

Métabolisme des micro-organismes

1

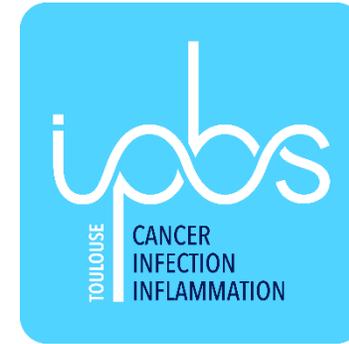
Réalisé par : Hélène Botella
Université Toulouse III -Paul Sabatier
Laboratoire: IPBS, Equipe Pathogénie moléculaire des mycobactéries



UNIVERSITÉ
TOULOUSE III
PAUL SABATIER



Université
de Toulouse



Microbiologie

Métabolisme des micro-organismes

Hélène Botella

helene.botella@univ-tlse3.fr
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 :

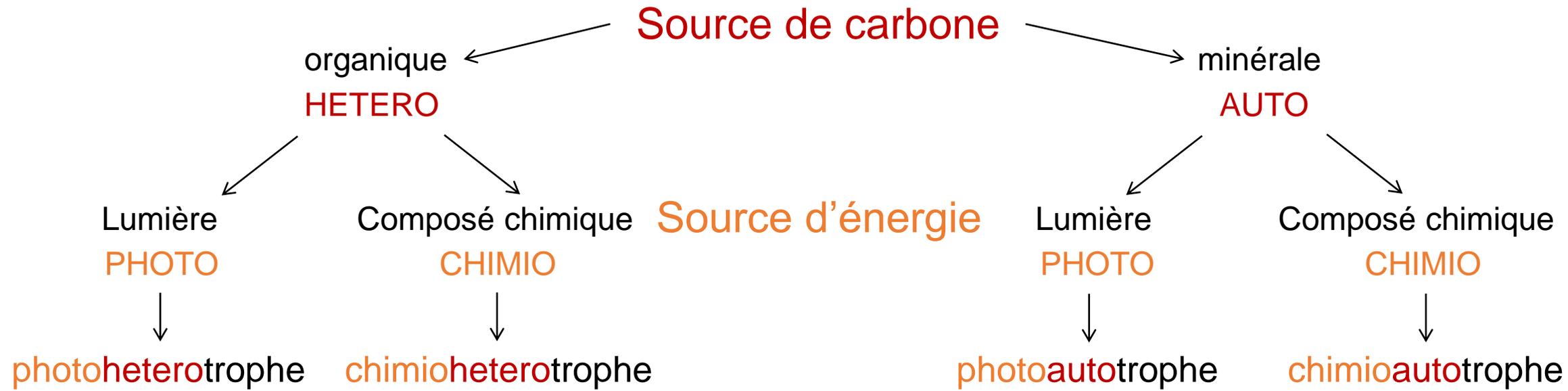
Le terme type trophique spécifie la manière dont un organisme constitue sa propre matière organique.
(trophique dérive du verbe grec τροφή, «action de nourrir»).

Diversité métabolique des micro-organismes

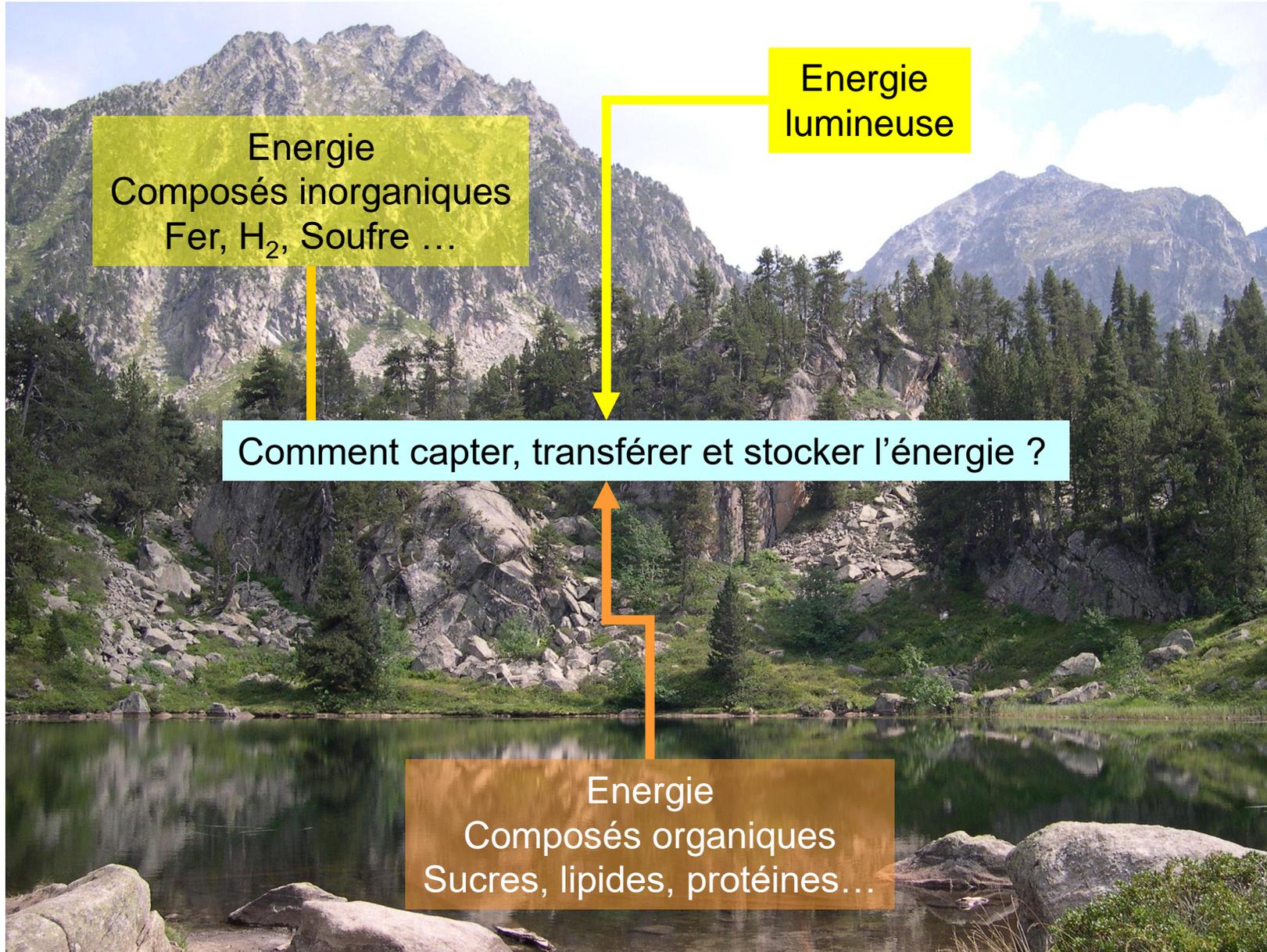
- **Source de carbone :**
 - organique (molécule contenant C et H)
 - minérale (CO_2 , HCO_3^- , ...)

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

4 types trophiques

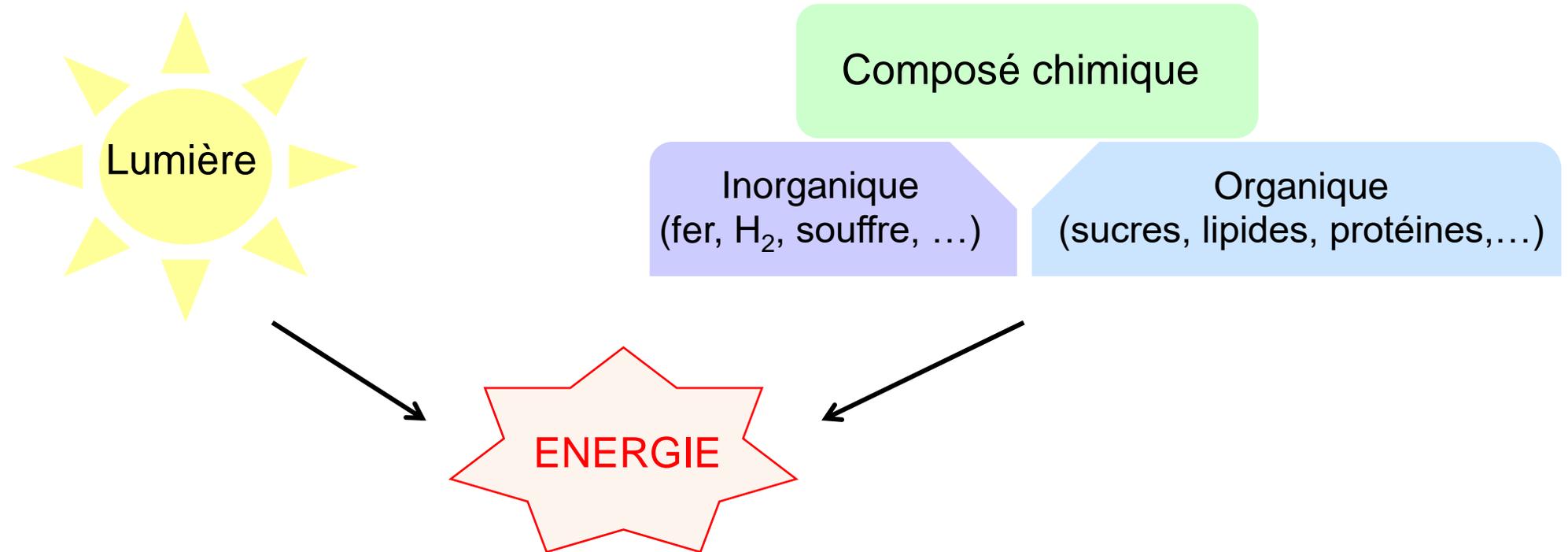


Diversité métabolique des micro-organismes



Diversité métabolique des micro-organismes

B. Source d'énergie



Comment capter, transférer et stocker cette énergie ?

Diversité métabolique des micro-organismes

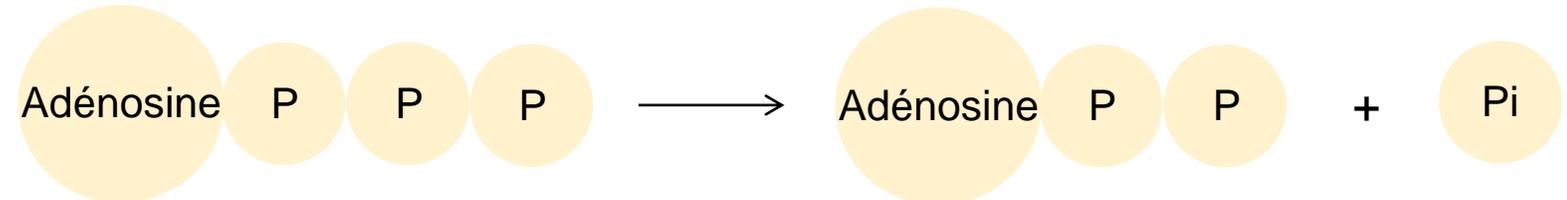
C. Stocker l'énergie

1. l'ATP

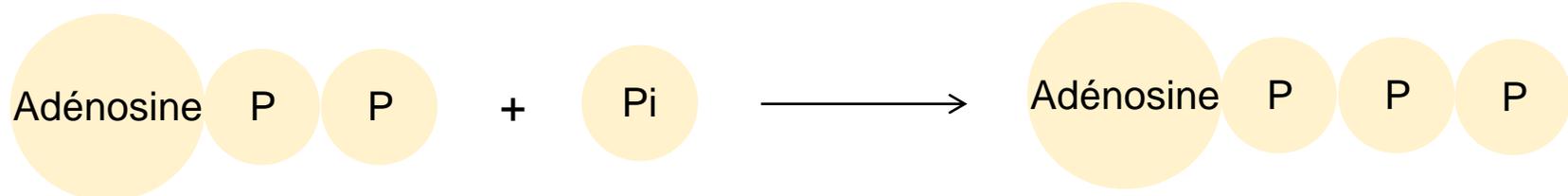
Adénosine triphosphate
Principale molécule porteuse d'énergie = stockage

Réactions anaboliques
endergoniques

Libération
d'énergie



Réactions cataboliques
exergoniques

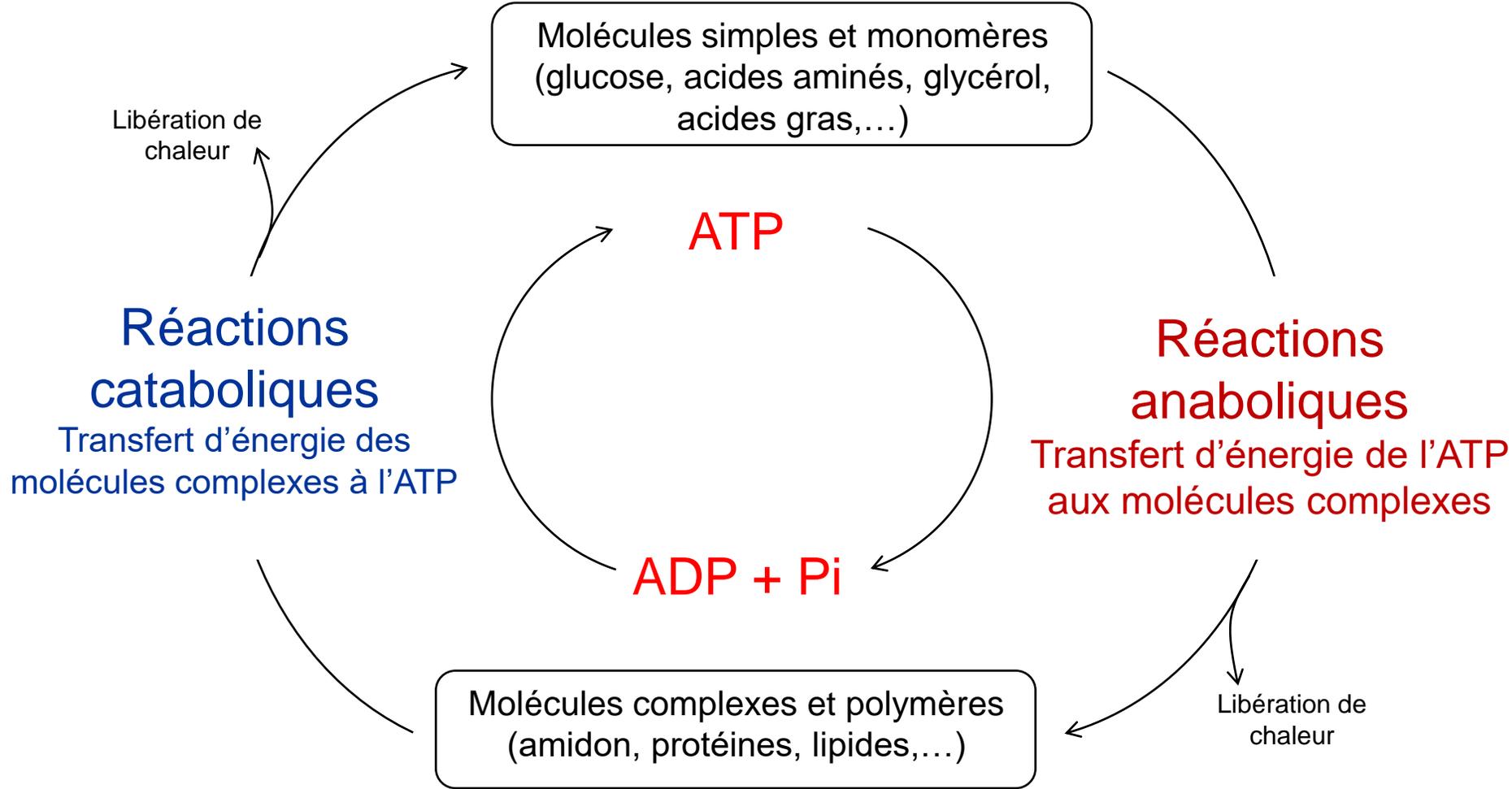


Régénération
des stocks

Diversité métabolique des micro-organismes

C. Stocker l'énergie

1. l'ATP

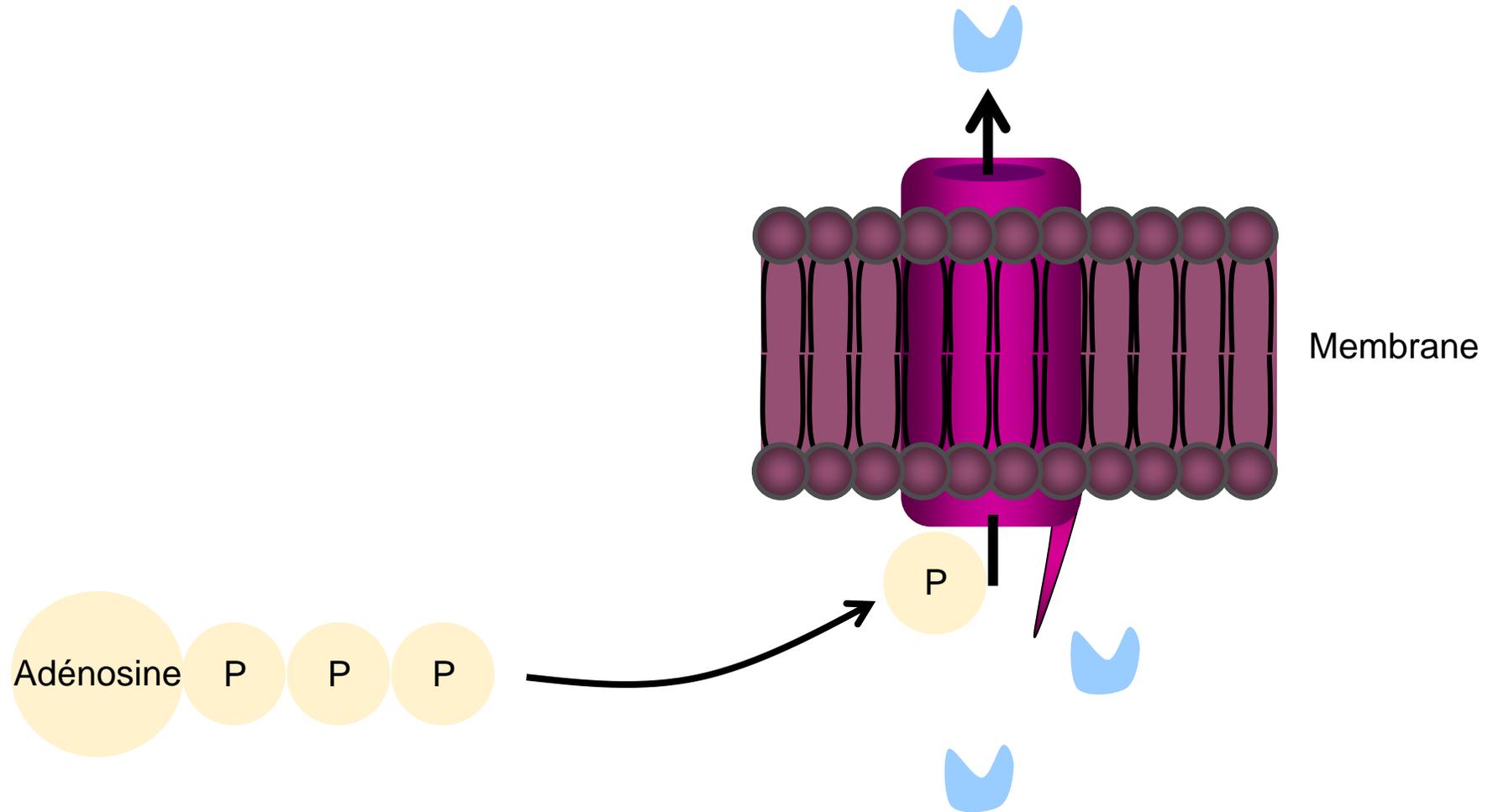


Diversité métabolique des micro-organismes

C. Stocker l'énergie

2. Les fonctions de l'ATP

Le transport

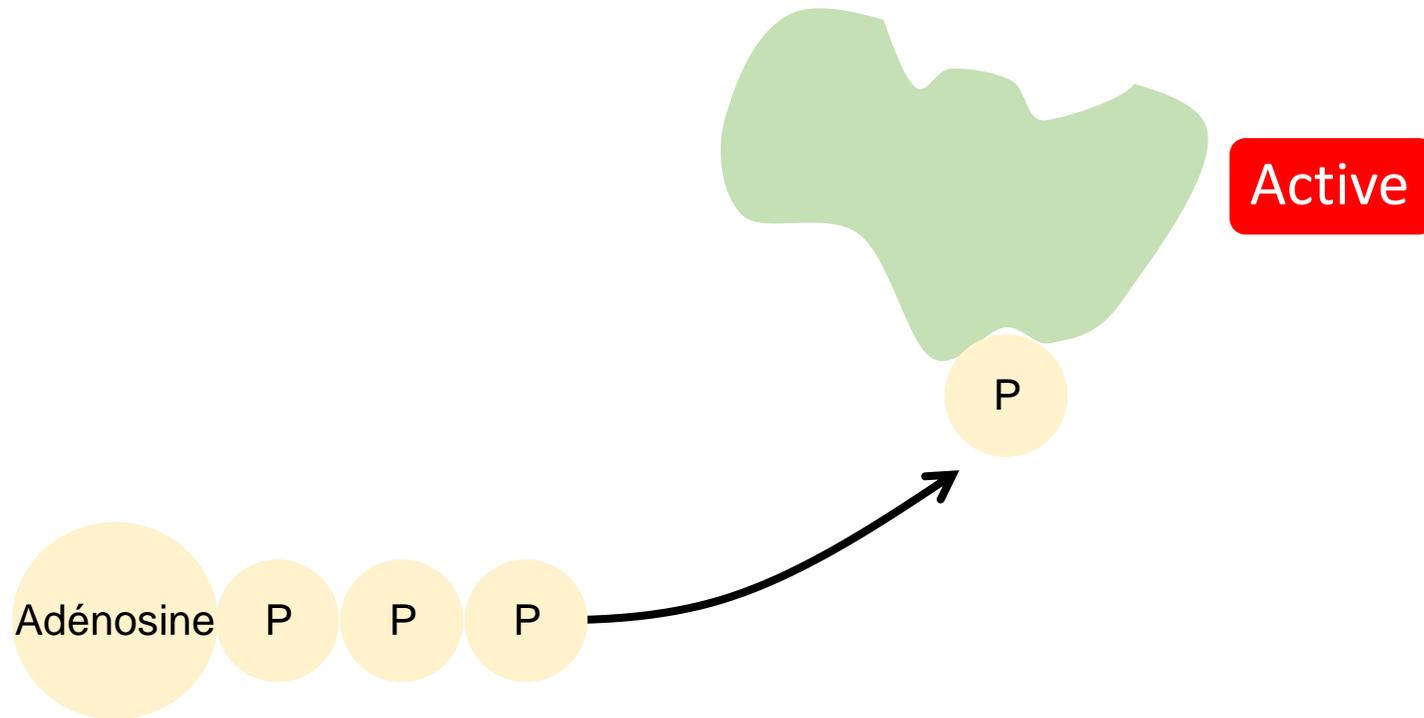


Diversité métabolique des micro-organismes

C. Stocker l'énergie

2. Les fonctions de l'ATP

L'activation de protéines

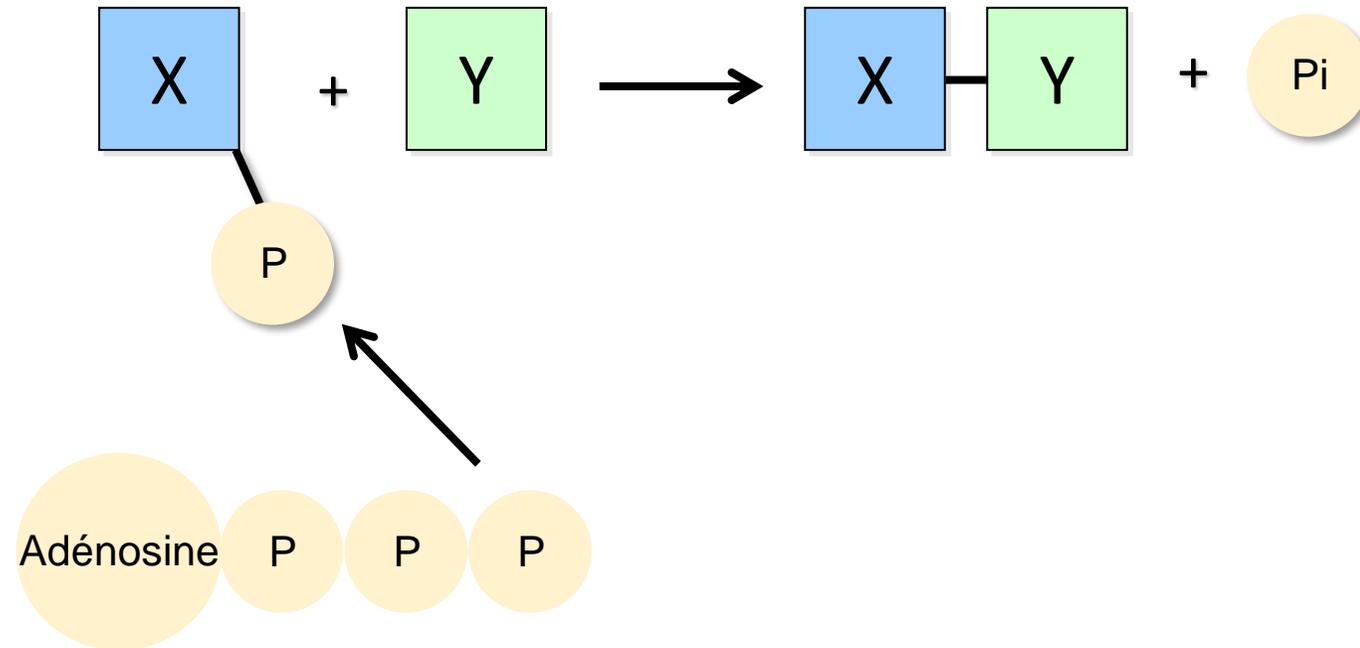


Diversité métabolique des micro-organismes

C. Stocker l'énergie

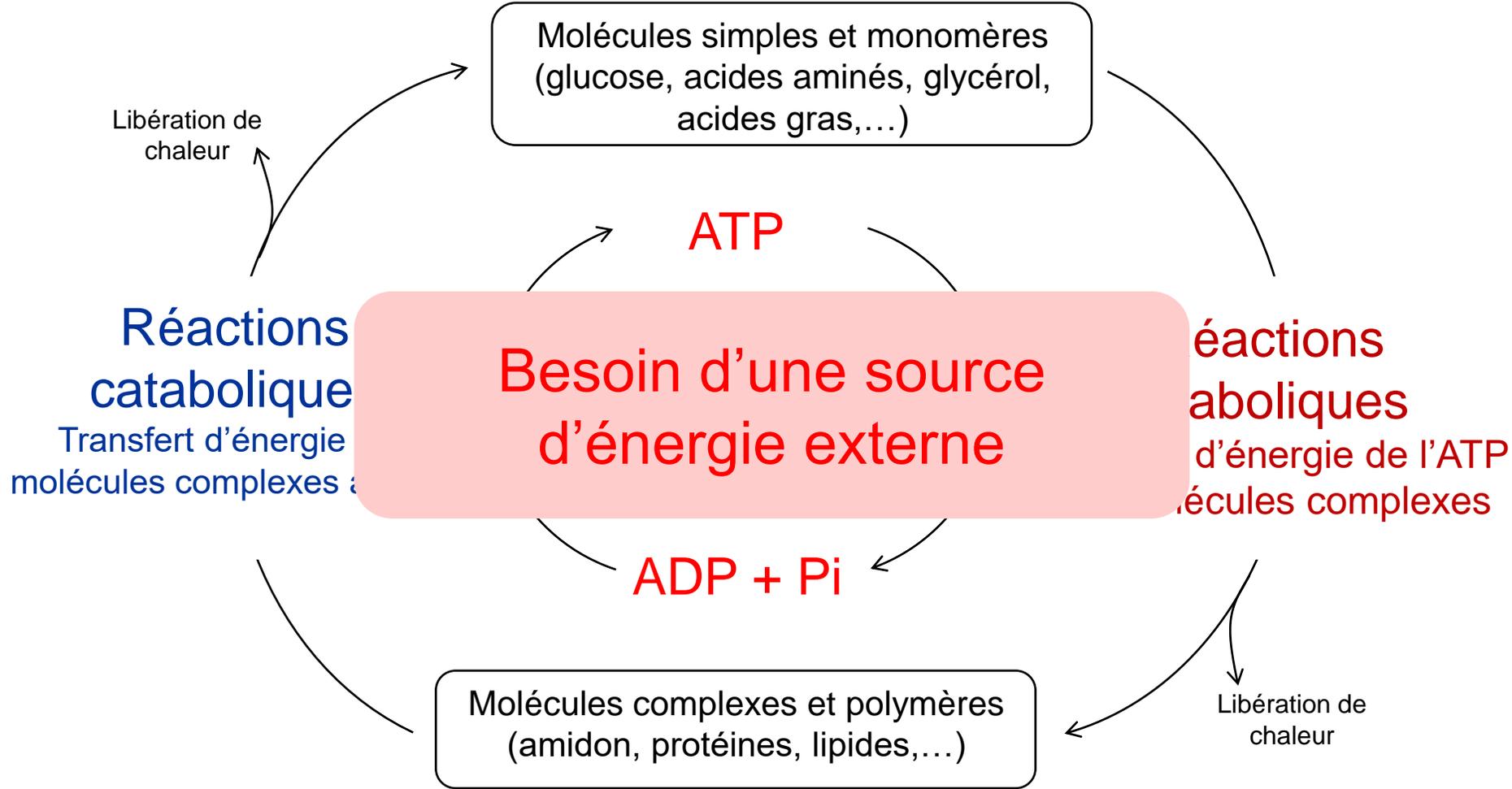
2. Les fonctions de l'ATP

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⁺, FAD, ...)



- Les électrons passent par des transporteurs d'électrons pour aboutir à l'accepteur final d'électrons (O₂, 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

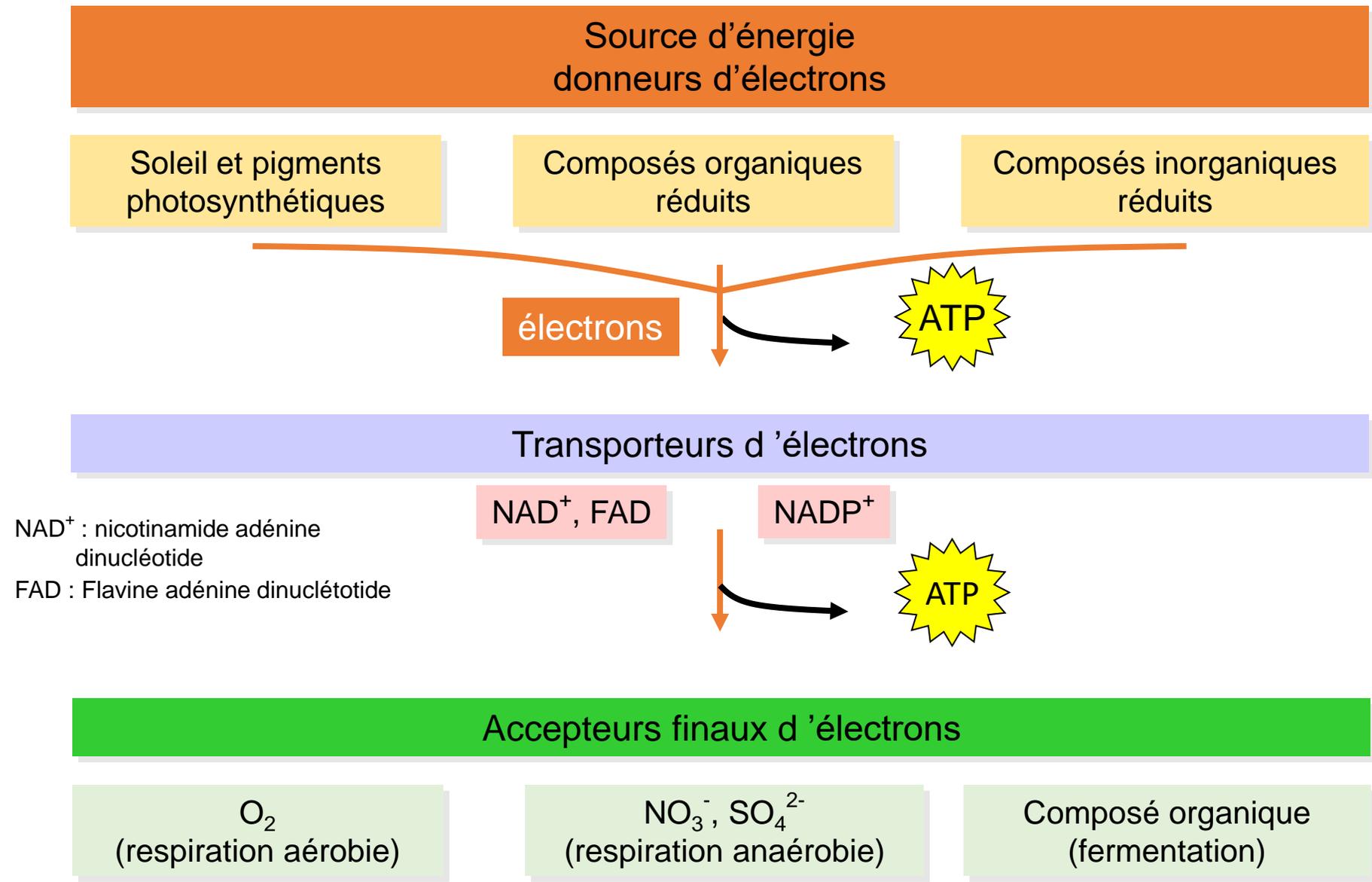
C. Stocker l'énergie

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

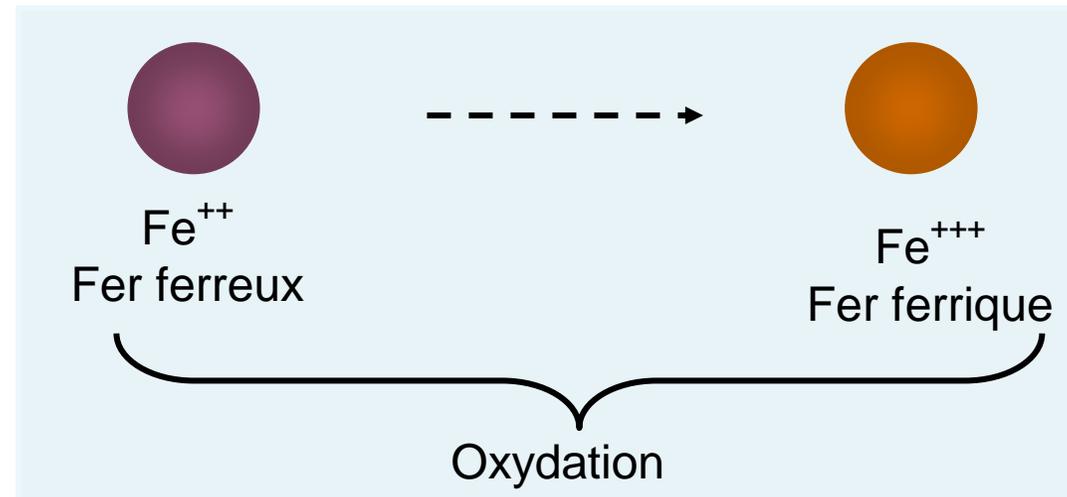
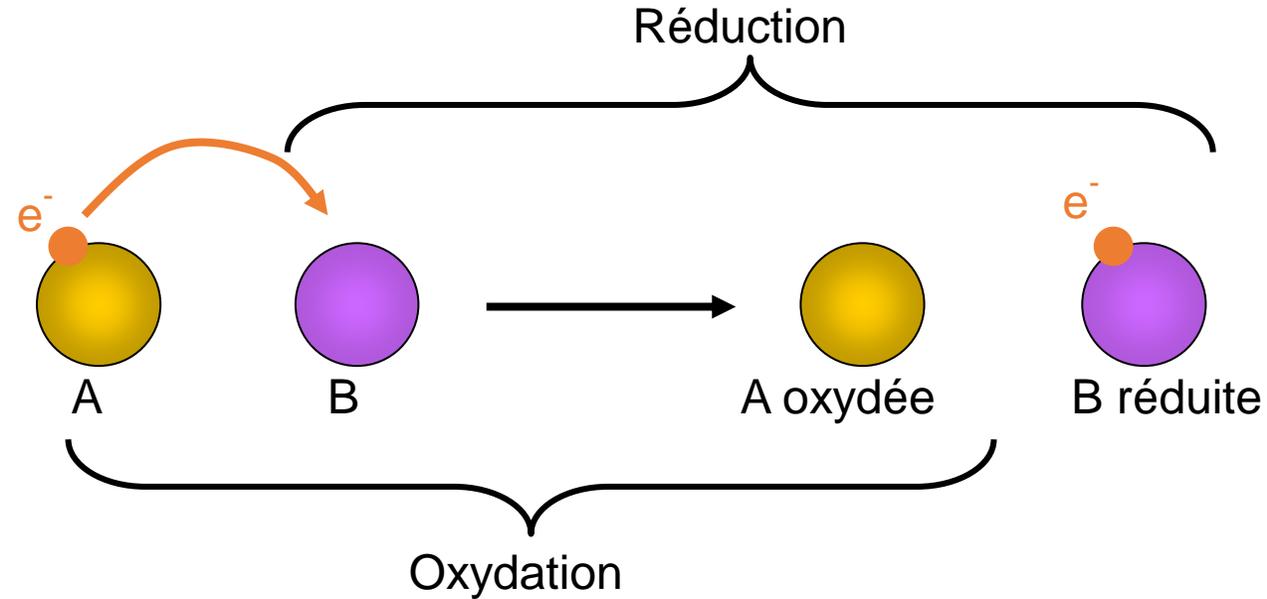


NAD⁺ : nicotinamide adénine dinucléotide
FAD : Flavine adénine dinucléotide

Diversité métabolique des micro-organismes

D. Les réactions d'oxydo-réduction

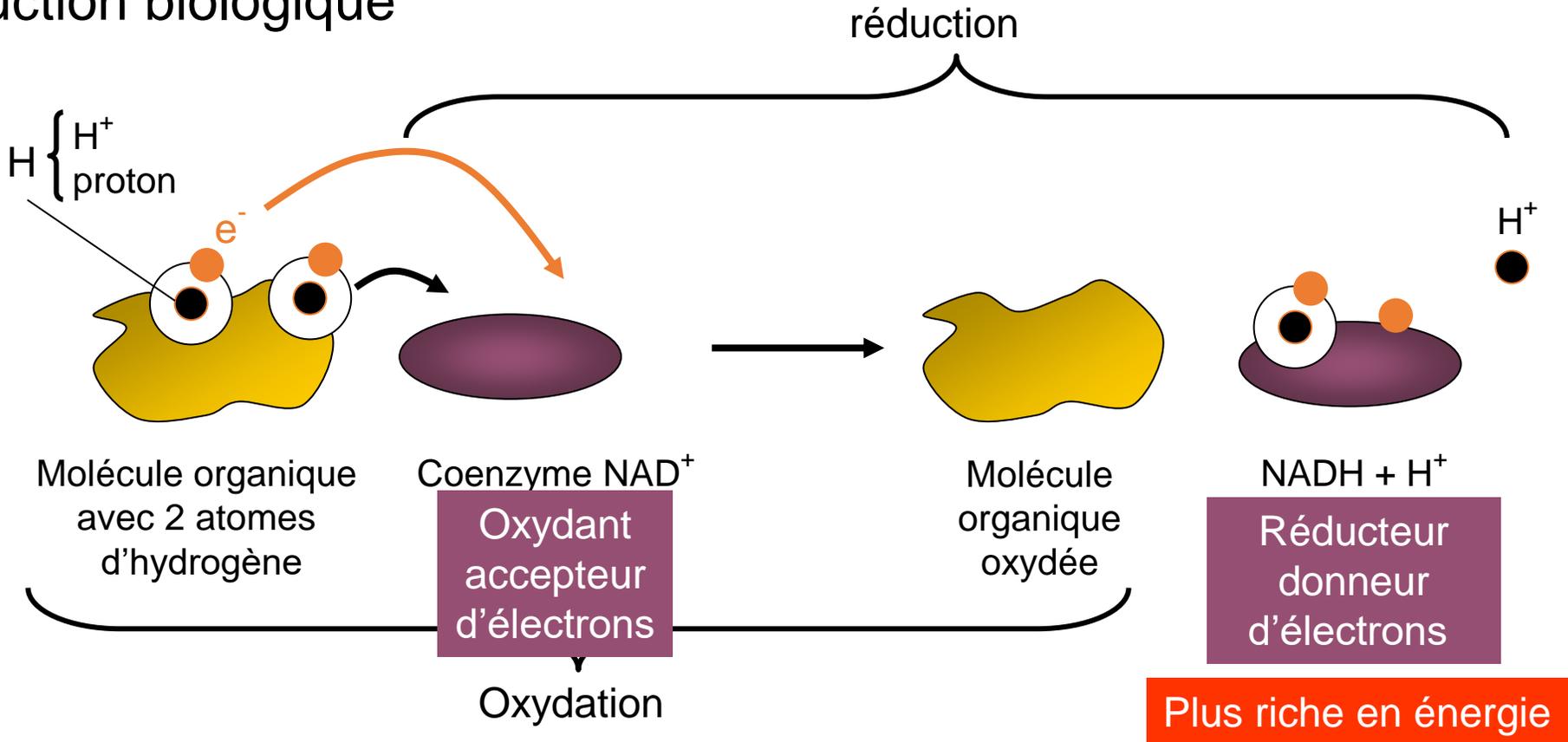
1. La réaction



Diversité métabolique des micro-organismes

D. Les réactions d'oxydo-réduction

2. L'oxydo-réduction biologique



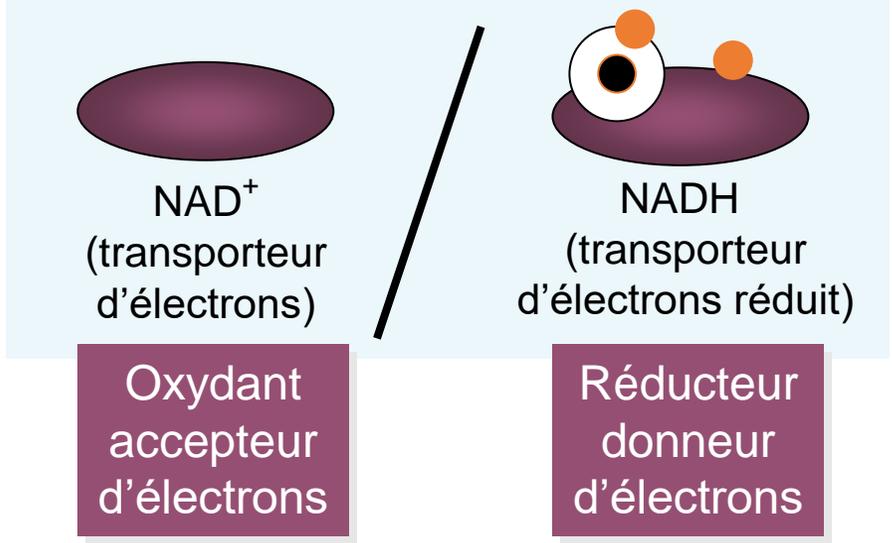
Les organismes utilisent les réactions d'oxydoréduction lors du catabolisme pour extraire l'énergie des molécules de nutriment

NAD⁺ : nicotinamide adénine dinucléotide.

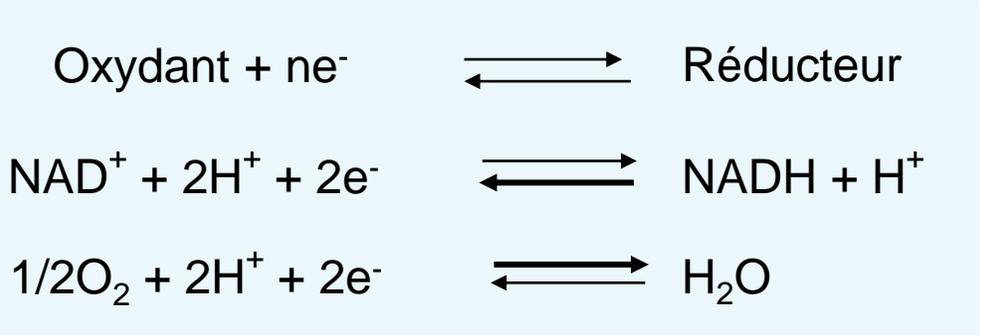
Diversité métabolique des micro-organismes

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



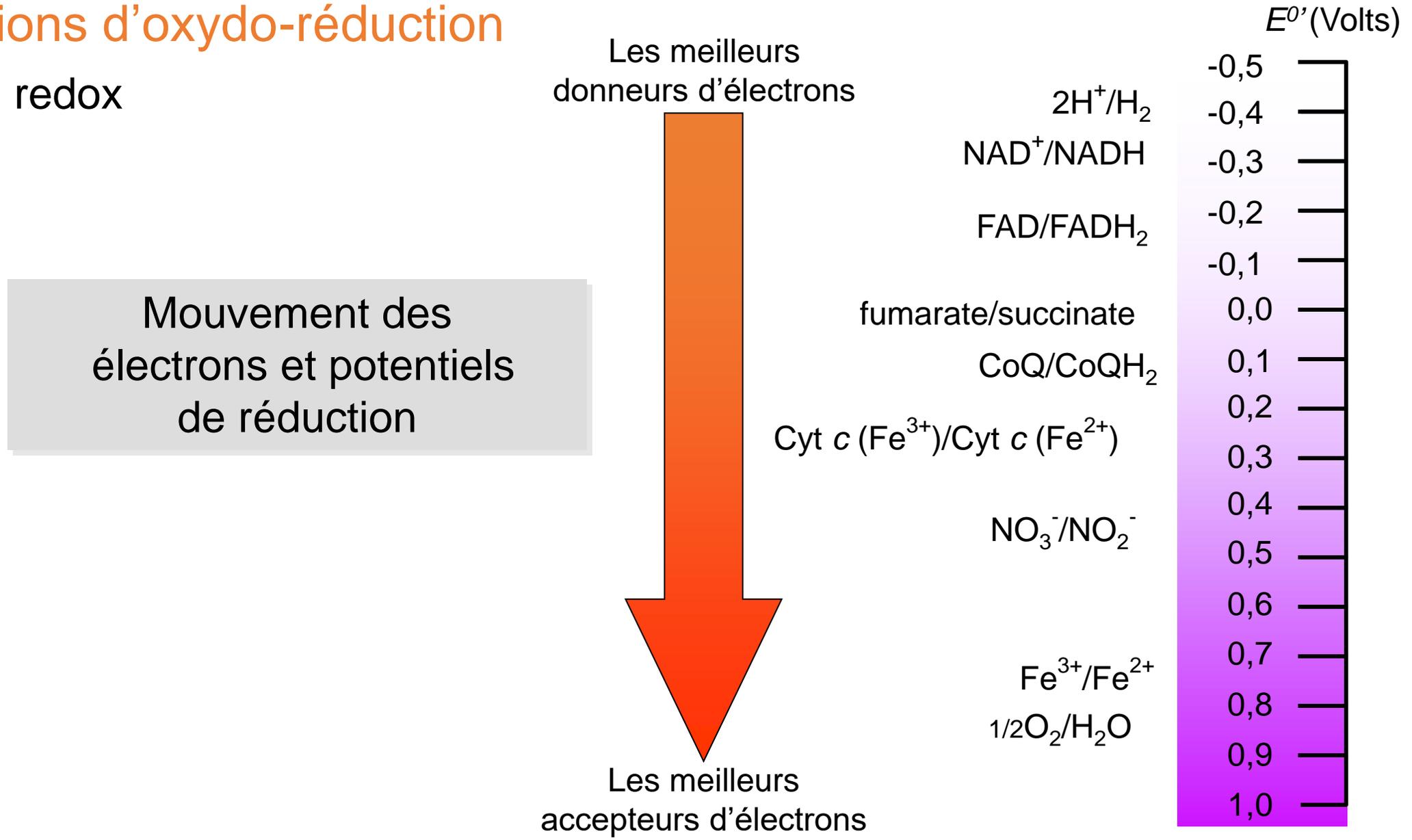
Potentiel de réduction standard à pH 7,0 (E^0)

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

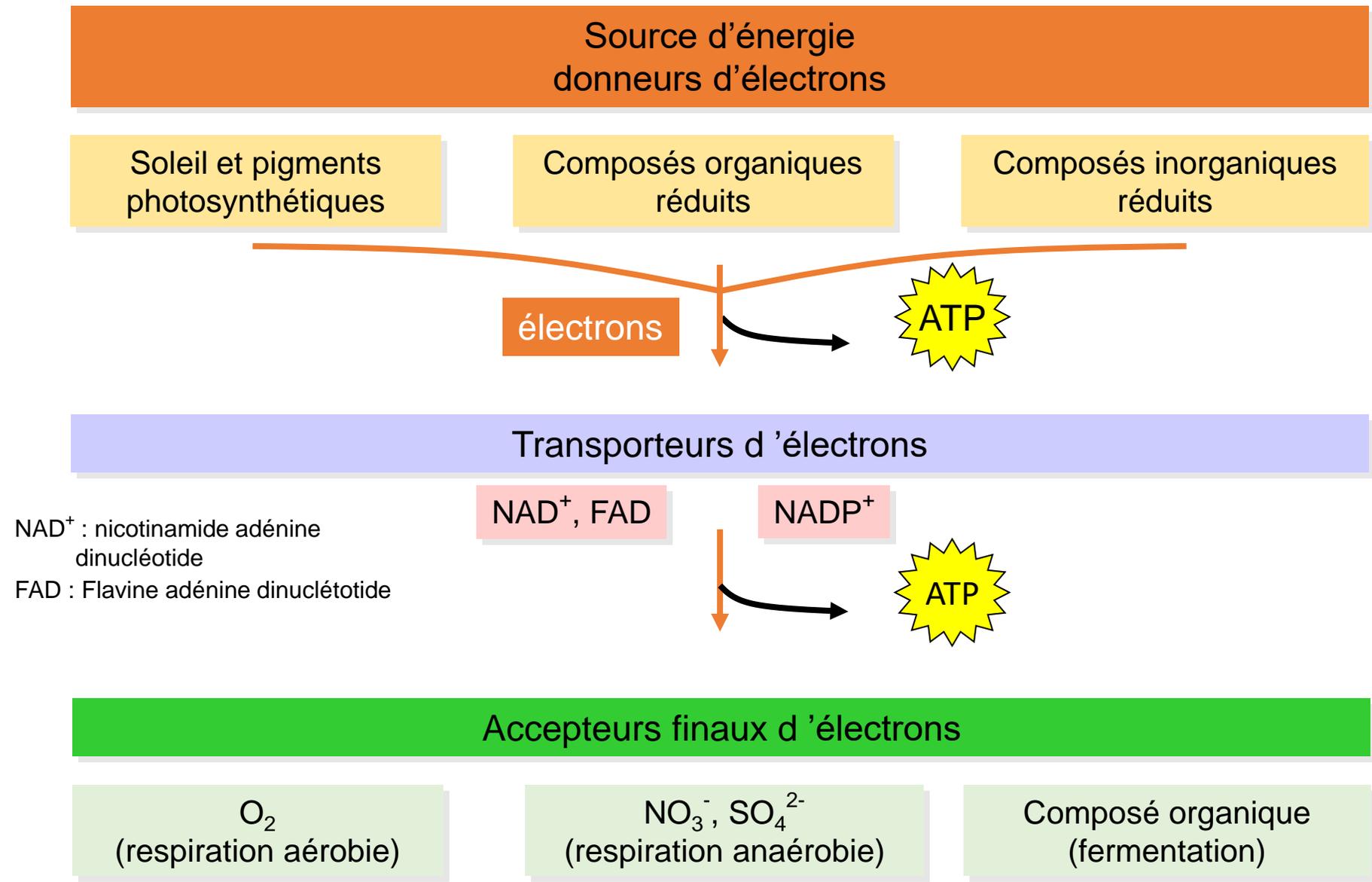
Diversité métabolique des micro-organismes

D. Les réactions d'oxydo-réduction

3. Les couples redox



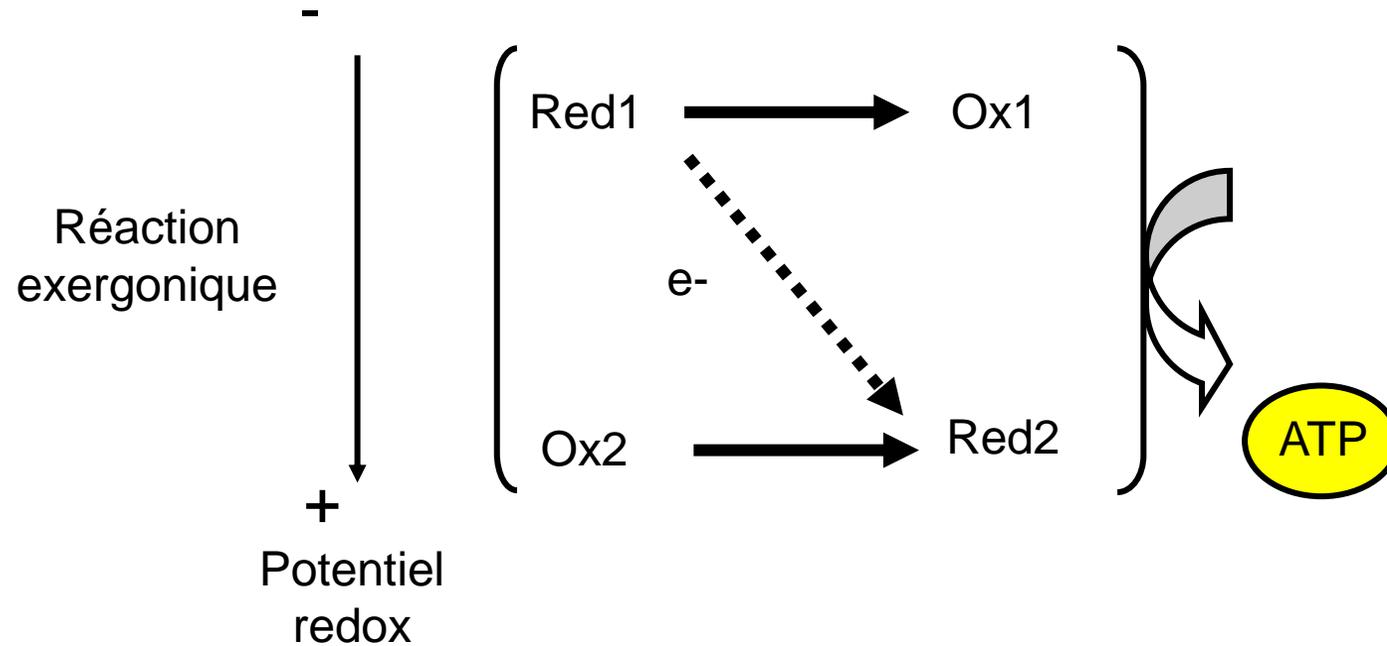
Diversité métabolique des micro-organismes



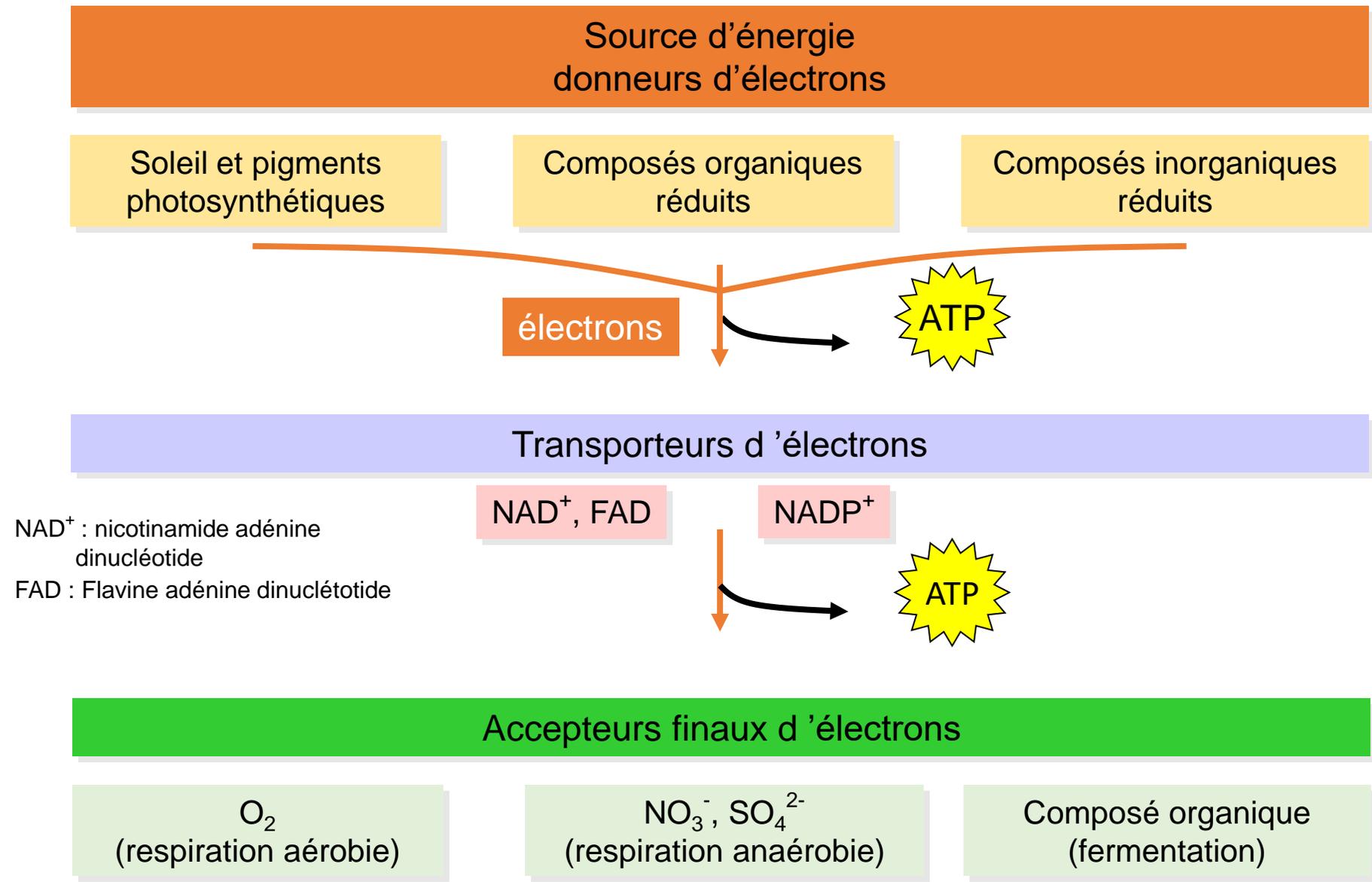
Diversité métabolique des micro-organismes

D. Les réactions d'oxydo-réduction

4. Principe

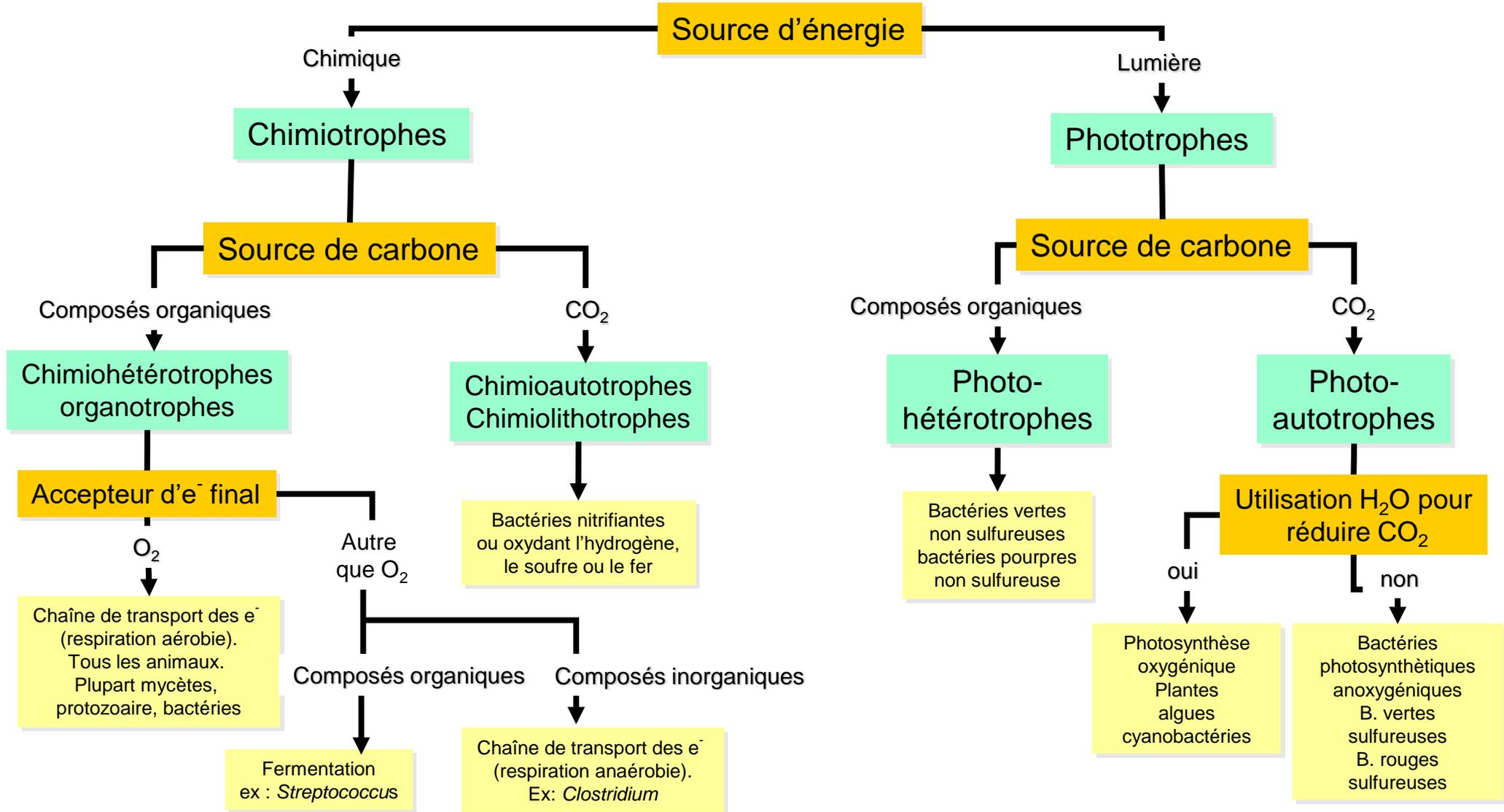


Diversité métabolique des micro-organismes



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

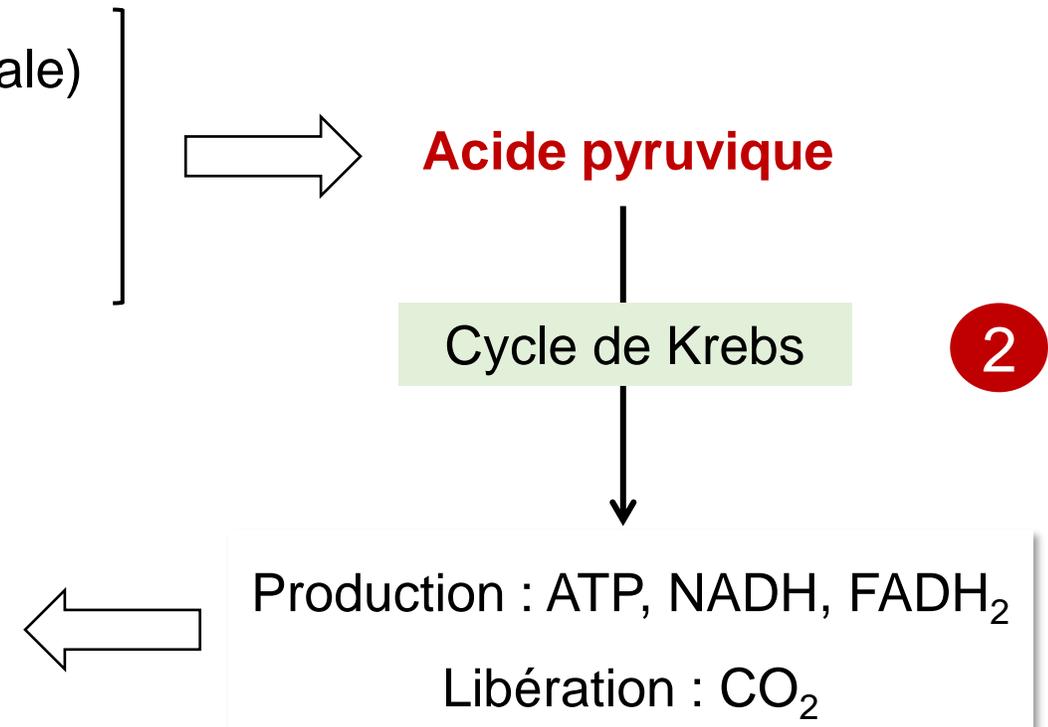
1. Les chimiohétérotrophes

La respiration aérobie

Sources d'énergie :

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

- 3**
- Oxydation de NADH et FADH₂ dans la chaîne de transport des électrons → production d'ATP



Diversité métabolique des micro-organismes

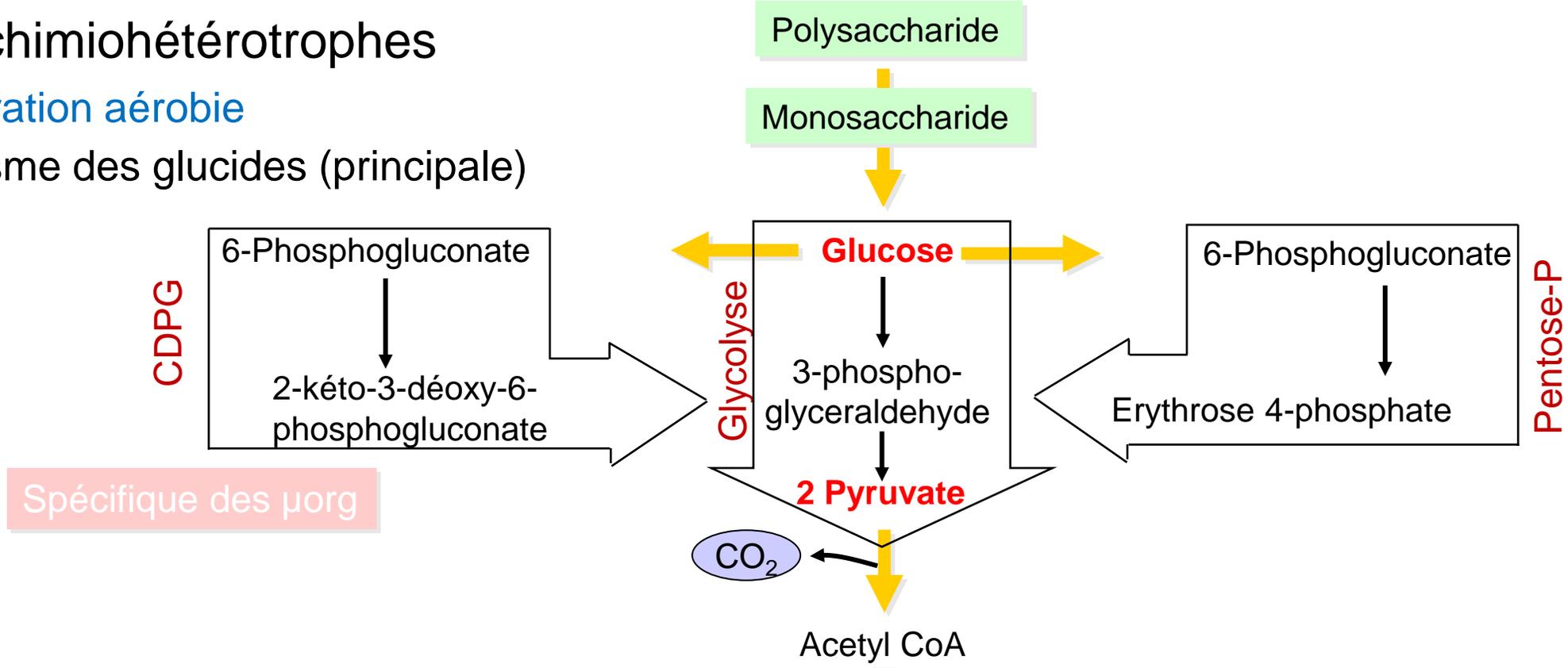
E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel

1. Les chimiohétérotrophes

La respiration aérobie

Catabolisme des glucides (principale)

1



2

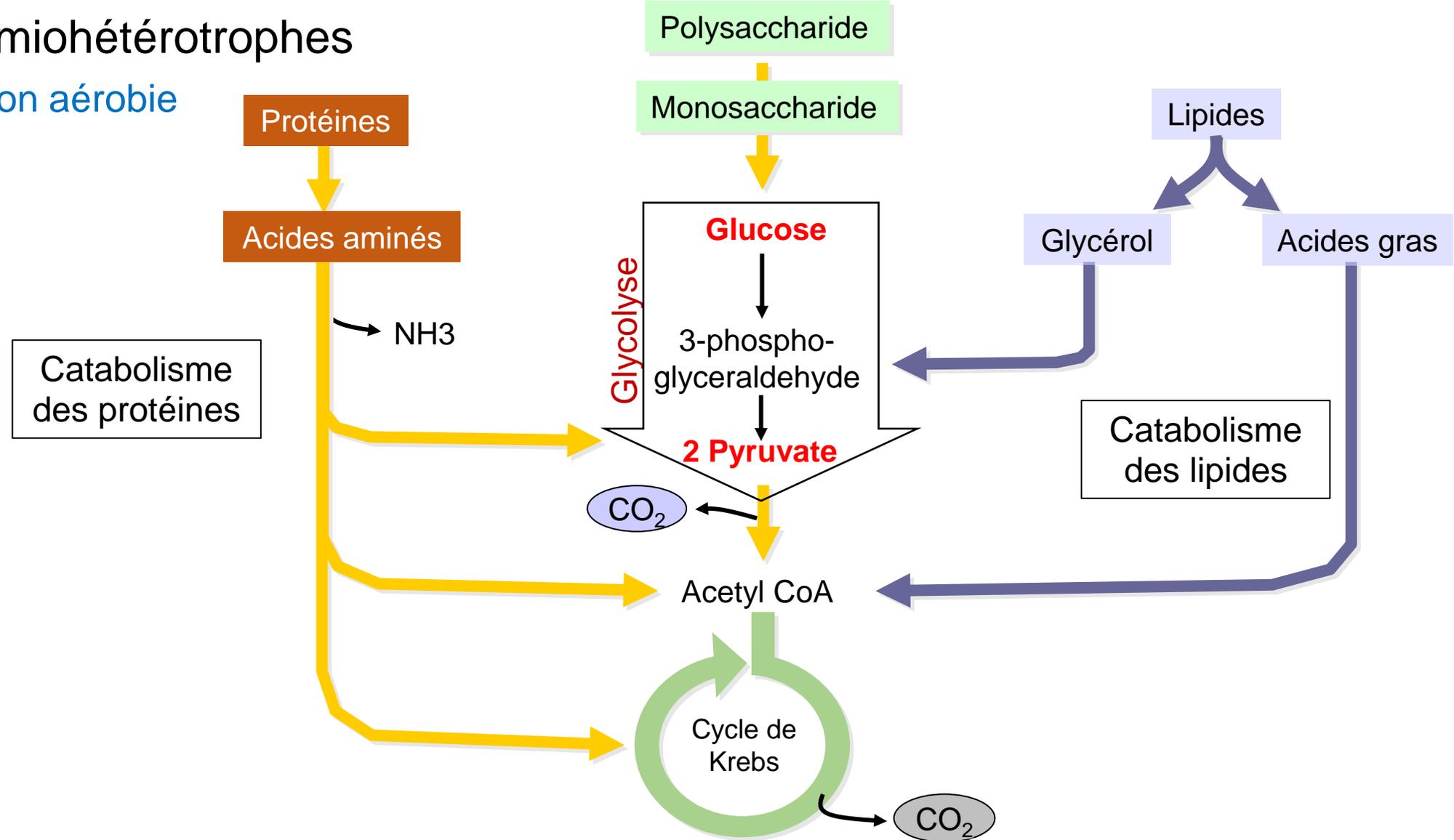
Diversité métabolique des micro-organismes

E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel

1. Les chimiohétérotrophes

La respiration aérobie

1



2

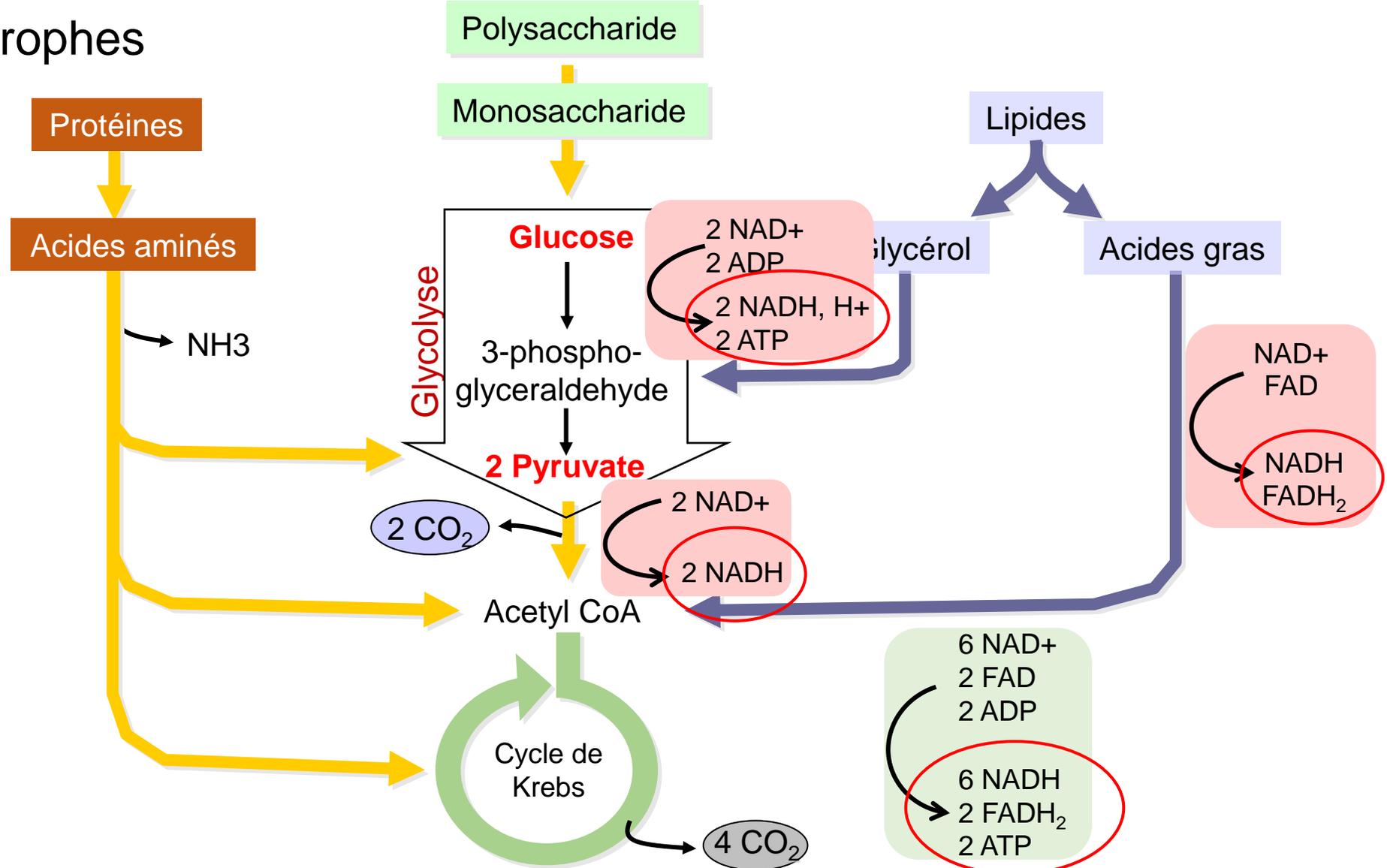
Diversité métabolique des micro-organismes

E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel

1. Les chimiohétérotrophes

La respiration aérobie

1



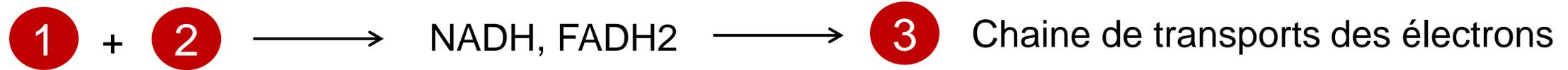
2

Diversité métabolique des micro-organismes

E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel

1. Les chimiohétérotrophes

La respiration aérobie



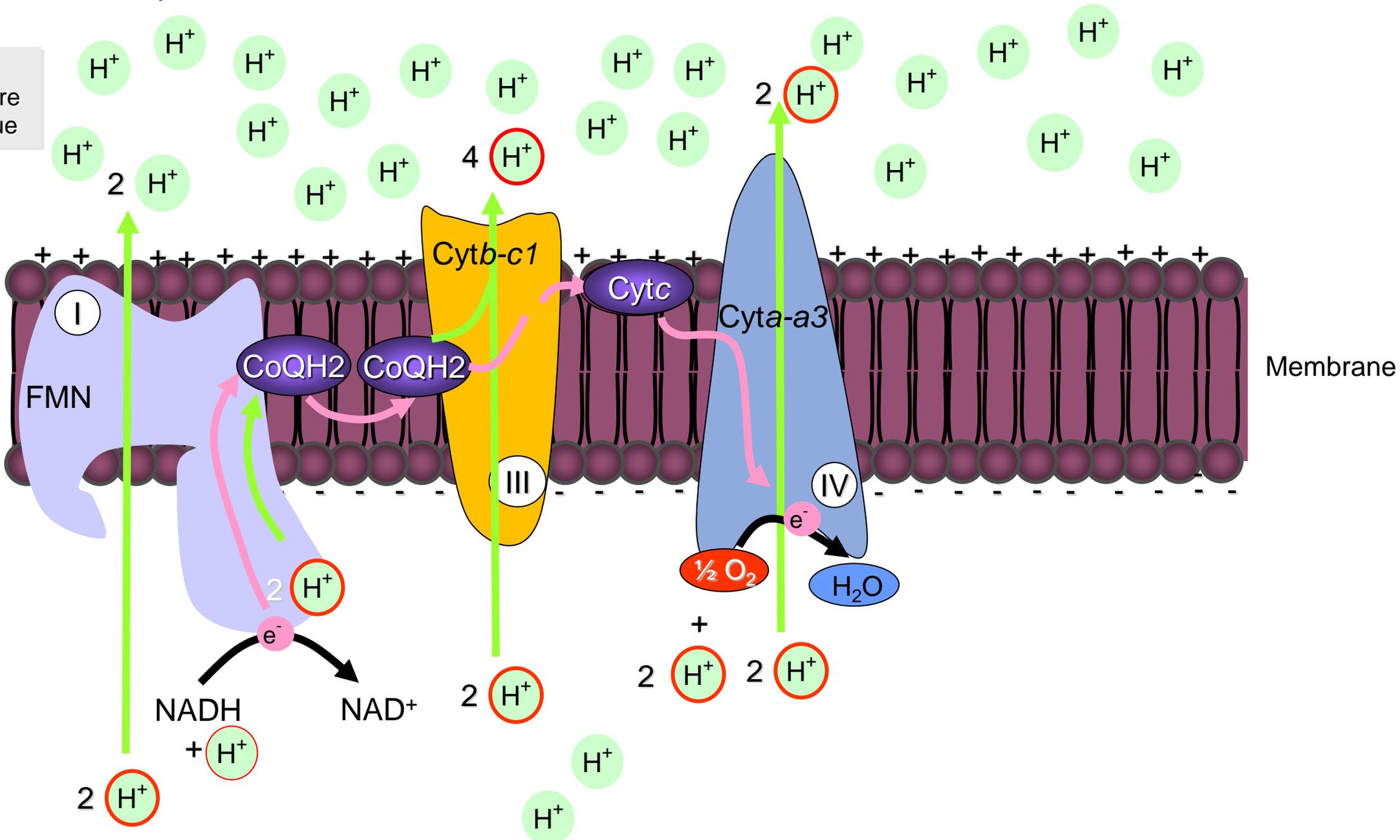
- Séquence de **transporteurs moléculaires** capables d'effectuer des réactions d'**oxydo-réduction**
- 3 classes de transporteurs :
 - **Flavoprotéines** : contiennent de la flavine (ex: FMN)
 - **Cytochromes** : contiennent des groupements porteurs de fer (hème)
 - **Ubiquinones** (ou Coenzymes Q) : petits transporteurs non protéiques
- Les chaînes de transport ne sont pas toutes identiques chez les bactéries
- Production d'ATP par **chimiosmose** (accepteur final O₂)

3

Chaîne de transports des électrons

Espace intermembranaire ou périplasmique

Cytoplasme

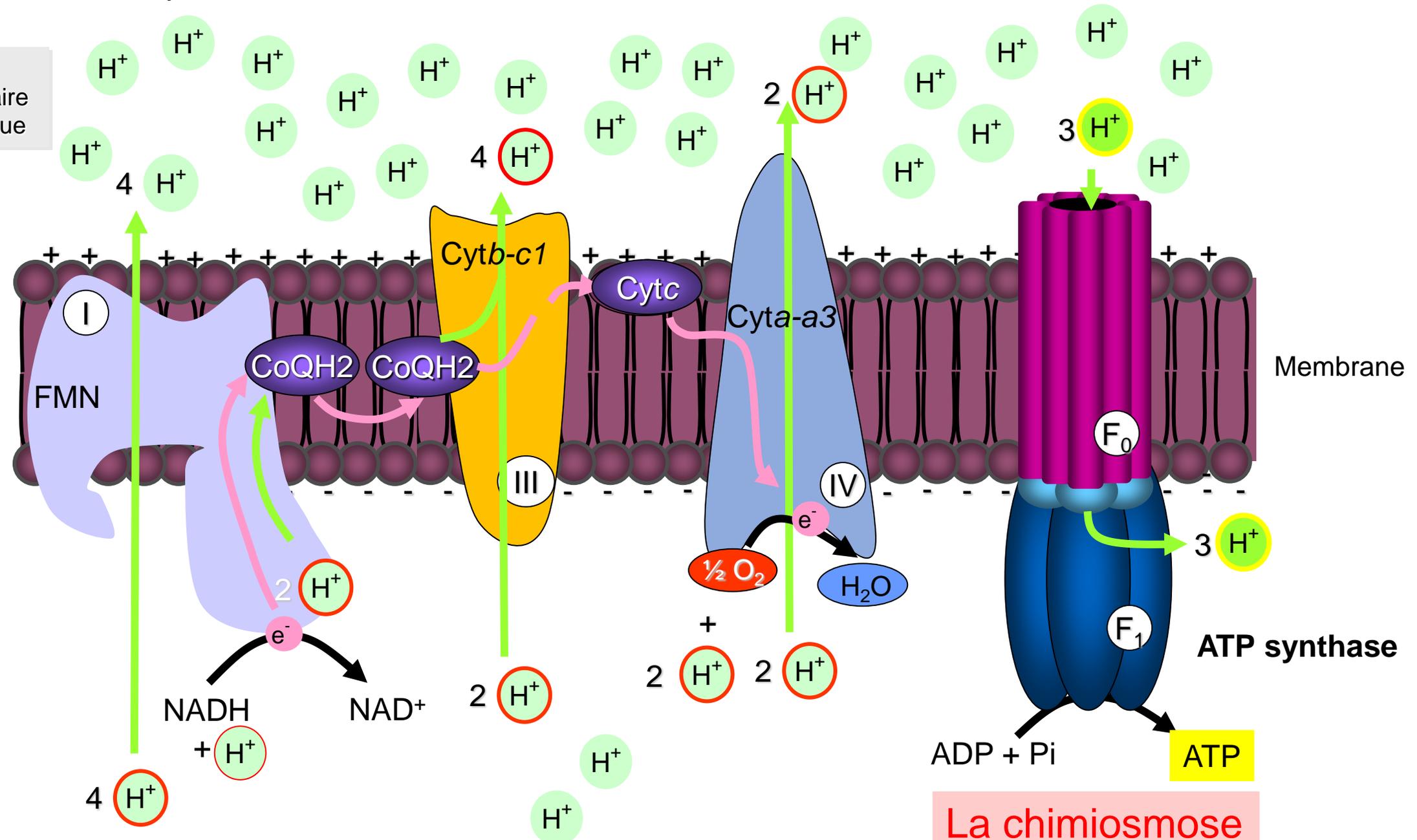


3

Chaîne de transports des électrons

Espace intermembranaire ou périplasmique

Cytoplasme



La chimiosmose

Diversité métabolique des micro-organismes

E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel

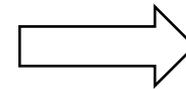
1. Les chimiohétérotrophes

La respiration aérobie



Sources d'énergie :

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

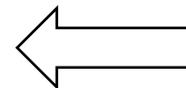


Acide pyruvique

Cycle de Krebs

2

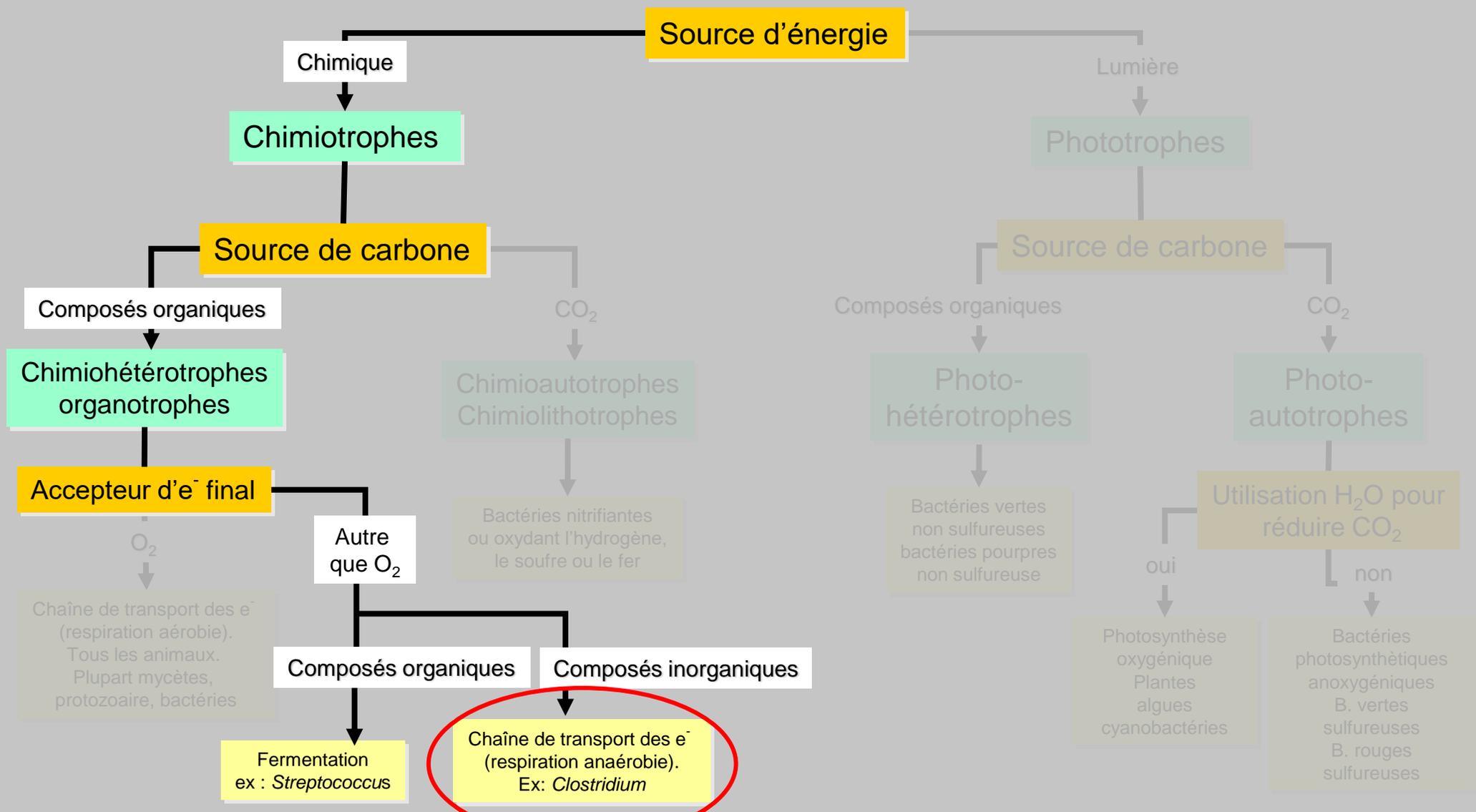
Production : ATP, NADH, FADH₂
Libération : CO₂



- 3**
- Oxydation de NADH et FADH₂
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

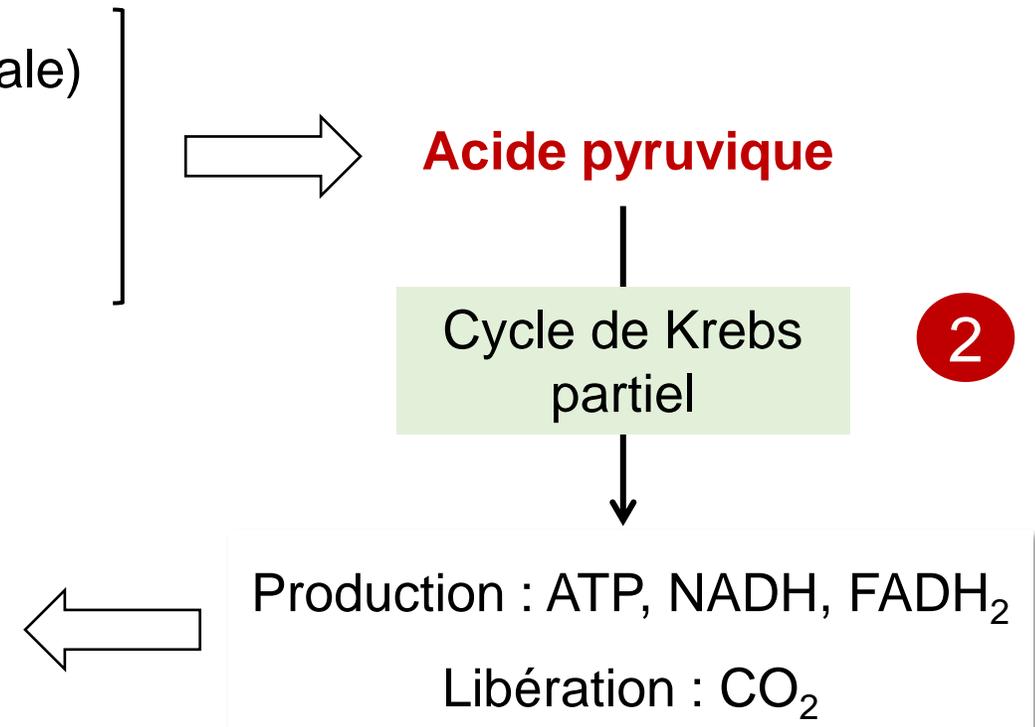
1. Les chimiohétérotrophes

La respiration anaérobie

Sources d'énergie :

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

- 3
- Oxydation de NADH et FADH₂ dans la chaîne de transport des électrons → production d'ATP
Accepteur final autre que l'O₂



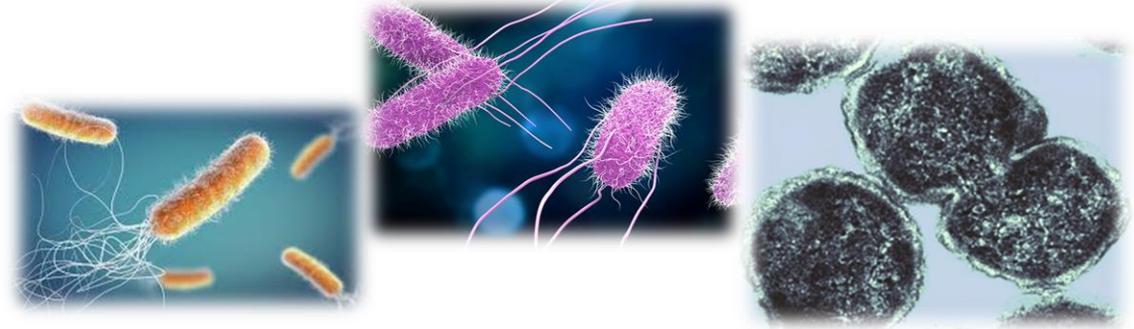
Diversité métabolique des micro-organismes

E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel

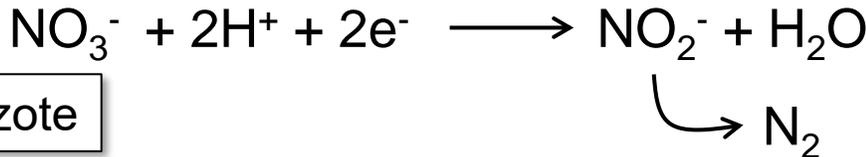
1. Les chimiohétérotrophes

La respiration anaérobie

3 Accepteur final d'électrons :

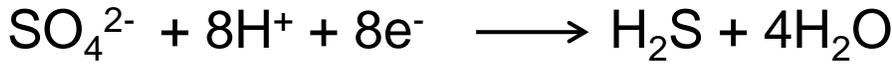


Cycle de l'azote

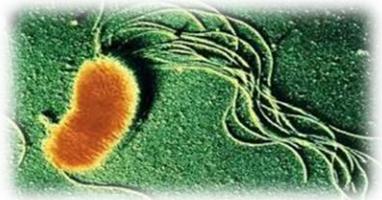
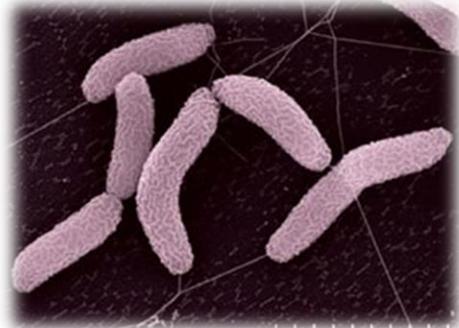


Pseudomonas, Bacillus, Paracoccus...

Cycle du soufre



Desulfovibrio, ...



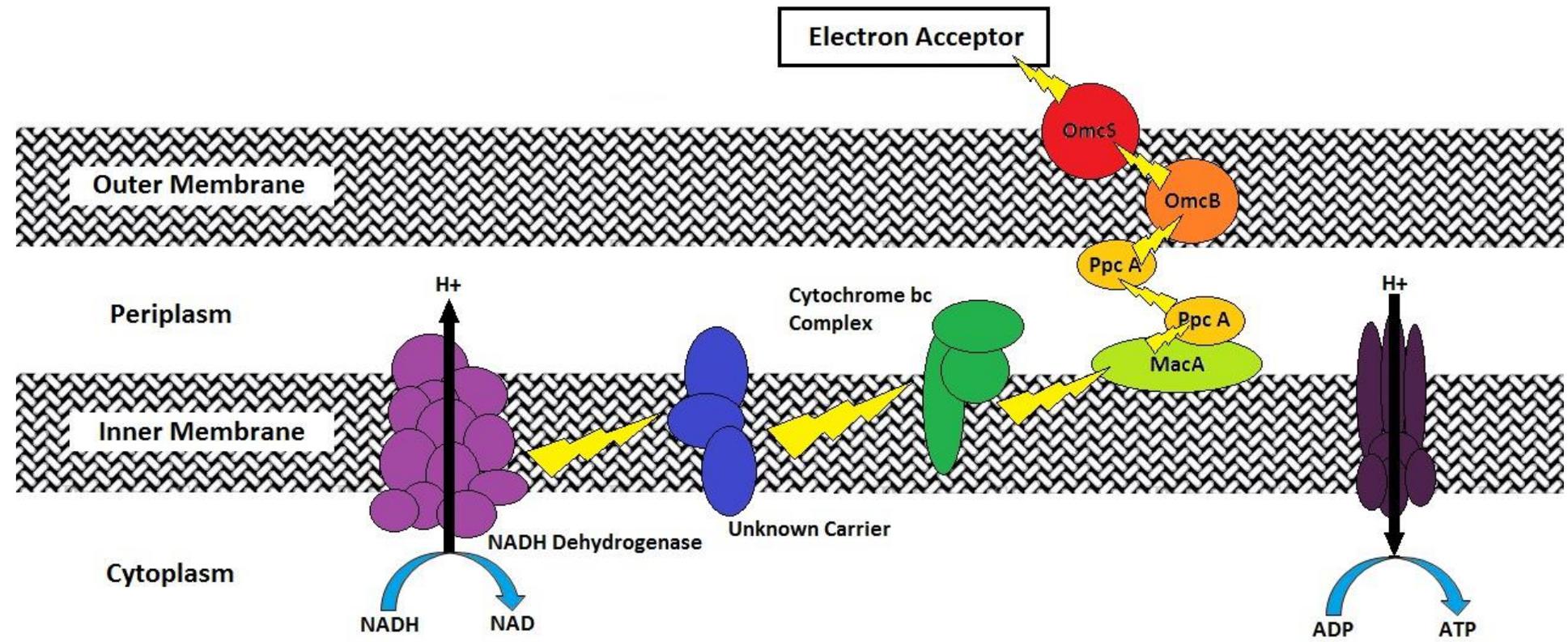
Diversité métabolique des micro-organismes

E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel

1. Les chimiohétérotrophes

La respiration anaérobie

Geobacter



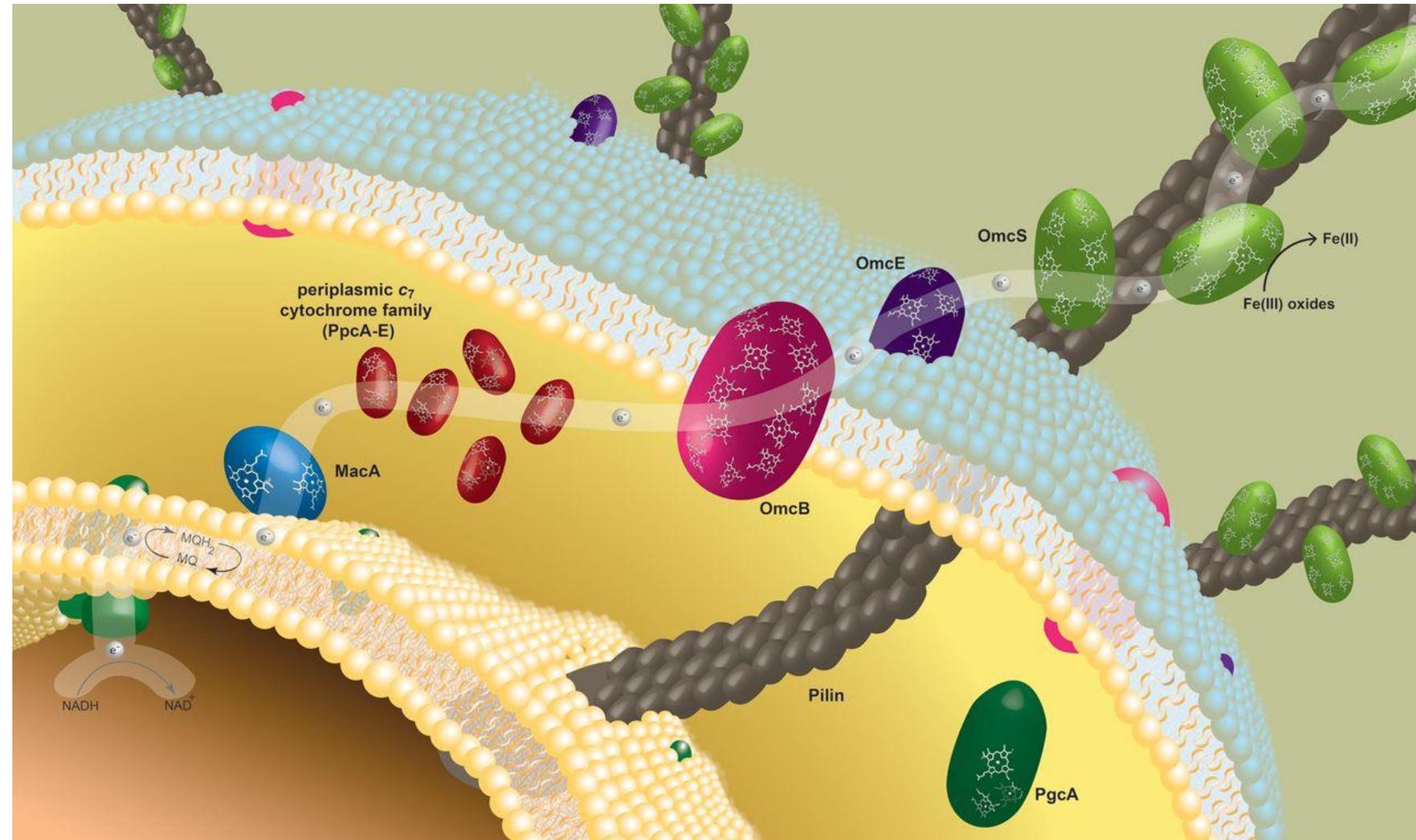
Diversité métabolique des micro-organismes

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

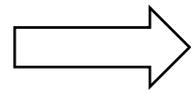
La respiration anaérobie



Production d'ATP moins efficace qu'en aérobie

Sources d'énergie :

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



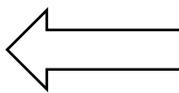
Acide pyruvique

Cycle de Krebs partiel

2



Production : ATP, NADH, FADH₂
Libération : CO₂



3 Oxydation de NADH et FADH₂ dans la chaîne de transport des électrons → production d'ATP
Accepteur final autre que l'O₂

Diversité métabolique des micro-organismes

E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel

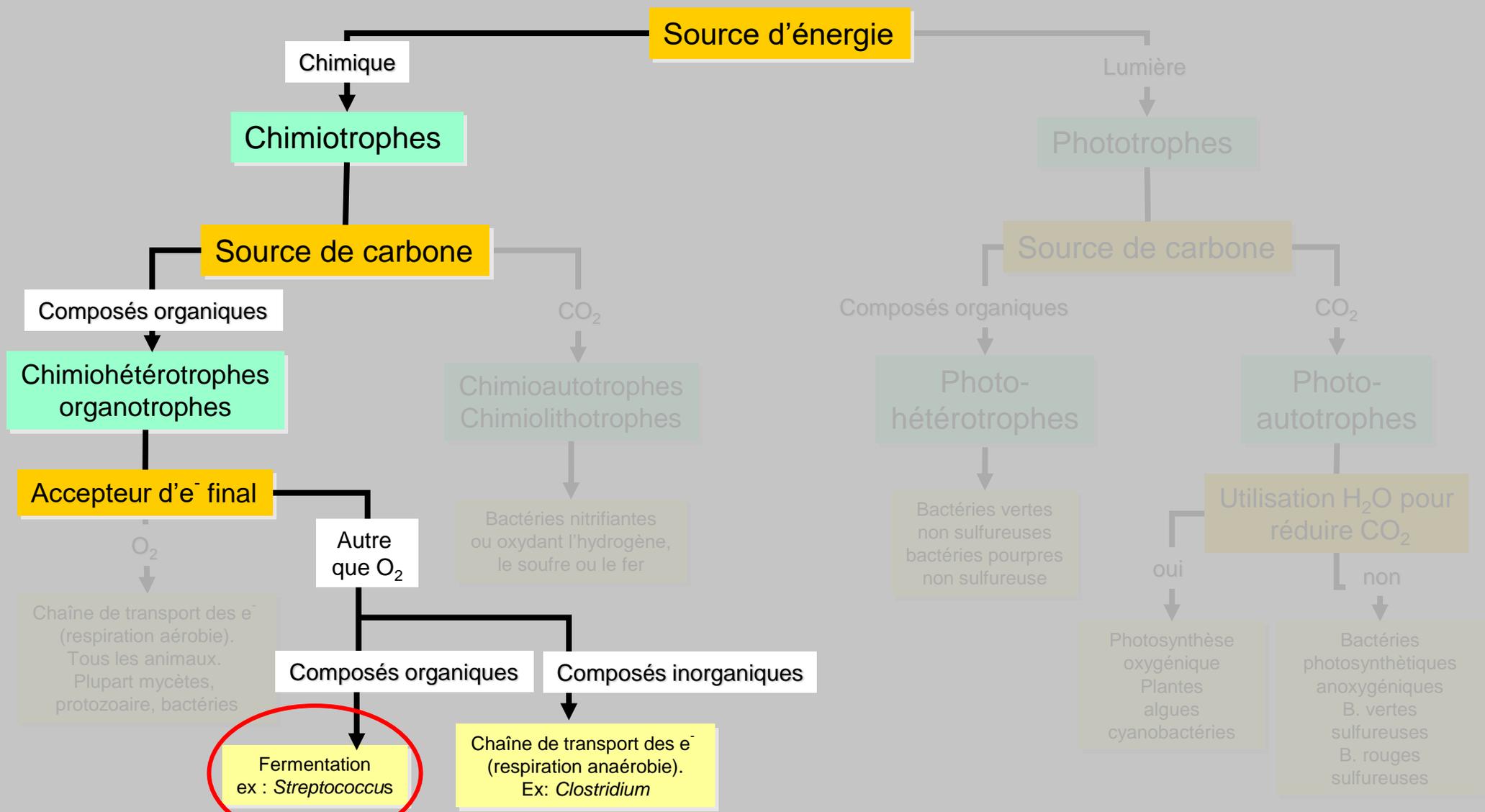
1. Les chimiohétérotrophes

Pseudomonas aeruginosa est anaérobie facultatif

O ₂	NO ₃ ⁻	Croissance	Pourquoi ?
-	-	-	Pas d'accepteur e ⁻ , pas d'ATP
+	-	+	Respiration aérobie
-	+	+	Respiration anaérobie
+	+	+	Respiration aérobie

Diversité métabolique des micro-organismes

E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel

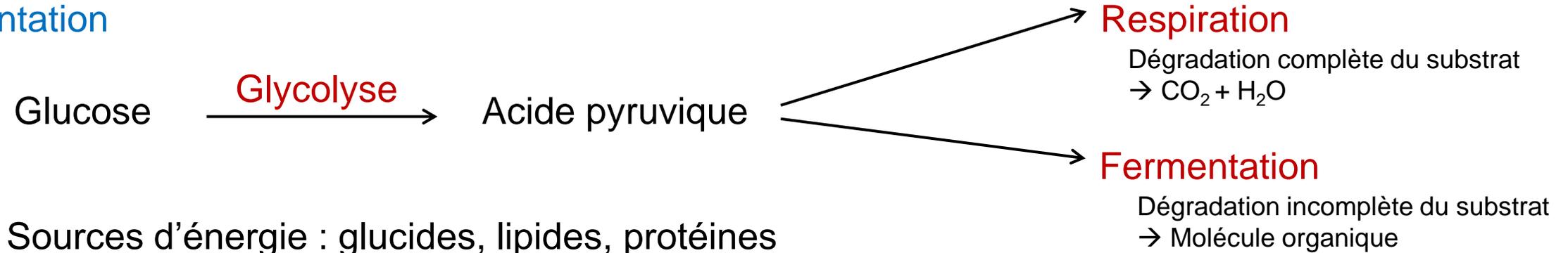


Diversité métabolique des micro-organismes

E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel

1. Les chimiohétérotrophes

La fermentation



- Sources d'énergie : glucides, lipides, protéines
- Ne nécessite pas d' 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

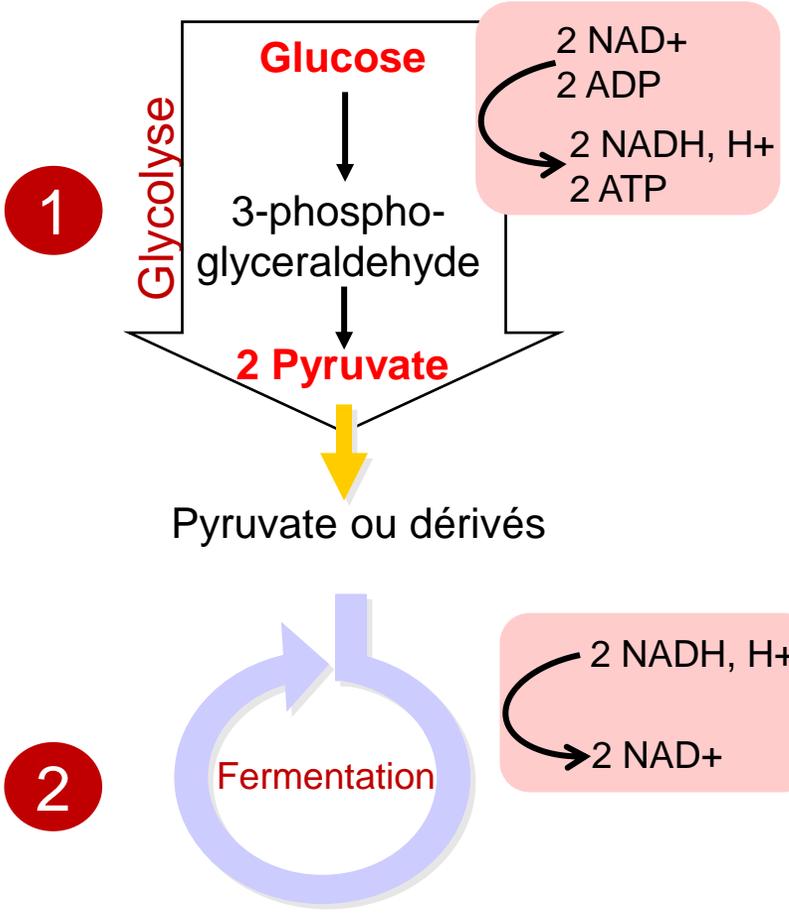
E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel

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⁺



Produits finaux de la fermentation dépendent de l'organisme

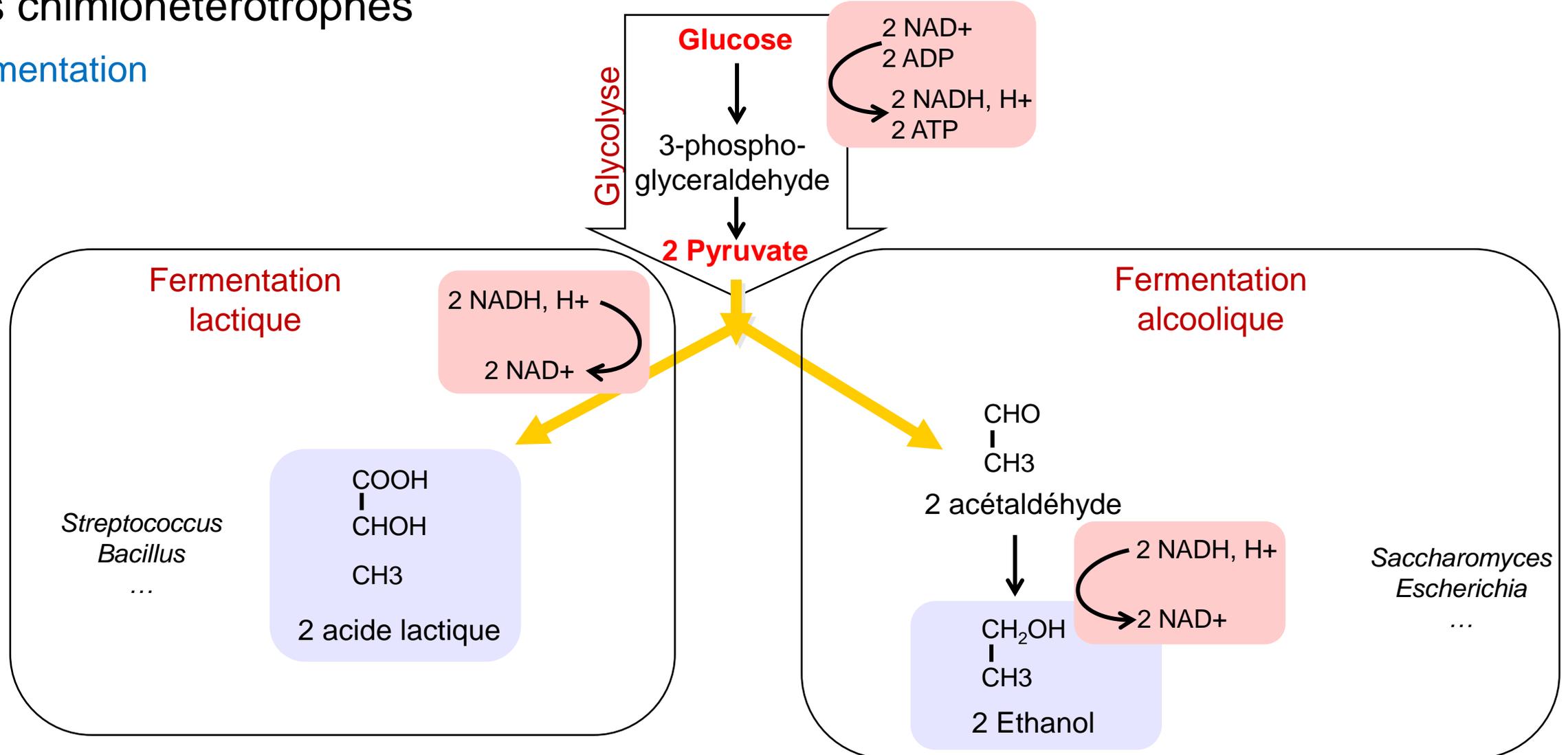
Régénération du NAD⁺ = approvisionnement ininterrompu pour la glycolyse

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>CO₂</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

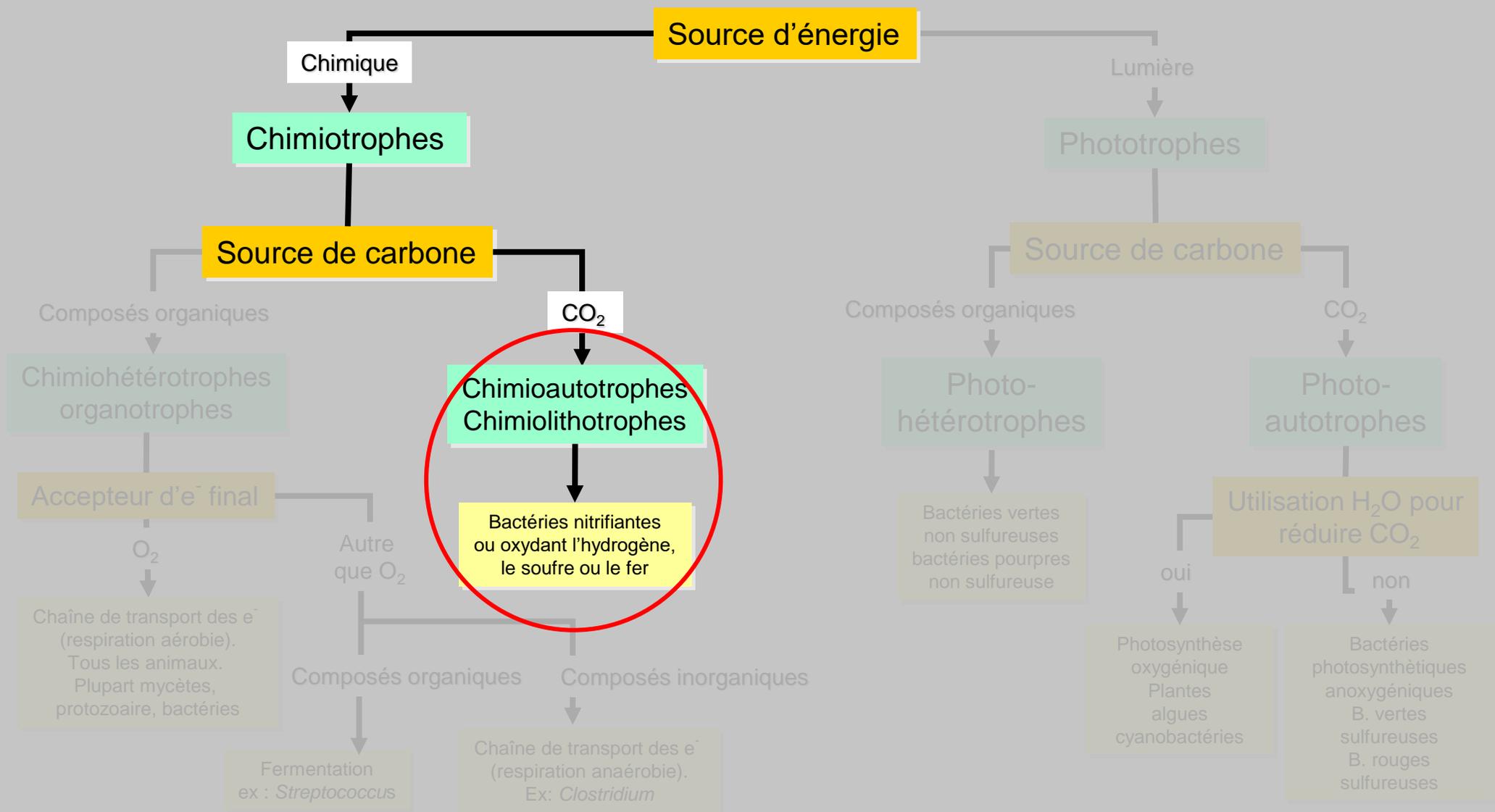
Processus producteur d'énergie	Conditions de croissance	Accepteur d'hydrogène (d'électrons) final	Type de phosphorylation employée pour produire l'ATP	Molécules d'ATP produites par molécules de glucose
Respiration aérobie	Aérobiose	O ₂	Au niveau du substrat et oxydative	38 ATP
Respiration anaérobie	Anaérobiose	Autre que O ₂ , molécule inorganique en général (NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻ , CO ₃ ²⁻ , ...)	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 (+/- O₂)
- anaérobie facultatif

Diversité métabolique des micro-organismes

E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel



Diversité métabolique des micro-organismes

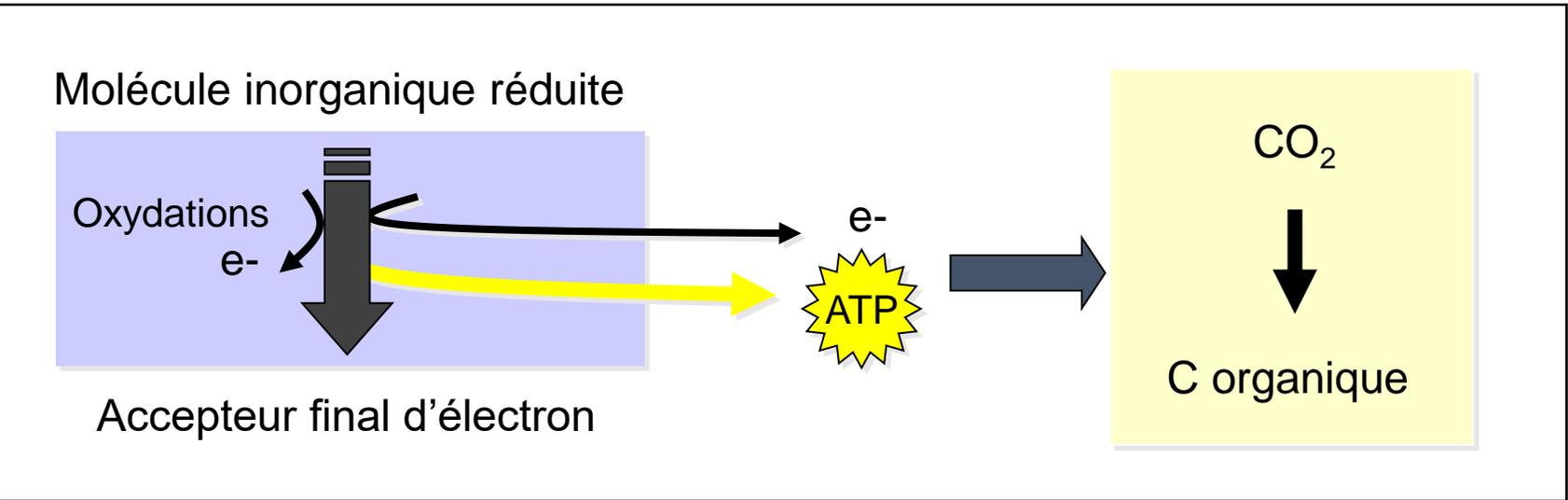
E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel

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

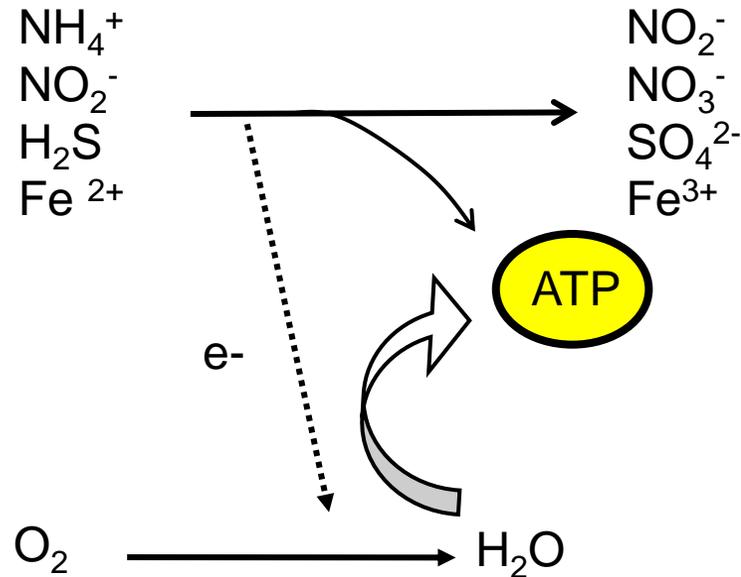
E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel

2. Les chimioautotrophes

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

- Accepteur final d' e^- : O_2

→ Production d'ATP par phosphorylation oxydative



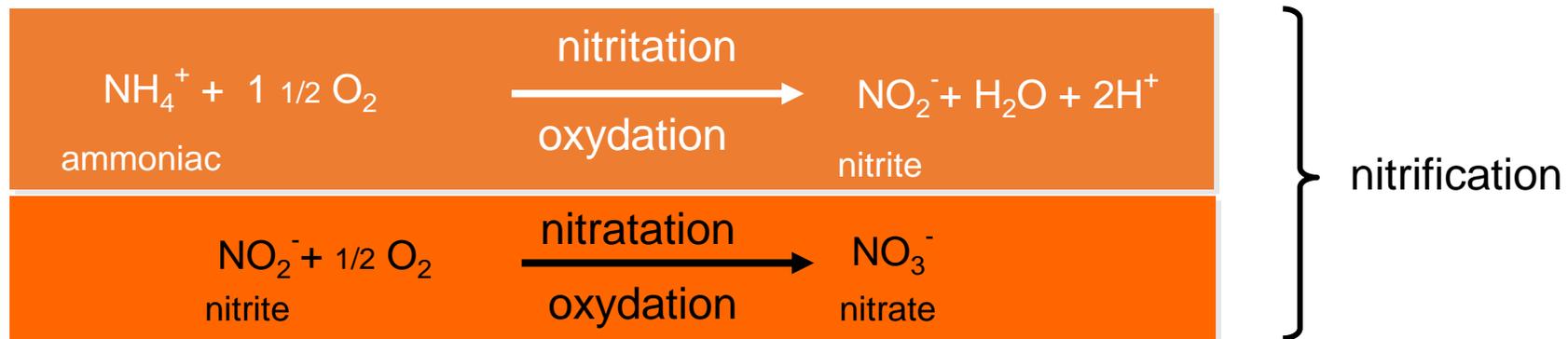
Consommation de substances inorganiques souvent présentes dans les déchets industriels polluants → grande importance dans l'équilibre des écosystèmes terriens et aquatiques

Diversité métabolique des micro-organismes

E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel

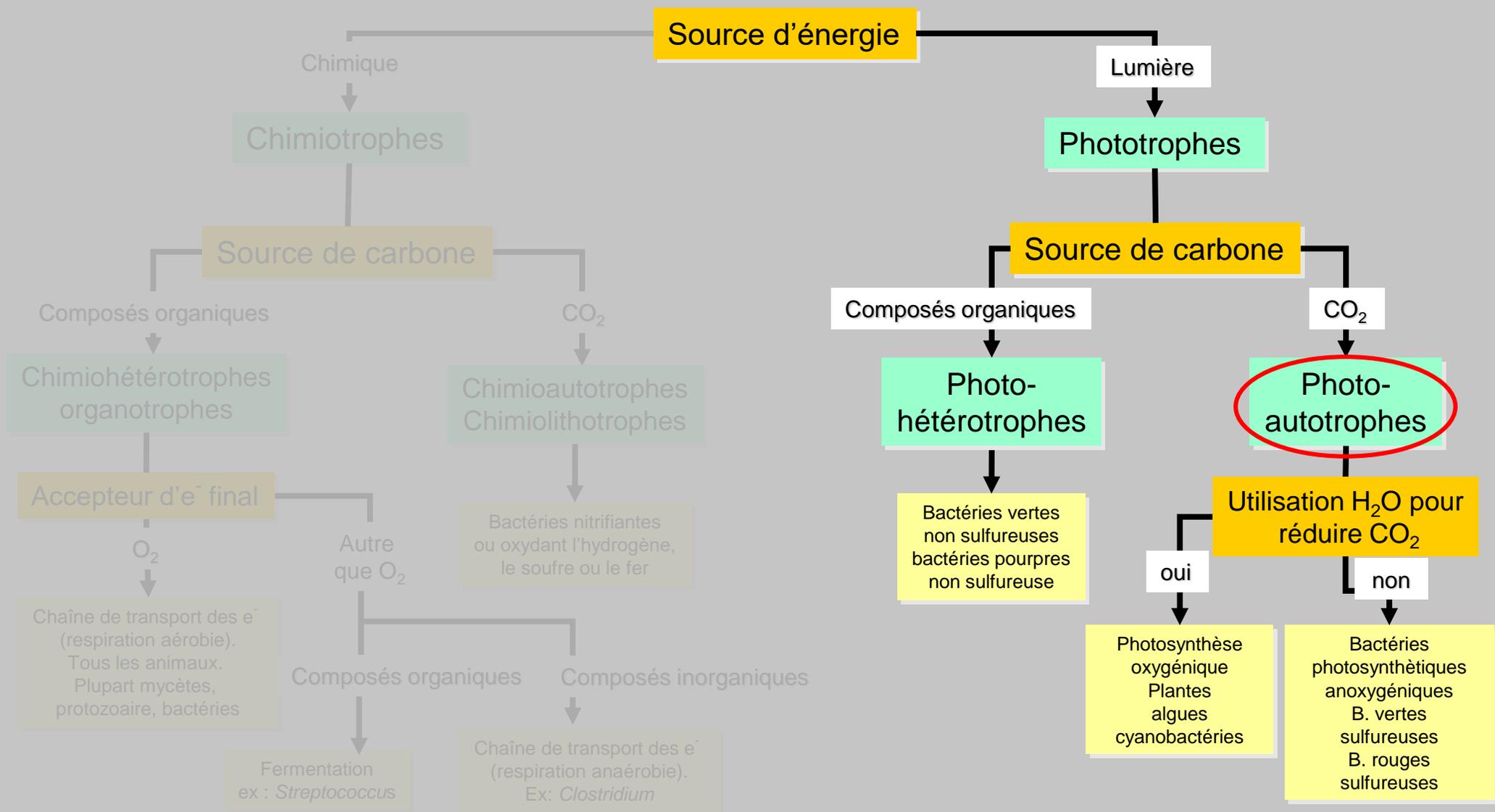
2. Les chimioautotrophes

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



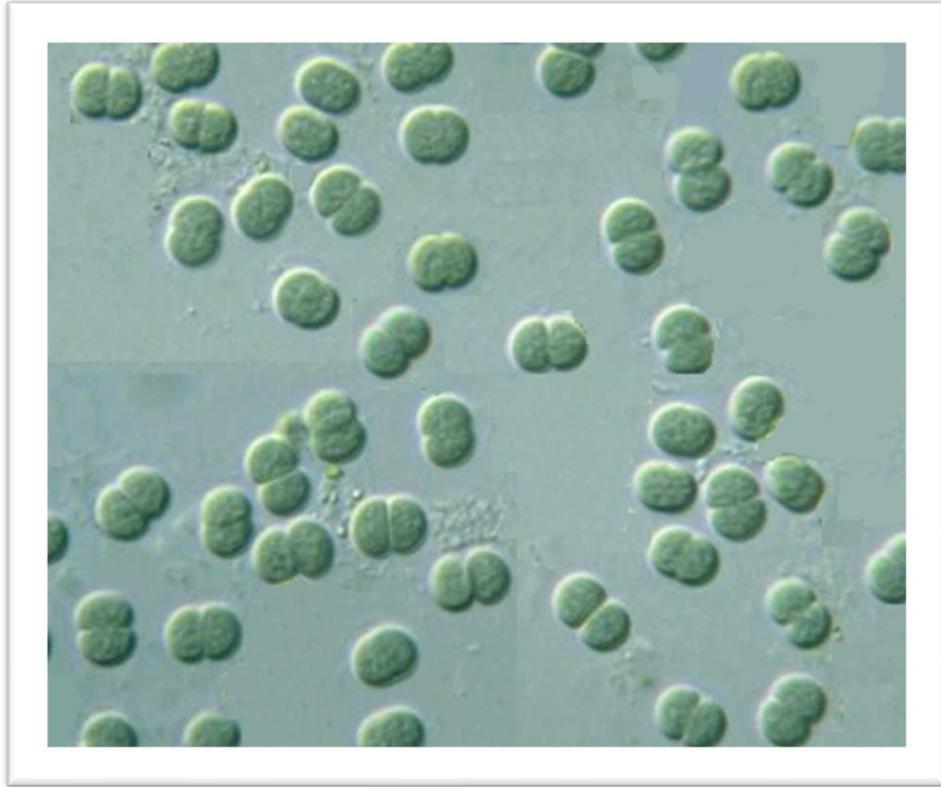
Cyanobactéries du genre *Nostoc*



Cyanobactéries du genre *Nostoc*

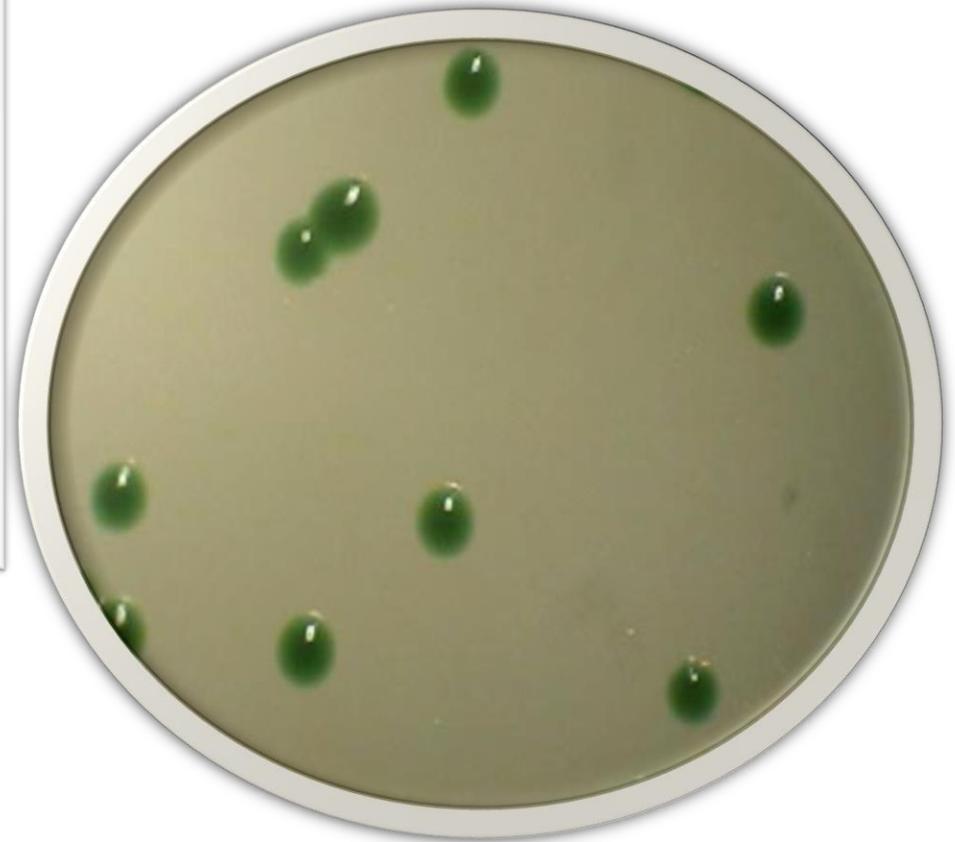


Cyanobactéries du genre *Synechocystis*

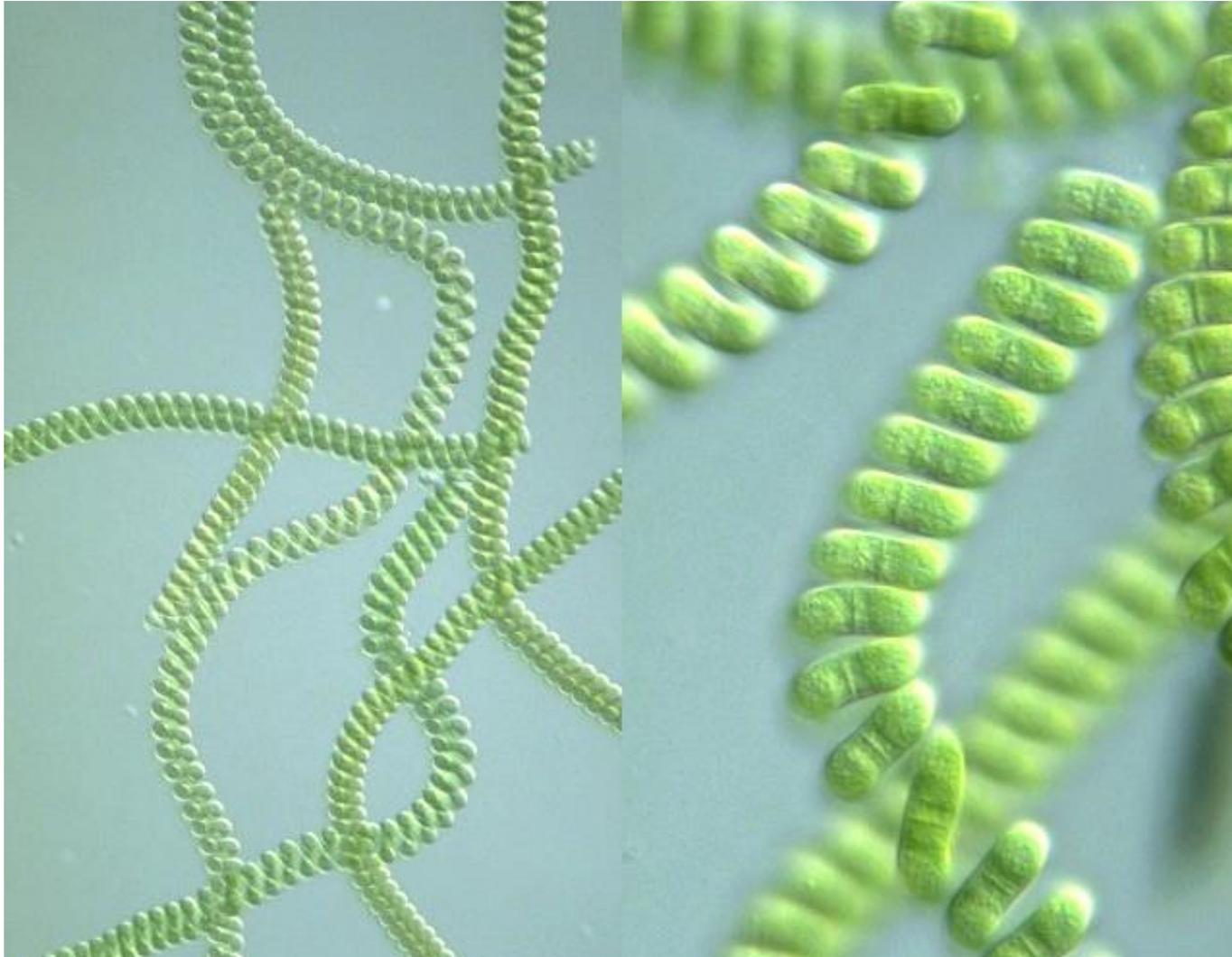


En microscopie

En culture sur boîte de Petri



Cyanobactéries du genre *Arthrospira*





Bactéries vertes sulfureuses

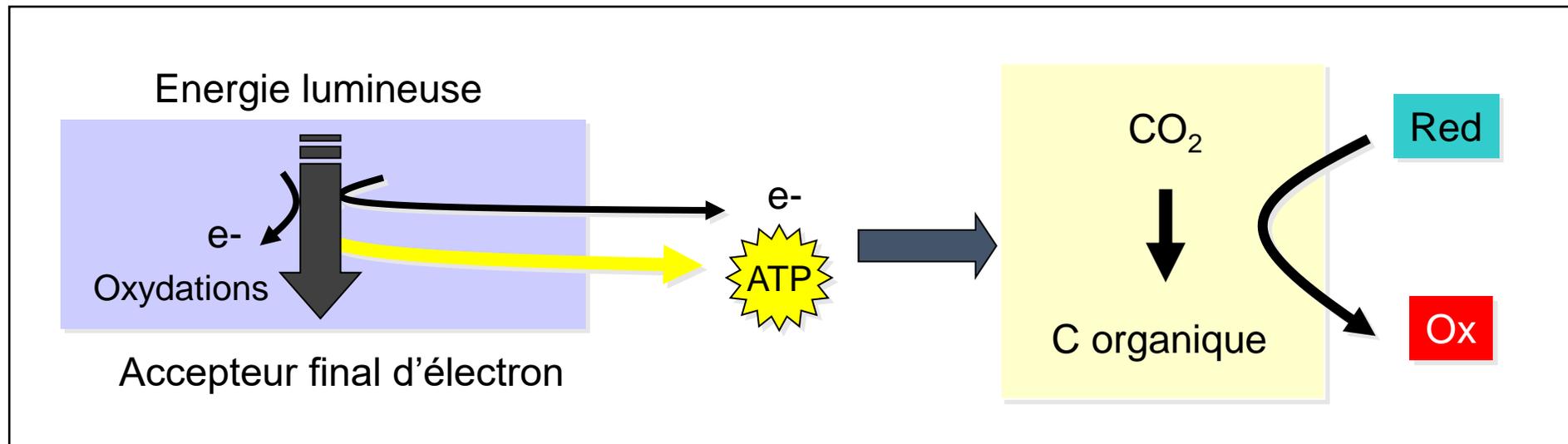
Bactéries pourpres sulfureuses

Diversité métabolique des micro-organismes

E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel

3. Les photoautotrophes

- Source de carbone : CO_2
- Source d'énergie : lumière
- Photosynthèse :
 - l'énergie lumineuse est transformée en énergie chimique (e^-)
 - L'énergie chimique convertit le 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 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 (chaine 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 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 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 :



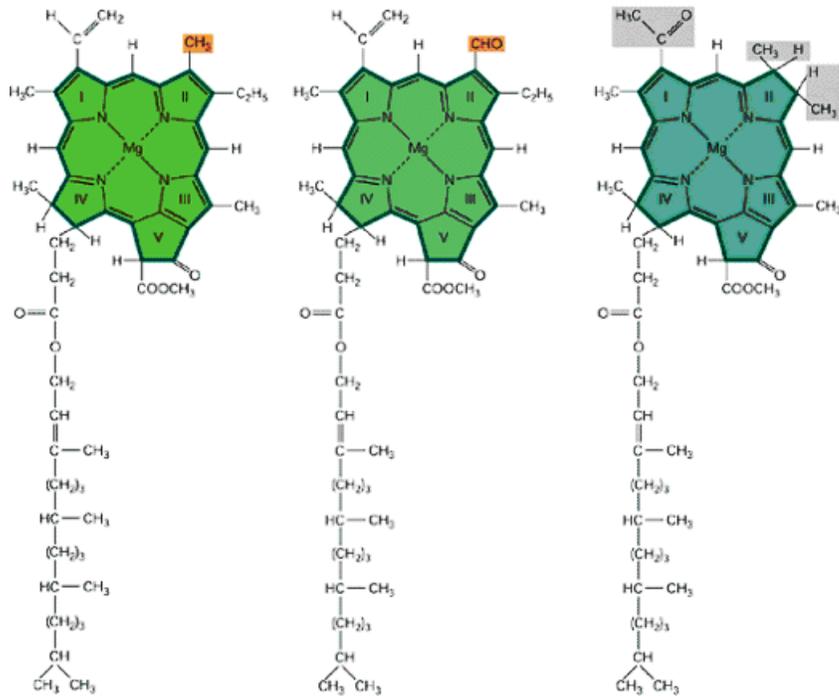
Diversité métabolique des micro-organismes

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

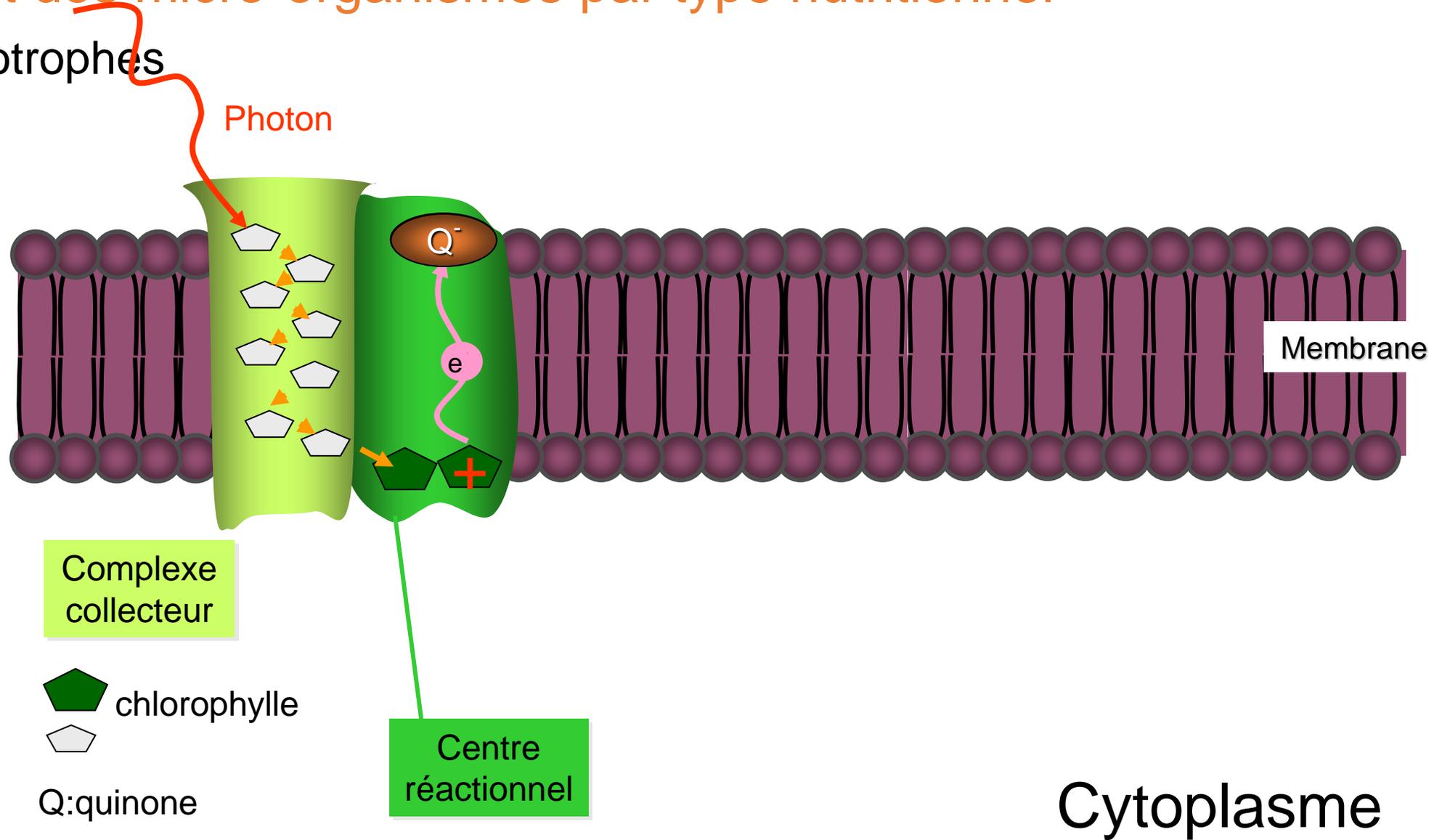
E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel

3. Les photoautotrophes

La photosynthèse

1

Photosystème II



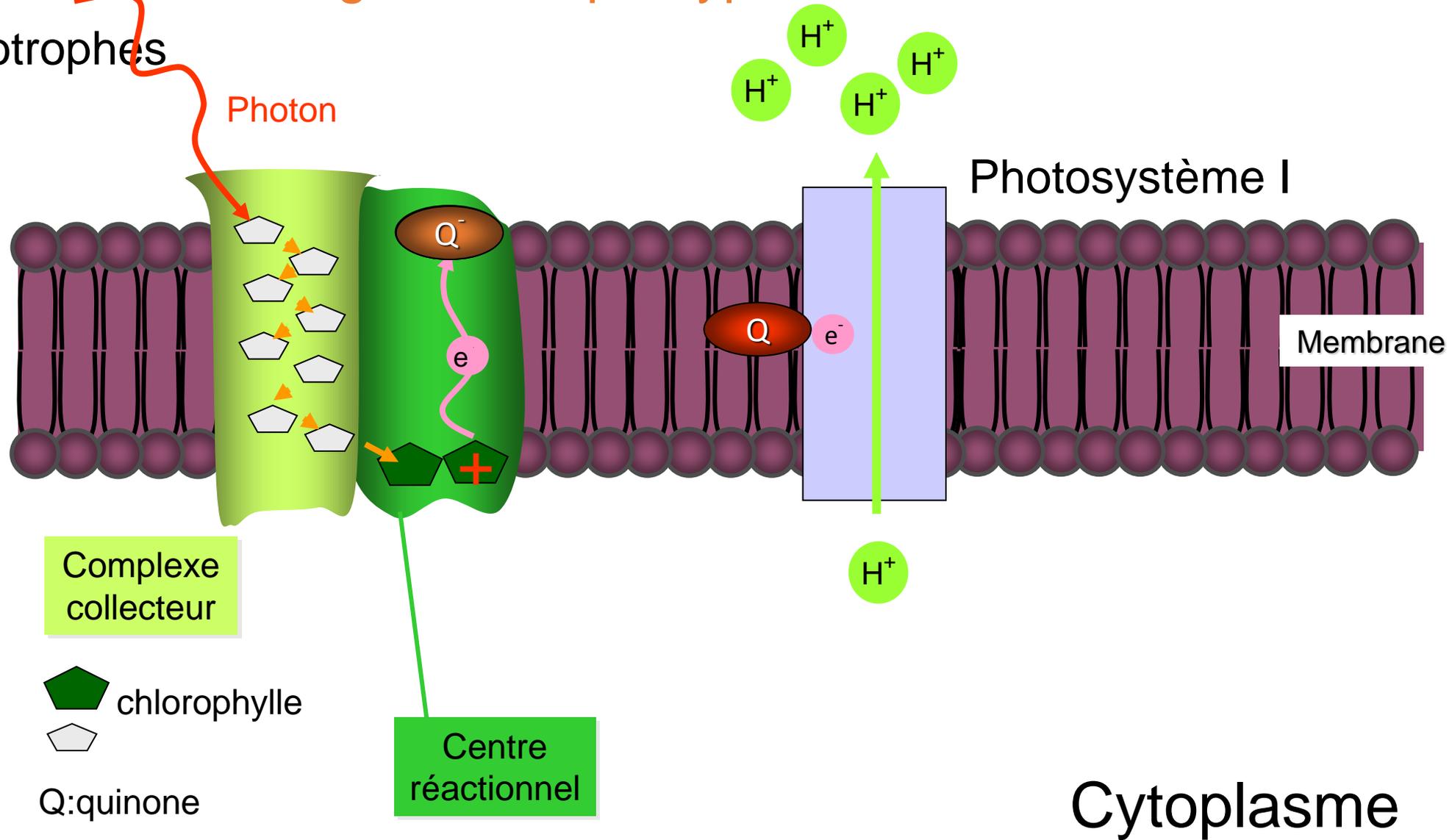
Diversité métabolique des micro-organismes

E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel

3. Les photoautotrophes

La photosynthèse

1



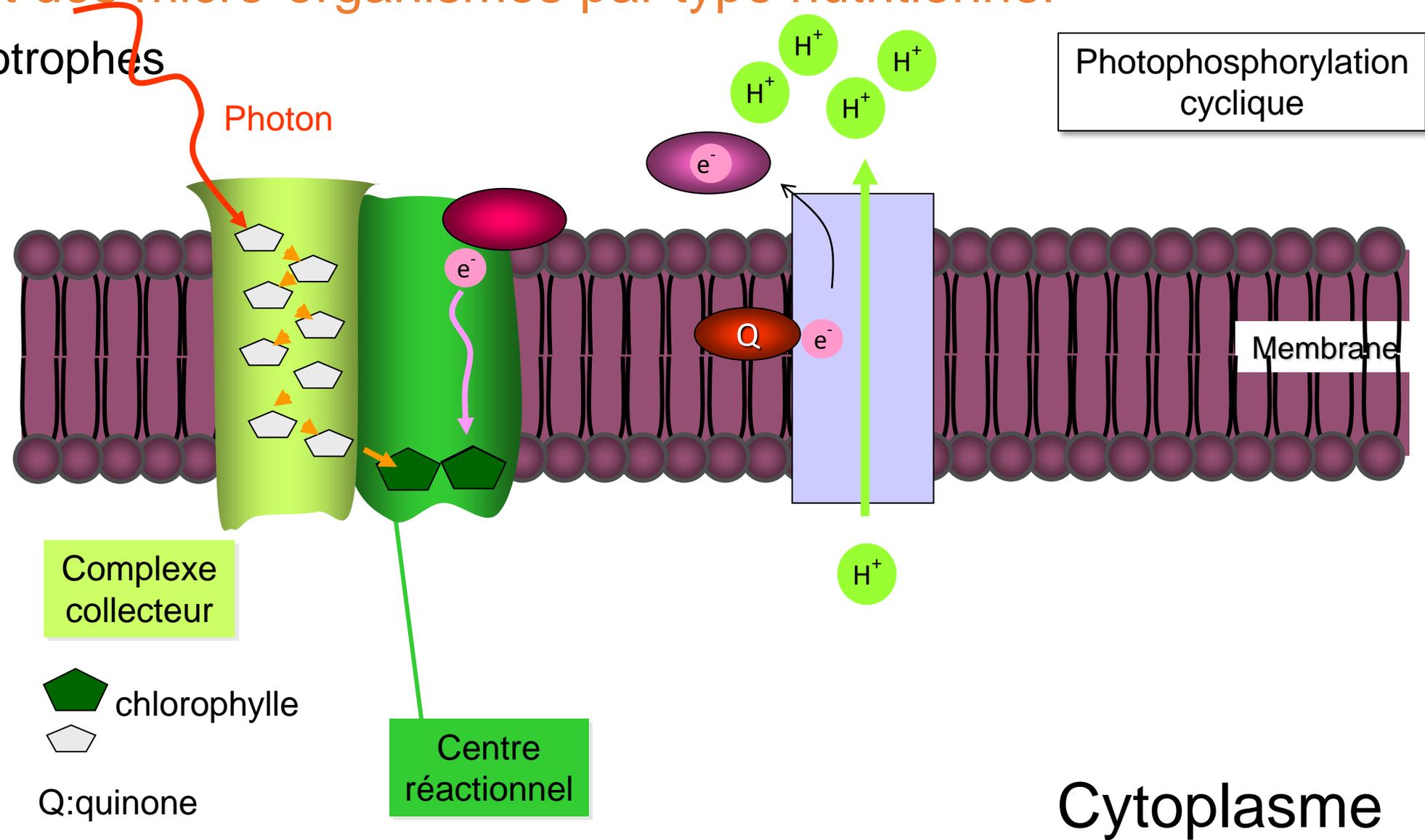
Diversité métabolique des micro-organismes

E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel

3. Les photoautotrophes

La photosynthèse

1



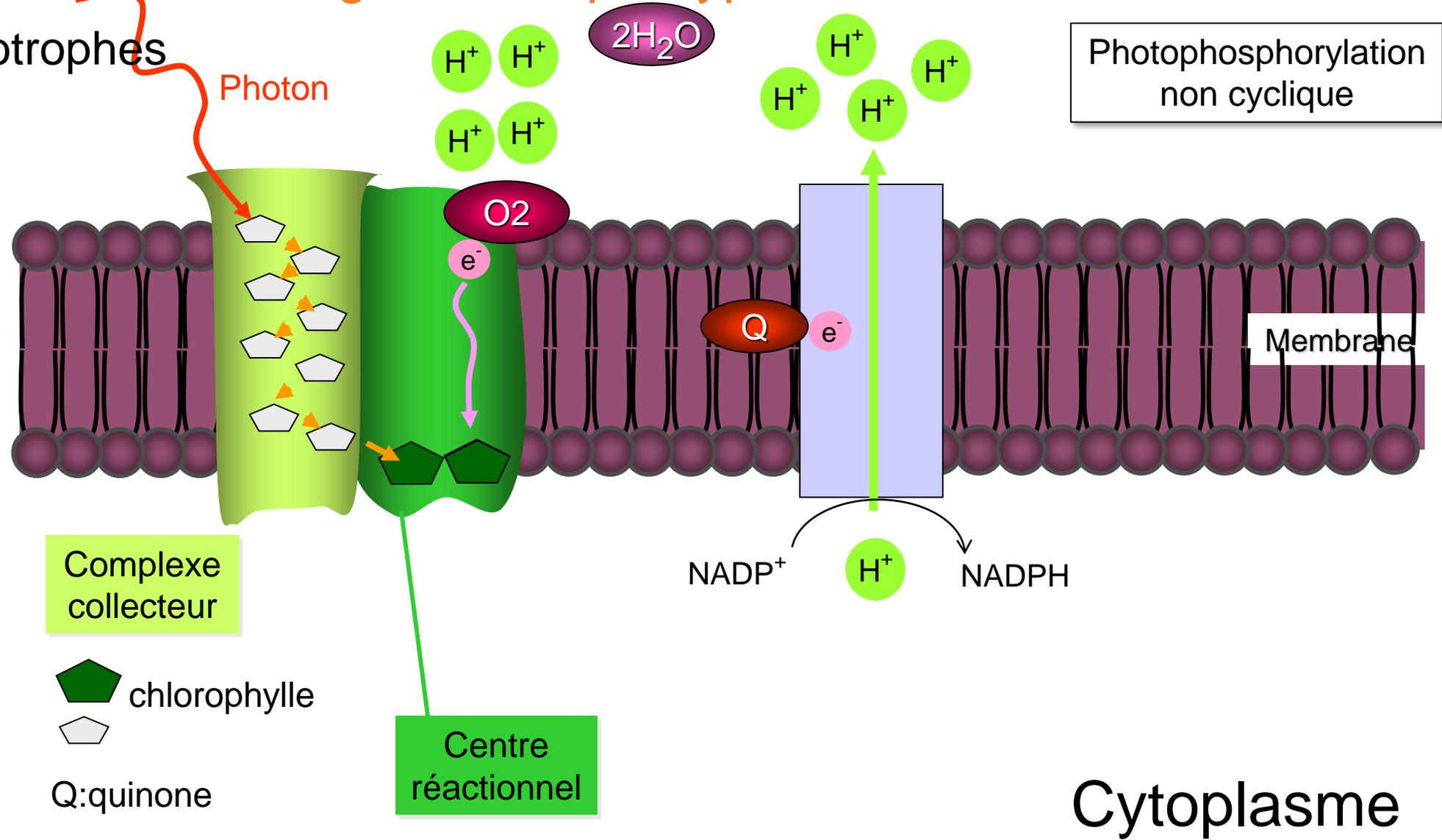
Diversité métabolique des micro-organismes

E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel

3. Les photoautotrophes

La photosynthèse

1



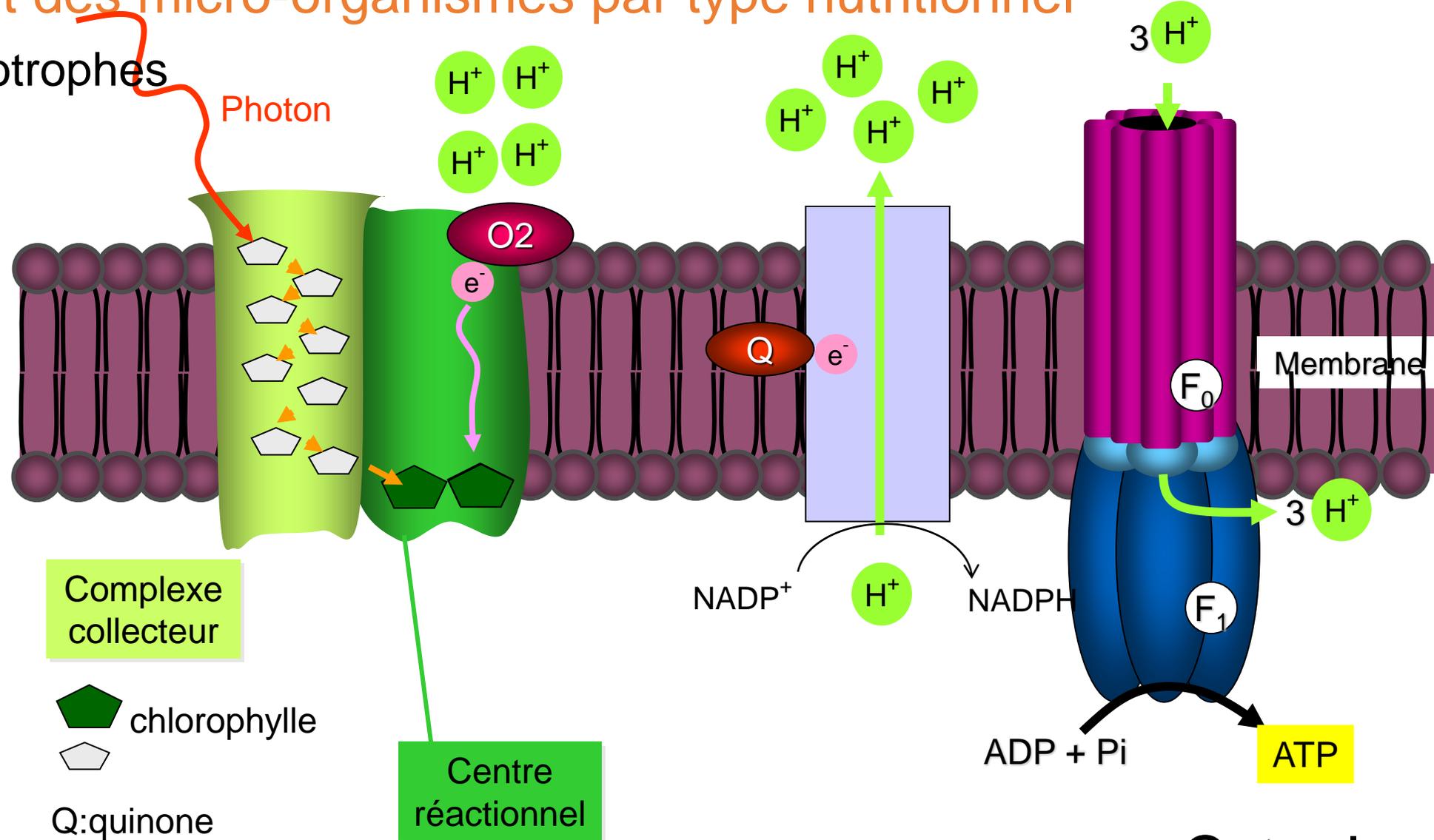
Diversité métabolique des micro-organismes

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 : H_2S , S , H_2

Photosynthèse
anoxygénique



Diversité métabolique des micro-organismes

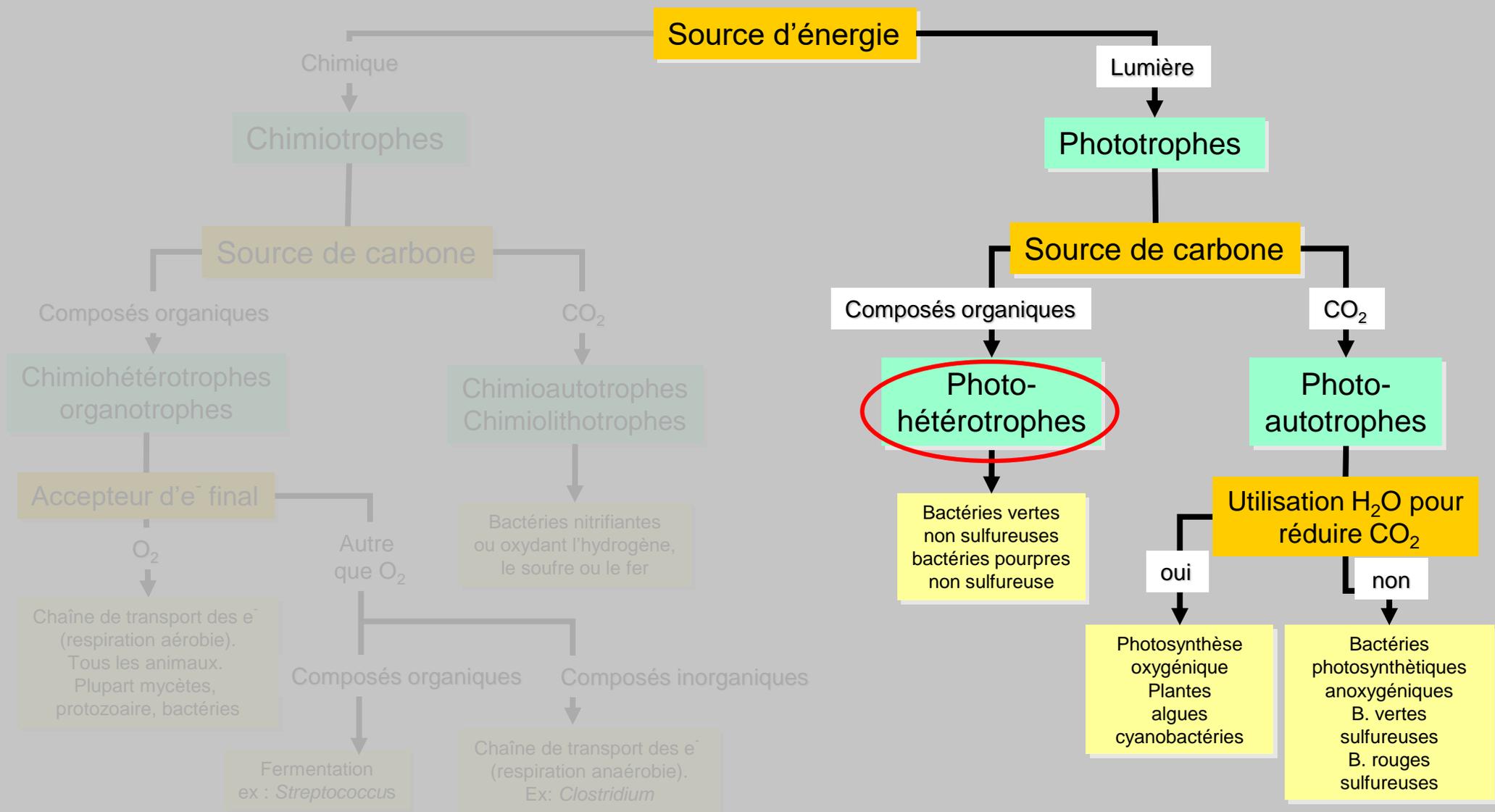
E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel

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 ₂ O	H ₂ O	H ₂ , H ₂ S, S Matière org.
Production O ₂	Oui	Oui	Non (S, SO ₄ ²⁻)
Source de carbone	CO ₂	CO ₂	CO ₂ 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

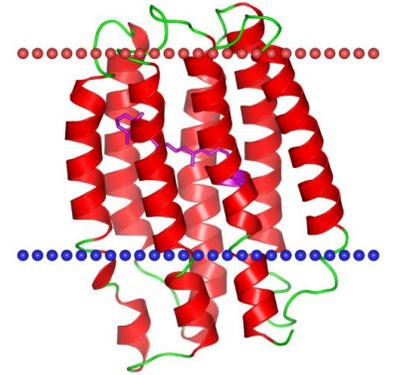
3. Les photohétérotrophes

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



Pigment : Protéorhodopsine/bactériorhodopsine

Accepteur d'e- : O₂

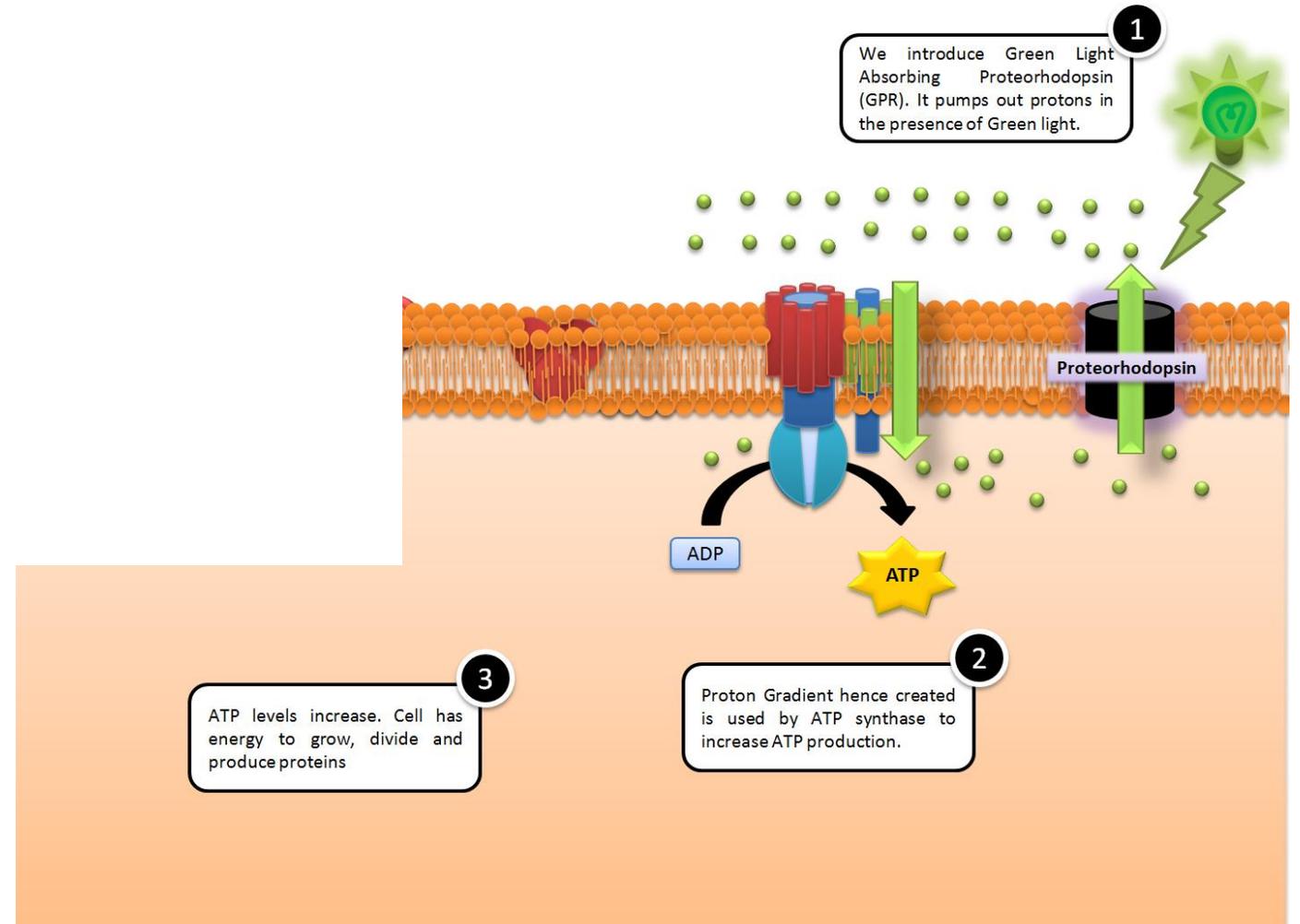


Diversité métabolique des micro-organismes

E. Classement des micro-organismes par type nutritionnel

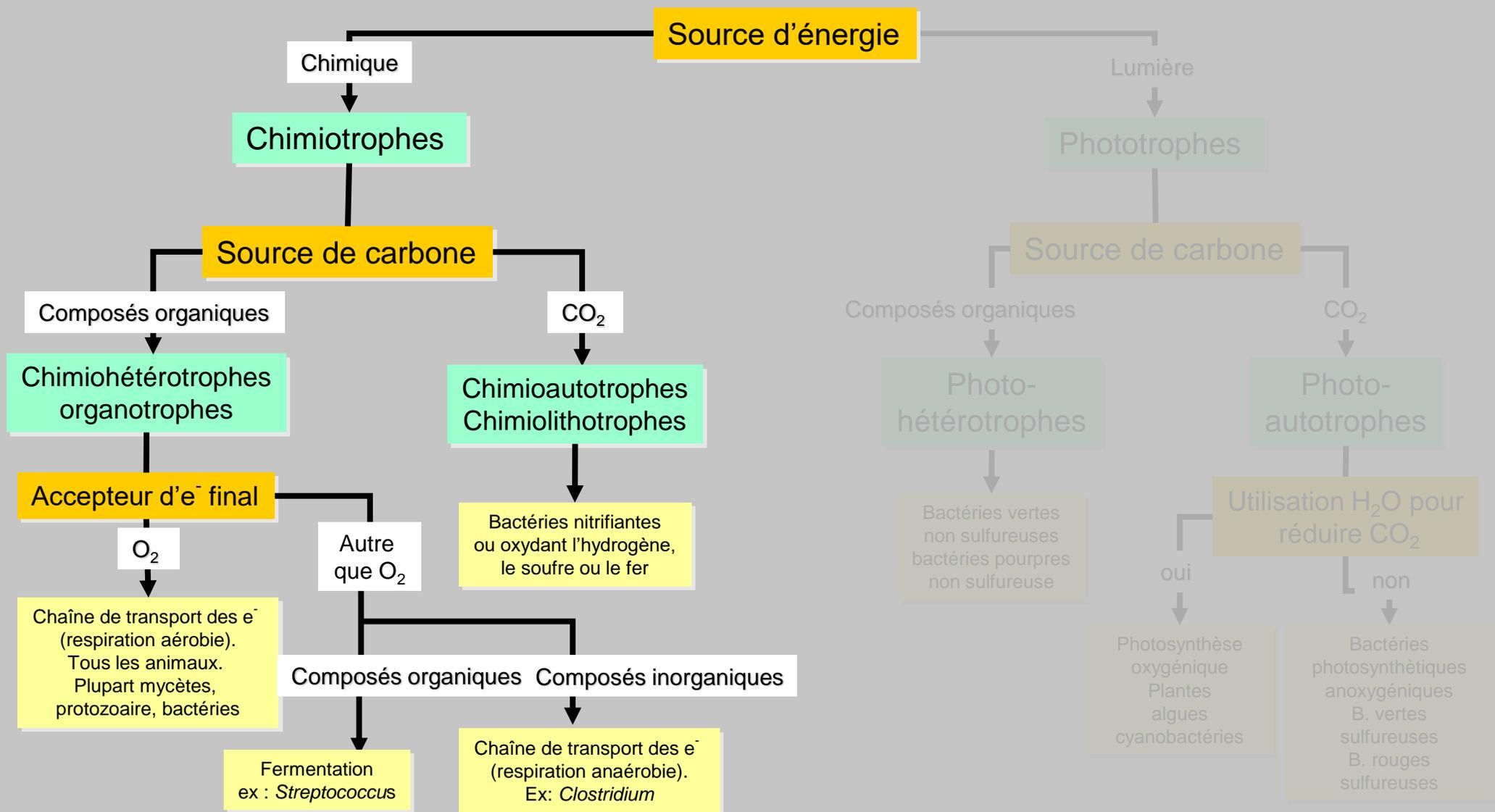
3. Les photohétérotrophes

- 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 ₂)

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

