

## CHAPITRE VI :

# LES PROTEOBACTERIES

Le groupe des protéobactéries est le groupe de bactéries le plus grand et le plus diversifié ; il compte actuellement plus de 500 genres. Bien que les études de l'ARNr 16S montrent qu'elles sont phylogénétiquement apparentées, les protéobactéries offrent à beaucoup d'égards des variations marquées.

La morphologie de ces bactéries Gram négatives va des bâtonnets et coques simples, aux genres formant des prosthèques, des bourgeons et même des fructifications.

Physiologiquement, ces bactéries sont tout aussi diverses. Photoautotrophes, chimiolithotrophes, et chimiohétérotrophes.

La comparaison des séquences de l'ARNr 16S a révélé cinq lignées dans le phylum des *Proteobacteria* : les *Alphaproteobacteria*, les *Bétaproteobacteria*, les *Gammaproteobacteria*, les *Deltaproteobacteria* et les *Epsilonproteobacteria*.

### 1- Classe des *Alphaproteobacteria*

La classe des *Alphaproteobacteria* comprend 7 ordres et 20 familles. Elle inclut la plupart des protéobactéries oligotrophes (celles qui sont capables de croître à des teneurs nutritionnelles faibles). Beaucoup d'entre elles ont évolué pour vivre à l'intérieur des cellules végétales et animales. Certaines *Alphaproteobacteria* ont des métabolismes inhabituels comme la métylotrophie (la capacité d'utiliser le méthane comme source de carbone (*Methylobacterium*), la chimiolithotrophie (*Nitrobacter*) et la capacité de fixer l'azote (*Rhizobium*). Les membres de genres comme *Rickettsia* et *Brucella* sont des pathogènes importants.

#### 1-1-*Rickettsia*

Le genre *Rickettsia* est placé dans l'ordre des *Rickettsiales* et la famille *Rickettsiaceae* des *Alphaproteobacteria*. Ces bactéries sont en forme de bâtonnet, coccoïdes ou pléomorphes, avec des parois Gram négatives typiques et pas de flagelles. Toutes les espèces sont parasites ou mutualistes.

Les rickettsies ont une physiologie et un métabolisme très différents des autres bactéries. Elles ne possèdent pas les voies glycolytiques et n'utilisent pas le glucose comme source d'énergie.

Elles utilisent plutôt le glutamate et des intermédiaires du cycle des acides tricarboxyliques, comme le succinate. La membrane cytoplasmique des rickettsies contient des systèmes transporteurs ; les nutriments et coenzymes de la cellule hôte sont ainsi absorbés et utilisés directement.

Ce genre comprend de nombreux pathogènes importants tels que *Rickettsia prowazekii* *R. typhi* associées au typhus murin et à celui transmis par les poux, et *R. rickettsii* associées à la fièvre pourprée des montagnes rocheuses.

### **1-2- Caulobacteraceae et Hyphomicrobiaceae**

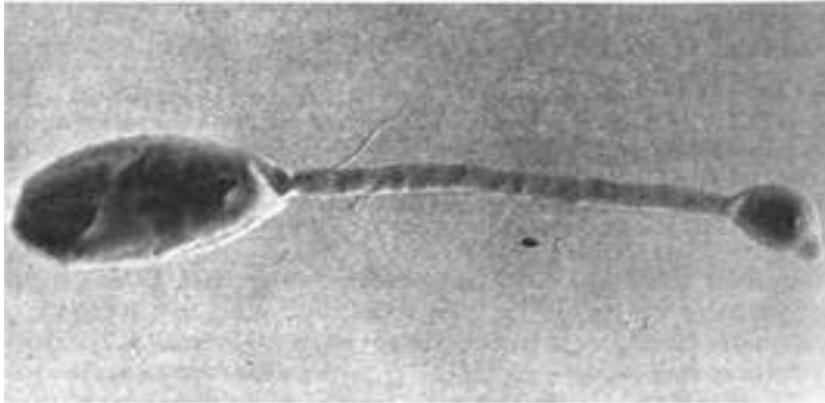
Un certain nombre de *Proteobacteria* ne sont pas de simples bâtonnet ou coques, mais possèdent des sortes d'appendices. Ces bactéries ont des cycles biologiques qui comportent une prosthèques ou une reproduction par bourgeonnement.

Une prosthèque, aussi appelé pédoncule, est une extension de la cellule incluant la membrane cytoplasmique et la paroi cellulaire, plus étroite que la cellule mature. Le bourgeonnement est tout à fait différent que la scissiparité normalement utilisée chez les bactéries. Le bourgeon apparaît d'abord comme un petit protrusion en un point donné, puis il s'agrandit pour former une cellule mature.

Parmi les *Alphaproteobacteria*, les familles des *Caulobacteraceae* et des *Hyphomicrobiaceae* contiennent deux genres à prosthèques les mieux étudiés : *Caulobacter* et *Hyphomicrobium*.

Le genre *Hyphomicrobium* comprend des bactéries bourgeonnantes, aérobies, chimiohétérotrophes qui s'attachent fréquemment à des supports solides dans les milieux dulçaquicoles, marins et terrestres. La physiologie et la nutrition d'*Hyphomicrobium* sont aussi particulières. *Hyphomicrobium* se développe sur l'éthanol et l'acétate et prospère sur des composés monocarbonés comme le méthanol, le formiate et formaldéhyde.

Les bactéries du genre *Caulobacter* ont une morphologie qui alterne bâtonnets à flagelle polaire et cellules avec prosthèque et crampon, crampon grâce auquel elles s'attachent à des supports solides. On isole habituellement les *Caulobacter* à partir d'eaux douces et marines à niveau nutritionnel faible, mais ils sont aussi présents dans le sol.

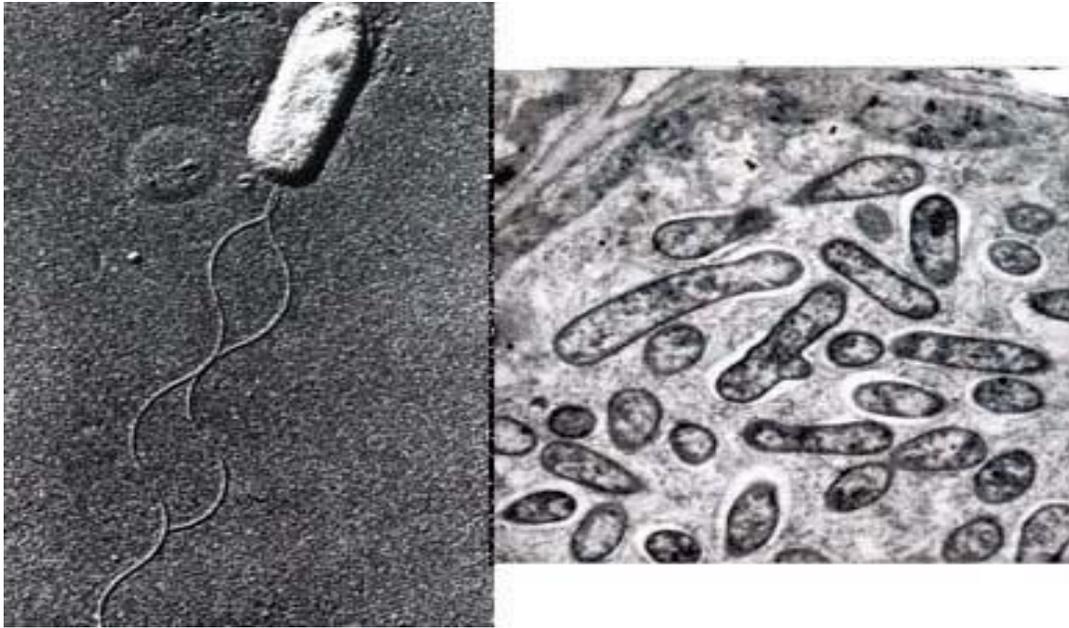


**Figure 01:** Bactéries bourgeonnantes à prosthèque *Hiphomicrobium facilis* avec hyphes et jeunes bourgeons

### 1-3- Ordre des *Rhizobiales*

L'ordre des *Rhizobiales* dans les alphaproteobacteries contient 11 familles avec une grande variété de phénotypes. Une importante famille de cet ordre est celle des *Rhizobiaceae*, où figurent deux genres aérobies, *Rhizobium* et *Agrobacterium*.

Les membres du genre *Rhizobium* sont des bâtonnets mobiles de 0,5 à 0,9 sur 1,2 à 3,0 $\mu$ m, qui deviennent pléomorphes lorsque les conditions sont défavorables. Les cellules contiennent souvent des inclusions de poly  $\beta$  hydroxybutyrate. Elles croissent en symbiose dans les cellules des nodules radiculaires des légumineuses, sous forme de bactéroïdes fixateurs d'azote. En fait les Leguminosae constituent la famille végétale qui a le mieux réussi sur terre, avec plus de 18000 espèces. Leur prolifération est due à leur capacité d'établir des relations symbiotiques avec des bactéries qui forment des nodules sur leurs racines. Dans ces nodules, les microorganismes réduisent ou fixent l'azote atmosphérique sous forme d'ammonium, ce qui le rend directement disponibles à l'hôte végétal.



**Figure 02:** *Rhizobium leguminosarum* (cellule mobile flagellée et bactéroïdes)

Le genre *Agrobacterium* est placé dans la famille des *Rhizobiaceae*, mais diffère de *Rhizobium* parce qu'il est phytopathogène (pathogène des plantes). Les *Agrobacterium* envahissent les collets, racines et tiges de nombreuses plantes et transforment les cellules végétales en cellules tumorales dont la prolifération est autonome. L'espèce la mieux étudiée est *A. tumefaciens* qui pénètre dans beaucoup de plantes à large feuilles par des blessures et est responsable de la maladie de la galle du collet.

L'ordre des *Rhizobiales* inclut aussi la famille des *Brucellaceae*. Le genre *Brucella* est un pathogène important de l'homme et des animaux (notamment le bétail). La brucellose, appelée aussi fièvre ondulante, fièvre de Malte, est une maladie zoonotique : une maladie transmise à l'homme par les animaux.

## 2- Classe des *Betaproteobacteria*

En ce qui concerne le métabolisme, les  $\beta$ -proteobactéries ont des modes communs avec les  $\alpha$ -proteobactéries, mais elles tendent à utiliser des substances libérées par la décomposition organique, dans les régions anoxiques des habitats.

### 2-1- Ordre des *Neisseriales*

L'ordre des *Neisseriales* compte une famille, les *Neisseriaceae*, avec 15 genres. Le genre le plus connu et le plus étudié est *Neisseria*. Les membres de ce genre sont des coques Gram négatifs,

aérobies non mobiles, qu'on trouve le plus souvent par paires avec les côtés adjacents aplatis. Ils peuvent avoir des capsules et des fimbriae. Le genre est chimioorganotrophe, et produit de l'oxydase et de la catalase (on dit qu'il est oxydase positive et catalase positive). Ces bactéries vivent dans les membranes muqueuses des mammifères et certaines sont pathogènes pour l'homme. *Neisseria gonorrhoeae* est l'agent causal de la blennorragie ; *Neisseria meningitidis* est responsable de certains cas de méningite bactérienne.

### **2-2- Ordre des *Burkholderiales***

L'ordre contient quatre familles, dont trois comprennent des genres bien connus. Le genre *Burkholderia* fait partie de la famille des *Burkholderiaceae*. Les membres du genre *Burkholderia* sont des bâtonnets droits, mésophiles, non sporulants, non fermenteurs, aérobies à Gram négatifs. A l'exception d'une espèce, tous sont mobiles grâce à un seul flagelle polaire ou à une touffe de flagelles polaires. Ils produisent de la catalase et sont souvent oxydase positive. La plupart des espèces utilisent le poly  $\beta$  hydroxybutyrate comme réserve de carbone.

### **2-3- Ordre des *Nitrosomonadales***

On trouve un bon nombre de chimiolithotrophes dans l'ordre des *Nitrosomonadales*. Les chimiolithotrophes pédonculé *Gallionella* fait partie de cet ordre. La famille des *Spirillaceae* compte un genre, *Spirillus*.

Deux genres de Bactéries nitrifiantes *Nitrosomonas* et *Nitrospira* sont membres de la famille *Nitrosomonadaceae* et oxydent l'ammonium en nitrite.

### **2-4- Ordre des *Hydrogenophilales***

Ce petit ordre contient *Thiobacillus* et *Acidithiobacillus*, les chimiolithotrophes les mieux étudiés et les plus remarquables des bactéries sulfureuses incolores. La plupart sont unicellulaires en formes de bâtonnets ou spiralées, oxydatrices du soufre, non mobiles ou flagellées.

## **3- Classe des *Gammaproteobacteria***

Les  $\gamma$ -proteobactéries constituent le plus grand sous-groupe des protéobactéries, d'une extraordinaire variété de types physiologiques. Beaucoup de genres importants sont chimioorganotrophes et anaérobies facultatifs. D'autres genres contiennent des chimioorganotrophes aérobies, des photolithotrophes, des chimiolithotrophes ou des méthylotrophes. Ces microbes peuvent être regroupés en superfamilles d'ARNr basées sur le degré de conservation des séquences d'ARNr.

La superfamille I d'ARN ribosomique est représentée par les familles des *Vibrionaceae*, des *Enterobacteriaceae* et des *Pasteurellaceae*. Elle contient principalement des aérobies qui utilisent souvent les voies d'Entner-Doudoroff et des pentoses phosphates pour cataboliser de multiples sortes de molécules organiques différentes. Les genres *Pseudomonas*, *Azotobacter*, *Moraxella*, *Xanthomonas* et *Acinetobacter* appartiennent à cette superfamille.

L'exceptionnelle diversité de ces bactéries est évidente dans le Bergey qui divise la classe des *Gammaproteobacteria* en 14 ordres et 28 familles.

### **3-1- Ordre *Thiotrichales***

L'ordre des *Thiotrichales* comprend trois familles, dont la plus grande est celle des *Thiotrichaceae*. Dans cette famille, plusieurs genres oxydent les composés soufrés. Du point de vue morphologique, on trouve des bâtonnets et des formes filamenteuses.

Deux des genres les mieux étudiés de cette famille sont *Beggiatoa* et *Leucothrix*. *Beggiatoa* est micro aérophile et se développe dans des habitats riches en sulfure, comme les sources sulfureuses, l'eau douce contenant des matières végétales en décomposition, les rizières, les marais salants et les sédiments marins.

*Leucothrix* est un chimioorganotrophe aérobic qui forme de longs filaments ou trichome. Il est habituellement marin et s'attache à des substrats solides au moyen d'un crampon.

### **3-2- Ordre des *Methylococcales***

La seule famille de l'ordre est celle des *Methylococcaceae*. Elle contient des bâtonnets, des vibrions et des coques qui utilisent le méthane et le méthanol comme seules sources de carbone et d'énergie, dans des conditions aérobies ou microaérobies (teneur en oxygène faible). C'est-à-dire qu'il s'agit de méthylotrophes, ce qui les distingue des bactéries qui utilisent exclusivement le méthane comme source de carbone et d'énergie et qu'on appelle méthanotrophe. La famille contient sept genres, dont nous citerons : *Methylococcus* (cellules sphériques non mobiles) et *Methylomonas* (batonnet droits, incurvés ou ramifiés avec un seul flagelle polaire).

### **3-3- Ordre des *Legionnellales***

Deux familles constituent l'ordre des *Legionnellales*. La première est celle des *Legionnellaceae*, avec son seul genre *Legionnella*. La seconde famille est celle des *coxiellaceae* qui a deux genres : *Coxiella* et *Rickettsiella* (à ne pas confondre avec l' $\alpha$ - proteobacteries *Rickettsia*). Tous ces microbes sont des pathogènes intracellulaires qui ont un mode de vie dimorphique.

*Legionella pneumophila* est l'agent d'un type de pneumonie spécifique appelé maladie des Légionnaires. *L. pneumophila* est un parasite intracellulaire des protozoaires qui vivent dans les sols humides et divers environnements aquatiques dont les tours de refroidissement, les conditionnements d'air et les jacuzzis.

*Coxiella* dispose aussi de deux types cellulaires à l'intérieur de ses hôtes, mais son inventaire d'hôtes est beaucoup plus impressionnant : insectes, poissons, oiseaux, rongeurs, ovins, caprins et humains. Dans le cas de *C. burnetti*, la fièvre Q qui en résulte est une maladie qui ressemble à la grippe.

### **3-4- Ordre Pseudomonadales**

*Pseudomonas* est le genre le plus important dans l'ordre des *Pseudomonadales*, familles des *Pseudomonadaceae*. C'est des bâtonnets droits ou légèrement incurvés de 0,5 à 1,0 µm sur 1,5 à 5,0µm de long. Ils sont mobiles grâce à un ou plusieurs flagelles polaires. Ces Chimiohétérotrophes pratiquent habituellement la respiration aérobie. Ils utilisent parfois le nitrate comme accepteur d'électrons dans une respiration anérobies. Toutes les Pseudomonades ont un cycle des acides tricarboxyliques fonctionnel et peuvent complètement oxyder leurs substrats en CO<sub>2</sub>. La plupart des Hexoses sont dégradés par la voie d'EntnerDoudoroff plutôt que celle d'Embden-Meyerhof.

Le genre *Pseudomonas* est un taxon exceptionnellement hétérogène actuellement composé d'environ 60 espèces. Beaucoup peuvent être placées dans l'un des sept groupes d'homologie d'ARNr. Les trois groupes les mieux caractérisés sont subdivisés selon des propriétés comme la présence de poly β hydroxybutirate (PHB), la production d'un pigment fluorescent, la pathogénécité, la présence d'arginine dihydrolase et l'utilisation du glucose. Par exemple, le sous-groupe fluorescent n'accumule pas de PHB, mais produit un pigment vert jaune diffusible, soluble dans l'eau fluorescent sous irradiation UV. *Pseudomonas aeruginosa*, *P. fluorescens*, *P. putida* et *P. syringa* sont membres de ce groupe.

Le genre *Azotobacter* fait aussi partie de la famille des *Pseudomonadaceae*. Le genre est aérobie, catalase positive et fixent l'azote sans symbiose. *Azotobacter* est très répandu dans les sols et dans les eaux.

### **3-5- Ordre des Alteromonadales**

Le genre *Alteromonas* dans l'ordre des *Alteromonadales* concerne des bâtonnets aérobies généralement stricts, droits ou courbés, mobiles avec un flagelle polaire unique. Ils sont mésophiles

et ont besoin de sodium pour leur croissance. De nombreuses espèces de ce genre ont été reclassées dans différents genres du même ordre dont *Marinomonas*, *Pseudoalteromonas* et *Shewanella*.

Trois ordres de  $\gamma$ -protéobactéries, étroitement apparentés, contiennent de nombreux genres bactériens d'importance pratique. Chaque ordre ne comprend qu'une seule famille de bâtonnets Gram-négatifs sont respectivement les ordres des *Vibrionales*, des *Enterobacterales* et des *Pasteurellales*.

### **3-6- Ordre des *Vibrionales***

L'ordre des *Vibrionales* ne comprend qu'une seule famille, les *Vibrionaceae*. Les membres de cette famille sont des bâtonnets flagellés Gram négatifs droits et incurvés. La plupart sont oxydase positive et tous utilisent le D-glucose comme source principale de carbone et d'énergie. En majorité, ce sont des microorganismes aquatiques très répandus dans les eaux douces et dans les mers. Il y a huit genres dans la famille : *Vibrio*, *Photobacterium*, *Salinivibrio*, *Listonella*, *Allomonas*, *Enterovibrio*, *Catencoccus* et *Grimontia*

Plusieurs vibrions sont d'importants pathogènes. *Vibrio cholerae* est l'agent du choléra et *V.parahaemolyticus* peut causer des gastroentérites chez l'homme, après consommation des fruits de mer contaminés. *V.anguillarum* et d'autres sont responsables de maladies chez les poissons en particulier dans les fermes piscicoles.

Plusieurs membres de la famille se distinguent par leur bioluminescence. *Vibrio fischeri*, *V.harveyi* et au moins deux espèces de *Photobacterium* sont parmi les quelques bactéries marines douées de bioluminescence. Elles émettent une lumière bleue verte grâce à l'activité d'une luciférase.

### **3-7- Ordre des *Enterobacterales***

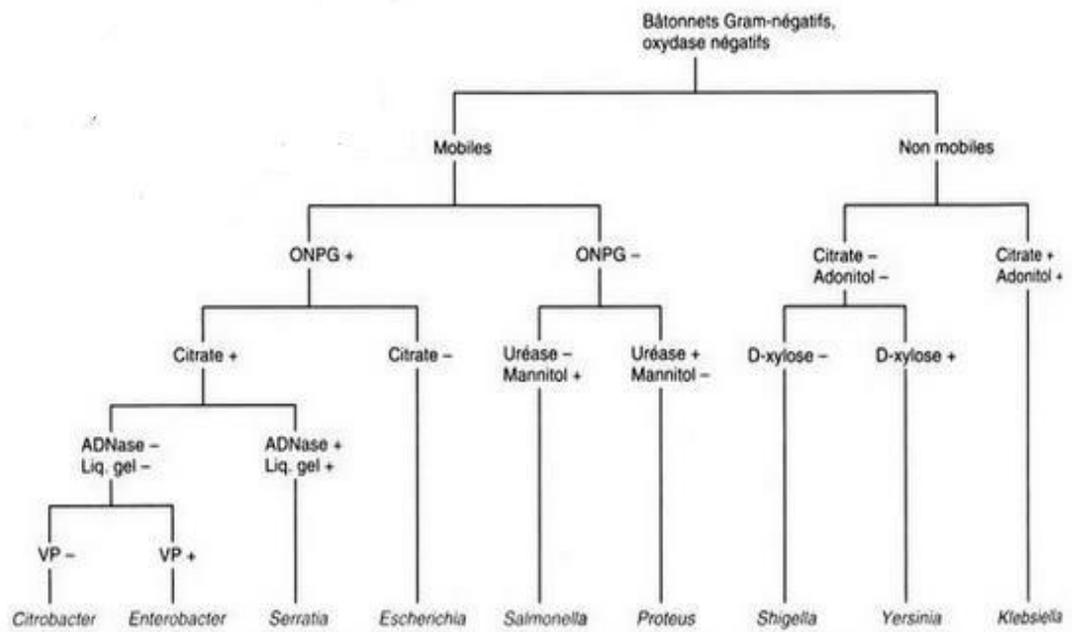
La famille des *Enterobacteriaceae* est plus grande des familles. Elle contient des bâtonnets droits, Gram négatifs, à flagelles péritriches ou non mobiles, anaérobies facultatifs, dont les besoins nutritionnels sont simples. L'ordre des *Enterobacterales* ne compte qu'une famille, les *Enterobacteriaceae*, avec 44 genres.

Les propriétés métaboliques des *Enterobacteriaceae* sont très utiles à la caractérisation des genres. Tous les membres de cette famille, souvent appelés entérobactéries ou bactéries entériques (du grec entrikos, appartenant à l'intestin), dégradent les sucres par la voie d'Embden-Meyerhof. En conditions anoxiques ou microaérobies, la pyruvate formiate lyase clive l'acide pyruvique pour donner de l'acide formique et de l'acétyl-CoA. Ces bactéries entériques qui produisent de grandes

quantités de gaz au cours de la fermentation des sucres, comme *Escherichia* spp., possèdent l'enzyme formiate déshydrogénase (FDH) qui dégrade l'acide formique en H<sub>2</sub> et CO<sub>2</sub>.

La famille peut se diviser en deux groupes, selon les produits de fermentation. La majorité de ces organismes (par exemple, les genres *Escherichia*, *Proteus*, *Salmonella* et *Shigella*) effectuent une fermentation acide mixte et produisent principalement du lactate, de l'acetate, succinate, du formiate (ou H<sub>2</sub> et CO<sub>2</sub>) et de l'éthanol. Au contraire, *Enterobacter*, *Serratia*, *Erwinia* et *Klebsiella* ont une fermentation butanediolique. Les produits principaux de cette fermentation sont le butanediol, l'éthanol et le dioxyde de carbone. Ces deux types de fermentation se distinguent par les tests au rouge de méthyle et de Voges-Proskauer.

Comme les bactéries entériques sont de morphologie tellement semblable, on utilise normalement des tests biochimiques pour les identifier, après un examen préliminaire de leur morphologie, de leur mobilité et de leur croissance. Quelques-uns des tests les plus communément utilisés concernent le type de fermentation, l'utilisation du lactose et du citrate, la production d'indole à partir de tryptophane, l'hydrolyse de l'urée et la production de sulfure d'hydrogène. Par exemple *Escherichia* et *Enterobacter* fermentent le lactose, mais *Shigella*, *Salmonella* ou *Proteus* ne le font pas.



**Figure 03:** Identification des genres entérobactériens selon la mobilité et les caractéristiques biochimiques.

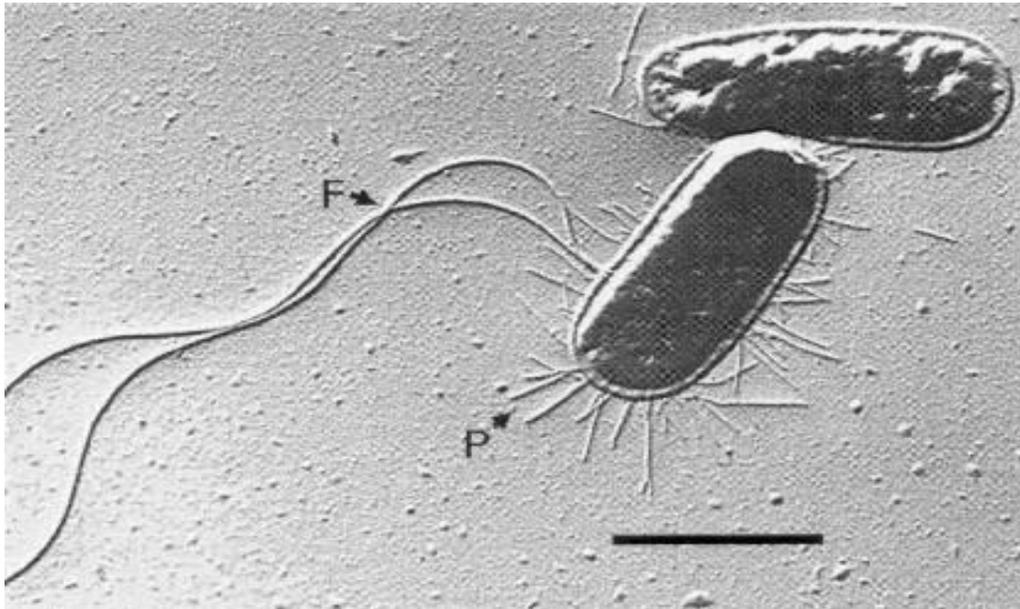
Tableau 01: Caractéristiques des familles de bâtonnets, anaérobies facultatifs

Caractéristiques	<i>Enterobacteriaceae</i>	<i>Vibrionaceae</i>	<i>Pasteurellaceae</i>
<b>Dimensions cellulaires</b>	0,3-1,0 X 1,0-6,0 mm	0,3-1,3 X 1,0-3,5mm	0,2-0,4 X 0,4-2,0mm
<b>Morphologie</b>	Bâtonnets droits ; flagelles péritriches ou non mobiles	Bâtonnets droits ou incurvés, flagelles polaires ; peuvent produire des flagelles latéraux sur milieux solides	Cellules en forme de bâtonnet ou coccoides parfois pléomorphes ; non mobiles
<b>Physiologie</b>	Oxydase-négatives	Oxydases-positives ; peuvent toutes utiliser le D-glucose comme source de carbone unique ou principale	Oxydases-positives ; hème ou NAD souvent requis pour la croissance ; ont besoin d'une source d'azote organique
<b>Contenu en GC</b>	38-60%	38-51%	38-47%
<b>Relations symbiotiques</b>	Certains sont parasites de mammifères et d'oiseaux ; certaines espèces sont phytopathogènes	La plupart non pathogènes ; plusieurs habitent les organes lumineux d'organismes marins	Parasites des mammifères et des Oiseaux
<b>Genres représentatifs</b>	<i>Escherichia, Shigella, Salmonella, Citrobacter, Klebsiella, Enterobacter, Erwinia, Serratia, Proteus, Yesinia</i>	<i>Vibrio, Photobacterium</i>	<i>Pasteurella, Haemophilus</i>

Tableau 02: Quelques caractéristiques de genres sélectionnés parmi les *Enterobacteriaceae*

Caractéristiques	<i>Escherichia</i>	<i>Shigella</i>	<i>Salmonella</i>	<i>Citrobacter</i>	<i>Proteus</i>
Rouge de méthyle	+	+	+	+	+
Voges Proskauer	-	-	-	-	d
Production d'indol	+	D	-	d	d
Utilisation de citrate	-	-	+	+	d
Production d'H <sub>2</sub> S	-	-	+	d	+
Uréase	-	-	-	+	+
β-galactosidase	+	D	D	+	-
Gaz à partir de Glucose	+	-	+	+	+
Acide à partir de lactose	+	-	-	d	-
Phénylalanine désaminase	-	-	-	-	+
Lysine décarboxylase	+	-	+	-	-
Ornithine décarboxylase	+	D	+	+	d
Mobilité	d	-	+	+	+
Liquéfaction de la gélatine (22°C)	-	-	-	-	+
% GC	48-59	49-53	50-53	50-52	38-41
Taille du génome (Mb)	4,6-5,5	4,6	4,5-5,9	4,7-5,1	4,1
Autres caractéristiques	1,1-1,5X2,0-6,0mm péritriches si mobiles	Pas de Gaz à partir des sucres	0,7-1,5X2-5mm ;péritriches	1,0X2-6mm ; péritriches	0,4-0,8X1-3mm ; péritriches

*Escherichia coli* est la bactérie la mieux étudiée et l'organisme expérimental de choix pour beaucoup de microbiologistes. C'est un habitant du colon de l'homme et des autres animaux à sang chaud et il est très utile à l'analyse de la contamination fécale des eaux. Certaines souches induisent des gastroentérites ou des infections des voies urinaires.



**Figure 04:** *E. coli* sou microscope électronique.

Plusieurs genres contiennent des pathogènes humains très importants, responsables de diverses maladies : *Salmonella* pour la fièvre typhoïde et les gastroentérites, *Shigella* pour la dysenterie bacillaire, *Klebsiella* pour la pneumonie et *Yersinia* pour la peste. Les membres du genre *Erwinea* sont des phytopathogène important et sont la cause de rouilles, de flétrissements et de plusieurs autres maladies des plantes cultivées.

### **3-8- Ordre des Pasteurellales**

La famille des *Pasteurellaceae* dans l'ordre des *Pasteurellales* diffère des *Vibrionales* et des *Enterrobacterales* par plusieurs aspects. Citons les plus notables : ces microorganismes sont petits, non mobiles et normalement oxydase positive ; ils ont des besoins nutritionnels complexes, et parasitent des vertébrés. La famille comprend sept genres : *Pasteurella*, *Haemophilus*, *Actinobacillus*, *Lonepinella*, *Mannheimia*, *Phocoenobacter* et *Gallibacterium*.

Comme on peut s'y attendre, les membres de cette famille les mieux connus sont ceux qui causent des maladies chez l'homme et de nombreux animaux. *Pasteurella multocida* est responsable du choléra aviaire qui tue chaque année de nombreux poulets, dindes, canards et oies.

*P. haemolytica* est au moins partie responsable de pneumonies chez les bétails, les moutons et les chèvres. *Haemophilus influenzae* sérotype b est un pathogène majeur de l'homme ; il est la cause de diverses maladies dont la méningite, la sinusite, la pneumonie et la bronchite.

### ❖ Les bactéries nitrifiantes

Le Bergey place les genres nitrifiants dans plusieurs familles. Toutes les bactéries terrestres oxydant l'ammonium appartiennent aux  $\beta$ -proteobactéries et comprennent *Nitrosomonas* et *Nitrospira* dans les *Nitrosomonadaceae*, tandis que les bactéries marines oxydant l'ammonium incluent aussi bien des  $\beta$ -proteobactéries que des  $\gamma$ -proteobactéries comme *Nitrosococcus* dans la famille des Chromatiales.

Les Archées oxydant l'ammonium qui ont été récemment identifiées (non encore reprises dans le Bergey) se retrouvent dans les écosystèmes terrestres et marins.

L'oxydation du nitrite est effectuée par des  $\alpha$ -proteobactéries du genre *Nitrobacter* dans les *Bradyrhizobiaceae* et des  $\gamma$ -proteobactéries du genre *Nitrococcus* dans les *Ectothiorhodospiraceae*.

**Tableau 03:** Caractéristiques de bactéries nitrifiantes représentatives

	Espèce	Morphologie cellulaire et taille (mm)	Reproduction	Mobilité	Cytomembranes	Contenu en GC (mol%)	Habitat
<b>Bactéries oxydant l'ammoniac</b>	<i>Nitrosomonas europaea</i> ( $\beta$ -proteobacteries)	Bâtonnet : 0,8-1,1 X 1,0-1,7	Scissiparité	-	Périphériques, lamellaires	50,6-51,4	Sols, égouts, eaux douces, milieux marins
	<i>Nitrosococcus oceanus</i> ( $\gamma$ -proteobacteries)	Coccoïde : 1,8-2,2 de diamètre	Scissiparité	+ ; 1 ou plusieurs flagelles subpolaires	Faisceau parallèle central, lamellaires	50,5	Obligatoirement marin
	<i>Nitrospira briensis</i> ( $\beta$ -proteobacteries)	Spiralée 0,3-0,4	Scissiparité	+ou- ; 1 à 6 flagelles péritriches	Rares	53,8-54,1	Sols
<b>Bactéries oxydant le nitrite</b>	<i>Nitrobacter winogradskyi</i> ( $\alpha$ -proteobactéries)	Bâtonnet, souvent pyriforme ; 0,5-0,9X1,0-2,0	Bourgeonnement	+ou- ; flagelles polaire	Calotte polaire de vésicules aplaties à la périphérie de la cellule	61,7	Sols, eaux douces, milieux marins
	<i>Nitrococcus mobilis</i> ( $\gamma$ -proteobacteries)	Coccoïdes ; 15-18 de diamètre	Scissiparité	+ ; 1 ou 2 flagelles subpolaires	Cytomembranes tubulaires disposées au hasard dans le cytoplasme	61,3 (1 souche)	Milieux marins

### 5- Classe des *Epsilonproteobacteria*

Les  $\epsilon$ -protéobactéries sont les plus petites bactéries dans les cinq classes de protéobactéries. Ce sont des bâtonnets minces, Gram négatifs qui peuvent être droits, incurvés ou hélicoïdaux. Les  $\epsilon$ -protéobactéries ne comptent qu'un ordre, les *Campylobacterales*, et trois familles, les *Campylobacteraceae*, les *Helicobacteraceae* et les toutes récentes *Nautiliaceae*. Cependant, de récentes analyses phylogénétiques basées sur les séquences d'ARNr PSU de nouveaux organismes cultivés ou non cultivés identifient deux ordres : les *Campylobacterales* (familles *Campylobacteriaceae*, *Helicobacteriaceae* et *Hydrogenimonaceae*) et les *Nautiliales* (genres *Nautilia*, *Caminobacter* et *Lebetimonas*). Deux genres pathogènes, *Campylobacter* et *Helicobacter*, sont des bâtonnets Gram négatifs, microaérophiles, mobiles, hélicoïdaux ou vibroïdes.

Le genre *Campylobacter* contient des espèces aussi bien non pathogènes que pathogènes pour l'homme et les autres animaux. *C. fetus* est responsable d'une maladie de la reproduction et des avortements chez le bétail et les moutons. *C. jejuni* est un fin bâtonnet Gram négatif, mobile, courbé trouvé dans le tractus intestinal des animaux. Rien que pour les États-Unis, on estime à deux millions de cas humains par an de gastroentérite (inflammation de l'intestin ou campylobactériose accompagnée de diarrhée).

L'autre genre pathogène d' $\epsilon$ -protéobactérie est *Helicobacter*. Il y a au moins 23 espèces d'*Helicobacter*, toutes isolées de l'estomac ou de l'intestin grêle de l'homme, du chien, du chat ou d'autres mammifères. Le principal pathogène de l'homme est *Helicobacter pylori*, qui est la cause de la gastrite et d'ulcères gastriques.