

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

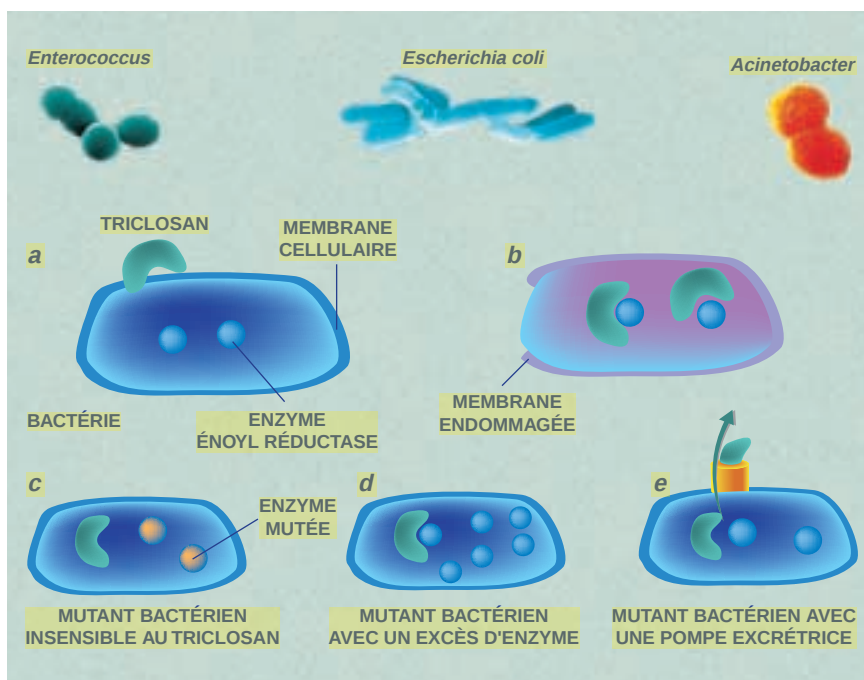
diffuse quel que soit le mode de fixation utilisé. Le triclosan a un large spectre d'action sur de nombreuses bactéries, qu'elles soient résistantes ou non aux antibiotiques. Son efficacité a été démontrée, en 1984, au *Royal Hospital* de Liverpool, par l'éradication d'une épidémie due à des souches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

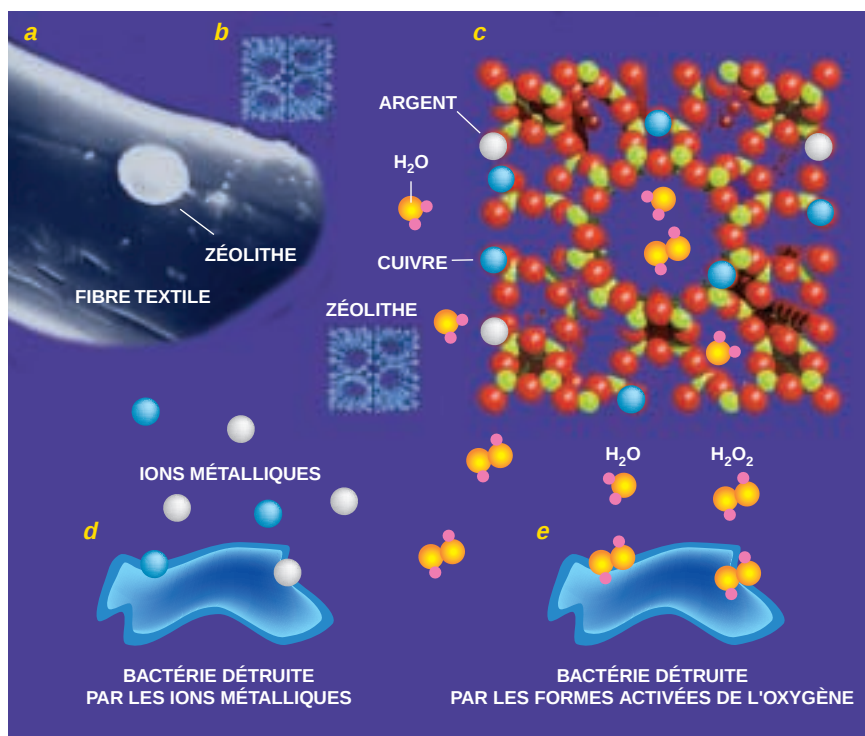
certaines souches cliniques d'*Escherichia coli*, résistent à l'antiseptique. En 1998, Herbert Schweizer et ses collègues de l'Université de Fort Collins, dans le Colorado, ont montré que les bactéries de l'espèce *Pseudomonas aeruginosa* sont pourvues de telles pompes, qui les protègent du triclosan.

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