

Chapitre III: Les besoins nutritifs des bactéries

Pour qu'une bactérie croît et se reproduit, elle doit subvenir trois types de besoins à partir du milieu dans lequel elle vit. Ces besoins sont élémentaires, énergétiques ou spécifiques.

I - Besoins élémentaires

En plus de l'eau qui est la molécule la plus abondante dans la matière vivante et indispensable à toute vie, les bactéries doivent trouver des éléments nécessaires à leur développement.

1 - Élément minéraux

Les éléments minéraux sont ajoutés dans le milieu de culture sous forme de sels qui se dissocient en ions dans l'eau. Les principaux éléments minéraux sont le phosphore et le soufre.

- Le phosphore est apporté sous forme de K_2HPO_4 ou KH_2PO_4 . Il fait partie des acides nucléiques, de nombreuses coenzymes et de l'ATP. Il permet la récupération, l'accumulation, et la distribution de l'énergie dans la cellule.
- Le soufre est apporté sous forme de $FeSO_4$. Il est présent dans les acides aminés sous forme de groupements thiols (-SH).

Certains éléments jouent un rôle dans l'équilibre physicochimique de la cellule, notamment:

Le Na et le Cl, apportés sous forme de NaCl ou $NaNO_3$.

Le K apporté sous forme de K_2HPO_4 , KH_2PO_4 ou KNO_3 .

Le Mg apporté sous forme de $MgSO_4$.

- D'autres éléments sont présents dans les enzymes ou coenzymes, tel que le fer (cytochromes), ou dans la chlorophylle (Mg).
- Certains éléments jouent le rôle d'activateurs enzymatiques: Ca, Co, Cu, Mg, Mn, Mo « etc.
- Le Ca, apporté sous forme de $CaCO_3$, est le principal constituant du cortex et des spores bactériennes. Il est à l'origine de la thermorésistance des spores bactériennes DPA-Ca-DPA-Ca-DPA-Ca-DPA-Ca«etc. Les éléments tels que: Fe, Mg, Mn, Mo, Ca, Cu sont apportés en quantités infinies et même parfois à l'état de traces par les produits chimiques servant à préparer les milieux de culture. Ce sont des Oligoéléments. Ces éléments peuvent:

- Constituer des facteurs limitant de croissance. Exemple: *Lactobacillus* exige les ions Mn et Mg pour bien croître.
- Intervenir dans la synthèse des Antibiotiques. Exemple: la synthèse de la pénicilline nécessite la présence du soufre.
- Sécrétion des pigments. Exemple: pigments rouge de *Serratia marcescens* est due à la présence de Fe et de Mg dans le milieu de culture.

2 - La source d'énergie

Le carbone constitue un des éléments les plus abondants de la bactérie, il doit être fourni en grande quantité. Le plus simple des composés carbonés est le CO_2 qui peut être utilisé par certaines bactéries (photosynthétiques et autres bactéries), comme seule source de carbone. Le CO_2 peut être libre ou combiné à des éléments minéraux ($CaCO_3$, Na_2CO_3). Chez la plupart des bactéries, la source de carbone est apportée sous forme de substances hydrocarbonées simples (alcool, acide

acétique et lactique) ou plus ou moins complexes telles que les oses (glucose), polyside (saccharose, raffinose, cellulose etc.) ou polymère de sucres aminés (chitine). Les glucides sont ajoutés en général à raison de 10g/L de milieu de culture.

Certaines bactéries peuvent utiliser plusieurs sources de carbone alors que d'autres sont extrêmement limitées comme *Pseudomonas methanica* qui ne peut utiliser que le méthane ou le méthanol comme source de carbone.

Les substances carbonées jouent également le rôle de source énergétique. Leur dégradation libère de l'énergie que la bactérie utilise pour ses propres synthèses.

3 - La source d'azote

Pour leurs protéines qui représentent environ 10% de leur poids sec, les bactéries ont besoin de substances azotées. L'azote peut être utilisé:

3.1 - Sous sa forme moléculaire N₂: cas des bactéries fixatrices d'azote telles que *Azotobacter* (fixation libre d'azote dans le sol) et *Rhizobium* (fixateur symbiotique des plantes).

3.2. Sous une forme inorganique

- Nitrites (NO₂) *Nitrobacter*
- Nitrates (NO₃) NaNO₃ ou KNO₃: cas de beaucoup de bactéries.
- Sels d'ammonium (NH⁴⁺) NH₄Cl

3.3 - Sous forme organique plus ou moins complexe

Sous forme d'acides aminés, protéines, sucres aminés etc.

II - Besoins énergétiques

Les bactéries assurent leurs besoins énergétiques grâce à l'oxydation de substrats nutritifs libérant de l'énergie stockée sous forme d'ATP.

A - Les oxydations

L'oxydation peut être considérée comme étant un transfert d'électron d'une molécule (donneur d'électrons) à une autre (accepteur d'électrons). L'oxydation s'accompagne d'une libération d'énergie ($\Delta E = E_1 - E_2$) stockée sous forme d'ATP.

Les oxydations peuvent également se faire par apport d'O₂ moléculaire. L'oxydation d'un composé implique une perte d'un électron, lequel est accepté par un autre composé qui lui est réduit. Les réactions chimiques sont en fait des oxydoréductions.

B - Couples d'oxydoréduction

Les électrons libérés au cours des oxydations sont nécessairement acceptés par une autre substance qui sera réduite. Donc, l'oxydation d'un substrat est couplée à la réduction d'une autre substance qui est l'accepteur d'électrons. L'énergie libérée est stockée sous forme d'ATP, c'est à dire, elle va servir à la synthèse de l'ATP.

III - Types trophiques

Selon le mode de vie des bactéries, selon leurs besoins élémentaires et énergétiques, on distingue divers types physiologiques appelés types trophiques. Ces types sont fondés sur la nature de la source d'énergie, sur la nature de la source de carbone et sur la nature de l'accepteur final

d'électrons au cours des réactions d'oxydoréductions. Les types trophiques ont un intérêt primordial dans la classification bactérienne.

A - Source de carbone

Il existe 2 types trophiques importants représentés par l'autotrophie et l'hétérotrophie.

1 - Autotrophie: les bactéries sont dites autotrophes lorsqu'elles sont capables de se développer en milieu inorganique contenant le CO_2 comme seule source de carbone (ou encore les sels de CO_2 tel que le CaCO_3). La source de carbone est de nature minérale. On distingue des bactéries:

- **Autotrophes strictes:** comme exemple, la plupart des bactéries photosynthétiques, les bactéries nitrifiantes du genre *Nitromonas* et certaines bactéries sulfureuses du genre *Thiobacillus*.
- **Autotrophes facultatives:** bactéries utilisant soit le CO_2 , soit une source de carbone organique.

Comme exemple, les bactéries du genre *Hydrogenomonas* qui tirent leur énergie à partir de l'hydrogène, et celles du genre *Pseudomonas*.

2 - Hétérotrophie: les bactéries sont dites hétérotrophes lorsque la source de carbone assimilable est obligatoirement un composé organique. La majeure partie des bactéries est hétérotrophe. On distingue 2 sous-groupes:

- Les bactéries nécessitant une seule source de carbone organique sont dites "Prototrophes".
- Les bactéries nécessitant plusieurs sources de carbone organique sont dites "Auxotrophes".

2.1 - Les prototrophes: ces bactéries ont besoin d'une source de carbone organique. Elles peuvent se développer sur un milieu minimum, c'est à dire un milieu qui apporte tout les éléments dont les bactéries ont besoin sous forme de sels minéraux. Il suffit d'ajouter une source d'azote et une seule source de carbone comme par exemple le glucose (bactéries prototrophes pour le glucose).

2.2 - Les auxotrophes: ce sont des bactéries dépourvues d'un ou de plusieurs systèmes enzymatiques intervenant dans la synthèse de métabolites essentiels (acides aminés ou acides nucléiques). Il faut leur apporter dans le milieu de culture les métabolites qu'elles ne peuvent synthétiser. Parmi les bactéries auxotrophes, on retrouve plusieurs bactéries pathogènes.

Exemple: quelques bactéries du genre *Lactobacillus* exigent environ 18 vitamines et 19 acides aminés pour se développer.

B - Source d'énergie

En se basant sur l'origine de la source d'énergie, les bactéries sont séparées en 2 grands groupes:

1 - Bactéries phototrophes: la source d'énergie, d'origine lumineuse, est transformée en énergie chimique par les bactériochlorophylles avant d'être stockée sous forme d'ATP. Ce dernier va être produit par phosphorylation cyclique et acyclique. Cette dernière voie de production d'énergie nécessite un donneur d'électrons exogène, autre que l'eau (comme chez les plantes) qui apporte un pouvoir réducteur nécessaire à la réduction du CO_2 en composés organiques. Ce donneur d'électrons peut être un minéral: la bactérie est dite photolithotrophe; ou un composé organique: la bactérie est alors dite photoorganotrophe.

2 - Bactéries chimiotrophes: la source d'énergie est d'origine chimique. Elle provient de composés minéraux ou organiques grâce à des réactions d'oxydoréduction. Si, le composé est de nature

minéral, la bactérie est dite chimolithotrophe. S'il est de nature organique, la bactérie est alors dite chimioorganotrophe.

IV - Besoins spécifiques (ou facteurs de croissance)

A - Définition:

Les facteurs de croissance sont des substances organiques indispensables à la croissance bactérienne, et que la bactérie n'est pas capable de les synthétiser.

Les bactéries prototrophes ne nécessitent pas de facteurs de croissance. Elles sont capables, à partir d'un seul composé organique, de faire la synthèse de tous les métabolites essentiels à leur développement. Par contre, les bactéries auxotrophes, dont le système enzymatique est déficient, ne peuvent synthétiser un ou plusieurs métabolites essentiels. Donc, ils doivent être fournis par un apport extérieur. On parle alors de facteur de croissance.

Exemple: *Escherichia coli* (bactérie prototrophe pour le glucose pousse sur milieu: glucose + KNO_3 + sels minéraux). *Proteus vulgaris* ne pousse sur ce milieu que si on ajoute une faible quantité de nicotinamide (vitamine nécessaire à la synthèse de coenzymes tels que les NAD et NADP). Si on ajoute dans le milieu précédent un extrait de *E. coli* (qui contient du NAD), *P. vulgaris* se développe. Donc le nicotinamide qui est synthétisé par *E. coli* mais non par *P. vulgaris* constitue un métabolite essentiel pour les 2 bactéries et un facteur de croissance uniquement pour *P. vulgaris*. Cette dernière bactérie n'a donc besoin que d'un seul facteur de croissance qui est le NAD.

B - Nature et propriétés des facteurs de croissance

1 - Nature: les facteurs de croissance sont représentés par 3 catégories de substances:

- Les acides aminés: ils sont nécessaires pour la synthèse des protéines;
- Les vitamines: elles interviennent dans la synthèse des coenzymes indispensables dans les réactions d'oxydoréduction donc à la production d'énergie.
- Les bases puriques et pyrimidiques: elles sont nécessaires pour la synthèse des acides nucléiques.

2 - Propriétés: les facteurs de croissance possèdent les propriétés suivantes:

a. Ils agissent à des concentrations infinitésimales: environ 1 à 24 $\mu\text{g/l}$ pour les vitamines; 10 mg/l pour les bases puriques et pyrimidiques et 25 mg/l pour les acides aminés.

La croissance d'un microorganisme exigeant un facteur donné peut être proportionnelle à la concentration du facteur de croissance. Ce rapport est rigoureusement fixé dans certaines limites de concentration. La connaissance de ce rapport permet le dosage des facteurs de croissance par voie microbiologique.

b. Le second caractère est lié à la spécificité des facteurs de croissance.

Exemple du nicotinamide: un simple changement de position du groupement $-\text{CO}-\text{NH}_2$ sur noyau benzénique ou son remplacement par un autre groupement tel que $-\text{COOH}$ ou $-\text{CH}_3$, lui enlève toute son activité.

Un autre exemple est celui de l'acide para-aminobenzoïque (PAB): le PAB est un facteur de croissance pour certains mutants de *E. coli*. Une autre substance de structure analogue: para-aminobenzoïque sulfanilamide, non seulement n'est plus facteur de croissance pour la bactérie, mais inhibe son développement même en présence de PAB. En raison de son analogie de

structure, il entre en compétition avec le PAB et empêche le développement de *E. coli* par blocage du métabolisme. Le para-aminobenzoïque sulfanilamide est appelé antimétabolite.

3 - Phénomène de satellitisme et de syntrophie

3.1 - Phénomène de satellitisme: ce phénomène est créé par la production, par une espèce bactérienne, d'un facteur de croissance permettant le développement d'une ou de plusieurs autres espèces bactériennes vivant au voisinage. Exemple d'un staphylocoque non auxotrophe à l'égard du NAD, excrète cette substance et permet à une autre bactérie du genre *Haemophilus* d'utiliser le NAD et de se développer.

3.2 - Phénomène des syntrophie (symbiose): c'est une variante du phénomène de satellitisme. Dans ce cas, deux microorganismes sont auxotrophes pour deux substances différentes et chacune d'elles excrète un facteur de croissance nécessaire au développement de l'autre.