

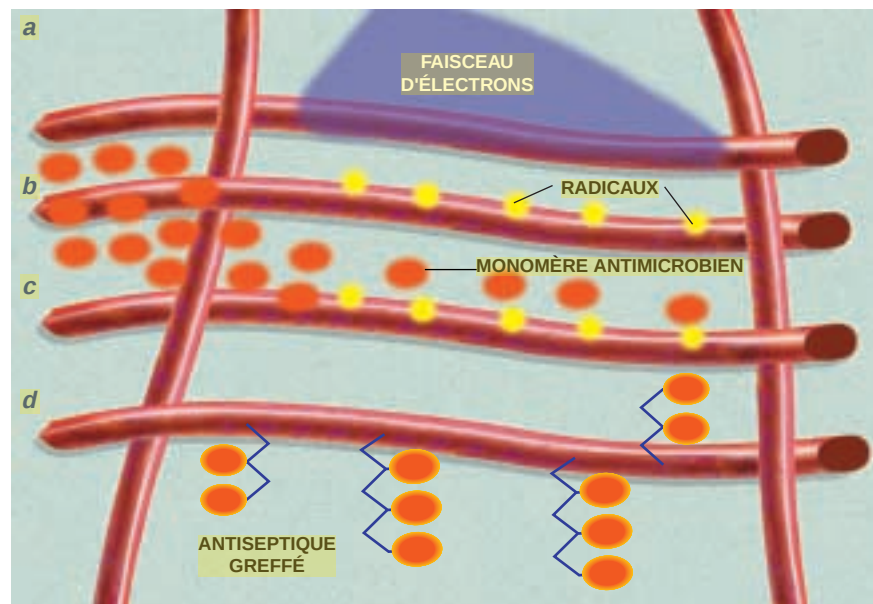
Parmi les bactéries corynéformes, *Propionibacterium acnes* existe dès l'enfance, mais se multiplie considérablement lorsque l'équilibre hormonal évolue, à la puberté ; cette souche «lipolytique» semble être le principal responsable des odeurs corporelles d'origine bactérienne : elle dissocie les acides 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 derniers 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

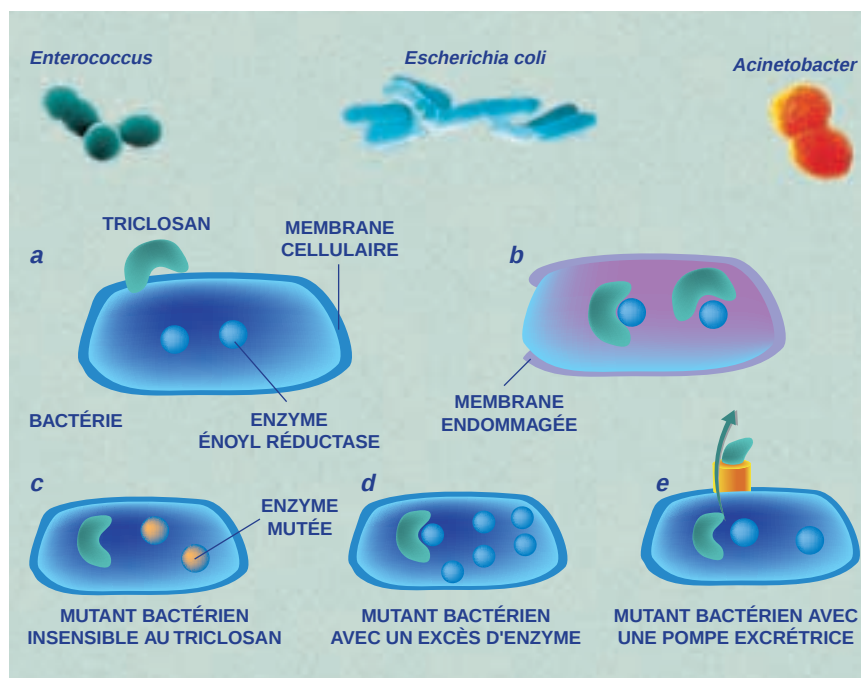
diffuse quel que soit le mode de fixation utilisé. Le triclosan a un large spectre d'action sur de nombreuses bactéries, qu'elles soient résistantes ou non aux antibiotiques. Son efficacité a été démontrée, en 1984, au *Royal Hospital* de Liverpool, par l'éradication d'une épidémie due à des souches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