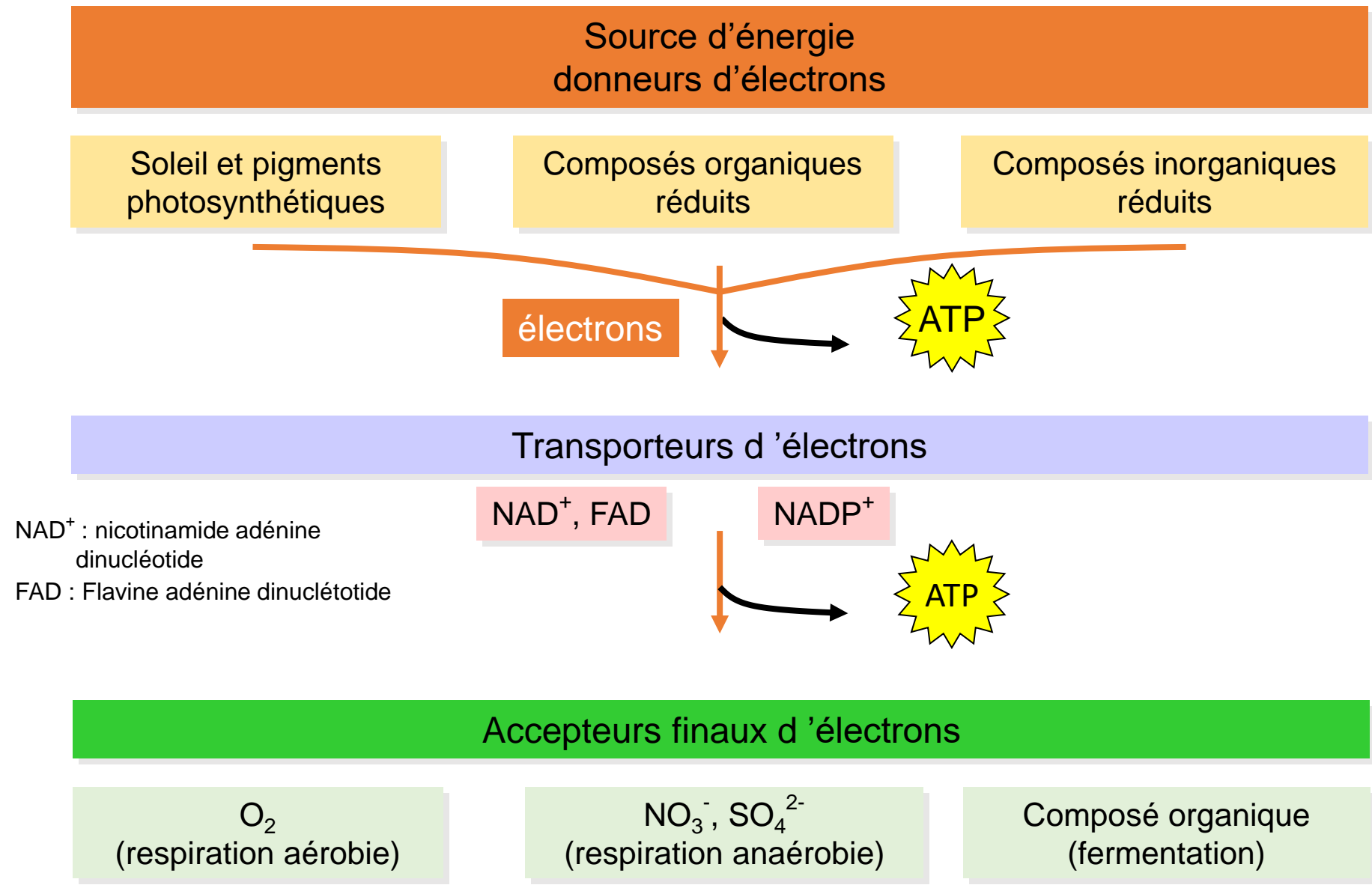
## C. Stocker l'énergie

### 3. La production d'ATP

#### Photophosphorylation

- N'a lieu que dans les cellules photosynthétiques
- Source d'énergie lumineuse captée par des pigments (ex: la chlorophylle)
- L'énergie lumineuse est transformée en énergie chimique (ATP et NADPH)
- ATP et NADPH servent à la synthèse de molécules organiques

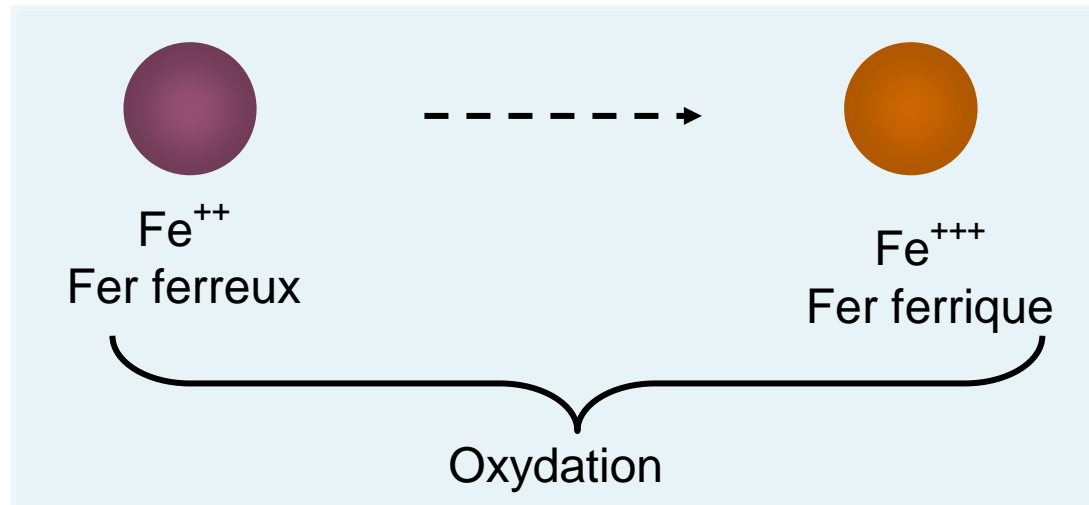
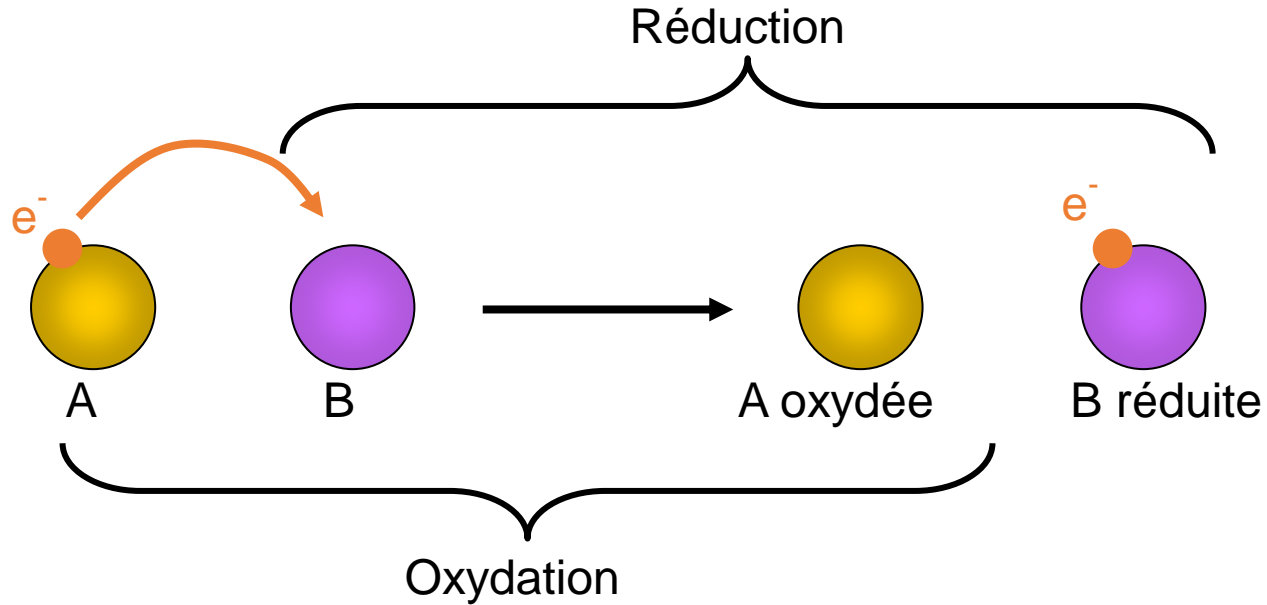
# Diversité métabolique des micro-organismes



# Diversité métabolique des micro-organismes

## D. Les réactions d'oxydo-réduction

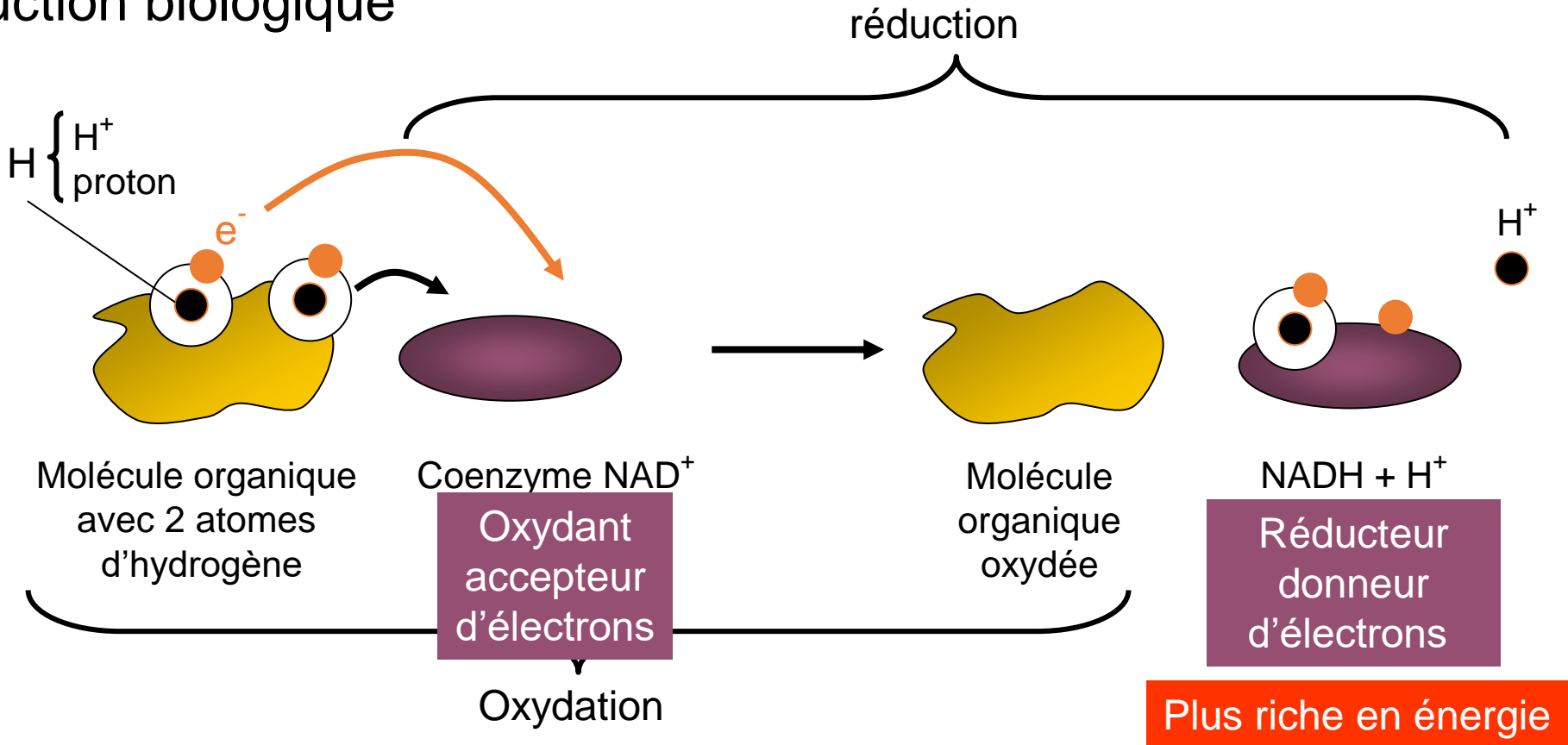
### 1. La réaction



# Diversité métabolique des micro-organismes

## D. Les réactions d'oxydo-réduction

### 2. L'oxydo-réduction biologique



Les organismes utilisent les réactions d'oxydoréduction lors du catabolisme pour extraire l'énergie des molécules de nutriment

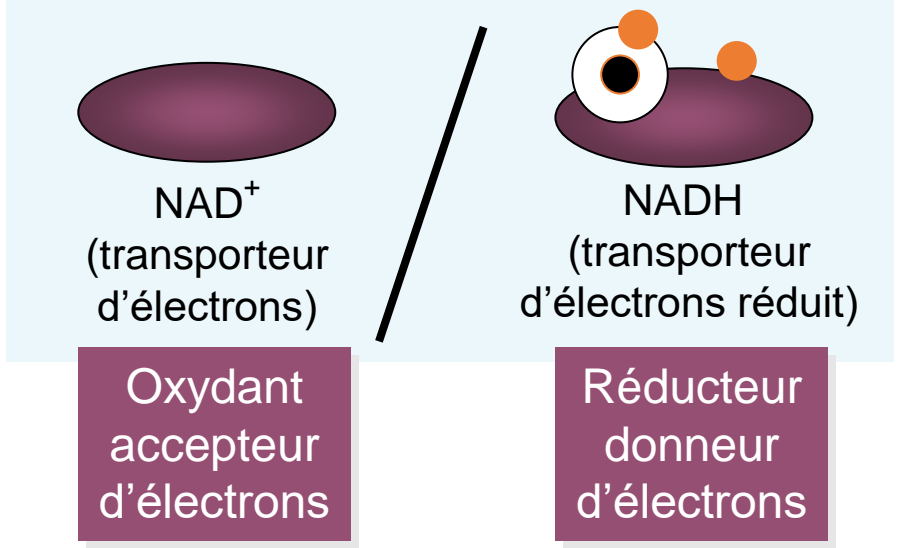
NAD<sup>+</sup> : nicotinamide adénine dinucléotide.



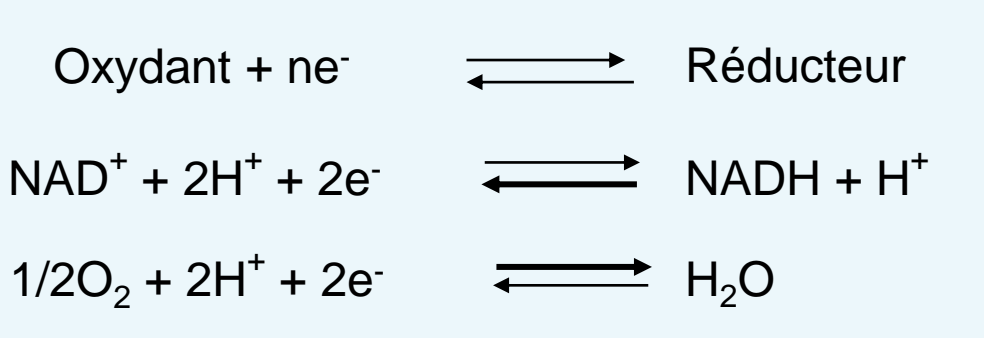
# Diversité métabolique des micro-organismes

## D. Les réactions d'oxydo-réduction

### 3. Les couples redox



- Potentiel de réduction standard ( $E^0$ ):
  - constante d'équilibre de la réaction
  - mesure la tendance de l'agent réducteur à perdre ses électrons



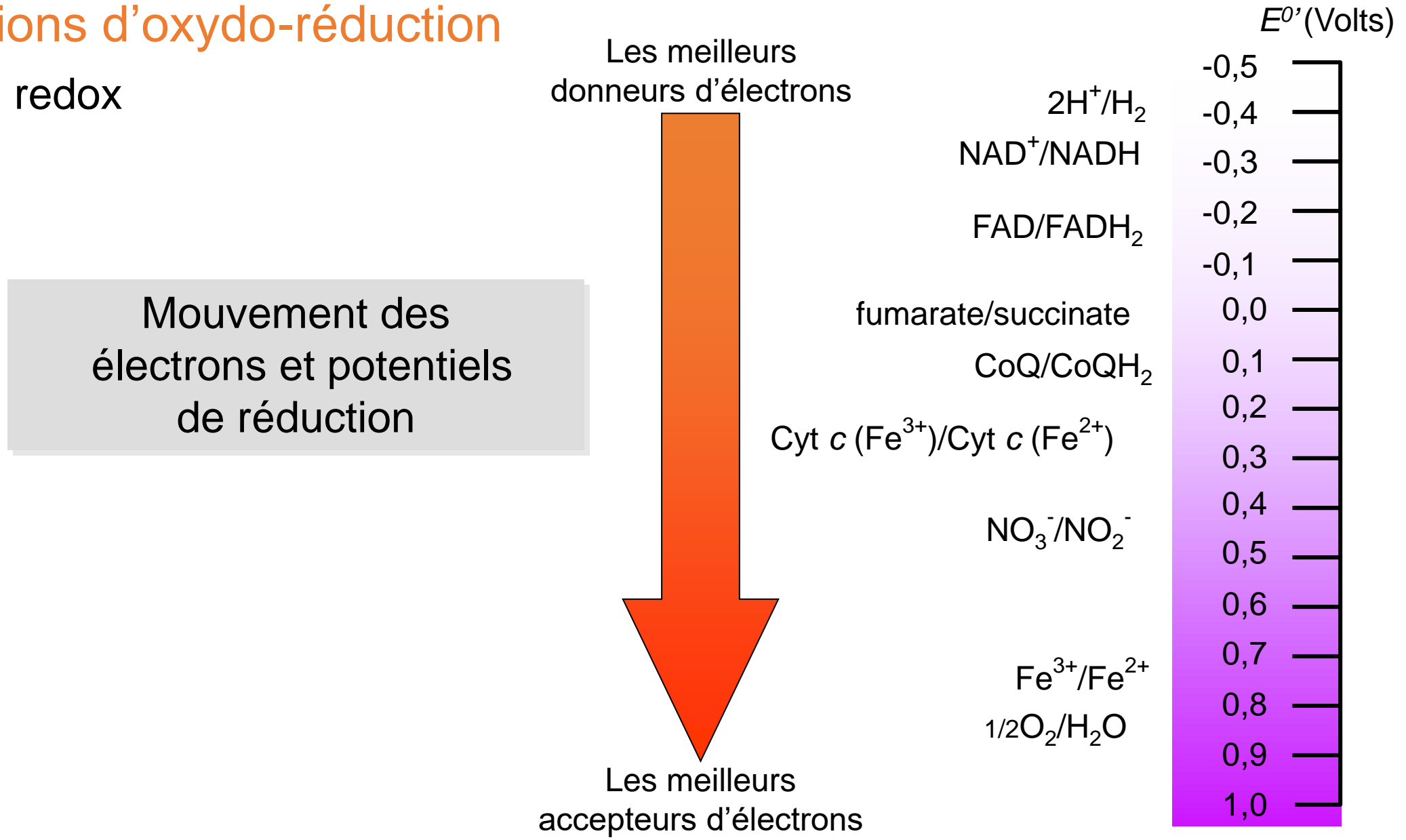
Potentiel de réduction standard à pH 7,0 ( $E^0$ )

- 0,32 Volts	$\longrightarrow$	endergonique
+ 0,82 Volts	$\longrightarrow$	exergonique

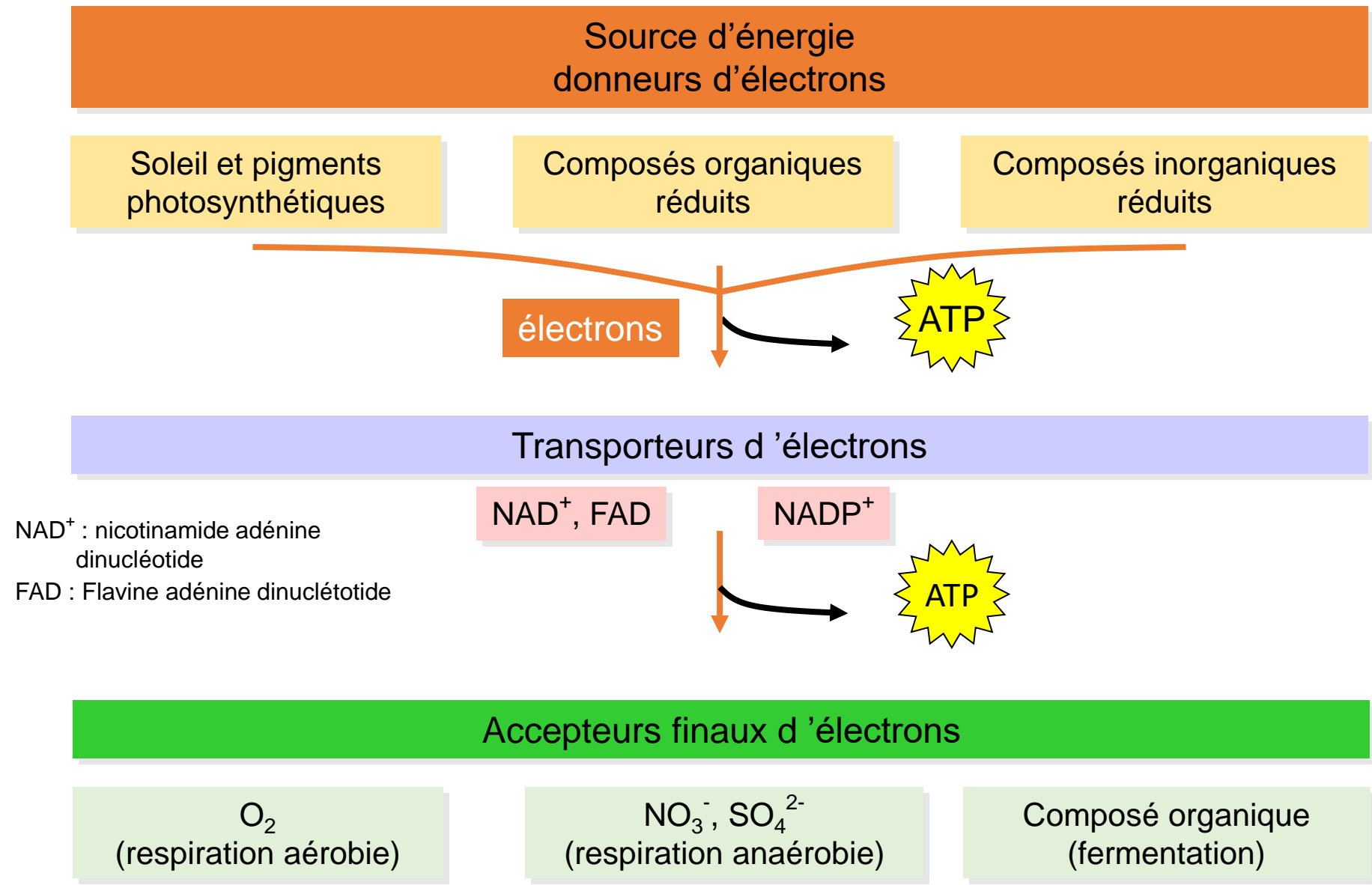
# Diversité métabolique des micro-organismes

## D. Les réactions d'oxydo-réduction

### 3. Les couples redox



# Diversité métabolique des micro-organismes

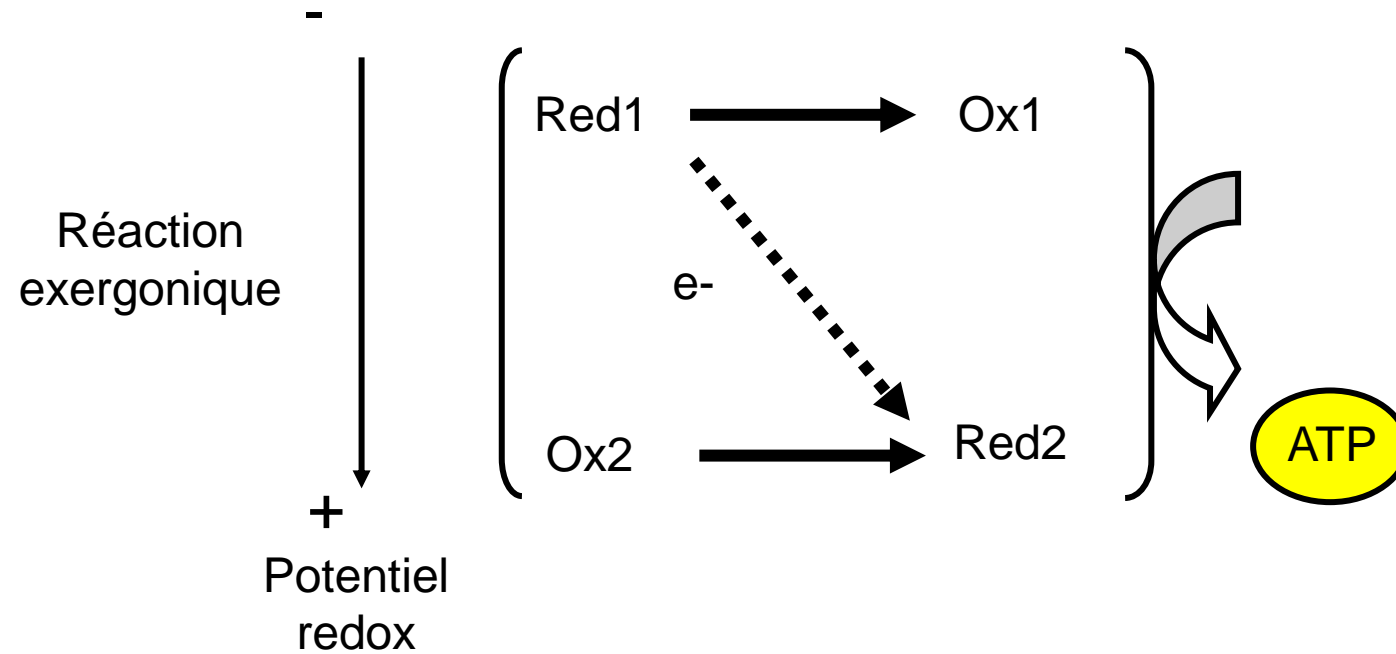


# Diversité métabolique des micro-organismes

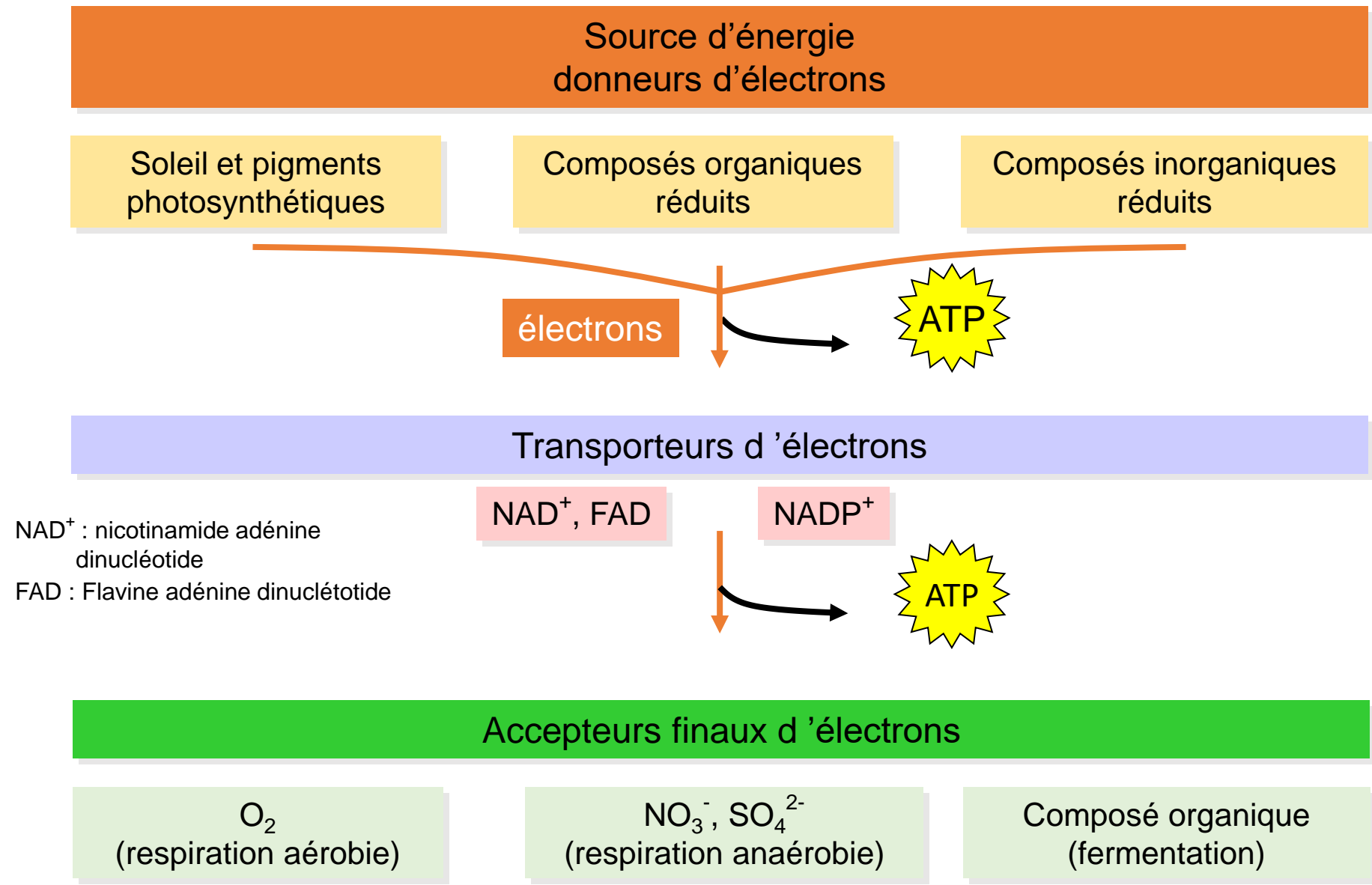
---

## D. Les réactions d'oxydo-réduction

### 4. Principe

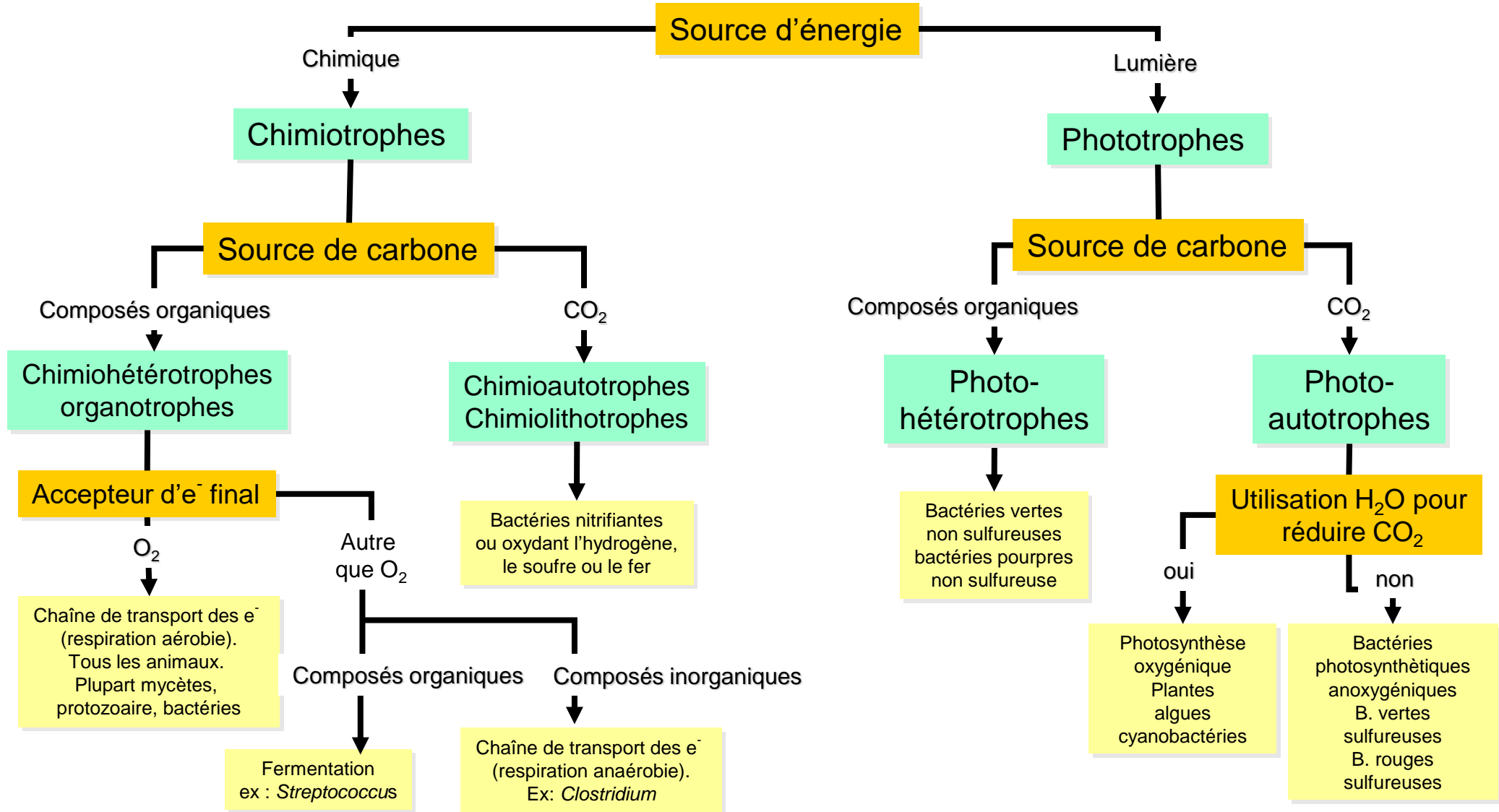


# Diversité métabolique des micro-organismes



# Diversité métabolique des micro-organismes

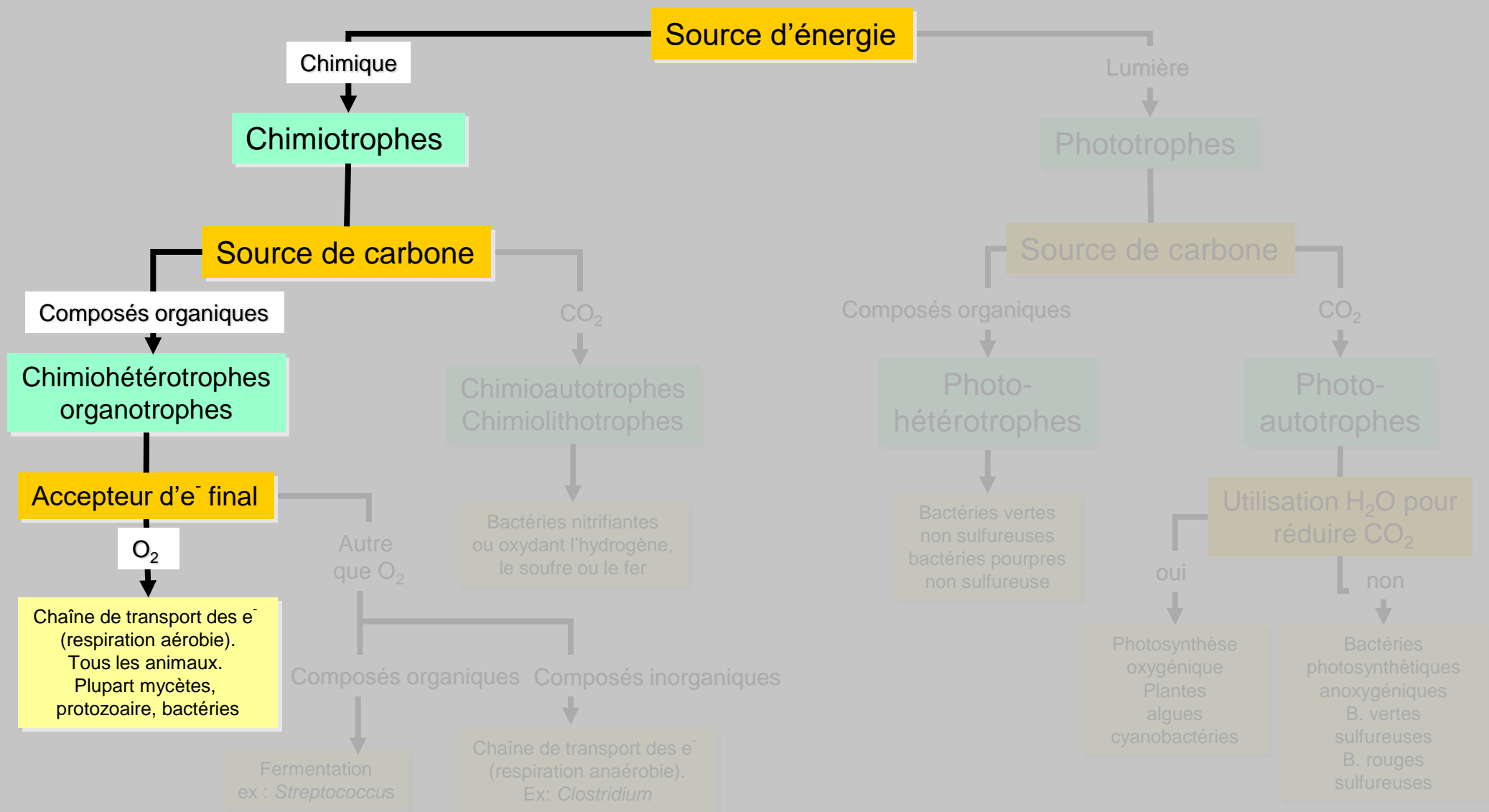
## E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel





# Diversité métabolique des micro-organismes

## E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel



# Diversité métabolique des micro-organismes

## E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel

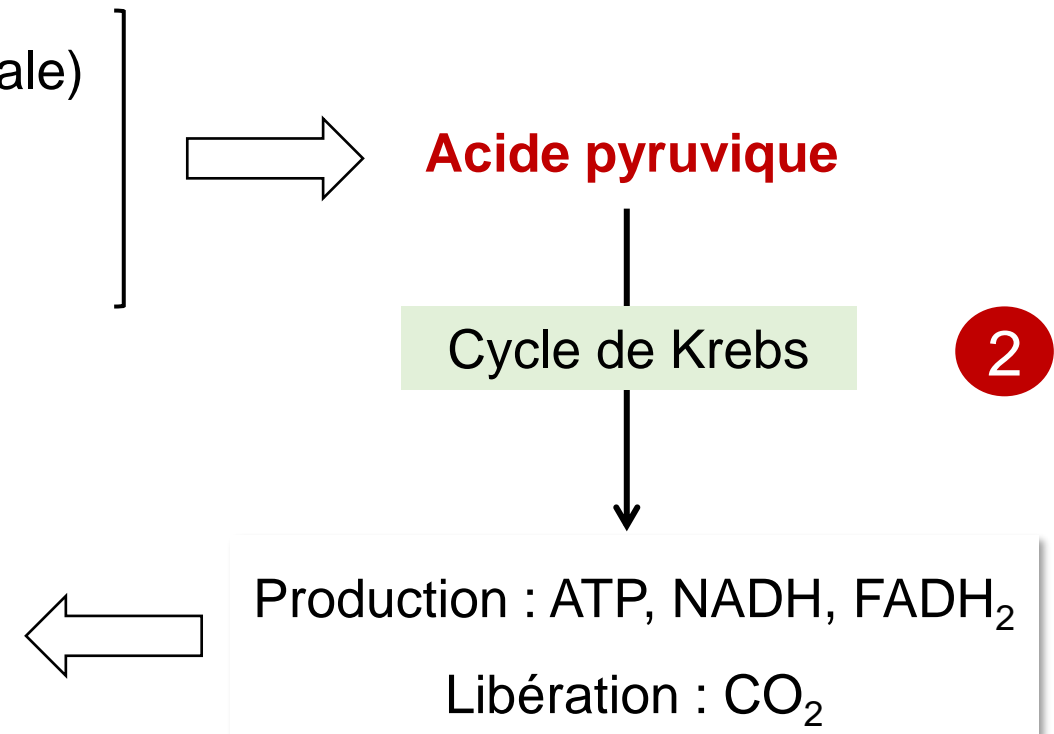
### 1. Les chimiohétérotrophes

#### La respiration aérobie

Sources d'énergie :

- 1**
- Catabolisme des glucides (principale)
  - Catabolisme des lipides
  - Catabolisme des protéines

- 3**
- Oxydation de NADH et FADH<sub>2</sub> dans la chaîne de transport des électrons → production d'ATP



# Diversité métabolique des micro-organismes

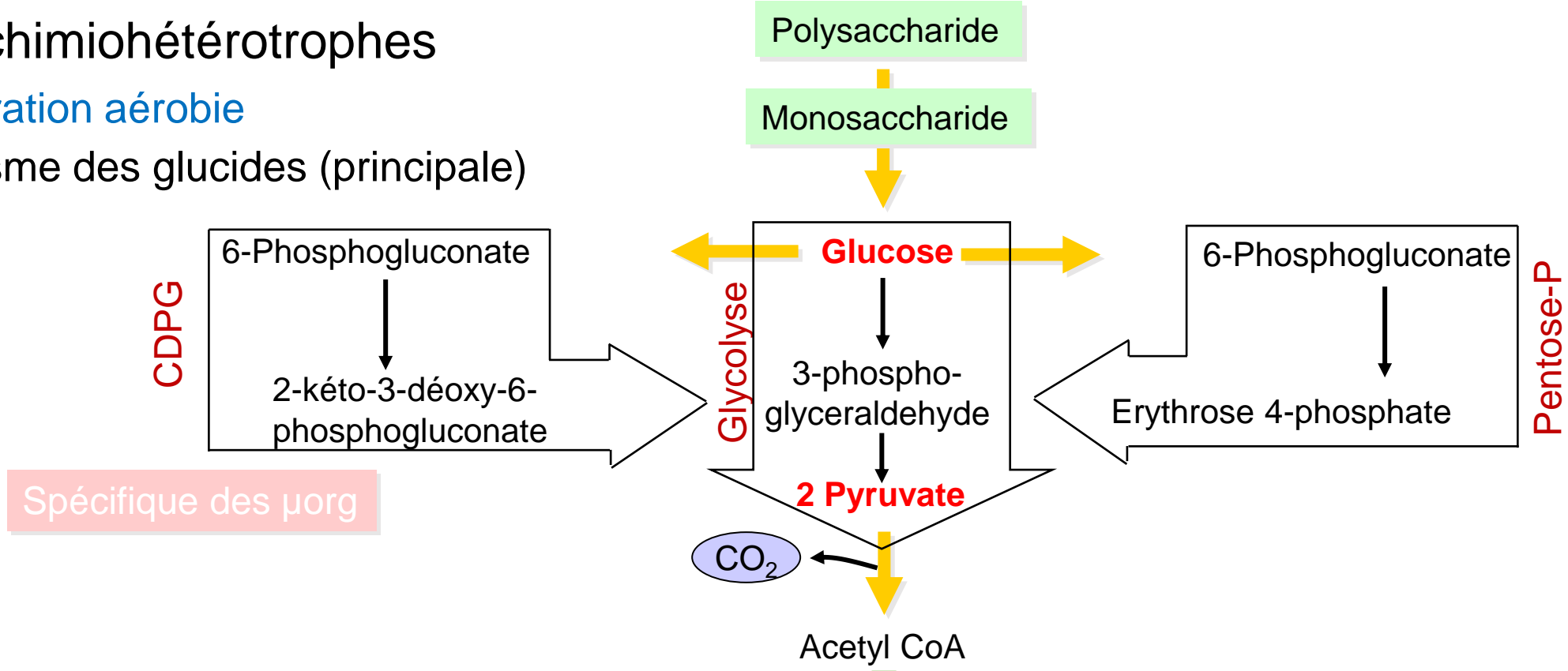
## E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel

### 1. Les chimiohétérotrophes

#### La respiration aérobie

Catabolisme des glucides (principale)

1



2

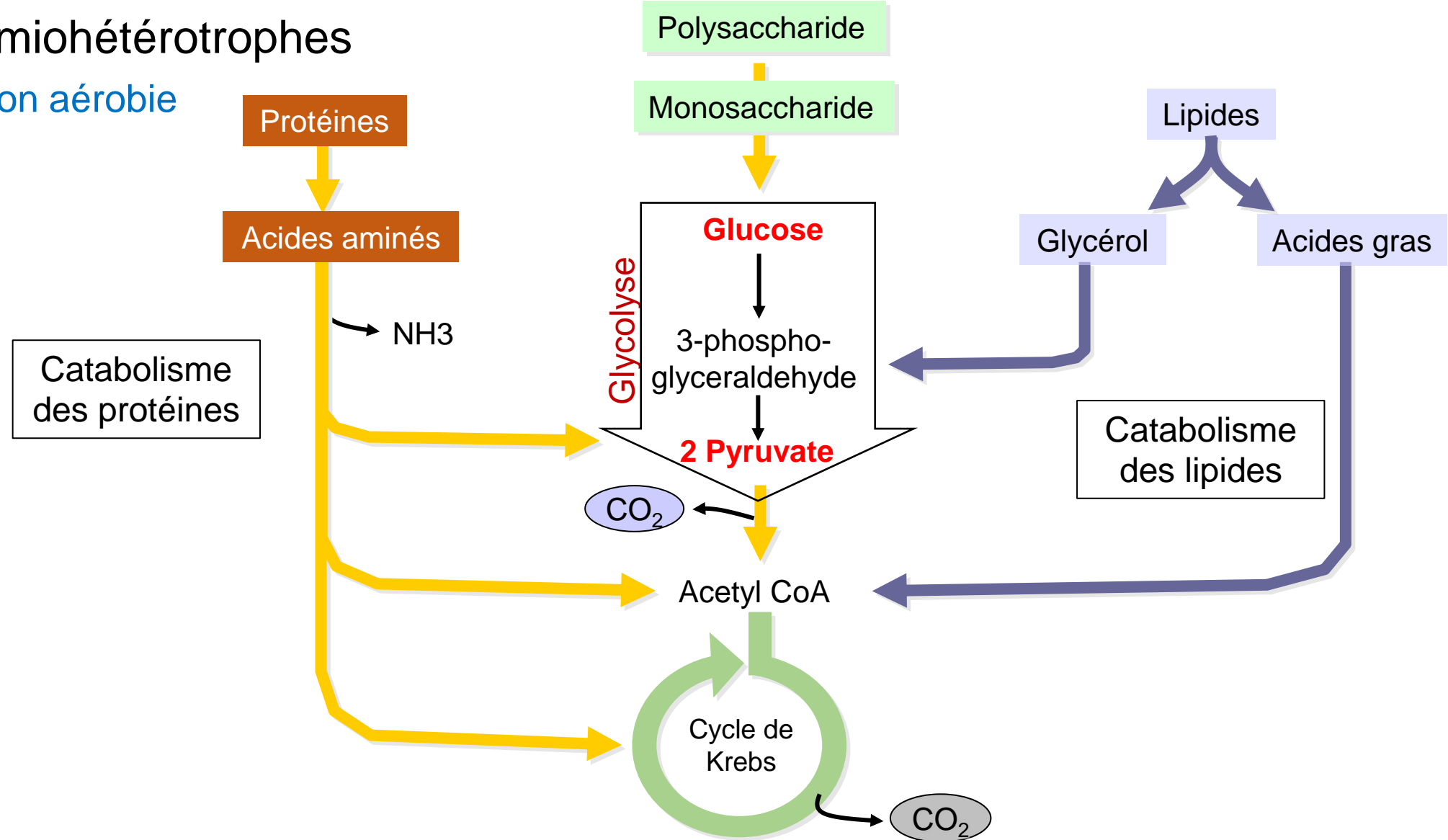
# Diversité métabolique des micro-organismes

## E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel

### 1. Les chimiohétérotrophes

#### La respiration aérobie

1



2

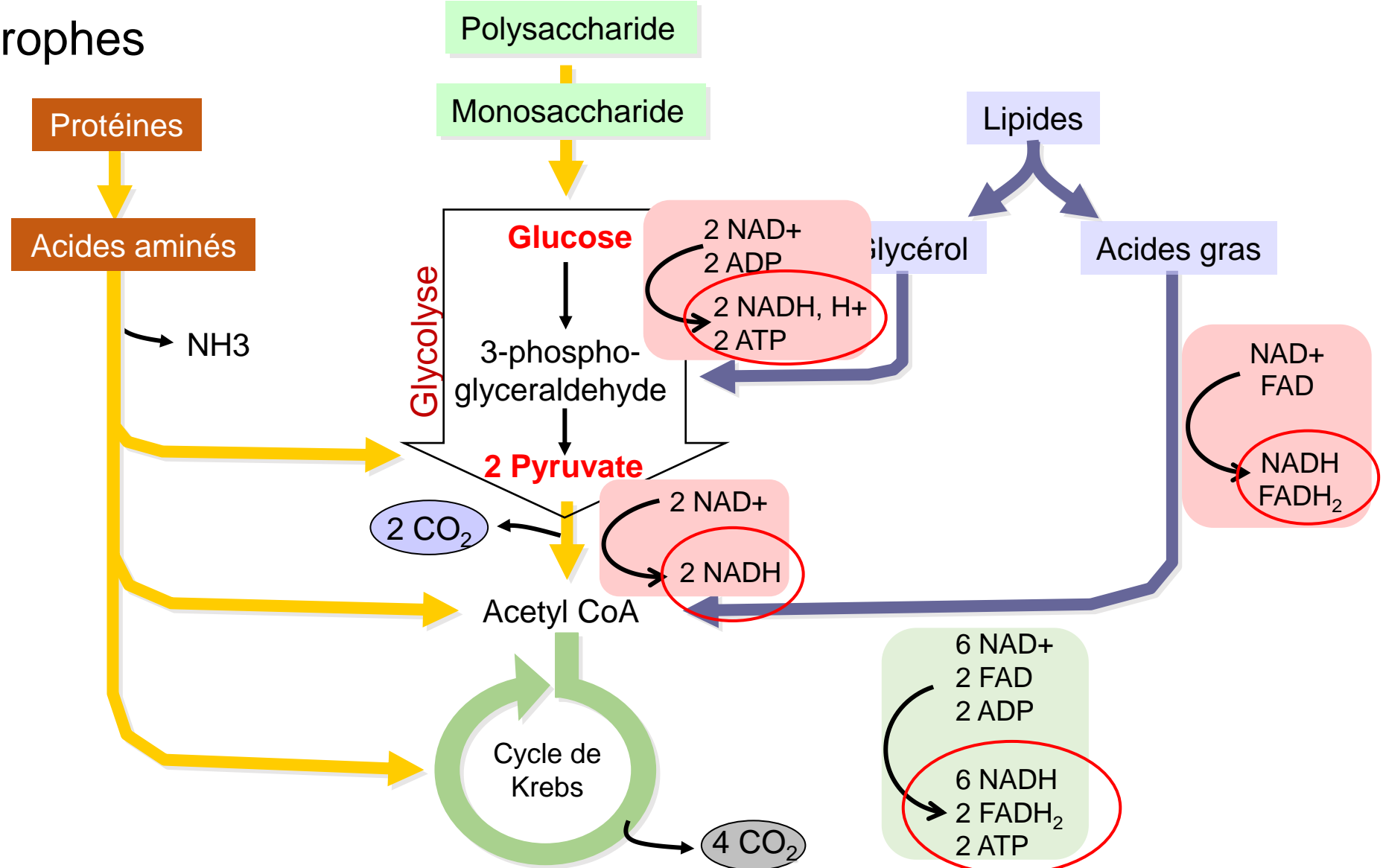
# Diversité métabolique des micro-organismes

## E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel

### 1. Les chimiohétérotrophes

#### La respiration aérobie

1



2

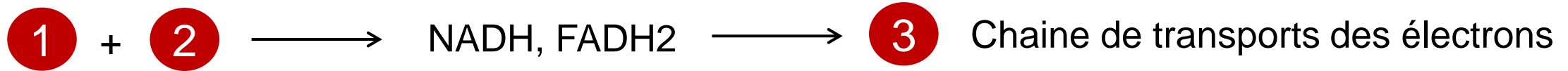
# Diversité métabolique des micro-organismes

---

## E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel

### 1. Les chimiohétérotrophes

#### La respiration aérobie



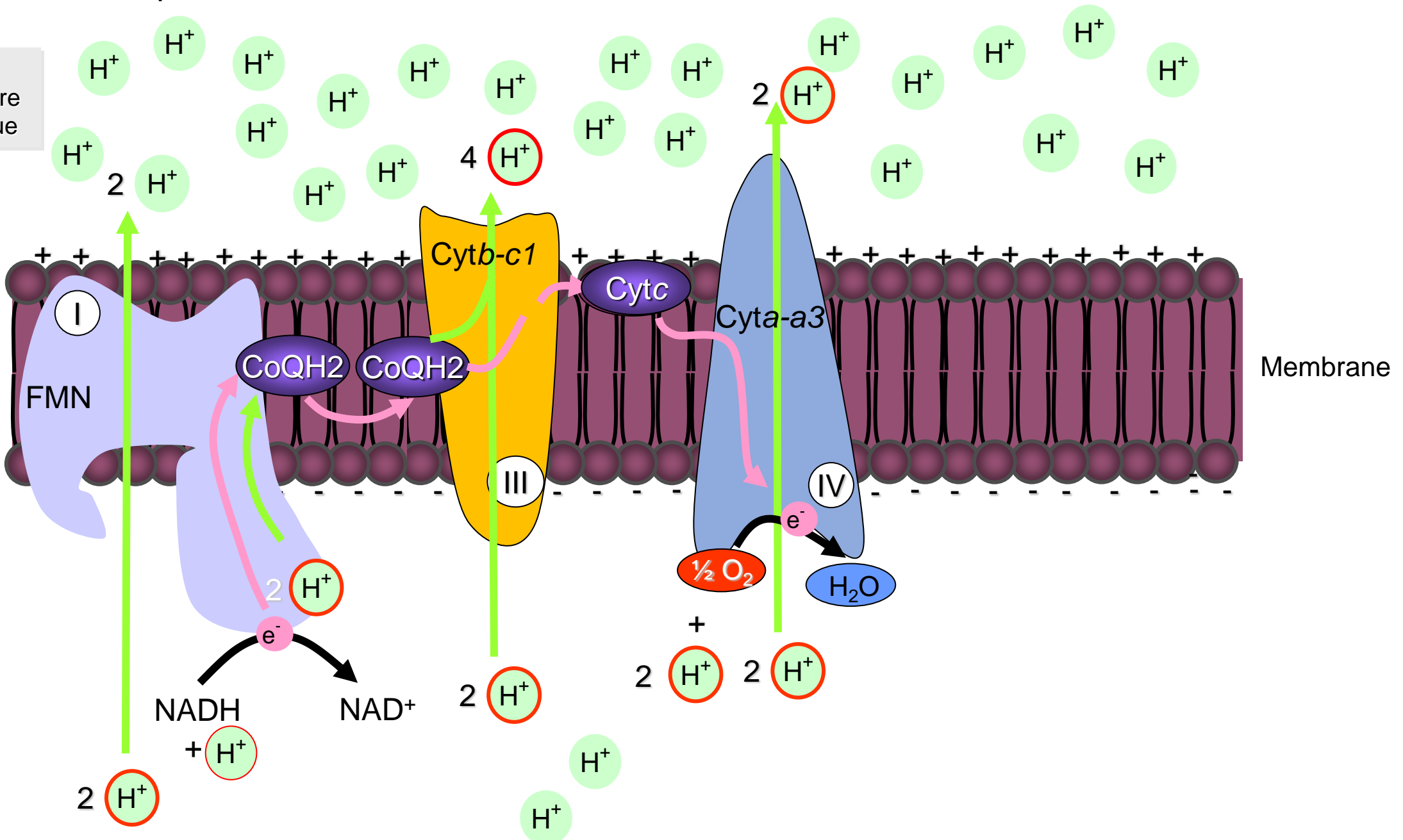
- Séquence de **transporteurs moléculaires** capables d'effectuer des réactions d'**oxydo-réduction**
- 3 classes de transporteurs :
  - **Flavoprotéines** : contiennent de la flavine (ex: FMN)
  - **Cytochromes** : contiennent des groupements porteurs de fer (hème)
  - **Ubiquinones** (ou Coenzymes Q) : petits transporteurs non protéiques
- Les chaînes de transport ne sont pas toutes identiques chez les bactéries
- Production d'ATP par **chimiosmose** (accepteur final O<sub>2</sub>)

3

# Chaîne de transports des électrons

Espace intermembranaire ou périplasmique

Cytoplasme

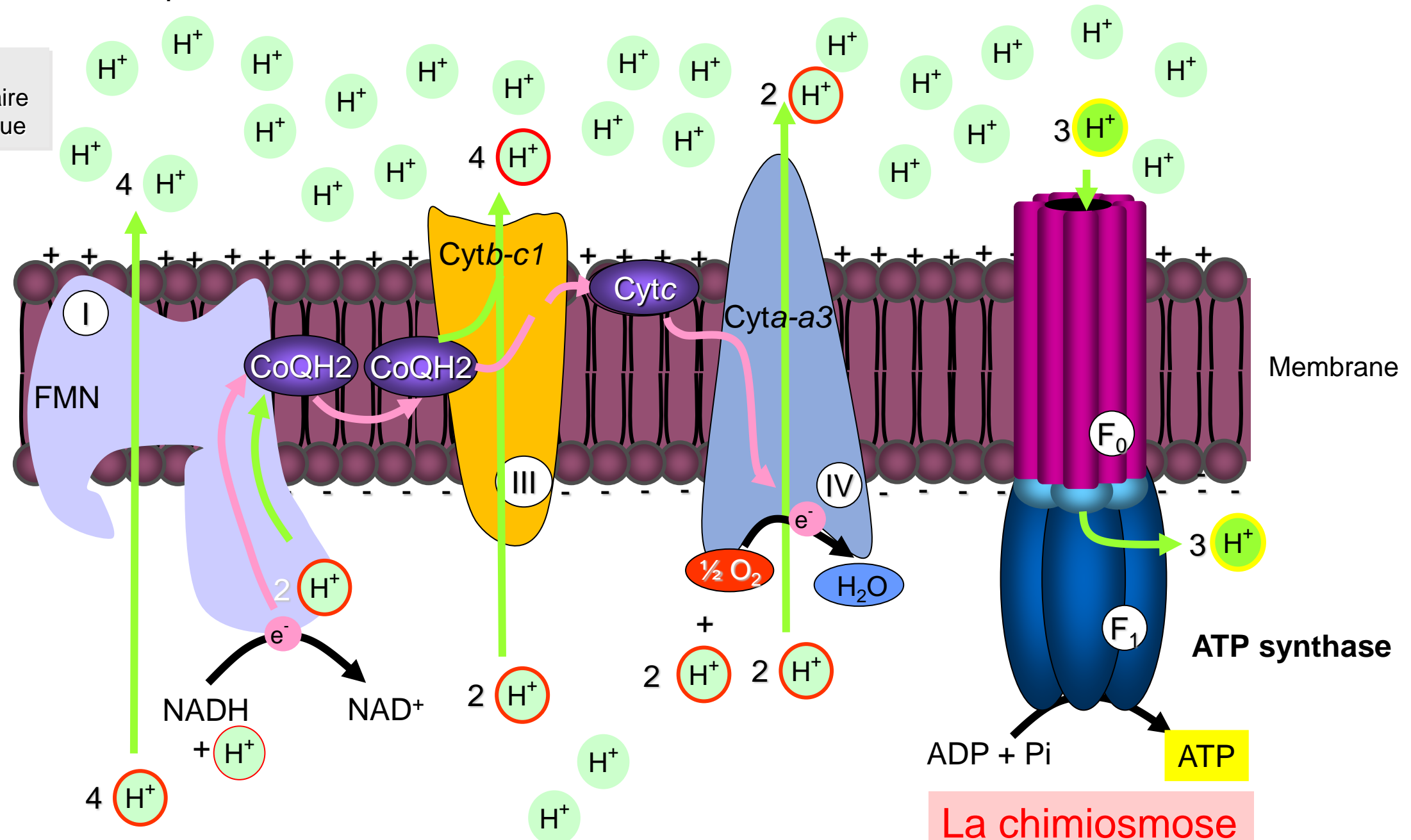


# 3

## Chaîne de transports des électrons

Espace intermembranaire ou périplasmique

Cytoplasme



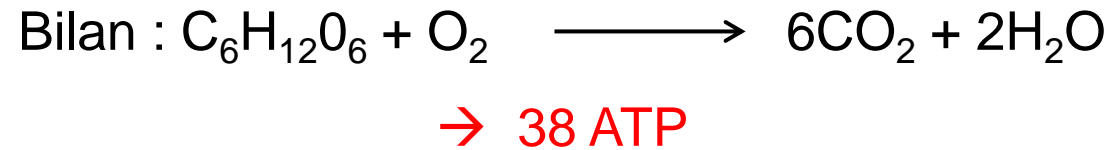


# Diversité métabolique des micro-organismes

## E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel

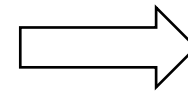
### 1. Les chimiohétérotrophes

#### La respiration aérobie



Sources d'énergie :

- 1**
- Catabolisme des glucides (principale)
  - Catabolisme des lipides
  - Catabolisme des protéines

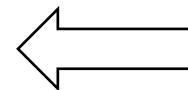


**Acide pyruvique**

Cycle de Krebs

**2**

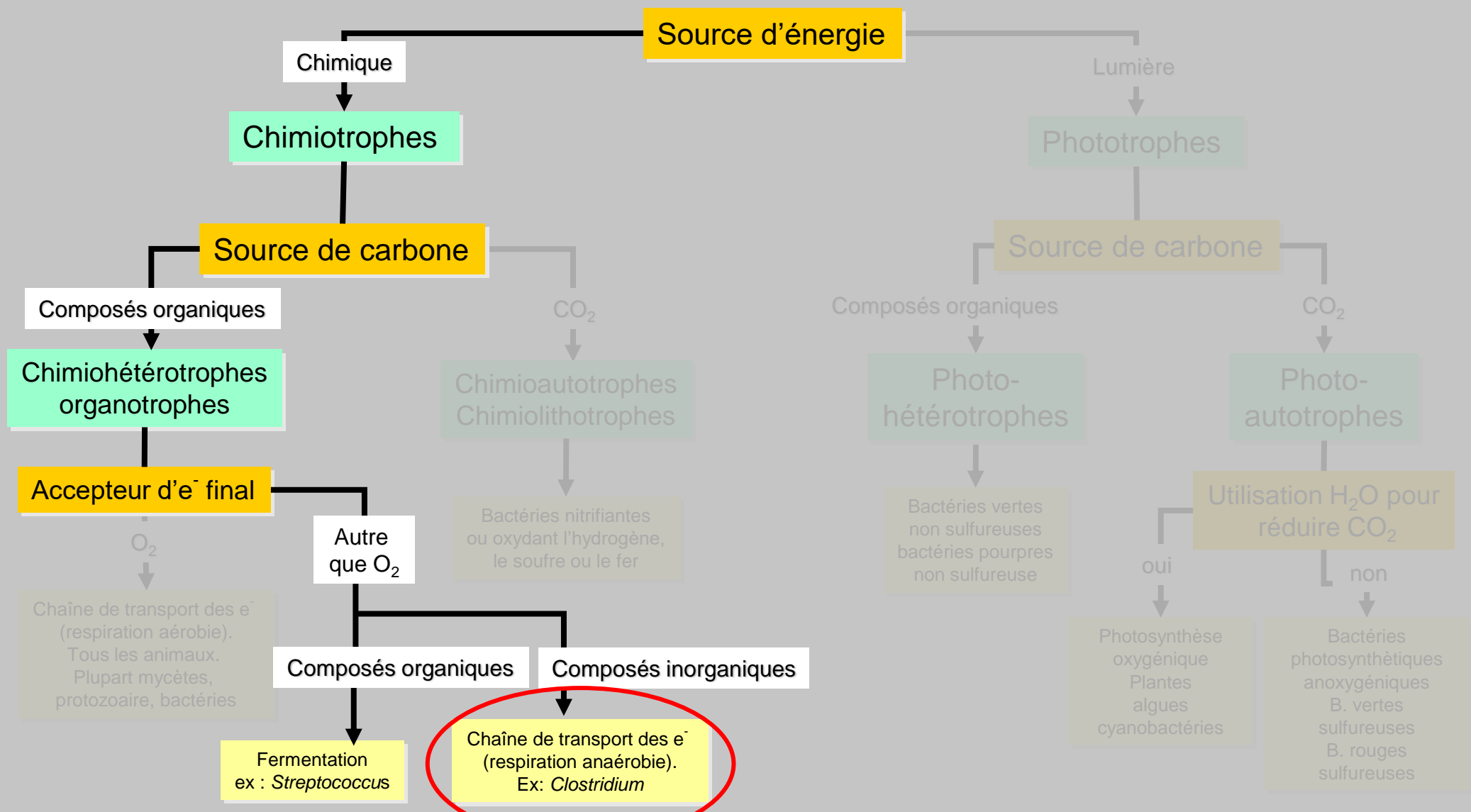
Production : ATP, NADH, FADH<sub>2</sub>  
Libération : CO<sub>2</sub>



- 3**
- Oxydation de NADH et FADH<sub>2</sub>  
dans la chaîne de transport des électrons → production d'ATP

# Diversité métabolique des micro-organismes

## E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel



# Diversité métabolique des micro-organismes

## E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel

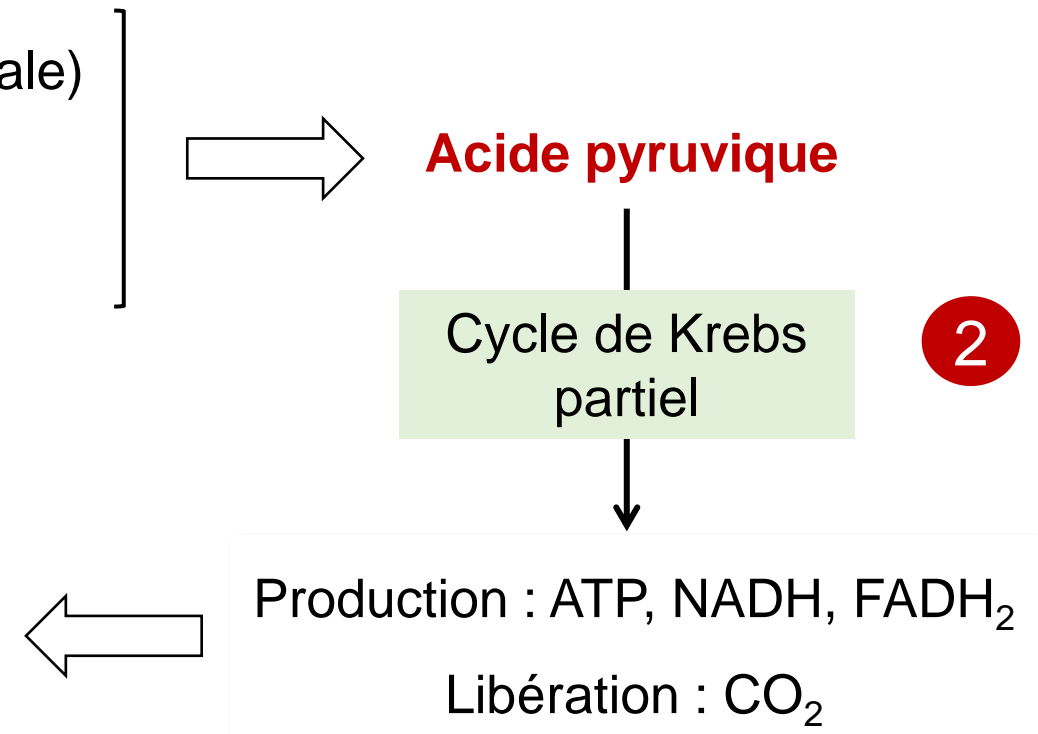
### 1. Les chimiohétérotrophes

#### La respiration anaérobie

Sources d'énergie :

- 1
- Catabolisme des glucides (principale)
  - Catabolisme des lipides
  - Catabolisme des protéines

- 3
- Oxydation de NADH et FADH<sub>2</sub> dans la chaîne de transport des électrons → production d'ATP  
**Accepteur final autre que l'O<sub>2</sub>**



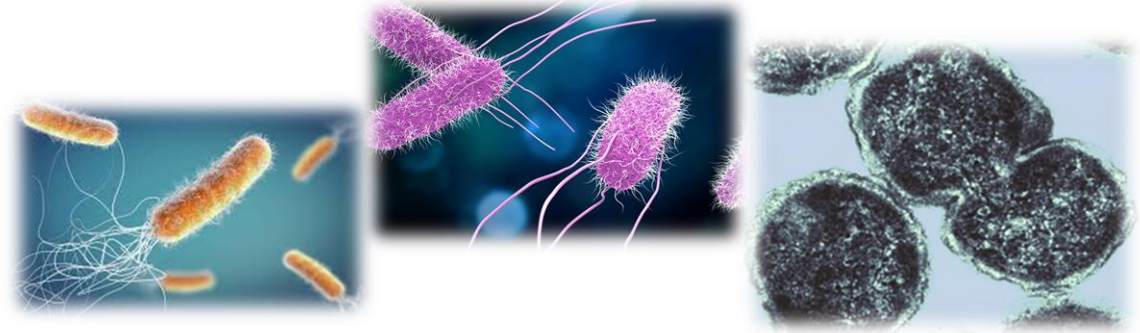
# Diversité métabolique des micro-organismes

## E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel

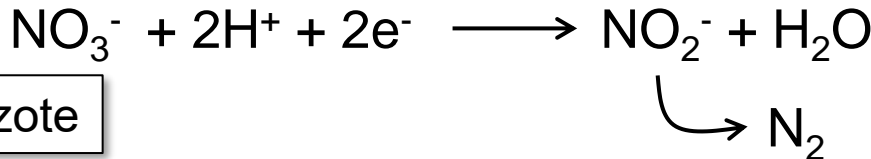
### 1. Les chimiohétérotrophes

#### La respiration anaérobie

3 Accepteur final d'électrons :

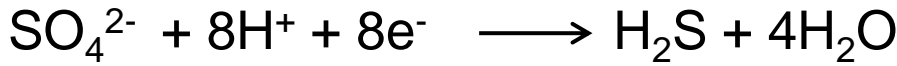


Cycle de l'azote

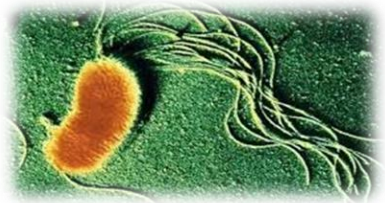
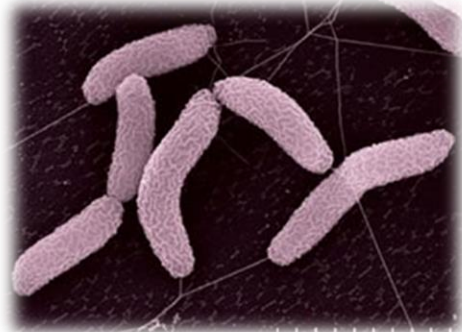


*Pseudomonas, Bacillus, Paracoccus...*

Cycle du soufre



*Desulfovibrio, ...*



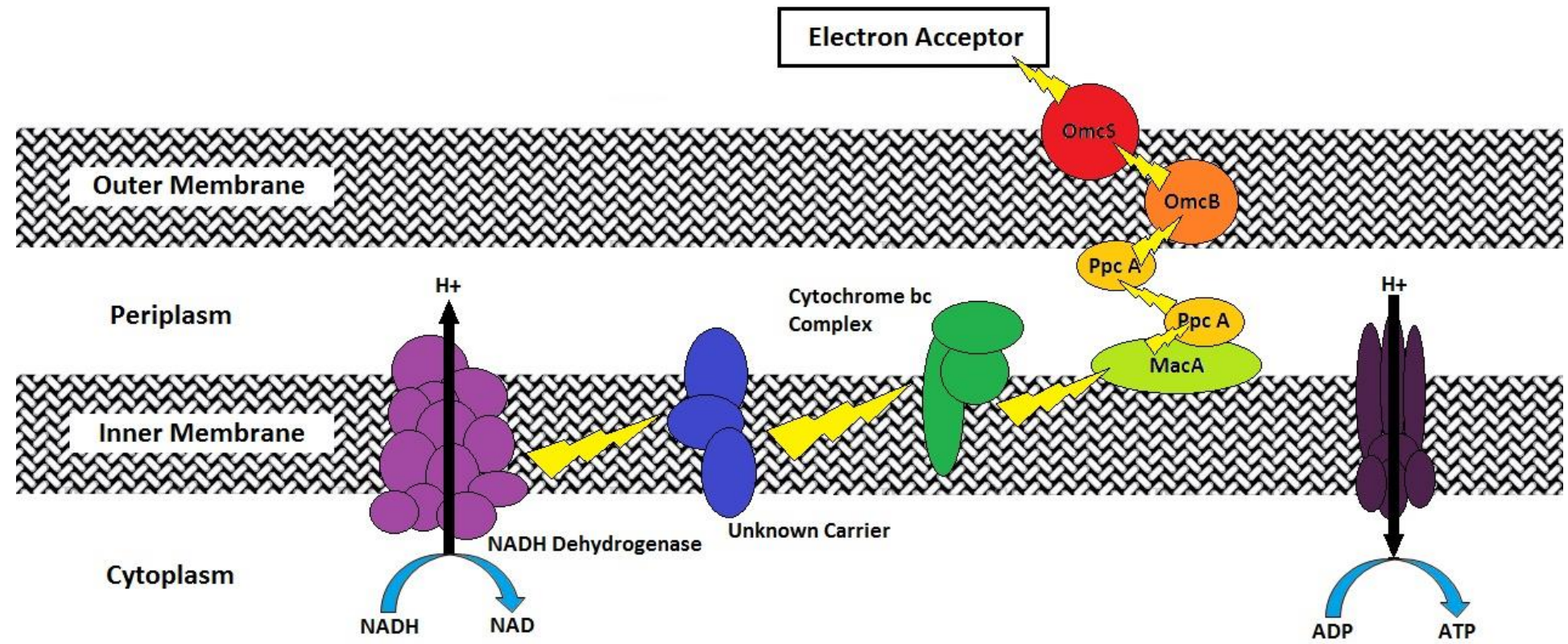
# Diversité métabolique des micro-organismes

## E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel

### 1. Les chimiohétérotrophes

#### La respiration anaérobie

*Geobacter*





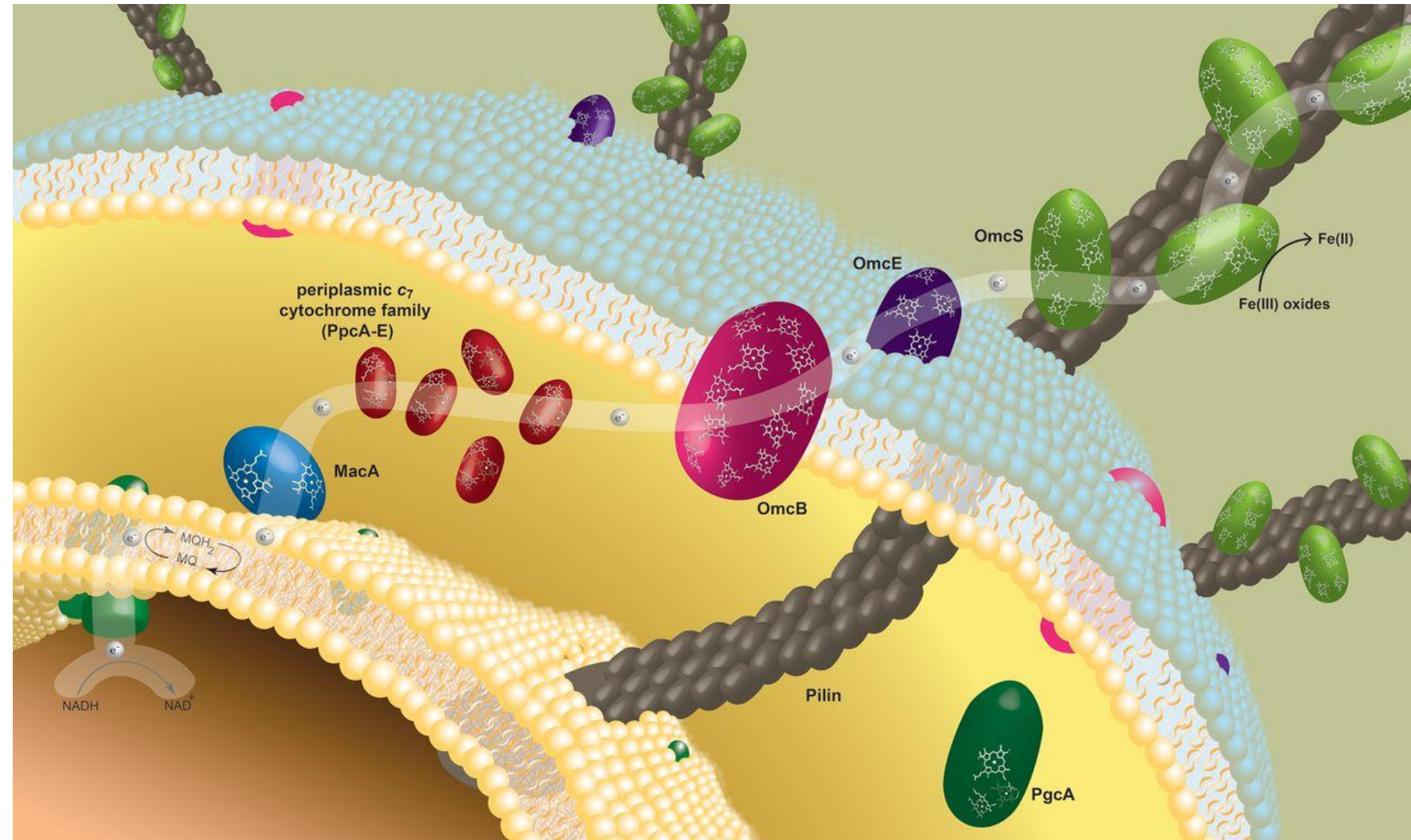
# Diversité métabolique des micro-organismes

## E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel

### 1. Les chimiohétérotrophes

#### La respiration anaérobie

*Geobacter*



# Diversité métabolique des micro-organismes

## E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel

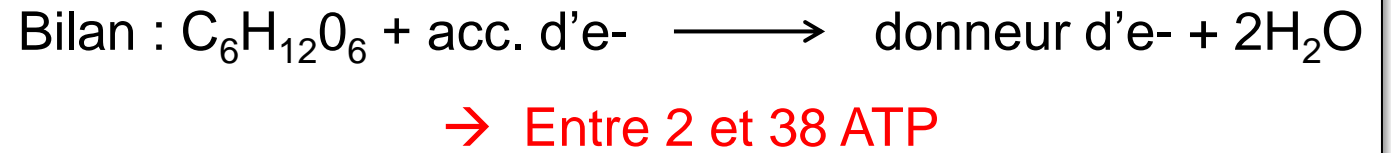
### 1. Les chimiohétérotrophes

#### La respiration anaérobie

Sources d'énergie :

- 1 - Catabolisme des glucides (principale)
- Catabolisme des lipides
- Catabolisme des protéines

- 3 Oxydation de NADH et FADH<sub>2</sub> dans la chaîne de transport des électrons → production d'ATP  
**Accepteur final autre que l'O<sub>2</sub>**



**Production d'ATP moins efficace qu'en aérobie**

**Acide pyruvique**

Cycle de Krebs partiel

2

Production : ATP, NADH, FADH<sub>2</sub>  
Libération : CO<sub>2</sub>

# Diversité métabolique des micro-organismes

---

## E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel

### 1. Les chimiohétérotrophes

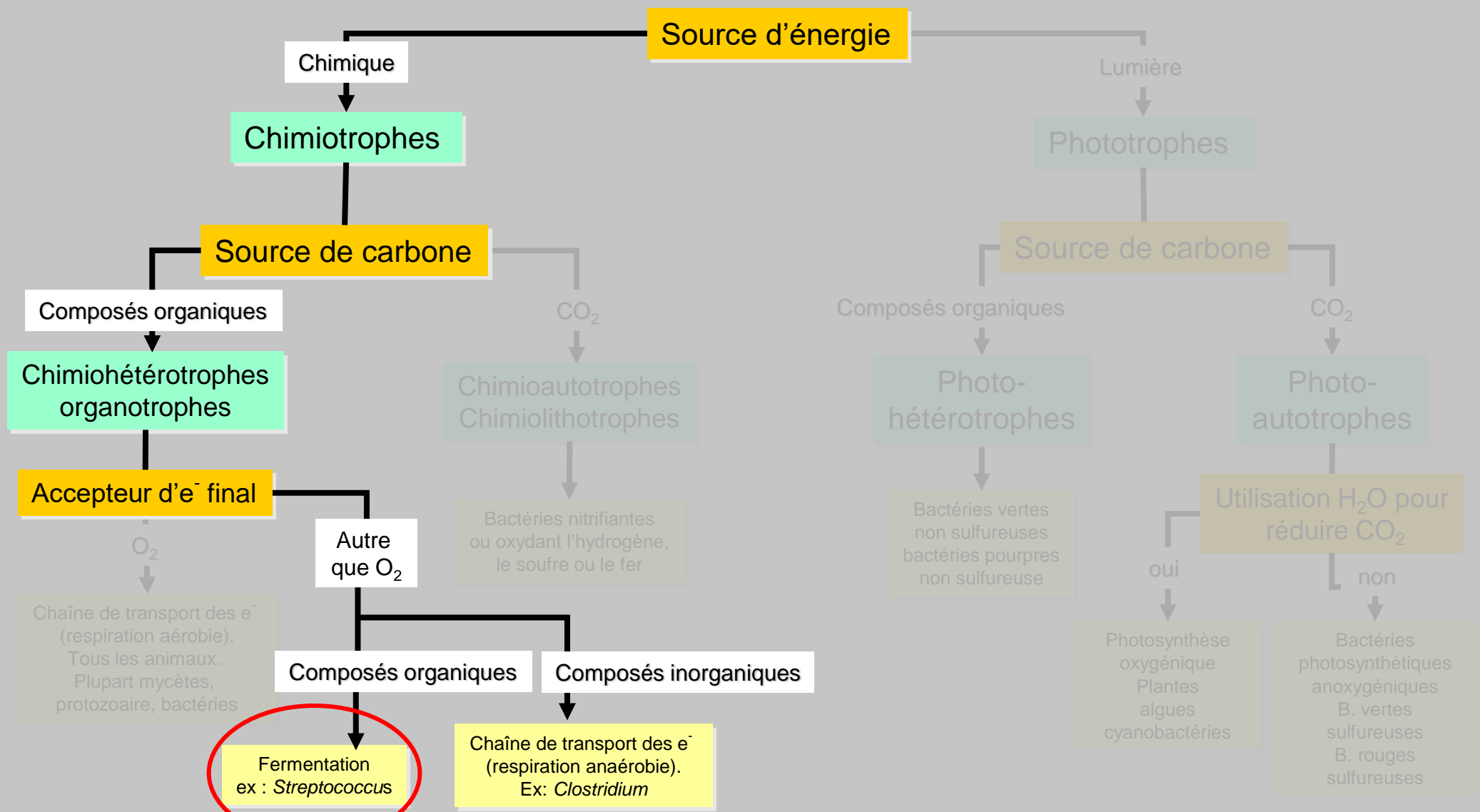
*Pseudomonas aeruginosa* est anaérobie facultatif

O <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Croissance	Pourquoi ?
-	-	-	Pas d'accepteur e <sup>-</sup> , pas d'ATP
+	-	+	Respiration aérobie
-	+	+	Respiration <b>anaérobie</b>
+	+	+	Respiration aérobie



# Diversité métabolique des micro-organismes

## E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel



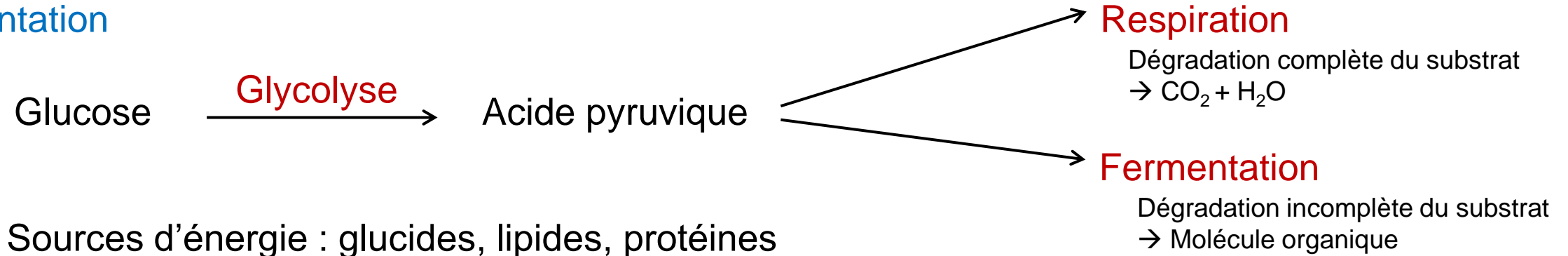
# Diversité métabolique des micro-organismes

---

## E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel

### 1. Les chimiohétérotrophes

#### La fermentation



- Sources d'énergie : glucides, lipides, protéines
- Ne nécessite pas d' $\text{O}_2$  mais peut se faire en sa présence
- Ni cycle de Krebs, ni chaîne de transport des électrons
- Accepteur final d'électrons : molécule organique
- Produit de faibles quantités d'ATP

# Diversité métabolique des micro-organismes

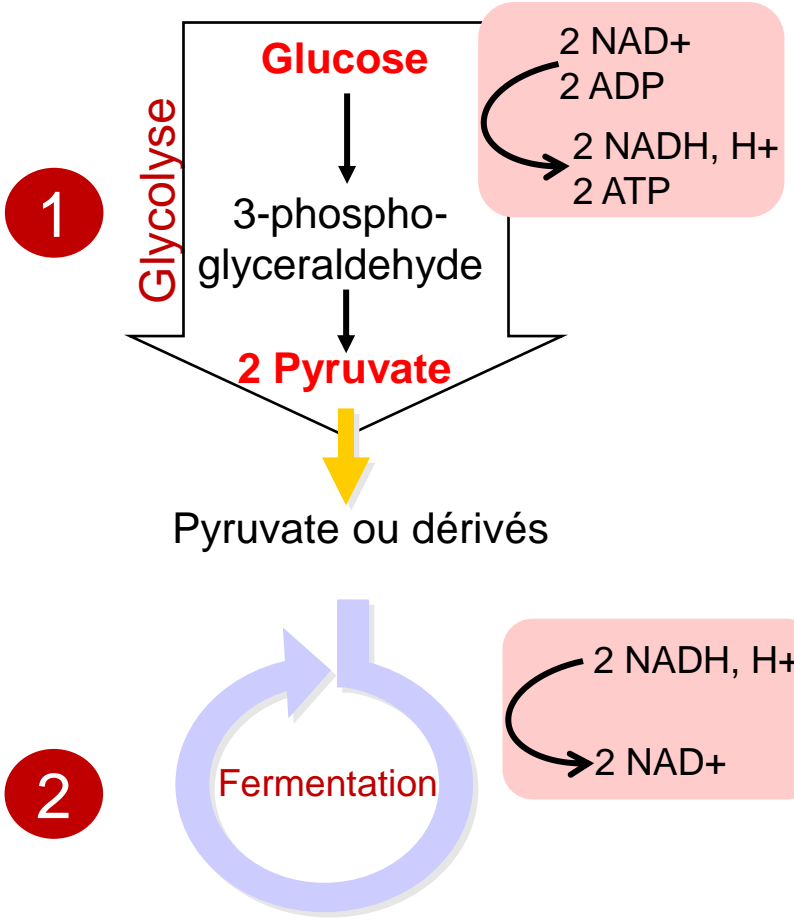
## E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel

### 1. Les chimiohétérotrophes

#### La fermentation

Les électrons et protons du NADH sont transférés à l'acide pyruvique ou un dérivé

Réduction de l'accepteur final d'électrons + oxydation du NADH en NAD<sup>+</sup>



Produits finaux de la fermentation dépendent de l'organisme

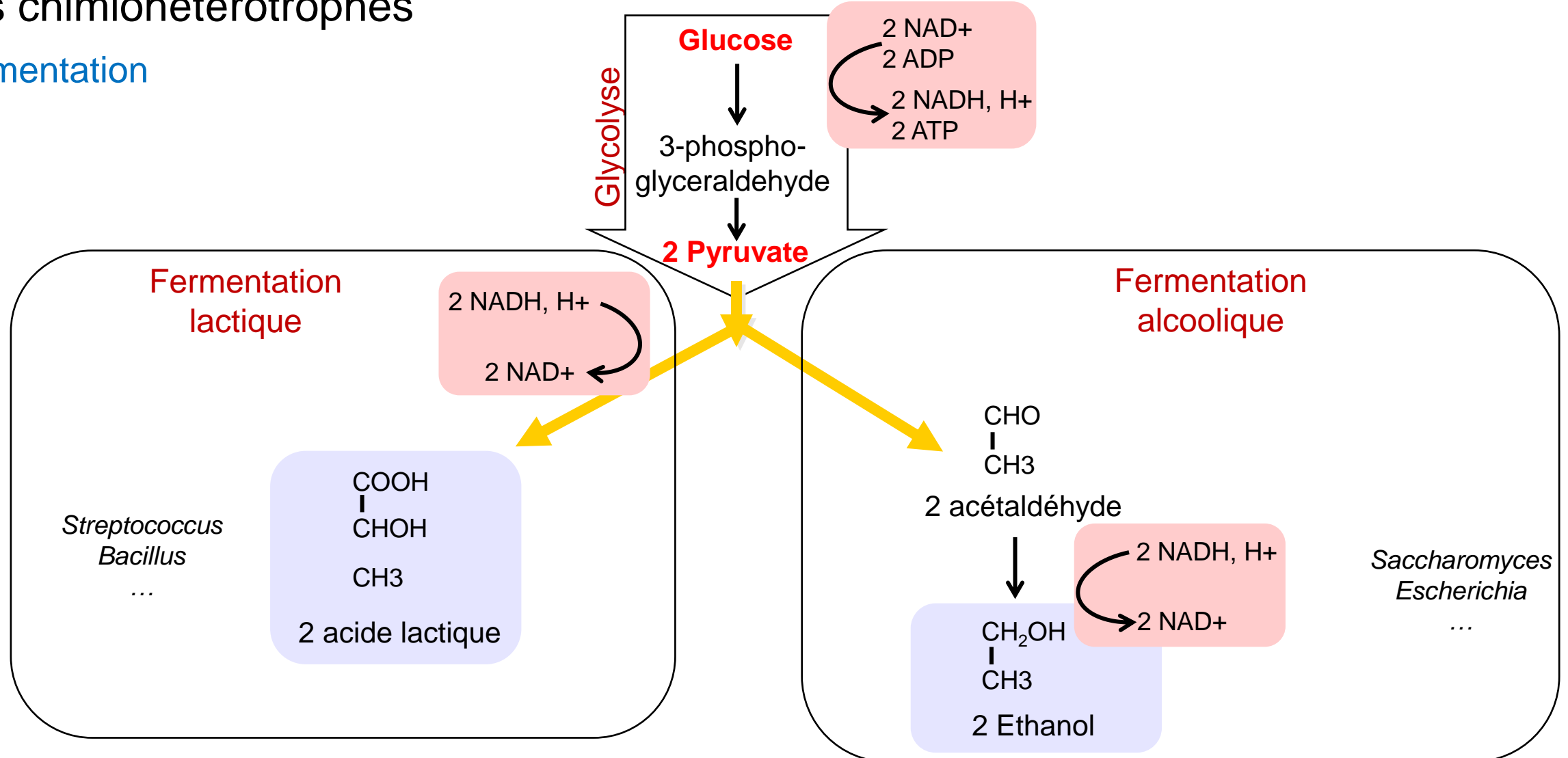
**Régénération du NAD<sup>+</sup> = approvisionnement ininterrompu pour la glycolyse**

# Diversité métabolique des micro-organismes

## E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel

### 1. Les chimiohétérotrophes

#### La fermentation



# Diversité métabolique des micro-organismes

---

## E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel

### 1. Les chimiohétérotrophes

#### La fermentation

##### Fermentation lactique :

- *Streptococcus* et *Lactobacillus* : homolactiques
- Produit yaourts et fromages, cornichons, ...

##### Fermentation alcoolique :

- Certaines bactéries et levures
- Saccharomyces : alcool que nous consommons, pain

# Diversité métabolique des micro-organismes

Quelques usages industriels de diverses fermentations

Produit final fermentation	Usage industriel ou commercial	Matière première	Microorganisme
<u>Ethanol</u>	Bière Vin, cidre Carburant	Extrait de malt Raisin, jus de fruit Déchets agricoles	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> (levure:mycète) <i>Saccharomyces cerevisiae</i> <i>Saccharomyces cerevisiae</i>
<u>Acide acétique</u>	Vinaigre	Ethanol	<i>Acétobacter</i> (B)
<u>Acide lactique</u>	Fromage yogourt Pain de seigle Saucisson	Lait Grain, sucre viande	<i>Lactobacillus</i> et <i>Streptococcus</i> (B) <i>L. bulgaricus</i> (B) <i>Pediococcus</i> (B)
<u>Acide propionique</u> <u>CO<sub>2</sub></u>	Gruyère, Emmental	Acide lactique	<i>Propionibacterium freudenreichii</i>
<u>Sorbose</u>	Vitamine C (ascorbate)	Sorbitol	<i>Acetobacter</i> (B)

# Diversité métabolique des micro-organismes

---

Quelques usages industriels de diverses fermentations

Produit final fermentation	Usage industriel ou commercial	Matière première	Microorganisme
<u>Acétone et Butanol</u>	Pharmacie Industrie	Mélasses (canne à sucre betterave sucrière)	<i>Clostridium acetobutylicum</i> (B)
<u>Glycérol</u>	Pharmacie Industrie	Mélasses	<i>S. cerevisiae</i>
<u>Acide citrique</u>	Arôme	Mélasse	<i>Aspergillus</i> (mycète)
<u>Méthane</u>	Carburant	Acide acétique	<i>Methanosarcina</i> (B)
Butanediol	Caoutchouc synthétique	Mélasse	<i>Aerobacter</i> (B) <i>Bacillus</i> (B)

# Diversité métabolique des micro-organismes

## E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel

### 1. Les chimiohétérotrophes

Processus producteur d'énergie	Conditions de croissance	Accepteur d'hydrogène (d'électrons) final	Type de phosphorylation employée pour produire l'ATP	Molécules d'ATP produites par molécules de glucose
Respiration aérobie	Aérobiose	O <sub>2</sub>	Au niveau du substrat et oxydative	38 ATP
Respiration anaérobie	Anaérobiose	Autre que O <sub>2</sub> , molécule inorganique en général (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , ...)	Au niveau du substrat et oxydative	Variable (plus que 2, moins que 38)
Fermentation	Aérobiose ou anaérobiose	Molécule organique	Au niveau du substrat	2

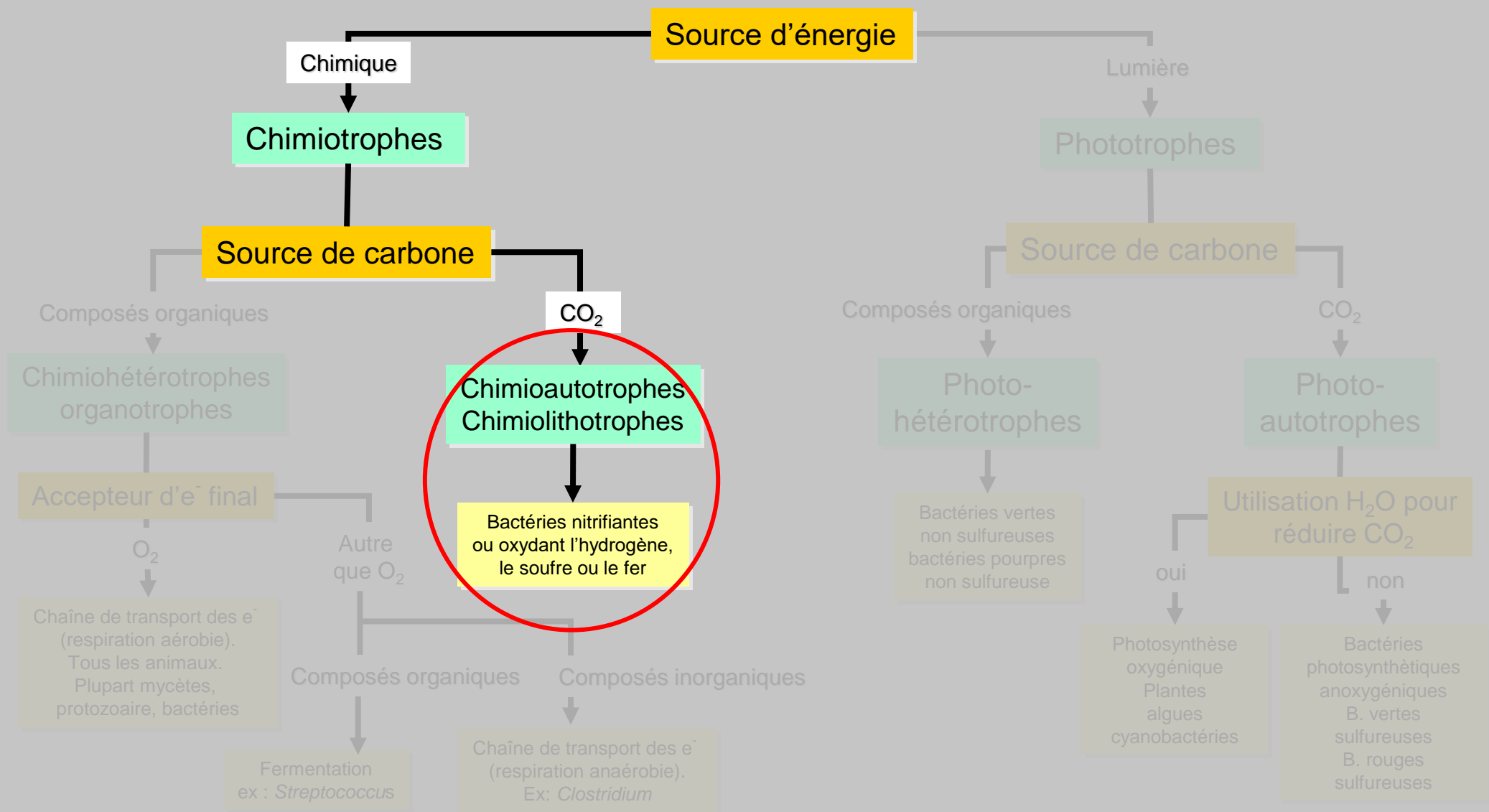
Flexibilité métabolique :

- respiration ou fermentation (+/- O<sub>2</sub>)
- anaérobie facultatif



# Diversité métabolique des micro-organismes

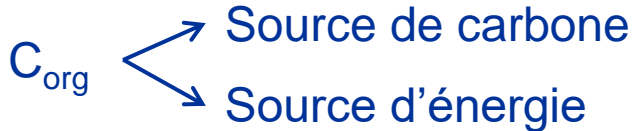
## E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel



# Diversité métabolique des micro-organismes

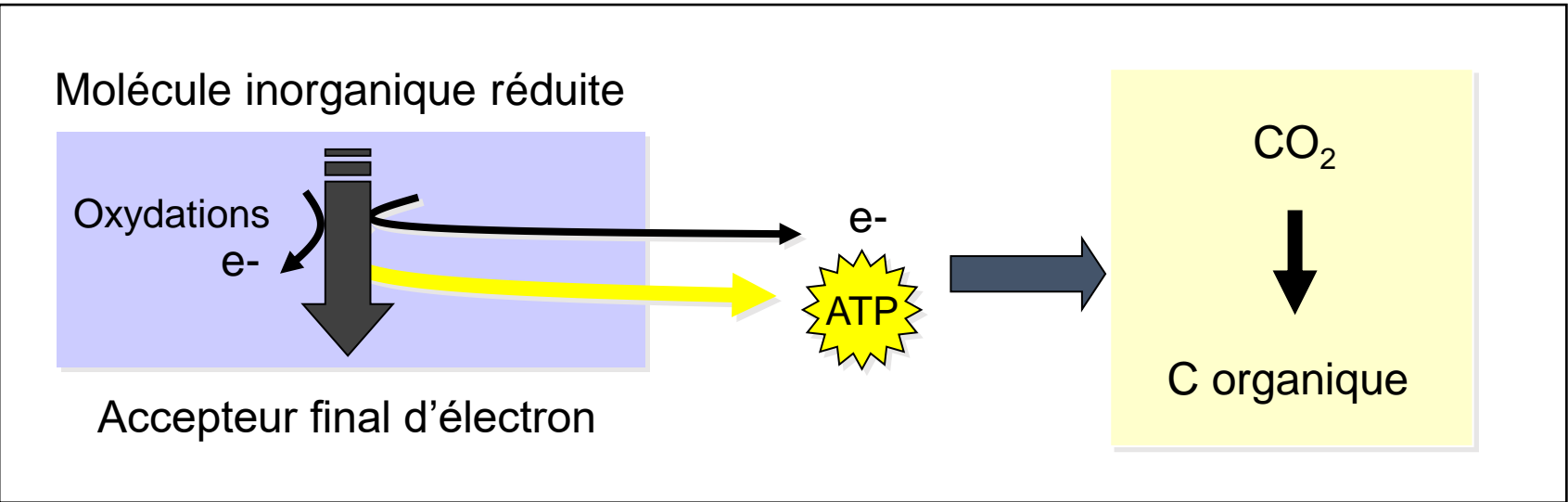
## E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel

### 2. Les chimioautotrophes



Le  $CO_2$  est une forme oxydée

- Source de carbone :  $CO_2$
- Source d'énergie : oxydation de molécules inorganiques



# Diversité métabolique des micro-organismes

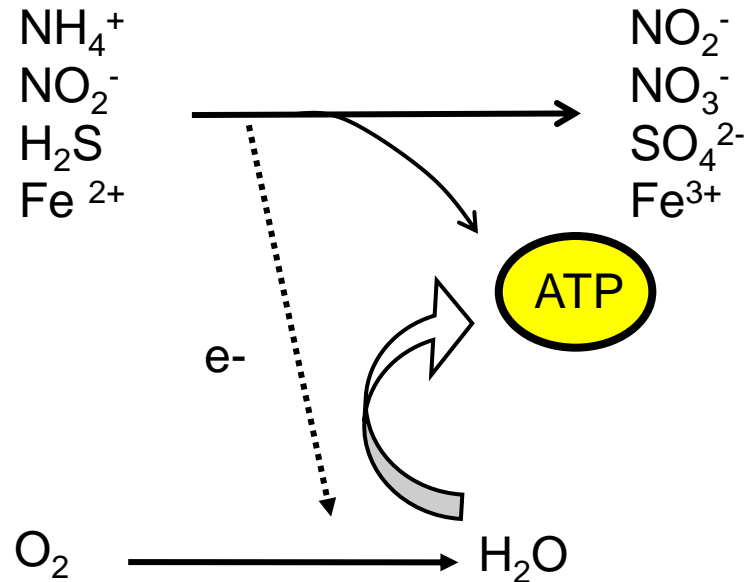
## E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel

### 2. Les chimioautotrophes

- Source de carbone :  $\text{CO}_2$
- Source d'énergie : oxydation de molécules inorganiques

- Accepteur final d' $e^-$  :  $\text{O}_2$

→ Production d'ATP par phosphorylation oxydative



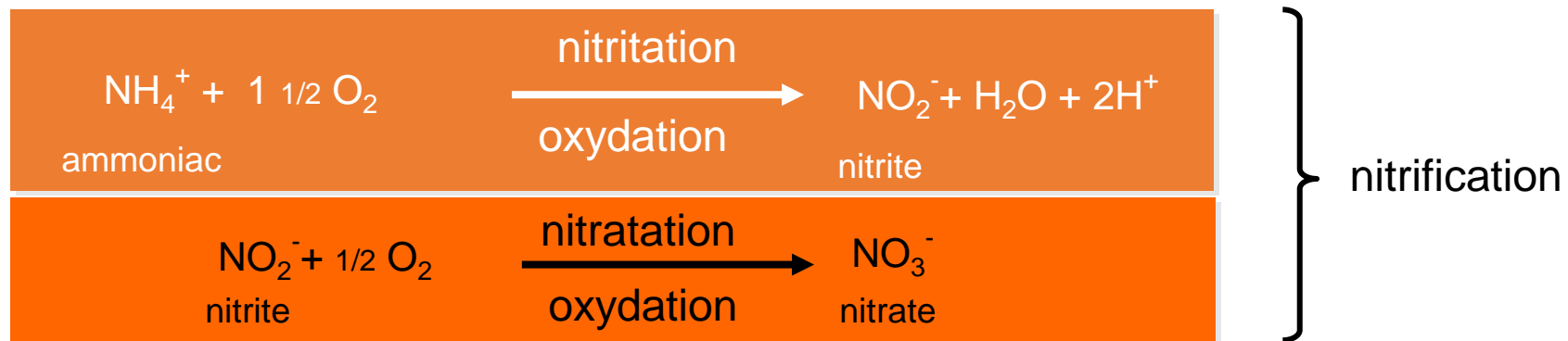
Consommation de substances inorganiques souvent présentes dans les déchets industriels polluants → grande importance dans l'équilibre des écosystèmes terriens et aquatiques

# Diversité métabolique des micro-organismes

## E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel

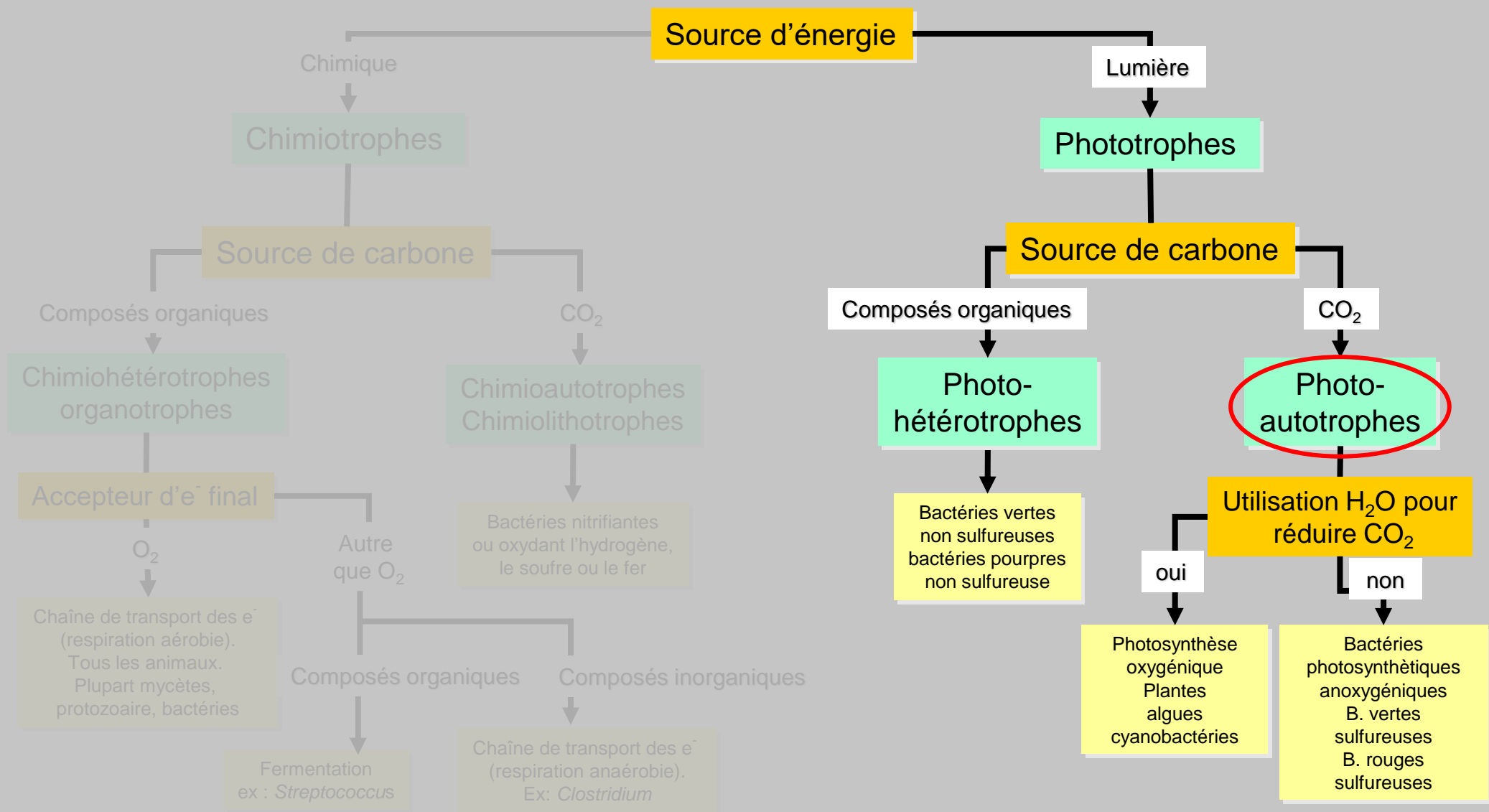
### 2. Les chimioautotrophes

Bactéries	Donneurs d'électrons	Accepteurs d'électrons	Produits
<i>Thiobacillus ferrooxidans</i>	$Fe^{2+}, S^0, H_2S$	$O_2$	$Fe^{3+}, H_2O$ $H_2SO_4$
<i>Ralstonia</i> <i>Pseudomonas</i> spp	$H_2$	$O_2$	$H_2O$
$H_2 \xrightarrow[\text{oxydation}]{\text{hydrogénase}} 2H^+ + 2e^-$			
<i>Nitrobacter</i>	$NO_2^-$	$O_2$	$NO_3^-, H_2O$
<i>Nitrosomonas</i>	$NH_4^+$	$O_2$	$NO_2^-, H_2O$



# Diversité métabolique des micro-organismes

## E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel



# Cyanobactéries du genre *Nostoc*

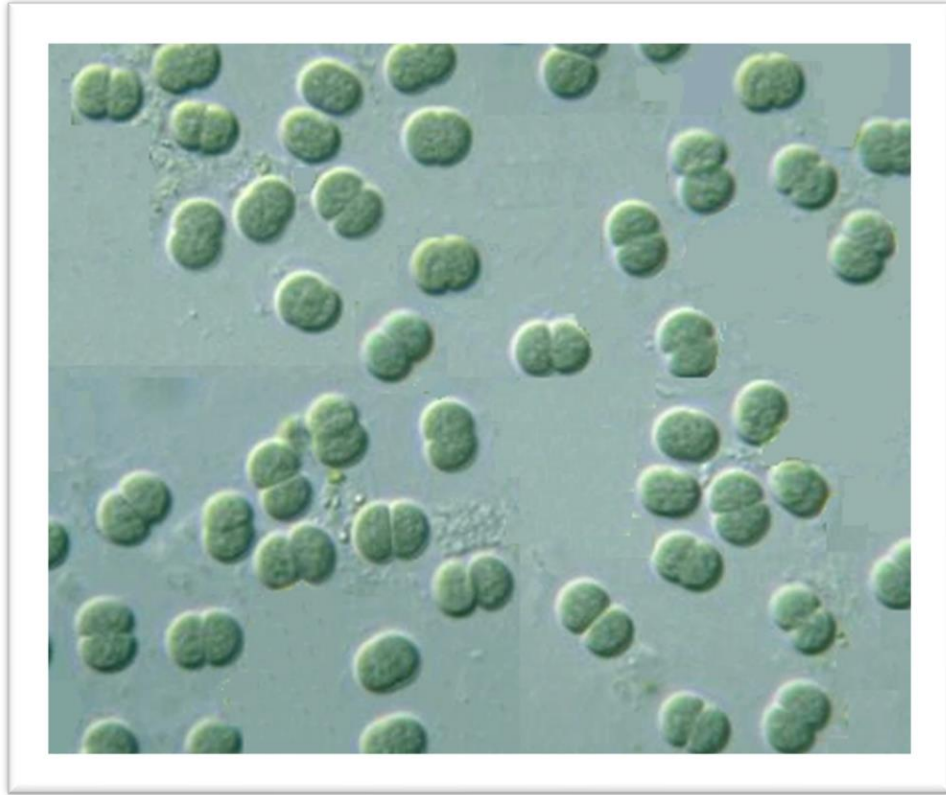




# Cyanobactéries du genre *Nostoc*



# Cyanobactéries du genre *Synechocystis*



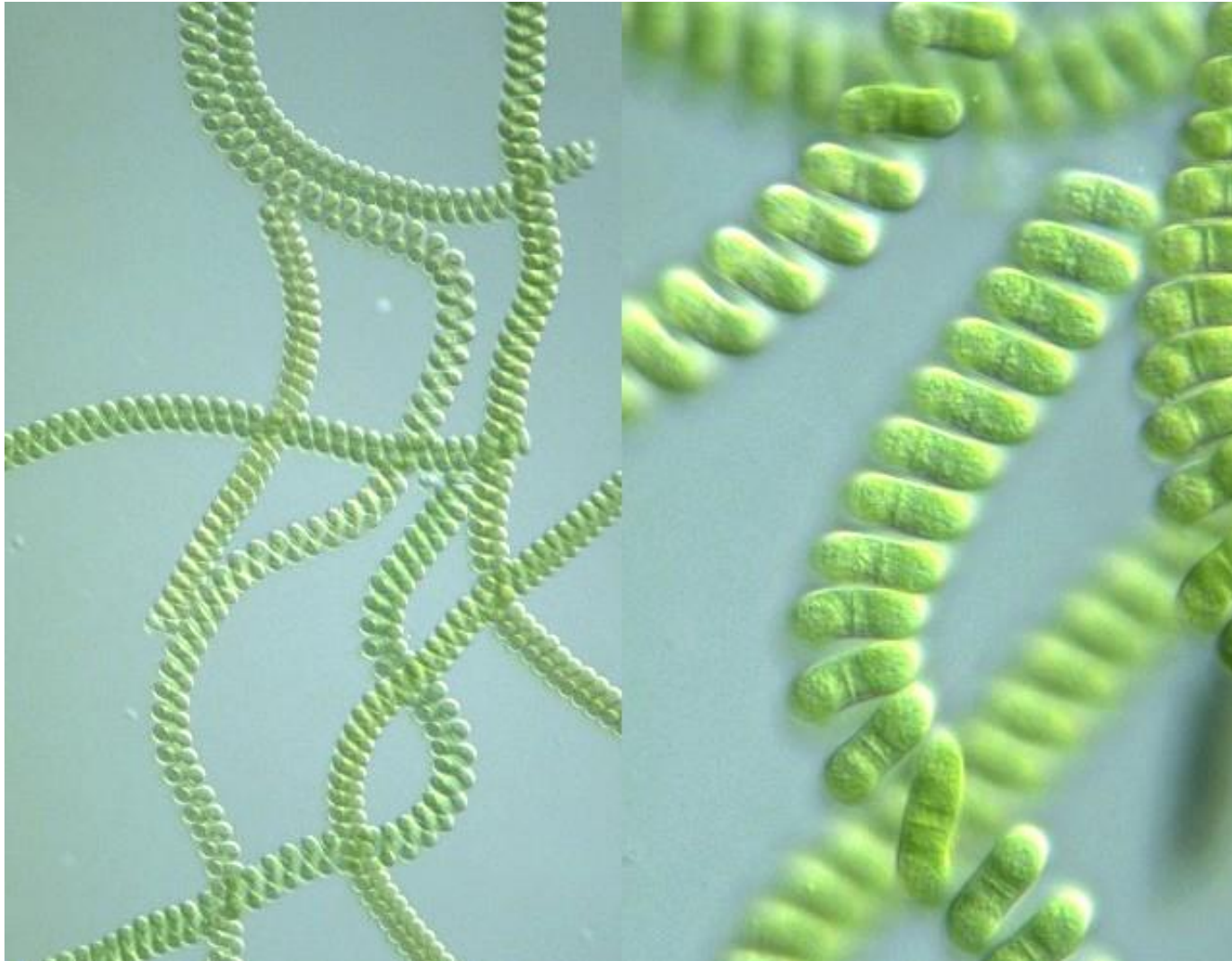
En microscopie

En culture sur boîte de Petri





# Cyanobactéries du genre *Arthrospira*





Bactéries vertes sulfureuses

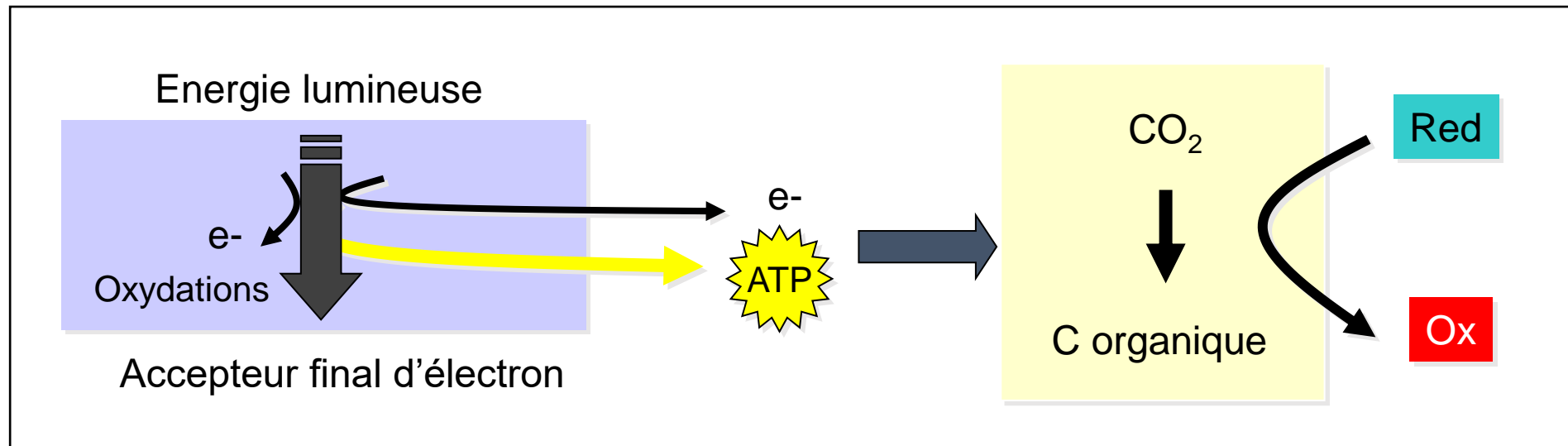
Bactéries pourpres sulfureuses

# Diversité métabolique des micro-organismes

## E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel

### 3. Les photoautotrophes

- Source de carbone :  $\text{CO}_2$
- Source d'énergie : lumière
- Photosynthèse :
  - l'énergie lumineuse est transformée en énergie chimique ( $e^-$ )
  - L'énergie chimique convertit le  $\text{CO}_2$  en composés carbonés réduits (glucides)  
= fixation du C



# Diversité métabolique des micro-organismes

---

## E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel

### 3. Les photoautotrophes

#### La photosynthèse

- 1 - Phase lumineuse :  $\text{ADP} \rightarrow \text{ATP}$  (et  $\text{NADP} \rightarrow \text{NADPH}$ ) au cours de réactions photochimiques
  - 2 - Phase sombre : le NADPH sert à réduire le  $\text{CO}_2$  en sucre avec l'énergie contenue dans l'ATP (Cycle de Calvin benson)
- 
- 1 Photophosphorylation :
    - n'a lieu que dans les cellules photosynthétiques
    - l'énergie lumineuse est absorbée par les molécules de chlorophylles, dont elle excite certains  $e^-$
    - les  $e^-$  excités bondissent sur un premier transporteur (chaîne semblable à celle de la respiration)
    - production d'ATP par chimiosmose



# Diversité métabolique des micro-organismes

---

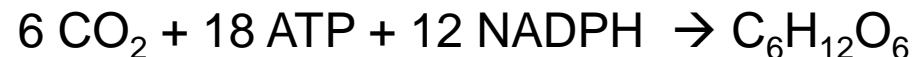
## E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel

### 3. Les photoautotrophes

#### La photosynthèse

Microorganismes :  
responsables de la moitié  
de la photosynthèse  
réalisée sur terre

- 1 - Phase lumineuse :  $\text{ADP} \rightarrow \text{ATP}$  (et  $\text{NADP} \rightarrow \text{NADPH}$ ) au cours de réactions photochimiques
  - 2 - Phase sombre : le NADPH sert à réduire le  $\text{CO}_2$  en sucre avec l'énergie contenue dans l'ATP (Cycle de Calvin Benson)
- 
- 2 Cycle de Calvin Benson :
    - voie métabolique cyclique et complexe au cours de laquelle le  $\text{CO}_2$  est « fixé » = utilisé pour synthétiser des sucres
    - l'ATP produit au cours de la phase lumineuse est utilisé pour synthétiser les sucres
    - Il faut 6 tours de cycle pour produire une molécule de glucose :



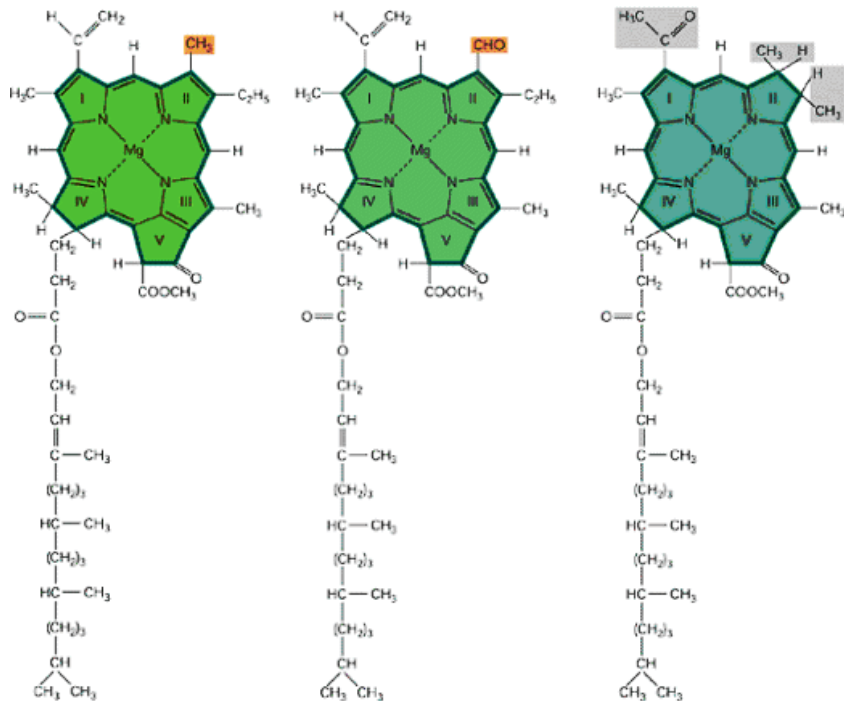
# Diversité métabolique des micro-organismes

## E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel

### 3. Les photoautotrophes

#### La photosynthèse

#### 1 Absorption de la lumière grâce à des pigments



Chlorophylle a

Chlorophylle b

Bactéριοchlorophylle

2 types de photophosphorylation:

- cyclique : l'e- retourne à la chlorophylle
- non cyclique : les e- sont incorporés au NADP → NADPH et les e- perdus sont remplacés par ceux venant d'un donneur d'e-

# Diversité métabolique des micro-organismes

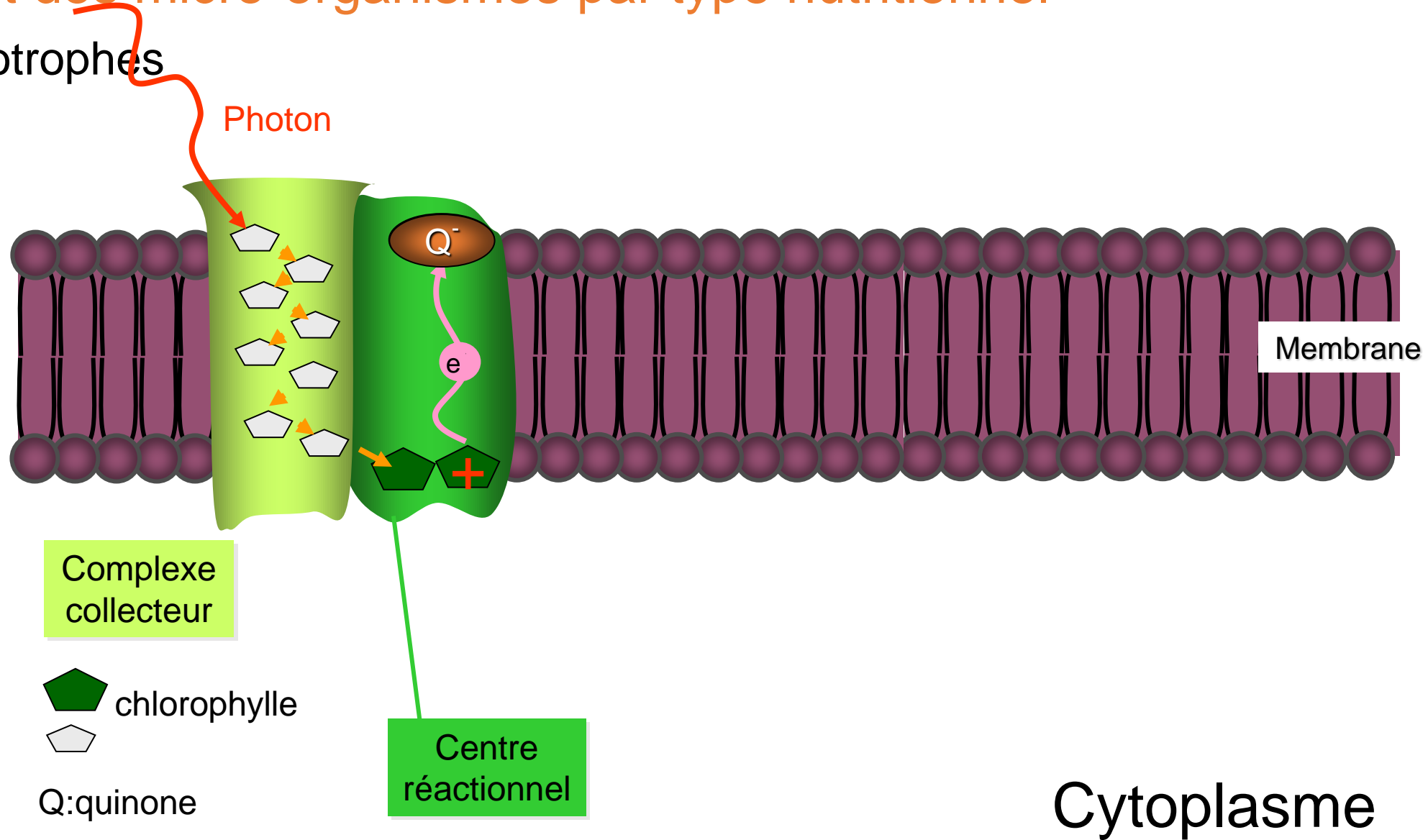
## E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel

### 3. Les photoautotrophes

#### La photosynthèse

1

#### Photosystème II



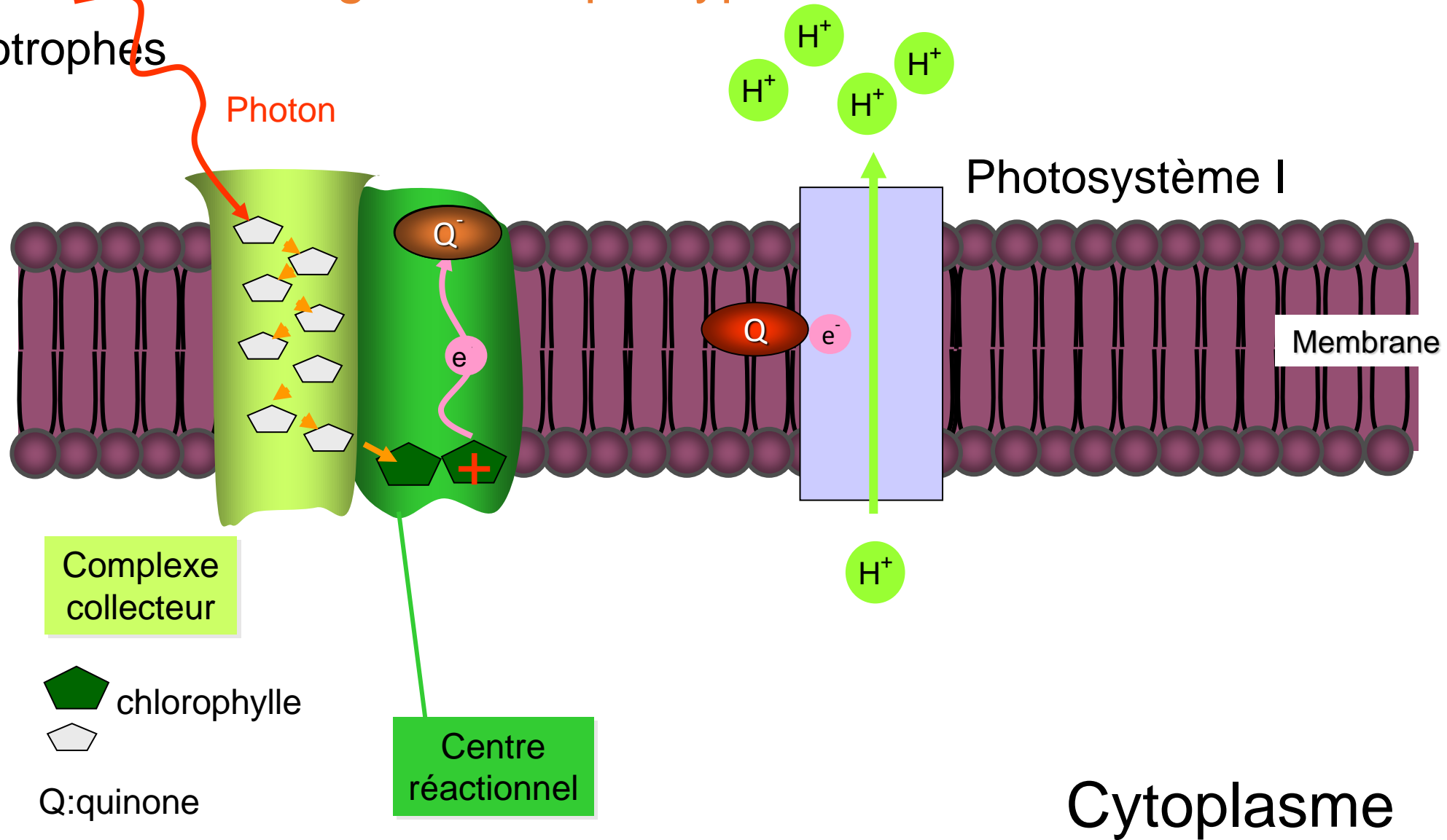
# Diversité métabolique des micro-organismes

## E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel

### 3. Les photoautotrophes

#### La photosynthèse

1





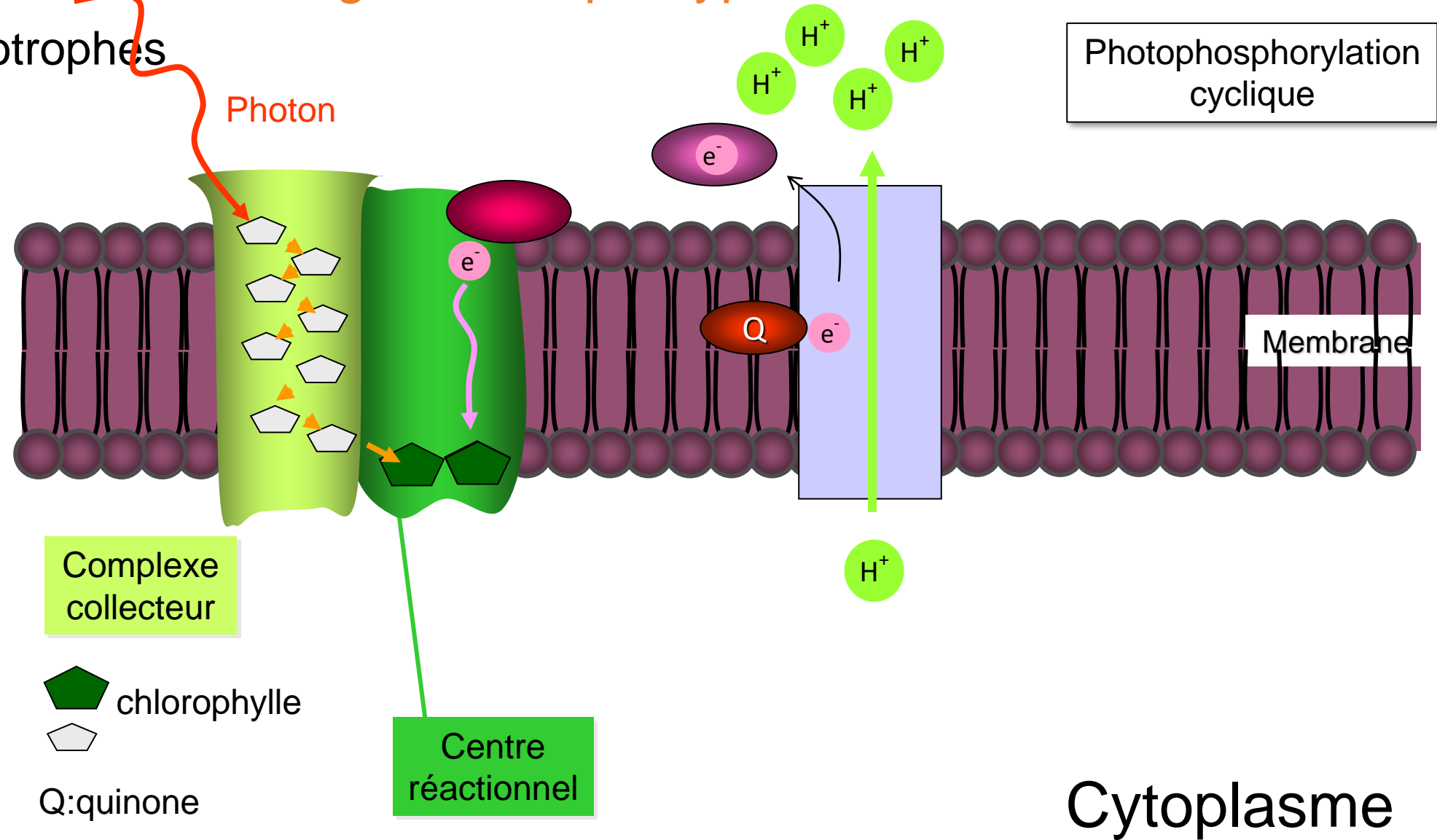
# Diversité métabolique des micro-organismes

## E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel

### 3. Les photoautotrophes

#### La photosynthèse

1



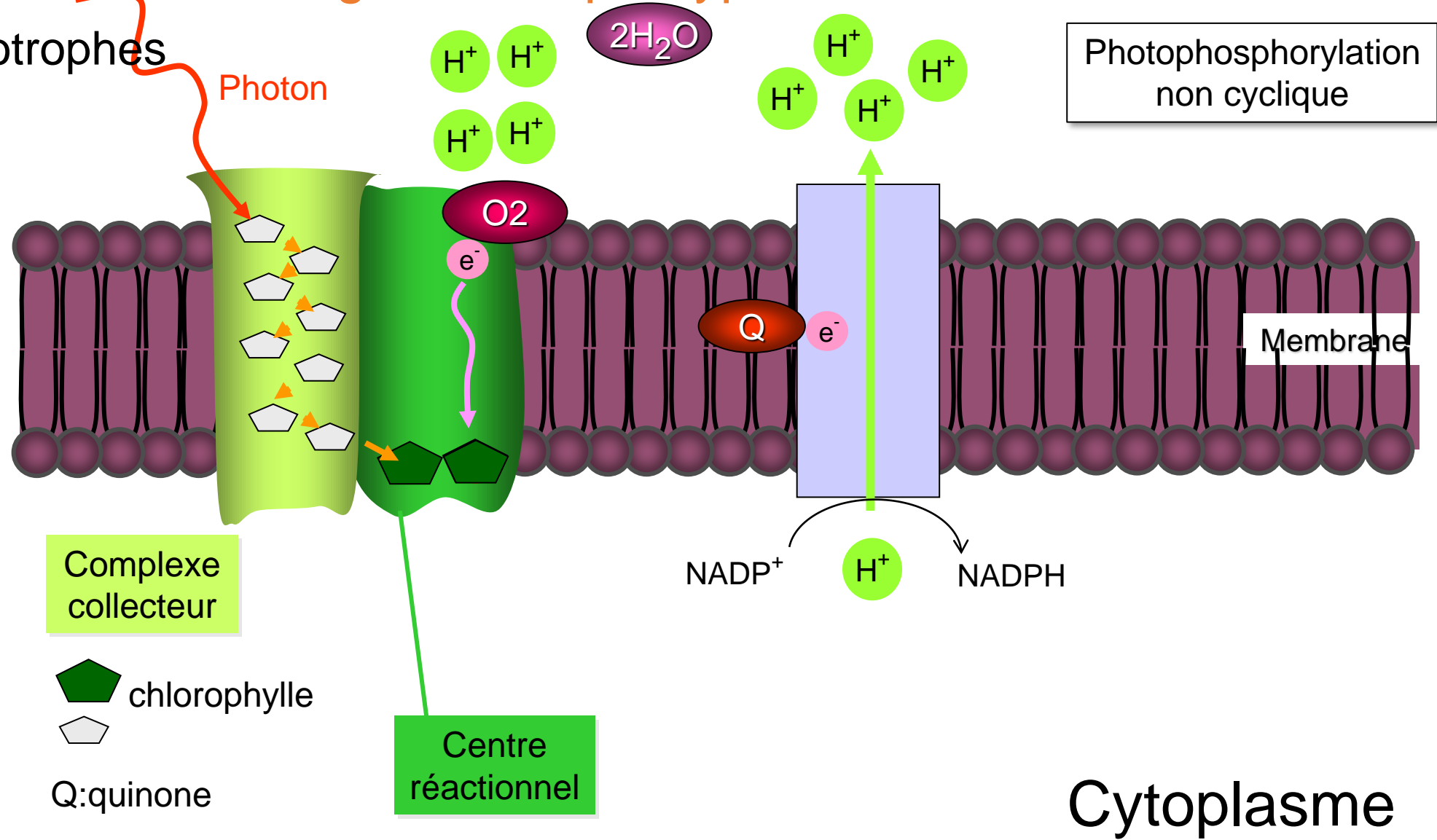
# Diversité métabolique des micro-organismes

## E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel

### 3. Les photoautotrophes

La photosynthèse

1



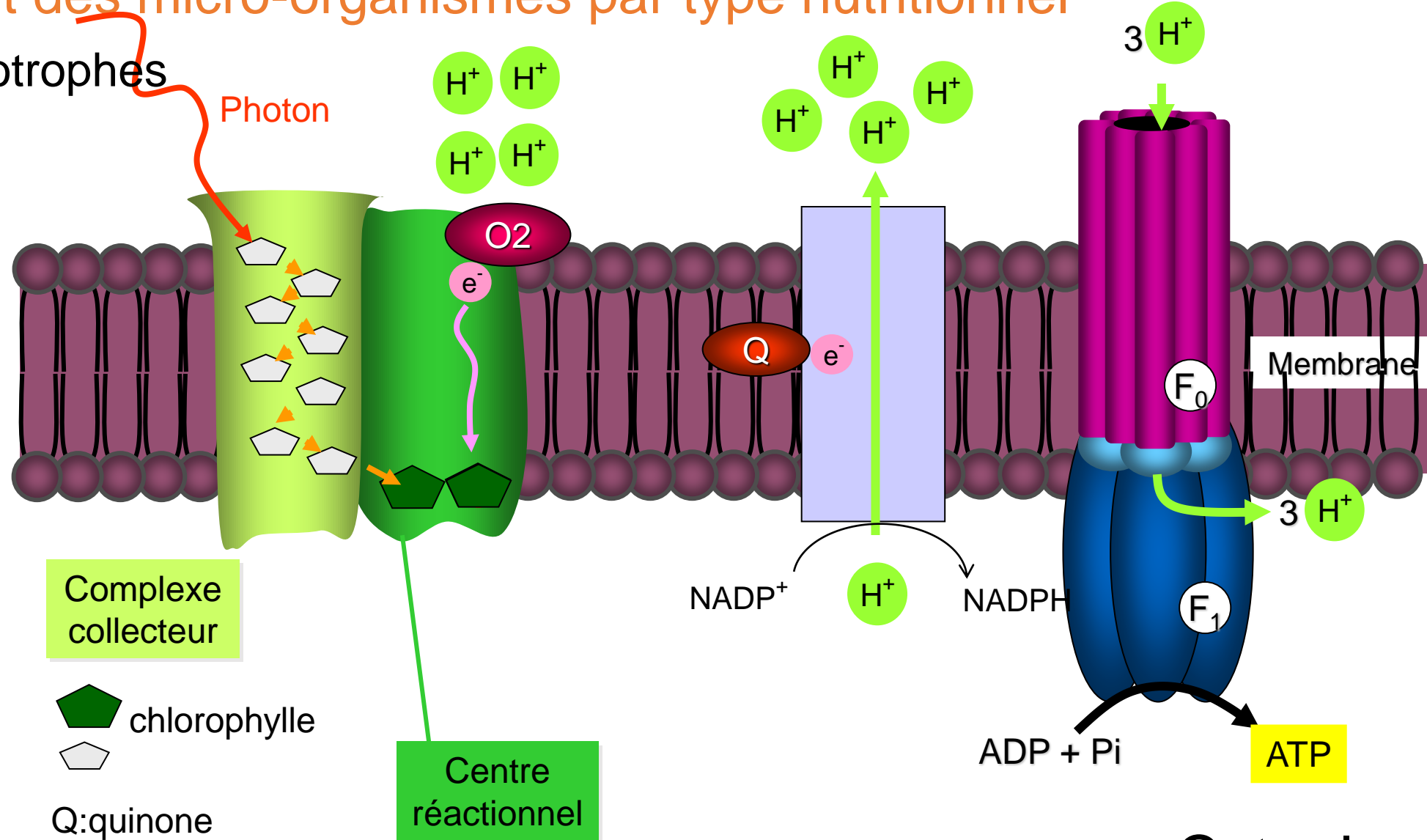
# Diversité métabolique des micro-organismes

## E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel

### 3. Les photoautotrophes

#### La photosynthèse

1



Complexe collecteur

chlorophylle

Q:quinone

Centre réactionnel

Cytoplasme

# Diversité métabolique des micro-organismes

---

## E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel

### 3. Les photoautotrophes

#### Molécules donneuses d'électrons

- Cyanobactéries :  $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + \text{NADPH}$

Photosynthèse oxygénique



- Bactéries vertes sulfureuses, pourpres sulfureuses :  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{S}$ ,  $\text{H}_2$

Photosynthèse  
anoxygénique



# Diversité métabolique des micro-organismes

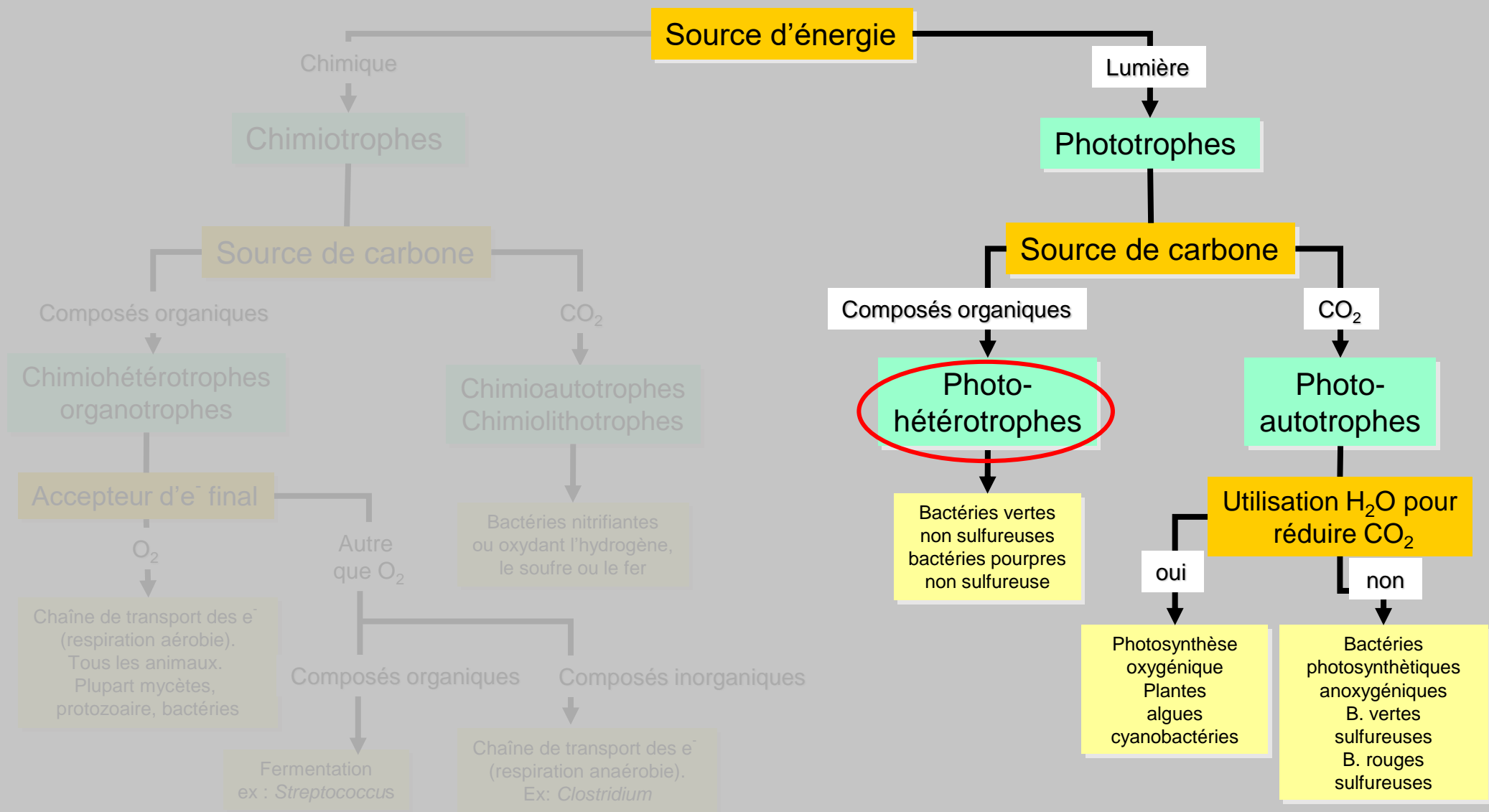
## E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel

### 3. Les photoautotrophes

Propriétés	Eucaryote	Cyanobactéries	Bactéries Vertes et pourpres
Pigment photosynthétique	Chlorophylle a	Chlorophylle a	Bactéριο-Chlorophylle
Photosystème II	oui	oui	Non
Donneur d'électron photosynthétique	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, S Matière org.
Production O <sub>2</sub>	Oui	Oui	Non (S, SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )
Source de carbone	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> et/ou Org.

# Diversité métabolique des micro-organismes

## E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel



# Diversité métabolique des micro-organismes

---

## E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel

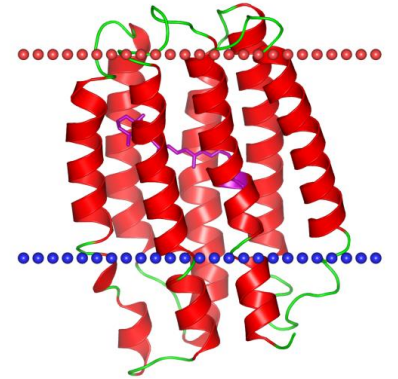
### 3. Les photohétérotrophes

- Source de carbone : C organique
- Source d'énergie : lumière



Pigment : Protéorhodopsine/bactériorhodopsine

Accepteur d'e- : O<sub>2</sub>

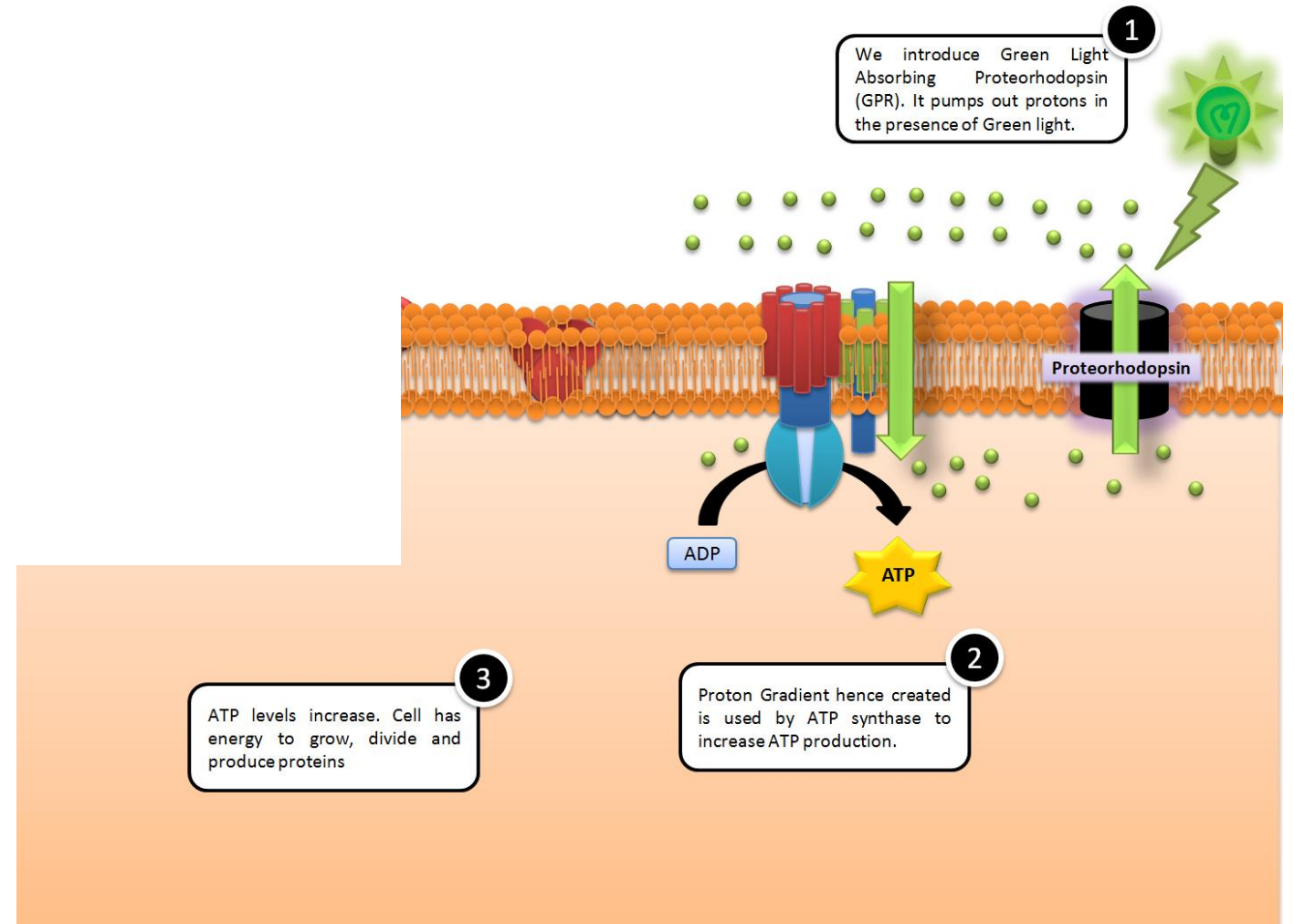


# Diversité métabolique des micro-organismes

## E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel

### 3. Les photohétérotrophes

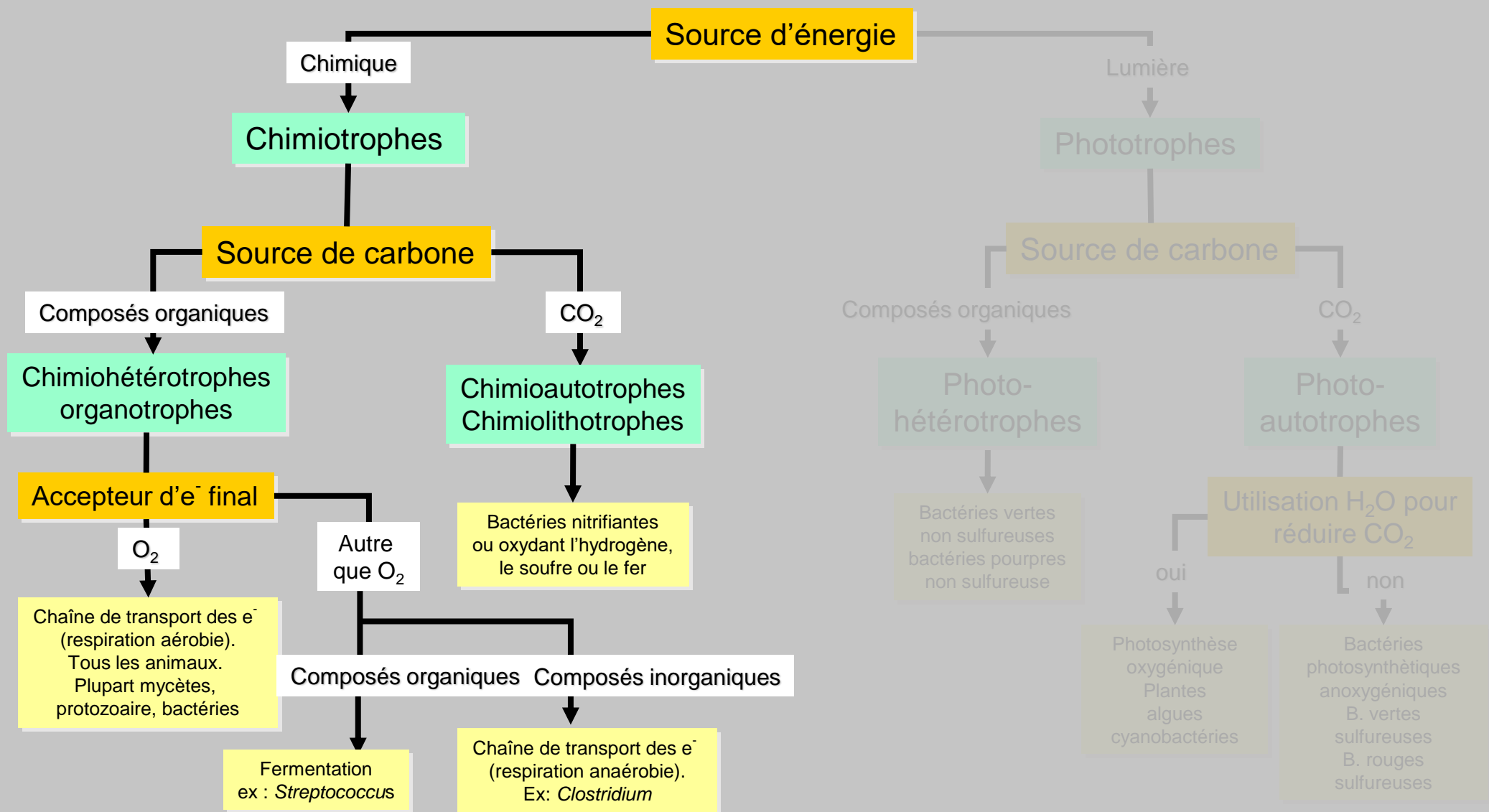
- Source de carbone : C organique
- Source d'énergie : lumière





# Diversité métabolique des micro-organismes

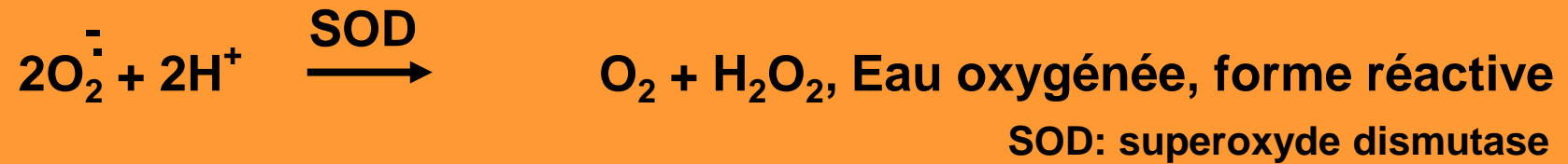
## E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel



# Diversité métabolique des micro-organismes

---

## F. Comportement vis-à-vis de l'oxygène



Les SOD et les CAT permettent de « détoxifier » l'oxygène (ou plutôt ses formes dérivées).

# Diversité métabolique des micro-organismes

---

## F. Comportement vis-à-vis de l'oxygène

Type métabolique	Croissance en		Présence de		Métabolisme oxydatif en		Exemples de microorganismes (accepteurs d'électrons)
	Aéro-biose	Anaéro-biose	SOD	CAT	aérobiose	anaérobiose	

# Diversité métabolique des micro-organismes

## F. Comportement vis-à-vis de l'oxygène

Type métabolique	Croissance en		Présence de		Métabolisme oxydatif en		Exemples de microorganismes (accepteurs d'électrons)
	Aéro-biose	Anaéro-biose	SOD	CAT	aérobiose	anaérobiose	
Aérobie strict	+	-	+	+	R. aérobie	-	presque tous les champignons et les algues, nombreux <i>Bacillus</i> et <i>Pseudomonas</i> (O <sub>2</sub> )

# Diversité métabolique des micro-organismes

## F. Comportement vis-à-vis de l'oxygène

Type métabolique	Croissance en		Présence de		Métabolisme oxydatif en		Exemples de microorganismes (accepteurs d'électrons)
	Aéro-biose	Anaéro-biose	SOD	CAT	aérobiose	anaérobiose	
Aérobie strict	+	-	+	+	R. aérobie	-	presque tous les champignons et les algues, nombreux <i>Bacillus</i> et <i>Pseudomonas</i> ( $O_2$ )
Anaérobie facultatif	+	+	+	+	R. aérobie	R. Anaérobie Ou Fermentation	<i>Escherichia</i> , certains <i>Pseudomonas</i> ( $NO_3^-$ )  <i>Escherichia</i> , <i>Saccharomyces</i> , <i>Staphylococcus</i> ( $C_{orga}$ oxydé)

# Diversité métabolique des micro-organismes

## F. Comportement vis-à-vis de l'oxygène

Type métabolique	Croissance en		Présence de		Métabolisme oxydatif en		Exemples de microorganismes (accepteurs d'électrons)
	Aéro-biose	Anaéro-biose	SOD	CAT	aérobiose	anaérobiose	
Aérobie strict	+	-	+	+	R. aérobie	-	presque tous les champignons et les algues, nombreux <i>Bacillus</i> et <i>Pseudomonas</i> ( $O_2$ )
Anaérobie facultatif	+	+	+	+	R. aérobie	R. Anaérobie Ou Fermentation	<i>Escherichia</i> , certains <i>Pseudomonas</i> ( $NO_3^-$ )  <i>Escherichia</i> , <i>Saccharomyces</i> , <i>Staphylococcus</i> ( $C_{orga}$ oxydé)
Anaérobie aérotolérant	+	+	+	-	Fermentation	Fermentation	<i>Lactobacillus</i> , <i>Streptococcus</i> ( $C_{orga}$ oxydé)

# Diversité métabolique des micro-organismes

## F. Comportement vis-à-vis de l'oxygène

Type métabolique	Croissance en		Présence de		Métabolisme oxydatif en		Exemples de microorganismes (accepteurs d'électrons)
	Aéro-biose	Anaéro-biose	SOD	CAT	aérobiose	anaérobiose	
Aérobie strict	+	-	+	+	R. aérobie	-	presque tous les champignons et les algues, nombreux <i>Bacillus</i> et <i>Pseudomonas</i> ( $O_2$ )
Anaérobie facultatif	+	+	+	+	R. aérobie	R. Anaérobie Ou Fermentation	<i>Escherichia</i> , certains <i>Pseudomonas</i> ( $NO_3^-$ )  <i>Escherichia</i> , <i>Saccharomyces</i> , <i>Staphylococcus</i> ( $C_{orga}$ oxydé)
Anaérobie aérotolérant	+	+	+	-	Fermentation	Fermentation	<i>Lactobacillus</i> , <i>Streptococcus</i> ( $C_{orga}$ oxydé)
Anaérobie strict	-	+	-	-	-	R. Anaérobie Ou Fermentation	<i>Desulfovibrio</i> ( $SO_4^{2-}$ ), <i>Geobacter</i> ( $Fe^{3+}$ ) <i>Methanobacterium</i> ( $CO_2$ ), <i>Acetobacter</i> ( $HCO_3^-$ )  <i>Clostridium</i> ( $C_{orga}$ oxydé)



# Diversité métabolique des micro-organismes

