

Chapitre IV: Nutrition bactérienne

Toutes les bactéries ont besoin 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**.

1. Besoins élémentaires

1.1 Source d'Energie

Selon la source d'énergie, les bactéries se divisent en **phototrophes** et **chimiotrophes**.

- La source d'énergie des bactéries **phototrophes (photosynthétiques)** est la **lumière**. Si la source d'électrons est minérale (donneurs d'électrons sont des minéraux), les bactéries sont qualifiées de **photolithotrophes** et si la source d'électrons est organique, les bactéries sont **photoorganotrophes**.
- Les bactéries **chimiotrophes (chimiosynthétiques)** puisent leur énergie à partir de **composés minéraux ou organiques**. Si le donneur d'électrons est minéral, les bactéries sont **chimolithotrophes** et si le donneur d'électrons est organique, les bactéries sont **chimioorganotrophes**.

1.2 Source de Carbone

Le **carbone** est l'élément constitutif le plus abondant chez les bactéries. Il forme en moyenne 50% du poids sec du matériel cellulaire bactérien.

Les bactéries **phototrophes** et la plupart des bactéries **chimolithotrophes** peuvent utiliser le dioxyde de carbone (CO_2 moléculaire) comme la **seule source de carbone** et elles sont dites **autotrophes**. Par contre, la plupart des bactéries utilisent des **composés organiques** comme source principale et obligatoire de carbone. Ces bactéries sont qualifiées d'**hétérotrophes**.

Le CO_2 seul ne permet pas la survie des hétérotrophes, mais il joue cependant un rôle important chez ces bactéries. En effet, la croissance de nombreuses espèces bactériennes hétérotrophes est impossible en l'absence de dioxyde de carbone. Mais la présence du CO_2 favorise la croissance des espèces bactériennes tel est le cas pour *Brucella* sp., *Capnocytophaga* sp., *Neisseria* sp., *Campylobacter* sp., *Haemophilus* sp., *Taylorella* sp. et autres. Les bactéries **hétérotrophes** peuvent dégrader de nombreuses substances hydrocarbonées: alcools, acides organiques, sucres ou polyholosides (Tableau 4, Tableau 5).

1.3 Source d'Azote

La synthèse des protéines nécessite des substances **azotées**. Cependant l'**azote** est présent dans la cellule bactérienne sous forme de composés réduits qui sont les **groupements amines**.

L'**azote moléculaire** (N_2) est fixé par quelques bactéries vivant en symbiose avec des légumineuses ou des champignons ou par des bactéries jouant un rôle dans la fertilisation des sols. Ce sont les **bactéries fixatrices d'azote** dont principalement les genres *Rhizobium* et *Azotobacter*. Pour la majorité des bactéries, la source d'azote est constituée par d'autres **composés inorganiques** (ammoniac (NH_3), sels d'ammonium (NH_4^+), nitrites (NO_2^-), nitrates (NO_3^-) ou par des **sources organiques** (**groupements amines** des composés organiques).

1.4 Source de Soufre

Le **soufre(S)** est présent dans certains acides aminés soufrés (groupement **Thiol**) (méthionine, cystéine) et il est le plus souvent incorporé sous forme de **sulfate** ou de composés **soufrés organiques**. Pour certaines bactéries, le soufre doit être apporté sous forme de vitamines (biotine, thiamine) et du coenzyme A. Ses formes disponibles dans la nature sont **inorganiques**.

1.5 Autres besoins élémentaires

Le **phosphore(P)**, qui est un élément constitutif des acides nucléiques, de nombreuses coenzymes et de l'ATP, est incorporé sous forme de phosphate inorganique. Ainsi, le **sodium (Na)**, le **potassium (K)**, le **magnésium (Mg)** et le **chlore (Cl)** jouent un rôle dans l'équilibre physico-chimique de la cellule.

- **Oligoéléments**

D'autres éléments comme le **fer (Fe)**, le **zinc (Zn)**, le **manganèse (Mn)**, le **molybdène(Mo)**, le **calcium(Ca)**, le **vanadium(V)** ou le **cobalt (Co)** sont des **oligoéléments** nécessaires à des **concentrations très faibles (micronutriments)**. Ils sont présents dans le milieu sous forme de sels et sont absorbés sous forme d'anion et de cations.

Tableau 4 : Les types trophiques des bactéries selon la nature de leurs besoins.

Classe 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

Tableau 5 : Combinaisons des différents types trophiques.

Source d'énergie	Source d'électrons	Source de carbone	Type trophique	Exemples
Lumière <i>Photo-</i>	Composé organique <i>-organo-</i>	Organique - <i>hétérotrophe</i>	Photoorganohétérotrophe	Certaines bactéries (Cyanobactéries...)
		Minérale (dioxyde de carbone) <i>-autotrophe</i>	Photoorganoautotrophe	Certaines bactéries (Athiorhodacées...)
	Inorganique <i>-litho⁻²</i>	Organique - <i>hétérotrophe</i>	Photolithohétérotrophe	Certaines bactéries (<i>Thiobacater</i> ...)
		Minérale (dioxyde de carbone) <i>-autotrophe</i>	Photolithoautotrophe	Certaines bactéries (la plupart des Cyanobactéries, Thiorhodacées, Chlorobactéries...)
Composé chimique organique ou non <i>Chimio-</i>	Composé organique <i>-organo-</i>	Organique - <i>hétérotrophe</i>	Chimioorganohétérotrophe	Mycètes (champignons), la plupart des bactéries dénitrifiantes.
		Minérale (dioxyde de carbone) <i>-autotrophe</i>	Chimioorganoautotrophe	Rare, certains Dinoflagellés (mixotrophie)
	Inorganique <i>-litho⁻²</i>	Organique - <i>hétérotrophe</i>	Chimiolithohétérotrophe	Certaines bactéries (<i>Bosea</i> , <i>Albibacter</i> ...)
		Minérale (dioxyde de carbone, méthane) <i>-autotrophe</i>	Chimiolithoautotrophe	Certaines bactéries dites chimiosynthétiques, terrestres (nitrifiantes, méthanogènes...), ou marines (écosystèmes hydrothermaux). La source d'énergie est inorganique.

2. Facteurs de croissance

En présence d'eau, d'une **source d'énergie**, d'une **source de carbone**, d'une **source azote** et d'**éléments minéraux**, de nombreuses bactéries sont capables de croître et elles sont qualifiées de **prototrophes**. Les bactéries **auxotrophes** nécessitent, en plus, un ou plusieurs **facteurs de croissance** qu'elles sont incapables de synthétiser. Un métabolite essentiel peut être synthétisé par une bactérie alors qu'un **facteur de croissance** doit être présent dans l'environnement car la **bactérie est incapable de le synthétiser**.

Les **facteurs de croissance** sont des **bases puriques** ou **pyrimidiques**, des **acides gras**, des **acides aminés** et des **vitamines** (coenzymes, précurseurs de coenzymes, groupements prosthétiques de diverses enzymes) ou divers composés comme **l'hème**.

Dans un milieu contenant du glucose, une source d'azote et des sels minéraux la bactérie *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 (du groupe de la Vitamine B) est indispensable pour la croissance de ces deux espèces, mais contrairement à *Proteus vulgaris*, *Escherichia coli* est capable d'en assurer la synthèse. C'est un **facteur de croissance** que pour *Proteus vulgaris*.

La notion de **facteur de croissance** est relative à un genre, à une espèce voire même à une souche. Ainsi, les besoins quantitatifs en facteurs de croissance sont de l'ordre de 10 µg/mL pour les bases puriques ou pyrimidiques, les acides gras ou les acides aminés et de l'ordre de moins de 1 µg/mL pour les vitamines. La croissance d'une bactérie **auxotrophe** peut être proportionnelle, dans certaines limites, à la concentration d'un facteur de croissance ce qui permet un dosage des facteurs de croissance par voie microbiologique.

Les besoins en facteur de croissance peuvent parfois être satisfaits par la présence d'une autre bactérie. Ce mécanisme d'interaction métabolique, qualifié de **syntrophie**, se traduit sur un milieu solide par la présence de colonies satellites (bactérie auxotrophe) se développant au voisinage de la bactérie productrice du facteur de croissance.

3. Paramètres physico-chimiques intervenant dans la croissance bactérienne

L'utilisation des nutriments par les bactéries dépend des conditions d'environnement susceptibles d'inhiber ou de favoriser le développement bactérien.

3.1 Température

La **température** a un rôle essentiel dans la croissance bactérienne. Elle varie d'un groupe bactérien à un autre et elle est plus ou moins **optimale** sur un intervalle d'étendue variable et spécifique de chaque groupe bactérien. Les bactéries sont classées en trois grands groupes selon l'échelle de la température où leur croissance est optimale:

- ✓ Les bactéries **psychrophiles** (du grec psychro qui signifie froid)
Ces bactéries ont un intervalle de température qui s'étend de -10 °C à 20°C avec un optimum de 10°C.
- ✓ Les bactéries **mésophiles** (du grec méso qui signifie moyen)
Ce groupe de bactéries a un intervalle de température de croissance qui s'étend de 15 °C à 37 °C avec un intervalle optimale de 30°C à 37°C.

- ✓ Les bactéries **thermophiles** (du grec thermo qui signifie chaud)

Ce type de bactéries croît à des températures élevées avec un minimum de 15°C et un maximum de 50°C. Cependant la température optimale s'étend de 42°C à 46°C.

Il est admet qu'il existe deux autres groupes bactériens bien distincts: Le premier dans lequel les bactéries sont capables de croître à des **températures extrêmes** variant de >50°C à >70°C avec un optimum supérieur à 70°C. Ce sont les **bactéries thermophiles extrêmes**. Ces dernières sont principalement des archaebactéries dont l'écosystème principal est constitué des sources d'eau chaude soufrée. Le deuxième groupe est connu sous le nom de **psychrotrophes**, qui sont des bactéries qui peuvent croître à des températures variant de 0°C à 35°C avec une température optimale comprise entre 20°C à 30°C. Les bactéries **psychrotrophes** causent la plupart des détériorations des aliments gardés à basse températures, car elles se développent assez bien aux températures habituelles de réfrigération.

La plus part des bactéries se développent seulement si la température du milieu se situe dans l'intervalle donné. L'intervalle de la température est la différence entre la température **maximale** et **minimale** de croissance. Cependant le développement des bactéries est faible aux deux extrémités **minimale** et **maximale** et il est **nul** si la température excède leurs températures limites. Par conséquent, chaque bactérie possède des températures **minimale**, **optimale** et **maximale** de croissance. La **température minimale de croissance** d'une espèce est la température la plus basse à laquelle celle-ci peut croître. La **température optimale de croissance** est la température à laquelle l'espèce croît le plus rapidement. La **température maximale de croissance** est la température la plus élevée à laquelle l'espèce peut encore se développer.

3.2 Potentiel d'hydrogène (pH)

Le potentiel d'hydrogène **pH** exprime la quantité d'ions H⁺ dans une solution. C'est le logarithme décimal négatif de la concentration d'ions hydrogène (- log₁₀[H⁺]) exprimé en moles/litre. Le pH indique l'**acidité** ou l'**alcalinité** d'une solution. Cependant, toutes variations, même limitées, de sa concentration induit à des modifications significatives de pH qui affectent alors les activités physiologiques cellulaires bactériennes.

La plupart des bactéries ont une croissance optimale dans un intervalle de pH voisin de la neutralité (6,5 à 7,5), ce sont les bactéries **neutrophiles**. Alors que très peu de bactéries se développent en milieu acide. Ces bactéries dites **acidophiles** croissent à des pH inférieurs à 5. C'est le cas des bactéries lactiques qui sont les plus communes des bactéries **acidophiles**. Les bactéries **alcalophiles** se développent à des pH supérieurs à 8. C'est le cas de *Vibrio cholerae* qui a un pH optimal de croissance qui égale 9. Cependant l'alcalinité inhibe aussi la croissance microbienne, elle est utilisée comme méthode de conservation des aliments.

3.3 Pression atmosphérique

Les bactéries **barophiles** (du grec *baros*, poids, pesanteur) ou **piézophiles** (du grec *piezein*, presser) se caractérisent par le fait que leur croissance est favorisée par une incubation dans une atmosphère dont la pression est supérieure à la pression atmosphérique. La plupart des bactéries **barophiles** actuellement connues appartiennent à la classe des *Gammaproteobacteria* avec les genres *Colwellia*, *Moritella*, *Photobacterium*, *Psychromonas* et *Shewanella*. Parmi ces espèces, *Colwellia hadaliensis*, *Moritella yayanosii* et *Psychromonas kaikoa* sont strictement barophiles et leur culture doit obligatoirement être réalisée avec une pression supérieure à la pression atmosphérique. Des bactéries barophiles, n'appartenant pas à la classe des *Proteobacteria* ont toutefois été caractérisées. C'est le cas par exemple de *Thermococcus barophilus* et de *Marinitoga piezophila*.

3.4 Pression osmotique

Le cytoplasme bactérien est bien concentré en nutriment (solutés) par apport à l'environnement externe. Lorsque la bactérie est placée dans un milieu hypotonique, la pression osmotique élevée du cytoplasme tend à faire entrer l'eau dans la bactérie qui se gonfle et grâce à sa paroi rigide, elle est protégée de la lyse osmotique. Par contre, lorsque la bactérie est dans un milieu hypertonique, l'eau va sortir de la cellule bactérienne, ce qui entraîne la **plasmolyse**, qui est le rétrécissement de la membrane cytoplasmique de la cellule bactérienne. La **plasmolyse** est un phénomène important, du fait que la croissance bactérienne est inhibée lorsque la membrane cytoplasmique s'éloigne de la paroi cellulaire.

En milieu naturel, les effets de la **pression osmotique** se produisent principalement dans les écosystèmes aux fortes concentrations en sel (NaCl). Le sel exerce un stress osmotique sur la cellule bactérienne. Trois groupes bactériens sont distingués par rapport à leur comportement en présence de différentes concentrations de sel:

- **Bactéries halophiles**

La croissance est conditionnée par la présence de sel en concentration plus ou moins importantes: de 0,5 à 2,5M **halophiles modérées**

de 2,5 à 5,2M **halophiles extrêmes**

- **Bactéries halotolérantes** qui n'ont pas de besoins spécifiques en sel mais elles le tolèrent.
- **Bactéries non halophiles** qui ne peuvent croître qu'à concentration inférieure à 0,2M.

3.5 Activité de l'eau (A_w)

L'eau représente 80 à 90% 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 A_w (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 microorganismes qui ont besoin d'eau libre pour se développer. L'**activité de l'eau (A_w)** 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 A_w faibles, leur croissance est alors ralentie.

Certains germes ne se développent que pour une valeur de l' A_w supérieure à 0,97. C'est le cas des *Acinetobacter* sp. ($A_w > 0,99$) ou de *Clostridium botulinum* ($A_w > 0,97$). Les *Salmonella* sp. ou *Escherichia coli* commencent à se multiplier pour une valeur de l' A_w 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' A_w de 0,83. Ainsi, le degré d'humidité des aliments a une influence sur leur conservation. Leur séchage est un procédé de conservation fondé en partie sur la diminution de l' A_w . Les endospores peuvent survivre dans un environnement dépourvu d'eau libre.

3.6 Oxygène

Les bactéries diffèrent dans leurs besoins et leur tolérance à l'**oxygène**. C'est vis-à-vis de l'oxygène que les exigences gazeuses des bactéries sont précises. En fonction de leur dépendance à l'oxygène, les bactéries sont réparties en cinq groupes:

*Lors de leur métabolisme énergétique certaines bactéries utilisent l'**oxygène moléculaire** (O_2) comme accepteur final d'électrons. Ces bactéries ont obligatoirement besoin

d'oxygène libre et elles sont qualifiées d'**aérobies strictes**.

*Par contre, les bactéries **anaérobies strictes** ne peuvent se multiplier et survivre qu'en l'**absence d'oxygène**, sa présence leur est **toxique**. Ce sont des bactéries qui ne possèdent ni catalase ni peroxydase ni superoxydedismutase et qui sont donc incapables de détoxifier les composés toxiques formés lors de réactions d'oxydation, comme l'**eau oxygénée (H₂O₂)** et l'**ion superoxyde (O₂⁻)**.

*Les bactéries **aéro-anaérobies (aérobies anaérobies facultatives)** peuvent croître aussi bien en présence qu'en l'absence d'oxygène.

*Les bactéries **anaérobies-aérotolérantes** n'ont pas besoins d'oxygène pour croître mais elles tolèrent sa présence. 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**. L'intolérance de ces bactéries aux concentrations élevées en oxygène s'explique par leur sensibilité aux radicaux superoxydes (O₂⁻) et peroxydes (qu'elles produisent en concentration létales dans un milieu riche en molécule d'O₂).

La culture de bactéries aérobie strictes ou **aéro-anaérobies** ou **anaérobies-aérotolérantes** ne présente pas de difficultés particulières car l'incubation peut être réalisée dans l'atmosphère ambiante. En revanche la culture des bactéries **anaérobies** et **micro-aérophiles** nécessitent une incubation dans une atmosphère **dépourvue d'oxygène** (bactéries anaérobies) ou **appauvrie en oxygène** (bactéries micro-aérophiles).