

Jean-Pierre Gratia

Le Microbe,
ami incontournable de l'Homme ?



Du même auteur :

Genetic Flux and Horizontal Evolution in Bacteria
(1987) Editions de l'Université Libre de Bruxelles

Microbiologie et Biologie Moléculaire en Belgique.
Histoire des Premiers Artisans (2001) L'Harmattan,
Paris

Le Destin Désespérant de Madame M (2003) Roman,
Publibook, Paris

Errances et Questionnement (2006) Nouvelles,
Edilivre, Paris

Lettres à Violaine (2009) Journal, Edilivre, Paris 2

Bactérie 007 (2011) Roman, Edilivre-APARIS, Saint-
Denis

1

Introduction

Bien qu'on en parle beaucoup, de ces microbes et de ces virus, qu'on les redoute ou qu'on les utilise, que reste-il encore à faire pour comprendre mieux ce qu'ils sont et ce qu'on peut attendre d'eux ?

Il n'y a pas que de mauvais microbes dans la nature, puisqu'au sein de cette poussière de vie invisible on trouve des spores qui en se disséminant assurent une couverture végétale et la formation des champignons dans les prés et dans les bois. Il y a aussi la levure du pain ou de la bière qui fournit des vitamines ; d'autres micro-organismes participent au compost. Il existe une bactérie insecticide qu'on utilise contre les parasites du maïs. La peau abrite un microbe, le staphylocoque blanc, qui n'est pas pathogène, en tout cas sur la peau, et qui produit une enzyme qui décompose les peroxydes cancérigènes. C'est pour cela qu'il n'est pas trop bon de se laver à grand renfort de douches, encore

moins de bains avec du savon détergent. Mieux vaut utiliser du savon de Marseille et réserver les détergents au lavement des mains, qui sont en contact permanent avec le nez et la bouche. La télévision ne rend pas service quand elle informe la maîtresse de maison sur l'un ou l'autre détergent à déverser dans les WC pour qu'ils ne sentent pas mauvais, alors que le vinaigre d'alcool fait très bien l'affaire. En effet, les détergents tuent les bactéries intestinales responsables de la décomposition de matières organiques dans les égouts où se forme l'eau. Les centres d'épuration de l'eau n'en sortent pas avec l'accumulation de déchets inutilisables. Cette hantise du microbe ne permet donc pas de séparer le bon grain de l'ivraie. On se souvient du fameux film de Jacques Tati, « *Mon oncle* », qui ridiculise les manies d'asepsie permanente des Américains empêchant les enfants de s'immuniser, d'où une grande fréquence de poliomyélite chez eux avant la politique de vaccination généralisée.

Pourquoi le chercheur a-t-il souvent utilisé le colibacille comme « animal de laboratoire », alors que la bactérie E coli fait tant parler d'elle en mal ?

En réalité, le colibacille (*Escherichia coli*) est un hôte normal de l'intestin. Mais, ce que ne précisent pas les media, les *E coli* qui ont provoqué des diarrhées graves dans le Nord de la France, ou même des accidents mortels en Allemagne, sont des souches particulières de la même espèce qui ont acquis des propriétés toxigènes. Celles-ci sont dues à de très

petites modifications génétiques, d'où l'importance des travaux sur la génétique d'*E coli* dont question dans plusieurs chapitres. C'est un peu la différence qu'il y a entre les hommes sans histoire et les malfrats ou les assassins, les braves toutous et les pitbull.

Le microbe, qu'il soit une bactérie ou une levure, peut-il être vraiment utile et même indispensable ?

Les sols, les lacs et les rivières sont riches en microorganismes surtout quand ils contiennent beaucoup d'éléments nutritifs. Tous ces organismes forment une chaîne trophique et sont sujets à des réarrangements. Ils jouent un rôle fondamental dans les écosystèmes auxquels ils appartiennent. Les bactéries constituent la partie initiale de la chaîne trophique de ces micro-organismes, puisqu'elles sont capables de se nourrir aux dépens des constituants du sol, organiques pour les unes, inorganiques pour les autres, y compris des substances polluantes. Donc, elles jouent un grand rôle dans la rémédiation des sols pollués.

Etant donné cet avantage que les bactéries ont par rapport à d'autres organismes, on pourrait craindre leur pullulation. En fait non, car d'autres microorganismes, les protistes, se nourrissent des bactéries dans l'eau et le développement des bactéries dans les différents milieux est limité par la production d'antibiotiques par certains autres micro-organismes, des bactéries du groupe Actinomyces par exemple ou certains champignons ou mycètes, dont *Penicillium*.

Il existe de nombreuses relations symbiotiques ou mutualistes de bactéries. Les organes internes chez l'homme ou l'animal, qui communiquent avec l'environnement extérieur (bouche, tube digestif, vagin..), sont une niche écologique abritant un film d'organismes vivants plus ou moins riche. Ces organismes, bactériens notamment, co-évoluent avec leur hôte et son système immunitaire. Peut-on s'en passer? Pasteur est le premier à suggérer que les animaux ne pouvaient vivre en l'absence de tout micro-organisme et les essais faits entre 1899 et 1908 pour élever des poussins axéniques eurent un succès limité, la mort survenant après quelques semaines. En fait, la survie dans ces conditions dépend de l'apport en vitamines et d'une complète et continuelle asepsie, puisque faute d'immunisation les animaux axéniques sont sensibles à la moindre infection par des agents pathogènes. Les microbiotes jouent un rôle fonctionnel important dans la digestion par exemple, c'est le cas de la flore intestinale, et, chez les ruminants, cette flore s'étend à tout le tube digestif dont le rumen. On parle aussi de flore cutanée: certains animaux, comme le paresseux, sont extérieurement couverts d'un film d'une algue qui y vit et on voit que leurs poils verdissent. Certaines espèces de moules ou de crevettes vivent en symbiose avec des bactéries qui sont capables d'utiliser l'énergie de réactions chimiques avec les sels minéraux. Il existe une bactérie endosymbiote des pucerons, qui vit à l'intérieur des cellules de l'insecte et

lui fournit des acides aminés essentiels. Une autre est hébergée dans les testicules ou les ovaires d'autres insectes, où elle peut contrôler les capacités de reproduction de son hôte. Des bactéries sont associées aux termites et leur apportent des sources d'azote et de carbone. Dans les grandes profondeurs des océans, des bactéries bioluminescentes sont souvent associées à des poissons ou à des invertébrés. Hébergées dans des organes spécifiques chez leurs hôtes, elles émettent une luminescence grâce à une protéine particulière : la luciférase. Cette luminescence est utilisée par l'animal lors de divers comportements comme la reproduction, l'attraction de proies ou la dissuasion de prédateurs. Etc.

Ces questions parmi d'autres seront développées dans les chapitres qui vont suivre après une brève analyse des structures et fonctions des bactéries, levures et protistes, et de leur évolution depuis l'origine de la vie.

Un glossaire est présenté en fin d'ouvrage pour définir certains termes, autres que ceux désignant des organismes ou des notions mentionnés dans le texte et peut-être mal connus du lecteur, pour l'aider à comprendre et lui procurer un surcroît d'information utile.

2

Structure, fonctions, sexualité et évolution des micro-organismes, comme les bactéries ou les levures

Les microorganismes, qui sont invisibles à l'œil nu, d'où leur appellation de microbes, forment une communauté très variée qui comprend les protistes, les levures et les bactéries. Ils désignent encore les archées ou Archaea (anciennement archéobactéries).

Les eubactéries et les mycobactéries ont une structure commune, qui est de ne pas avoir de noyau. On les groupe sous l'appellation de procaryotes qui, à la différence des autres organismes dits eucaryotiques, y compris les levures et les protistes, se reproduisent par simple division. De grandes différences apparaissent entre elles, au niveau des enveloppes notamment. Les divers groupes de bactéries sont apparus sur terre à des époques très éloignées les unes des autres.

Bactéries

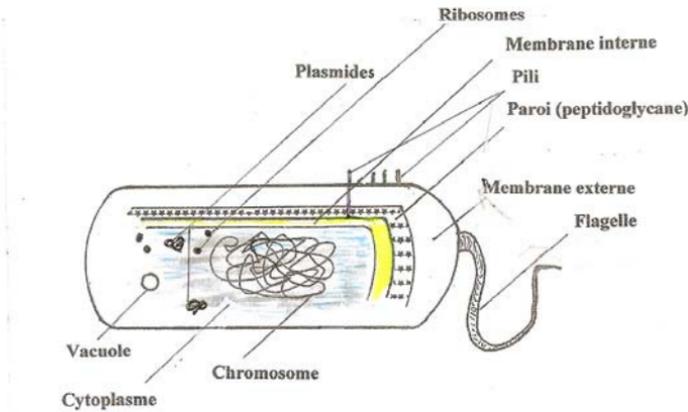


Fig. 2.1 – Représentation schématique de la structure cellulaire d'un bacille à Gram-négatif

En tant que procaryotes, les bactéries sont des cellules relativement simples, caractérisées par une absence de noyau et d'organites comme les mitochondries et les chloroplastes, elles n'ont pas non plus de réticulum endoplasmique ou d'appareil de Golgi.

Une caractéristique importante des bactéries est la paroi cellulaire, qui peut différer considérablement d'un groupe à l'autre. Parmi les eubactéries, on distingue des bactéries dites à Gram négatif et des bactéries dites à Gram positif, qui diffèrent par la structure et la composition chimique de la paroi mise en évidence grâce à la coloration de Gram. Les bactéries à coloration de Gram positif possèdent une

paroi cellulaire qui fixe irréversiblement le violet de gentiane. Chez les bactéries à Gram négatif, la coloration par le violet de gentiane ne résiste pas au traitement par l'alcool. Au microscope électronique la paroi des bactéries à Gram négatif apparaît hétérogène et comprend un peptidoglycane fin localisé dans un espace dit périplasmique entre la membrane cytoplasmique interne et une membrane externe (Fig. 2.1). Les bactéries à Gram+ contiennent un peptidoglycane épais (ou muréine) et des acides teichoïques. La paroi de toutes les bactéries leur donne la forme et les protège contre l'éclatement sous l'effet de la très forte pression osmotique du cytosol. Le peptidoglycane assure la rigidité de la paroi. Les mycoplasmes sont de très petites bactéries sans paroi et, de ce fait, présentent des formes diverses. On les cultive sur des milieux spéciaux. On peut obtenir des formes comparables, appelées formes-L, à partir de bactéries Gram + et Gram- par exposition à des agents inhibant la synthèse du peptidoglycane (pénicilline par exemple) ou par mutation. Quelques bactéries peuvent fabriquer des couches externes à la paroi cellulaire, généralement constituées de polysaccharides. Quand la couche est compacte, on parle de capsule ; elle constitue une barrière de protection de la cellule contre l'environnement externe et aussi contre la phagocytose. Quand la couche est plus épaisse, on parle de glycocalyx ; il permet aux bactéries d'adhérer à un support, ce qui

facilite l'attachement aux surfaces et la formation de biofilms dont il sera question plus loin.

Longtemps, les bactéries étaient vues comme de simples sacs de cytosol, mais de nombreux niveaux de complexité structurelle ont été découverts au niveau du cytosquelette et de la localisation spécifique des protéines dans le cytoplasme. Leur génome, c'est-à-dire le support de l'information génétique, consiste en un chromosome sous la forme d'un filament d'acide désoxyribonucléique (ADN). Le chromosome bactérien est en général circulaire. En plus de cet ADN génomique, les cellules bactériennes contiennent souvent des molécules d'ADN circulaires extra-chromosomiques appelées plasmides. Les cellules contiennent aussi de nombreux ribosomes permettant la synthèse protéique grâce au mécanisme de la traduction. Le cytosol des procaryotes contient souvent des substances de réserve sous forme de glycogène, d'amidon ou de PHB (poly- β -hydroxybutyrate).

Certaines espèces de bactéries aquatiques possèdent des vésicules à gaz qui assurent la flottabilité des cellules. D'autres bactéries, trouvées dans les sédiments marins et enfouies à l'interface oxiqne/anoxiqne (frontière entre le milieu riche en oxygène et celui dépourvu d'oxygène) sont caractérisées par leur capacité à synthétiser des magnétosomes. De type Gram-négatif, ces bactéries magnétactiques sont micro-aérophiles et se déplacent par aérotaclisme, c'est-à-dire en réaction à la concentration d'oxygène du milieu, et

peuvent se déplacer grâce au magnétotactisme, c'est-à-dire qu'elles se dirigent selon les lignes du champ magnétique terrestre pour atteindre des milieux favorables à leur croissance.

Beaucoup de bactéries possèdent des structures extracellulaires comme des flagelles utilisés pour leur mobilité, des fimbriae permettant l'attachement aux surfaces et des pili dits sexuels parce qu'ils participeraient au mécanisme de conjugaison. Les bactéries hétérotrophes peuvent utiliser leurs flagelles pour se diriger vers des zones riches en substances organiques (nutriments) grâce au chimiotactisme.

Quelques bactéries à Gram positif, dont *Bacillus* ou *Clostridium*, peuvent fabriquer des endospores leur permettant de résister à certaines conditions de stress environnemental ou chimique^{le}. La formation d'une endospore n'est pas un processus de reproduction. Les endospores ont une zone centrale de cytoplasme contenant de l'ADN et des ribosomes et qui est entourée par une couche du cortex et un manteau imperméable et rigide. Elles peuvent ainsi survivre dans des conditions physiques et chimiques extrêmes, tels que des niveaux élevés de rayonnement UV, les rayons gamma, les détergents, les désinfectants, une forte chaleur ou pression, et survivre à la dessiccation. Ces organismes pourraient rester viables durant des millions d'années. Les endospores peuvent même permettre aux bactéries de survivre à l'exposition au vide et au rayonnement

dans l'espace. C'est pour cette raison que certaines espèces anaérobies strictes à endospore, comme le bacille du charbon ou la clostridie tétanique, peuvent causer des maladies, parce qu'une fois à l'abri de l'air dans l'organisme humain, elles peuvent passer de l'état de spores à l'état de germe capable de s'y multiplier.

Les bactéries présentent une grande diversité de tailles et de formes. Le colibacille mesure 1-10 μm de longueur et 0.2-2 μm de largeur. Mais quelques espèces peuvent mesurer jusqu'à 500 μm (0,5 mm) de long et être visibles à l'œil nu. Parmi les plus petites bactéries, les Mycoplasmes mesurent 0,3 μm seulement. La plupart des bactéries sont soit sphériques, appelées coques (*pl. cocci*, du grec *kókkos*, grain), comme les staphylocoques, les méningocoques ou les streptocoques, soit en forme de bâtonnets, appelés bacilles (*pl. bacilli*, du Latin *baculus*, bâton), comme le colibacille, qui est à Gram⁻, et les Bacillus, qui sont à Gram⁺. Il existe aussi des formes intermédiaires : les coccobacilles. Les *Vibrio* ont une forme de fèves légèrement incurvées. D'autres bactéries sont hélicoïdales : des spirilles si la forme est invariable et rigide, comme c'est le cas de *Borrelia burgdorfi* responsable de la maladie de Lyme, des spirochètes si l'organisme est flexible et peut changer de forme, comme le tréponème pâle responsable de la syphilis. Ainsi qu'il a été indiqué plus haut, la grande diversité des formes est déterminée par la paroi

cellulaire et le cytosquelette. Les différentes formes de bactéries peuvent influencer leur capacité d'acquérir des nutriments, de s'attacher aux surfaces, de nager dans un liquide et d'échapper à la prédation.

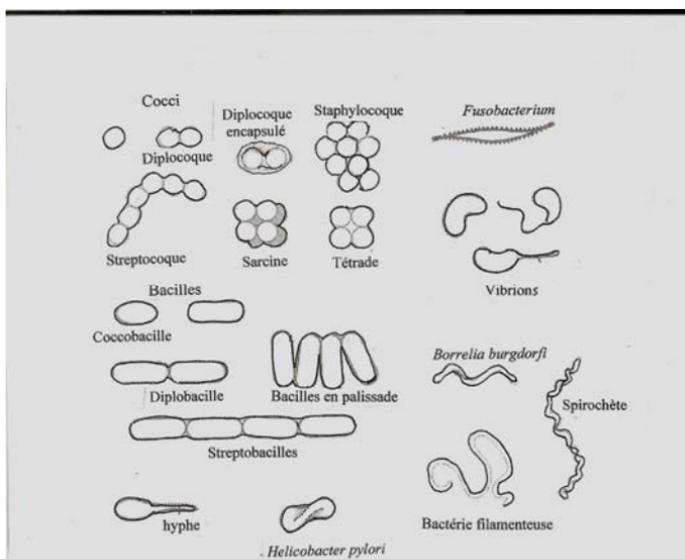


Fig. 2.2 – Morphologies et arrangements cellulaires des bactéries.

La reproduction est assurée par simple division binaire (scissiparité). Deux cellules identiques sont produites à partir d'une cellule mère. La croissance cellulaire se manifeste par un accroissement du volume cellulaire, suivi de la synthèse d'un septum transversal au milieu de la cellule, aboutissant à la séparation des deux cellules filles. La division bactérienne est précédée par la duplication du chromosome bactérien grâce à la réplication de l'ADN. Quelques bactéries présentent des

structures reproductives plus complexes mais toujours de manière asexuée, facilitant la dispersion : *Myxococcus* élabore des fructifications, tandis que *Streptomyces* forme des hyphes aériens. Beaucoup d'espèces bactériennes peuvent être observées sous forme unicellulaire isolée alors que d'autres espèces sont associées en paires (diplocoques) comme les *Neisseria*, dont le méningocoque, ou en chaînette, caractéristique des Streptocoques. Dans ces cas, les coques se divisent selon un axe unique et les cellules restent liées après la division. Certains cocci se divisent selon un axe perpendiculaire et s'agencent de façon régulière pour former des feuillets. D'autres se divisent de façon désordonnée et forment des amas comme les membres du genre *Staphylococcus* qui présentent un regroupement caractéristique en grappe de raisins. D'autres bactéries peuvent s'allonger et former des filaments composés de plusieurs cellules comme les Actinomycètes. D'autres organismes comme les cyanobactéries forment des chaînes appelées trichomes. Dans ce cas, les cellules sont en relation étroite les unes avec les autres et les échanges physiologiques sont favorisés.

Au laboratoire, les bactéries peuvent être cultivées en milieu liquide ou en milieu solide fournissant les nutriments élémentaires à la bactérie. Les milieux de culture gélosés solides sont utilisés pour isoler des cultures pures de cellules bactériennes qui, dispersées sur un milieu gélosé, vont se multiplier et devenir