

Les bactéries Gram positives

Les bactéries Gram positives étaient historiquement groupées selon leur forme générale (bâtonnets, coques ou formes irrégulières) et leur capacité de former des endospores. Cependant, l'analyse de leurs relations phylogénétiques, par comparaison des séquences des ARNr 16S, montre qu'elles sont divisées en un groupe pauvre en G+C et un autre groupe riche en G+C ou groupe actinobactérien.

1. Les bactéries Gram positives pauvres en GC

Les bactéries Gram positives pauvre en G+C sont placées dans le phylum des *Firmicutes* et divisées en trois classes : les *Mollicutes*, les *Clostridia* et les *Bacilli*. Le phylum des *Firmicutes* est vaste et complexe, il compte 10 ordres et 34 familles.

Les mycoplasmes, classe des *Mollicutes*, sont aussi considérés comme Gram positifs pauvre en G+C, bien qu'ils n'aient pas de paroi cellulaire. Les données d'ARN ribosomiques montre que les mycoplasmes sont étroitement apparentés aux lactobacilles.

1.1. La classe des *Mollicutes* « Mycoplasmes »

Les membres de la classe des *Mollicutes*, communément appelés mycoplasmes, sont particuliers parce qu'ils n'ont pas de paroi, ont de petits génomes et des voies métaboliques simplifiées. 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* comprend cinq ordres et six familles. 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, avec un diamètre d'environ 0,3 à 0,8µm, jusqu'à des filaments ramifiés ou hélicoidaux.

Le génome des *Mollicutes* est l'un des plus petits trouvés chez les bactéries, allant de 0,7 à 1,7 Mb. Les génomes séquencés de *Mycoplasma genitalium*, de *M. pneumoniae* et d'*Ureaplasma urealyticum* ont moins de 1000 gènes, ce qui laisse penser qu'il existe un génome minimal pour assurer une existence autonome, mais aussi qu'en raison de ce nombre limité de gènes, les mycoplasmes sont incapables de synthétiser nombre de macromolécules et qu'ils ont besoin de milieux de croissance complexes.

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*). Les spiroplasmes ont été isolés chez des insectes, des tiges et de nombreuses plantes. Ils provoquent des maladies chez les agrumes, les choux, les brocolis, le maïs, les abeilles et d'autres hôtes.

1.2. La classe des *Clostridia*

Il y a deux classes de bactéries Gram positives à faible teneur en GC qui forment des endospores : les *Clostridia* et *Bacilli*.

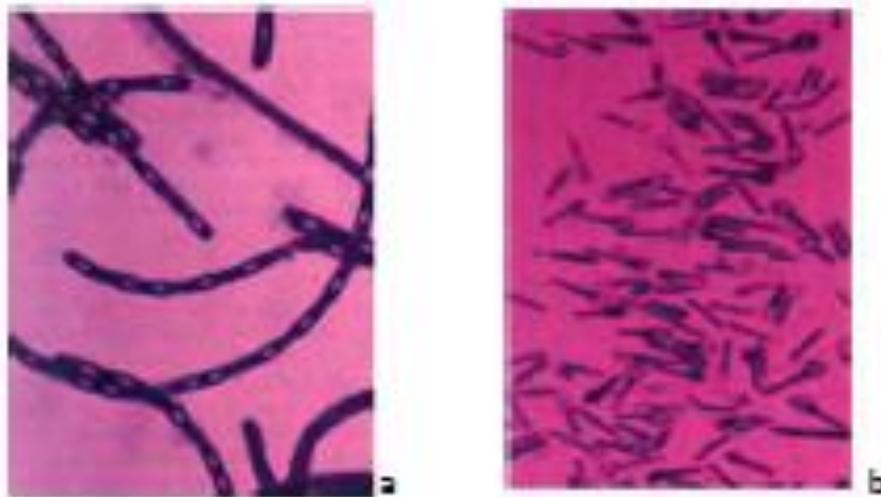


Figure 2 : Les spores : a : *Bacillus anthracis* (spores ellipsoïdales centrales ;
b : *Clostridium botulinum* (spores ellipsoïdales subterminales)

La classe des *Clostridia* regroupe une très large variété de bactéries Gram positives distribuées, entre trois ordres et 11 familles.

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 à l'oxygène), qui forment des endospores. Le genre contient bien plus de 100 espèces, qui appartiennent à plusieurs groupes phylogénétiques distincts. Des membres du genre *Clostridium* exercent aussi un impact du point de vue pratique. 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 (par exemple *C. acetobutylicum* est utilisé pour la production de butanol), les espèces pathogènes qui produisent des toxines sont les mieux connues. Par exemple, *C. perfringens* est l'agent causal de la gangrène gazeuse et l'empoisonnement alimentaire. *C. botulinum* est l'agent responsable du botulisme et *C. tetani* celui du tétanos.

Desulfotomaculum est un genre qui forme des endospores et qui réduit le sulfate et le sulfite en sulfure d'hydrogène pendant la respiration anaérobie. Bien qu'il donne une coloration de Gram négative, *Desulfotomaculum* montre, au microscope électronique, une paroi cellulaire de Gram positif. Ceci, ajouté aux études phylogénétiques, concourt à le placer dans les Gram positives à faible teneur en GC.

Les héliobactéries sont des Gram positives à faible teneur en GC et photosynthétiques.

Bien que les bactéries du genre *Veillonella* se colorent en Gram négatif, le Bergey les place dans la famille des *Acidaminococcaceae*, ordres des *Clostridiales*. Comme beaucoup de groupes de bactéries anaérobies, les membres de ce genre n'ont pas été fort étudiés. Certaines espèces font partie de la flore normale de la bouche, du tube digestif, de l'appareil urogénital des hommes et d'autres animaux.

1.3. 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.

1.3.1. L'ordre des *Bacillales*

❖ Familles des *Bacillaceae*

Le genre *Bacillus*, famille des *Bacillaceae*, est le plus vaste de l'ordre. Il comprend des batonnets Gram positifs, sporulants, chimiohétérotrophes, qui sont généralement mobiles, avec des flagelles péritriches. Le genre est aérobie, ou parfois facultatif, et catalase positif.

Bacillus subtilis, l'espèce type de genre, est la bactérie Gram positive la mieux étudiée : cette bactérie anaérobie facultative 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, c'est un organisme modèle extraordinaire pour l'étude de la régulation génétique, de la division cellulaire, de la perception du quorum et de la différenciation cellulaire. Son génome de 4,2Mb a été l'un des premiers à être complètement séquencé.

Bacillus subtilis, est une bactérie qu'on retrouve facilement sous forme de spores dans une grande diversité de sols. Chose intéressante, on la retrouve aussi sous sa forme végétative (C-à-d pas sous forme de spores) lorsqu'elle est associée étroitement avec les racines des plantes ou avec du matériel en décomposition sur lequel elle se développe. Outre la sporulation (une forme de différenciation), *Bacillus subtilis*, peut aussi former des biofilms.

Beaucoup d'espèces de *Bacillus* ont une importance considérable. Certaines produisent des antibiotiques comme la bacitracine, la gramicidine et la polymyxine. *B.cereus* est responsable de certaines formes d'empoisonnement alimentaire. Plusieurs espèces sont utilisées comme insecticides. Ainsi, lors de la formation d'endospores, *B. thuringiensis* et *B. sphaericus* forment un cristal protéique solide, le corps

parasporal, à côté de leurs. Le corps parasporal de *B. thuringiensis* contient des toxines protéiques qui peuvent tuer plus de cent espèces de papillons ; elles se dissolvent dans l'intestin alcalin des chenilles et en détruisent l'épithélium. Le corps parasporal de *B. sphaericus* contient des protéines toxiques pour les larves de moustiques et peuvent être utiles pour le contrôle des moustiques qui véhiculent le parasite *Plasmodium*, responsable de la malaria. *B. anthracis* est l'agent causal du charbon qui peut affecter les animaux de ferme et l'homme.

❖ Famille des *Panococcaceae*

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

❖ 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. Capables de fermentation, 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 d'endocardites et d'infections chez des patients moins résistants (p.ex., 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, du syndrome de choc toxique et d'autres maladies.

Outre son rôle dans les infections de la peau et des blessures, le staphylocoque 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*. Les types de croissance et d'hémolyse sur gélose au sang sont également utiles pour identifier ces Staphylocoques.

❖ Famille des *Listeriaceae*

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

Listeria, de la famille *Listeriaceae* est le genre médicalement important de cette famille. Ce genre 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 principalement en lactate. *Listeria monocytogenes*, pathogène pour l'homme et les autres animaux, est responsable de la listériose, une infection alimentaire importante.

1.3.2. L'ordre des *Lactobacillales*

De nombreux membres de l'ordre des *Lactobacillales* produisent de l'acide lactique comme principal ou unique produit de fermentation. *Streptococcus*, *Enterococcus*, *Lactococcus* et *Leuconostoc* sont tous membres de ce groupe. Les bactéries lactiques ne sporulent pas et ne sont habituellement pas mobiles. Pour leur énergie elles dépendent normalement de la fermentation des sucres.

On range habituellement les bactéries lactiques dans les anaérobies facultatifs, mais certains les considèrent comme des aérotolérants.

Le genre le plus grand dans cet ordre est *Lactobacillus*, avec près de 100 espèces. *Lactobacillus* contient des bâtonnets non sporulants et parfois 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 homolactique 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.

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

Les *Enterococcaceae* et les *Streptococcaceae* sont d'importantes familles de coques Gram positives, non sporulantes, mésophiles, chimiohétérotrophes.

La famille des *Streptococcaceae* comprend seulement deux genres : *Lactococcus* et *Streptococcus*. Le genre *Streptococcus* est anaérobie facultatif et catalase négatif. Le principal pathogène chez l'homme est *S. pyogenes*, responsable de l'angine, de la glomérulonéphrite aiguë et de la fièvre rhumatoïde.

Les entérocoques, comme *E. faecalis* sont des résidents normaux du tractus intestinal de l'homme et de la plupart des animaux.