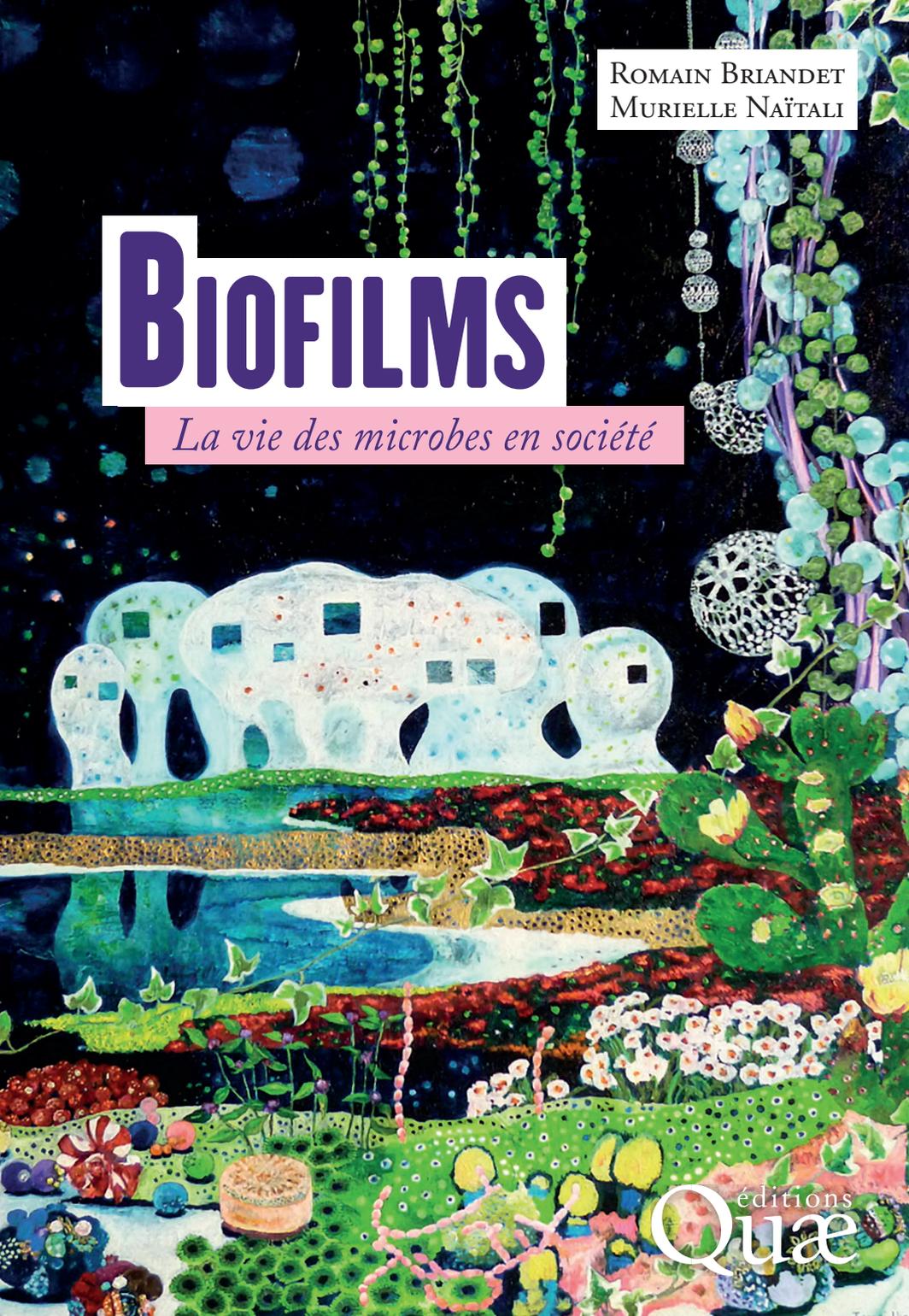


ROMAIN BRIANDET
MURIELLE NAÏTALI

BIOFILMS

La vie des microbes en société



éditions
Quæ

BIOFILMS

La vie des microbes en société

Romain Briandet, Murielle Naïtali

BIOFILMS

La vie des microbes en société

Éditions Quæ

Le présent livre reprend pour partie l'ouvrage *Biofilms, quand les microbes s'organisent*, paru en 2012 dans la collection Carnet de sciences.

Quatre auteurs, Romain Briandet, Lise Fechner, Murielle Naïtali et Catherine Dreanno, avaient contribué à l'écriture du premier livre ; deux d'entre eux ont continué l'aventure avec le second. Romain Briandet et Murielle Naïtali remercient sincèrement Lise Fechner et Catherine Dreanno de leur accord pour la parution de cette version actualisée et vulgarisée.

© Éditions Quæ, 2019

Éditions Quæ
RD 10
78026 Versailles Cedex

ISBN (papier) : 978-2-7592-2952-9
ISBN (pdf) : 978-2-7592-2953-6
ISBN (ePub) : 978-2-7592-2954-3

Le Code de la propriété intellectuelle interdit la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Le non-respect de cette disposition met en danger l'édition, notamment scientifique, et est sanctionné pénalement. Toute reproduction, même partielle, du présent ouvrage est interdite sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC), 20 rue des Grands-Augustins, Paris 6^e.

Ce livre est le troisième d'une collection de culture scientifique qui s'attache à synthétiser, de façon très accessible, les connaissances contemporaines dans un large champ thématique. Elle s'adresse à un public d'adultes comme de jeunes pour satisfaire et prolonger leur curiosité.

En s'appuyant sur l'actualité, le quotidien et l'environnement, les auteurs transmettent leur goût de l'observation, racontent leurs expériences, partagent leurs émotions. L'occasion de découvrir comment la science avance, une science vivante, avec ses tâtonnements, ses fulgurances, ses anecdotes et ses controverses.

Laissez-vous emmener par cette collection qui pratique l'étonnement !

SOMMAIRE

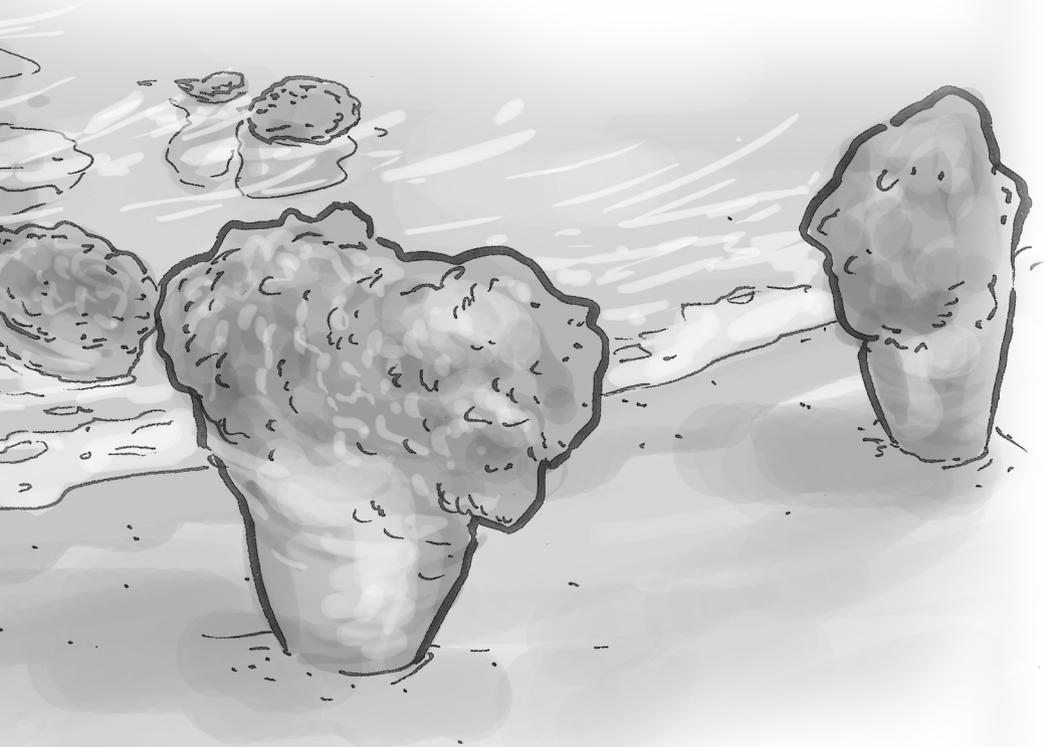
Des biofilms partout ?	9
Les microbes vivent en 3D	21
La construction d'une forteresse biologique	37
Les défis d'une résistance collective	49
Est-il possible de moduler la formation des biofilms ?	63
Les biofilms tuent !	77
Le bénéfice santé des « bons » biofilms	91
Des biofilms pour l'environnement	101
Bibliographie	116
Sites Internet	117
Remerciements	118



1

DES BIOFILMS PARTOUT ?

Où l'on apprend que plus de 90 % des microbes vivent en formant des communautés fixées sur une surface, des biofilms. Où l'on découvre la variété de ces surfaces, qui ont en commun de satisfaire les besoins élémentaires des biofilms. Où l'on mobilise nos cinq sens à la recherche des biofilms qui nous environnent.



« Ça y est, j'y suis enfin ! Depuis le temps que j'en rêvais... Ces couleurs, elles sont encore plus belles, plus éclatantes que dans les livres. Je n'ai jamais vu un bleu turquoise aussi lumineux et limpide... Et ce contraste avec les rouges et les oranges. Van Gogh en aurait rêvé. Il faut absolument que Jean voie ça un jour ! »

Extrait du journal de Marie, Yellowstone, Grand Primastic Spring, été 2017.

Ces oranges, ces rouges, ce sont des biofilms bactériens. Marie le savait-elle ?

Un biofilm ? Quésaco ?

Savez-vous ce qui constitue la majeure partie de la biomasse vivante sur Terre ? Les microbes, qu'ils soient des bactéries, des virus, des champignons microscopiques, ou encore des microalgues. La plupart du temps, ils sont invisibles à l'œil nu, et pourtant ils sont plus nombreux que les organismes macroscopiques. Beaucoup d'entre eux, très utiles à l'équilibre de notre planète, sont peu connus du public. Quelques-uns font parler d'eux. En bien : les bactéries lactiques des laits fermentés sont vantées pour prendre soin de notre confort intestinal. Ou en mal : *Salmonella*, *Listeria* et *Escherichia coli* ont fait la une des médias pour avoir déclenché des crises sanitaires. Pour autant, qui sait que le mode de vie privilégié des microbes est le regroupement en communauté ? Imagine-t-on qu'ils ont une vie en société, si possible associée à une surface, ou au moins à une interface ? Et que cette vie fixée les rend plus résistants, presque indestructibles ?

Dans leurs environnements naturels, plus de 90 % des micro-organismes vivent fixés la plus grande partie de leur vie. Ils forment alors un « biofilm », terme proposé à la fin des années 1970 par le microbiologiste John William (Bill) Costerton.

Qu'est-ce qu'un biofilm ?

Un biofilm peut être défini comme une communauté pluricellulaire, parfois complexe, adhérant à une surface. Les microbes, des bactéries principalement, sont à la base de cette communauté, mais elle peut aussi contenir des champignons microscopiques, des microalgues, des protozoaires comme les amibes et même, dans des biofilms particuliers comme ceux que l'on trouve sur la coque des bateaux (voir chapitre 5), des végétaux et des animaux. Certains incluent dans la notion de biofilm le fait que les microbes sont obligatoirement englués dans un mucus constitué des substances qu'ils ont eux-mêmes produites : la matrice.

Dès qu'il y a de l'humidité, des nutriments et une surface, des biofilms sont susceptibles de se former. Quelle humidité ? N'importe laquelle. De la moindre trace résiduelle d'eau aux plus grands océans, de l'eau chaude des fosses hydrothermales à celle, gelée, des glaciers... Quels nutriments ? Tout est bon pour que les microbes se multiplient et forment un biofilm. Des restes alimentaires, même minimes, sont un festin. Des feuilles en décomposition : que demander de plus ? Du pétrole, de l'essence : la bactérie dévoreuse d'huile *Pseudomonas oleovorans* s'en délecte... Quelle surface ? De la planche à découper de notre cuisine aux rochers dans la nature, des déserts américains à notre peau, peu importe. L'important, pour les microbes, c'est de se fixer.

En présence de biofilms, il est fréquent que la surface se modifie, et cela se perçoit. Elle devient collante, gluante, glissante, colorée ; tout dépend de la communauté microbienne impliquée et du mucus qu'elle sécrète. Réveillons nos cinq sens et cherchons des biofilms.

Biofilms en vue !

Les biofilms naturels sont parfois si développés qu'il est possible de les voir à l'œil nu, contrairement aux milliards de cellules microscopiques qui les composent. Ils façonnent alors notre paysage.

La Terre vue du ciel : on a tous en tête quelques magnifiques clichés. Sans biofilms, certains de ces paysages n'auraient pas le même charme. Revenons à la source géothermique de Yellowstone qui émerveilla Marie : le Grand Prismatique. Ses nuances arc-en-ciel ont fait le succès des photos aériennes de Yann Arthus-Bertrand. Ce dégradé provient notamment d'un biofilm de cyanobactéries de plusieurs centimètres d'épaisseur. Les cyanobactéries produisent de l'oxygène en utilisant l'énergie lumineuse. Elles captent la lumière par l'intermédiaire de pigments colorés allant du bleu-vert — elles étaient d'ailleurs anciennement nommées « algues bleues » — au rouge. La couleur du Grand Prismatique varie avec la saison et la température, qui favorisent telle ou telle espèce microbienne et la production, par ces espèces, de tel ou tel pigment. En été, elle tire vers l'orange et le rouge. En hiver, vers le vert foncé.

Les cyanobactéries se sont organisées en colonies fixées depuis la nuit des temps. Il y a environ 3,5 milliards d'années, des biofilms de bactéries et d'algues ont donné des roches calcaires : les stromatolithes. Ces « tapis de pierre » visibles à l'œil nu constituent le premier indice révélateur de la vie sur Terre. De tels biofilms fossilisés s'élèvent jusqu'à 3 000 mètres dans la chaîne marocaine de l'Anti-Atlas. Des stromatolithes continuent aujourd'hui à se former, principalement aux Bahamas et en Australie.

Il n'est pas forcément besoin de remonter le temps ni de s'expatrier pour apercevoir des biofilms. Nous en trouvons notamment dans notre salle de bains. La présence quotidienne d'une forte humidité et d'une douce chaleur en fait un véritable incubateur à biofilms. Les bactéries et les moisissures s'y logent, se collent, et sont également capables de proliférer. Toutes les surfaces les accueillent : porte-savon, pierre ponce, rideau de douche... Un robinet qui fuit : un biofilm qui naît. Est-il rouge orangé ? Il est probablement dû à la bactérie *Serratia marcescens*, dont le pigment porte le nom évocateur de « prodigiosine ». De fait, cette bactérie rouge sang, qui se multiplie très vite sur du pain ou des féculents, est soupçonnée d'être à l'origine de « miracles », dont celui de la petite ville italienne de Bolsena où, en 1263, une hostie se serait « teintée de sang ».

On a tous déjà grimacé devant une tache noire sur un joint de carrelage ou dans le recoin d'une douche. Généralement, on le sait, ce sont des moisissures. Peut-on attribuer à des moisissures fixées le statut de biofilm ? Si on inclut dans la notion de biofilm la nécessaire présence de matrice, la réponse est non. Nous prenons, quant à nous, le biofilm dans une acception large du terme : des microbes fixés en une ou plusieurs couches de cellules et entourés ou non d'une matrice. Notre tache noire est donc un biofilm fongique.

Les biofilms colorent aussi notre environnement de manière indirecte. Par exemple, Jacques Fillacier, auteur de l'ouvrage *La pratique de la couleur*, constate la fréquence d'une couleur, un bleu-vert, sur les portes et les volets des exploitations viticoles françaises. Il fait le rapprochement avec la couleur du sulfate de cuivre, principe actif de la bouillie bordelaise utilisée pour protéger les vignobles du mildiou. Le mildiou est dû au champignon parasite *Plasmopara viticola*, qui présente toutes les caractéristiques d'un biofilm. L'auteur s'interroge alors : un biofilm serait-il à l'origine de la couleur particulière des huisseries de certaines régions viticoles ?

Une majorité invisible ?

Il y aurait $4 \text{ à } 6 \times 10^{30}$ bactéries sur Terre (10^{30} ou 1 000 milliards de milliards de milliards !), dont $1,2 \times 10^{29}$ dans les habitats aquatiques, $2,6 \times 10^{29}$ dans les sols et $3,8 \times 10^{30}$ dans les sédiments. Ces estimations sont à mettre en regard de celles relatives au nombre de plantes : 5×10^{26} (phytoplancton inclus), et d'êtres humains : moins de 8 milliards.

Bien sûr, les bactéries sont très petites, mais elles constituent un réservoir important d'éléments indispensables à la vie sur Terre. Elles représenteraient $3,5 \text{ à } 5,5 \times 10^{15}$ g de carbone, soit pratiquement autant de carbone que les plantes. Et il y aurait 10 fois plus d'azote et de phosphore dans les bactéries que dans les plantes.

Au sein des êtres vivants, les bactéries constituent ainsi une majorité. Est-elle pour autant invisible, comme le titrait un chercheur en 1998 dans un grand journal scientifique ? Souvent, mais pas toujours. Les biofilms nous le rappellent.

Des biofilms plus qu'odorants

Notre odorat peut aussi détecter des biofilms. Lorsqu'on jette le bouquet de fleurs fané qui a égayé la maison durant une semaine, il est fréquent que l'eau dégage une odeur pestilentielle et que les tiges soient gluantes.

Tout cela résulte d'un biofilm. Il s'est formé à la surface des tiges, qu'il dégrade et dont il se nourrit, il s'étend sur la surface de l'eau — les puristes le nomment alors « pellicule flottante » et non « biofilm » —, il s'accroche au vase, et il excrète des molécules visqueuses ou malodorantes. C'est notamment pour lutter contre les biofilms qu'ont été prévus les sachets des fleuristes à dissoudre dans l'eau des fleurs coupées. Ils contiennent souvent des nutriments pour les plantes et des conservateurs contre les microbes.

Il peut aussi être conseillé d'ajouter de l'eau de Javel dans l'eau des fleurs coupées (une cuillère à soupe pour cinq litres), qui agit comme désinfectant et tue les microbes susceptibles de former un biofilm. Dans les remèdes « maison », l'ajout d'aspirine ou de charbon de bois est parfois cité. Les deux limitent la prolifération des biofilms, le premier en acidifiant l'eau (assez peu, ce qui en fait une solution peu efficace) et le second en piégeant la matière organique libérée par les plantes, laquelle est une source de carbone indispensable au développement des biofilms.

Les biofilms qui décomposent la matière organique, que ce soit dans les vases, dans notre compost ou dans les stations d'épuration, sont des sources d'odeurs, d'autant plus désagréables que le processus se fait en l'absence d'oxygène. D'ailleurs, une odeur déplaisante se dégageant du compost doit nous alerter ; elle signifie qu'il a besoin d'être aéré.

Même notre odeur corporelle est en partie due à des microbes en biofilm. Nous ne les voyons pas, mais ils sont bien là, fixés sur notre peau, et nous sentons les molécules qu'ils excrètent. Ce qu'on appelle « microbiote cutané » représente environ 10^{12} bactéries, avec des

concentrations moyennes 100 fois supérieures pour les endroits humides comme l'aîne ou les aisselles. L'augmentation locale de l'humidité permet le développement rapide de bactéries produisant des acides gras volatils très odorants : des corynéformes sous les aisselles, des *Brevibacterium epidermidis* sur les pieds... Pour l'anecdote, *B. epidermidis* est un cousin très proche de *B. linens*, le « ferment du rouge » utilisé dans la fabrication du maroilles et du munster, deux fromages à croûte lavée... typiques.

Encore piqué !

Certaines personnes ont « une peau à moustiques » et se font davantage piquer que d'autres. Est-ce une question de microbes cutanés ? Probablement. Le CO₂ que nous émettons attire les moustiques. Des molécules odorantes produites par notre microbiote aussi. Par exemple, *Anopheles gambiae* (responsable de la malaria et du paludisme) raffole des « odeurs de pieds » dégagées par *Brevibacterium epidermidis*. Lors d'un essai dans une région où la malaria est endémique, des « pièges à odeurs » ont d'ailleurs permis de diminuer de 30 % le taux de la maladie.

Savoureux biofilms

Les fromages à croûte lavée sont régulièrement frottés avec une saumure, parfoisensemencée de microbes. Les biofilms en surface — la morge — contribuent au développement de l'arôme et à la saveur des fromages.

Ouvrons le frigo. Qu'y trouvons-nous ? Un bleu et son biofilm de *Penicillium roqueforti*. Un camembert et son biofilm duveteux de *Penicillium camembertii*. Un autre biofilm de *P. camembertii* recouvre la peau du saucisson. Celui si joliment nommé « la fleur du saucisson » participe à l'affinage et à la conservation. Et dans un coin, issus de la tradition japonaise, des nattos (haricots rouges fermentés). Pour être dégustés, ils seront vigoureusement mélangés avec des baguettes et ils révéleront ainsi l'épaisse matrice élastique et filante produite par un biofilm de *Bacillus subtilis*.

Qu'on ne s'y trompe cependant pas, ici comme dans les autres domaines, les biofilms présentent une face positive et une autre négative. Lorsqu'un vin est bouchonné, c'est peut-être une histoire de biofilm. Le goût de bouchon est dû à des composés volatils dont certains proviennent du métabolisme de moisissures qui se sont développées sur le liège du bouchon.

Ça glisse ! C'est un biofilm ?

Qui n'a jamais glissé sur un caillou à fleur d'eau dans une rivière ? Ou été surpris par le fond et les parois visqueuses d'une fontaine en se rafraîchissant les mains ? Ces surfaces sont rendues glissantes, plus ou moins gluantes, par la matrice des biofilms. Toute surface immergée sera recouverte à terme d'un biofilm. D'abord bactérien, il peut aussi contenir des microalgues aux pigments photosynthétiques et teinter d'une couleur verte les sous-pots des plantes, les fontaines, les cailloux des rivières peu profondes, les piles des ponts, etc.

Mais l'adjectif « visqueux » ne qualifie pas tous les biofilms. Certains se révèlent plutôt durs. Lorsqu'on passe sa langue sur ses dents, on sent généralement des aspérités. Elles correspondent à la plaque dentaire, qui n'est autre qu'un biofilm minéralisé. On ne peut d'ailleurs pas écrire un livre sur les biofilms sans citer la plaque dentaire. C'est non seulement un biofilm modèle, mais aussi le premier à avoir été observé. Au XVII^e siècle, Antoni van Leeuwenhoek fut un véritable précurseur. Fêré de pierres précieuses, ce drapier élabora des loupes de plus en plus puissantes pour les observer, et décrivit des animalcules dans sa salive. Pasteur ne démontra l'existence des microbes qu'au XIX^e siècle — la microbiologie débuta alors, entraînant le développement exponentiel de connaissances et d'applications —, et Costerton ne commença à mettre en évidence l'importance de l'organisation en biofilm que dans la seconde moitié du XX^e siècle.