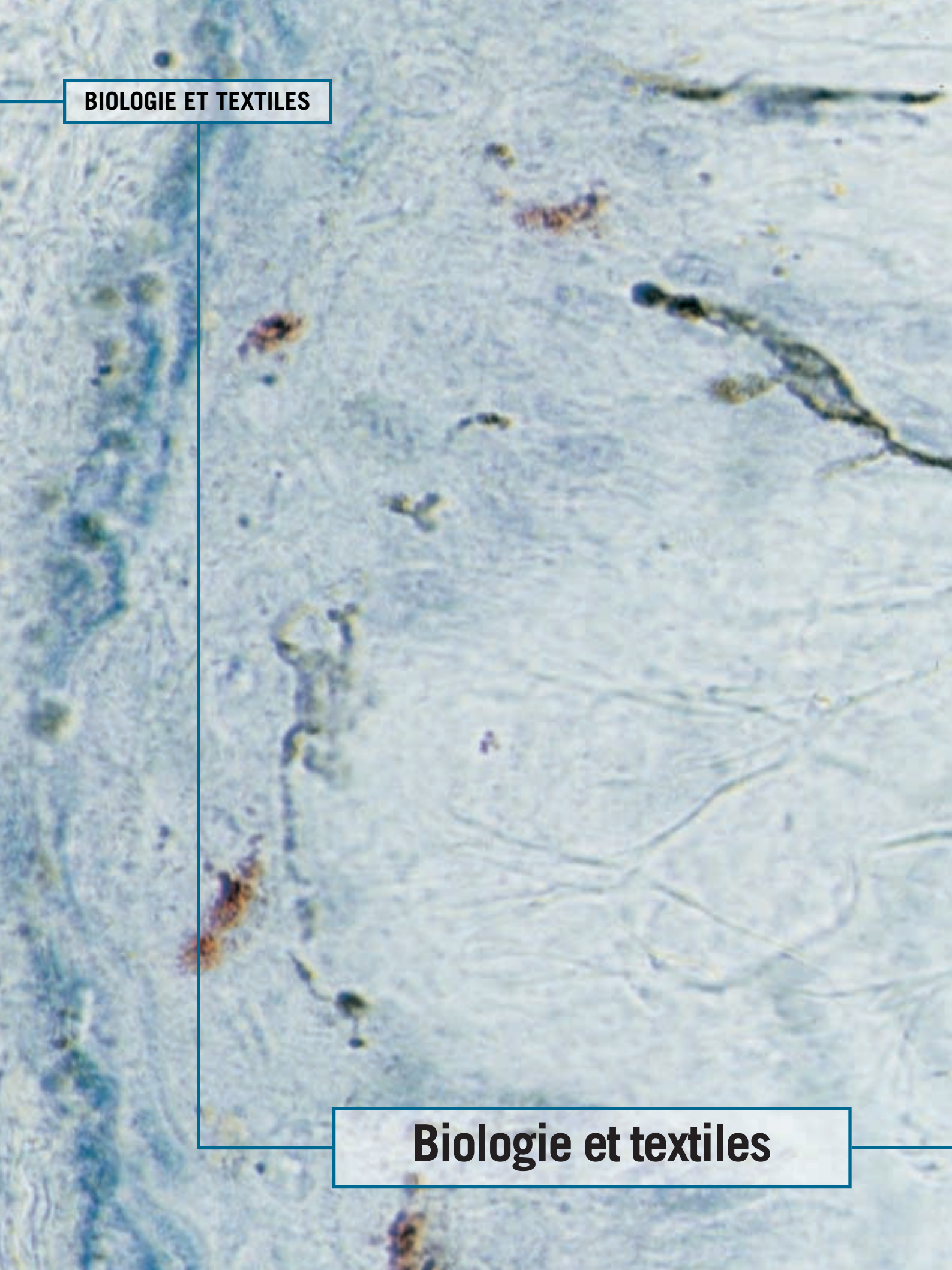




BIOLOGIE ET TEXTILES

Biologie et textiles

Les textiles antimicrobiens

FRANÇOIS N. R. RENAUD • JEAN FRENEY

Ces textiles contiennent des substances qui régulent la multiplication des bactéries responsables de mauvaises odeurs. Ils pourraient améliorer l'hygiène et participer, peut-être, à la lutte contre les infections acquises à l'hôpital.

Plusieurs joueurs des équipes de France de football et de basket ont déjà adopté des chaussettes qui «massent» les mollets, facilitant le retour du sang dans les veines vers le cœur, ce qui améliore la circulation. Des vêtements anti-odeurs qui ne fixeraient pas – notamment – l'odeur de tabac, devraient être bientôt disponibles. Différents types de textiles aux propriétés étonnantes ont été mis au point par les industriels : des tissus lumineux par incorporation de fibres optiques ; des tissus anti-infrarouges à applications militaires (utiles pour le camouflage) ; des tissus électromagnétiques qui évitent les interférences et assurent, par exemple, un camouflage antiradar ; enfin des textiles à activité biologique, encore nommés textiles bioactifs ou biotextiles. Parmi ces derniers figurent des matelas et des moquettes anti-acariens (les parasites qui favorisent certaines allergies respiratoires et l'asthme), des moustiquaires insecticides, des tissus thermorégulateurs, ou encore des tissus qui limitent la multiplication des bactéries responsables de certaines odeurs corporelles désagréables.

Les tissus qui ont une activité antibactérienne agissent soit en protégeant le tissu lui-même contre les dégradations occasionnées par les bactéries, soit en empêchant les bactéries de proliférer. En effet, lorsque les conditions de température et d'humidité sont favorables, divers micro-organismes, des bactéries ou des champignons, présents dans le sol, dans l'eau ou dans l'air colonisent les textiles, y prolifèrent et sont responsables de leur dégradation. Certains micro-organismes libèrent des enzymes qui dégradent les fibres naturelles, comme la cellulose,

la laine ou le lin en altérant ainsi les propriétés mécaniques des textiles. D'autres micro-organismes libèrent des pigments qui colorent les textiles.

Au total, cette prolifération microbienne peut favoriser l'apparition d'odeurs non souhaitées, une modification de la texture des fibres, une diminution des propriétés mécaniques ou encore une pigmentation et, par conséquent, une dévaluation commerciale du produit. L'odeur caractéristique de «renfermé» ou de «moisi» indique une croissance fongique ou bactérienne.

Comme les mauvaises odeurs proviennent, en partie, de la multiplication de certaines espèces bactériennes ou fongiques, on doit, pour les éviter, inhiber la prolifération microbienne. Quand les tissus ne sont pas en contact avec la peau, on peut tuer tous les micro-organismes sans risques. Au contraire, quand les tissus sont en contact avec la surface cutanée, on doit limiter la prolifération, sans détruire la flore microbienne qui vit naturellement sur la peau et qui la protège.

Nous examinerons comment on réussit à maîtriser la prolifération des bactéries grâce à des biotextiles qui ont essentiellement deux objectifs : d'une part, éviter les odeurs corporelles désagréables et, d'autre part, empêcher la multiplication des bactéries. Nous verrons que les textiles à activité biologique nécessitent de concilier deux mondes apparemment incompatibles : le monde inerte des textiles et le monde du vivant, celui de l'homme, mais aussi celui des bactéries.

La peau est constituée du derme profond, recouvert de l'épiderme superficiel. Normalement, le derme ne contient pas de micro-organismes. Au contraire, l'épiderme est colonisé

par une flore dont la nature et la composition dépendent de la température, de l'humidité ou encore de l'acidité de la peau. La température de la peau n'est pas uniforme : en moyenne de 32 à 33 °C, avec des zones froides (30 °C sous la plante des pieds), et des zones chaudes (34 à 35 °C sous les aisselles et sur l'abdomen). La flore naturelle de la peau est constituée, d'une part, de la flore résidente et, d'autre part, de la flore transitaire qui, contrairement à la précédente, colonise la peau de façon temporaire.

La peau et sa flore

La flore résidente, bien adaptée au système écologique de la peau, constitue une barrière efficace contre la colonisation par les micro-organismes potentiellement nocifs de la flore transitaire. Les micro-organismes de la flore résidente sont adaptés à l'écosystème cutané, car ils trouvent dans la sueur et dans le sébum les nutriments nécessaires à leur développement (le sébum est le produit de sécrétion des glandes sébacées, généralement associées aux poils ; il est composé de corps gras et de débris protéiques). La flore résidente se développe sur la couche cornée, c'est-à-dire sur la couche la plus externe de l'épiderme. À mesure que les cellules cornées desquament (les cellules mortes se détachent, sous forme de pellicules par exemple) l'épiderme libère des bactéries. Ces squames contaminent l'environnement et notamment les vêtements.

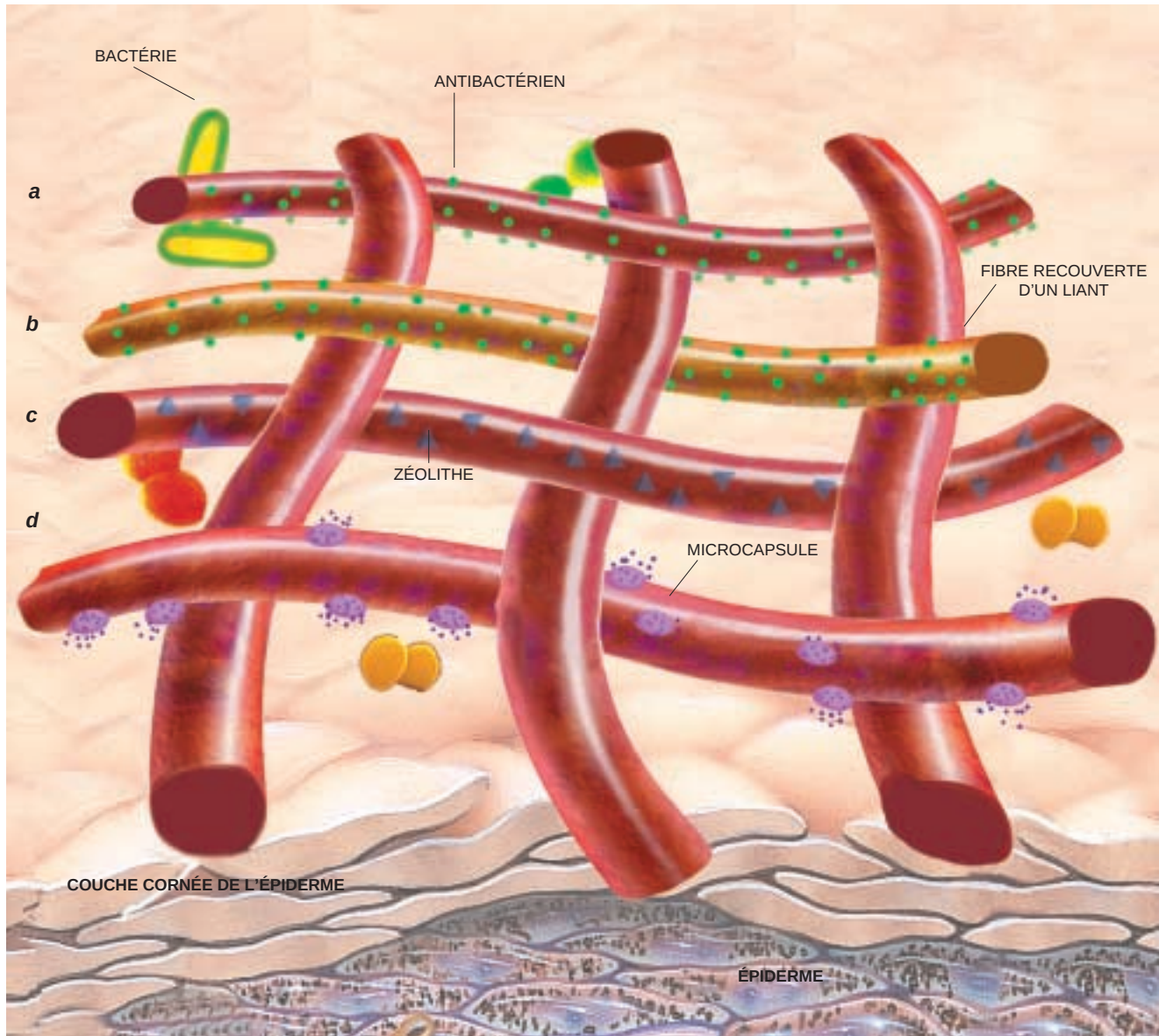
Les zones sèches de la peau (la face externe des membres, le front) sont peu colonisées, contrairement aux zones humides (les aisselles ou le périnée).

La flore microbienne est surtout constituée de corynébactéries et de staphylocoques, plus résistants à l'absence d'humidité que des bactéries telles que les entérobactéries. Ainsi la flore résidente vit en symbiose avec l'organisme et le protège contre les bactéries potentiellement pathogènes de la flore transitaire. Toutefois, lorsque la flore résidente agit sur les sécrétions nor-

males de la peau, elle engendre des odeurs désagréables. Ces odeurs deviennent perceptibles quand la concentration en produits de dégradation, donc la concentration en bactéries elles-mêmes, devient excessive. Pour lutter contre les odeurs corporelles, on tente de limiter la multiplication des bactéries, mais on doit éviter de les détruire, car on supprimerait

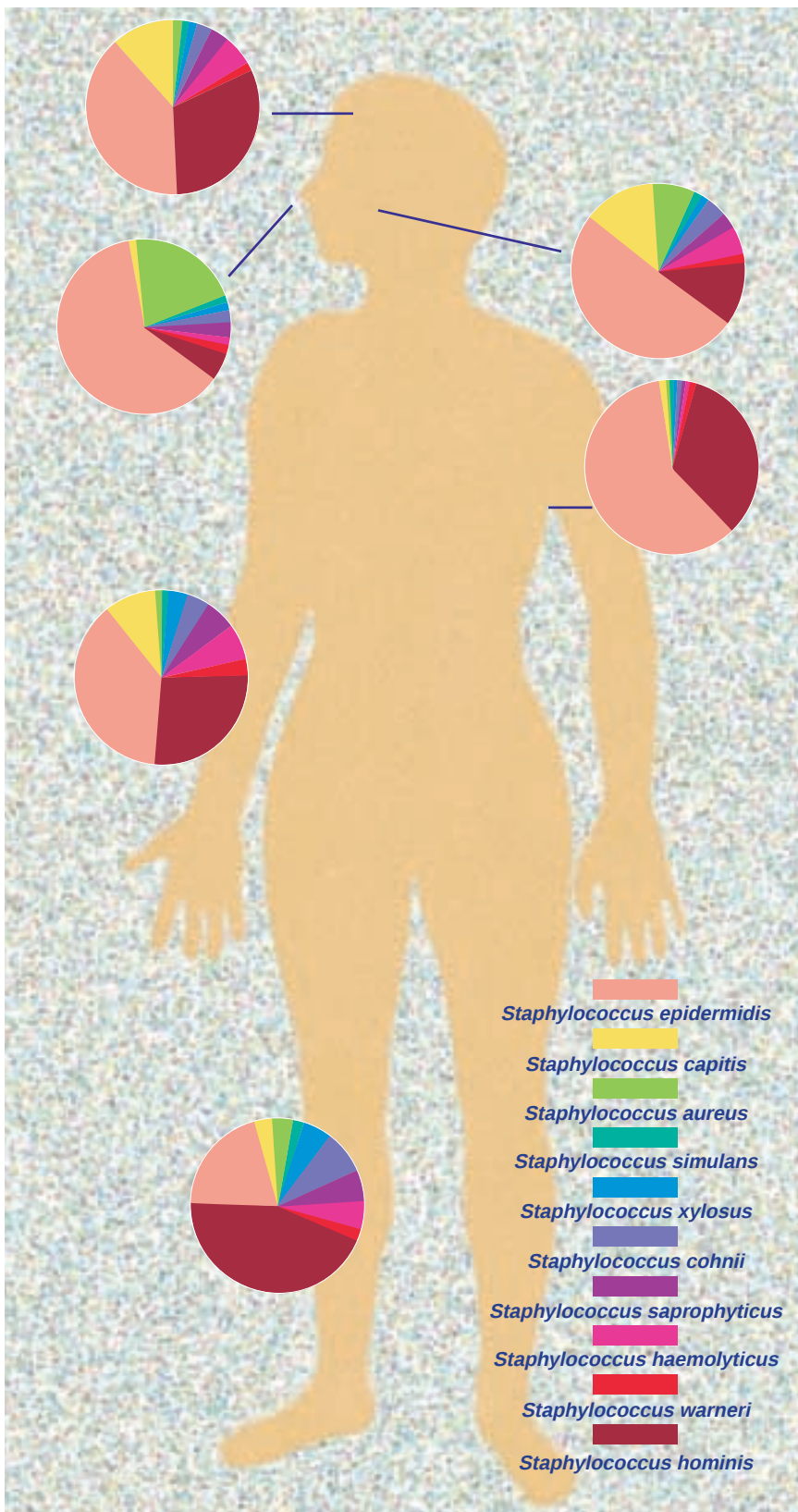
alors un des remparts contre d'autres micro-organismes qui, eux, peuvent être pathogènes. Ainsi, les tissus à activité antibactérienne ne doivent en aucun cas modifier l'équilibre fragile de la flore résidente.

Parmi les principales bactéries de la flore résidente, celles du genre *Staphylococcus* qui comptent plus de 30 espèces et dont la répartition



1. LES FIBRES À ACTIVITÉ BIOLOGIQUE luttent contre la prolifération des bactéries. Plusieurs méthodes de préparation de ces fibres ont été mises au point. On peut tremper le textile dans une solution contenant l'antibactérien, lequel adhère aux fibres (a). Toutefois, l'adhérence est médiocre, et la substance antimicrobienne ne résiste pas au lavage : cette méthode convient pour les textiles à usage unique. On améliore l'adhérence en recouvrant les fibres d'un liant, puis en ajoutant l'antibactérien (b). Le liant sert de « colle », de sorte que l'adhérence est meilleure et que le textile ainsi traité supporte plusieurs lavages. L'efficacité antimicrobienne est bonne, car la substance bactériostatique est directement en contact avec

la peau. Une autre méthode consiste à incorporer l'antibactérien dans le polymère porté à haute température ; le polymère est ensuite filé sous pression et la substance active est piégée au sein des fibres (c). Il s'agit de zéolithes, des minéraux qui libèrent progressivement de l'oxygène actif, lequel migre vers la surface et y détruit les bactéries. Les zéolithes ne sont pas éliminés par les lavages successifs. Enfin, une autre méthode est à l'étude : la substance antimicrobienne serait introduite dans des microcapsules qui adhéreraient aux fibres (d). La substance diffuserait par la membrane poreuse des microcapsules ou serait libérée lorsque cette membrane se briserait sous l'effet du frottement des vêtements sur la peau.



2. DE NOMBREUSES ESPÈCES de bactéries vivent en symbiose avec la peau de l'homme : elles trouvent dans la sueur, notamment, les éléments nutritifs nécessaires à leur multiplication et évitent que l'homme ne soit contaminé par d'autres bactéries qui, elles, risqueraient d'être pathogènes. Leur répartition varie selon les zones du corps. Celle de plusieurs souches de staphylocoques a été représentée : les secteurs angulaires de couleurs différentes représentent la proportion des espèces étudiées selon la région de l'organisme (le front, le nez, la joue, l'aisselle, le bras et la jambe).

change selon les régions de l'organisme (voir la figure 2) et les bactéries corynéformes. Parmi elles, les propionibactéries sont présentes dans les follicules pileux et dans les glandes sébacées. De nombreuses espèces bactériennes se développent et persistent sur la peau, mais leur composition et leur prolifération dépendent de facteurs propres à la physiologie de chacun ou de facteurs environnementaux. À la naissance, la flore est surtout constituée de *Staphylococcus epidermidis*. Elle se modifie rapidement dans les heures qui suivent, et les bactéries corynéformes prennent le dessus. Le sexe influe également sur la nature et sur la répartition des espèces bactériennes : la peau des hommes contient plus de micro-organismes que celle des femmes, sans doute en raison d'une production supérieure de sueur et de sébum, et de la présence des hormones mâles.

La production des odeurs corporelles

La sueur, émise par les glandes sudoripares, diffuse à travers l'épiderme et l'hydrate ; elle est inodore et incolore tant qu'elle n'est pas dégradée par les bactéries. Elle contient essentiellement de l'eau (99 pour cent), mais aussi des hormones, des sels minéraux, des anticorps, de l'acide lactique, de la vitamine C et des déchets métaboliques, tels l'acide urique ou l'urée. Sa composition dépend de l'individu et de son régime alimentaire.

Les bactéries agissent, par leurs enzymes, sur certains de ces constituants. Ainsi, les enzymes nommées réductases des bactéries corynéformes transformeraient les hormones stéroïdes (notamment la testostérone) de la sueur en cétones et en stérols nauséabonds (ils ont une odeur de musc ou d'urine). Certaines espèces de bactéries du genre *Brevibacterium* synthétisent du méthanthiol, un composé contenant un groupe thiol, -SH, qui est à l'origine des odeurs produites par les pieds (beaucoup de composés soufrés sont nauséabonds). Le méthanthiol résulte de la transformation de la méthionine, un acide aminé. La levure *Pityrosporum* produirait des lactones et des alcools en agissant sur le sébum du cuir chevelu.

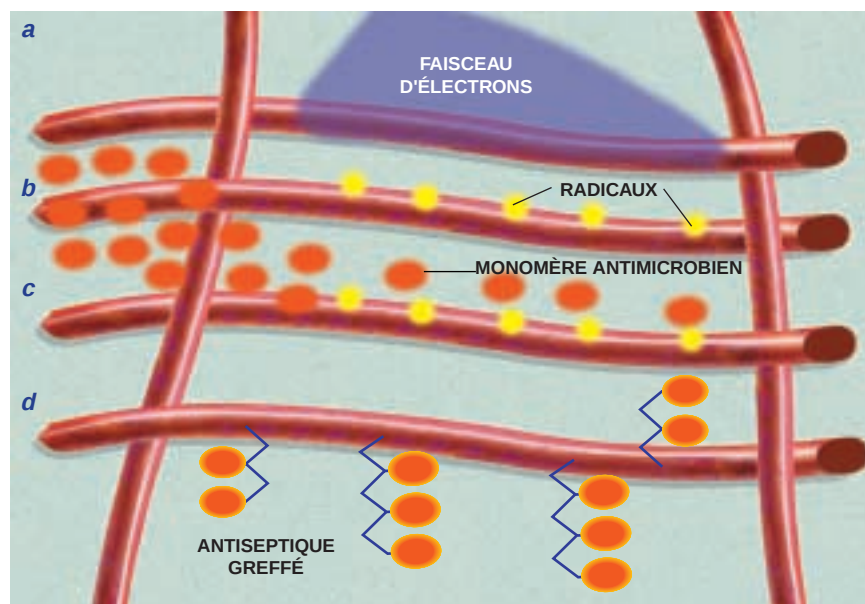
Parmi les bactéries corynéformes, *Propionibacterium acnes* existe dès l'enfance, mais se multiplie considérablement lorsque l'équilibre hormonal évolue, à la puberté ; cette souche «lipolytique» semble être le principal responsable des odeurs corporelles d'origine bactérienne : elle dissocie les acides gras (les triglycérides), libérant des acides gras nauséabonds. Les substances malodorantes les plus fréquentes sont les cétones, les acides et les lactones ; elles contiennent souvent un cycle aromatique et un groupe amine $-NH_2$, qui augmente souvent l'intensité de l'odeur des molécules odorantes.

Bactéricide ou bactériostatique ?

Quelle que soit la façon dont elles agissent, les bactéries sont partiellement responsables des mauvaises odeurs corporelles. On admet généralement que l'odeur produite par les bactéries est perceptible dès que leur concentration atteint 10 000 par centimètre carré, ce qui est obtenu en quelques heures. On peut lutter contre ces odeurs soit avec un produit bactéricide qui réduit partiellement ou complètement une population bactérienne, soit avec une substance bactériostatique, qui limite la multiplication de ces bactéries.

Nous l'avons indiqué, on ne peut envisager de conférer une action bactéricide qu'à des textiles qui n'ont aucun contact avec la peau. C'est le cas, par exemple, des toiles de tentes, des rideaux ou, encore, de la face externe des vêtements. Au contraire, les produits en contact avec la peau et les muqueuses ne devront, en aucun cas, exercer une action bactéricide, qui perturberait la flore résidente. On cherche seulement à empêcher les bactéries de proliférer sur le tissu (effet barrière), supprimant ainsi les inconvénients liés à cette multiplication.

Les effets bactéricides et bactériostatiques exercés par un biotextile dépendent de la nature et de la concentration des molécules actives au sein du tissu. Une même molécule est parfois bactéricide, parfois bactériostatique, selon sa concentration : cette versatilité multiplie les potentialités des fibres à activité biologique. Avant d'utiliser un antibactérien, on



3. LE GREFFAGE de molécules antiseptiques sur des fibres synthétiques crée des liaisons chimiques covalentes entre l'antiseptique et les fibres, de sorte que le biotextile ainsi obtenu résiste à de nombreux lavages successifs. Pour obtenir ce greffage, on expose les fibres à un faisceau d'électrons (a) qui engendre, sur les molécules constitutives des fibres (b), des radicaux libres (c'est-à-dire des groupes chimiques très réactifs qui portent des électrons non appariés ; deux radicaux s'associent facilement, formant des liaisons chimiques). Quand on expose ces fibres activées à des monomères antimicrobiens, ces dernières se lient aux radicaux (c), et polymérisent : les polymères antimicrobiens greffés s'allongent progressivement (d) et sont solidement ancrés sur les fibres textiles.

s'assure de son innocuité : des tests *in vitro* évaluent la toxicité cellulaire et génétique, et des tests *in vivo* l'irritation et la sensibilisation de la peau à la substance.

Lorsqu'une substance est déposée sur un tissu, elle doit exercer son action sans trop diffuser, sinon elle risque, d'une part, de pénétrer dans l'organisme après avoir atteint la peau et, d'autre part, d'être trop rapidement éliminée du textile lors des lavages successifs. Examinons comment on «accroche» une substance bactéricide ou bactériostatique sur des fibres textiles.

Certaines substances antimicrobiennes sont simplement déposées par imprégnation ou par pulvérisation à la surface des fibres textiles auxquelles elles s'adsorbent. Les molécules antibactériennes ne sont alors pas très bien ancrées sur les fibres et ne résistent pas au lavage : un tel traitement de surface est réservé aux textiles à usage unique. On peut renforcer la tenue des substances antimicrobiennes sur les fibres en les trempant dans un apprêt, lequel fait le lien entre les fibres textiles et les molécules antimicrobiennes. De telles substances résistent un peu mieux au

lavage, mais elles finissent par être éliminées. Afin d'assurer un pouvoir antibactérien de plus longue durée, on incorpore les substances actives au sein même des fibres.

On utilise des fibres artificielles, notamment de polyester, de polyamide, de polychlorure de vinyle ou encore de polypropylène. On mélange l'antibactérien au polymère textile liquide fondu ou en solution, avant de le filer sous pression. Les molécules ainsi noyées dans le polymère y sont piégées et, par conséquent, résistent aux lavages.

Une autre méthode, celle du greffage radiochimique (voir la figure 3), assure une liaison solide entre les molécules antibactériennes et les fibres, qui sont soit des fibres naturelles, soit des fibres synthétiques. Enfin, on peut introduire les molécules antibactériennes dans des microcapsules, et plonger les fibres dans une solution contenant ces microcapsules. Ces dernières adhèrent aux fibres et libèrent progressivement les molécules actives, parce que leur paroi est poreuse ou bien parce qu'elles éclatent sous l'effet du frottement du textile sur la peau. Cette méthode de «microencapsulation» est en cours d'évaluation.

Afin de s'assurer que la substance ne diffuse pas trop rapidement, on effectue, *in vitro*, des extractions de l'agent actif par diverses solutions de «sueurs artificielles» alcalines, acides ou grasses, qui reproduisent les conditions normales d'utilisation. Après ces extractions, on dose l'agent antimicrobien restant. Reste ensuite à choisir l'agent antimicrobien le mieux adapté.

On sait que la présence continue d'agents antimicrobiens, qui détruisent la flore résidente sensible, favorise la multiplication des souches résistantes : quand elles sont débarrassées des bactéries sensibles, les bactéries résistantes n'ont plus de frein à leur multiplication et envahissent le territoire laissé vacant par l'élimination des bactéries avec lesquelles elles étaient en compétition.

Étant donné ces contraintes, le tissu antibactérien idéal devrait être actif sur de nombreux micro-organismes, notamment sur les bactéries et sur les champignons microscopiques ; être actif pendant toute la durée de vie du textile, même après de nombreux lavages ; être actif à

faible concentration ; être dépourvu de toxicité chez l'homme aux concentrations utilisées ; ne pas sélectionner de souches résistantes. De surcroît, les contraintes économiques imposent que son coût soit peu élevé, que la substance soit dépourvue d'odeur et de couleur, qu'elle soit d'application aisée, qu'elle soit compatible avec les agents imperméabilisants, ignifugeants et avec les teintures, ou encore qu'elle soit résistante aux rayonnements ultraviolets. Aujourd'hui, aucun produit ne répond à toutes ces exigences. Parmi les substances qui ont été testées, seul le triclosan et les zéolithes antibactériennes sont fréquemment utilisés.

Le triclosan

Le triclosan (2, 4, 4'-trichloro-2'hydroxy diphenyl éther) est un composé phénolique qui a des propriétés antimicrobiennes et anti-inflammatoires. Il est utilisé dans des produits tels que des savons antiseptiques, des dentifrices, des crèmes de beauté. Dans le cas de son utilisation sur des tissus, il

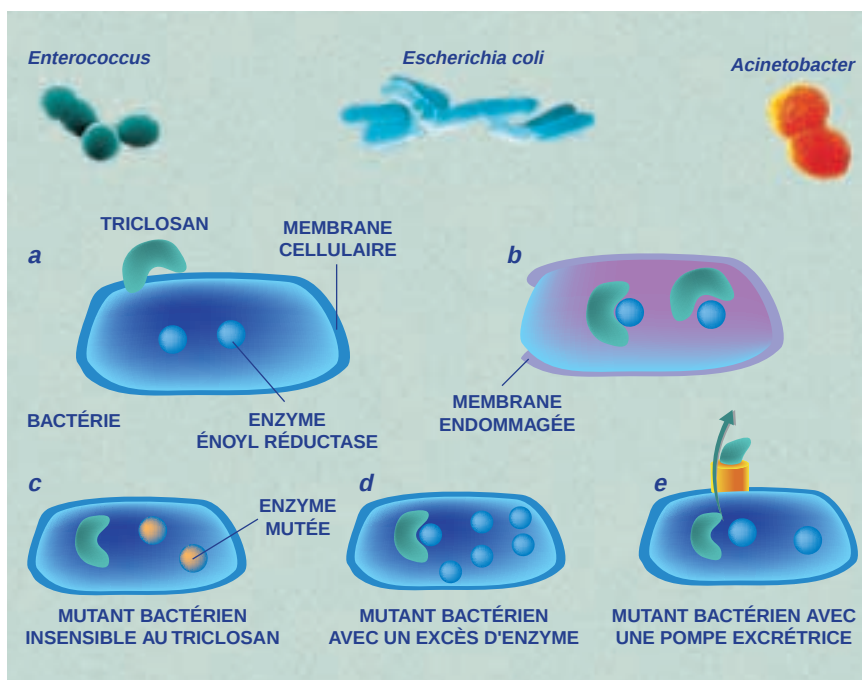
diffuse quel que soit le mode de fixation utilisé. Le triclosan a un large spectre d'action sur de nombreuses bactéries, qu'elles soient résistantes ou non aux antibiotiques. Son efficacité a été démontrée, en 1984, au *Royal Hospital* de Liverpool, par l'éradication d'une épidémie due à des souches de *Staphylococcus aureus* résistantes, présentes dans une unité de chirurgie.

Comment agit-il ? Jusqu'à présent, on pensait que le triclosan était un agent bactéricide non spécifique. L'équipe de Laura McMurry, à la Faculté de médecine de Boston, a montré récemment que la cible du triclosan chez *Escherichia coli* est une enzyme de la biosynthèse des lipides, l'énoyl réductase (en anglais, le nom complet est *enoyl-acyl carrier protein reductase*). Lorsque l'enzyme est bloquée, la bactérie ne synthétise plus de lipides et cesse de se développer.

Des études réalisées par les Laboratoires *Ciba-Geigy* ont montré que, dans les conditions normales d'utilisation, le triclosan ne présente pas de toxicité aiguë ni de toxicité chronique, ou d'irritation de la peau ou des yeux. Il ne déclenche pas, non plus, de phénomène de sensibilisation et n'a aucune activité cancérogène ou mutagène. Il ne s'accumule pas dans l'organisme et il est bien toléré par l'homme.

Toutefois, certains mutants bactériens résistent au triclosan : quelques uns produisent une enzyme insensible au triclosan. D'autres présentent une anomalie génétique qui entraîne une surexpression du gène codant l'énoyl réductase : l'antiseptique inactive une partie de cette enzyme vitale pour les bactéries, mais, comme la production est supérieure à la normale, il «s'épuise», tandis que les bactéries continuent à se multiplier, de sorte qu'elles échappent à l'action du triclosan.

Les bactéries disposent de divers mécanismes leur permettant d'échapper aux substances antiseptiques ou antibiotiques avec lesquelles on tente de les détruire. Elles sont notamment pourvues de «pompes», des protéines qui rejettent vers l'extérieur les molécules étrangères nocives pour le métabolisme bactérien. Certaines bactéries surexpriment ces protéines, de sorte que le triclosan est éliminé avant d'avoir agi : ces bactéries, notamment



4. LE TRICLOSAN est un antiseptique antibactérien. Il agit sur diverses espèces bactériennes (en haut) en inhibant une enzyme bactérienne, l'énoyl réductase, indispensable à la synthèse des lipides de la membrane bactérienne (a). Privées de membrane, les bactéries meurent (b). Certaines souches sont résistantes. Quelques mutants bactériens produisent une enzyme énoyl réductase insensible au triclosan (c). D'autres synthétisent une quantité anormalement élevée de l'enzyme : le triclosan inhibe une petite proportion de ces molécules, mais il en reste assez pour que les bactéries survivent (d). Enfin, quelques bactéries sont pourvues d'une «pompe moléculaire» qui excrète hors de la cellule les molécules étrangères (e), dont le triclosan, lequel perd son efficacité.

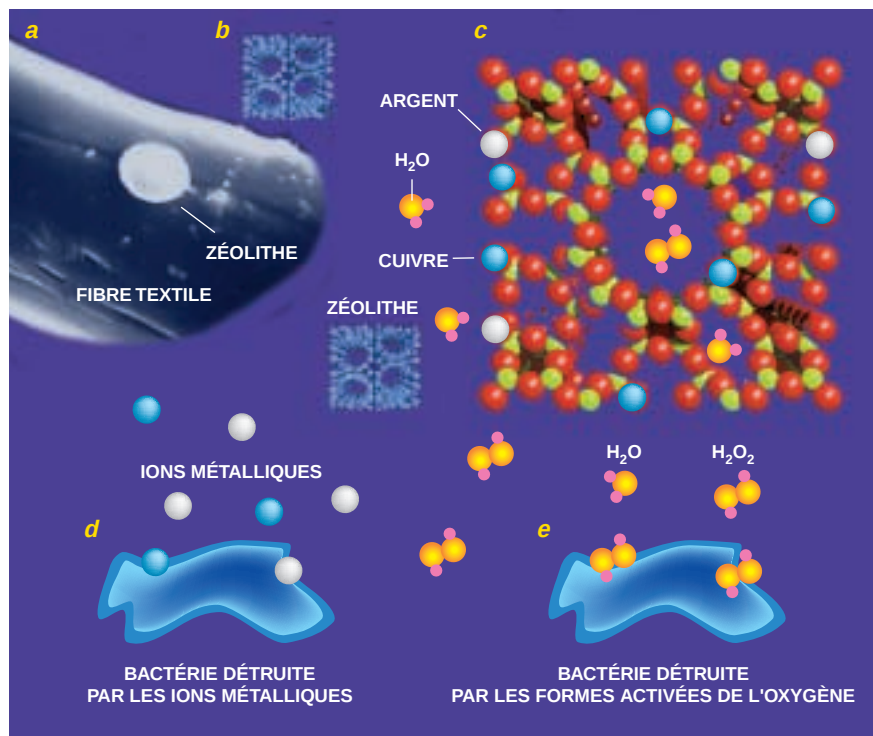
certaines souches cliniques d'*Escherichia coli*, résistent à l'antiseptique. En 1998, Herbert Schweizer et ses collègues de l'Université de Fort Collins, dans le Colorado, ont montré que les bactéries de l'espèce *Pseudomonas aeruginosa* sont pourvues de telles pompes, qui les protègent du triclosan.

Le triclosan étant très utilisé dans les produits destinés au grand public et en milieu hospitalier, des risques de multiplication des souches résistantes existent. À force d'être confrontées à la molécule, les souches qui, par exemple, acquièrent une mutation génétique associée à une surexpression de la pompe de purification risquent d'être sélectionnées : elles seront résistantes au triclosan, et peut-être aussi à d'autres molécules antiseptiques et antibiotiques transportées par cette même pompe.

Les zéolithes antibactériennes

L'autre grande famille des substances antibactériennes que l'on introduit dans les textiles à activité biologique est celle des zéolithes. Ce sont des aluminosilicates alcalins liés à des ions argent et cuivre, ou argent et zinc. Ils ont pour formule chimique générale $(MO)_xAl_2O_3 \cdot (SiO_2)_y \cdot (H_2O)_z$, où M représente les ions métalliques argent et cuivre, ou argent et zinc, x la proportion d'oxyde métallique, y celle de silice SiO_2 et z celle d'eau. La structure cristallographique de ces minéraux diffère selon les composés, mais ils ont une caractéristique commune : ils sont sillonnés de nombreux petits canaux qui, généralement, contiennent de l'eau. Ce n'est pas une eau de constitution, puisque, quand on chauffe une zéolithe, la perte d'eau ne perturbe pas la structure. Après une déshydratation, les canaux peuvent à nouveau être remplis par de l'eau ou par d'autres molécules.

En vertu de cette propriété, on utilise les zéolithes comme filtres moléculaires : les molécules dont le diamètre est compatible avec celui des pores peuvent y pénétrer, contrairement aux molécules de diamètre supérieur. Les zéolithes ont également la propriété d'échanger leurs ions avec d'autres entités chimiques en présence. On utilise des zéolithes synthétiques comme dessiccateurs ou dans les adoucisseurs d'eau.



5. LES ZÉOLITHES incorporées dans les fibres biotextiles sont présentes au cœur des fibres, mais aussi en surface (a). Ce sont des minéraux, des aluminosilicates alcalins naturels ou synthétiques, qui ont une structure très poreuse (deux représentations en b et c). Les molécules d'eau s'infiltrèrent facilement dans les microcanaux. Des ions cuivre et argent sont introduits dans les zéolithes antibactériennes. Elles détruisent les bactéries par deux mécanismes. D'une part, des ions métalliques (cuivre et argent) se détachent des cristaux et migrent au contact de la peau ; comme de nombreux métaux, ils ont une action destructrice directe. D'autre part, les zéolithes créent, au sein du réseau cristallin, des micropiles, des différences de potentiel qui, localement, sont suffisantes pour qu'une électrolyse de l'eau ait lieu. Des formes actives de l'oxygène (H_2O_2 , par exemple) sont produites : elles oxydent et détruisent les membranes bactériennes.

Les ions argent et cuivre ou argent et zinc ont une action antiseptique sur la membrane des bactéries en bloquant les groupes thiol des protéines. Toutefois, le principal mécanisme d'action de ces substances semble être la formation de radicaux oxygène en présence d'eau. Les ions métalliques créent des différences de potentiel qui, localement, sont suffisantes pour réaliser des micro-électrolyses de l'eau et libérer de l'oxygène, lequel se combine à l'eau et produit du peroxyde d'hydrogène (H_2O_2). Dominique Champiat, à Montpellier, a montré, par une méthode de biochimiluminescence, que des fibres contenant des zéolithes libèrent de l'oxygène actif en milieu aqueux pendant près de 14 heures. L'oxygène libéré oxyde et peut détériorer les différents éléments constitutifs des bactéries.

Ce mécanisme d'action ne nécessite pas de contact direct entre les molécules actives et leurs cibles bactériennes, puisque l'oxygène libéré

au sein des fibres diffuse partout, notamment, vers la surface. Les bactéries ne sont pas exposées en permanence à l'oxygène et elles ne semblent pas disposer de mécanismes leur permettant d'échapper à l'action de l'oxygène : dans ces conditions, l'usage des zéolithes ne semble pas risquer de faciliter la sélection de souches bactériennes résistantes. Aux concentrations habituelles d'utilisation, les zéolithes ne sont pas toxiques. Par ailleurs, elles résistent aux lavages à haute température, de sorte que les propriétés antibactériennes persistent longtemps.

Évaluation du pouvoir antibactérien

Diverses méthodes d'évaluation de l'activité biologique de ces textiles ont été validées. Pour étudier la capacité d'inhibition microbienne des produits diffusants, par exemple, on place un fragment de tissu à la surface d'un

milieu de culture préalablement commencé par une suspension bactérienne bien caractérisée ; quand le textile a une activité antimicrobienne, on observe, autour du disque de tissu, une zone où la croissance bactérienne est inhibée. Les diverses méthodes d'évaluation de l'activité bactéricide et bactériostatique des biotextiles sont rigoureusement standardisées, et des normes ont été proposées.

Toutefois, quand on démontre qu'un textile possède une activité sur des cultures de bactéries, en laboratoire, il faut encore prouver qu'il est actif dans des conditions normales d'utilisation. Deux études ont validé leur efficacité. Une des études a mis en évidence l'activité antibactérienne de sous-vêtements féminins dont le fond était composé d'un mélange de coton et de fibres contenant des zéolithes à l'argent et au cuivre. Le développement bactérien sur le tissu est réduit de près de 50 pour cent (entre 25 et 80 pour cent) par rapport au tissu témoin. L'effet antimicrobien persiste après 40 lavages. Toutes les souches bactériennes étudiées subissent la même inhibition, de sorte que l'expérience montre aussi que ces tissus ne semblent pas modifier la flore naturelle.

La lutte contre les infections nosocomiales ?

La seconde étude qui a confirmé l'efficacité des biotextiles a été conduite à l'hôpital du Val-de-Grâce, à Paris. Les draps utilisés dans les services de réanimation et de néphrologie contenaient un mélange de coton et de

polyester incorporant des zéolithes à l'argent et au cuivre. On a constaté que la densité des bactéries sur les draps, les taies d'oreiller et les alèses était réduite de près de 60 pour cent (entre 40 et 70 pour cent). Ce linge ne semble pas perdre son activité lors de son passage dans les circuits de lavage habituels dans les hôpitaux et qui comportent : un prélavage à 40 °C, un lavage de 40 minutes à 90 °C et un repassage à haute température. En revanche, ces textiles représentent un surcoût de près de 20 pour cent par rapport aux tissus classiques.

L'étude réalisée au Val-de-Grâce a mis en évidence la prédominance de certaines bactéries, notamment de *Staphylococcus aureus* et *Acinetobacter*, qui sont, avec les entérobactéries, souvent incriminées dans les infections contractées au cours d'une hospitalisation. Ainsi, même s'ils coûtent plus cher que les tissus classiques, les textiles qui inhibent notablement la multiplication des bactéries pourraient avoir un intérêt, au moment où la lutte contre les bactéries résistantes s'intensifie dans les hôpitaux.

L'étude du Val-de-Grâce a montré que les bactéries ne commencent à se multiplier sur le linge traité par des zéolithes qu'après six heures. Or, dans les unités de soins intensifs, les patients affaiblis ont davantage de risques de développer une infection nosocomiale que ceux d'autres services. On peut donc supposer qu'un changement de draps toutes les six heures, dans ces unités de soins intensifs, pourrait réduire en partie le risque de contamination par le linge.

François RENAUD, maître de conférences au département de génie biologique de l'IUT A, mène ses recherches à la Faculté de Pharmacie Rockefeller (DM3), à Lyon. Jean FRENEY est professeur de microbiologie à l'hôpital Édouard-Herriot, à Lyon.

J. FRENEY, *Composés phénoliques*, in *Antisepsie et désinfection*, J. Fleurette, J. Freney et M.E. Reverdy, éditions Eska, pp. 90-134, 1995.

S. GAILLON et al., *Le linge de lit peut-il avoir des propriétés antibactériennes ? Évaluation d'un nouveau procédé*, in *Hygiènes*, vol. 14, pp. 50-54, 1996.

M. DUTAUD et al., *Étude in vitro et in situ d'un textile antimicrobien*, Congrès

de la Société française de microbiologie, Lille, 1998.

H.P. SCHWEIZER, *Intrinsic resistance to inhibitors of fatty acid biosynthesis in Pseudomonas aeruginosa is due to efflux: application of a novel technique for generation of unmarked chromosomal mutations for the study of efflux systems*, in *Antimicrob. Agents Chemother.*, vol. 42, pp. 394-398, 1998.

L.M. McMURRY et al., *Triclosan targets lipid synthesis*, in *Nature*, vol. 394, pp. 531-532, 1998.

R.J. HEATH et al., *Mechanisms of triclosan inhibition of bacterial fatty acid synthesis*, in *J. Biol. Chem.*, vol. 274, pp. 11110-11114, 1999.

