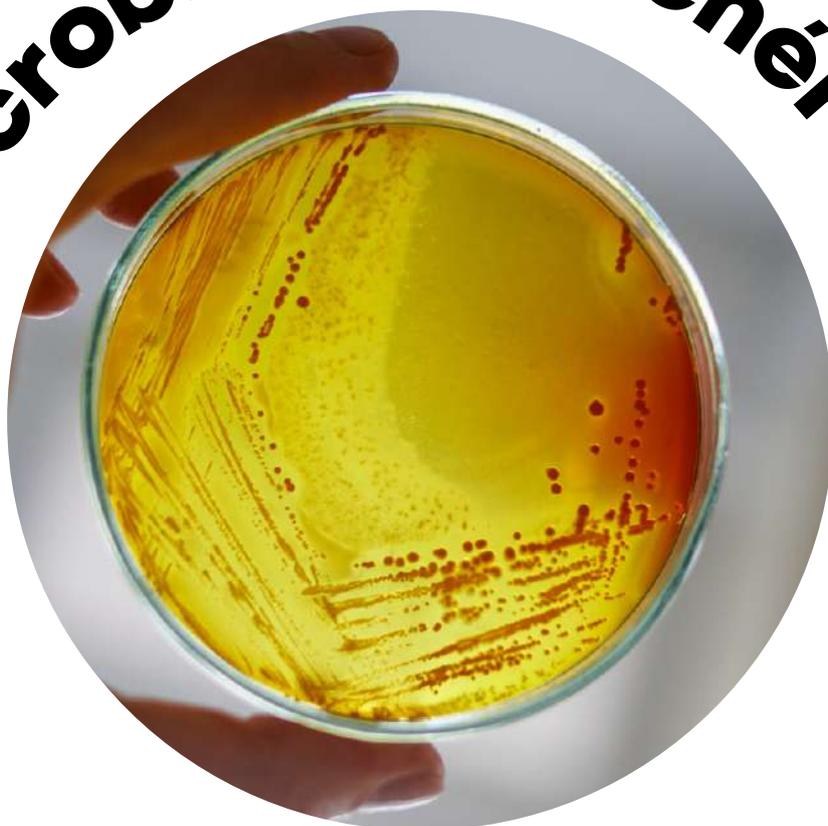


Microbiologie Générale



SCIENCES DE LA
VIE



Shop



- Cahiers de Biologie + Lexique
- Accessoires de Biologie



Etudier



Visiter [Biologie Maroc](http://www.biologie-maroc.com) pour étudier et passer des QUIZ et QCM en ligne et Télécharger TD, TP et Examens résolus.



Emploi



- CV • Lettres de motivation • Demandes...
- Offres d'emploi
- Offres de stage & PFE

METABOLISME ET NUTRITION BACTERIENS

I. Introduction

Pour assurer sa croissance ou sa survie, une bactérie doit trouver dans son environnement de quoi satisfaire ses besoins nutritifs: sources d'énergie, de carbone, d'azote, etc...

Ces éléments doivent être apportés dans un milieu où règnent des conditions physico-chimiques favorables (température, pH, pression osmotique, etc...).

Le métabolisme est l'ensemble des réactions biochimiques mises en jeu par un organisme pour permettre sa croissance (figure 1).

Les réactions métaboliques peuvent être classées en deux catégories:

- celles qui produisent de l'énergie: catabolisme.
- celles qui consomment de l'énergie: anabolisme ou biosynthèse.

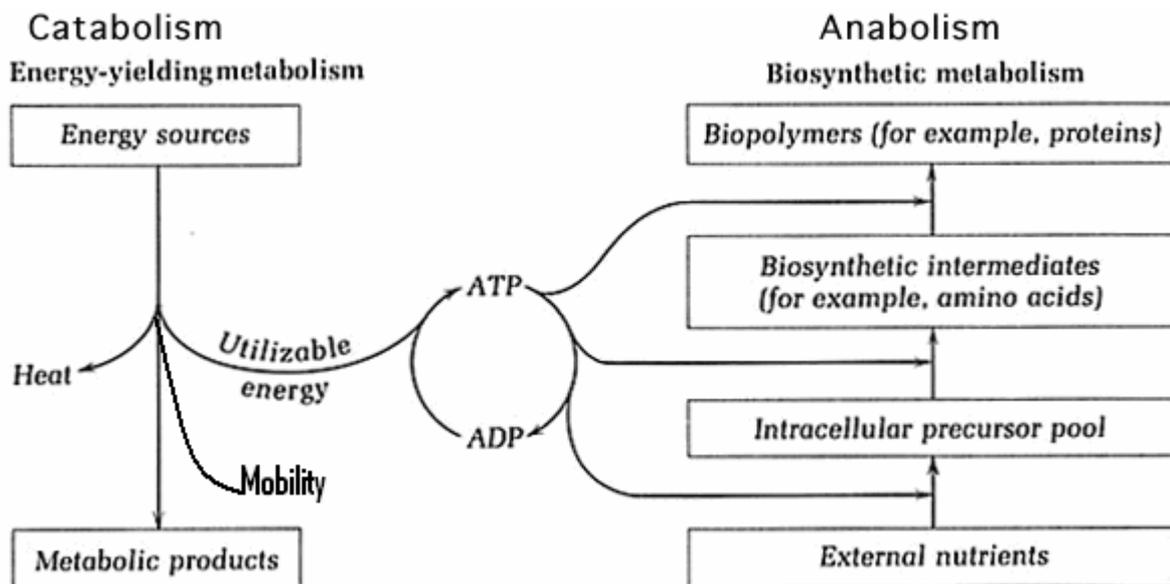


Figure 1 : Représentation schématique simplifiée montrant la relation entre le catabolisme et l'anabolisme

II. Métabolisme énergétique et types respiratoires

II.1. Métabolisme énergétique

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

- énergie lumineuse → **phototrophie**.

- énergie chimique → **chimiotrophie**.

Cette énergie est stockée dans des liaisons chimiques comme l'ATP (Adénosine triphosphate; figure 2).

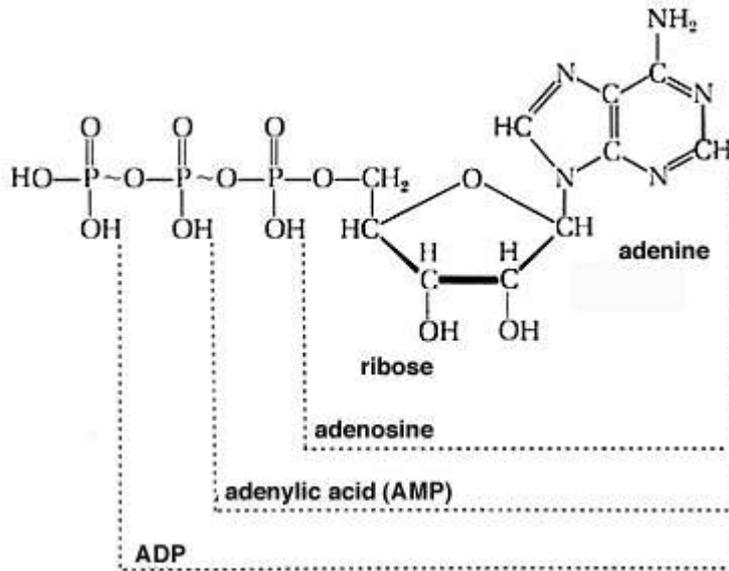


Figure 2 : Structure de l'ATP

Energie

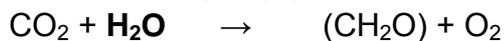


La bactérie, quand elle a besoin d'énergie, utilise l'ATP → ADP + Pi (PO₄³⁻) + Energie

II.1.1. Phototrophie (tableau 1)

* **Chez les plantes**, la photosynthèse peut se résumer ainsi :

Lumière



H₂O est le donneur d'électrons.

La photosynthèse a lieu au niveau des chloroplastes grâce aux pigments chlorophylliens.

* **Chez les bactéries photosynthétiques**, il n'existe pas de chloroplastes; la bactériochlorophylle est dispersée dans le cytoplasme sous forme de **chromatophores**.

On peut résumer leur photosynthèse comme suit:

Lumière



RH₂ est le donneur d'électrons.

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

- minéral → **photolithotrophie**

- organique → **photoorganotrophie**

Tableau 1 : Comparaison entre la photosynthèse chez les organismes eucaryotes et chez les bactéries*

	Eucaryotes	Bactéries
Organismes	plantes, algues	bactéries vertes et pourpres
Type de chlorophylle	chlorophylle a absorbe à 650-750nm	bactériochlorophylle absorbe à 800-1000nm
Photosystème I (photophosphorylation cyclique)	présente	présente
Photosystème II (photophosphorylation non cyclique)	présente	absente
Production de O₂	oui	non
donneur d'électrons	H ₂ O	H ₂ S, autres composés soufrés ou certains composés organiques

* les cyanobactéries possèdent la photosynthèse des plantes supérieures

Pendant la photosynthèse, deux types de réactions ont lieu (figure 3):

- l'énergie lumineuse est absorbée par les pigments chlorophylliens, puis transformée en énergie de liaison (ATP) grâce à un système de transfert des électrons (light reaction).

- réactions de biosynthèse (dark reaction) pendant lesquelles l'énergie stockée sous forme d'ATP est utilisée pour les biosynthèses bactériennes effectuées à partir du CO₂ (ou de composés organiques).

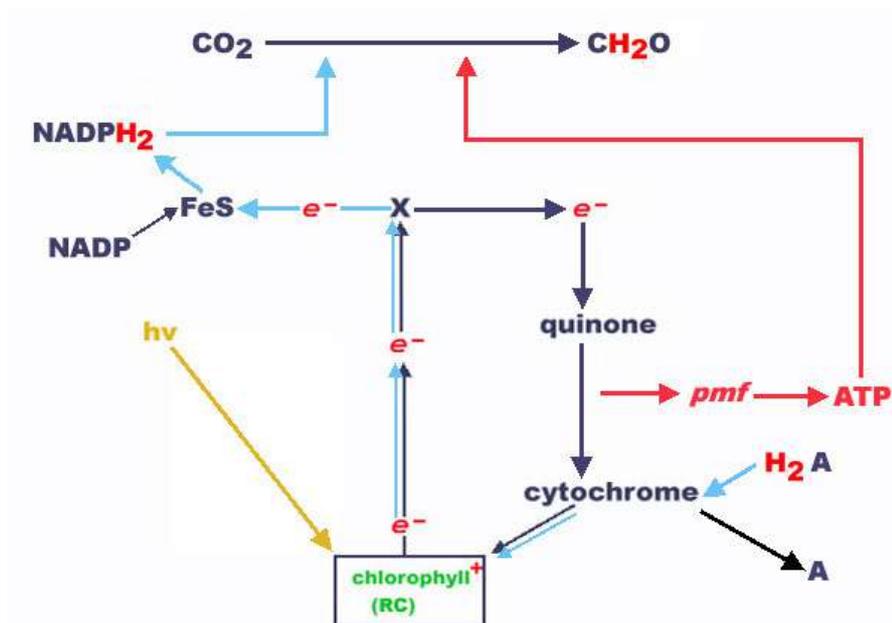


Figure 3 : Schéma montrant le couplage des réactions de photosynthèse
 pmf: proton motive force; H₂A: donneur externe d'électrons; X: ferredoxine

II.1.1.1. Photolithotrophes

Elles sont anaérobies strictes et utilisent les sulfures ou H₂ comme donneurs d'électrons. L'oxydation des sulfures produit des grains de soufre qu'on trouve dans le cytoplasme bactérien. On rencontre deux familles:

- *Chlorobacteriaceae* (bactéries vertes sulfureuses)
- *Thiorodaceae* (bactéries pourpres sulfureuses).

II.1.1.2. Photoorganotrophes

- *Athiorodaceae* (bactéries pourpres non sulfureuses).

Elles utilisent, comme leur nom l'indique, des substrats organiques comme donneurs d'électrons.

Dans la plupart des cas, la photosynthèse n'est pas obligatoire; à l'obscurité, les bactéries deviennent chémoorganotrophes.

II.1.2. Chimiotrophie

La majorité des bactéries rencontrées dans la nature sont dépourvues de pigments chlorophylliens et sont par conséquent incapables de faire la photosynthèse. Elles doivent donc se procurer de l'énergie à partir de réactions chimiques d'oxydoréduction.

L'ATP est produit lors de deux types de réactions de phosphorylation.

II.1.2.1. Phosphorylation au niveau du substrat (figure 4)

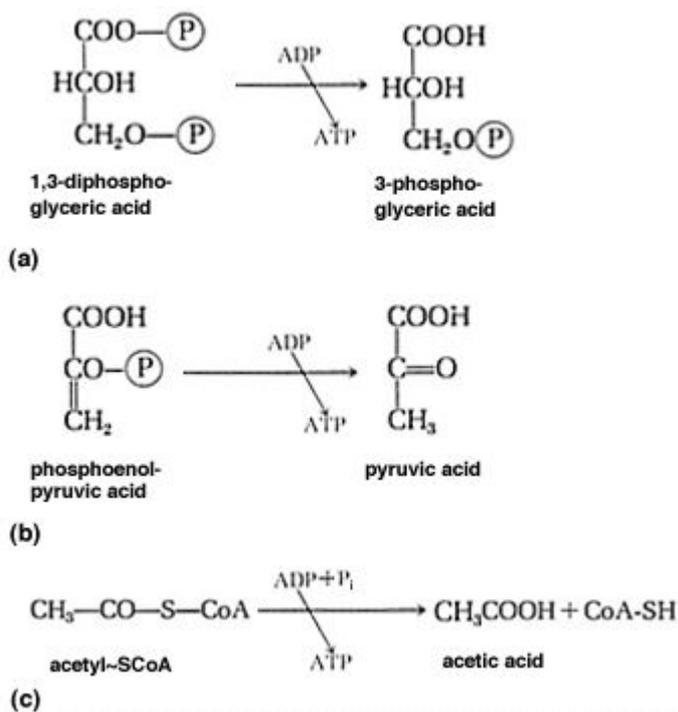
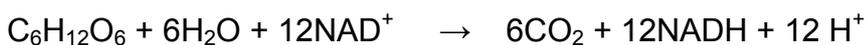


Figure 4 : Exemples de réactions de phosphorylation au niveau du substrat rencontrées chez les bactéries

II.1.2.2. Phosphorylation oxydative (chaîne de transfert des électrons)

La chaîne de transfert des électrons, encore appelée chaîne respiratoire, à laquelle sont associées les phosphorylations oxydatives, a une structure très complexe comparable à celles des cellules eucaryotes mais il existe des différences notables d'une bactérie à l'autre (voir exemples ci-dessous).

En admettant, **pour simplifier**, que le seul transporteur soluble d'électrons au cours du métabolisme respiratoire soit le NAD^+ , l'oxydation complète du glucose par la voie aérobie du cycle tricarboxylique correspond à la réaction globale suivante:



La chaîne respiratoire intervient pour réoxyder les coenzymes réduits:

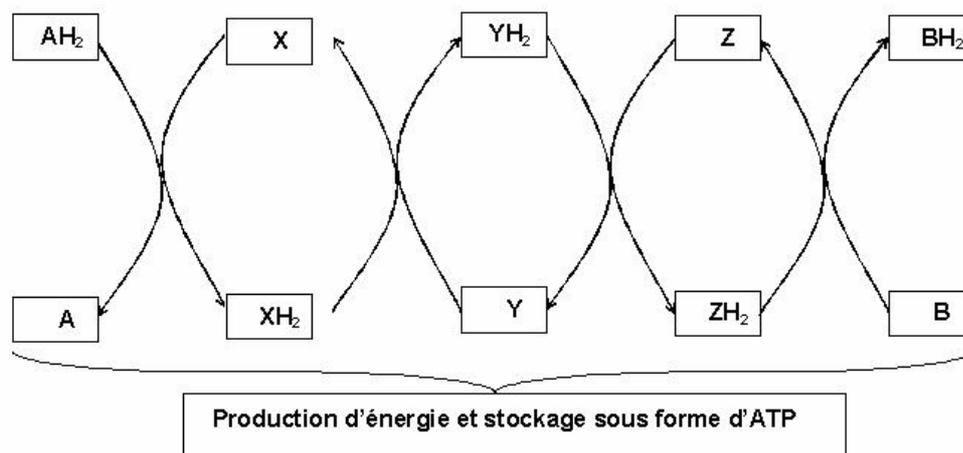


Figure 5 : Représentation schématique de la chaîne respiratoire chez les bactéries

AH₂ : Donneur d'électrons (substrat énergétique)

A : Donneur oxydé

B : Accepteur final d'électrons

Les transporteurs intermédiaires (X, Y et Z) peuvent être des co-enzymes (tableau1) tels que NAD, FAD, FMN ou des cytochromes.

En fonction de la nature du donneur, on définit deux types trophiques:

- donneur minéral → **chimiolithotrophie**
- donneur organique → **chimioorganotrophie**

II.2. Types respiratoires des chimiotrophes

II.2.1. Respiration

La respiration est l'ensemble des réactions biochimiques d'oxydation procurant à l'organisme l'énergie nécessaire à ses biosynthèses essentiellement grâce à des phosphorylations oxydatives membranaires (chaîne de transfert des électrons).

On distingue deux types de réactions en fonction de la nature chimique de l'accepteur final (figure 5, tableau 2):

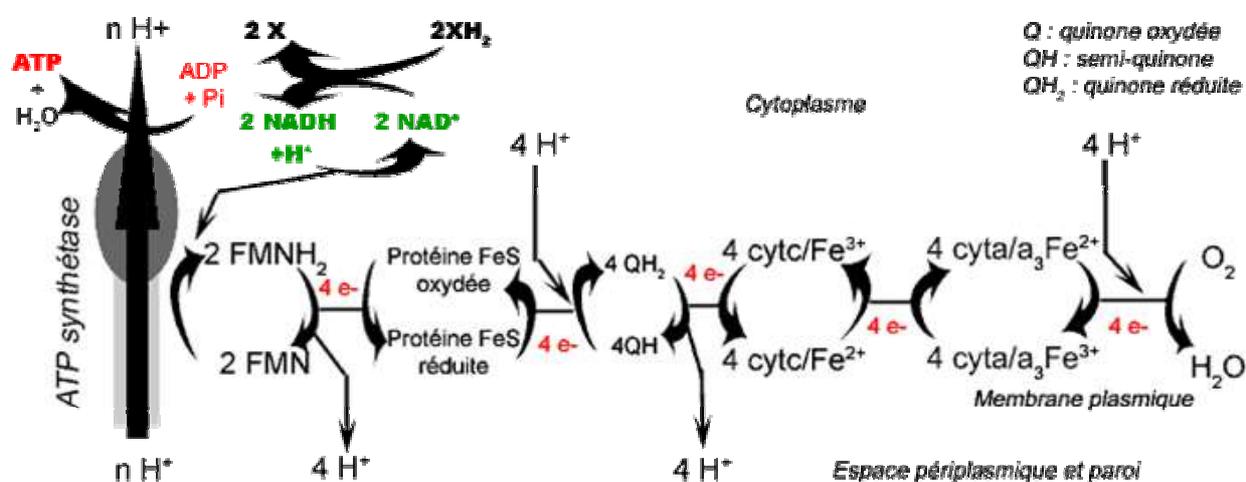
- accepteur = O_2 → **respiration aérobie**
- accepteur $\neq O_2$ → **respiration anaérobie**; l'accepteur peut être minéral (nitrates, sulfates, gaz carbonique) ou organique (ex: fumarate)

Tableau 2 : Différents accepteurs d'électrons utilisés lors de la respiration chez les bactéries

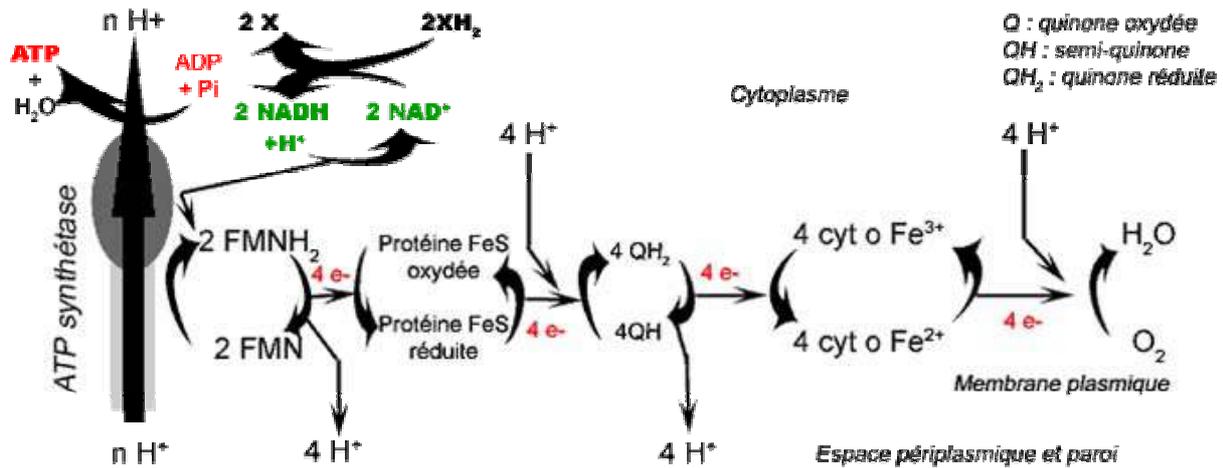
Accepteur d'électrons	Produit final réduit	Nom du processus	Exemples de microorganismes
O_2	H_2O	Respiration aérobie	<i>Escherichia coli</i> , <i>Streptomyces</i>
NO_3^-	NO_2^- , NH_3 or N_2	Respiration anaérobie (dénitification)	<i>Bacillus</i> , <i>Pseudomonas</i>
SO_4^{2-}	S or H_2S	Respiration anaérobie (réduction des sulfates)	<i>Desulfovibrio</i>
fumarate	Succinate	Respiration anaérobie utilisant un accepteur d' e^- organique	<i>Escherichia coli</i>
CO_2	CH_4	Méthanogenèse	<i>Methanococcus</i>

Exemples de chaînes respiratoires rencontrées chez les bactéries

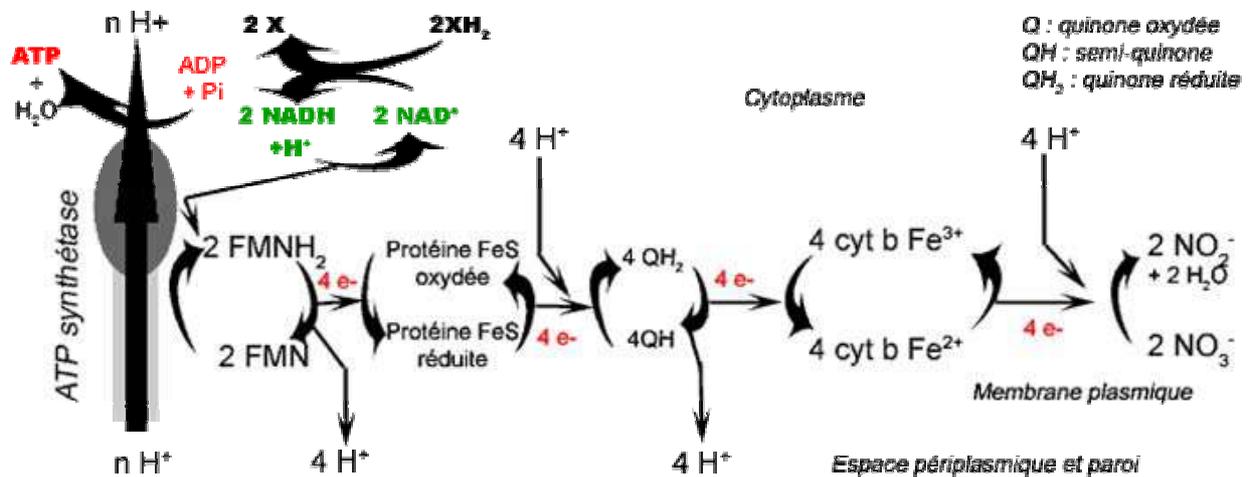
1) Respiration aérobie chez les bactéries oxydase⁺



2) Respiration aérobie chez les bactéries oxydase



3) Respiration anaérobie (nitrate comme accepteur final)



II.2.2. Fermentation

La fermentation est l'ensemble des réactions biochimiques d'oxydation qui fournissent à l'organisme de l'énergie grâce à des phosphorylations non couplées aux processus membranaires, mais ayant lieu uniquement dans le cytoplasme, au niveau du substrat.

La production d'énergie, par fermentation, est impossible chez les bactéries aérobies strictes. En aérobiose, seules les bactéries anaérobies facultatives aéro-tolérantes peuvent produire de l'énergie par fermentation; chez les bactéries anaérobies strictes et aéro-anaérobies facultatives les voies fermentatives sont réprimées en aérobiose (effet inhibiteur de l'oxygène).

La fermentation du glucose, par exemple, se fait en deux étapes:

- une première série de réactions aboutissant à l'oxydation du glucose en un composé intermédiaire (acide pyruvique);

- une seconde série conduit à un ou plusieurs produits finals (acide lactique, acétate, éthanol, etc...).

L'énergie produite par fermentation est nettement inférieure à celle procurée par respiration. Exemple: l'oxydation complète du glucose en CO₂ et H₂O, par respiration aérobie, produit 674 kcal; alors que sa fermentation en acide lactique ne produit que 22,5 kcal.

Ceci explique le faible rendement de croissance obtenu en anaérobiose, comparé à celui obtenu au cours des processus respiratoires.

III. Source de carbone

Certaines bactéries peuvent utiliser le gaz carbonique de l'air ou ses sels (carbonates) comme seule source de carbone; elles sont dites **autotrophes**. Elles sont donc capables de synthétiser la matière organique à partir de cette source minérale.

Parmi ces bactéries, on distingue:

- les autotrophes **strictes** qui exigent le CO₂ comme source de carbone unique
- les autotrophes **facultatives** qui peuvent utiliser le CO₂ et le carbone organique.

Pour la majorité des bactéries, la source de carbone est **organique**; elles sont dites **hétérotrophes**.

Parmi ces bactéries on distingue:

- celles qui sont capables de se développer en présence d'une seule source de carbone organique (glucose par exemple); elles sont appelées **prototrophes**. A partir de cette source, elles sont capables de synthétiser tout ce dont elles ont besoin comme substance organique.

- d'autres bactéries, notamment parmi les souches parasites, sont incapables de synthétiser certaines substances indispensables à leur croissance (**facteurs de croissance**) à partir de la seule source de carbone organique fournie; il faut donc les leur apporter dans le milieu; elles sont dites **auxotrophes**.

Les facteurs de croissance regroupent les **acides aminés**, les **vitamines** et les **bases azotées (purines et pyrimidines)**.

Tableau 3 : Exemples de vitamines utilisées par les bactéries

Vitamine	Forme du coenzyme	Fonction
Biotine	Biotine	Réactions de biosynthèse qui demandent la fixation du CO ₂
Acide nicotinique	NAD (nicotinamide adénine dinucléotide) et NADP	Transporteurs d'e ⁻ dans les réactions de déshydrogénation
Pyridoxine (B₆)	Pyridoxal phosphate	Transamination, désamination, décarboxylation des aminoacides
Riboflavine (B₂)	FMN (flavine mononucléotide) et FAD (flavine adénine dinucléotide)	Réactions d'oxydoréduction
Vitamine K	Quinones et naphthoquinones	Processus de transport d'électrons

Les AA sont essentielles pour la synthèse des protéines, les vitamines pour les coenzymes (Tableau 3) et les bases azotées pour les acides nucléiques.

Les bactéries prototrophes sont capables de croître dans un milieu **minimum** contenant une seule source de carbone (glucose en général), une source d'azote et des sels minéraux. Les bactéries auxotrophes en sont incapables; il faut leur apporter, dans ce milieu, le ou les facteur(s) de croissance dont elles ont besoin.

Récapitulatif des différents types trophiques

Classe du besoin	Nature du besoin	Type trophique
Source d'énergie	lumineuse	phototrophie
	chimique	chimiotrophie
Substrat énergétique	minéral	lithotrophie
	organique	organotrophie
Source de carbone	CO ₂ (minérale)	autotrophie
	organique	hétérotrophie
Facteurs de croissance	non indispensables	prototrophie
	indispensables	auxotrophie

On peut aussi définir des types trophiques en conjuguant la source d'énergie et la source de carbone: **chimioautotrophie** et **chimiohétérotrophie**; **photoautotrophie** et **photohétérotrophie**.

IV. Source d'azote

Pratiquement toutes les bactéries sont capables d'assimiler l'ammoniac (NH₃) ou les sels d'ammonium.

Quelques unes peuvent utiliser les nitrates (NO_3^-), les nitrites (NO_2^-) ou même l'azote organique (ex: acides aminés).

Toutes ces formes d'azote sont dites **combinées**.

D'autres bactéries peuvent fixer l'azote atmosphérique gazeux (N_2); elles n'ont pas besoin d'apport d'azote combiné; on distingue:

- des fixateurs libres (exemple : *Azotobacter*)
- des fixateurs symbiotiques (exemple: symbiose entre les bactéries du genre *Rhizobium* et les plantes de la familles des Légumineuses). La fixation de l'azote gazeux a lieu dans les nodules situés au niveau des racines de la plante; ceci se fait grâce à une substance élaborée conjointement par les deux parties, la **leghémoglobine**.

V. Besoins en ions minéraux

En plus des sources d'énergie, de carbone et d'azote, les bactéries ont besoin d'ions minéraux indispensables à leur croissance. Leurs sources et fonctions ainsi que celles des autres éléments majeurs (C, O, N et H) sont indiquées dans le tableau 4.

Tableau 4 : Eléments majeurs, leurs sources et leurs fonctions dans les cellules bactériennes

Elément	% poids sec	Source	Fonction
Carbone	50	Matière organique ou CO_2	Constituant majeur du matériel cellulaire
Oxygène	20	H_2O , Matière organique, CO_2 et O_2	Constituant du matériel et de l'eau cellulaires; O_2 est aussi accepteur d'électrons dans la respiration aérobie
Azote	14	NH_3 , NO_3^- , Matière organique, N_2	Constituant des acides aminés, nucléotides, et coenzymes
Hydrogène	8	H_2O , Matière organique, H_2	Constituant majeur de la matière organique et de l'eau cellulaire
Phosphore	3	phosphate inorganique (PO_4)	Constituant des acides nucléiques, ATP, phospholipides, LPS, acides téichoïques
Soufre	1	SO_4 , H_2S , S^0 , matière organique contenant S	Constituant de la cystéine, méthionine, glutathion, plusieurs coenzymes
Potassium	1	sels de Potassium	Cation cellulaire majeur et cofacteur pour certaines enzymes
Magnésium	0,5	sels de Magnésium	Cation cellulaire, cofacteur for certaines réactions enzymatiques
Calcium	0,5	sels de Calcium	Cation cellulaire et cofacteur pour certaines enzymes et composant des endospores
Fer	0,2	sels de Fer	Composant des cytochromes et certaines ferro-protéines et cofacteur pour quelques réactions enzymatiques

Les bactéries ont par ailleurs besoin d'autres ions mais en faibles quantités; ils sont appelés **oligoéléments**. Ils agissent en tant que **cofacteurs** pour les réactions enzymatiques essentielles dans les cellules. Ajoutés en grandes quantités, ils deviennent toxiques. Exemples: manganèse, fer, zinc, cuivre et cobalt.

VI. Facteurs physico-chimiques

Les éléments énergétiques et constitutifs nécessaires à la croissance bactérienne doivent être fournis dans certaines conditions physico-chimiques, de température, de pH, de pression osmotique, etc... Ces facteurs peuvent favoriser ou inhiber la croissance bactérienne.

VI.1. Température

Les bactéries sont rencontrées dans presque tous les environnements où il y a présence d'eau. Dr. Thomas D. Brock, en 1966, a découvert des microorganismes **thermophiles extrêmes** dans les eaux bouillantes du "Yellowstone National Park". Il ne s'agit pas seulement d'une survie mais d'une croissance et d'une multiplication.

Tableau 5 : Températures minimale, maximale et optimale de certaines bactéries et archéobactéries

Espèce bactérienne	Minimum	Optimum	Maximum
<i>Listeria monocytogenes</i>	1	30-37	45
<i>Vibrio marinus</i>	4	15	30
<i>Pseudomonas maltophilia</i>	4	35	41
<i>Thiobacillus novellus</i>	5	25-30	42
<i>Staphylococcus aureus</i>	10	30-37	45
<i>Escherichia coli</i>	10	37	45
<i>Clostridium kluyveri</i>	19	35	37
<i>Streptococcus pyogenes</i>	20	37	40
<i>Streptococcus pneumoniae</i>	25	37	42
<i>Bacillus flavothermus</i>	30	60	72
<i>Thermus aquaticus</i>	40	70-72	79
<i>Methanococcus jannaschii</i>	60	85	90
<i>Sulfolobus acidocaldarius</i>	70	75-85	90
<i>Pyrobacterium brockii</i>	80	102-105	115

Une bactérie est en général capable de croître dans un intervalle plus ou moins important (selon les espèces) de température. Il est limité par une valeur **minimale** en dessous de laquelle il n'y a plus de développement et une valeur **maximale** au dessus de laquelle la croissance s'arrête (tableau 5, figure 6). La croissance est meilleure dans un intervalle de température **optimum**.

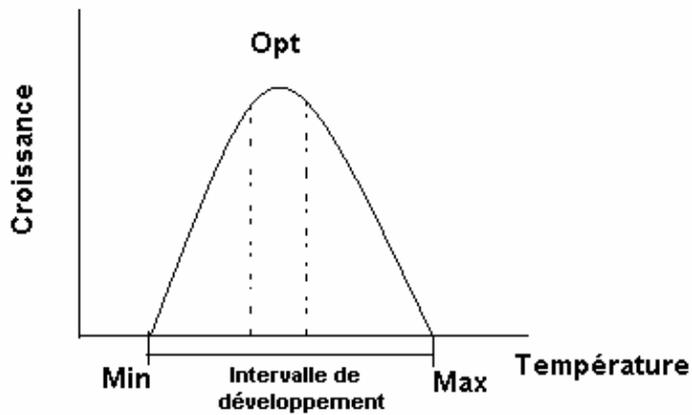


Figure 6 : Effet de la température d'incubation sur la croissance bactérienne

VI.1.1. Différents groupes

En fonction de la température optimale moyenne (TOM), on distingue plusieurs groupes de bactéries (figure 7, tableau 5):

- **Mésophiles** : TOM comprise entre 20 et 40°C; parmi eux, on trouve:

- **Saprophytes** : TOM = 30°C.

- **Pathogènes** : TOM = 37°C.

- **Psychrophiles** : TOM aux environs de 0°C.

- **Thermophiles** : TOM comprise entre 45 et 65°C. Certains microorganismes (archéobactéries) peuvent se développer dans des températures supérieures à 100°C.

A côté de ces groupes, on trouve aussi des bactéries :

- **Psychrotrophes** : se développent aux températures basses mais prolifèrent **mieux** à des températures plus élevées.

- **Thermotrophes** (thermotolérantes) : se développent à des températures élevées mais croissent **mieux** à des températures moyennes (30°C).

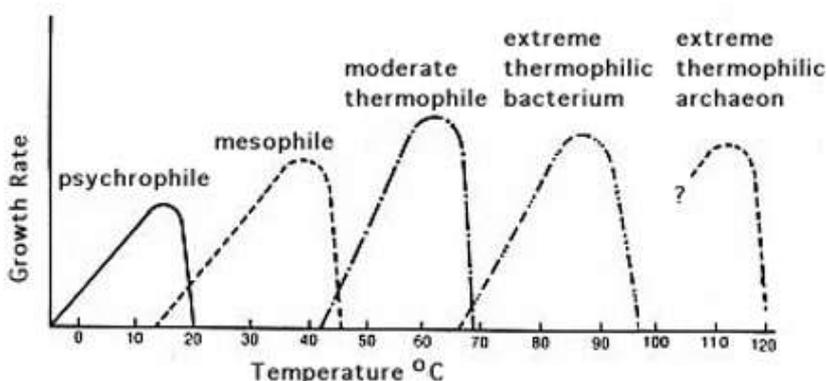


Figure 7 : Différents groupes bactériens

VI.1.2. Applications

Le facteur température peut être utilisé dans plusieurs objectifs; à savoir:

- Classification des bactéries;
- Culture des bactéries à des températures optimales de croissance;
- Conservation des aliments dans le réfrigérateur. La majorité des bactéries qui contaminent nos aliments ne se développent **pas ou peu** à des températures basses;
- Sélection ou enrichissement en jouant sur l'intervalle de développement des bactéries en mélange (figure 8).

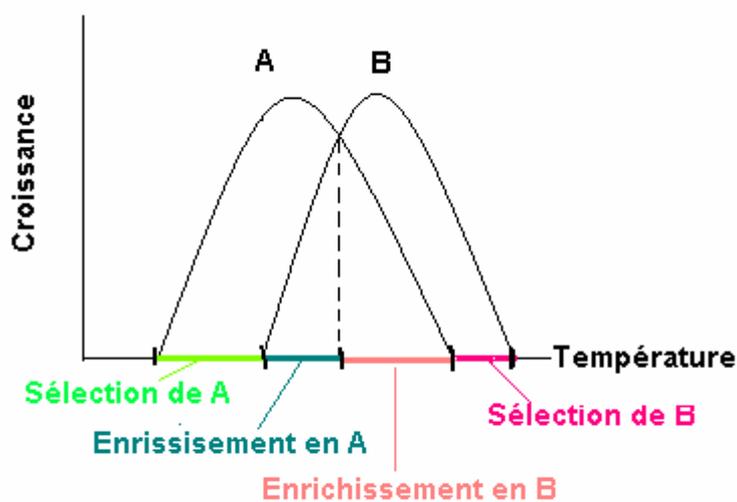


Figure 8 : Utilisation de la température d'incubation comme facteur d'enrichissement ou de sélection

VI.2. pH

Le potentiel Hydrogène (pH) traduit la concentration en H^+ dans un milieu. C'est un facteur très important qui influence beaucoup la croissance des bactéries.

Comme pour la température, une bactérie est capable de croître dans un intervalle plus ou moins important (selon les espèces) de pH. Il est limité par une valeur **minimale** en dessous de laquelle il n'y a plus de développement et une valeur **maximale** au dessus de laquelle la croissance s'arrête (figure 9, tableau 6). La croissance est meilleure quand le pH est **optimum**.

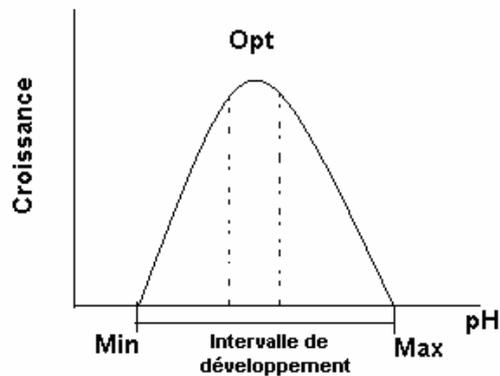


Figure 9 : Effet du pH sur la croissance bactérienne

VI.2.1. Différents groupes

En fonction du pH optimum, on distingue trois groupes bactériens:

- **Acidophiles** : pH optimum acide
- **Neutrophiles** : pH optimum proche de la neutralité
- **Basophiles** (alcalophiles): pH optimum basique.

Tableau 6 : pH minimal, maximal et optimal de certaines bactéries

<i>Espèce bactérienne</i>	<i>pH minimum</i>	<i>pH optimum</i>	<i>pH maximum</i>
<i>Thiobacillus thiooxidans</i>	0.5	2.0-2.8	4.0-6.0
<i>Sulfolobus acidocaldarius</i>	1.0	2.0-3.0	5.0
<i>Bacillus acidocaldarius</i>	2.0	4.0	6.0
<i>Zymomonas lindneri</i>	3.5	5.5-6.0	7.5
<i>Lactobacillus acidophilus</i>	4.0-4.6	5.8-6.6	6.8
<i>Staphylococcus aureus</i>	4.2	7.0-7.5	9.3
<i>Escherichia coli</i>	4.4	6.0-7.0	9.0
<i>Clostridium sporogenes</i>	5.0-5.8	6.0-7.6	8.5-9.0
<i>Erwinia caratovora</i>	5.6	7.1	9.3
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	5.6	6.6-7.0	8.0
<i>Thiobacillus novellus</i>	5.7	7.0	9.0
<i>Streptococcus pneumoniae</i>	6.5	7.8	8.3
<i>Nitrobacter sp.</i>	6.6	7.6-8.6	10.0

VI.2.2. Applications

Les mêmes applications citées plus haut pour la température sont valables pour le pH; à savoir la culture, la classification, la conservation et la sélection/enrichissement.

VI.3. Pression osmotique

La **pression osmotique** d'un milieu traduit la concentration totale des ions et molécules en solution dans ce milieu.

L'**activité de l'eau** (A_w : "Activity of water") est inversement proportionnelle à la pression osmotique d'un milieu. Ainsi, elle est affectée par la concentration plus ou moins importante de sels ou de sucres dissous dans l'eau. Les bactéries peuvent se développer dans des milieux ayant une A_w comprise entre 1 et 0,7. L' A_w de l'eau pure est de 1; celle du sang humain est de 0,99; l'eau de mer = 0,98; celle des sols est située entre 0,9 et 1,0.

Les bactéries **halophiles** nécessitent du sel (NaCl) pour leur croissance. La concentration peut varier de 1-6% pour les faiblement halophiles jusqu'à 15-30% pour les bactéries halophiles extrêmes (*Halobacterium*).

Les bactéries halotolérantes acceptent des concentrations modérées de sels mais non obligatoires pour leur croissance (Ex. : *Staphylococcus aureus*).

Les bactéries **osmophiles** nécessitent des sucres pour leur croissance. Les **osmotolérantes** acceptent des concentrations modérées mais non obligatoires pour leur croissance.

Applications :

Des applications citées plus haut pour les premiers facteurs sont aussi valables pour la pression osmotique; à savoir: la culture, la conservation (utilisation du sel pour la conservation des viandes et du poisson) et la sélection/enrichissement.

VI.4. Besoins en oxygène

Plusieurs groupes bactériens peuvent être distingués en fonction de leurs besoins en O_2 (Figure 10, tableau 7) :

- 1) Les bactéries **aérobies strictes** ne se développent qu'en présence d'oxygène. Leur source principale d'énergie est la respiration aérobie où l'oxygène moléculaire est accepteur final d'électrons.

- 2) Les **microaérophiles** peuvent croître lorsque la pression partielle d'oxygène est faible.

- 3) Les **aéro-anaérobies facultatives** peuvent se développer en présence d'oxygène, en utilisant la respiration aérobie et en anaérobiose, la fermentation ou la respiration anaérobie.

- 4) Les **anaérobies aérotolérantes** se développent en présence et en absence d'oxygène mais sans l'utiliser. Elles empruntent exclusivement des voies fermentaires pour leur métabolisme.

- 5) Les **anaérobies strictes** sont incapables de croître en présence d'oxygène; il leur est toxique. Pour leur métabolisme, elles utilisent la fermentation, la respiration anaérobie ou la photosynthèse.

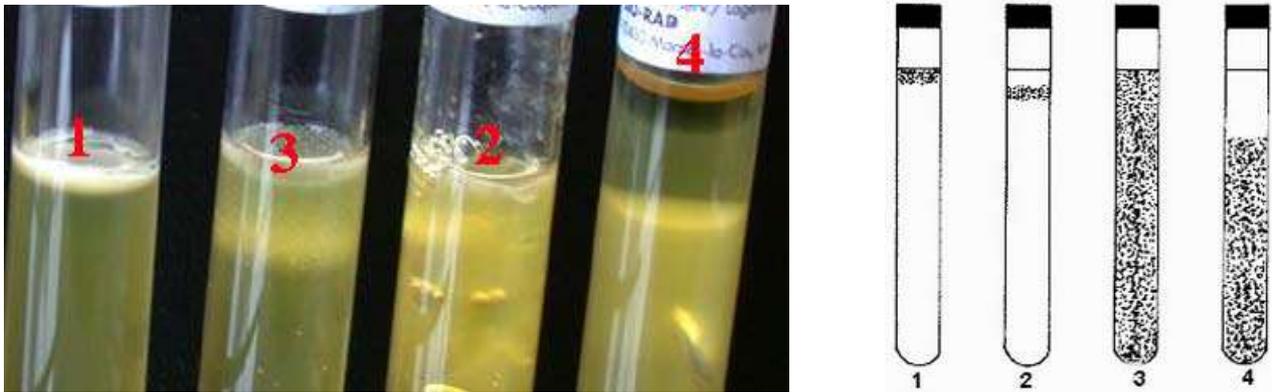


Figure 10 : Types respiratoires des bactéries

(1: aérobie strict; 2: microaérophile; 3: aéro-anaérobie; 4: anaérobie strict)

Tableau 7 : Besoins en O₂ des bactéries

<i>Environnement</i>			
Group	Aérobiose	Anaérobiose	Effet de l'O₂
Aérobie strict	Croissance	Pas de Croissance	Exigé (utilisé pour la respiration aérobie)
Microaérophile	Croissance si le niveau n'est pas élevé	Pas de Croissance	Exigé à des niveaux bas (en dessous de 0,2 atm)
Anaérobie strict	Pas de croissance	Croissance	Toxique
Aéro-anaérobie facultatif	Croissance	Croissance	Non exigé pour la croissance mais utilisé quand il est disponible
Anaérobie aérotolérant	Croissance	Croissance	Non exigé et non utilisé

Dans le cytoplasme cellulaire, on trouve des enzymes capables de transférer les électrons à l'oxygène moléculaire (O₂) pour produire des formes toxiques: le **peroxyde d'hydrogène (H₂O₂)** et l'ion **superoxyde (O₂⁻)**.

Les peroxydes ont une toxicité modérée comparés à l'ion superoxyde qui contient un nombre impair d'électrons et qui se comporte comme radical libre, très instable et capable d'engendrer des radicaux libres hydroxyles (**OH⁻**) encore plus réactifs et plus toxiques.

Les bactéries se débarrassent (**détoxification**) de l'ion superoxyde grâce à l'enzyme **superoxyde dismutase**, et des peroxydes d'hydrogène grâce à la **catalase** et à la **peroxydase** (figure 11).

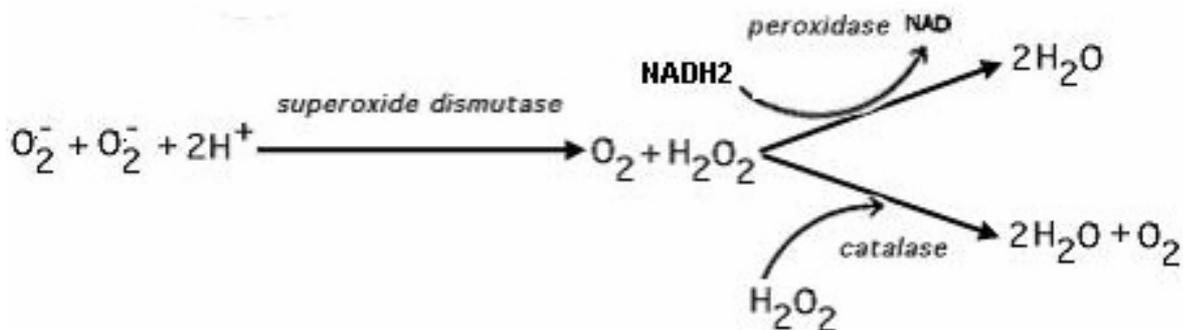


Figure 11 : Voies de détoxification

La distribution de ces enzymes est variable en fonction des groupes bactériens. La toxicité de l'oxygène pour les bactéries anaérobies strictes s'explique par l'absence des enzymes de détoxification chez ces dernières (tableau 8).

Tableau 8 : Distribution de la superoxyde dismutase, catalase et peroxydase chez des microorganismes avec différentes tolérances en O₂

Groupe bactérien	Superoxyde dismutase	Catalase	Peroxydase
Aérobies stricts et la plupart des anaérobies facultatifs	+	+	-
La plupart des anaérobies aérotolestants	+	-	+
Anaérobies stricts	-	-	-

VII. Culture des bactéries (voir travaux pratiques)

Au laboratoire, pour cultiver des bactéries, on utilise des milieux de culture appropriés préalablement stérilisés afin d'éliminer tous les autres contaminants potentiels. Ces milieux sont confectionnés de façon à apporter tous les éléments nutritifs essentiels à la croissance bactérienne.

VII.1. Milieux de culture

Les bactéries peuvent être cultivées en milieux liquides (figure 12), solides (figure 13) et semi-solides. Les milieux liquides sont généralement utilisés pour les cultures pures. Les milieux gélosés (solides ou semi-solides) sont généralement utilisés pour l'isolement.



Figure 12 : Aspect du milieu de culture liquide avant le développement bactérien (limpide) et après (trouble)

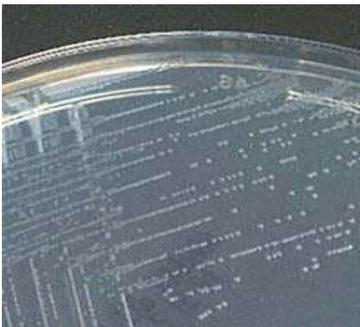


Figure 13 : Boîte de Pétri contenant un milieu gélosé, montrant un développement bactérien en colonies

Les milieux de culture peuvent également être classés selon la composition chimique ou selon leur utilisation.

VII.1.1. selon la composition chimique

- + Milieux synthétiques de composition bien définie.
- + Milieu semi-synthétiques, milieux synthétiques additionnés généralement d'un produit naturel.
- + Milieux empiriques ou naturels, constitués de produits d'origine naturelle [peptone (hydrolysate de protéine), extrait de viande, extrait de levure, etc...].

VII.1.2. selon l'utilisation

- + Milieux usuels (ex.: bouillon nutritif)
- + Milieux sélectifs, contenant le plus souvent un ou plusieurs inhibiteurs; ils permettent de ce fait la sélection d'une espèce ou un groupe bactérien à partir d'un mélange polymicrobien. La sélection peut aussi faire appel aux facteurs physico-chimiques (voir plus haut).
- + Milieux d'enrichissement, permettant le développement d'une espèce ou d'un groupe sans pour autant inhiber totalement celui des autres bactéries présentes.

+ Milieux d'identification, permettant de mettre en évidence des propriétés biochimiques des bactéries (ex: dégradation du lactose).

+ Milieux de conservation.

VII.2. Techniques de stérilisation

a) Chaleur

- **chaleur humide** : elle est appelée ainsi parce qu'il s'agit d'une stérilisation en atmosphère saturée en vapeur d'eau dans un **autoclave** (une grosse cocotte-minute permettant la régulation de la température et de la pression). Cette technique est utilisée surtout pour la stérilisation des milieux de culture. En général, 120°C pendant 15 à 20 minutes est la température utilisée.



Figure 14 : Autoclave

- **chaleur sèche** : fournie grâce au four Pasteur (enceinte thermostatée). Elle est surtout utilisée pour la stérilisation de la verrerie (180°C pendant 45 à 60 min).

- **Bec Bunsen** : pour la stérilisation des anses, des ouvertures des tubes, erlens, etc...

b) Filtration

Il s'agit de passer la solution à stériliser à travers une membrane de porosité faible (inférieure au diamètre bactérien (0,45 ou 0,22 micromètre par exemple); les particules sont retenues à la surface du filtre. Cette technique est utilisée particulièrement quand il s'agit de substances **thermolabiles**.

c) Radiations électromagnétiques

Les rayons UV, par exemple, sont utilisés pour la "stérilisation" (de l'air) des locaux (laboratoires, blocs opératoires, etc...). Les radiations γ sont utilisées pour la stérilisation

de certains aliments; vu leur très faible longueur d'onde, elles ont un pouvoir pénétrant très important d'où leur pouvoir bactéricide très important.

d) Gaz

Certains gaz bactéricides peuvent être utilisés pour la stérilisation des locaux (ex : ozone).

VII.3. Exemples de milieux de culture

a) Exemple de milieu minimum, de composition chimique définie, pour la croissance des bactéries prototrophes

Constituant	Quantité	Fonction
Glucose	10.0 g	Source de C et d'énergie
K_2HPO_4	2.5 g	Tampon pH; source de P et K
KH_2PO_4	2.5 g	Tampon pH; source de P et K
$(NH_4)_2HPO_4$	1.0 g	Tampon pH; source de N et P
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	0.20 g	Source de S et Mg^{++}
$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	0.01 g	Source de Fe^{++}
$MnSO_4 \cdot 7H_2O$	0.007 g	Source de Mn^{++}
Eau distillée q.s.p.	1000 ml	
pH 7.0		

b) Exemple de milieu synthétique de composition chimique définie pour la croissance des bactéries chimiolithotrophes (ex : *Thiobacillus thiooxidans*).

Constituant	Quantité	Fonction
NH_4Cl	0.52 g	Source de N
KH_2PO_4	0.28 g	Source de P et K
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	0.25 g	Source de S et Mg^{++}
$CaCl_2 \cdot 2H_2O$	0.07 g	Source de Ca^{++}
Sulfures	1.56 g	Source d'énergie
CO_2	5%*	Source de C
Eau distillée q.s.p.	1000 ml	
pH 3.0		

* Il faut aérer le milieu, de temps en temps, avec l'air contenant 5% de CO_2

c) Milieu usuel complexe pour la croissance de bactéries fastidieuses

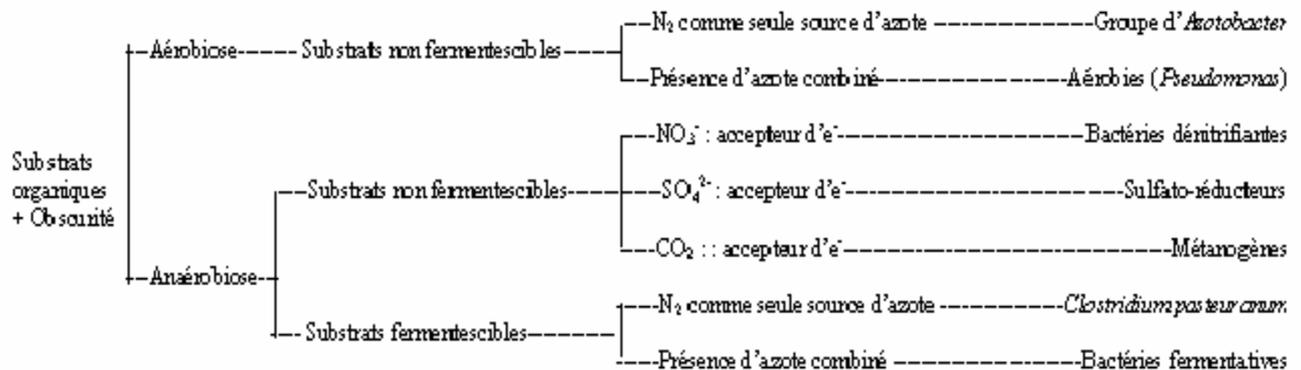
Composé	Quantité	Fonction
Extrait de viande	1.5 g	Source de sels minéraux, de vitamines et d'autres facteurs de croissance
Extrait de levure	3.0 g	Source de vitamines et d'autres facteurs de croissance
Peptone	6.0 g	Source d'AA, N, S, et P
Glucose	1.0 g	Source de C et d'énergie
Agar	15.0 g	Agent inerte solidifiant
Eau distillée q.s.p.	1000 ml	
pH 6.6		

d) Milieu sélectif et d'enrichissement pour la croissance des bactéries halophiles extrêmes

Composé	Quantité	Fonction du composé
Hydrolysate de protéine	7.5 g	Source d'AA, N, S et P
Extrait de levure	10.0 g	Source de facteurs de croissance
Citrate trisodium	3.0 g	Source de C et d'énergie
KCl	2.0 g	Source de K ⁺
MgSO₄, 7 H₂O	20.0 g	Source de S et Mg ⁺⁺
FeCl₂	0.023 g	Source de Fe ⁺⁺
NaCl	250 g	Source de Na ⁺ pour les halophiles et inhibiteur (concentration très élevée) pour les non halophiles
Eau distillée q.s.p.	1000 ml	
pH 7.4		

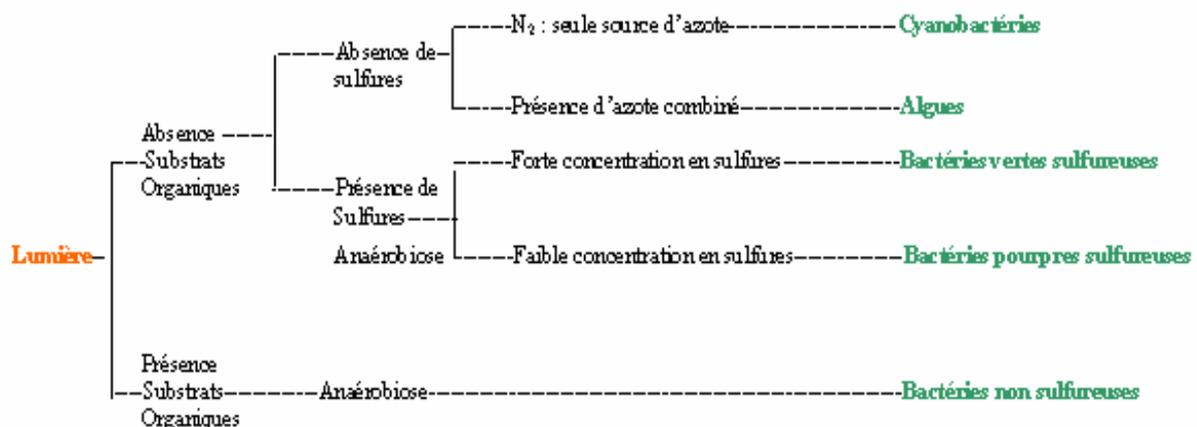
VII.4. Application à l'enrichissement

VII.4.1. Chimiohétérotrophes



Pour permettre un enrichissement d'un milieu en bactéries dénitrifiantes, il faut travailler à l'obscurité, en anaérobiose, en présence de substrats organiques non fermentescibles, et de nitrates.

VII.4.2. Microorganismes photosynthétiques



Bon courage



LIENS UTILES 🙌

Visiter :

1. <https://biologie-maroc.com>

- Télécharger des cours, TD, TP et examens résolus (PDF Gratuit)

2. <https://biologie-maroc.com/shop/>

- Acheter des cahiers personnalisés + Lexiques et notions.
- Trouver des cadeaux et accessoires pour biologistes et géologues.
- Trouver des bourses et des écoles privées

3. <https://biologie-maroc.com/emploi/>

- Télécharger des exemples des CV, lettres de motivation, demandes de ...
- Trouver des offres d'emploi et de stage

