

Les bactéries contiennent une large variété de molécules et de macromolécules. Les molécules simples sont absorbées de leur milieu ou synthétisées à partir de leurs précurseurs, les macromolécules sont synthétisées aux seins des cellules bactériennes. Les nutriments absorbés par les bactéries sont indispensables à la croissance, et assurent : la biosynthèse du matériel cellulaire, la production de l'énergie et la réalisation des activités vitales (le transport de substrats, la mobilité...).

11 éléments (C, O, H, N, S, P, K, Mg, Ca, Fe, Na) sont considérés comme éléments majeurs et sont utilisés par les bactéries en concentration élevée ($> 10^{-4}$). Si les conditions nutritives et les facteurs physico-chimiques du milieu sont favorables, les bactéries sont en état végétatif c-à-d assurent leur biosynthèse et leur croissance. Au contraire, si les conditions de croissance sont défavorables, les bactéries entrent dans un état de repos permettant d'assurer seulement le métabolisme cellulaire de base (minimum vital). Si ces conditions minimales ne sont plus assurées, les bactéries meurent.

1. Besoins élémentaires

1.1. Source de carbone et d'énergie : le carbone et l'énergie nécessaire au métabolisme bactérien proviennent de différentes sources : les glucides, les acides organiques, les acides aminés, les lipides, les bases azotées, les composés aromatiques...

1.1.1. Source de carbone : le carbone est le composant principal de la matière organique et du matériel cellulaire, dont il forme 50% du poids sec. Les bactéries prélèvent le carbone de deux sources selon leur type trophique (nutritionnel) :

***Les bactéries autotrophes :** utilisent le CO_2 moléculaire comme seule source de carbone, le CO_2 est réduit en composés organiques divers.

***Les bactéries hétérotrophes :** utilisent des composés organiques comme principale source de carbone pour la synthèse de leur matériel cellulaire spécifique. Parmi ces bactéries, on trouve :

***Bactéries prototrophes :** n'ont besoin que d'une source principale de carbone pour satisfaire leur besoins de croissance et sont donc capables de synthétiser les composés organiques nécessaires à leurs composants cellulaires.

***Bactéries auxotrophes :** exigent la présence de molécules complexes qu'elles ne peuvent synthétiser.

1.1.2. Source d'énergie : les bactéries ont besoin de l'énergie pour assurer les réactions de biosynthèse et autres fonctions cellulaires vitales. Cette énergie est produite par les bactéries à partir de deux sources différentes :

***1ère source : la lumière solaire :** certaines bactéries sont capables de convertir l'énergie lumineuse (solaire) en énergie chimique biologiquement utilisable (ATP) par le processus de la photosynthèse. Ces bactéries sont appelées : **bactéries phototrophes ou photosynthétiques**. Elles ont pour la plupart comme source de carbone le CO_2 et sont dites :

photolithotrophes ou photoautotrophes. Les autres bactéries phototrophes ont pour source de carbone des composés organiques : ce sont les bactéries **photoorganotrophes ou photohétérotrophes.**

***2eme source : L'oxydation de composés chimiques :** c'est le cas des bactéries chimiotrophes. Les composés chimiques peuvent être organiques ou inorganiques.

1-Composés organiques : glucides, acides organiques, acides aminés et protéines chez les bactéries dites **chimioorganotrophes ou chimiohétérotrophes.**

2-Composés inorganiques: tels que: NH_4^+ , NO_2^- , H_2 , H_2S , S , S_2O_3^- , CO , Fe^{2+} , Mn^{2+} . Certaines bactéries sont capables d'utiliser ces substrats inorganiques. C'est un processus exclusive des bactéries dites **chimolithotrophes ou chimioautotrophes**, et n'existe chez aucun autre organisme vivant. Souvent les sources de carbone servent aussi de substrats énergétiques, une partie intégrée au matériel cellulaire, le reste est oxydé pour fournir l'énergie nécessaire.

1.2. Source d'Azote et de Soufre :

1.2.1. Source d'azote : l'azote est un composé des protéines et des acides nucléiques. Après le carbone, il constitue le second élément chimique le plus important du matériel cellulaire (12% du poids sec cellulaire). Les principales formes de l'azote dans la nature sont inorganiques : ammoniacque (NH_3), nitrate (NO_3^-), azote moléculaire (N_2). Toutes les bactéries peuvent assimiler les sels d'ammonium (NH_4^+) et l'ammoniacque. Beaucoup de bactéries sont capables aussi d'utiliser les nitrates. A l'exception de tous les autres organismes vivants, seules qq bactéries sont capables de fixer l' N_2 atmosphérique. Ce sont les bactéries fixatrices d'azote qui vivent soit en symbiose avec des plantes (ex : *Rhizobium*), soit à l'état libre (ex : *Azotobacter*).

1.2.2. Source de soufre : de nombreuses bactéries sont capables de réduire les sulfates en sulfites, et certaines espèces requièrent les sulfures et le soufre élémentaire. Deux acides aminés soufrés (la méthionine et la cystéine) jouent un rôle dans les ponts disulfure. Le soufre intervient dans les structures complexes des protéines. Il est également utilisé dans la synthèse des vitamines (Biotine, coenzyme A). Le soufre cellulaire est d'origine inorganique (sulfate SO_4^- , soufre métallique : FeS , CuS , ZnS).

1.3. Autres éléments majeurs :

***Le phosphore (P) :** est un élément constitutif des acides nucléiques et des phospholipides des membranes plasmiques et externes, il joue un rôle important dans les échanges de l'énergie. Il est apporté sous forme de phosphate organique et inorganique.

***Le potassium (K) :** nécessaire à l'activité enzymatique et à la biosynthèse des protéines.

***Le magnésium (Mg) :** nécessaire à l'activité enzymatique, et participe à la stabilisation des ribosomes, des acides nucléiques et des membranes cellulaires.

*Le calcium (Ca) : joue un rôle dans la stabilité des parois bactériennes et dans la thermorésistance des endospores.

1.4. Les oligoéléments : Les oligoéléments ou micronutriments sont nécessaires à la nutrition bactérienne et sont requis en très faibles concentrations. Ils sont présents dans le milieu sous forme de sels, participent au maintien de la structure des protéines et entrent dans la composition des enzymes et des cofacteurs et participent à leur activité catalytique.

Mn et Zn sont requis par l'ensemble des bactéries, Cu, CO et MO : sont exigés par beaucoup de bactéries, Ni et Se : sont utilisés par qq bactéries.

2. Facteur de croissance : sont des composés organiques, indispensables à la nutrition et à la croissance de certaines bactéries parce qu'elles sont incapables de les synthétiser. Les bactéries qui exigent la présence de ces composés dans leur milieu sont dites : auxotrophes. Ces composés organiques sont : acides aminés, acides gras, vitamines et bases azotées. Les facteurs de croissance ont un rôle essentiel dans la multiplication bactérienne :

*Constituent des éléments de structure cellulaire ;

*Fournissent des vitamines intégrées à l'action catalytique des enzymes.

Les facteurs de croissance les plus exigés par la plupart des bactéries auxotrophes sont les vitamines (vitamine B₁₂, Biotine, Thiamine).

3. Types trophiques : les types trophiques (nutritionnels) chez les bactéries sont résumés dans ce tableau :

Type du besoin	Nature du besoin	Type trophique
Source d'énergie	Rayonnement lumineux	Phototrophe
	Oxydation de composés organiques ou inorganiques	Chimiotrophe
Donneur d'électrons	Minéral	Lithotrophe
	Organique	Organotrophe
Source de carbone	Composé minéral	Autotrophe
	Composé organique	Hétérotrophe
Facteurs de croissance	Non nécessaires	Prototrophe
	Nécessaires	Auxotrophe

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

4. Paramètres physicochimiques : la croissance bactérienne est largement influencée par des paramètres physico-chimiques de l'environnement tels que la température, le pH, la concentration en nutriments... Ces paramètres peuvent inhiber ou favoriser la nutrition des bactéries. Chaque bactérie possède des valeurs optimales pour chaque facteur et par conséquent, selon les valeurs optimales, on définit différentes catégories de bactéries.

4.1. Température : joue un rôle essentiel dans la croissance bactérienne (stimule les réactions enzymatiques). Selon la température optimale de développement, les bactéries sont réparties en 5 groupes physiologiques :

Les psychrotrophes : peuvent se cultiver à 0°C. Température optimale de multiplication entre 20 à 25 °C.

Les psychrophiles : température maximale 20°C. Température optimale de croissance inférieure à 15 °C.

Les mésophiles : croissance entre 25 et 40 °C. Optimum à 37°C. La majorité des bactéries pathogènes.

Les thermophiles : température optimale entre 50 et 60 °C.

Les hyperthermophiles ont une température optimale de croissance entre 70 °C et 110°C.

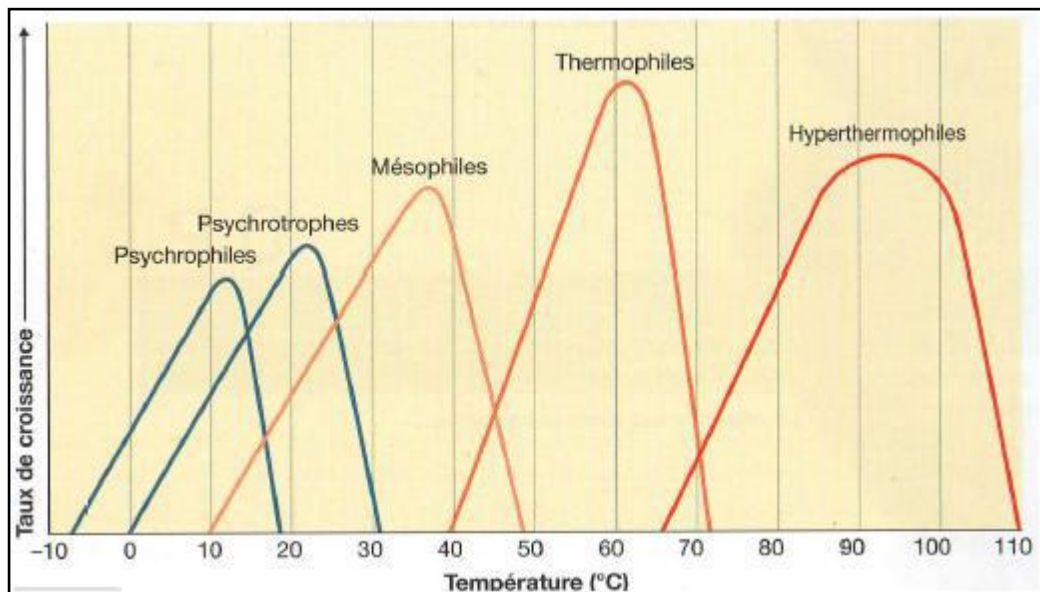


Figure1 : Taux de croissance en fonction de la température.

4.2. pH : le potentiel hydrogène (pH) traduit la concentration en protons (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. La croissance est meilleure quand le pH est optimum. En fonction du pH optimum, on distingue trois groupes bactériens:

Acidophiles : pH optimum acide. Croissent à des pH inférieur à 5.5. Ex : les bactéries lactiques.

Neutrophiles : pH optimum proche de la neutralité. La majorité des bactéries se multiplient préférentiellement à des pH voisins de la neutralité (6,5 à 7,5).

Basophiles (alcalophiles): pH optimum basique. Croissent à des pH supérieur à 8. Ex : *Bacillus*, *Flavobacterium*.

4.3. 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.

Par rapport à la concentration en sels dans le milieu, on distingue :

Les bactéries halophiles : nécessitent du sel (NaCl) pour leur croissance. NaCl supérieure à 0,2 M pour les moins halophiles (Ex : *Cobetia marina*), et supérieure à 5,2 M pour les plus halophiles (Ex : *Halobacterium salinarum*).

Les bactéries halotolérantes : acceptent des concentrations modérées de sels mais non obligatoires pour leur croissance (Ex : *Staphylococcus aureus*, *Listeria*, *Lactobacillus*). Ils tolèrent 7.5 à 15% de NaCl.

Par rapport à la concentration en sucres dans le milieu, on trouve :

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

Les bactéries xérophiles peuvent se multiplier en l'absence d'eau dans leur environnement.

4.4. Besoins en oxygène : plusieurs groupes bactériens peuvent être distingués en fonction de leurs besoins en oxygène :

Aérobies strictes : ne se développent qu'en présence d'oxygène. Leur source principale d'énergie est la respiration aérobie où l'oxygène moléculaire est l'accepteur final d'électrons.

Microaérophiles : peuvent croître lorsque la pression partielle d'oxygène est faible.

Aéro-anaérobies facultatives : peuvent se développer en présence d'oxygène en utilisant la respiration aérobie et en anaérobiose, la fermentation ou la respiration anaérobie.

Anaérobies aérotolérantes : se développent en présence et en absence d'oxygène mais sans l'utiliser. Elles empruntent exclusivement des voies fermentaires pour leur métabolisme.

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.

Dans le cytoplasme cellulaire, on trouve des enzymes capables de transférer les électrons à l'oxygène moléculaire (O_2) pour produire des formes toxiques: le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) et l'ion superoxyde (O_2^-). 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^\cdot) 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. 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.

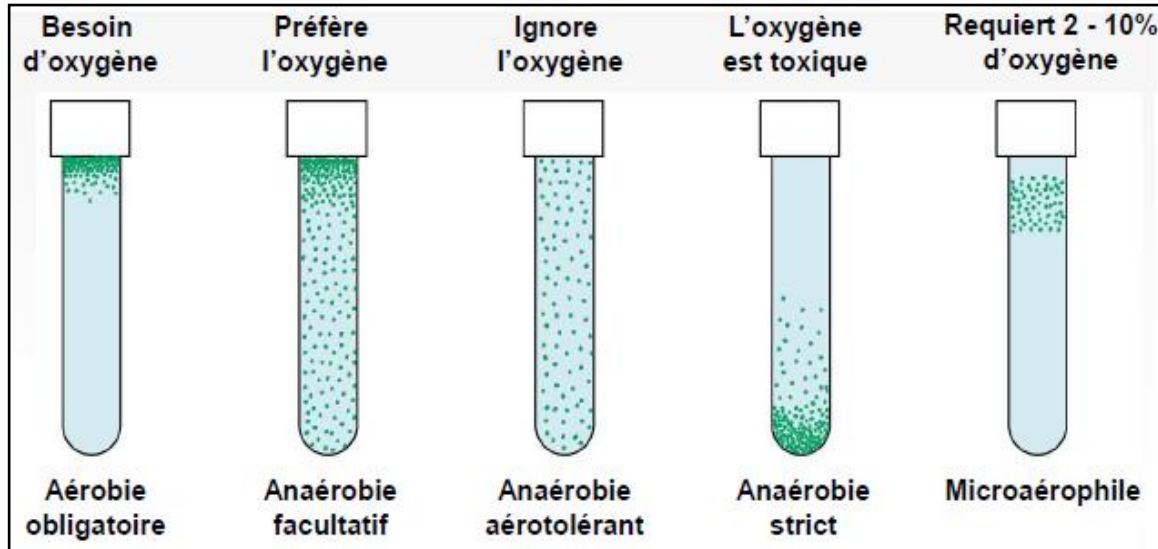


Figure 2 : Groupes bactériens en fonction de la consommation d'oxygène.