Une bactérie peut avoir un métabolisme intense qui se traduit par une augmentation de la taille, mais, surtout du nombre des cellules. Cet état est dit végétatif si les conditions nutritives et les facteurs physico-chimiques du milieu sont favorables. Dans certaines conditions (défavorables), la bactérie ralenti son métabolisme et ne se divise plus, 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 Dans les deux états, la bactérie a des besoins nutritifs (pour se diviser ou juste se maintenir en vie).

 Toutes les bactéries ont besoin d'eau, d'une source d'énergie, d'une source de carbone, d'une source d'azote et d'éléments minéraux. Ces besoins élémentaires sont suffisants pour permettre la nutrition des bactéries qualifiées de prototrophes. Certaines bactéries qualifiées d'auxotrophes nécessitent, en plus des besoins élémentaires, la présence de facteurs de croissance.

**4.1. Besoins élémentaires**

 **4.1.1. Eau**

 L'eau représente 80 à 90 p. cent du poids cellulaire. Elle joue un rôle fondamental en solubilisant les nutriments, en assurant leur transport et en assurant les réactions d'hydrolyse. Un paramètre appelé Aw (activity of water, activité de l'eau) quantifie la disponibilité de l'eau. Dans un nutriment, une partie de l'eau est plus ou moins liée aux composants (sels, protéines) et elle n'est pas disponible pour les micro-organismes qui ont besoin d'eau libre pour se développer. L'activité de l'eau se définit comme le rapport de la pression de vapeur saturante du milieu à la pression de vapeur saturante de l'eau pure à la même température.

 Ce rapport, inférieur ou égal à 1, peut être assimilé à l'humidité relative du milieu. Les bactéries exigent un certain seuil d'humidité et pour des Aw faibles, leur croissance est ralentie.

**4.1.2. Macronutriments**

 Les bactéries ont besoin de phosphore, de soufre, de magnésium, de calcium et de sodium

* **Le phosphore** : est important dans la synthèse des acides nucléiques et phospholipides des membranes plasmiques et externes. Sans oublier l’ATP (énergie). Il est apporté sous forme de phosphate organique et inorganique
* **Le soufre** : est retrouvé au niveau de deux acides aminés qui jouent un rôle dans les ponts disulfure (la méthionine et la cystéine). Il intervient dans les structures complexes des protéines. Il est également utilisé dans la synthèse des vitamines.
* **Le potassium** : joue un rôle comme cofacteur enzymatique, le magnésium aussi, qui, en plus a une fonction de stabilisateur de structures cellulaires.
* **Le calcium**: joue un rôle important dans la résistance à la chaleur des endospores (chez *Bacillus, Clostridium*). Il stabilise également la paroi des bactéries.
* **Le sodium** est important pour la croissance des bactéries halophiles.
* **Le Fer**, qui intervient dans la chaine respiratoire (bactéries aérobies), élément des cytochromes au niveau de la membrane plasmique.

**4.1.3. Les oligoéléments**

 Les oligoéléments ou micronutriments sont nécessaire à la nutrition bactérienne et sont requis en très faibles concentrations. Ils sont présent 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.

 Manganése (Mn) et Zinc (Zn ) sont requis par l’ensemble des bactéries, Cuivre (Cu),Cobalt (Co) et Molybdène (Mo) : sont exigés par beaucoup de bactéries, Nickel (Ni) et Selénium (Se) : sont utilisés par quelques bactéries.

 **4.2. Facteurs de croissance**

Dans un milieu contenant du glucose, une source d'azote et des sels minéraux une bactérie telle que Escherichia coli est capable de se multiplier alors que ce n'est pas le cas pour *Proteus vulgaris*. La croissance de *Proteus vulgaris* exige l'adjonction supplémentaire de nicotinamide. Le nicotinamide est indispensable pour la croissance de ces deux espèces, mais contrairement à *Proteus vulgaris*, *Escherichia coli* est capable d'en assurer la synthèse. La nicotinamide est un métabolite essentiel pour ces deux espèces, mais elle n'est un facteur de croissance que pour *Proteus vulgaris. Proteus vulgaris* est **auxotrophe** pour la nicotinamide , qui représente un facteur de croissance pour cette espèce bactérienne. *E. coli* est dite **prototrophe**, car elle n’exige pas de facteur de croissance.

 Les facteurs 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. Ces composés organiques sont répartis en trois classes :

- **Les acides aminés**, nécessaires à la synthèse des protéines ;

- **Les bases azotées** (purines et pyrimidines), nécessaires à la synthèse des acides nucléiques ;

- **Les vitamines, coenzymes (ou leurs précurseurs)** indispensables pour de nombreuses réactions.

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).

**4.3. Types trophiques**

 Les **besoins élémentaires** peuvent être utilisés pour la classification des bactéries dans certaines catégories nutritionnelles appelées **types trophiques**.

 Les différents types trophiques sont basés sur le type de nutriments, de leurs sources primaires de carbone, d’énergie et d’électrons. Selon :

* **Les nutriments**, on distingue les bactéries **prototrophes** qui peuvent synthétiser leurs propres nutriments, et les bactéries **auxotrophes** qui nécessitent un apport extérieurs d'un élément particulier (facteur de croissance).
* **La source de carbone**, on distingue les bactéries **autotrophes** qui utilisent le CO2 comme source de carbone, et les bactéries **hétérotrophes** qui nécessitent une matière organique comme le glucose.
* **La source d’énergie**, on distingue les bactéries **phototrophes** qui utilisent la lumière comme source d'énergie, et les bactéries **chimiotrophes** qui extraient leur énergie à partir d'un élément chimique (minéral ou organique).
* **La source du pouvoir réducteur**, on distingue les bactéries **lithotrophes** qui utilisent les composés inorganiques pour réduire les oxydants et les bactéries **organotrophes** qui utilisent plutôt des composés organiques.

Le tableau 01 résume les différents types trophiques

**Tableau 01 :** Récapitulatif des différents types trophiques

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Classe du besoin** |  **Nature du besoin** |  **Type trophique** |
| Source d’énergie | * Lumineuse
* Chimique
 |  PhototropheChimiotrophe |
| Donneur d’électron(Substrat énergétique) | * Minéral
* Organique
 | LithotropheOrganotrophe |
|  Source de carbone | * CO2 (minérale)
* Organique
 | AutotropheHétérotrophe |
| Facteurs de croissance | * Non indispensable
* Indispensable
 | Prototrophe Auxotrophe  |

**4.4. Paramètres physico-chimiques**

La nutrition chez les micro-organismes dépend de plusieurs paramètres physicochimiques. Ces derniers influent directement la physiologie et donc la croissance des microorganismes. .Chaque bactérie possède des valeurs optimales pour chaque paramètre et par conséquent, selon les valeurs optimales, on défini différentes catégories de bactéries. Parmi ces paramètres, on cite la température, la quantité d'oxygène (O2), l'activité de l'eau et la pression.

 **4.4.1. La Température**

 Elle influence profondément la multiplication et le métabolisme bactérien (action sur la vitesse des réactions biochimiques). Selon la température optimale de développement, on distingue les catégories des bactéries (Figure 01) :

* **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.

Les bactéries constituant les flores bactériennes des mammifères ainsi que les bactéries pathogènes pour les mammifères et les oiseaux sont des bactéries mésophiles. Les bactéries psychrotrophes et psychrophiles jouent un rôle important car elles peuvent contaminer et altérer des produits biologiques (sang et dérivés du sang) ainsi que des aliments conservés à basse température**.**



 **Figure 01:** Taux de croissance des bactéries en fonction de la température

 **4.4.2. Le pH**

De même que pour la température, plusieurs catégories microbiennes sont distinguées par rapport aux différents pH de croissance : basophile, neutrophile, acidophile (Figure 28)

* 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.*

**

**Figure 02** : Taux de croissance des bactéries en fonction du pH du milieu

 Au cours des cultures, le métabolisme bactérien engendre des composés acides ou basiques qui seraient susceptibles d'entraver la multiplication bactérienne. Pour éviter ces variations de pH, les milieux de culture sont tamponnés, le plus souvent en utilisant des tampons phosphates.

 **4.4.3. L’oxygène**

 C'est vis-à-vis de l'oxygène que les exigences gazeuses des bactéries sont précises.

* Lors de leur métabolisme énergétique certaines bactéries utilisent l'oxygène moléculaire comme accepteur final d'électrons. Ces bactéries ont obligatoirement besoin d'oxygène libre et elles sont qualifiées d**'aérobies**.
* Au contraire, les bactéries **anaérobies** ne peuvent se multiplier et survivre qu'en l'absence d'oxygène. Ce sont des bactéries qui ne possèdent ni catalase ni peroxydase ni superoxyde dismutase et qui sont donc incapables de détoxifier les composés formés lors de réactions d'oxydation (comme l'eau oxygénée ou l'ion superoxyde).
* Les bactéries **aéro-anaérobies** peuvent croître aussi bien en présence qu'en absence d'oxygène.
* Les bactéries **anaérobies-aérotolérantes** tolèrent l'oxygène mais leur croissance est meilleure en anaérobiose.
* Les bactéries **micro-aérophiles** ont besoin d'oxygène, mais elles ne supportent pas une tension en oxygène équivalente à celle de l'air et elles ne peuvent se multiplier qu'en présence d'une faible tension d'oxygène.

 **4.4.3**. **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 (Aw : "Activity of water") est inversement proportionnelle à la pressionosmotique 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 Aw comprise entre 1 et 0,7. L'Aw 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 supérieur 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.