

Chapitre 4 :

Etudes des grands groupes bactériens

Les bactéries sont réunies dans le règne des *Procaryotae* qui comprend quatre divisions définies sur la base de la présence ou l'absence d'une paroi cellulaire, et sur sa nature, quand elle est présente.

Les trois premières divisions sont formées d'Eubactéries dont les deux premières possèdent une paroi alors que la 3eme en dépourvue. La 4eme division regroupe l'ensemble des Archaeobactéries qui ont pour la plupart une paroi mais elle est de structure et de compositions différentes de celles des Eubactéries.

Les 4 divisions de bactéries sont dénommées et définies de la manière suivante :

- ✚ **Gracilicutes** "*Gracilis cutis*" peau fine, sont les eubactéries possédant une paroi de type Gram négatif ; composée de deux éléments : le peptidoglycane et la membrane externe qui leur est spécifique.
- ✚ **Firmicutes** "*Firmus cutis*" peau dure sont les eubactéries ayant une paroi type Gram positif, formée d'un seul élément le peptidoglycane.
- ✚ **Ténéricutes** "*Tener cutis*" peau tendre. Sont les Eubactéries dépourvues de paroi, leur membrane cytoplasmique constituant leur enveloppe externe.
- ✚ **Mendosicutes** "*mendosus cutis*" peau défectueuse. C'est l'ensemble des Archaeobactéries qui en général possèdent une paroi mais certaines espèces ont dépourvues. Quand elle est présente, la paroi est de composition chimique différente de celle des eubactéries mais elle possède le même type de structure et le même rôle.

1. Les bactéries photosynthétiques

Les bactéries photosynthétiques sont capables de transformer l'énergie lumineuse en une énergie chimique par photosynthèse.

Les bactéries photosynthétiques sont répartis dans cinq phylums bactériens ;

- Les **Proteobacteries** photosynthétiques, phylum Proteobacteria
- Les **Chlorobi** (les bactéries vertes sulfureuses), Phylum Chlorobi
- Les **Chloroflexi** (bactéries vertes filamenteuses), Phylum Chloroflex
- Les **Firmicutes photosynthétiques (héliobactéries)**, Phylum Firmicutes
- **Les Cyanobactéries**, Phylum Cyanobacteria

1.1 Phylum des Chlorobi (bactéries vertes sulfureuses)

Le phylum des Chlorobi n'a qu'une seule classe (les *Chlorobia*), un seul ordre (les *Chlorobiales*) et une seule famille (les *Chlorobiaceae*).

Leur nom provient de ce que la majorité des espèces sont vertes grâce à la bactériochlorophylles caractéristiques, principalement **Bchl c**, **Bchl d** ou **Bchl e**. Les autres sont de couleur brune, principalement à cause de pigments caroténoïdes.

Les bactéries vertes sulfureuses forment un petit groupe de **photolithotrophes anaérobies obligatoires** qui utilisent le **sulfure d'hydrogène**, le **soufre élémentaire** et **l'hydrogène** comme sources d'électrons.

Ces bactéries sont plus abondantes dans les zones lacustres anoxiques et riches en sulfures. Bien qu'elles soient dépourvues de flagelles et non mobiles, certaines espèces possèdent des vésicules gazeuses permettant de choisir la profondeur optimale pour la lumière et le sulfure d'hydrogène. Les pigments photosynthétiques de ces bactéries sont localisés dans des vésicules ellipsoïdes, appelées **chlorosomes** ou vésicules de chlorobium qui

sont fixés à la membrane cytoplasmique mais ne sont pas en continuité avec elle.

On trouve les formes dépourvues de vésicules gazeuses dans les boues riches en sulfure du fond des lacs et des étangs. Les bactéries vertes sulfureuses sont très diverses du point de vue morphologique. Elles peuvent être en forme de **bâtonnet**, **coque** ou de **vibrion** ; certaines se développent isolément, d'autres forment des chaînes et des amas. Elles sont de couleur vert pré ou brun chocolat. Comme genre représentatifs, citons ***Chlorobium***, ***Prosthecochloris*** et ***Pelodictyon***.

Domaine. Bacteria

Phylum XI. Chlorobi

Classe I. Chlorobia

Ordre I. Chlorobiales

Famille I. Chlorobiaceae

Genre I. Chlorobium

Genre II. Ancalochloris

Genre III. Chlorobaculum

Genre IV. Chloroherpeton

Genre V. Pelodictyon

Genre VI. Prosthecochloris

1-2-Le phylum des Chloroflexi (bactéries vertes non sulfureuses)

Le phylum des Chloroflexi compte à la fois des membres photosynthétiques et non photosynthétiques. *Chloroflexus* est le principal représentant des bactéries vertes non sulfureuses.

Chloroflexus est une bactérie **thermophile**, **filamenteuses** et **mobiles** par **glissement** ; souvent isolée de sources chaudes neutres à alcalines, où elle

se développe sous forme de tapis orange rougeâtre, habituellement en association avec des cyanobactéries.

Phylum VI. Chloroflexi

Classe I. Chloroflexi

Ordre I. Chloroflexales

Famille I. Chloroflexaceae

Genre I. Chloroflexus

Genre II. Chloronema

Genre III. Heliothrix

Genre IV. Roseiflexus

Famille II. Oscillochloridaceae

Genre I. Oscillochloris

Ordre II. Herpetosiphonales

Famille I. Herpetosiphonaceae

Genre I. Herpetosiphon

1-3-Le phylum des Cyanobacteria

Forment le groupe le plus vaste et le plus diversifié de bactéries photosynthétiques. Bien que **les cyanobactéries** soient des bactéries **Gram négatives**, leur système photosynthétique ressemble étroitement à celui des eucaryotes parce qu'elles possèdent de la **chlorophylle a** et **les photosystèmes I et II** effectuant ainsi une photosynthèse **oxygénique**. Les cyanobactéries endosymbiotiques sont considérées comme ayant évolué en chloroplastes.

La structure des Cyanobacteria est typique des autres Gram-négatives par l'existence d'une paroi cellulaire multicouche contenant du **peptidoglycane** et par la présence d'une membrane externe. Cependant, en plus de ces structures leur paroi contient aussi des couches supplémentaires. Les cyanobactéries possèdent la **chlorophylle a**, **cytochromes** et des pigments caractéristiques uniques, appelés **phycobilines**, dont **l'allophycocyanines**, la **phycocyanine**, et la **phycoerythrine**.

Les cyanobactéries varient aussi grandement en forme et en aspect. Elles ont un diamètre qui varie d'environ 1 à 10µm et peuvent être unicellulaires, en colonies de différentes formes ou constituer des filaments trichomes. Un trichome est une rangée de cellules bactériennes en contact étroit l'un avec l'autre, sur une grande surface. Bien que la plupart des cyanobactéries apparaissent bleu vert à cause de la phycocyanine, des isolats prélevés en plein océan sont rouges ou bruns, à cause de la phycoérythrine.

Phylum X. Cyanobacteria	
Classe I. Cyanobacteria	Genre V. Halospirulina
Sous-section I. Sous-section 1	Genre VI. Leptolyngbya
Famille I. Famille 1.1	Genre VII. Limnothrix
Genre I. Chamaesiphon	Genre VIII. Lyngbya
Genre II. Chroococcus	Genre IX. Microcoleus
Genre III. Cyanobacterium	Genre X. Oscillatoria
Genre IV. Cyanobium	Genre XI. Planktothrix
Genre V. Cyanothece	Genre XII. Prochlorothrix
Genre VI. Dactylococcopsis	Genre XIII. Pseudanabaena
Genre VII. Gloeobacter	Genre XIV. Spirulina
Genre VIII. Gloeocapsa	Genre XV. Starria
Genre IX. Gloeotheca	Genre XVI. Symploca
Genre X. Microcystis	Genre XVII. Trichodesmium
Genre XI. Prochlorococcus	Genre XVIII. Tychonema
Genre XII. Prochloron	Sous-section IV. Sous-section 4
Genre XIII. Synechococcus	Famille I. Famille 4.1
Genre XIV. Synechocystis	Genre I. Anabaena
Sous-section II. Sous-section 2	Genre II. Anabaenopsis
Famille I. Famille 2.1	Genre III. Aphanizomenon
Genre I. Cyanocystis	Genre IV. Cyanospira
Genre II. Dermocarpella	Genre V. Cyindrospermopsis
Genre III. Stanieria	Genre VI. Cyindrospermum
Genre IV. Xenococcus	Genre VII. Nodularia
Famille II. Famille 2.2	Genre VIII. Nostoc
Genre I. Chroococcidiopsis	Genre IX. Scytonema
Genre II. Myxosarcina	Famille II. Famille 4.2
Genre III. Pleurocapsa	Genre I. Calothrix
Sous-section III. Sous-section 3	Genre II. Rivularia
Famille I. Famille 3.1	Genre III. Tolypothrix
Genre I. Arthrospira	Sous-section V. Sous-section 5
Genre II. Borzia	Famille I. Famille 5.1
Genre III. Crinalium	genre Chlorogloeopsis
Genre IV. Geitlerinema	

Le manuel de *Bergey's of systematic bacteriology* décrit 56 genres, Groupés en cinq sous sections. Celles-ci se distinguent par la morphologie de la cellule ou du filament et les modes de reproduction. Quelques autres propriétés importantes pour la caractérisation des cyanobactéries sont l'ultrastructure, les caractéristiques génétiques, la physiologie et la biochimie et l'habitat/écologie.

1-4 Phylum des Proteobacteria photosynthétiques

Les Proteobacteria photosynthétiques sont communément appelées **bactéries pourpres** en raison de leur couleur rougeâtre ou violacée. Les Proteobacteria photosynthétiques sont divisées en 2 sous-groupes. Les **bactéries pourpres sulfureuses** sont dans les γ -protéobactéries (classe *Gamma-proteobacteria*) dans les familles des *Chromatiaceae* et des *Ectothiorhodospiraceae*. Les bactéries **pourpres non sulfureuses** se distribuent entre les **α -protéobactéries** (cinq familles différentes) et 2 familles des **β -protéobactéries**.

1.4.1- Bactéries pourpres sulfureuses

Les bactéries pourpres sulfureuses sont des Gammaproteobacteries, ce sont des anaérobies stricts, généralement photolithoautotrophes. Le Bergey divise ces bactéries en deux familles : **les *Chromatiaceae*** et **les *Ectothiorhodospiraceae*** dans l'ordre des *Chromatiales*. La famille des *Ectothiorhodospiraceae* compte huit genres. Mais la majorité des bactéries pourpres sulfureuses se trouvent dans la famille des *Chromatiaceae* avec 26 genres.

Les **bactéries pourpre sulfureuses** sont des grandes bactéries unicellulaires pouvant atteindre plus de 6.0 μm de diamètre. Une grande partie sont mobiles par des flagelles polaires. Certaines ont des vacuoles gazeuses et toutes sont capables d'utiliser **le sulfure d'hydrogène (H_2S)** comme donneur d'électron dans la photosynthèse et forment des granules de soufre élémentaire dans leurs cellules. Le soufre est ensuite oxydé en sulfate SO_4^{2-} .

Les bactéries pourpre sulfureuses ont pour habitat les zones anoxiques euphotique des lacs, les milieux aquatiques où s'accumule le sulfure d'hydrogène.

Les cellules d'*Ecthorhodospira* font des dépôts extracellulaires de globules de soufre. Les *Chromatiaceae* oxydent le sulfure d'hydrogène en soufre et le déposent à l'intérieur de la cellule sous forme de granules de soufre.

1.4.2- Bactéries pourpres non sulfureuses

Toutes les bactéries pourpres non sulfureuses sont des Alphaproteobacteries, à l'exception de *Rhodocylus*, une Bétaproteobactérie. Ces bactéries pratiquent la photosynthèse **anoxygénique** et possèdent les bactériochlorophylles a ou b.

Elles se développent normalement en anaérobiose, comme photoorganohétérotrophes ; elles captent l'énergie lumineuse et utilisent des molécules organiques comme source à la fois d'électrons et de carbone.

Les bactéries pourpres non sulfureuses ont une morphologie très variable. La plupart sont mobiles avec des flagelles polaires. Elles peuvent être en spirale (*Rhodospirillum*), en bâtonnet (*Rhodopseudomonas*), en demi-cercle ou en cercle (*Rhodocyclus*) et même former des prosthèques ou des bourgeons (*Rhodomicrobium*).

1.5 Phylum Firmicutes (Héliobactéries)

Les Héliobactéries sont des bactéries Gram-positives photosynthétiques, anaérobies strictes, inhabituelles, caractérisées par la présence de **bactériochlorophylle g**.

Les Héliobactéries offrent un excellent exemple de la diversité de la classe des *Clostridia* du phylum des Firmicutes. La famille des *Heliobacteriaceae* comprend quatre genres : *Heliobacterium*, *Heliophilum*, *Heliorestis* et *Heliobacillus*. Toutes les héliobactéries connues ont une forme bâtonnet ou filamenteuse. Cependant, *Heliophilum* prend une morphologie inhabituelle en se disposant en amas mobile.

Elles possèdent un centre réactionnel de type **photosystème I** comme les bactéries vertes sulfureuses, mais n'ont pas de membranes photosynthétiques intracytoplasmiques ; les pigments sont situés dans la membrane cytoplasmique.

Les héliobactéries produisent des **endospores** riches en calcium et en acide dipicolinique. Elles sont toutes **photohétérotrophes** exigeant une source de carbone organique pour croître, et en grand égard ressemblent aux bactéries photohétérotrophes pourpres non-sulfureuses. Les sources de carbone acceptables englobent des acides organiques comme l'acétate ou le pyruvate.

Les héliobactéries se trouvent dans des environnements comme les sols alcalins. Leur distribution et leur fonction dans les habitats terrestres ne sont pas bien comprises.

Bactéries pourpres sulfureuses	Bactéries pourpres non-sulfureuses
Classe III. Gammaproteobacteria	Classe I. Alphaproteobacteria
Ordre I. Chromatiales	Ordre I. Rhodospirillales
Famille I. Chromatiaceae	Famille I. Rhodospirillaceae
Genre I. <i>Chromatium</i>	Genre I. <i>Rhodospirillum</i>
Genre II. <i>Allochromatium</i>	Genre V. <i>Phaeospirillum</i>
Genre III. <i>Amoebobacter</i>	Genre VII. <i>Rhodospira</i>
Genre IV. <i>Halochromatium</i>	Genre VIII. <i>Rhodovibrio</i>
Genre V. <i>Isochromatium</i>	Genre IX. <i>Roseospira</i>
Genre VI. <i>Lamprobacter</i>	Famille II. Acetobacteraceae
Genre VII. <i>Lamprocystis</i>	Genre XIII. <i>Rhodopila</i>
Genre VIII. <i>Marichromatium</i>	Ordre III. Rhodobacterales
Genre IX. <i>Nitrosococcus</i>	Famille I. Rhodobacteraceae
Genre X. <i>Pfennigia</i>	Genre I. <i>Rhodobacter</i>
Genre XI. <i>Rhabdochromatium</i>	Genre XIX. <i>Rhodobaca</i>
Genre XII. <i>Rheinheimera</i>	Genre XX. <i>Rhodotalassium</i>
Genre XIII. <i>Thermochromatium</i>	Genre XXI. <i>Rhodovulum</i>
Genre XIV. <i>Thioalkalicoccus</i>	Ordre VI. Rhizobiales
Genre XV. <i>Thiobaca</i>	Famille VIII. Bradyrhizobiaceae
Genre XVI. <i>Thiocapsa</i>	Genre IX. <i>Rhodopseudomonas</i>
Genre XVII. <i>Thiococcus</i>	Famille IX. Hyphomicrobiaceae
Genre XVIII. <i>Thiocystis</i>	Genre XVI. <i>Rhodomicrobium</i>
Genre XIX. <i>Thiodictyon</i>	Genre XVII. <i>Rhodoplanes</i>
Genre XX. <i>Thioflaviccoccus</i>	Famille XI. Rhodobiaceae
Genre XXI. <i>Thiohalocapsa</i>	Genre I. <i>Rhodobium</i>
Genre XXII. <i>Thiolamprovum</i>	
Genre XXIII. <i>Thiopedia</i>	Classe II. Betaproteobacteria
Genre XXIV. <i>Thiorhodococcus</i>	Ordre I. Burkholderiales
Genre XXV. <i>Thiorhodovibrio</i>	Famille IV. Comamonadaceae
Genre XXVI. <i>Thiospirillum</i>	Genre XV. <i>Rhodoferax</i>
Famille II. Ectothiorhodospiraceae	Genera Incertae sedis ^b
Genre I. <i>Ectothiorhodospira</i>	Genre V. <i>Rubrivivax</i>
Genre II. <i>Alcalilimnicola</i>	Ordre VI. Rhodocyclales
Genre III. <i>Alkalispirillum</i>	Famille I. Rhodocyclaceae
Genre IV. <i>Arhodomonas</i>	Genre I. <i>Rhodocyclus</i>
Genre V. <i>Halorhodospira</i>	
Genre VI. <i>Nitrococcus</i>	
Genre VII. <i>Thioalkalispira</i>	
Genre VIII. <i>Thialkalivibrio</i>	
Genre IX. <i>Thiorhodospira</i>	

2-Les bactéries autotrophes

Les autotrophes créent leur propre nourriture au moyen de la fixation du carbone, c'est à dire que les autotrophes obtiennent le carbone dont ils ont besoin directement du dioxyde de carbone (CO₂) atmosphérique, à partir duquel ils synthétisent tous leurs constituants organiques complexes. Cette transformation est réalisée au travers d'un mécanisme appelé photosynthèse.

Les autotrophes peuvent être soit **photoautotrophes** utilisant la lumière comme source d'énergie afin de fixer le carbone ou **chimioautotrophes** qui utilisent d'autres substances chimiques comme source d'énergie comme le sulfure d'hydrogène, le soufre, l'ammonium et le fer.

3- Les bactéries hétérotrophes à Gram négatif

3-1-Les Spirochaetes

Le phylum des Spirochaetes (du grec *spira*, un enroulement, et *chaitè*, cheveu) contient des bactéries **Gram négatives chimiohétérotrophes**, distinctes par leur structure et leur mécanisme de mobilité.

Le Bergey divise le phylum des Spirochaetes en une classe, un ordre (les *Spirochaetales*) et trois familles (les *Spirochaetaceae*, les *Serpulinaceae*, et les *Leptospiraceae*). Actuellement, le phylum englobe treize genres.

Les spirochètes peuvent être anaérobies, anaérobies facultatifs ou aérobies. Ils utilisent comme source de carbone et d'énergie, des hydrates de carbone, des acides aminés, des acides gras à longue chaîne et des alcools gras à longue chaîne.

Les spirochètes ont une morphologie unique, elles sont de longues bactéries fines (0,1 à 3µm sur 5 à 250µm) en forme **d'hélice souple**. Les spirochètes ont une morphologie spiralée qui leur donne l'apparence d'un ressort de métal dont les spires sont plus ou moins serrées selon l'espèce. Le cylindre protoplasmique central contient du cytoplasme et le nucleoïde et il est entouré d'une membrane cytoplasmique et d'une paroi cellulaire Gram

négatives. Il contient de deux à plus d'une centaine de **flagelles**, appelés **fibrilles axiales** ou **flagelles périplasmiques**, s'étendent à partir des deux extrémités du cylindre.

La mobilité des Spirochètes est spécifiquement adaptée au mouvement dans des solutions très visqueuses.

D'un point de vue écologique, le groupe est exceptionnellement varié et il se développe dans des habitats aussi divers que la boue et la bouche de l'homme. Les membres du genre *Spirochaeta* vivent libres et croissent souvent dans des milieux dulçaquicoles ou marins, anoxiques et riches en sulfure. Certaines espèces du genre *Leptospira* se développent dans l'eau chargée en oxygène et dans le sol humide. Des Spirochètes forment des associations symbiotiques avec d'autres organismes et se retrouvent dans des endroits très divers : dans l'intestin postérieur des termites et des blattes, dans l'appareil digestif des mollusques (*Cristispira*) et des mammifères, dans les cavités buccales des animaux. Les Spirochètes des intestins de termites et des sédiments d'eau douce peuvent fixer l'azote.

3-2-Les Bacteroidetes

Le phylum des *Bacteroidetes* est très diversifié. Il compte trois classes (*Bacteroides*, *Flavobacteria* et *Sphingobacteria*), 12 familles et 63 genres.

La classe des **Bacteroides** contient des bâtonnets Gram négatifs de formes variées, anaérobies, non sporulants, mobiles ou non mobiles. Ces bactéries sont des chimiohétérotrophes et produisent habituellement un mélange d'acides organiques comme produits finaux de la fermentation. Ces bactéries se développent dans des habitats comme la cavité buccale et le tractus intestinal des vertébrés et le rumen des ruminants.

3-3-Les Verrucomicrobia

Le Bergey recense un seul ordre et une seule classe dans ce phylum des *Verrucomicrobia*. En effet, ce phylum ne contient qu'un tout petit nombre de souches cultivées, la plupart desquelles étant des hétérotrophes aérobies ou anaérobies qui poussent sur milieu complexe. En 2007, un nouveau membre

de ce phylum a été décrit : *Acidiméthylosilex fumarolicum*. La découverte et la mise en culture de cette bactérie sont absolument dignes d'attention car elle est thermophile, acidophile et méthanotrophe (capable d'utiliser le méthane comme source d'énergie et de carbone).

3.4-Les Fusobacteria

Les bactéries fusiformes constituent un autre embranchement d'anaérobies. Les bactéries sont souvent polymorphes mais comme l'indique leur nom, elles ont généralement la forme d'un fuseau (*fusus* = fuseau). **Fusobacterium** c'est le genre des bactéries anaérobies immobiles, sous forme de longs bâtonnets minces dont les extrémités sont plutôt pointues qu'arrondies.

Chez les humains, on les trouve le plus souvent dans le sillon gingival, elles sont responsables d'abcès dentaires, et dans l'intestin. L'espèce la plus rencontrée est *F. nucleatum*

4- Les bactéries hétérotrophes à Gram positif

Les bactéries à Gram positif sont divisées en deux grandes catégories, selon que leur rapport guanine-cytosine (G+C) élevé ou faible ; elles sont donc classées dans des embranchements distincts: **les Firmicutes** (faible teneur en G + C) et les **Actinobacteria** (forte teneur en G + C).

4.1- Les bactéries à Gram positifs faibles en GC% = L'embranchement des Firmicutes

Le phylum des Firmicutes est divisé en trois classes ; les Clostridia, les Bacilli. et les Mollicutes qui sont aussi considérés comme Gram positifs pauvre en G+C, bien qu'ils n'aient pas de paroi cellulaire.

4.1.1- Classe des Clostridia

La classe des *Clostridia* regroupe une très large variété de bactéries Gram positives. Le genre *Clostridium* est de loin le plus grand des *Clostridia*. Il comprend des bactéries Gram positives, fermentatives, anaérobies strictes

(bien que certaines espèces puissent résister l'oxygène), formant des endospores.

Comme ils sont anaérobies et forment des endospores résistantes à la chaleur, ils sont responsables de nombreux cas de nourriture avariée, même en boîte de conserve. Bien que les clostridies aient une valeur industrielle (exemple *C. acetobutylicum* utilisé pour la production de butanol), les espèces pathogènes qui produisent des toxines sont les mieux connues. ; *C. perfringens* est l'agent causal de la gangrène gazeuse et l'intoxication alimentaire. *C. butulinum* est l'agent responsable du botulisme et *C. tetani* celui du tétanos.

4-1-2-La classe des *Bacilli*

La seconde édition du *Bergey* rassemble une grande variété de bactéries Gram positives en une seule classe, les ***Bacilli***, et deux ordres, les ***Bacillales*** et les ***Lactobacillales***. Ces ordres contiennent 17 familles et plus de 70 genres Gram positifs, comprenant des coques, des batonnets et des coques sporulants, et des batonnets non sporulants.

➤ **L'ordre des *Bacillales***

• **Familles des *Bacillaceae***

Le genre *Bacillus*, famille des *Bacillaceae*, est le plus vaste de l'ordre. Il comprend des **bâtonnets Gram positifs, sporulants**, chimiohétérotrophes, qui sont généralement mobiles, avec des flagelles péritriches. Le genre est aérobie, ou parfois facultatif, et catalase positif. On les trouve fréquemment dans le sol et seulement quelques espèces sont pathogènes pour l'homme.

Bacillus subtilis, l'espèce type de genre, est la bactérie Gram positive la mieux étudiée elle peut utiliser le nitrate comme accepteur terminal d'électrons ou effectuer une fermentation acide mixte qui fournit du lactate, de l'acétate et de l'acétoïne comme produits terminaux majeurs. Non pathogène, on retrouve *B. subtilis* facilement sous forme de spores dans une grande diversité de sols. En forme végétative lorsqu'elle est associée étroitement avec les racines des plantes ou avec du matériel en

décomposition sur lequel elle se développe. *B. subtilis* peut aussi former des biofilms.

Bacillus cereus est une bactérie fréquemment présente dans l'environnement et parfois responsable d'intoxications alimentaires, dues le plus souvent à l'ingestion de féculents, tels que le riz, et à des conditions inadéquates de réfrigération.

Bacillus anthracis est responsable de l'anthrax ou la maladie du charbon, une maladie qui affecte les bœufs, les moutons et les chevaux et l'homme.

Bacillus thuringiensis est probablement l'agent pathogène microbien des insectes le mieux connu. Il produit des cristaux intracellulaires lors de la sporulation. Des produits commerciaux contenant des endospores et des toxines cristallines de *B. thuringiensis* sont utilisées comme bioinsecticide.

Beaucoup d'espèces de *Bacillus* ont une importance considérable. Certaines produisent des antibiotiques comme la bacitracine, la gramicidine et la polymyxine.

- **Famille des *Panococcaceae***

Sporosarcina est une bactérie qui appartient à l'un des cinq genres de la famille des *Panococcaceae* et c'est la seule bactérie à endospores connue, qui a une forme coccoïdes plutôt que celle d'un batonnet.

- **Famille des *Staphylococcaceae***

La famille des *Staphylococcaceae* comprend cinq genres, dont le plus important est le genre ***Staphylococcus***. Les membres de ce genre sont des **coques Gram positifs**, anaérobies facultatifs, non mobiles de 0,5 à 1,5µm de diamètre, observables seuls, en paires et en tétrades, et se divisant de façon caractéristique sous plus d'un plan pour former des amas irréguliers. **Catalase positifs** et **oxydase négatifs**, ils respirent avec l'oxygène pour accepter terminal d'électrons, bien que certains soient capables de réduire le nitrate en nitrite. Ils fermentent le glucose principalement pour donner du lactate. Les staphylocoques sont normalement associés à la peau, aux

glandes cutanées et aux muqueuses des animaux à sang chaud. Les staphylocoques sont responsables de nombreuses maladies humaines.

Staphylococcus epidermidis est un résident commun de la peau qui est parfois responsable d'endocardites et d'infections chez des patients moins résistants (infections des blessures, infections chirurgicales, infections de l'appareil urinaire, piercing corporels).

Staphylococcus aureus est le staphylocoque pathogène le plus important chez l'homme, il est la cause de furoncles, d'abcès, d'infections de blessures, de pneumonies..., il constitue aussi une des causes principales d'intoxication alimentaire. La coagulase, qui provoque la coagulation du plasma sanguin, est l'un des facteurs de virulence par *S.aureus*.

- **Famille des *Listeriaceae***

La famille des *Listeriaceae* comprend deux genres : *Brocothrix* et *Listeria*. *Brocothrix* est surtout observé dans la viande, non pathogène.

Le genre *Listeria*, de la famille *Listeriaceae* contient des **bâtonnets courts**, aérobies ou facultatifs, **catalase positifs** et **mobiles** avec flagelles péritriches. Il est largement distribué dans la nature, particulièrement dans la matière en décomposition. Doués de respiration aérobie, ces microbes fermentent le glucose

Listeria monocytogenes, pathogène pour l'homme et les autres animaux, est responsable de la listériose, une infection alimentaire importante.

- **L'ordre des *Lactobacillales***

Plusieurs membres de l'ordre des *Lactobacillales* produisent de l'acide lactique comme principal ou unique produit de fermentation. ***Streptococcus*, *Enterococcus*, *Lactococcus* et *Leuconostoc*** sont membres de ce groupe.

Les bactéries lactiques sont habituellement immobiles non sporulantes, Pour leur énergie elles dépendent normalement de la fermentation des sucres. Pour leur énergie elles dépendent normalement de la fermentation des

sucres. Elles sont des **anaérobies facultatifs**, mais certains les considèrent comme des aérotolérants.

- Le genre *Lactobacillus* : le plus grand dans l'ordre des *Lactobacillales*. avec près de 100 espèces. Les membres de ce genre sont des bâtonnets non sporulants et parfois des coccobacilles. Tous sont dépourvus de catalase et de cytochrome, et donnent de l'acide lactique comme produit de fermentation unique ou majeur. Les lactobacilles pratiquent soit une fermentation hommolactique par voie d'Embden Meyerhof, soit une fermentation hétérolactique par la voie de phosphocétolase. On trouve ce genre à la surface des plantes, des produits laitiers, la viande, l'eau, les égouts, la bière, les fruits et beaucoup d'autres produits. Les lactobacilles font aussi partie de la flore normale du corps humain : dans la bouche, le tractus intestinal et le vagin. Habituellement, ils ne sont pas pathogènes. En industrie alimentaire sont utilisés pour la production des yogourts, de beurre,...

- *Leuconostoc*, famille des *Leuconostocaceae* contient des coques Gram positifs facultatifs qui peuvent être allongés ou ellipsoïdaux et disposés par paires ou en chaînes.

La famille des *Streptococcaceae* comprend seulement deux genres : *Lactococcus* et *Streptococcus*.

-*Streptococcus* : Les espèces du genre *Streptococcus* sont des bactéries à Gram positif sphériques, non sporulées et non mobiles, aéro-anaérobie facultatives, catalase et oxydase négatives, généralement non capsulées, isolées ou disposées en chaînettes caractéristiques plus ou moins longues.

Ces bactéries se cultivent à 37°C et à pH relativement neutre (6,5- 7,5). Certaines espèces sont exigeantes et nécessitent des milieux enrichies au sérum et au sang. Les streptocoques pathogènes produisent plusieurs substances extracellulaires qui contribuent à leur pathogénicité, Certaines de ces substances détruisent les phagocytes. Le principal pathogène chez l'homme est *S.pyogenes*, responsable de l'angine, de la glomérulonéphrite

aigue et de la fièvre rhumatoïde. On classe les streptocoques selon plusieurs critères, notamment en fonction du type d'hémolysine produite, de la présence ou non sur la paroi cellulaire d'un antigène spécifique de chaque groupe, et du pouvoir pathogène.

-*Enterococcus* (Streptocoques fécaux) : des coques Gram positives, non sporulantes, mésophiles. Ce sont des bactéries commensales vivant dans l'intestin de l'homme et preuve de contamination d'origine fécale, de l'eau ou des aliments. Ce sont des microbes relativement résistants, qui sont devenues une des principales causes d'infections nosocomiales, surtout en raison de leur grande résistance à la plupart des antibiotiques. *E. faecalis* et *E. faecium* sont à l'origine d'une bonne partie des infections des plaies chirurgicales et de celles des voies urinaires.

4-2. Bactéries à Gram positif à forte teneur en GC% : les *Actinobacteria*

Les bactéries à Gram positif à forte teneur en G + C. sont regroupées dans l'embranchement des *Actinobacteria*. Sont des organismes mycéliens ; c'est-à-dire que les cellules forment des filaments et des ramifications. Elles ont donc un type de croissance rappelle celui des champignons filamenteux. Un des premiers organismes étudiés de ce type est le genre *Actinomyces*, qui a donné son nom au groupe. Cependant, les filaments des actinomycètes sont en réalité constitués de cellules procaryotes dont le diamètre est beaucoup plus petit que celui des cellules eucaryotes des moisissures.

Bien que la plupart des membres du phylum *Actinobacteria* produisent des filaments multicellulaires ou mycélium, certains comme *Micrococcus*, sont unicellulaires.

Les actinomycètes constituent un groupe de microorganismes fascinant. Ils sont la source de la plupart des antibiotiques utilisés en médecine aujourd'hui. Ils produisent aussi des métabolites employés comme médicament anticancéreux, et les médicaments qui inhibent le système immunitaire chez les patients qui ont subi une transplantation d'organe.

De point de vue écologique, Les actinomycètes ont une grande importance. Ce sont essentiellement, des habitants du sol et ils sont très répandus. Ils peuvent dégrader une variété énorme de composés organiques et sont extrêmement important pour la minéralisation de la matière organique.

Le cycle biologique de nombreux actinomycètes comprend le développement de cellules filamenteuse, appelées, hyphes, et de spores. Lorsqu'ils croissent sur un substrat solide comme le sol ou la gélose, les actinomycètes développent un réseau ramifié d'hyphes. Ceux-ci poussent à la fois à la surface et à l'intérieur du substrat pour former un tapis dense d'hyphes, qu'on appelle mycélium végétatif. Les hyphes aériens forment par septation des spores à paroi mince. Ces spores sont considérées comme des exospores, parce qu'elles ne se développent pas dans une cellule mère, comme les endospores de *Bacillus* et *Clostridium*. la plupart des actinomycètes ne sont pas mobiles, leurs spores se dispersent grâce au vent ou en adhérant à des animaux. Chez les genres peu nombreux, dotés de mobilités, celles-ci est limitée aux spores flagellés.

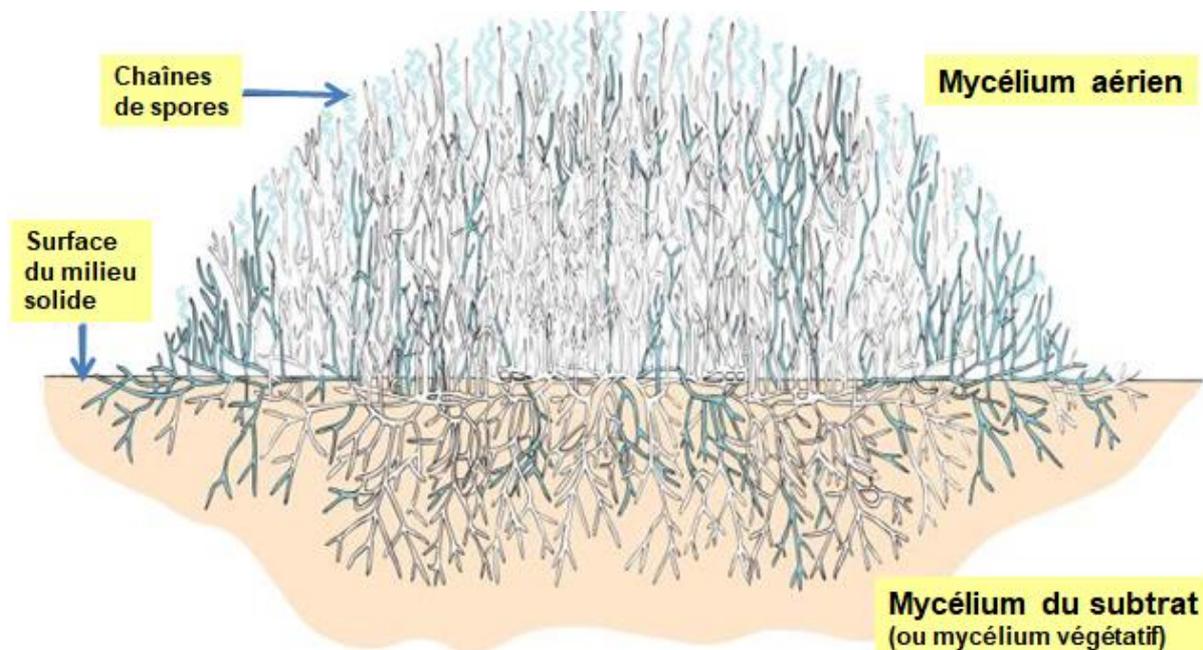


Figure 7 : Colonie d'un actinomycète poussant sur milieu solide

Le phylum des *Actinobacteria* comprend une classe, cinq sous classe, six ordres, 14 sous ordres. Nous décrivons ci-dessous les genres les plus importants

- ***Streptomyces***

Les bactéries de ce genre sont les actinomycètes les mieux connus et les plus fréquemment isolés du sol. Des spores reproductrices asexuées, appelées conidiospores se forment aux extrémités des filaments aériens. Les espèces du genre *Streptomyces* sont des aérobies stricts. La plupart produisent des enzymes extra- cellulaires qui leur permettent d'utiliser les protéines, les polysaccharides tels que l'amidon, la cellulose et bien d'autres substances organiques présentes dans le sol. Les espèces *Streptomyces* produisent en outre un composé gazeux caractéristique, appelé géosmitie, qui donne à la terre fraîche son odeur distinctive de moisi. Ces espèces sont précieuses, car ce sont elles qui fournissent la majorité des antibiotiques fabriqués à l'échelle industrielle.



Figure 8 : Genre *Streptomyces*

- ***Mycobacterium***

Ce sont des bacilles aérobies qui ne produisent pas d'endospores. L'élément myco évoque le fait que ces bactéries présentent parfois des excroissances filamenteuses semblables à celles des mycètes. Certaines caractéristiques des mycobactéries, La résistance à des médicaments et la pathogénicité, sont reliées à la nature particulière de leur paroi cellulaire qui ressemble à celle des bactéries à Gram négatif sur le plan structural. Cependant la couche périphérique de lipopolysaccharide est remplacée

par des acides mycoliques qui forment une couche imperméable cireuse. Ces organismes deviennent ainsi résistants aux contraintes du milieu. Ce groupe comprend des bactéries pathogènes importantes ; *M. tuberculosis* responsable de la tuberculose et *M. leprae* responsable de la lèpre.

▪ ***Corynebacterium***

(Coryn= renflé en forme d'outre), sont généralement pléomorphes. Leur morphologie varie selon l'âge de la bactérie. L'espèce la mieux connue. *Corynebacterium diphtheriae*, est l'agent causal de la diphtérie. Des espèces non pathogènes de *Corynebacterium* sont utilisées pour des applications industrielles très importantes. Par exemple, *C. glutamicum* dont son nom fait référence à sa capacité à produire de l'acide glutamique en conditions aérobies. Il est utilisé dans l'industrie alimentaire sous forme de glutamate monosodique dans la production de sauce soja et de yogourt.

- ***Propionibacterium***

Le genre contient des bâtonnets pléomorphes, non mobiles, non sporulants, souvent en forme de massue avec une extrémité effilée et l'autre arrondie. Les membres de ce genre se trouvent communément sur la peau et dans l'intestin. Ils sont importants dans la fabrication du fromage et dans le développement de l'acné.

- ***Frankia***

Elle provoque la formation de nodules de fixation de diazote dans les racines de l'aulne, un peu à la manière dont *Rhizobium* entraîne la formation de nodules sur les racines des légumineuses et fixe l'azote.

- ***Nocardia***

Les bactéries du genre *Nocardia* ont une morphologie semblable à celle des bactéries du genre *Actinomyces*, mais ce sont des aérobies. La paroi cellulaire a une structure similaire à celle des mycobactéries: les membres du genre *Nocardia* sont donc souvent acido- alcoolrésistants. On trouve couramment les espèces *Nocardia* dans le sol et certaines

d'entre elles, dont *Nocardia astéroïdes*, causent occasionnellement une infection pulmonaire chronique, difficile à traiter.

5- Les rickettsies

Les *Rickettsiales* sont des *Proteobacteria*. Ce sont des bacilles courts, susceptibles de changer de forme (pléiomorphes), de la forme en bâtonnet à la forme sphérique (coccoïdes), de très petite taille (0,3 à 0,5 µm de diamètre sur 0,8 à 2 µm de long). Elles sont incapables de prendre la coloration de Gram, elles sont cependant colorées par le colorant de Giemsa (en violet) et ont des similitudes avec les bactéries à Gram négatif. Ce sont des bactéries intracellulaires, qui ne se multiplient que dans les cellules eucaryotes, par simple scissiparité (des parasites intracellulaires stricts et ne cultivent pas *in vitro*.)

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 ou la glutamine.

L'ordre *Rickettsiales* comprend des pathogènes importants. Le genre *Rickettsia* comporte 21 espèces, dont l'espèce type *Rickettsia prowazekii*. *Rickettsia prowazekii* et *R. typhi* sont associés au typhus (transmis par les poux et les puces).

6-Les chlamydies

Le phylum *Chlamydiae* contient une Classe, *Chlamydiae* et un seul ordre, les *Chlamydiales*. Quatre familles et seulement six genres. Le genre *Chlamidia* est de loin le plus important et le mieux étudié. Le phylum entier est constitué de parasites intracellulaires obligatoires des eucaryotes (elles doivent croître et se reproduire à l'intérieur de leurs cellules hôtes). Leur caractère pathogène est bien connu, mais beaucoup d'espèces développent dans des protistes et des cellules animales sans effet défavorable. Ces hôtes sont considérés comme un réservoir naturel de *Chlamydiae*.

Les Chlamydiae sont des bactéries Gram-négatives, non mobiles, coccoïdes, dont la taille varie de 0,2 à 1,5 μm , se divisent par scission binaire, leur paroi est dépourvu de peptidoglycane et d'acide muramique.

Trois espèces de chlamydies sont d'importants agents pathogènes de l'homme et d'autres animaux à sang chaud. *Chlamydia trachomatis*, *C.psittaci* et *Chlamydophilla pneumoniae*.

7- Les mycoplasmes

Les membres de la classe des *Mollicutes*, communément appelés **mycoplasmes**, ont la particularité d'être totalement dépourvus de paroi cellulaire et incapables de synthétiser le peptidoglycane et ses précurseurs.

Lors de leur découverte, ils étaient considérés comme des organismes assez primitifs, mais l'analyse moléculaire a révélé qu'ils descendaient d'un ancêtre Gram positif. Leur petit génome apparaît comme le résultat d'une réduction génomique telle qu'ils ont perdue de nombreuses propriétés métaboliques et notamment celle de pouvoir synthétiser les précurseurs du peptidoglycane.

La classe des *Mollicutes* est subdivisée en 4 ordres, 5 familles et 8 genres. . Les genres les mieux étudiés se trouvent dans les ordres des *Mycoplasmatales* (*Mycoplasma*, *Ureaplasma*), des *Entomoplasmatales* (*Entomoplasma*, *Mesoplasma*, *Spiroplasma*), des *Acholeplasmatales* (*Acholeplasma*) et des *Anaeroplasmatales* (*Anaeroplasma*, *Asteroleplasma*).

Comme ils ne sont entourés que par une membrane cytoplasmique, ces bactéries sont pléomorphes ; leur forme varie depuis l'organisme sphérique ou pyriforme (forme en poire) (0,3 à 0,8 μm de diamètre) à des filaments branchés ou en hélice.

Les mycoplasmes sont Gram-négatif, se reproduisent par division binaire ou bourgeonnement, anaérobies facultatifs ou stricts. Ils sont habituellement non mobiles mais certaines espèces sont mobiles par glissement ou rotation, flexion et translation dans le cas des filaments hélicoïdes.

La plupart des Mollicutes sont parasites, commensaux ou saprophytes, et plusieurs sont pathogènes de l'homme, des animaux, des insectes et des plantes. Leur génome est l'un des plus petits parmi les procaryotes (500 à 1 000 mégadaltons). Le % en G+C de l'ADN est bas et varie de 23 à 46 %.

Les mycoplasmes sont remarquablement répandus et peuvent être isolés d'animaux, de plantes, du sol et même de tas de compost. Chez les animaux, les mycoplasmes colonisent muqueuses et articulations, et sont souvent associés à des maladies des systèmes respiratoire et urogénital. Ils sont responsables de plusieurs maladies importantes dans les élevages, par exemple, la pleuropneumonie bovine contagieuse dans le bétail (*M. mycoides*), la maladie respiratoire chronique des volailles (*M. gallisepticum*), et la pneumonie des porcs (*M. hyopneumoniae*).