

Chapitre V. Etudes des grands groupes bactériens

Les *Actinobacteria*

Le phylum *Actinomycetota* (Oren and Garrity, 2021) contient actuellement six classes valides, à savoir *Actinobacteria*, *Acidimicrobiia*, *Coriobacteriia*, *Nitriliruptoria*, *Rubrobacteria* et *Thermoleophilia*, 46 ordres, 79 familles et 425 genres (Salam et al., 2020). Les *Actinomycetota* sont des bactéries Gram-positif riche en GC.

Les *Actinomycetota* sont connues également sous le nom d'actinomycètes, Etymologiquement, le mot Actinomycète provient de deux mots grecs : «Aktis» qui veut dire rayon et «mykes» qui veut dire champignon «Champignons à rayons» ou «Champignons rayonnants». 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.

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

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 sont limitée aux spores flagellées.

Nous décrivons ci-dessous des taxons représentatifs du ce phylum.

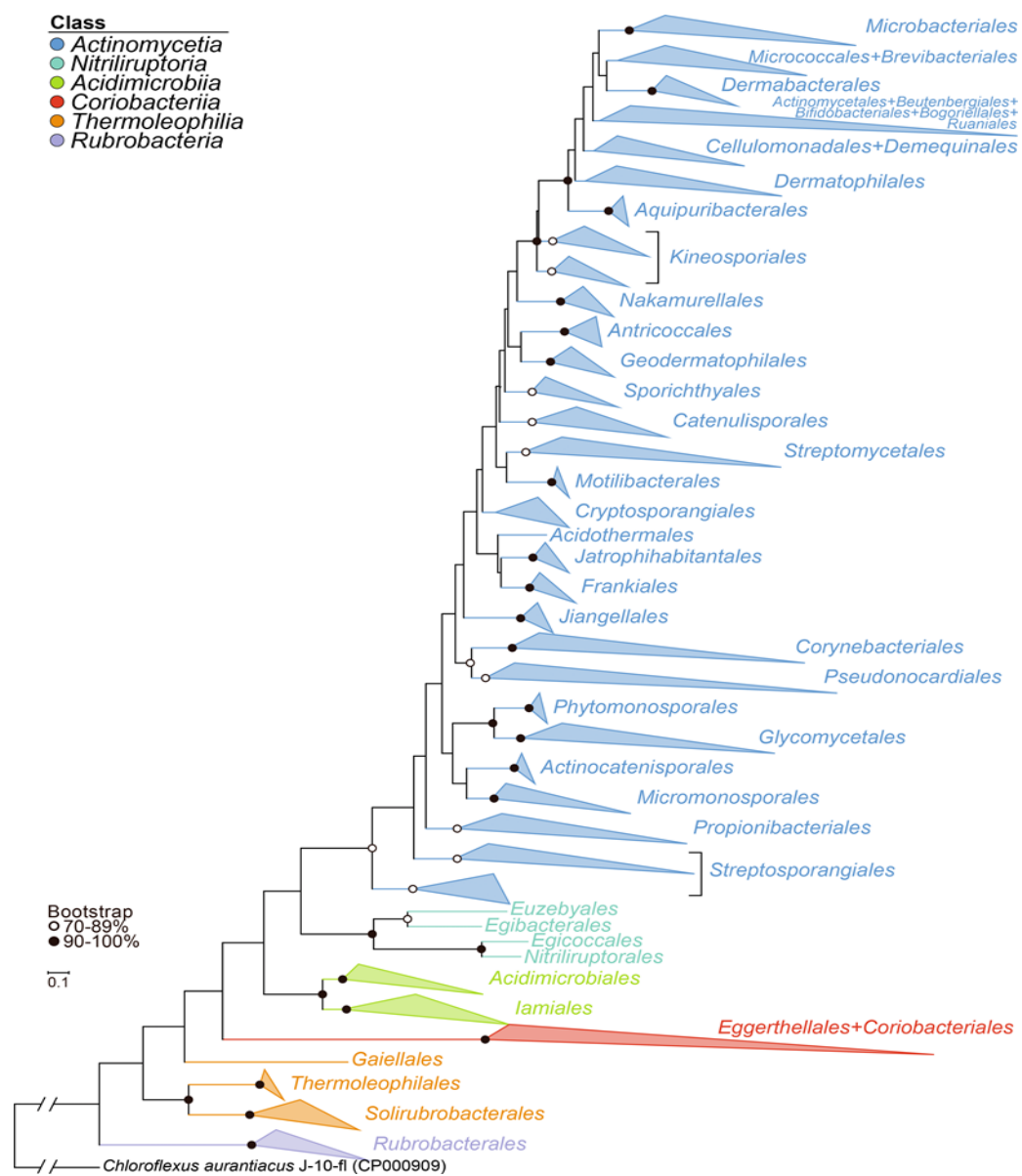
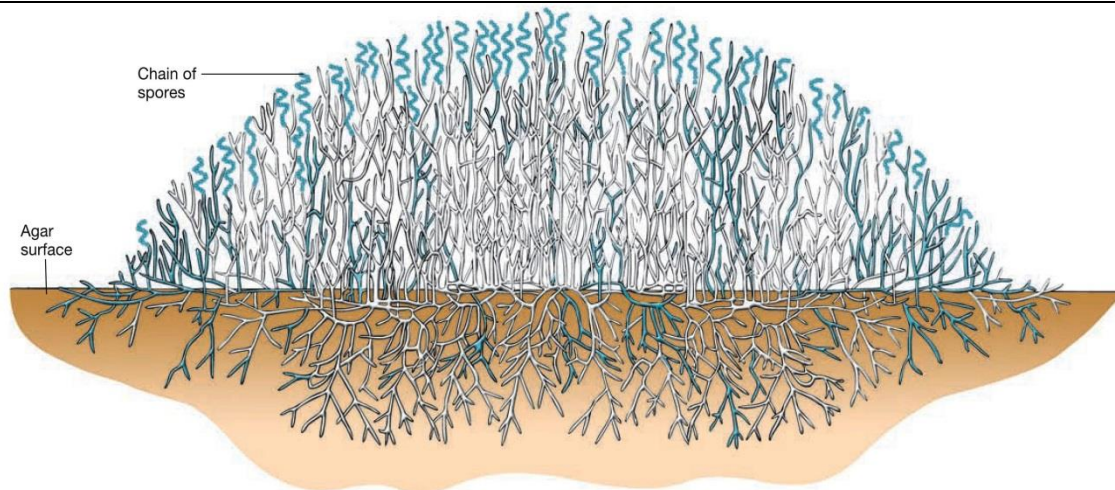


Fig. Relation phylogénétique entre les différents ordres du *phylum Actinobacteria* basée sur les séquences de gènes d'ARNr 16S. L'arbre a été établi à l'aide de l'algorithme RAxML et visualisé à l'aide du programme interactif en ligne Tree of Life (Salam et al.,2020).

1. L'Ordre *Actinomycetales*

L'ordre *Actinomycetales* appartient à la classe des *Actinomyces*, il compte une seule famille validée ; *Actinomycetaceae* qui à son tour contenant 20 genres validés.

Phylum XIV. *Actinomycetota*Classe I. *Actinomyces*Ordre I. *Actinomycetales*Famille I. *Actinomycetaceae*

Genre	Nomenclatural status	Taxonomic status
<i>Actinobaculum</i>	validly published under the ICNP	correct name
<i>Actinomyces</i>	validly published under the ICNP	correct name
<i>Actinotignum</i>	validly published under the ICNP	correct name
<i>Arcanobacterium</i>	validly published under the ICNP	correct name
<i>Boudabousia</i>	validly published under the ICNP	correct name
<i>Bowdeniella</i> corrig	validly published under the ICNP	correct name
<i>Buchananella</i>	validly published under the ICNP	correct name
<i>Flaviflexus</i>	validly published under the ICNP	correct name
<i>Fudania</i>	validly published under the ICNP	correct name
<i>Gleimia</i>	validly published under the ICNP	correct name
<i>Mobiluncus</i>	validly published under the ICNP	correct name
<i>Nanchangia</i>	validly published under the ICNP	correct name
<i>Pauljensenia</i>	validly published under the ICNP	correct name
<i>Peptidiphaga</i>	validly published under the ICNP	correct name
<i>Schaalia</i>	validly published under the ICNP	correct name
<i>Scrofimicrobium</i>	validly published under the ICNP	correct name
<i>Trueperella</i>	validly published under the ICNP	correct name
<i>Varibaculum</i>	validly published under the ICNP	correct name
<i>Winkia</i> Nouioui	validly published under the ICNP	correct name
<i>Bowdenia</i> Nouioui	orthographic variant	misspelling
<i>Falcivibrio</i>	validly published under the ICNP	synonym
" <i>Actinobacterium</i> "	not validly published	
" <i>Actinomonospora</i> "	not validly published	
" <i>Ancrocorticia</i> "	not validly published	
" <i>Neoactinobaculum</i> "	not validly published	
" <i>Odontomyces</i> "	not validly published	

La plupart sont des bâtonnets, gram-positifs, de forme irrégulière, non sporulant, au métabolisme anaérobie facultatif, ne sont acido-alcool-résistantes, ne formant pas des endospores, chimio-hétérotrophes.

Leur forme bâtonnet peut être droite ou légèrement incurvée et présente des gonflements et peut prendre la forme massue. Certains *Actinomycetales* ont tendance à former des filaments avec des ramifications d'un 1 μ m de diamètre. D'autres déviations de la morphologie du bâtonnet normal peuvent être rencontrées.

Les colonies peuvent être filamenteuses et donner un aspect plus ou moins mycélien, mais généralement ne forment pas un mycélium.

La plupart des espèces forment des colonies non filamenteuses de couleur blanche ou grise, tandis que certaines espèces peuvent développer des colonies pigmentées (rouge foncé, rougeâtre, brune, rose, rosâtre ou jaunâtre).

Habitat : telluriques et pathogènes.

Les *Actinomycetales* contribuent de manière significative à la dégradation des polysaccharides complexes dans le sol. Ils synthétisent et sécrètent des enzymes pour hydrolyser des molécules comme la chitine, la pectine et la cellulose.

Il existe des espèces appartenant à l'ordre *Actinomycetales* peuvent être à l'origine de maladies chez l'homme et l'animal. On peut citer à titre d'exemple : *A. israelii*, *A. viscosus*, *A. pyogenes*, *A. suis* et *A. hyovaginalis*



Fig. 5. *Actinomyces israelii*; scanning electron micrograph (SEM) of a microcolony in situ (40 h at $36 \pm 1^\circ\text{C}$, and GasPak jar).

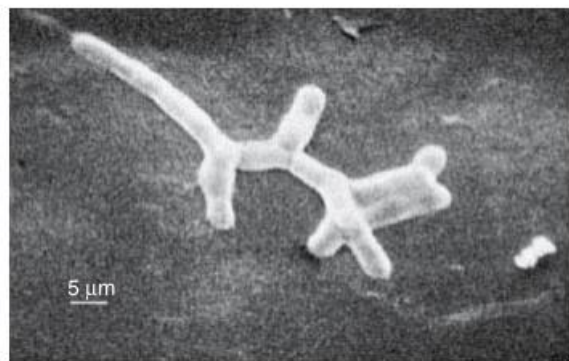


Fig. 8. *Actinomyces bovis*; scanning electron micrograph of a microcolony in situ (40 h at $36 \pm 1^\circ\text{C}$, and GasPak jar).

TABLE 2. Characteristics differentiating the genera of the family *Actinomycetaceae* from each other^{a,b}

Characteristic	<i>Actinomyces</i>	<i>Arcanobacterium</i>	<i>Actinobaculum</i>	<i>Varibaculum</i>	<i>Mobiluncus</i>
Aerobic growth (with added CO ₂)	D	+	D	-	-(+)
Filaments and/or branched rods	D	nr	D	-	-
Cells coccoid or coccobacillary	D	D	-	-	-
Curved rods with tapered ends	-	-	-	-	+
Gram reaction	+	+	+	+	v/-
Microcolonies filamentous	D	-	-	-	-
Catalase	D	-/+	-	-	-
Nitrate reduction	D	D	-	d	D
<i>Cell-wall components:</i>					
A ₂ pm ^c	-	-	-	-	-
Ornithine	D	-	nr	nr	nr
Lysine	+	+	+	nr	nr
Aspartic acid	-(+)	-	nr	nr	nr
Glycine	-	-	nr	nr	nr
Glucose	D	+/-	nr	nr	+
Galactose	D	-	+	nr	+
Rhamnose	D	+	+	nr	+
6-Deoxytalose	D	-	nr	nr	nr
Arabinose	-	-	nr	nr	nr
Mannose	D	-/+	+	nr	nr
Mycolic acids	-	-	-	-	-
Acyl type	Acetyl (glycolyl)	Acetyl	Acetyl	nr	nr
<i>End products from glucose fermentation:</i>					
Acetic acid	+	+	+	-	+
Propionic acid	-	-	-	-	-
Volatile fatty acids with more than three C-atoms	-	-	-	-	-
Pyruvic acid	-	-	-	-	-
Lactic acid	+	+	D	+	(+)
Succinic acid	+	+	(+)	+	+
Phospholipids ^e	P type I or P type III: DPG, (PG), (PC), PI, PIM	DPG, PG and several other unknown phospholipids	P type I: DPG, PG, PI, PIM	nr	nr
Menaquinones ^e	MK-8, MK-9, MK-10, methyl-MK-10, MK-9(H ₄), MK-10(H ₄)	MK-9(H ₄), MK-10(H ₄), [MK-8(H ₄), MK-11(H ₄)]	MK-10(H ₄)	nr	nr
Cellular fatty acids ^f	S, U, (C), (I), (A)	S, U, (I), (A)	S,U	nr	nr
Motility	-	-	-	-	+
DNA G+C content (mol%)	54–70	48–65	55–57	51.7	49–55

^aSymbols: +, positive/present; -, negative/absent; +/-, predominantly positive/present; -/+, predominantly negative/absent; (+), weakly or irregularly positive/present; D, differences between species; d, differences between strains within one species; v, variable; nr, not reported.

^bData compiled from Holdeman et al. (1977), Schofield and Schaal (1981), Schaal (1986b), and Schaal et al. (2006).

^cA₂pm, Diaminopimelic acid.

^dDPG, Diphosphatidylglycerol; PG, phosphatidylglycerol; PC, phosphatidylcholine; PI, phosphatidylinositol; PIM, phosphatidylinositol mannosides; P type I/P type III, phospholipid types I or III *sensu* Lechevalier et al. (1977).

^eMenaquinones with 8, 9, 10 or 11 isoprene units and varying degrees of saturation; methyl-MK-10, methyl-substituted menaquinone-10.

^fS, Straight-chain, saturated; U, unsaturated; A, anteiso-methyl-branched; I, iso-methyl-branched; C, cyclopropane ring fatty acids.

2. L'ordre *Bifidobacteriales*

L'ordre *Bifidobacteriales* compte 1 famille et 10 genres validés, le plus important parmi eux, le genre *Bifidobacterium*.

Order II. *Bifidobacteriales*

Famille I. *Bifidobacteriaceae*

Genre	Nomenclatural status	Taxonomic status
<i>Aeriscardovia</i>	validly published under the ICNP	correct name
<i>Alloiscardovia</i>	validly published under the ICNP	correct name
<i>Bifidobacterium</i>	validly published under the ICNP	correct name
<i>Bombiscardovia</i>	validly published under the ICNP	correct name
<i>Galliscardovia</i>	validly published under the ICNP	correct name
<i>Gardnerella</i>	validly published under the ICNP	correct name
<i>Metiscardovia</i>	validly published under the ICNP	synonym
<i>Neocardovia</i>	validly published under the ICNP	correct name
<i>Pariscardovia</i>	validly published under the ICNP	correct name
<i>Pseudocardovia</i>	validly published under the ICNP	correct name
<i>Scardovia</i>	validly published under the ICNP	correct name

Les bifidobactéries sont des bactéries Gram-positif, non-motiles, non-sporulantes, non capsulées, non acido-alcolo-résistant. Elles ont une grande variété de formes : conoïdes, allongées avec des protubérances et des bifurcations (forme bifide en Y) ou à extrémités spatulées, incurvées ; elles sont souvent en chaînes étoilées, en paire en forme V ou en palissades.

Les bifidobactéries sont **anaérobies** (certaines espèces tolèrent cependant l'oxygène en présence de dioxyde de carbone, ne produisant ni gélatinase, ni oxydase, nitrate réductase négative, ni catalase (excepté *B. indicum* et *B. asteroides* quand se développent en présence d'air).

Le contenu en G+C généralement élevé qui varie de 42 -67 %.

Les bifidobactéries métabolisent les hexoses selon une voie particulière, la voie de la **fructose 6 phosphocétolase** appelée également "bifid shunt, sans production de gaz et produisant de l'**acide acétique** et de l'**acide lactique** comme produits terminaux.

L'enzyme **fructose 6 phosphocétolase** clive le fructose-6-phosphate en acetylphosphate et en érythrose-4-phosphate.

Les colonies des bifidobactéries obtenues après incubation à 37 °C en anaérobiose sont lisses, convexes, à contour régulier, de couleur blanche ou crème et leur diamètre est d'environ 1 à 2 mm.

Les **bifidobactéries ne sont pas pathogènes** sauf *B. dentium* dentaires (et probablement impliquées dans la pathologie des caries) et *G. vaginalis* qui assume souvent un caractère pathogène (comme dans la vaginose bactérienne et dans les infections des voies urogénitales des deux sexes).

Les **bifidobactéries** se retrouvent dans de nombreux environnements différents comme dans les sols, les plantes, les animaux ou chez l'homme.

Bifidobacterium : intestin de l'homme, d'animaux variés et des abeilles, eaux usées, caries dentaires

Aeriscardovia : caecum de porc

Alloiscardovia : échantillons cliniques humains variés comme l'urine, le sang, la salive, le poumon ou la valve aortique.

Gardnerella : Une seule espèce, *G. vaginalis*, tractus génito-urinaire humain.

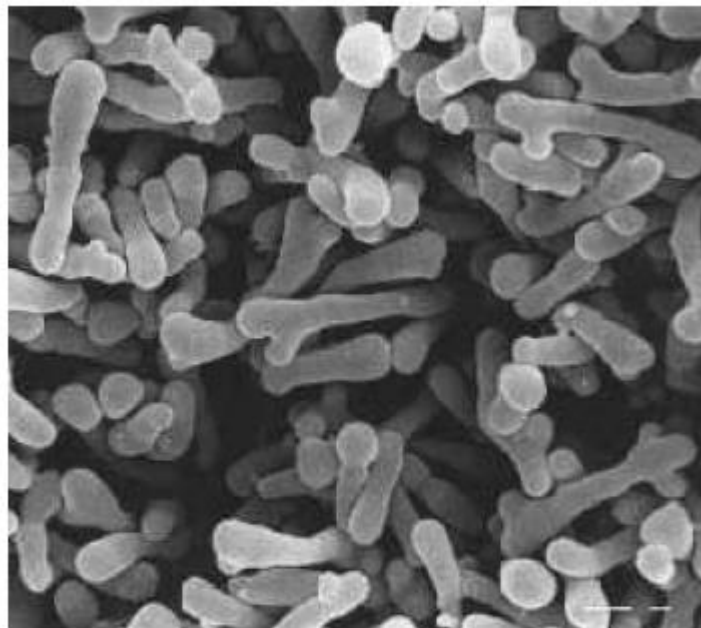
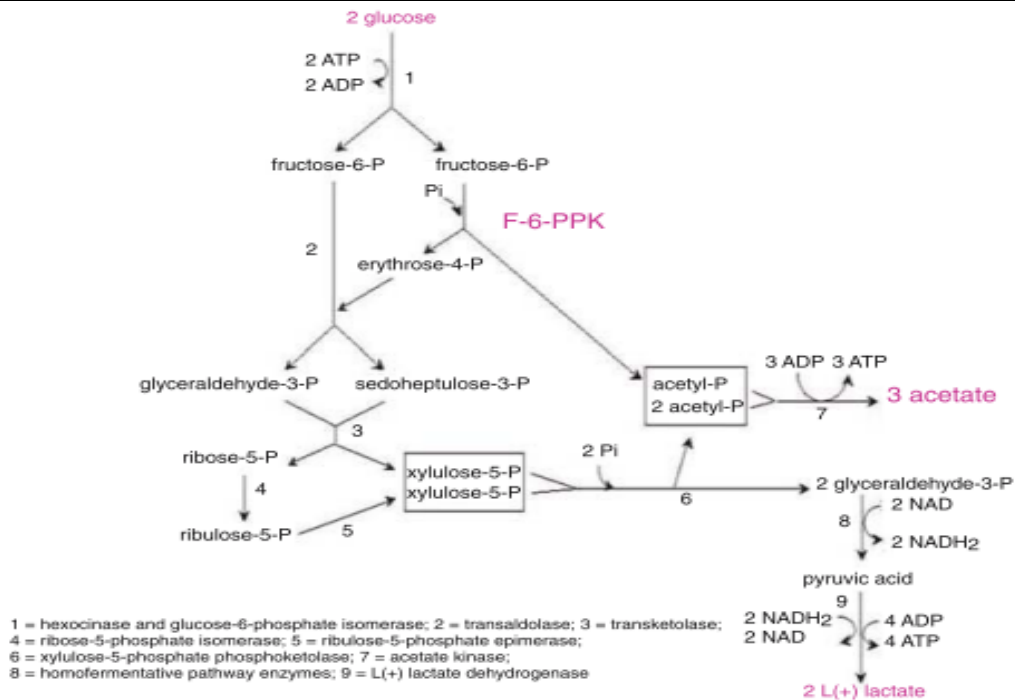


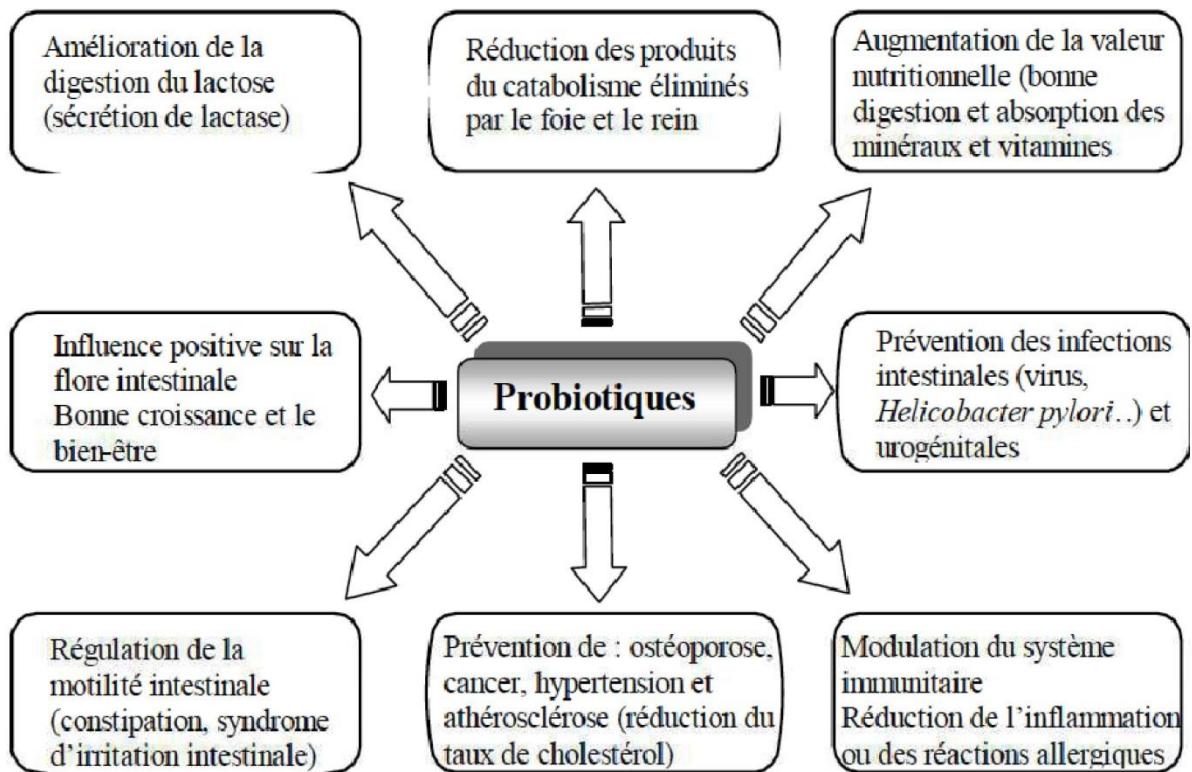
Figure 3 : Observation au microscope électronique du genre *Bifidobacterium* sp (Biavati *et al.*, 2000).

Une barre représente 1µm

2.1. Les effets probiotiques des bifidobactéries

Il existe des souches appartenant au genre *Bifidobacterium* qui ont un caractère probiotique, Classeant ainsi ce genre parmi les plus importants de la nutrition humaine et de la

microbiologie alimentaire. Ces souches appartiennent aux espèces de *B. adolescentis*, *B. animalis*, *B. bifidum*, *B. breve*, *B. infantis*, *B. lactis*, *B. longum*.



3. L'Ordre *Corynebacteriales* (*Mycobacteriales*)

Cet ordre contient actuellement 8 familles et plusieurs genres, les plus importants sont *Corynebacterium*, *Mycobacterium* et *Nocardia*.

les *Corynebacteriales* sont des bactéries à gram négatif, en forme de bâtonnets droits ou légèrement incurvés avec pour certaines des extrémités légèrement renflées donnant une image de massue. peuvent former un mycélium de substrat ramifié qui se fragmente en éléments en forme de cocci à bâtonnets ou se présente sous forme de filaments ramifiés, de cocci ou de formes pléomorphes. Certaines souches forment des hyphes aériens.

aérobies ou anaérobies facultatifs, immobiles, non sporulantes, chimio-organotrophes.

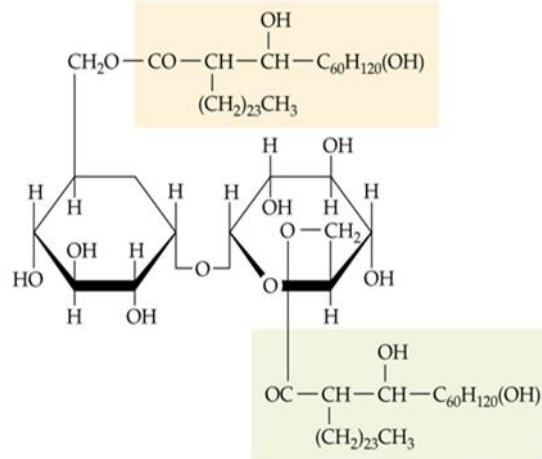
Le peptidoglycane de paroi contient de l'acide méso-diaminopimélique et est de type A1γ.

L'arabinose et le galactose sont les principaux sucres de la paroi.

Les espèces produisent de longues chaînes **d'acides gras** appelés **acides mycoliques** (figure) dont on sait qu'ils s'organisent pour former une mycomembrane responsable de la faible perméabilité de l'enveloppe aux composés hydrophiles.

Les ***Corynebacteriales*** se retrouvent dans de nombreux environnements différents comme dans les sols, les plantes, les animaux ou chez l'homme.

Ordre IV. *Corynebacteriales*
Famille I. *Corynebacteriaceae*
Genre I. *Corynebacterium*
Genre II. *Turicella*
Famille II. *Dietziaceae*
Genre I. *Dietzia*
Famille III. *Mycobacteriaceae*
Genre I. *Mycobacterium*
Famille. IV. *Nocardiaceae*
Genre I. *Nocardia*
Genre II. *Gordonia*
Genre III. *Millisia*
Genre IV. *Rhodococcus*
Genre V. *Skermania*
Genre VI. *Smaragdicoccus*
Genre VII. *Williamsia*
Famille V. *Segniliparaceae*
Genre I. *Segniliparus*
Famille VI. *Tsukamurellaceae*
Genre I. *Tsukamurella*



Mycolic acids. General formula for mycolic acids.

3.1. Famille I. *Corynebacteriaceae*

La famille des *Corynebacteriaceae* ne compte que 2 genres, le genre type *Corynebacterium* avec près de 90 espèces et le genre *Turicella* avec une seule espèce. Contenu en G+C (mol%) : 46–74.

Les *Corynebacteriaceae* sont des bâtonnets droits à légèrement incurvés, extrémités souvent renflées (aspect de "lettres chinoises"), aérobies et facultatifs, catalase-positif. On trouve aussi fréquemment des formes en massue. Ont une paroi à deux couches qui provoque une **division par cassure** (figure). **Le peptidoglycane de la paroi contient du meso-diaminopimélique acide.**

Bien que certaines espèces soient des saprophytes inoffensifs, de nombreuses corynébactéries sont pathogènes pour les végétaux ou les animaux. Par exemple, *C. diphtheriae* est l'agent causal de la diphtérie chez les humains. *C. pseudotuberculosis biovar ovis*, est l'agent causal de la lymphadénite caséuse chez les animaux. *C. striatum* peut provoquer une odeur axillaire. *C. minutissimum* provoque l'érythrasme.

En revanche 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.

C. ammoniagenes a été utilisée pour la production industrielle de **nucléotides** et **nucléosides** tels que l'inosine 5'-monophosphate and guanosine 5'-monophosphate. Elle est également utilisée dans la production industrielle de la vitamine B₂ (Riboflavin).

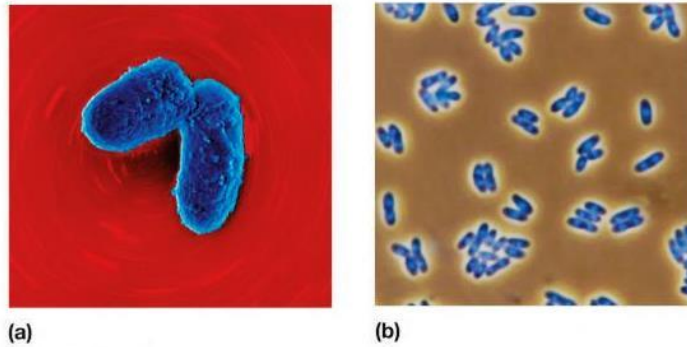


Figure 24.8 *Corynebacterium diphtheriae* subit une division par cassure qui entraîne une disposition des cellules en palissade. (a) Après la division par cassure, les cellules filles restent attachées en formant un angle ($\times 28\ 000$). (b) Cette association angulaire de paires de cellules mène à des dispositions en palissade ($\times 1\ 000$).