

Chapitre IV : La nutrition bactérienne

Introduction

L'étude de la Nutrition bactérienne est l'analyse des besoins élémentaires, énergétiques et spécifiques nécessaires au fonctionnement et à la croissance de la bactérie, ainsi que des facteurs physico-chimiques susceptibles de les influencer.

Pour survivre et se multiplier, les bactéries ont besoin d'une quantité plus ou moins importante de substances minérales et organiques dites substances alimentaires ou nutriments.

La dégradation de ces aliments, que l'on met à leur disposition dans les **milieux de culture**, va leur fournir les éléments simples (Carbone, Azote, Minéraux) et l'énergie, qu'elles vont réutiliser pour synthétiser leurs propres constituants structuraux et enzymatiques.

Les bactéries ont toutes un certain nombre de besoins communs tels : l'eau, une source d'énergie, une source de Carbone, une source d'Azote et des éléments minéraux. D'ailleurs, en examinant la composition chimique de la cellule bactérienne, on peut deviner ses besoins nutritifs :

- La bactérie est faite en majorité d'eau : 75 à 80 % de son poids total.
- La matière sèche est faite de protéines (55%), rRNA (16,7%), tRNA (3%), mRNA (0,8%), DNA (3,1%), lipides (9,1%), Lipopolysaccharides (3,4%), Peptidoglycanes (2,5%), vitamines (2,9%) et ions inorganiques (1,0%).
- ❖ En conséquence, la bactérie aura besoin de 3 types d'éléments nutritifs :
 - Besoins élémentaires et énergétiques
 - Des besoins spécifiques (facteurs de croissance)
 - Des facteurs physico-chimiques

I. Besoins élémentaires

La matière sèche d'une bactérie telle qu'*E. coli* est composée de quelques macro-éléments : C, O, H, N, S, P, constituants des molécules organiques ; K, Ca, Na, Mg et Fe, à l'état de cations dans la cellule et ayant des rôles divers. Certains éléments ne sont retrouvés qu'à l'état de « traces » : Mn, Zn, Co, Ni, Cu, Mo... Ce sont des oligo-éléments (ou micro-éléments), nécessaires au métabolisme microbien, car ils interviennent en tant que cofacteur ou activateur de réactions enzymatiques. Les besoins élémentaires sont différents d'une espèce à une autre, en fonction du milieu de vie notamment.

I.1. L'énergie

Il existe seulement deux sources d'énergie disponibles pour les êtres-vivants :

- l'énergie **lumineuse** (chez les **bactéries phototrophes**) transformée en ATP grâce à des pigments (chlorophylles, bactériochlorophylles, carotènes...);

✓ Si le substrat oxydable est minéral, la bactérie est dite **photo-lithotrophe** : elle est capable de se développer dans un milieu purement minéral comme le font les végétaux : exemple les bactéries sulfureuses pourpres ou vertes.

✓ Si le substrat oxydable est organique, la bactérie est dite **photo-organotrophe** : exemple les bactéries pourpres non sulfureuses.

- l'énergie **chimique** chez les bactéries **chimiotrophes**, elle provient de l'oxydation de molécules minérales (**chimioolithotrophes**) ou organiques (**chimioorganotrophes**).

I.2. Le carbone

C'est un des éléments les plus abondants de la bactérie : il doit être fourni en quantité suffisante. Le plus simple des composés carbonés est le CO₂ ou anhydride carbonique.

Les exigences nutritionnelles en carbone conduisent au classement des micro-organismes en deux grandes catégories :

- les bactéries **autotrophes** : sont celles capables de se développer en milieu minéral (inorganique) en utilisant le dioxyde de carbone (CO_2) ou les ions hydrogénocarbonates (HCO_3^-) comme seule source de carbone pour synthétiser leurs constituants carbonés ;
- les bactéries **hétérotrophes** : Ces bactéries exigent des molécules organiques (sucres et dérivés, acides organiques, peptides et acides aminés...), pour leur croissance. Certains micro-organismes sont capables d'assimiler de nombreuses substances organiques différentes, tandis que d'autres ont des capacités métaboliques restreintes à quelques substrats, voir un seul.

1.3. L'Azote

Les substances azotées entrent dans la composition des protéines bactériennes. L'azote peut être fixé par la bactérie sous forme de :

- Azote **inorganique** : dans sa forme
 - ✓ La plus simple, azote moléculaire N_2 (Azote atmosphérique) .Ex: Rhizobium, Azotobacter,...
 - ✓ De nitrites NO_2^- , Ex : Nitrobacter
 - ✓ Nitrates NO_3^- : C'est le cas de toutes les bactéries qui possèdent la nitrate réductase B dite assimilatrice. Ex : entérobactérie
 - ✓ Ammoniac NH_3 . Ex : les Nitrosomonas utilise l'ammoniac sous forme de sels d'ammonium
- Azote **organique** dans les composés organiques R-NH_2 dont les groupements aminés représentent la source d'azote.

1.4. Le soufre

Il entre dans la composition de certains acides aminés (méthionine, cystéine) et donc dans les protéines sous forme de groupements thiols ($-\text{SH}$). Il est incorporé sous forme de sulfate ou de composés soufrés organiques.

1.5. Le phosphore

Il rentre dans la composition des acides nucléiques (ADN, ARN), de l'ATP et de nombreux coenzymes. Il est incorporé dans la bactérie sous forme de phosphate inorganique (dérivés de H_3PO_4). Il permet la récupération, l'accumulation et la distribution de l'énergie dans la cellule.

Besoins en autres éléments minéraux

Les éléments cités précédemment sont nécessaires en concentration importante dans les milieux de culture. On parle alors de **macro-éléments** : C, H, O, N, S, P mais aussi Na, Mg, K

Les micro-organismes ont parfois besoin d'autres éléments mais en quantité moins importante. On parle alors de **micro-éléments** : Cu, Co, Zn, Cl, Fe

II. Facteurs de croissance (besoins spécifiques)

En plus des éléments de base, certaines bactéries ont besoin de substances organiques, appelées "facteurs de croissance", pour se développer. Elles sont incapables de synthétiser ces substances et doivent donc les trouver dans leur environnement ou dans les milieux de culture. On distingue deux types de bactéries :

- Les bactéries **prototrophes** peuvent se développer en présence d'eau, d'une source d'énergie, d'une source de carbone, d'une source d'azote et d'éléments minéraux.

- Les bactéries **auxotrophes** ont besoin, en plus, d'un ou de plusieurs facteurs de croissance qu'elles ne peuvent pas synthétiser elles-mêmes.

Il est important de ne pas confondre les facteurs de croissance avec les métabolites essentiels. Les facteurs de croissance et les métabolites essentiels sont tous deux des composés organiques strictement nécessaires à la nutrition. Cependant, une bactérie peut synthétiser un métabolite essentiel, tandis qu'un facteur de croissance doit être présent dans l'environnement car la bactérie est incapable de le produire. La notion de facteur de croissance est relative à un genre, une espèce ou une souche particulière.

II.1. Nature des facteurs de croissance

On distingue trois catégories de facteurs de croissance :

- Certains acides aminés qui sont nécessaires à la synthèse des protéines,
- Les bases puriques et pyrimidiques qui sont nécessaires à l'élaboration des acides nucléiques,
- Les vitamines qui sont des coenzymes ou des précurseurs de coenzymes. Par exemple la vitamine B3 également appelée acide nicotinique est le précurseur du nicotinamide constituant du coenzyme NAD (nicotinamide adénine dinucléotide) qui est un des plus importants transporteurs d'électrons.

II.2. Propriétés des facteurs de croissance

- Actif à des concentrations très faibles (de l'ordre du $\mu\text{g/L}$ pour les vitamines, de 10 mg/L pour les bases et de 25 mg/L pour les acides aminés).
- Présence spécifique : Même de légères modifications de la structure d'un facteur de croissance peuvent le rendre inefficace dans sa fonction.

La syntrophie.

Les besoins en facteurs de croissance d'une espèce peuvent quelquefois satisfaits par la présence d'une autre espèce qui synthétise le dit facteur.

Ainsi, l'espèce appelée "**syntrophe**" utilise les produits métaboliques d'une autre espèce appelée "**syntrophique**" comme substrat pour sa propre croissance.

Exemple : *Haemophilus influenzae* nécessite pour sa croissance sur la gélose au sang un facteur apporté par une strie de *Staphylococcus* effectuée sur la même boîte, les colonies de *Haemophilus* poussent uniquement autour de cette strie.

III. Types trophiques

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

Les types trophiques (nutritionnels) chez les bactéries sont résumés dans ce tableau :

Source d'énergie	Source de pouvoir réducteur	Source de carbone	Type trophique
Lumière Photo-	Composé organique -organo-	Organique -hétérotrophe	Photoorganohétérotrophe
		Minérale (dioxyde de carbone) -autotrophe	Photoorganoautotrophe
	Inorganique -litho-	Organique -hétérotrophe	Photolithohétérotrophe
		Minérale (dioxyde de carbone) -autotrophe	Photolithoautotrophe
Composé chimique organique ou non Chimio-	Composé organique -organo-	Organique -hétérotrophe	Chimioorganohétérotrophe
		Minérale (dioxyde de carbone) -autotrophe	Chimioorganoautotrophe
	Inorganique -litho-	Organique -hétérotrophe	Chimiolithohétérotrophe
		Minérale (dioxyde de carbone) -autotrophe	Chimiolithoautotrophe

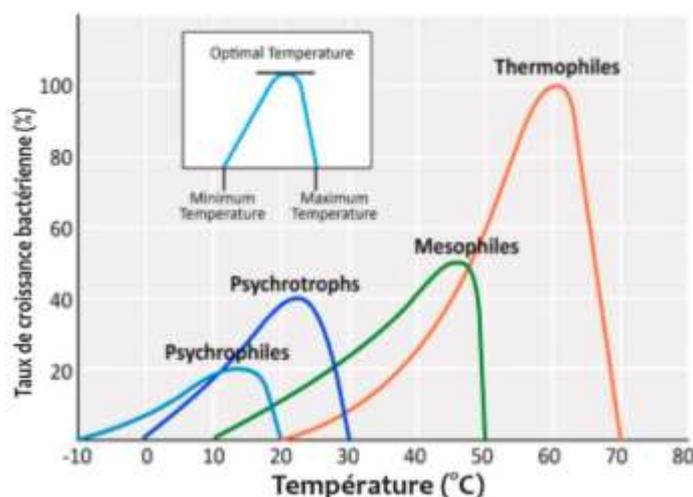
IV. Paramètres physicochimiques

La croissance bactérienne est largement influencée par des paramètres physico-chimiques de l'environnement qui 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.

IV.1. Température

Elle joue un rôle essentiel dans la croissance bactérienne et le métabolisme bactérien (action sur la vitesse des réactions biochimiques). Selon la température optimale de développement, les bactéries sont réparties en:

- Les bactéries psychrotrophes : peuvent se cultiver à 0°C. Température optimale de multiplication entre 20 à 25 °C.
- Les bactéries psychrophiles : température maximale 20°C. Température optimale de croissance inférieure à 15 °C.
- Les bactéries mésophiles : dont la température optimale de croissance se situe entre 20°C et 40°C. La majorité des microorganismes de l'homme et de l'animal sont des mésophiles croissance entre 25 et 40 °C. Optimum à 37°C.



- Les bactéries thermophiles : la température optimale est de 45°C à 65°C, généralement 55°C. Ce sont les bactéries des sources thermales. ex: *Bacillus* et *Clostridium*.

IV.2. pH

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. On distingue 3 catégories :

- Acidophiles : pH optimum acide (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 (alcalinophiles): pH optimum basique (supérieur à 8).

IV.3. Oxygène : Selon le type respiratoire, on distingue :

- Les bactéries aérobies strictes : ne peuvent vivre qu'en présence d'O₂. Culture uniquement en surface.
- Les bactéries anaérobies strictes : ne supportent pas l'O₂ qui leur est toxique. Culture uniquement au fond du tube.
- Les bactéries aéro-anaérobies facultatives : se développent aussi bien en présence qu'en absence d'oxygène. Leur richesse enzymatique leur permet d'utiliser l'O₂ s'il est présent et d'utiliser la voie fermentaire quand l'oxygène est absent. ex. Entérobactéries
- Les bactéries micro-aérophiles : ne se reproduisent qu'en présence d'une faible tension d'oxygène. ex. *Campylobacter*
- Les bactéries anaérobies aéro-tolérants : bien que tolérant l'oxygène, ils ne peuvent pas l'utiliser et tirent leur énergie exclusivement de la fermentation. ex. Lactobacilles

IV.4. Pression osmotique

Elle traduit la concentration totale des ions et molécules en solution dans un milieu. Sauf exception, les bactéries ne sont pas très sensibles aux variations de pression osmotique grâce à leur paroi rigide. On distingue trois groupes de bactéries.

- Les bactéries non-halophiles capables de croître dans des milieux dont la concentration en NaCl est inférieure à 0,2 M.
- Les espèces halophiles ne pouvant croître que dans des milieux contenant des concentrations en NaCl de 0,2 M à 5,2 M.
- Les espèces halotolérantes tolèrent des concentrations salines importantes ex. *Enterococcus* (6.5% NaCl) *Staphylococcus aureus* (7.5%NaCl)

IV.5. Activité de l'eau (Aw)

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 libre.

Certains germes ne se développent que pour une valeur de l'Aw supérieure à 0,97. C'est le cas des *Acinetobacter* spp. ($Aw > 0,99$) ou de *Clostridium botulinum* ($Aw > 0,97$). *Salmonella* ou *Escherichia coli* commencent à se multiplier pour une valeur de l'Aw supérieure à 0,95. *Staphylococcus aureus* se multiplie à partir de 0,85 mais la production éventuelle de toxines n'est possible que pour des valeurs supérieures à 0,97. *Listeria monocytogenes* peut supporter une valeur de l'Aw de 0,83 et les bactéries halophiles une valeur de 0,75.

Les endospores peuvent survivre dans un environnement dépourvu d'eau libre.